



Análise por ativação neutrônica, método k_0 , aplicada ao monitoramento ambiental de instalação nuclear

Moura^a R. R., Menezes^{a,b*} M. Â. B. C., Silva^a W. F.,

Barreto^{b*} A. A., Carvalho Filho^{b*} C. A

^a *Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Nuclear, Programa de Pós-graduação em Ciências e Técnicas Nucleares*

^b *Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN/CDTN) –*

**Serviço de Análise e Meio Ambiente (SEAMA)*

Avenida Presidente Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha, Belo Horizonte, MG

rodrigoreismoura@gmail.com

RESUMO

Dentre os agentes tóxicos que podem ser nocivos para o meio ambiente e, conseqüentemente, para saúde humana estão os radionuclídeos, oriundos tanto da natureza quanto de atividades da indústria nuclear. Para o controle de suas concentrações nos compartimentos abióticos e bióticos é necessária a implementação de programas de monitorização sistemático do meio ambiente. Através do monitoramento ambiental, é possível prever o aumento no nível das frações mássicas e das concentrações de atividade dos radionuclídeos das séries naturais do ²³⁸U e ²³²Th ao longo do tempo nas principais matrizes ambientais no entorno de uma instalação nuclear. Isso levou os órgãos reguladores do meio ambiente e nuclear a determinar níveis de atividades que possam causar riscos. Este estudo teve por objetivo avaliar a metodologia de amostragem do programa de monitoramento ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) em dois períodos sazonais (seco e chuvoso), respeitando o ciclo hidrológico de um ano. O CDTN, localizado em Belo Horizonte, Brasil, é uma das três instalações vinculadas à CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) com objetivo de pesquisa e desenvolvimento na área nuclear. Este trabalho apresenta o estudo de plantas e solo oriundos de três pontos de maior interesse radiológico para a instalação. Essas matrizes foram analisadas pela técnica de Ativação Neutrônica, método k_0 . Os resultados mostram que o monitoramento ambiental deve ser realizado em ambos períodos sazonais, pois o solo mostrou-se mais enriquecido pelos elementos de interesse na estação chuvosa e as plantas apresentaram maiores concentrações na estação seca.

Palavras-Chave: Monitoramento Ambiental, Radionuclídeos, Análise por Ativação Neutrônica.

ABSTRACT

Among the toxic agents that can be harmful to the environment and, consequently, to human health are the radionuclides, originating from both the nature and activities of the nuclear industry. For the control of its concentrations in the abiotic and biotic compartments it is necessary to implement programs of systematic monitoring of the environment. Through environmental monitoring, it is possible to predict the increase in the level of the mass fractions and the activity concentrations of the radionuclides of the natural series of ^{238}U and ^{232}Th over time in the main environmental matrices surrounding a nuclear installation. This has led environmental and nuclear regulators to determine levels of risky activities. This study aims to perform the methodology of sampling of the environmental monitoring program of the Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN (Nuclear Technology Development Center) in two seasonal periods (dry and rainy), respecting the hydrological cycle of one year. CDTN, located in the city of Belo Horizonte, Brazil, is one of three institutes sponsored by Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (Brazilian Commission for Nuclear Energy) dedicated to research and development of the nuclear area. This work is about the study of plants and soil collected from three sampling points of major radiological interest for the installation. These matrices were analysed by the Neutron Activation technique, method k_0 , and the results show that the environmental monitoring should be performed in both dry and rainy seasons, since the soil was more enriched by the elements of interest in the rainy season and the plants had higher concentrations in the dry season.

Keywords: Environmental Monitoring, Radionuclides, Neutron Activation Analysis.

1. INTRODUÇÃO

O processo de licenciamento de instalações nucleares requer a orientação e o cumprimento de requisitos específicos, embasados na legislação e nas normas dos órgãos responsáveis tanto pela segurança ambiental, IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), quanto nuclear, CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), frente às ações de acompanhamento dos impactos causados por suas atividades no meio ambiente, assim como medidas de controle da qualidade ambiental dentro e no entorno destas instalações [1].

