

URÂNIO EM MATERIAL BIOLÓGICO I: URÂNIO NA BAHIA, BRASIL

Pereira, W. S.^{1,2}, Kelecom, A.³, Espindola, C. B.¹, e Silva, A. X.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, Rodovia Presidente Dutra km 330 – Engenheiro Passos CEP 27.555-000, Resende – RJ – Brasil.

³ 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.

⁴ 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.

RESUMO

A mina Cachoeira é uma mina de urânio em atividade, localizada em Caetité, no sudoeste baiano, numa região de *Naturally Occurring Radioactive Material* – NORM. Durante o período de 2000 a 2009 foram analisadas as concentrações de atividade (CA) do Urânio natural (U_{nat} , *i.e.* urânio nas proporções isotópicas naturais) em 12 materiais biológicos, totalizando 171 amostras. Foram analisados: caroço de algodão, farinha de mandioca, feijão, leite, mandioca e milho. Analisou-se ainda palma (cacto), pasto, peixe, ração animal (milho), silagem e vegetação (folhas de diversas árvores). As CA do U_{nat} foram determinadas pelo método do arsenazo que consiste na extração com solvente da fase aquosa e posterior espectrofotometria. Os dados foram analisados por estatística descritiva e análise de variância monofatorial (ANOVA), sendo a seguir agrupados pelo método de "Tukey". O número de amostras analisadas variou de uma a 32 amostras. Embora as CA do urânio variassem em uma ordem de grandeza, de 0,012 a 0,121 Bq·kg⁻¹, a ANOVA não mostrou diferença entre as concentrações de atividades dos materiais biológicos analisados e a mesma conclusão resultou do teste de "Tukey". Logo, de um ponto de vista radioecológico o quadro é bastante simples, podendo-se afirmar que todos os materiais biológicos analisados possuem concentrações de atividades estatisticamente idênticas. Porém, para o cálculo de dose, associados a modelos de estimativa de dose conservadores, devem ser utilizados os valores individuais de concentração de atividade.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui a sexta maior reserva de urânio do mundo, tendo prospectado apenas 30% do território nacional, tendo sido esta prospecção encerrada no ano de 1991[1].

Essas reservas se distribuem entre província uranífera de Lagoa Real/Caetité - BA com 100.700 t, Santa Quitéria - CE com 142.500 t e outras (Poços de Caldas - MG; Figueira - PR, Quadrilátero Ferrífero - MG, Amorinópolis - GO, Campos Belos - GO e Espinharas - PB, entre outras anomalias) com 66.000 t, perfazendo um total de 309.200 t de U₃O₈ equivalentes entre as reservas medidas e inferidas [1].

¹ E-mail do autor principal: pereiraws@gmail.com

Atualmente a mina Cachoeira, anomalia 13, da província uranífera de Lagoa Real/Caetité, no Estado da Bahia, está em exploração comercial, como mina a céu aberto, tendo o início das atividades minerárias ocorridos no ano de 2000 [2].

Esta província é considerada a maior província monominerálica do Brasil e é composta de 34 anomalias uraníferas distribuídas por uma região de 1.200 km². Das 34 anomalias, 12 possuem concentrações e quantidades de urânio que as transformam em jazidas [2].

A extração de urânio ocorre em mina a céu aberto associada a uma planta de beneficiamento físico, que realiza a cominuição do material, por britagem e processamento químico onde ocorre a extração ácida, com H₂SO₄, em pilhas estáticas e extração do lixiviado ácido por solvente orgânico e reextração em solução salina [3].

Existe o planejamento de transformar a mina Cachoeira de exploração a céu aberto em mina subterrânea e a abertura de outra mina a céu aberto, a anomalia 9, jazida do Engenho, dobrando a capacidade de produção de minério, com respectivo aumento da capacidade de processamento da unidade de beneficiamento físico e químico da Unidade de Concentrado de Urânio (URA) de 400 t·a⁻¹ para 800 t·a⁻¹, necessitando para tanto de licenciamento ambiental e radiológico.

Na mina Cachoeira, anomalia 13, as reservas são estimadas em 20.460 t de U₃O₈ equivalente, com concentrações médias de 3.500 ppm e na jazida do Engenho são estimadas em 27.630, com concentrações médias de 1.950 ppm [2].

Esta área por conter diversas anomalias uraníferas pode ser considerada uma região de *Naturally Occurring Radioactive Material* – NORM, áreas onde os radionuclídeos das séries naturais se encontram com concentrações de atividades (CA) maiores que nas demais regiões da terra.

Visando contribuir para o conhecimento radioecológico e de radioproteção ambiental da região, este trabalho visa avaliar as concentrações de atividade (C.A.) do urânio no material biológico no entorno da anomalia 13 em atividade.

