

ISSN 2236-0476

## **LIBERAÇÃO DE URÂNIO PARA O RIBEIRÃO DAS ANTAS PELA UNIDADE DE TRATAMENTO DE MINÉRIO EM CALDAS, MG, BRASIL: ANÁLISE DE 11 ANOS DE LIBERAÇÃO.**

**Juliana R. de S. Pereira<sup>1</sup> e Wagner de S. Pereira<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Aluna do Bacharelado interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas.

<sup>2</sup>Grupo Multidisciplinar de Radioproteção (GMR), Serviço de Radioproteção, Unidade de Tratamento de Minério, Indústrias Nucleares do Brasil

### **RESUMO**

Este estudo visa avaliar o comportamento da liberação  $U_{nat}$  (Isótopos de urânio na proporção que se apresentam na natureza) a partir da liberação da água tratada pela Unidade de Tratamento de Minério (UTM) em Caldas, MG, no Ribeirão das Antas, durante os anos de 1999 a 2009. Durante esse período a Unidade não apresentou atividade industrial, exceto entre os anos de 2004 e 2005. Nesse período, a UTM operou 400 toneladas de monazita em um processo de obtenção de terras raras. As águas de efluentes foram analisadas uma vez por semana para o ponto 014. O  $U_{nat}$  foi analisado por espectrofotometria. As frações analisadas foram as solúvel (passa por um filtro de 0,45  $\mu$ m) e particulado (retido pelo filtro de 0,45  $\mu$ m). As análises estatísticas realizadas foram o teste “z” e o índice de correlação  $r^2$  de Pearson. Os valores da fração solúvel foi sistematicamente inferior ao da fração particulada e não foi registrada correlação entre as frações solúvel e particulada que fossem estatisticamente significativa, no entanto a fração particulada e total (soma das frações solúvel e particulada) foram fortemente correlacionadas.

### **1.INTRODUÇÃO**

O Complexo Industrial de Poços de Caldas (CIPC) foi a primeira unidade de mineração e processamento de urânio no Brasil. Ele está localizado no município de Caldas, planalto de Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil. Em meados da década de 1980, com o fim da viabilidade econômica da exploração do urânio, o CIPC foi desativado.

No período de 2004 a 2005, as instalações CIPC desativadas, nessa altura, já chamada Unidade de Tratamento de Minério (UTM), operou 400 toneladas de monazita em um processo de obtenção de terras raras. Nos outros anos não houve nenhum processo industrial. A mina a céu aberto desativada, as pilhas de estéreis da mina e a barragem de rejeito radioativo são fontes de metais pesados e radionuclídeos, podendo causar impacto ambiental. Assim, um programa de tratamento de efluentes, foi criado com o objetivo de minimizar o impacto ambiental da operação 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 para a sua liberação para o ambiente.

Vários estudos foram realizados na região para avaliar o impacto radiológico ambiental (IRA) durante a operação da planta (Fernades et al, 1994; Amaral, 1992; Amaral et al, 1988 e

ISSN 2236-0476

Amaral et al, 1993). Outros autores focavam o transporte de radionuclídeos na região durante a mesma fase (Azevedo et al, 1988; Barcelos et al, 1990).

Antes da operação do CIPC, a linha de base da região foi estabelecida por Amaral e colaboradores (Amaral et al, 1985). A legislação brasileira em vigor naquela época (CNEN, 1988) legislava sobre a dose adicional, assim como a atual (CNEN, 2005). A gestão da pilha de estéril foi estudada por (Fernandes et al, 1996; Fernandes, 1997), visando o processo de descomissionamento da fábrica.

O presente trabalho visa avaliar a liberação de urânio natural pela Unidade de tratamento de Minério no período de 11 anos, cobrindo os anos de 1999 a 2009, nas suas fases solúvel, particulado e total (soma das frações solúvel e particulada).