Para a determinação da presença e o controle das frações mássicas e concentrações de atividade do U e Th que compõem o ciclo do combustível nuclear em uma instalação com essa finalidade, cabe ressaltar que: i) a regulamentação para o processo de licenciamento destas instalações fica a cargo da CNEN e está estabelecida na Norma CNEN-NE 1.04 “Licenciamento de Instalações Nucleares” [2]; e ii) às condicionantes legais exigidas pelo IBAMA, mediante a Instrução Normativa nº 1, de 23 de fevereiro de 2015 [3].

As principais ações visam o controle da introdução de radionuclídeos em compartimentos naturais (matrizes abióticas). Isso se deve ao fato de que estes elementos ao se dispersarem no meio ambiente possam, eventualmente, se concentrar em quantidades consideráveis nos organismos vivos (matrizes bióticas) [4]. Pois, uma vez presentes nos compartimentos abióticos do ecossistema, os radionuclídeos podem se concentrar, por exemplo, nas plantas, base da cadeia alimentar, por assimilação destes através do solo ou pela deposição atmosférica [5]. No sistema solo-planta, esses elementos podem ser translocados para as plantas, dependendo da biodisponibilidade dos elementos no solo e da estratégia de absorção das espécies nele presentes [4, 6, 7]. A biodisponibilidade se determina, a partir da quantidade do nutriente que foi absorvido, correlacionando estes resultados com a concentração do elemento nos tecidos vegetais. Assim, um elemento é considerado biodisponível quando encontra-se numa forma química que as plantas são capazes de absorvê-lo [8].

Para atender às exigências da legislação vigente em relação as suas atividades, o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) mantém, desde 1985, um Programa de Monitoramento Ambiental (PMA) de forma a garantir a segurança radiológica e ambiental dentro e no entor-

no imediato de sua área [9]. A credibilidade desse programa de monitoramento ambiental passa pela confiabilidade na exatidão dos procedimentos adotados nas amostragens e medições realizadas sistematicamente nas suas matrizes ambientais. A aplicação do método k_0 de Ativação Neutrônica é vantajosa em monitoramentos ambientais pela possibilidade de se determinar todos os elementos na amostra, passíveis de serem ativados sem necessidade de serem analisados padrões dos elementos em estudo [10]. Assim, não só os elementos de interesse serão analisados como todos os outros que, de alguma forma, são importantes sob o ponto de vista ambiental, dentre eles, os radionuclídeos.

Atualmente, o PMA do CDTN realiza a amostragem das matrizes planta e solo uma vez ao ano, na estação chuvosa. Este estudo se propõe a verificar se há influência da sazonalidade para presença de U e Th nos resultados do monitoramento para ambas matrizes. Para isso, foram realizadas duas campanhas de amostragens, respeitando-se o ciclo hidrológico de um ano, ocorrendo uma em um período seco e a outra acontecendo em um período chuvoso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho constou de execução da amostragem de plantas e solo nos pontos de coleta atuais do PMA realizado pelo CDTN, seguida de preparo, análise e determinação das frações mássicas e da concentração de atividade para U e Th.

