

TÓRIO EM MATERIAL BIOLÓGICO III. TÓRIO EM MINAS GERAIS, BRASIL

Pereira, W.S.^{1,2}, Espindola, C.B.¹, Silva, A. X.³ e Kelecom, A.⁴.

¹ Laboratório de Monitoramento de Efluentes Líquidos - LAMEL, Curso de Mestrado Profissional em Ciências do Meio Ambiente, Universidade Veiga de Almeida - UVA, Rua Ibituruna, 108, Tijuca, Rio de Janeiro, CEP 20.271-020, Brasil.

² Grupo Multidisciplinar de Radioproteção - GMR, Serviço de Radioproteção - SR, Coordenação de Radioproteção, Licenciamento e Salvaguardas - CPRAL.N, Fábrica do Combustível Nuclear - FCN, Indústrias Nucleares do Brasil S.A. - INB, Rodovia Presidente Dutra km 330 – Engenheiro Passos CEP 27.555-000, Resende – RJ – Brasil.

³ - Programa de Engenharia Nuclear/COPPE, Departamento de Engenharia Nuclear/Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Caixa Postal 68.509 - Rio de Janeiro CEP 21941-972, Brasil

⁴ - Laboratório de Radiobiologia e Radiometria Pedro Lopes dos Santos - LARARA-PLS, Grupo de Estudos em Temas Ambientais - GETA, Universidade Federal Fluminense – UFF, C.P. 100436, CEP 24.001-970, Niterói, RJ, Brasil.

RESUMO

A Mina Osamu Utsumi, em fase de descomissionamento, no município de Caldas é uma mina de urânio desativada, caracterizando uma mineração *Naturally Occurring Radioactive Material* (NORM). Entre 2000 e 2009 foram analisadas 63 amostras de 14 materiais biológicos (MB). A concentração de atividade (CA) do ²³²Th foi analisada pelo método do arsenazo. Foram realizadas uma análise estatística descritiva seguida de uma Análise de Variância (ANOVA) e por fim os MB foram agrupados pelo método de Tukey. A ANOVA demonstrou que pelo menos uma CA de um MB era diferente das demais. O teste de Tukey agrupou os MB em três grupos (alta, média e baixa atividade) e cinco subgrupos distintos que são formados quando o teste estatístico não tem poder suficiente para classificar o MB em um grupo pela combinação de sua CA e número de amostras, ficando o MB classificado nos dois grupos. Com maior CA aparece a vegetação e ligando o grupo de alta com a de média CA o pasto. Participam dos três grupos a ração, farinha, silagem e palma (cacto). O peixe une os grupos de média e baixa CA. Já representando o grupo de baixa atividade, encontram-se feijão, milho, mandioca e leite. Estes resultados mostram um quadro radioecológico complexo, indicando que a bioacumulação do ²³²Th, nos MB analisados, é complexa. Os valores de CA, associados ao número de amostras analisadas, não permitiram diferenciar os grupos de alta, média e baixa CA. A metodologia de análise criou grupos e subgrupos, tornando difícil a análise dos resultados. Cabe ressaltar que para o cálculo de dose efetiva comprometida os valores médios anuais dos MB devem ser usados, independente das avaliações radioecológicas, que são utilizadas para o entendimento do comportamento da bioacumulação do radionuclídeo.

1. INTRODUÇÃO

Localizado no planalto de Poços de Caldas, em uma caldeira vulcânica, a mina Osamu Utsumi foi a primeira unidade de mineração e processamento de urânio no Brasil. Em meados da década de 1990, com o fim da viabilidade econômica da exploração do urânio, o Complexo Minerador Industrial de Poços de Caldas (CIPC) foi desativado. Em 2005, as instalações CIPC desativadas, nessa altura já chamadas UTM (Unidade de Tratamento de Minério), operaram 400 toneladas de monazita em um processo de obtenção de terras raras. No ano seguinte, não houve nenhum processo industrial.

Os principais termos fontes de liberação de radionuclídeos e metais pesados do UTM, e que podem causar impacto ambiental, são a mina a céu aberto desativada, as pilhas de estéreis da

mina e as barragens de rejeitos. Assim, um programa de tratamento de efluentes, foi criado com o objetivo de minimizar o impacto ambiental da operação da UTM. Da mesma forma, um programa de monitoração ambiental foi mantido para confirmar que o tratamento de efluentes mitigava de fato os impactos e mantinha os efluentes nos limites permitidos pela legislação brasileira para a sua liberação no ambiente. Essa legislação em vigor à época [1], assim como a atual [2], legisla sobre a dose adicional.

