



DETERMINAÇÃO DA CONCETRAÇÃO DE ATIVIDADE DO ⁴⁰K EM AMOSTRAS DE ROCHAS DO NÚCLEO PIRAQUARA – PARQUE ESTADUAL DA PEDRA BRANCA

EDMILSON MONTEIRO SOUZA¹, JORGE DO OURO NETO¹, ALESSANDRO MARIANO DOMINGUES², MÔNICA CRISTINA CELESTINO DOS SANTOS¹, JARDEL LEMOS THALHOFER³, SAMANDA CRISTINE ARRUDA CORREA², ADEMIR XAVIER DA SILVA⁴

- ¹ Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste (UEZO)
- ⁴Instituto de Engenharia Nuclear (IEN/CEN)
- ⁵ Instituto Militar de Engenharia (IME)
- ⁴Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

RESUMO

Nos últimos anos, a presença de pessoas em regiões pouco explorados tem aumento devido ao incentivo à prática do Ecoturismo e do Turismo de Aventura. Estas regiões encontram-se em sua maioria em reservas florestais, próximas a maciços rochosos, onde os níveis de radioatividade natural são pouco conhecidos. Com relação aos radionuclídeos naturais, em termos de importância biológica, o Potássio-40 (⁴⁰K) é o mais relevante, uma vez que está presente na composição da maioria das amostras ambientais. Consequentemente é de fundamental importância o estudo da concentração de atividade do ⁴⁰K nestas regiões, visando proteger os visitantes dos efeitos causados pelas radiações ionizantes. Nesse trabalho foi utilizada a técnica da espectrometria gama de alta resolução com detector HPGe e o pacote de software *GENIE 2000* para a determinação da concentração de atividade do Potássio 40 (⁴⁰K) em amostras de rochas obtidas de áreas de grande circulação de pessoas do Núcleo Piraquara – Parque Estadual da Pedra Branca/RJ. As concentrações de atividade encontradas variaram de 1101,9 Bq.kg⁻¹ até 2536,4 Bq.kg⁻¹, estando em concordância com dados da literatura.

Palavras-chave: Radioatividade natural, concentração de atividade, Potássio-40 (⁴⁰K), Ecoturismo, PEPB.

ABSTRACT

In the last years, the number of people in unexplored places has been increased due the incentive of the Ecotourism practice and Adventure Tourism. These places are into forest reserves and close to rocky massifs, where the levels of natural radioactivity are unknowledge. With relation to natural radionuclides, in terms of biological importance, Potassium-40 (40 K) is one of the most important, considering that it is part of the composition of a large number of environmental samples. Consequently, it is fundamental to study the 40 K activity concentration in these regions in order to protect visitors of the ionizing radiation effects. In this work the high-resolution gamma spectrometry technique with HPGe detector and the Canberra software *GENIE 2000* were utilized to determinate the activity concentration of Potassium-40 in samples of rock obtained in places with a large number of people in the Núcleo Piraquara – Pedra Branca State Park. The results of this study showed that the potassium activity concentration of the analyzed samples ranged from 1101,9 Bq.kg $^{-1}$ to 2536,4 Bq.kg $^{-1}$. These values are in agreement whith the results reported in the literature.

Keywords: Natural Radioactivity, activity concentration, Potassium-40 (⁴⁰K), Ecotourism, PEPB.

INTRODUÇÃO

Com a prática do Ecoturismo e Turismo de Aventura, tem-se aumentada a presença da população em regiões até então pouco exploradas pelo homem, regiões essas formadas em sua maioria por reservas florestais e maciços rochosos, onde os níveis de radioatividade natural são pouco conhecidos. Consequentemente surge a necessidade de desenvolvimento de estudos que analisem os níveis de radioatividade natural presentes em rochas, solo, água e alimentos produzidos nesses locais. Localizado na Zona Oeste do Município do Rio de Janeiro, encon-

encontra-se a Unidade de Conservação do Parque Estadual da Pedra Branca (PEPB). O PEPB possui área aproximada de 12.495 hectares, sendo considerada uma das maiores florestas urbanas do mundo. Dentre as suas principais trilhas ecológicas, destaca-se o Núcleo Piraquara, localizado no bairro de Realengo -RJ. O Núcleo Piraquara possui pórtico, guarita, deck e piscina natural, parque infantil, sanitários públicos e uma edificação que hoje abriga, além da administração da unidade, o núcleo de guarda-parques e um posto da Unidade de Polícia Ambiental. Em 2009 houve grande revitalização do núcleo através de obras de contenção, pavimentação e reforma das edificações existentes, que devolveu à sociedade uma importante e muito utilizada área de lazer da região, com reflexos imediatos no aumento da frequência, especialmente nos finais de semana (INEA, 2013).