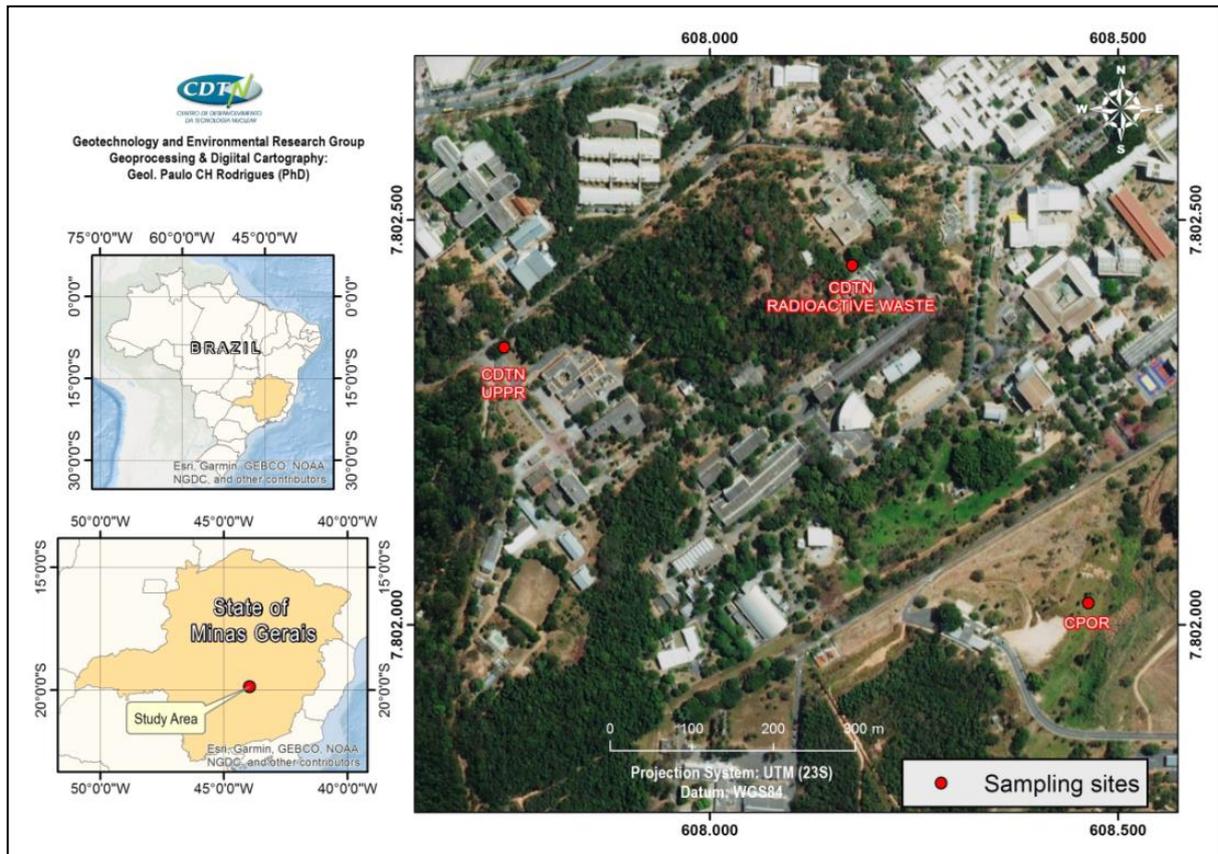
2.1. Amostragem

Os pontos de coleta das amostras e os respectivos marcos referenciais e localizações geográficas são apresentados na Tabela 1 e na Figura 1 que foi gerada pelo Núcleo de Pesquisa em Geotecnologias e Modelagem Ambiental (CDTN/SEAMA).

Tabela 1: Localização georreferenciada dos pontos de amostragem do PMA.

Ponto de Coleta	Marco referencial	Coordenada X	Coordenada Y
10/004/001	CPOR	608357,4	7802029
10/004/002	CDTN-1 (UPPR)	607751,6	7802347
10/004/003	CDTN-2 (REJEITO)	607698,8	7801898

CPOR, Centro de Preparação de Oficiais da Reserva; UPPR, Unidade de Pesquisa e Produção de Radiofármacos; REJEITO, Galpão de Rejeito de Baixa Atividade.

Figura 1: Pontos de amostragem do PMA para as plantas e solo (CDTN/SEAMA).

Fonte: Núcleo de Pesquisa em Geotecnologias e Modelagem Ambiental CDTN/SEAMA.

As coletas (34 amostras de plantas e 18 amostras de solo) ocorreram em duas campanhas, respeitando o ciclo hidrológico de um ano (seco e chuvoso). O objetivo foi avaliar as informações presentes no fator sazonalidade em ambas as campanhas.