## 2.METODOLOGIA

A área de estudo fica localizada em cidade de Caldas, no estado de Minas Gerais, como pode ser visto na figura 01 abaixo, detalhes do ponto de liberação analisado ponto 014 pode ser vista na figura 02.



Figura 01 – Localização da UTM no Brasil.



Figura 02 – Localização do ponto 014, ponto de interface entre a UTM e o meio ambiente analisado.

As amostras foram coletadas no ponto 014, na saída da Bacia das Águas Claras, ver figura 02, semanalmente. A água foi filtrada em filtro de porosidade de  $0,45 \mu\text{m}$ . A fração que passou pelo filtro foi considerada fração solúvel e a retida no filtro foi considerada como fração particulada. Em ambas as frações foram analisadas as concentrações de atividade do U-nat, em  $\text{Bq l}^{-1}$ . a fração total (soma das duas frações), é utilizada na avaliação de doses do entorno da instalação.

O método de análise do urânio utilizado foi a espectrometria com arsenazo, seg. (Savvin, 1964). Os dados foram organizados por data e fração analisada. Foi realizada uma estatística descritiva dos dados, avaliando: média, desvio padrão e número de análises realizadas.

Foi realizada uma série temporal e foi estabelecido uma linha de tendência dos dados dessa série.

Foi realizado um teste Z de comparações de médias entre as frações solúveis e particuladas. As hipóteses testadas foram:

$$H_0 \text{ não existe diferenças entre as médias analisadas}$$

ISSN 2236-0476

***H<sub>1</sub> existe diferença entre as médias calculadas***

Na sequência, a análise de correlação entre as frações foi estabelecida através do teste  $r^2$  de Pearson.

Todas as análises estatísticas realizadas foram feitas utilizando o pacote estatístico do excel, versão 2010, para ambiente Windows.

**3.RESULTADOS**

Os resultados das monitorações semanais no período de 11 anos estão condensados na Tabela 01, abaixo.

Tabela 01 – Resumo estatístico dos dados de liberação de urânio natural no ponto 014 de interface da UTM com o meio ambiente.

	Fração solúvel (Bq l <sup>-1</sup> )	Fração particulada (Bq l <sup>-1</sup> )	Fração total (Bq l <sup>-1</sup> )
Média	0,062	0,165	0,227
Desvio padrão	0,039	0,148	0,168
Número de amostras	548	548	548

O teste Z realizado resultou em um valor de Z calculado ( $Z_{calc}$ ) de, em módulo, 16,263, superior ao Z crítico uni-caudal ( $Z_{crit}$ ) de 1,645, com um valor de P associado de 0 (zero), resultando em uma diferença estatisticamente relevante entre as médias das frações solúveis e particuladas, sendo a fração particulada considerada estatisticamente superior a fração solúvel.

Nesta série observamos dois períodos de crescimentos que destoam da série. A primeira vai de fevereiro a agosto de 2005, enquanto a segunda cobre o período de janeiro a setembro de 2007, cobrindo praticamente a mesma época do ano, em ambos os casos, como pode ser visto na figura 03.

Quando decomparamos a fração total em solúvel e particulado, vemos que nos mesmos períodos da fração total ocorreu um acréscimo da fração particulada ficando a fração solúvel praticamente inalterada, como pode ser vista na figura 04.



ISSN 2236-0476

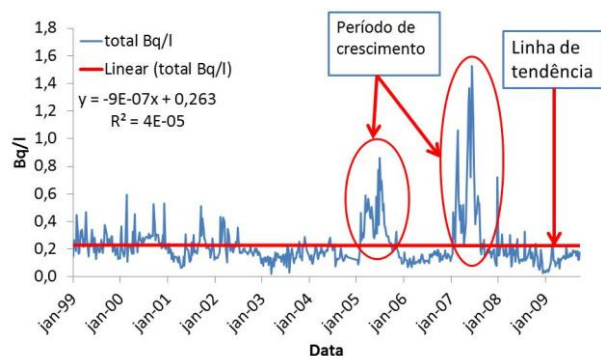


Figura 03 – Série temporal das análises de amostras de urânio natural em água no ponto 014 da UTM na fração total e sua linha de tendência e equação de ajuste da linha de tendência.

