



P

ROTEÇÃO CONTRA RADIAÇÕES  
NA COMUNIDADE DOS PAÍSES  
DE LÍNGUA PORTUGUESA

Luis Neves (coord.)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
2018

**QUANTIFICAÇÃO DE RADIONUCLÍDEOS NATURAIS  
EM SOLOS DE UM FRAGMENTO FLORESTAL DE MATA  
ATLÂNTICA DO ESTADO DE PERNAMBUCO, BRASIL**

**NATURAL RADIONUCLIDES QUANTIFICATION IN SOILS  
OF AN ATLANTIC FOREST FOREST FRAGMENT FROM THE  
PERNAMBUCO STATE, BRAZIL**

**P. C. SILVA NETO – ptpoli@yahoo.com.br (CRCN-NE, Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, Brasil)**

**E. E. G. DE FARIAS – emersonemiliano@yahoo.com.br (CRCN-NE, Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, Brasil)**

**F. S. FERREIRA – biologofabiano10@gmail.com (CRCN-NE, Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, Brasil)**

**R. S. CANTINHA – rcantinha@gmail.com (CRCN-NE, Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, Brasil)**

**E. J. DE FRANÇA – ejfranca@cnen.gov.br (CRCN-NE, Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste, Brasil)**

**PALAVRAS-CHAVE:** Mata Atlântica, radionuclídeos naturais, fosforito uranífero, RECD, Estado de Pernambuco.

**RESUMO:** O Refúgio Ecológico Charles Darwin - RECD é uma área remanescente de Mata Atlântica, situado no município de Igarassu, litoral Norte do Estado de Pernambuco. A região é conhecida pela presença de fosforito uranífero em sub-superfície. Devido às diferentes radiações de fundo medidas previamente

na região, o presente trabalho providenciou a quantificação dos radionuclídeos naturais por Espectrometria Gama de Alta Resolução - EGAR em diferentes partes do RECD. As amostras de solos foram coletadas na profundidade de 0-10 cm nas áreas com altas e baixas radioatividades. Após secagem em estufa à 60 °C e cominuição em almofariz de porcelana, porções analíticas de 40 g foram transferidas para frascos de polietileno e seladas com adesivo à base de silicone. Para o controle da qualidade do procedimento analítico, foram empregados o material de referência IAEA-314 e o padrão interno de solo RadChemTM Custom Soil Standard. Todas as amostras foram analisadas em um detector de germânio hiperpuro modelo GC4018 depois de 30 dias para a garantia de equilíbrio secular. As concentrações de atividade de  $^{226}\text{Ra}$  apresentam médias de  $39 (\pm 10) \text{ Bq kg}^{-1}$  para a parte alta (maior radioatividade), enquanto que, para a parte baixa, as concentrações de atividade com média de  $32 (\pm 12) \text{ Bq kg}^{-1}$ . Para  $^{228}\text{Ra}$ , as respectivas médias foram  $57 (\pm 21) \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $33 (\pm 11) \text{ Bq kg}^{-1}$ , indicando que a alta radioatividade observada nesta área está associada com a exalação de  $^{222}\text{Rn}$ .

**KEYWORDS:** Atlantic Forest, natural radionuclides, uraniferous phosphorite, RECD, Pernambuco State.

**ABSTRACT:** The Refúgio Ecologico Charles Darwin - RECD is an Atlantic Forest remaining area located in the Municipality of Igarassu, northern region of Pernambuco State, Brazil. The region is known because of the presence of subsurface uranium phosphorite. Due to the different background radiation previously measured in the region, the present work provided the quantification of the natural radionuclides by High Resolution Gamma-Ray Spectrometry – HRGS in different areas from RECD. Soil samples were collected at the 0-10 cm depth in the

ecosystem with high and low radioactivity. After oven-drying at 60 °C and milling porcelain mortar, analytical portions of 40 g were transferred for polyethylene vials and sealed with silicone adhesive. For the quality of the analytical procedure, the reference material IAEA 314 and the RadChem Custom soil standard were analyzed with the samples. All materials were analyzed by HPGe detector model GC4018 after 30 days for guaranteeing the secular equilibrium. The mean activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$  were  $(39 \pm 10) \text{ kg}^{-1} \text{ Bq}$  and  $(32 \pm 12) \text{ Bq kg}^{-1}$  for areas with high and low radioactivity, respectively. For  $^{228}\text{Ra}$ , the respective mean activity concentrations were  $(57 \pm 21) \text{ Bq kg}^{-1}$  and  $(33 \pm 11) \text{ Bq kg}^{-1}$ , indicating that the high radioactivity observed in this area may be associated to the  $^{222}\text{Rn}$  exhalation.