As plantas foram colhidas manualmente e inteiras (raiz e parte aérea) e nos seus estágios de maior crescimento vegetativo possível, pois elas apresentam melhor estágio nutricional e metabólico, refletindo a composição dos elementos presentes em seu tecido. Foram escolhidas as espécies vegetais de maior representatividade nos pontos – *Brachiaria sp* (Pasto), *Cynodon sp* (Gramínea) e *Epipremnum pinatum* (semi-herbácea), Figuras 2a, 2b e 2c.

Figura 2: *Espécies vegetais coletadas no PMA.*



a) *Brachiaria sp*



b) *Cynodon sp*



c) *Epipremnum pinatum*

Fonte: Fotografias do autor.

As amostras de solo (Figura 3) foram obtidas em triplicadas na profundidade de 0-20 cm, que corresponde ao ambiente radicular (rizosfera) das plantas amostradas. As amostras foram obtidas em triplicata com auxílio do amostrador do tipo 'liner'.

Figura 3: *Amostragem de solo no PMA.*



Fonte: Fotografias do autor.

2.2. Preparo das amostras

Solo:

As amostras de solo foram secas naturalmente por 2 dias e em seguida secas em estufa durante 2 horas a temperatura de 105 °C. O solo seco foi peneirado em malha de 250 mesh e uma composição

ideal da amostra (homogênea) foi obtida a partir do quarteamento. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno (descontaminados) com tampa de rosca, identificadas e tiveram suas massas aferidas em balança de precisão (peso seco). Este preparo seguiu o procedimento descrito na referência IAEA-TECDOC-1360 [11].

Plantas:

As plantas foram limpas deixando as raízes de molho em bandejas plásticas com água deionizada por 24 horas para facilitar a retirada do solo aderido. Em seguida as plantas foram lavadas em água corrente e deionizada (repetindo o processo 3 vezes) para remoção completa do solo e da poeira. Após a limpeza as amostras foram segmentadas, secas naturalmente por 2 semanas, triturada, colocadas em cadinhos de porcelana de 50 mL (previamente lavados e secos em estufa a 105 °C por 1 hora) e então calcinadas em forno tipo mufla a 600 °C. As amostras, em cinzas, foram pulverizadas com auxílio de um pistilo de porcelana e então, colocadas em frascos de polietileno (identificados) com tampa de rosca.

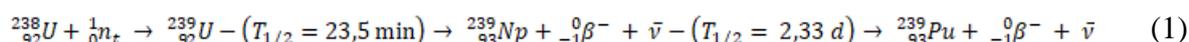
2.3. Análise por ativação neutrônica, método k_0

As amostras de plantas e solo juntamente com os correspondentes materiais de referência – GBW 0805, *Tea Leaves* [12] e IAEA-SOIL 7 [13] foram analisadas por Ativação Neutrônica, método k_0 [14], para a determinação da fração mássica e da concentração de atividade de U e de Th.

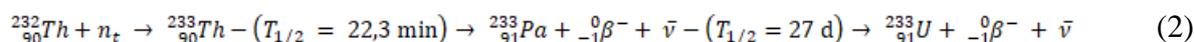
Foram acondicionados nos seus respectivos porta-amostras de polietileno: as plantas em PA3, porta-amostra com diâmetro interno de 9,6 mm e altura interna de 15 mm, com capacidade de 1 g de amostra e o solo em PA1, diâmetro interno de 9,6 mm e altura interna de 4,3 mm, com capacidade para 200 mg. Em seguida foram colocados em porta-amostras maiores com diâmetro interno de 9,6 mm e altura interna de 75 mm, intercalados por monitores de fluxo de nêutrons – discos de liga de Al Au (0,1%), IRMM-530R [15] com 6 mm de diâmetro e 1 mm de espessura. O porta-amostra maior com as amostras e monitores, por sua vez, foi inserido no "coelho" (20 mm de diâmetro interno e 80 mm de altura interna), porta-amostra de poliestireno e este foi levado para irradiação de 8 horas no reator de pesquisa TRIGA MARK I IPR-R1 do CDTN, que opera a 100 kW com um fluxo

