

URÂNIO EM MATERIAL BIOLÓGICO III. URÂNIO 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 - 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 é uma mina de urânio desativada, em fase de descomissionamento, situada no município de Caldas, sendo uma mineração NORM (*Naturally Occurring Radioactive Material*). No período de 2000 a 2009, foram analisadas 63 amostras de 14 materiais biológicos (MB) para avaliação da presença de urânio natural (*i.e.* U_{nat} - urânio nas proporções isotópicas naturais). As concentrações de atividade (CA) do urânio foram determinadas pelo método do arsenazo. Os dados obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva e, a seguir, à Análise de Variância (ANOVA). Por fim, os MB foram agrupados pelo método de Tukey. Os valores de CA variaram de 0,0254 a 0,240 Bq.kg⁻¹, apresentando uma ordem de grandeza de amplitude. A ANOVA demonstrou diferenças entre as CA dos MB analisados. O método de Tukey indicou o mesmo resultado, reunindo os materiais em três grupos. Um de maior CA composto de peixe, chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve e capim; outro grupo de MB com menor CA, representado por chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve, capim, leite, cenoura, feijão; e um terceiro grupo composto por chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve e capim que estão presentes tanto nos grupos de maior quanto de menor CA, podendo ser considerado, do ponto de vista radioecológico como um grupo de atividades intermediárias. Neste caso o peixe ficou com a maior CA; leite, cenoura e feijão com as menores CA, e finalmente chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve e capim com as CA intermediárias. Esses dados apontam a necessidade de uso de outras ferramentas estatísticas para avaliação, como por exemplo, as análises multivariadas, como a análise de componentes principais (PCA). Concluindo, do ponto de vista radioecológico a existência de três grupos aponta para um comportamento radioecológico complexo.

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 chamada 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 CIPC são a mina a céu aberto desativada, as pilhas de estéreis da mina e as barragens de rejeitos. Podendo causar impacto ambiental. 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 de fato mitigava os impactos e mantinha os efluentes nos limites permitidos pela legislação brasileira visando a sua liberação para o 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, 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 (CA) do U_{nat} (*i.e.* os radionuclídeo ^{238}U , ^{234}U e ^{235}U em suas proporções naturais) 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

Os materiais biológicos analisados, assim como o número de amostras analisadas, podem ser encontrados na Tabela 01.

2.3. Coleta e Preparação das Amostras

As amostras biológicas foram coletadas no entorno da mina Cachoeira entre os anos de 2000 e 2009, secos até peso constante em temperatura inferior a 90 °C e calcinados. Para calcinação foi usado um aumento progressivo da temperatura onde o processo foi iniciado com a temperatura de 100 °C, aumentando a temperatura em 50 °C a cada quatro horas até atingir 450

°C onde 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 com uma mistura de HNO₃ conc. + H₂O₂ em proporção de 30:1 com aquecimento em placa aquecedora a temperatura inferior a 80 °C até solubilização total do material.

Após solubilização do material uma alíquota do solubilizado do mesmo foi enviada para análise do urânio natural. E as CA do U_{nat} são reportadas em termos de peso úmido.

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

Tabela 01 – Material biológico e quantidade de amostras analisadas.



Figura 01 – Localização da área de estudo no Brasil e no Estado De Minas gerais.

Material biológico	N
Alface	7
Batata	5
Beterraba	1
Capim	4
Cenoura	2
Chicória	2
Couve	4
Feijão	1
Leite	11
Peixe	23
Pêssego	1
Repolho	1
Escarola	1
Silagem	11

2.4. Análise do U_{nat}

O U_{nat} 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 - 14].

2.6.2. Análise de Variância Monofatorial (ANOVA)

Após as estatísticas descritivas foi realizada uma ANOVA [13 - 17] para comparar entre si as CA 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 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 variaram numa ordem de grandeza de 0,025 à 0,25 Bq·kg⁻¹, mostrando uma grande dispersão dos dados.

Tabela 02 – Estatísticas descritivas do U_{nat} no material biológico analisados na região da mina Osamu Utsumi

Material biológico	Média (Bq·kg ⁻¹)	Desvio padrão	N
Alface	0,0820	0,0457	7
Batata	0,0946	0,0289	5
Beterraba	0,0929	**	1
Capim	0,0594	0,0323	4
Cenoura	0,0280	0,0396	2
Chicória	0,2069	0,1346	2
Couve	0,0679	0,0582	4
Escarola	0,1394	**	1
Feijão	0,0250	**	1
Leite	0,0502	0,0543	11
Peixe	0,2403	0,2106	23
Pêssego	0,0906	**	1
Repolho	0,0906	**	1
Silagem	0,0953	0,0543	11

A análise de variância resultou em um teste “f” de 2,02 associado a um valor de “P” menor que 0,05 (5 %), aceitando-se H_1 , rejeitando-se H_0 , apontando a existência de pelo menos MB com concentrações de atividade diferentes das demais. Completando as análises, o teste de “Tukey”

demonstrou a existência de três grupos, como pode ser visto na Tabela 03. Um com maior CA, outro com CA intermediária e por fim um outro grupo com as mais baixas CA.

O grupo de maior CA é composto por peixe, chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve e capim; outro grupo de MB possui menores CA, representado por chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve, capim, leite, cenoura, feijão; e um terceiro grupo composto por chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve e capim que estão presente também nos grupos de maior e menor CA;

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

Material biológico	Média (Bq·kg ⁻¹)	Número de amostras	Grupos	
Peixe	0,2403	23	A	
Chicória	0,2069	2	A	B
Escarola	0,1394	1	A	B
Silagem	0,0953	11	A	B
Batata	0,0946	5	A	B
Beterraba	0,0929	1	A	B
Pêssego	0,0906	1	A	B
Repolho	0,0906	1	A	B
Alface	0,0820	7	A	B
Couve	0,0679	4	A	B
Capim	0,0594	4	A	B
Leite	0,0502	11		B
Cenoura	0,0280	2		B
Feijão	0,0250	1		B

4. CONCLUSÕES

O método de análise do urânio 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, como a seguir:

- 1) CA alto
 - a. peixe, chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve e capim
- 2) CA médio
 - a. chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve e capim
- 3) CA menor
 - a. chicória, escarola, silagem, batata, beterraba, pêssego, repolho, alface, couve, capim, leite, cenoura, feijão

Logo o comportamento radioecológico do U_{nat} na região é complexo, com três grupos distintos de CA em MB. Existem, ainda, MB que estão presentes em dois e até três grupos de CA. Esse comportamento indica transições entre grupos difíceis de se identificar, não tendo clareza suficiente para definir grupos homogêneos.

Como previsões futuras aponta-se a necessidade de se melhorar a análise estatística, aplicando avaliação estatística multivariada como ferramenta de segregação dos grupos de forma mais clara.

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 Mineral 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°1, 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).