2. MATERIAIS E METODOS

2.1. Área de Estudo

A mina Cachoeira está localizada na zona rural da cidade de Caetité, sudoeste do Estado da Bahia, ver Figura 01. É uma região semiárida com média de precipitação anual de 860 mm. A mina contém minério de urânio em concentrações médias de 3.500 ppm [2 e 4].

A região é ecologicamente considerada um ecótono entre cerrado e caatinga, com zonas de ocupação humana, com pequenas fazendas com plantações de subsistência [5]

2.2. Material Biológico Analisado

O material biológico analisado, 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 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 e 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.

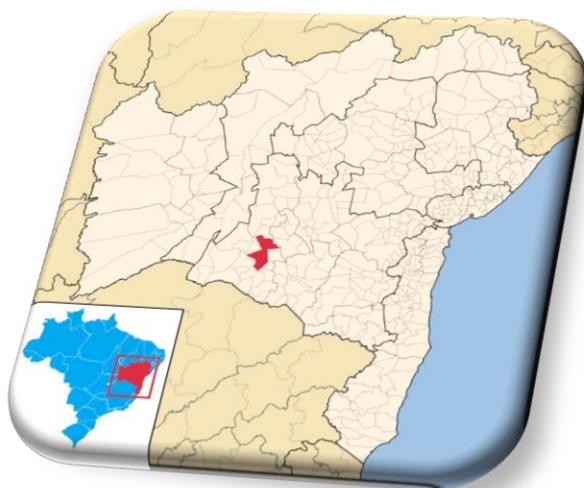


Figura 01 – Localização da área de estudo no Brasil e no Estado da Bahia.

Tabela 01 – Material biológico e quantidade de amostras analisadas.

Material biológico	N
Algodão	1
Farinha de mandioca	15
Feijão	12
Leite	32
Mandioca	32
Milho	18
Palma	8
Pasto	24
Peixe	9
Ração	2
Silagem	2
Vegetação	16

Após calcinação uma alíquota foi retirada e usando-se uma mistura de HNO₃ (conc.) + H₂O₂ 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. 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 às Indústrias Nucleares do Brasil, no município de Caldas, Minas Gerais.

2.4. Análise do U_{nat}

O U_{nat} foi analisado usando-se o método proposto por Savvin e colaboradores [6], 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, erro padrão, desvio padrão, variância, número de amostras [7 -8].

2.6.2. Análise de Variância Monofatorial (ANOVA)

Após as estatísticas descritivas foi realizada uma ANOVA [7- 8] para comparar 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” [9 e 11].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Sumário dos Dados

A estatística descritiva do U_{nat} pode ser vista na Tabela 02 e a representação gráfica das médias pode ser vista na Figura 02.

Tabela 02 – Estatísticas descritivas do U_{nat} analisados na região da mina Cachoeira, Bahia.

Material biológico	Média (Bq·kg ⁻¹)	Desvio padrão	Número de amostras
Algodão	0,0118	**	1
Farinha	0,1049	0,0767	15
Feijão	0,0590	0,0511	12
Leite	0,0556	0,0513	32
Mandioca	0,1046	0,1522	32
Milho	0,0747	0,0899	18
Palma	0,5740	0,0477	8
Pasto	0,0770	0,0526	24
Peixe	0,0701	0,0643	9
Ração	0,0410	0,0218	2
Silagem	0,1042	0,0218	2
Vegetação	0,1212	0,1642	16

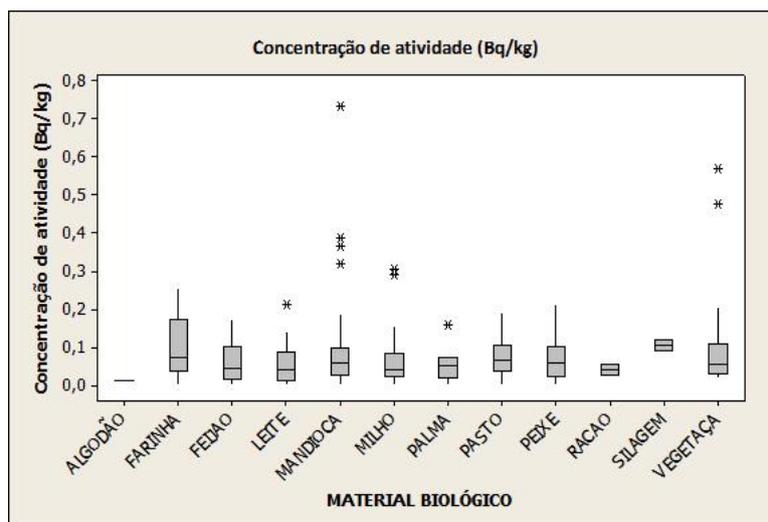


Figura 02 – Média da concentração de atividade dos materiais biológicos analisados na região da mina Cachoeira, Bahia.