de nêutrons térmicos médio na mesa giratória, de $6,30 \times 10^{11}$ nêutrons $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ e parâmetros espectrais médios f igual a 21,67, e α igual a 0,0026 [14]. Após a irradiação e tempo de espera de decaimento adequados, as amostras e os monitores tiveram seus radionuclídeos induzidos medidos por espectrometria gama (5 dias para o ^{239}Np , 20 dias para o ^{233}Pa e 7 dias para o ^{239}Au) no espectrômetro gama composto de detector HPGe com 50% de eficiência relativa, CANBERRA[®] (FWHM 1,75 keV) e eletrônica associada. Os espectros foram obtidos com o programa Gennie 2K, CANBERRA[®] e analisados pelo software HyperLab[®] V.2009.1. Os cálculos das frações mássicas dos elementos foram executados utilizando o pacote de software Kayzero for Windows[®] V.2.46, específico para o método. As reações de ativação por nêutrons térmicos estão representadas nas equações 1 e 2, abaixo:

Urânio



Tório



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Avaliação de desempenho do laboratório de análise por ativação neutrônica

Como mencionado, o método de análise aplicado foi o método k_0 de ativação neutrônica. Todos os resultados experimentais são expressos com a incerteza combinada padrão (“Combined Standard Uncertainty” [$k = 1$]) de acordo com o GUM [16]. Os resultados obtidos experimentalmente para U e Th nos materiais de referência são apresentados na Tabela 2. Os valores de $E_{\text{n-score}}$ [17] são menores do que 1, indicando que o desempenho do laboratório em aplicar o método k_0 está satisfatório.

Tabela 2: Resultados experimentais e valores recomendados dos materiais de referência.

El.	GBW0805 (Tea leaves)			IAEA-SOIL 7		
	Resultados Experimentais, $k = 1$ (mg kg ⁻¹)	Valores Recomendados, $k = 2$ (mg kg ⁻¹)	E_n -score	Resultados Experimentais, $k = 1$ (mg kg ⁻¹)	Valores Recomendados, $k = 2$ (mg kg ⁻¹)	E_n -score
Th	0,111 ± 0,003	0,105 ± 0,013	0,45	8,1 ± 0,3	8,2 ± 0,5	0,32
U	< 2	NR	-	2,4 ± 0,1	2,4 ± 0,35	0,74

EL., Elemento; <, Menor do Que; NR, Não Reportado.

3.2. Avaliação do fator sazonalidade

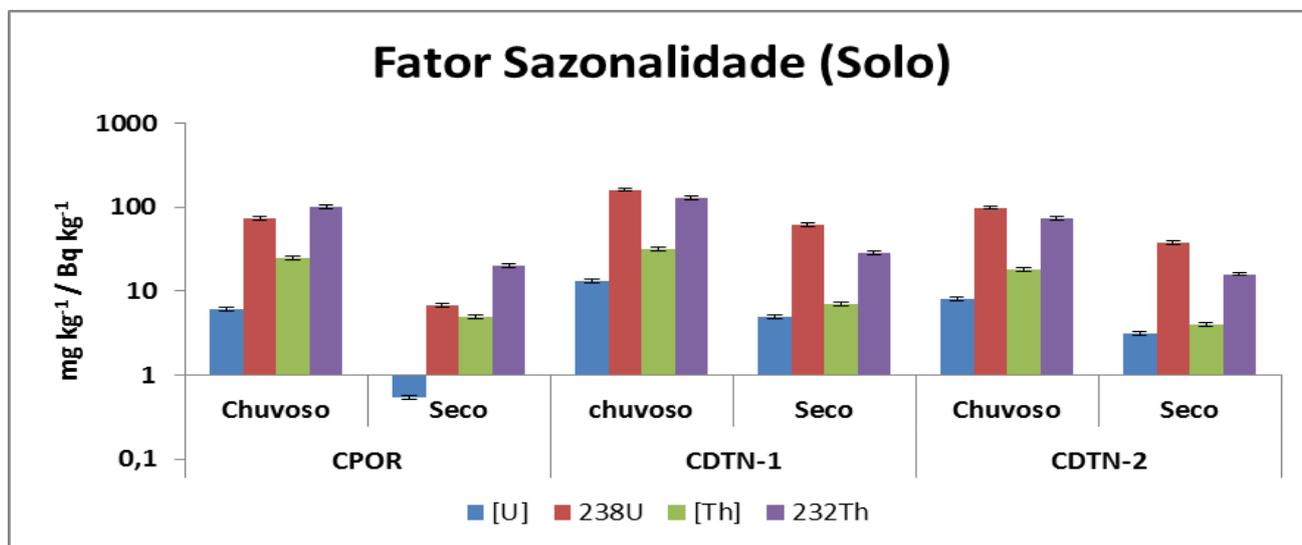
Solo:

