

## TÓRIO E URÂNIO EM SOLOS AGRÍCOLAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

Ruby, E.C.<sup>1</sup>; Figueiredo, A.M.G.<sup>2</sup>; Modesto, R.P.<sup>1</sup>; Lemos, M.M.G.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
elainer@cetesbnet.sp.gov.br;

rosangelam@cetesbnet.sp.gov.br;maral@cetesbnet.sp.gov.br

<sup>2</sup>IPEN-CNEN/SP-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
anamaria@ipen.br

### RESUMO

Amostras superficiais de 29 solos de áreas agrícolas e 20 solos de fragmentos de mata foram analisadas para determinação da concentração total de Th e U, por meio da Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental-INAA e comparadas com dados nacionais e internacionais. As concentrações de Th variaram de 4,6 a 54,37 mg kg<sup>-1</sup> para os solos agrícolas e de 4,19 a 62,42 mg kg<sup>-1</sup> para os solos sob fragmentos de mata. Para o U, as concentrações variaram de 0,5 a 5,81 mg kg<sup>-1</sup> para os solos agrícolas e de 0,24 a 3,45 mg kg<sup>-1</sup> sob fragmentos de mata. As concentrações de Th são bastante superiores às de U, refletindo o material de origem destes solos. Foi verificada diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre os dois grupos estudados para o elemento U. Comparando-se os resultados obtidos com dados nacionais, pode-se observar que as concentrações de Th e U são superiores às de solos superficiais de outras regiões do Brasil, para os dois grupos estudados. Comparando-se com dados internacionais, os resultados são inferiores à concentração média global para U e superiores para Th.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tório, urânio, solo, INAA

### ABSTRACT

Surface soil samples from agricultural (n=29) and pristine areas (n=20) from São Paulo State were analyzed to determine the total concentration of Th and U by Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) and compared with national and international data. A range of 4.6 to 54.37 mg kg<sup>-1</sup> (agricultural) and 4.19 to 62.42 mg kg<sup>-1</sup> (pristine) for Th, and a range of 0.5 to 5.81 mg kg<sup>-1</sup> (agricultural) and 0.24 to 3.45 mg kg<sup>-1</sup> (pristine) for U were obtained. A statistically significant difference ( $p < 0.05$ ) between the two groups was observed for uranium. The Th concentration was rather higher than that of U, reflecting the parent material of these soils. Comparing the results with national data, it can be observed that the concentration of Th and U are higher than those of surface soils in other regions of Brazil, for the two groups. Compared with international data, the results are below the global average for U and higher for Th.

**KEYWORDS:** Thorium, uranium, soil, INAA

### INTRODUÇÃO

Os elementos radionuclídeos tório e urânio têm sido determinados em solos brasileiros em áreas onde há ocorrência de jazidas e em alguns escassos estudos sobre o impacto dos fertilizantes fosfatados em solos agrícolas, mas geralmente os resultados apresentados são expressos em atividade, ou seja, Becquerel por quilograma (Pérez, *et al.*, 1998; Souza & Ferreira, 2005; Conceição & Bonotto, 2006; Becegato; Ferreira & Machado, 2008). Outros

estudos têm sido realizados para caracterização mineralógica do solo, sendo as amostras coletadas em sub-superfície, como é o caso do trabalho realizado no estado do Paraná, pela Mineropar (2005). O conhecimento da distribuição de urânio e tório em solos cultivados tem sido uma preocupação ambiental em países como Japão, Turquia, Polônia, França, República Tcheca, entre outros (Yamaguchi; Kawasaki & Iiyama, 2008; Ünak *et al.*, 2007; Dudka, 1992; Sterckeman *et al.*, 2002; Babula, *et al.*, 2008; Kučera, J. *et al.*, 2007). O objetivo deste trabalho foi determinar as concentrações totais de Th e U em solos agrícolas e fragmentos de mata (áreas controle) por meio da Análise por Ativação com Nêutrons Instrumental-INAA e compará-las com dados nacionais e internacionais. A área amostrada encontra-se na bacia hidrográfica do rio Jaguari, no Estado de São Paulo, situada em região tradicionalmente agrícola e, atualmente, uns dos principais pólos industriais do país.