A radioatividade natural das rochas varia de acordo com sua natureza (UNSCEAR, 2000). Em geral concentrações de Atividade mais altas são comuns em rochas ígneas (graníticas) em relação às sedimentares e metamórficas (UNSCEAR, 2000; El-Arabi, 2007; Bastos, 2008; Marocchi et al., 2011).

A radiação gama emitida em ocorrências de radionuclídeos naturais como o Potássio-40 (40K) e os radionuclídeos das séries radioativas naturais do Urânio-235 (235U), Urânio-238 (238U), Tório-232 (232Th) e seus produtos de decaimento, representam a principal fonte de exposição gama externa para o homem. A exposição aos radionuclídeos naturais está diretamente associada à radioatividade do ambiente, e esta é devida principalmente à radiação gama, cujos níveis dependem primariamente das condições geológicas de cada área do planeta e da concentração de Urânio, Tório e Potássio da rocha que originou o solo (Tzortzis & Tsertos, 2004; Anjos et al., 2005). Do ponto de vista biológico-ambiental, somente dois radionuclídeos isolados que ocorrem naturalmente são relevantes: o 40K e o Rubídio-87 (87Rb), sendo o ⁴⁰K o mais importante, do ponto de vista biológico, por estar presente essencialmente em

todas as amostras ambientais (Kathren, 1998). Dos três isótopos naturais do potássio, o ⁴⁰K é o único radioativo, com meia-vida de 1,28 x 10⁹ anos e uma abundância isotópica de 0,0118 %. Assim, torna-se importante, em termos radiológicos, fazerem-se estudos da concentração de atividade do ⁴⁰K encontrado nas rochas. A Figura 1 apresenta o esquema simplificado do decaimento do ⁴⁰K (Kathren, 1998; LNHB, 2019).

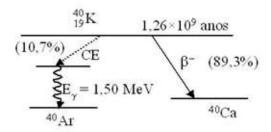


Figura 1: Esquema simplificado de decaimento do 40K.

O Maciço da Pedra Branca é composto por um grupo de rochas com litologias distintas, envolvendo a ocorrência de granitóides de variadas texturas e estruturas, além de gnaisses e migmatitos encaixantes (Silva, 2011). Considerando isso, o conhecimento dos níveis de radioatividade natural e da concentração de atividade do 40K nas formações rochosas do PEPB é de fundamental importância para a avaliação da exposição à radiação natural por parte do público residente e visitante.

1.1 - OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo determinar a concentração de atividade do radionuclídeo 40K em amostras de rochas obtidas de pontos de visitação e grande circulação localizados na Trilha Piraquara — Parque Estadual da Pedra Branca, através da técnica da espectrometria gama de alta resolução utilizando detector de Germânio Hiperpuro (HPGe). Os resultados obtidos serão comparados com dados encontrados na literatura para rochas utilizadas como materiais de construção, visto que a natureza de sua aplicação torna obrigatório que os valores de concentrações de atividades não ofereçam

riscos radiológicos ao público.

2 - METODOLOGIA

2.1 – ÁREA DE ESTUDO

A região escolhida para estudo está situada no Núcleo Piraquara, importante trilha do PEPB. A Tabela 1 ilustra os pontos de coleta de amostras de rocha, identificados por códigos, e suas respectivas coordenadas geográficas, obtidas com o auxílio do aplicativo *Google MapsR*.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas dos pontos de coleta de amostras de rocha para análise da Concentração de atividade do ⁴⁰K.

Amostras	Coordena	Coordenadas Geográficas		
	Latitude	Longitude		
A1	-22,901763°	-43,447610°		
A2	-22,901818°	-43,447694°		
A3	-22,901784°	-43,448647°		
A4	-22,901228°	-43,448782°		
A5	-22,901502°	-43,445352°		
A6	-22,901523°	-43,448052°		
A7	-22,901449°	-43,448464°		

As amostras de rochas foram coletadas em diferentes afloramentos existentes ao longo da região escolhida para estudo, cobrindo uma extensão territorial de 01 hectare, como mostra a Figura 2.



Figura 2 – Distribuição geográfica dos pontos de coleta no Núcleo Piraquara – PEPB. Imagem obtida através do software Google Earth^R.