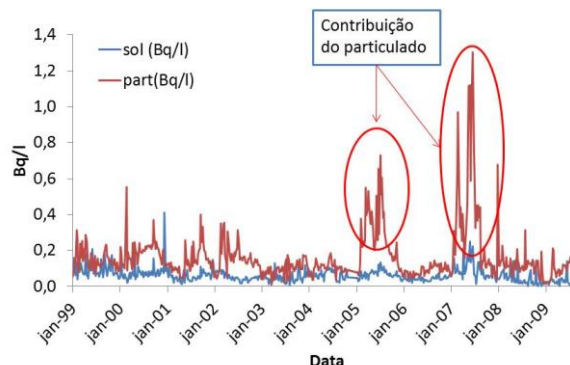


Figura 04 - Série temporal das análises de amostras de urânio natural em água no ponto 014 da UTM nas frações particulada e solúvel.

Com a aparente correlação entre particulado e total foi analisado a correlação entre as frações solúvel, particulado e total pelo coeficiente de correlação  $r^2$  de Pearson; que podem ser vistos para solúvel versus particulada na figura 05, solúvel versus total na figura 06 e particulado versus total na figura 07.

Na figura 05 vemos uma nuvem de pontos associadas aos valores mais baixos de concentração de atividade e poucos associados a valores maiores. O valor de  $r^2$  de Pearson foi de 0,17 apontando uma completa independência entre as frações.

Na figura 06, o padrão da figura 05 se repete, com um ajuste melhor, resultando em um  $r^2$  de Pearson de 0,36 mas ainda insuficiente para comprovar uma associação entre as variáveis, mesmo sendo a fração solúvel componente da fração total.

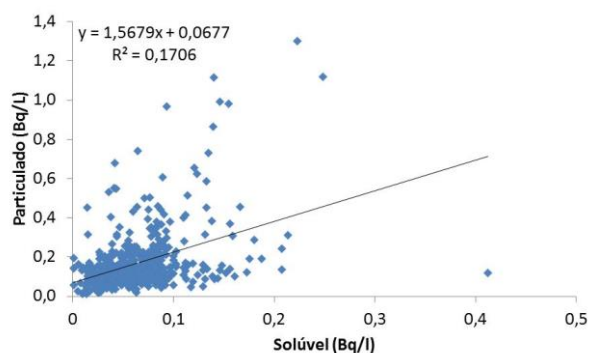


Figura 05 – Correlação ( $r^2$  de Pearson) entre as frações particulada e solúvel.

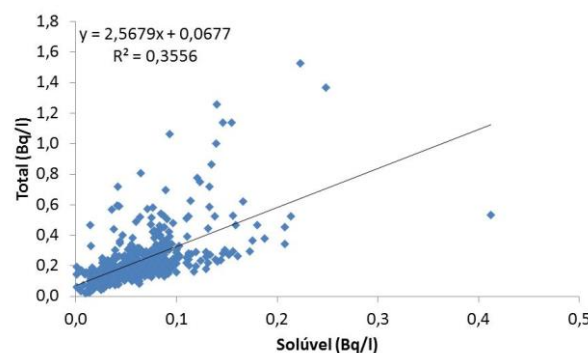


Figura 06 – Correlação ( $r^2$  de Pearson) entre as frações total e solúvel.

Já na figura 07 podemos visualizar uma correlação mais estreitas que a as duas anteriores. A relação entre a fração particulada e a fração total, demonstrou uma correlação forte entre as variáveis com um  $r^2$  de Pearson próximo a 0,96 demonstrando uma estreita correlação entre as variáveis.