A análise das amostras do solo realizada em períodos distintos dentro de um ano hidrológico mostra que há uma maior biodisponibilidade dos elementos de interesse na estação chuvosa que no período de estiagem (Tabela 3 e Figura 3). Isto porque a fração coloidal do solo apresenta uma química intensa e por isso, apresenta grande afinidade pela água e conseqüentemente pelos elementos nela dissolvidos. Por este motivo, talvez, seja importante para o monitoramento ambiental, a verificação do comportamento distinto na disponibilidade de elementos químicos no solo. Na estação seca, é provável que essas frações coloidais quimicamente ativas fiquem mais restritas a solos naturalmente úmidos.

Tabela 3: Avaliação da sazonalidade nas frações mássicas e nas concentrações de atividade nos solos dos Pontos de Coleta do PMA.

Ponto de Coleta	CHUVOSO [$k = 1$]				SECO [$k = 1$]			
	[U] (mg kg ⁻¹)	²³⁸ U (Bq kg ⁻¹)	[Th] (mg kg ⁻¹)	²³² Th (Bq kg ⁻¹)	[U] (mg kg ⁻¹)	²³⁸ U (Bq kg ⁻¹)	[Th] (mg kg ⁻¹)	²³² Th (Bq kg ⁻¹)
CPOR	6,0±0,2	74±3	25±1	102±4	0,54±0,02	6,7±0,2	5,0±0,4	20±2
CDTN-1	13,1±0,5	162±6	31±1	127±5	5,0±0,2	62±3	7,1±0,5	29±2
CDTN-2	8,0±0,4	99±5	18±1	74±3	3,1±0,1	38±1	4±1	16±2

Figura 3: Avaliação da sazonalidade do U e Th nas frações mássicas e nas concentrações de atividade de atividade no solo dos Pontos de Coleta do PMA.



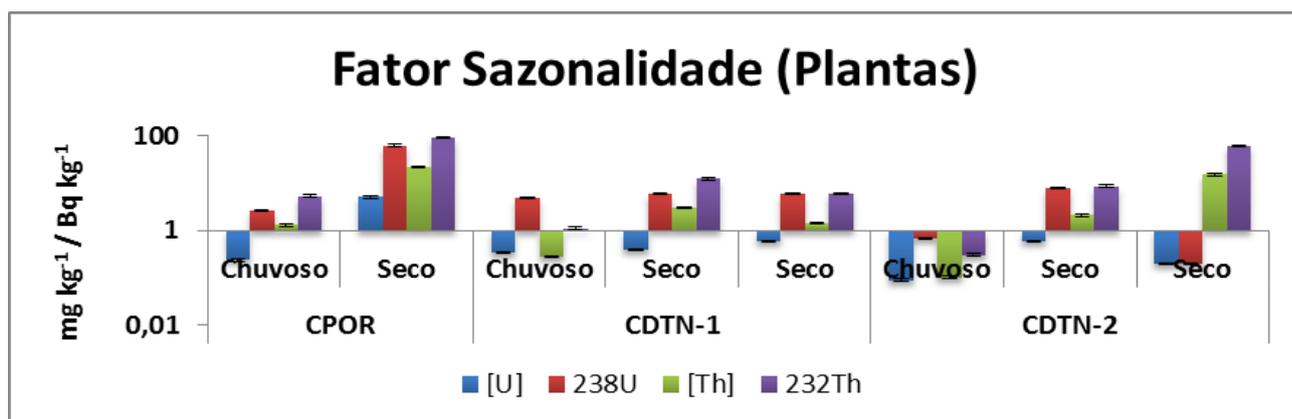
Observa-se que os solos amostrados para análise no PMA e, conseqüentemente neste estudo, são do tipo arenoso. Por isso, uma razão dos valores baixos observados na estação seca é que esses valores estejam refletindo essas características. Contudo, os resultados apresentados neste estudo para a estação seca não podem ser desconsiderados, pois são significativos, sobretudo para o Th.