## METODOLOGIA

Foram selecionadas e coletadas amostras de solos agrícolas (n=29) e solos sob fragmentos de mata, área controle (n=20), na área da bacia do rio Jaguari - SP. Em cada ponto foram coletados 10 sub-amostras em aproximadamente 10.000 m<sup>2</sup> compondo uma (1) amostra composta (camada 0-20cm) para cada um dos pontos coletados. Os materiais de referência para comparação com as amostras foram GS-N e BE-N (GIT-IWG) e Soil-7 (IAEA). As amostras foram irradiadas no reator nuclear IEA-R1 do IPEN-CNEN/SP, em um fluxo de nêutrons térmicos de cerca de 10<sup>13</sup> n cm<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. A espectrometria gama foi realizada em detector HP-Ge GMX2020 CANBERRA, resolução 1,90keV para o pico de 1332 keV <sup>60</sup>Co.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de Th variaram de 4,6 a 54,37 mg kg<sup>-1</sup> para os solos agrícolas e de 4,19 a 62,42 mg kg<sup>-1</sup> para os solos sob fragmentos de mata. Para o U as concentrações variaram de 0,5 a 5,81 mg kg<sup>-1</sup> para os solos agrícolas e 0,24 a 3,45 mg kg<sup>-1</sup> sob fragmentos de mata (Tab. 1).

Tabela 1. Comparação entre as médias, medianas e amplitude de concentrações de tório e urânio em solos agrícolas e solos de fragmentos de mata (área controle).

Elemento	Amplitude mg kg <sup>-1</sup>	Média mg kg <sup>-1</sup>	Mediana mg kg <sup>-1</sup>	Nº de amostras
<b>Área agrícola</b>				
Tório	4,60 – 54,37	14,96	9,81	29
Urânio	0,50 – 5,81	2,20	1,91	29
<b>Área controle</b>				
Tório	4,19 – 62,42	13,43	9,32	19
Urânio	0,24 – 3,45	1,45	1,27	20

Foi verificada diferença estatisticamente significativa (Kruskal-Wallis  $p < 0,05$ ) entre os dois grupos estudados para o elemento U, indicando que há incremento de urânio nos solos sob cultivo agrícola. As concentrações de Th são bastante superiores às de U, refletindo o material de origem destes solos. Segundo Dickson & Scott (1997, *apud* Souza & Ferreira, 2005), em solos derivados de rochas extrusivas máficas (basalto) as concentrações de U em rocha e solo, variaram, respectivamente, de 0,3 a 1,3 e de 0,6 a 2,5 ppm. Para Th os autores encontraram concentrações de 2,0 a 5,0 (rocha) e de 3,3 a 13 ppm (solo). Souza & Ferreira (2005) demonstraram que tório e urânio tendem a se concentrar em solos oriundos do intemperismo de rochas básicas, mais desenvolvidos e argilosos. Os solos da área estudada são de textura argilosa e classificados como Latossolos e Argissolos, segundo Oliveira (1999). Comparando-se os resultados obtidos com dados nacionais, para solos superficiais, pode-se observar que as concentrações de Th e U são superiores às de outras regiões do Brasil (Pérez *et al.*, 1998), para os dois grupos estudados. Para horizontes diagnósticos subsuperficiais, as amostras localizadas em Araras-SP, segundo Souza & Ferreira (2005) e as amostras para os solos do Paraná (Mineropar, 2005), apresentaram resultados superiores para urânio. Para tório, os resultados dos solos paranaenses apresentaram concentrações semelhantes às encontradas neste estudo. Comparando-se com dados internacionais, as médias das concentrações são inferiores a média global para U e em sua maioria superiores para Th (Tab. 2).

Tabela 2. Comparação entre as médias e amplitude de concentrações de tório e urânio em solos nacionais e internacionais.

Elemento	Amplitude mg kg <sup>-1</sup>	Média mg kg <sup>-1</sup>	Mediana mg kg <sup>-1</sup>	Nº de amostras	Ordem de solos	Fonte de dados
<b>Área agrícola</b>						
Tório	4,60 – 54,37	14,96	9,81	29	Latossolos,	
Urânio	0,50 – 5,81	2,20	1,91	29	Argissolos	
<b>Área controle</b>						
Tório	4,19 – 62,42	13,43	9,32	19	Latossolos,	
Urânio	0,24 – 3,45	1,45	1,27	20	Argissolos	
<b>Dados Nacionais</b>						
Tório	0,003 – 38,08	8,35	-	15	Latossolos e	Pérez <i>et al.</i> , 1998
Urânio	0,001 – 2,11	0,78	-	15	Argissolos (80%)	
Tório	3,46 – 5,25	-	-	2	Latossolos	Souza & Ferreira, 2005
Urânio	3,87 – 11,56	6,99	-	6		
Tório		13,30	-	43	Latossolos,	Mineropar, 2005
Urânio		3,02	-	43	Argissolos, Cambissolos, Neossolos, Nitossolos	
<b>Dados Internacionais</b>						
Tório	8,00 – 15,50	13,20	-	5	-	Kučera, J. <i>et al.</i> , 2007
Urânio	1,80 – 3,20	2,80	-	5	-	
Tório	-	7,94	-	-	-	Kabata-Pendias & Pendias, 1992
Urânio	-	4,97	-	-	-	Yamaguchi, Kawasaki & Iiyama, 2008
Urânio	0,08 – 14,00	-	-	-	-	Sterckeman <i>et al.</i> , 2002
Tório	9,40 – 10,30	9,80	-	-	-	
Urânio	2,45 – 2,33	2,38	-	-	-	