Foram mapeados 07 afloramentos, realizando-se 02 amostragens em cada. Os pontos de coleta foram escolhidos em função da facilidade de acesso ao turista e ao morador, o tempo de permanência e a concentração de visitantes. Foram considerados fatores como presença de brinquedos para crianças, atrativos esportivos, atrativos turísticos para contemplação, presença de minas d'água e açudes.

2.2 – PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras de rocha foram submetidas à lavagem com água destilada, visando a retirada de matéria orgânica existente na superfície. Posteriormente foram submetidas a processo de secagem em estufa de esterilização por 24h, a uma temperatura de 60 °C. Limpas e secas, as amostras foram submetidas a processo de cominuição, utilizando-se um Moinho de Jarros modelo Marconi MA500/JC1, com esferas (cristais) cerâmicas. Foram obtidos 02 padrões de granulometria para cada amostra processada: refinado e granulado. Todo o procedimento foi realizado no Laboratório Didático e Pesquisa de Processamento de Materiais - LDPPM da Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste - UEZO. As amostras foram acondicionadas em recipientes de polipropileno de volume de 120 ml, com as tampas lacradas, e etiquetadas, resultando em um total de sete 07 recipientes com amostras de padrão refinado e 07 com padrão granulado, e posteriormente encaminhadas para o Laboratório de Análises Ambientais e Modelagem Computacional -LAASC do Programa de Engenharia Nuclear da COPPE/UFRJ.

Uma vez no LAASC/UFRJ, as massas das amostras foram aferidas utilizando uma balança digital da marca *Gehaka*, modelo BG 4000, com resolução de centésimos de gramas. A correção da auto-atenuação dos fótons devido a diferença entre as densidades das amostras foi realizada através do programa *Geometry Composer*, onde para cada densidade foi gerada uma curva de eficiência de detecção (Canberra, 2012). Para fins de estudo foram analisadas so-

mente as amostras de padrão refinado. Na Figura 3 são mostrados em (a) os recipientes contendo as amostras de rocha, lacradas e prontas para serem analisadas, e em (b) o Moinho de Jarros utilizado.

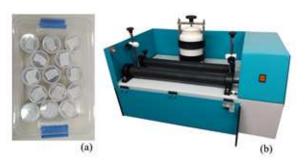


Figura 3: Em (a) Recipientes com amostras de rochas prontas para análise e em (b) o Moinho Jarros.

2.3 – SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A técnica utilizada para a determinação das concentrações do radionuclídeo natural Potássio (40K) nas amostras foi a *Espectrometria Gama de Alta Resolução*. As análises espectrométricas foram realizadas no LAASC/COPPE/UFRJ. Para tal, foi utilizado um sistema de detecção produzido pela *CANBERRA Industries*, composto por um detector semicondutor de Germânio Hiper-Puro (HPGe) vertical modelo GC3020, com eficiência relativa de 30%, acoplado a um pré-amplificador do tipo RC, modelo 2002C, sistema multicanal modelo DAS 1000 (*Digital Spectrum Analyzer*), de 8192 canais, com faixa de energia de 50 keV até 2 MeV.

O cristal de germânio é do tipo coaxial, com 62 mm de diâmetro e 40 mm de altura. A fim de minimizar os efeitos da radiação de fundo, o detector é envolto por uma blindagem produzida pela *CANBERRA Industries*, modelo 747, com espessuras de 10 cm de chumbo, 1 mm de estanho e 1,6 mm de cobre. Essa blindagem ainda é recoberta externamente por 9,5 mm de aço com baixa percentagem de carbono.

A calibração em energia do sistema foi realizada com o auxílio do *software Gamma Analysis* da suíte *GENIE 2000* (Canberra, 2012), utilizando três fontes radioativas certifi-

cadas, totalizando um número de cinco pontos experimentais correspondentes aos picos do ¹³⁷Cs (0,6617 MeV), ⁶⁰Co (1,17 MeV e 1,33 MeV) e ¹⁵²Eu (0,1218 MeV e 0,3443 MeV). Na Figura 4 é mostrado o sistema de aquisição de dados utilizado neste trabalho.



Figura 4: Espectrômetro de alta resolução composto por detector HPGe e eletrônica associada, instalado no LAASC/PEN/COPPE/UFRJ.