## 1. INTRODUÇÃO

O Refúgio Ecológico Charles Darwin - RECD é uma área remanescente de Mata Atlântica, situado no município de Igarassu, litoral Norte do Estado de Pernambuco, e está presente na região limítrofe da ocorrência de rochas contendo fósforo e urânio e conhecidos desde 1957. Relatos encontrados na literatura demonstraram a presença de afloramentos de fosforito uranífero nessa região, aumentando a exposição e ampliando a disponibilidade de radionuclídeos e elementos químicos no solo (Souza, 2006). A radioatividade do solo varia amplamente conforme a sua formação geológica, por isso, é importante conhecer a composição de radionuclídeos do solo, a fim de monitorar a radiação de fundo (Farias et al., 2015).

O presente trabalho buscou a quantificação dos radionuclídeos naturais  $^{40}\text{K}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  e  $^{228}\text{Ac}$  nos solos do fragmento florestal RECD, empregando a Espectrometria Gama de Alta Resolução – EGAR.

## **2. MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

O Refúgio Ecológico Charles Darwin, é um remanescente de Mata Atlântica com aproximadamente 60 ha de área. A vegetação é do tipo Floresta Ombrófila Aberta (Amaral et al., 2009), situada dentro da subzona de Mata Úmida, localizada no município de Igarassu, litoral norte do Estado de Pernambuco (coordenadas geográficas: latitude 07°48'37"S e 07°49'2"S e longitude 34°27'25"W e 34°56'52"W). O clima do local é do tipo Am's segundo a classificação de Köppen, com transição para o tipo As. A temperatura média anual é de 27 °C, com umidade relativa do ar em torno de 80%. A floresta é formada por estrato arbóreo com dossel variando entre 8 e 15 m de altura e um estrato herbáceo-arbustivo. Essa unidade de conservação apresenta um terreno bastante acidentado, podendo ser dividido em duas áreas distintas, sendo uma caracterizada por um terreno plano e alagado, e outra de terreno íngreme e acidentado. O solo da região é da classe cambissolo, formado principalmente por rochas calcáreas (Amaral et al., 2009).

### **2.2 Amostragem e preparação de amostra**

A estratégia de amostragem abrangeu um levantamento radiométrico usando um cintilômetro portátil para avaliar os níveis de radiação gama e para a seleção dos pontos de amostragem. Segundo o levantamento radiométrico, o background do nível de radiação gama para o RECD foi 5 contagens por segundo (cps) (Farias et al., 2015). O mapa radiométrico foi construído para estabelecer uma análise dos níveis de radiação gama nesta unidade de conservação. A taxa máxima de contagem encontrada na área que corresponde a parte alta da RECD foi 75 cps, ou seja, quinze vezes acima da radiação de fundo. Com base no mapa radiométrico, foi feita a seleção dos pontos de amostragem.

Logo após o levantamento radiométrico, porções com cerca de 500 g de amostra foram coletadas em diversos locais da unidade de conservação. Após secagem à 60 °C e moagem em almofariz de porcelana, porções analíticas de aproximadamente 40 g foram transferidas para recipientes de polietileno de geometria circular de raio 3,0 cm e altura de 1,4 cm. Todos os recipientes contendo as amostras foram vedados com silicone para ser estabelecido o equilíbrio secular. Para a garantia de qualidade do procedimento analítico, foram analisados o material de referência IAEA 314 Stream Sediment e o padrão interno de solo RadChemTM Custom Soil Standard do Programa Nacional de Intercomparação, organizado pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear – IRD/CNEN, Rio de Janeiro, Brasil.