ISSN 2236-0476

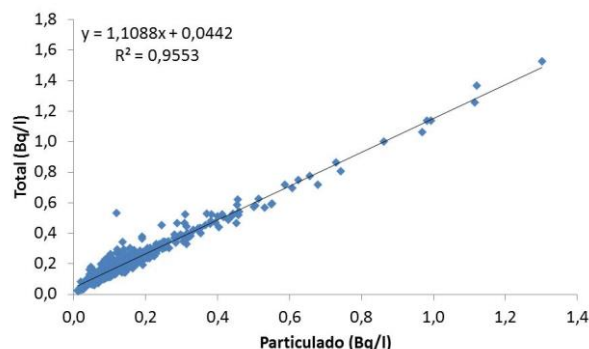


Figura 07 - correlação ( $r^2$  de Pearson) entre as frações particulada e total.

## 5. CONCLUSÃO

As concentrações de atividade da fração particulada foi considerada estatisticamente maior que a fração solúvel.

Avaliando a serie temporal vemos dois períodos de acréscimos evidentes, cobrindo o período de janeiro a setembro dos anos de 2005 e 2007, ver figura 03. Nesses dois casos a fração responsável pelo aumento foi a fração particulada, ver figura 04.

A correlação entre as frações (particulada e solúvel) foi considerada estatisticamente não significativa ( $r^2 = 0,17$ ), assim como a correlação entre as frações solúvel e total ( $r^2 = 0,36$ ). Já a correlação entre a fração particulada e a fração total foi considerada estatisticamente significativa ( $r^2 = 0,96$ ) sendo a fração particulada considerada como a principal responsável pelas variações na fração total.

A fração particulada é devida, principalmente, ao tratamento da drenagem ácida (pH próximo a 3) produzida nos depósitos de estereis da mina, com adição de cal (carbonato de cálcio). A adição de cal aumenta o pH até próximo a 12 e com o tempo de residência em tanques de decantação propiciam a coprecipitação do cal e metais e radionuclídeos presentes nesse efluente, ver figura 02.

O controle mais rigoroso do processo de tratamento pode contribuir para a redução da liberação de material particulado, aumentando a coprecipitação e reduzindo a liberação de material particulado, com isso reduzindo a liberação de radionuclídeos pela UTM.

## BIBLIOGRAFIA

1. 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 Biofisica, UFRJ, 130 pp. (in Portuguese). 1992.
2. AMARAL, E.C.S., AZEVEDO, H.L.P. AND MENDONÇA, 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.
3. 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

ISSN 2236-0476

- the waste rock a significant contributor. **Radiation Protection Dosimetry**, 22, pp. 165-171. 1988.
4. 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.
  5. AZEVEDO, H. L. P., AMARAL, E. C. S. AND GODOY, J. M. Evaluation of the  $^{226}\text{Ra}$  transport by river sediments surrounding the brazilian uranium mining and milling facilities. **Environmental Pollution**, 51, pp 259-268. 1988.
  6. BARCELLOS, C., AMARAL, E. & ROCHEDO, E. Radionuclide transport by Pocos de Caldas Plateau rivers, Brazil. **Environ. Technol.**, 11, pp 533-40. 1990.
  7. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, Norma CNEN-NE-3.01, Diretrizes Básicas de Radioproteção, 121 pp. 1988.
  8. COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, Norma CNEN-NN-3.01, Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica, 34 pp. 2005.
  9. FERNANDES, H.M. Subsídios ao Descomissionamento da Primeira Indústria de mineração e beneficiamento de urânio no Brasil. O caso do Complexo Minerário Industrial de Pocos de Caldas - Niterói. D.Sc. thesis, Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense. 250 pp (in Portuguese). 1997.
  10. 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.
  11. 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.
  12. SAVVIN, S. B. Analytical applications of arsenazo III—II: Determination of thorium, uranium, protactinium, neptunium, hafnium and scandium, **Talanta**, v. 11, n. 1,p. 1-6. 1964