Antes da operação do CIPC, a linha de base da região tinha sido estabelecida por Amaral e colaboradores [3]. A seguir, vários estudos foram realizados na região para avaliar o impacto radiológico ambiental (IRA) durante a operação da planta [4-7]. Outros autores focaram o transporte de radionuclídeos na região durante essa mesma fase [8-9]. Já a gestão da pilha de estéril foi estudada por Fernandes [10] e Fernandes e colaboradores [11], visando o processo de descomissionamento da fábrica.

A fim de realizar a avaliação do IRA, um modelo de dispersão ambiental dos radionuclídeos liberados teve que ser desenvolvido. A dispersão de radionuclídeos liberados pela prática, o processo de incorporação desses radionuclídeos e a sua concentração nos compartimentos ambientais de interesse (água, comida, ar, etc.) devem ser modelados e monitorados para confirmação do modelo. Além disso, um modelo dosimétrico teve que ser desenvolvido também.

O presente trabalho visa avaliar a concentração de atividade do ^{232}Th em materiais biológicos (MB) no entorno da mina de urânio Osamu Utsami.

2. MATERIAL E METODOS

2.1. Área de Estudo

A área de estudo fica localizada no sudoeste do Estado de Minas Gerais, no planalto de Poços de Caldas, como pode ser visto na Figura 01.

2.2. Material Biológico Analisado

O material biológico analisado, no entorno da mina Osamu Utsumi, assim como o número de amostras analisados, pode ser visto na Tabela 01.

2.3. Coleta e Preparação das Amostras

As amostras biológicas foram coletadas no entorno da mina Osamu Utsumi entre os anos de 2000 e 2009, secos até peso constante em temperatura inferior a 90 °C e calcinados. Para calcinação foi aplicado um aumento progressivo da temperatura iniciando o processo à temperatura de 100 °C e aumentando a temperatura em 50 °C a cada quatro horas até atingir 450 °C onde as amostras são mantidas por período não inferior a 24 h e até as cinzas ficarem com coloração clara.

Após calcinação uma alíquota foi retirada e tratada por uma mistura de HNO_3 conc. + H_2O_2 na proporção de 30:1 com aquecimento em placa aquecedora a temperatura inferior a 80 °C até solubilização total do material.

Após solubilização, uma alíquota do material solubilizado foi enviada para análise do urânio natural . As CA's do ^{232}Th são reportadas em termos de peso úmido.

As amostras biológicas foram processadas no Laboratório Ambiental da Unidade de Tratamento de Minério (LA-UTM), pertencentes às Indústrias Nucleares do Brasil, no município de Caldas, Minas Gerais.

Tabela 1. Material biológico e quantidade de amostras analisadas.

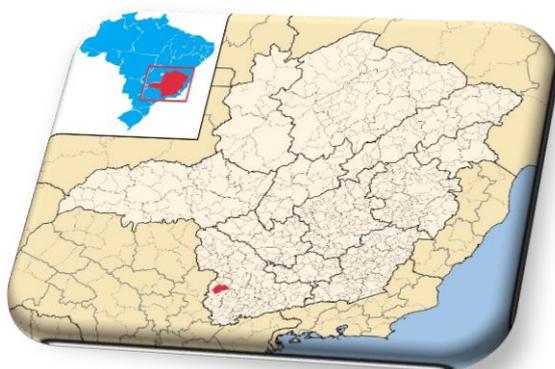


Figura 1. Localização da área de estudo no Brasil e no Estado de Minas Gerais.

Material biológico	N
Farinha	17
Feijão	15
Leite	34
Mandioca	34
Milho	21
Palma	8
Pasto	23
Peixe	8
Ração	2
Silagem	2
Vegetação	28

2.4. Análise do ^{232}Th

O ^{232}Th foi analisado usando-se o método proposto por Savvin e colaboradores [12], que consiste em uma extração por solvente orgânico e posterior espectrofotometria. As análises foram realizadas no LA-UTM.

2.5. Desenho Amostral e Preparação dos Dados

Os dados foram organizados para formar uma matriz em que as colunas representam o material biológico e as linhas representam as repetições das amostragens. Os números de repetições das amostragens de cada material biológico foram variáveis.