### **2.3 Espectrometria Gama de Alta Resolução –EGAR**

A quantificação dos radionuclídeos foi realizada por meio de um detector de Germânio Hiper-puro (HPGe) da Canberra, modelo GC4018, resolução de 2,2 keV no fotopico de 1,33 MeV do  $^{60}\text{Co}$ . O tempo de contagem utilizado para análise dos solos foi 80.000 segundos e para o branco analítico 1.000.000 segundos. A curva de eficiência do detector foi obtida a partir da dopagem de um padrão interno de solo com solução de  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  e  $^{241}\text{Am}$  com atividades conhecidas (aproximadamente 35 Bq). Após a detecção da radioatividade, o ajuste polinomial foi realizado no programa de computador Genie (Canberra, 2009). As concentrações de atividade de  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$  foram, então, quantificadas utilizando o programa de computador Genie da Canberra. Também foram estimadas as incertezas analíticas combinadas e, posteriormente, expandidas em nível de 95% de confiança a partir do Genie (Canberra, 2009). O Número  $E_n$  foi empregado para a avaliação da qualidade dos procedimentos analíticos conforme a ISO 13528 (2005), em que valores entre -1 e 1

são indicativos de controle de qualidade do procedimento analítico em nível de 95% de confiança.

### 3. RESULTADOS

Os resultados da avaliação da qualidade do procedimento analítico das determinações de radionuclídeos no solo, a partir das análises dos materiais de referência IAEA 314 Stream Sediment produzido pela Agência Internacional de Energia Atômica – IAEA e do padrão interno de solo RadCheMTM Custom Soil Standard do Programa Nacional de Intercomparação (PNI), organizado pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria, IRD/CNEN, estão na Tabela 1.

Tabela 1. Valores obtidos e certificados e suas respectivas incertezas expandidas em nível de 95% de confiança para o material de referência IAEA-314 e o padrão interno de solo RadCheMTM Custom Soil Standard IRD.

IAEA 314 Stream Sediment			
Nuclídeo	Valor de referência (Bq kg <sup>-1</sup> )	Valor obtido (Bq kg <sup>-1</sup> )	Número E <sub>n</sub>
<sup>214</sup> Pb ( <sup>226</sup> Ra)	732 ± 54,5	695 ± 10	-0,67
<sup>214</sup> Bi ( <sup>226</sup> Ra)	732 ± 54,5	692 ± 32	-0,63
Padrão interno de solo RadCheMTM CustomSoil Standard			
Nuclídeo	Valor de referência (Bq kg <sup>-1</sup> )	Valor obtido (Bq kg <sup>-1</sup> )	Número E <sub>n</sub>
<sup>40</sup> K	381 ± 66	383 ± 23	0,03
<sup>228</sup> Ac ( <sup>228</sup> Ra)	46,6 ± 8,1	41,9 ± 5,0	-0,49

Considerando que para as amostras analisadas foi estabelecido o equilíbrio secular entre os nuclídeos-filhos e os nuclídeos-pais, selecionou-se os nuclídeos <sup>214</sup>Bi (energias: 1120 keV; 1764 keV) e <sup>214</sup>Pb (energias: 295 keV; 351 keV) para o cálculo das concen-

trações de atividade de  $^{226}\text{Ra}$ , enquanto que  $^{228}\text{Ac}$  (energias: 911 keV; 968 keV) foi empregado para a determinação de  $^{228}\text{Ra}$ . Os Números  $E_n$  estiveram entre -1 e 1, por isso foram indicativos de controle de qualidade do procedimento analítico em nível de 95% de confiança (Tabela 1).

Os resultados das concentrações de atividades dos radionuclídeos naturais  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  e  $^{228}\text{Ac}$ , determinados em amostras de solo do Refúgio Ecológico Charles Darwin estão apresentados na Figura 1 para as áreas com altas e baixas radioatividades

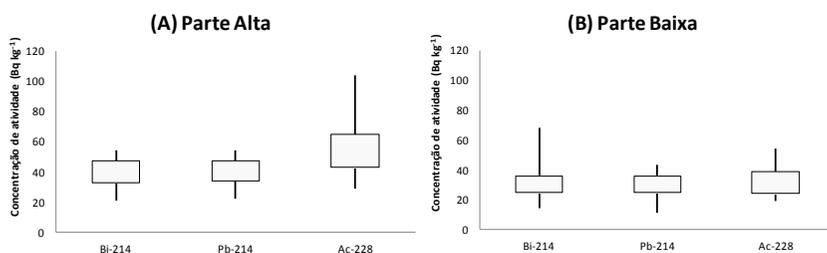


Figura 1. A. Valores referentes às concentrações de atividade ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) na parte alta do RECD. B. Valores referentes às concentrações de atividade ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) na parte baixa do RECD.