3.2. ANOVA

A ANOVA resultou em um valor de “P” associado ao valor do teste “F” foi de 0,571, superior ao valor de rejeição do teste (α) de 0,05 (5 %). Logo, o teste “F” aponta a rejeição de H_1 , aceitando-se H_0 . Neste caso, aceita-se que, estatisticamente, não exista diferenças significativas entre as médias.

3.3. Teste de “Tukey” para Comparação das Médias

O teste de “Tukey” corroborou a ANOVA, como pode ser visto na Tabela 03. Mesmo as médias das CA variando uma ordem de grandeza (de 0,011 a 0,121 $Bq \cdot kg^{-1}$), as mesmas não apresentaram diferenças estatisticamente diferentes, sendo todas consideradas com mesma CA média.

Tabela 03 – Teste de “Tukey” para comparação das médias

Material biológico	N	Media ($Bq \cdot kg^{-1}$)	Agrupamento ¹
Vegetação	16	0,121	A
Farinha	15	0,104	A
Mandioca	32	0,104	A
Silagem	2	0,104	A
Pasto	24	0,076	A
Milho	18	0,074	A
Peixe	9	0,070	A
Feijao	12	0,059	A
Palma	8	0,057	A
Leite	32	0,055	A
Ração	2	0,041	A
Algodão	1	0,011	A

1 – As médias sobre a mesma letra não possuem diferenças estatísticas.

4. CONCLUSÕES

Com base na análise dos dados pode-se concluir que não existem diferenças significativas entre as CA dos materiais biológicos analisados. Neste caso a radioecologia do U_{nat} em material biológico é bastante simples, não havendo diferenças significativas entre eles.

Cabe resaltar que, do ponto de vista da radioproteção ambiental, o quadro pode ser outro. Mesmo estatisticamente não existindo diferenças entre as médias, para avaliação da dose da população exposta que usa esse material se faz necessário o uso dos valores médios reais, pois a taxa de consumo de cada material biológico é diferente.

Essas diferenças, de CA e taxa de consumo associadas, pode resultar em uma ampliação das diferenças da importância de cada MB, podendo, neste caso tornarem diferentes as doses efetivas comprometidas devidas à ingestão desses materiais.

5. REFERÊNCIAS

- 1) Silva, K.M.; Menezes, R.M.; Mezrahi, A. Comparative assessment of the licensing processes of uranium mining and milling facilities in Brazil. International Atomic Energy Agency, Vienna (Austria), 315 p, International symposium on the uranium production cycle and the environment; Vienna (Austria); 2-6 Oct 2000; IAEA-SM--362/52. 475-484 pp, (2000)
- 2) Matos, E. C. Uranium Concentrate Production at Caetité, BA, Brazil. Symposium on Uranium Production and Raw Materials for the Nuclear Fuel Cycle - Supply and Demand, Economics, the Environment and Energy Security (IAEA-CN-128/41). 133-137 pp, (2000)
- 3) Fernandes, H. M., Gomieiro, L. A., Franklin, M, Pereira, W. S. e Lamego, F. A comparative management performance assessment of two uranium production units in Brazil. Symposium on Uranium Production and Raw Materials for the Nuclear Fuel Cycle - Supply and Demand, Economics, the Environment and Energy Security (IAEA-CN-128/50). 159-162 pp, (2000).
- 4) Lamego, Fernando; Santos, Robson Rodger; Silva, L. Ferreira da; Fernandes, Horst Monken. Water management of the uranium production facility in Brazil (Caetite, Ba): potential impacts over groundwater quality. IRPA 12: 12. International congress of the International Radiation Protection Association (IRPA): Strengthening radiation protection worldwide; Buenos Aires (Argentina); 19-24 Oct 2008. 10 pp, (2008).
- 5) Pereira, W. S.; Py Júnior, Delcy de Azevedo. Monitoração ambiental da Unidade de Concentrado de Urânio (URA) em Caetité, BA. Br. Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento, Brasil, v. 4, n.3/1, p. 677-680, (2002).
- 6) Savvin, S. B., "Analytical Applications of Arsenazo III—II: Determination of Thorium, Uranium, Protactinium, Neptunium, Hafnium and Scandium," *Talanta*, **Vol. 11**, No. 1, pp. 1-6. (1964) DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0039-9140\(64\)80003-5](http://dx.doi.org/10.1016/0039-9140(64)80003-5).
- 7) Ceteno, A. J., "Curso de Estatística Aplicada a Biologia," Universidade Federal de Goiás, Goiânia, p. 188, (1999).
- 8) Arango, H. G., "Bioestatística: Teórica e Computacional Com Bancos de Dados Reais em Disco," 3rd Edition, Ed. Guanabara & Koogan, pp. 438, (2009).
- 9) Ferreira, D. F., "Estatística Multivariada," Editora da UFLA, Lavras, pp 650 (2008).
- 10) Valentin, J. L. "Ecologia Numérica. Uma Introdução a Análise Multivariada de Dados Ecológicos," Ed. Interciência, Rio de Janeiro, pp. 117, (2000).

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