**CONCLUSÃO:** Os solos agrícolas superficiais da bacia do rio Jaguari-SP apresentaram concentrações totais de urânio superiores às concentrações encontradas em amostras de solos superficiais de diferentes regiões do Brasil, mesmo na área controle, mas ainda inferiores às concentrações encontradas em solos internacionais. Para o tório, as concentrações são superiores em relação às brasileiras e às internacionais.

## REFERÊNCIAS

- Babula, P.; Adam, V.; Opatrilova, R.; Zehnalek, J.; Havel, L.; Kizek, R. 2008. Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity: a review. *Environ Chem Lett*, **6**: 189-213.
- Becegato, V.A.; Ferreira, F.J.F.; Machado, W.C.P. 2008. Concentration of radioactive elements (U, Th and K) derived from phosphatic fertilizers in cultivated soils. *Braz. arch. biol. technol.*, **51**:1255-1266.
- Dickson, B.L.; Scott, K.M. 1997. Interpretation of aerial gamma-ray surveys – adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics*, **17**:187–200, *apud* Souza, J.L.de; Ferreira, F.J.F. 2005. Anomalias aerogamaespectrométricas (K, U e Th) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados. *Brazilian Journal of Geophysics*, **23**: 251-274.
- Conceição, F. T.; Bonotto, D. M. 2006. Radionuclides, heavy metals and fluorine incidence at Tapira phosphate rocks, Brazil, and their industrial (by) products. *Environmental Pollution* **139**: 232-243.
- Dudka, S. 1992. The concentrations of some scandium subgroup trace metals in soils of Poland. *Geoderma*, **52**: 279-289.
- Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. 1992. *Trace elements in soils and plants*. London: CRC Press, 365p.
- Kučera, J.; Mizera, J.; Řanda, Z.; Vávrová, M. 2007. Pollution of agricultural crops with lanthanides, thorium and uranium studied by instrumental and radiochemical neutron activation analysis. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **271**: 581-587.
- Mineropar, Minerais do Paraná S.A. 2005 *Geoquímica do solo-Horizonte B: Relatório Final do Projeto*. Curitiba: Mineropar, 859p.
- Oliveira, J.B.de 1999. Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico. Campinas: IAC, 112p.
- Pérez, D.V.; Saldanha, M.F.da C.; Moreira, J.C.; Vaitsman, D.S. 1998. Concentração total de urânio e tório em alguns solos brasileiros. Notas Científicas. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira-PAB*, **33**: s/n., <http://webnotes.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/4b9327fca7facde032564ce004f7a6a/0bf08b3019210cf38325669d00726806?OpenDocument>.
- Souza, J.L.de; Ferreira, F.J.F. 2005. Anomalias aerogamaespectrométricas (K, U e Th) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados. *Brazilian Journal of Geophysics*, **23**: 251-274.
- Sterckeman, T.; Douay, F.; Proix, N.; Fourier, H.; Perdrix, E. 2002. Assessment of the contamination of cultivated soils by eighteen trace elements around smelters in the north of France. *Water, Air and Soil Pollution*, **135**: 173-194.
- Ünak, T.; Yildirim, Y.; Tokucu, G.; Ünak, G.; Öcal, J.; Konyali, D.; Kiliç, S. 2007. Study of effect of uranium and thorium on the growing of pepper (*Capsicum annum* var. *longum*) and cucumber (*Cucumis sativus*) plants. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, **273**: 763-766.
- Yamaguchi, N.; Kawasaki, A.; Iiyama, I. 2008. Distribution of uranium in soil components of agricultural fields after long-term application of phosphate fertilizers. *Science of the Total Environment*, **407**: 1383-1390.