Plantas:

De forma contrária ao ocorrido com o solo, nas plantas as concentrações de atividade para U e Th mostraram-se maiores no período de estiagem em relação à estação de chuva (Tabela 4 e Figura 4). É bem conhecido que as concentrações de elementos nos tecidos vegetais podem variar com o tempo, por exemplo, durante a estação de vegetação [18]. Essas variações nas frações mássicas e concentrações de atividade de determinados elementos pelas plantas ao longo de uma estação pode ser dado pelo tempo – dias ou até horas [19, 20, 21, 22]. Essas variações podem ser controladas pela luminosidade que é mais intensa na estação seca. É possível supor que pode haver influência sobre a taxa fotossintética ou a capacidade respiratória de espécies em particular.

Tabela 4: Avaliação da sazonalidade nas frações mássicas e nas concentrações de atividade nas plantas dos Pontos de Coleta do PMA.

Ponto de Coleta	CHUVOSO [k = 1]				SECO [k = 1]			
	[U] (mg kg ⁻¹)	²³⁸ U (Bq kg ⁻¹)	[Th] (mg kg ⁻¹)	²³² Th (Bq kg ⁻¹)	[U] (mg kg ⁻¹)	²³⁸ U (Bq kg ⁻¹)	[Th] (mg kg ⁻¹)	²³² Th (Bq kg ⁻¹)
CPOR	0,21±0,03	2,6±0,4	1,3±0,04	5,4±0,2	5,0±0,2	62±3	22±1	91±4
CDTN-1	0,3±0,1	4±1	0,30±0,01	1,1±0,1	1±1	11±7	4,5±0,2	18±1
CDTN-2	0,05±0,01	0,7±0,1	0,06±0,01	0,31±0,02	0,6±0,3	7±2	17±1	70±2

Figura 4: Avaliação da sazonalidade na capacidade de absorção das plantas coletadas nos Pontos de Coleta do PMA.

4. CONCLUSÕES

A amostragem de plantas e de solo no Programa de Monitoramento Ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) ocorre uma vez por ano, na estação chuvosa. Visando, então verificar se há influência da sazonalidade, foram realizadas coletas de ambas as matrizes nas estações chuvosa e seca.

Os resultados para sazonalidade indicaram que o período chuvoso é favorável para o solo e o período seco, favorável para as plantas. Assim, este estudo sugere que o monitoramento ambiental deve ser realizado em ambos os períodos sazonais (seco e chuvoso), pois o solo mostrou-se mais enriquecido pelos elementos de interesse na estação chuvosa e as plantas apresentaram maiores concentrações na estação seca.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às respectivas instituições – UFMG, CDTN, FAPEMIG, CNPq e CAPES – pelo apoio técnico e financeiro para o desenvolvimento deste estudo.

REFERÊNCIAS

- [1] ARAÚJO, S. M. V. G. **Licenciamento Ambiental e Legislação**, Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. Disponível na página: <http://bd.camara.gov.br>. Acessado em: 21/04/2017.
- [2] CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear. **CNEN-NE 1.04: Estabelece o Licenciamento de Instalações Nucleares (Resolução CNEN 15/02)**, Disponível em: <http://appasp.cnen.gov.br/seguranca/normas/pdf/Nrm104.pdf>. Acessado em: 21/04/2017.
- [3] BRASIL, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa Nº 1, de 23 de fevereiro de 2015/IBAMA**, Disponível em: <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=24/02/2016&jornal=1&pagina=59&totalArquivos=176>. Acessado em: 21/04/2017.
- [4] FERREIRA, E. G. **Programa de monitoração ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**, DERL.PD 022/85, Belo Horizonte: CDTN (1985).
- [5] EISENBUD, M. **Environmental radioactivity**, 3rd. ed, New York, Academic, (1987).