2.6. Análise Estatística

2.6.1. Estatística Descritiva

Visando a caracterização radioecológica da área foi realizada uma estatística descritiva contendo dados de média, desvio padrão, número de amostras [13-15], usando o pacote estatístico Excel e minitab em todas as análises.

2.6.2. Análise de Variância Monofatorial (ANOVA)

Após as estatísticas descritivas foi realizada uma ANOVA [13-17] para comparar as CA's do material biológico analisado. O valor de rejeição de P (α) foi de 5% (0,05). As hipóteses testadas foram:

H_0 = Não existe diferenças entre as CA's médias no material biológico

H_1 = existe pelo menos um material biológico com a CA média diferente

2.6.3. Teste de “Tukey” para Comparação das Médias

Após a ANOVA as médias foram agrupadas usando-se o teste de “Tukey” [15-17].

3. RESULTADOS

A análise descritiva dos resultados pode ser vista na Tabela 02. Nela observa-se que os valores das CA variaram de 0,0011 a 1,0914 Bq·kg⁻¹ numa escala de três ordens de grandeza, mostrando uma grande dispersão dos dados.

Tabela 02 – Estatísticas descritivas do ²³²Th no material biológico analisados na região da mina Osamu Utsumi.

Material biológico	Média (Bq·kg ⁻¹)	Desvio padrão	Número de amostras
Farinha	0,1213	0,0510	17
Feijão	0,0347	0,0230	15
Leite	0,0223	0,0339	34
Mandioca	0,0236	0,0191	34
Milho	0,0338	0,0432	21
Palma	0,0681	0,0681	8
Pasto	0,1794	0,1546	23
Peixe	0,0387	0,0520	8
Ração	0,1304	0,1034	2
Silagem	0,0884	0,0041	2
Vegetação	0,2151	0,2915	28

A análise de variância resultou em um teste “F” de 6,36. Esse valor associado a um valor de “P” menor que 0,01 (1 %), aceitando-se H_1 , rejeitando-se H_0 , apontando a existência de pelo menos MB com concentrações diferentes das demais.

O teste de Tukey agrupou os MB em três grupos principais (A-C) segundo as concentrações de atividade (alta, média e baixa) e cinco grupos secundários (ver Tabela 03). Essa formação de subgrupos ocorre quando o teste estatístico não tem poder suficiente para classificar o MB em um grupo independente pela combinação da sua CA, medida de dispersão e número de amostras. Quando ocorre esse fato o MB fica classificado em dois ou mais grupos.

Com maior CA aparece a vegetação (A) e ligando o grupo de alta com a de média CA o pasto (AB). Participam dos três grupos a ração, farinha, silagem e palma (cacto). O peixe une os grupos de média e baixa CA (BC). Já representando o grupo de baixa atividade (C), encontram-

se feijão, milho, mandioca e leite. Estes resultados mostram um quadro radioecológico complexo, indicando que a bioacumulação do ^{232}Th , nos MB analisados, é complexa.

Os valores de CA, associados ao número de amostras analisadas, não permitiram diferenciar os grupos de alta, média e baixa CA, criando um gradiente de concentrações que torna difícil a compreensão do comportamento radioecológico do tório nos MB na região da mina Osamu Utsumi.

Tabela 03 – Resultado do teste de “Tukey” para o agrupamento das médias dos materiais biológicos analisados na região da mina Osamu Utsumi

Material biológico	Media (Bq·kg ⁻¹)	Número de amostras	Agrupamento		
Vegetação	0,2151	28	A		
Pasto	0,1794	23	A	B	
Ração	0,1304	2	A	B	C
Farinha	0,1213	17	A	B	C
Silagem	0,0883	2	A	B	C
Palma	0,0681	8	A	B	C
Peixe	0,0387	8		B	C
Feijão	0,0347	15			C
Milho	0,0337	21			C
Mandioca	0,0236	34			C
Leite	0,0223	34			C

4. CONCLUSÕES

O método de análise do tório foi considerado satisfatório, não existindo amostras com valor de CA abaixo do limite de detecção.

Os materiais biológicos são considerados com CA diferentes, formando três grupos principais, como a seguir:

- 1) CA maior
 - a. Vegetação, pasto, ração, farinha, silagem e palma.
- 2) CA médio
 - a. Pasto, ração, farinha, silagem, palma e peixe.
- 3) CA menor
 - a. Ração, farinha, silagem, palma, peixe, feijão, milho, mandioca e leite.