Observou-se que, nos solos, as concentrações de atividade do  $^{226}\text{Ra}$  variaram de  $21 \text{ Bq kg}^{-1}$  a  $54 \text{ Bq kg}^{-1}$  com média de  $(39 \pm 10) \text{ Bq kg}^{-1}$  para a área com alta radioatividade, enquanto que, para a área com baixa radioatividade, as concentrações de atividade variaram de  $14 \text{ Bq kg}^{-1}$  a  $68 \text{ Bq kg}^{-1}$  com média de  $(32 \pm 12) \text{ Bq kg}^{-1}$ . Para  $^{228}\text{Ra}$ , as respectivas médias foram  $(57 \pm 21) \text{ Bq kg}^{-1}$  e  $(33 \pm 11) \text{ Bq kg}^{-1}$ . Mesmo considerando as diferenças encontradas, as médias obtidas são muito parecidas aos valores médios mundiais desses radionuclídeos em solos (Unsear, 2015). O radionuclídeo  $^{40}\text{K}$  apresentou valores abaixo da concentração de atividade mínima detectável de  $39 \text{ Bq kg}^{-1}$ .

Farias et al. (2015) realizaram as medições de atividade de concentração de gás radônio no solo do RECD. Os valores de concentrações de atividade de radônio em gás no solo foram da mesma ordem de grandeza das encontradas em outros lugares (Vaupotic et al., 2010; Tufail, 1992). Desse modo, pode-se afirmar que a principal origem da radiação gama de fundo no RECD foi o radônio em si. Como era de se esperar, o alto valor de 40 kBq m<sup>-3</sup> foi encontrado no ponto que apresentou 45 cps (Farias et al., 2015).

#### 4. CONCLUSÕES

O Refúgio Ecológico Charles Darwin possui duas áreas com perfis de radioatividade natural diferentes, correspondendo às áreas com diferentes altitudes, sendo a área mais elevada a de maior radiação natural, e a área menos elevada a de menor radiação natural; contudo, os valores observados para <sup>214</sup>Bi, <sup>214</sup>Pb e <sup>228</sup>Ac no Refúgio Ecológico Charles Darwin não diferem muito do padrão mundial. A atividade de <sup>40</sup>K encontra-se abaixo dos limites de detecção com equipamento detector de germânio hiperpuro.

Agradecimentos  
CNPQ e FACEPE.

#### Referências

- Amaral, R. S., Vasconcelos, W. E., Borges Silveira, S. V., Mazzilli, B. P. (2009) - Intake of uranium and radium-226 due to food crops consumption in the phosphate region of Pernambuco, Brazil. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 82, pp. 383–393.
- Canberra (2009). *Genie 2000 2.3. Customization tools manual*. Meriden: Canberra. 587p.
- Farias, E. E. G., Silva Neto, P. C.; Souza, E. M.; França, E.J.; Hazin, C. A. (2015). Radon levels and transport parameters in Atlantic Forest soils. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, in press.

- International Organization for Standardization – ISO. ISO13528 Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons. Geneva: ISO, 2005. 66p.
- Souza, E. M. (2006). Estratigrafia da seqüência clástica inferior (andares Coniaciano-Maastrichtiano inferior) da Bacia da Paraíba e suas implicações paleogeográficas. Dissertação (Mestrado), UFPE, Recife, 351p.
- Tufail M., Khan M.A., Ahmad N., Khan H.A., Zafar M.S. (1992). Measurements of radon concentration in some cities of Pakistan. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 40, pp. 39–44.
- UNSCEAR (2015). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Annex B-Exposures to natural radionuclides sources. UNSCEAR. <http://www.unscear.org/docs/reports/annexb.pdf>.
- Vaupotic J., Gregoric A., Kobal I., Zvab P., Kozak K., Mazur J., Kochowska E., Grzadziel D. (2010). Radon concentration in soil gas and radon exhalation rate at the Ravne Fault in NW Slovenia. Nat Hazards Earth Syst Sci Vol.10, pp. 895–899.