- [6] IAEA – International Atomic Energy Agency, **Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment**, Vienna, 2001, IAEA-Safety Reports Series 19 (2001).
- [7] WHICKER, F. W.; SCHULTZ, V. **Radioecology: nuclear energy and the environment**, Boca Raton, Florida, CRC (1982).
- [8] COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de minerais**, R. Nutr. Campinas, 10(2): 87-98, jul/dez (1997).
- [9] REIS, R. G., **NORM: Guia Prático**, Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD), 1st. ed, Rio de Janeiro, 236 p., (2016).
- [10] BODE, P.; GREENBERG, R.R.; FERNANDES, E.A.N. **Activation analysis: a primary (ratio) method to determine SI-Traceable values of elements content in complex samples**. *Chimia, Metrology in Chemistry*, v.63, p.678-680, (2009).
- [11] IAEA – International Atomic Energy Agency, **Collection and Preparation of Bottom Sediment Samples for Analysis of Radionuclides and Trace Elements**, IAEA-TECDOC-1360. Vienna (2003).
- [12] NRCRM – National Research Centre for CRM, **Institute of Geophysical and Geochemical Exploration Components**. “**Certified Reference Material**, GBW 0805, Tea Leaves. Langfang, China, (1987).
- [13] IAEA- – International Atomic Energy Agency, **Certified Reference Material – IAEA SOIL-7**, Trace elements in soil, Viena, Austria, (2000).

- [14] MENEZES, M. Â. B. C.; JACÍMOVIĆ, R. **Optimised k_0 -instrumental neutron activation method using the TRIGA MARK I IPR-R1 reactor at CDTN/CNEN, Belo Horizonte Brazil**, Nuclear Instruments and Methods in Physical Research, Vol. 564, pp. 707-715 (2006).
- [15] IRRM – Institute for Reference Materials and Measurements, **Certificate of analysis: certified reference material IRMM-530R**, Geel: (gold mass fraction in Al-(0.1%) Au Alloy) (2002).
- [16] INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, **Avaliação de dados de medição: Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008**, Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 141 p. (2012).
- [17] ISO – International Standard Organization, **ISO 13528: Statistical methods for use in a proficiency testing by interlaboratory comparisons**. ISO: Geneva (2005)
- [18] MYUNG, C. J.; THORNTON, I. **Environmental contamination and seasonal variation of metals in soils, plants and waters in the paddy fields around a Pb–Zn mine in Korea**, Sci Tot Environ Vol. 198, pp. 105–121 (1987)
- [19] CARTER, P. J.; NIMMO, H. G.; FEWSON, C. A.; WILKINS, M. B. **Circadian rhythms in the activity of a plant protein kinase**. EMBO J Vol. 10, pp. 2063–2068 (1991).
- [20] BEHRENFELD, M. J.; PRASIL, O.; BABIN, M.; BRUYANT, F. **In search of a physiological basis for covariations in light-limited and light-saturated photosynthesis**, J Phycol Vol. 40, pp. 4–25 (2004).
- [21] KIM, H. Y.; COTÉ, G. G.; CRAIN, R. C. **Effects of light on the membrane potential of protoplasts from *Samanea saman pulvini***, Involvement of the H-ATPase and K channels. Plant Physiol Vol. 99, pp. 1532–1539 (1992).

[22] KIM, H. Y.; COTÉ, G. G.; CRAIN, R. C. **Potassium channels in *Samanea saman* protoplasts controlled by phytochrome and the biological clock**, Science Vol. 260, pp. 960–962 (1993).