A existência de um gradiente entre os grupos ficou clara com alguns materiais biológicos em dois e até três grupos de CA. Esse fato aponta um comportamento radioecológico do ^{232}Th nos MB na região complexo, com 5 grupos de CA. Um grupo de CA alta, outro de média, outro de baixa e subgrupos que unem alta e média CA e alta, média e baixa e por fim média e baixa CA. Esse comportamento indica transições entre grupos de difícil identificação, não tendo clareza suficiente para definir os grupos principais e, por isso, levando à criação de grupos intermediários.

Há então necessidade de se usar diferentes ferramentas estatísticas que poderão, ou não, corroborar essa complexidade radioecológica ou diferenciar os grupos via outros critérios. Um próximo passo pode ser a utilização de análise estatística multivariada.

5. REFERÊNCIAS

1. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, *Norma CNEN-NE-3.01, Diretrizes Básicas de Radioproteção*, 121 pp. (1988).
2. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, *Norma CNEN-NN-3.01, Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica*, 34 pp. (2005).
3. Amaral, E.C.S., Azevedo, H.L.P. and Mendonca, A.H. Pre-operational environment survey at the uranium mine and mill site, Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil. *Science of the Total Environment* **42**, pp 257-266. (1985).
4. Fernandes, H.M., Veiga, L.H.S., Franklin, M.R., Prado, V.C.S. and Taddei, J.F. Environmental impact assessment of uranium mining and milling facilities: a study case at the Poços de Caldas uranium mining and milling site, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration*, **52**, pp. 161-173, (1994).
5. Amaral, E.C.S. Modificação da exposição radiação natural devido a atividades agrícolas e industriais numa área de radioatividade natural elevada no Brasil. Ph.D. thesis. Instituto de Biofísica, UFRJ, 130 pp. (in Portuguese). (1992).
6. Amaral, E.C.S., Godoy, J.M., Rochedo, E.R.R., Vasconcellos, L.M.H. and Pires do Rio, M.A. The environmental impact of the uranium industry: Is the waste rock a significant contributor. *Radiation Protection Dosimetry*, **22**, pp. 165-171. (1988).
7. Amaral, E.C.S., Rochedo, E.R.R., Paretzke, H.G. and Penna Franca, E. The radiological impact of the agricultural activities in an area of high natural radioactivity. *Radiation Protection Dosimetry*, **45**, pp 289-292. (1993).
8. Azevedo, H. L. P., Amaral, E. C. S. and Godoy, J. M. Evaluation of the ^{226}Ra transport by river sediments surrounding the brazilian uranium mining and milling facilities. *Environmental Pollution*, **51**, pp 259-268. (1988).
9. Barcellos, C., Amaral, E. & Rochedo, E. Radionuclide transport by Pocos de Caldas Plateau rivers, Brazil. *Environ. Technol.*, **11**, pp 533-40. (1990).
10. Fernandes, H.M., Franklin, M.R., Veiga, L.H.S., Freitas, P. and Gomiero, L.A. Management of Uranium Mill Tailings: Geochemical Processes and Radiological Risk Assessment. *Journal of Environmental Radioactivity*, **30**(1), pp 69-95. (1996).
11. Fernandes, H.M. Subsídios ao Descomissionamento da Primeira Indústria de mineração e beneficiamento de urânio no Brasil. O caso do Complexo Mineiro Industrial de Pocos de Caldas - Niterói. D.Sc. thesis, Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense. 250 pp (in Portuguese). (1997).
12. Savvin, S.B. Analytical applications of arsenazo III—II: Determination of thorium, uranium, protactinium, neptunium, hafnium and scandium, *Talanta*, **v.11**, n^o1, pp 1-6. (1964).
13. Ceteno, A. J., “Curso de Estatística Aplicada a Biologia,” Universidade Federal de Goiás, Goiânia, p. 188, (1999).
14. Arango, H. G., “Bioestatística: Teórica e Computacional Com Bancos de Dados Reais em Disco,” 3rd Edition, Ed. Guanabara & Koogan, pp. 438, (2009).
15. Ferreira, D. F., “Estatística Multivariada,” Editora da UFLA, Lavras, pp 650 (2008).
16. Valentin, J. L. “Ecologia Numérica. Uma Introdução a Análise Multivariada de Dados Ecológicos,” Ed. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 117, (2000).

17. Gotelli, N. J. & Ellison, A. M. "A Primer of Ecological Statistics," Sinauer Associates, Sunderland, Pp. 510, (2004).