2.4 – PROCESSAMENTO DOS DADOS E DETERMINAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE ATIVIDADE

O processamento dos espectros oriundos das amostras analisadas foi realizado com o auxílio da suíte de softwares para espectrometria gama GENIE 2000, da CANBERRA Industries. O GENIE 2000 é um ambiente computacional que inclui um conjunto de algoritmos de análise avançados para processamento adicional de espectros de radiação gama adquiridos. Os algoritmos fornecem uma análise completa dos espectros como área, largura a meia altura e eficiência. Outras ferramentas importantes são o programa Gamma Analysis, utilizado para a calibração em energia do sistema de aquisição, e o pacote de programas LabSOCS (Laboratory SOurceless Calibration Software), que faz calibrações matemáticas de eficiência de detecção, sem a necessidade de qualquer utilização de fontes padrões de radiação. O GENIE 2000 também realiza a identificação e quantificação do nuclídeo, correções de interferência, auto-

atenuação dos fótons emitidos pela amostra, cálculo da Concentração de atividade e Atividade Mínima Detectável - MDA (Garcêz, 2016). O MDA é a mínima atividade que o arranjo experimental é capaz de detectar. Reflete a habilidade do arranjo experimental em detectar raios gama na presença de interferência da radioatividade natural e do espalhamento Compton de raios gama de alta energia originados da fonte, e dependerá do tipo da amostra, da energia da radiação, da geometria de contagem, do tipo de detector, da radiação de fundo e do tempo de medida. É uma medida imprescindível, em se tratando de análise de campos de baixo nível de radiação. Neste trabalho os valores de MDA para cada amostra foram determinados através do software Gamma Analysis, cuja metodologia para cálculo é baseada na Derivação de Curie (ISO, 2007; ISO, 2010). Os valores obtidos, para um nível de confiança de 95%, são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores de MDA para as amostras analisadas neste trabalho

Amostra	MDA (Bq.kg ⁻¹) Nível de Confiança de 95%
A1	1,12
A2	2,04
A3	3,85
A4	1,33
A5	1,72
A6	0,92
A7	1,07

3 - RESULTADOS

3.1 – CONCENTRAÇÕES DE ATIVIDADE DO ⁴⁰K

Os valores calculados para as concentrações de atividade do ⁴⁰K são apresentados na Tabela 3. O tempo de contagem utilizado para o levantamento dos espectros de fundo e do espectro bruto das amostras analisadas foi de 8 horas (28800s). Para a determinação da concentração

de atividade do ⁴⁰K, o espectro de fundo foi subtraído dos espectros brutos com o auxílio da suíte *GENIE 2000*. Para aferir a atividade do 40K foi utilizada a sua própria energia de decaimento de 1460,8 keV. Devido ao fato do Actínio-228 (²²⁸Ac) apresentar probabilidade de emissão de 1% na energia de 1459,2 keV, muito próxima a energia de 1460,8 keV do ⁴⁰K, probabilidade de emissão de 10,67%, foi necessária uma correção na atividade do potássio. Para tal, foi adotada a metodologia proposta por Lavi et al (Lavi, 2004).

Tabela 3: Concentração de Atividade do ⁴⁰K nas amostras de rocha obtidas no Núcleo Piraquara – PEBP/RJ.

Amostra	Concentração de Atividade
	do ⁴⁰ K (Bq.kg ⁻¹)
A1	$(1101,9 \pm 45)$
A2	$(1494,8 \pm 61)$
A3	$(2536,4 \pm 104)$
A4	$(2294,1 \pm 93)$
A5	$(1593,8 \pm 65)$
A6	$(1609,9 \pm 65)$
A7	$(1511,8 \pm 61)$

Todas as amostras de rocha analisadas apresentaram valores de concentração de atividade do ⁴⁰K superiores à atividade mínima detectável (MDA). As concentrações de atividade variaram de 1101,9 ± 45 Bq.kg⁻¹ até 2536,4 ± 104 Bq.kg⁻¹. Estes valores estão em concordância com resultados reportados na literatura para concentração de atividades obtidos para rochas utilizadas na construção civil, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4: Concentração de Atividade do 40K nas amostras de rocha obtidas no Núcleo Piraquara e valores oriundos da literatura.

Região Estudada	Número de amostras	Concentração de atividade do "K (Bq.kg1)		Referència
		Menor valor	Major valor	
Turquia	42	92	4155,9	(Turban, 2008)
Italia	20	(240 ± ?)	(2000 ± 70)	(Marocchi et al., 2011)
Brasil	110	(190 ± 63)	(2029 = 95)	(Anjos et al., 2005)
SP e MG	14	407,5	1615	(Moura, 2005)
Paraná	37	(246 ± 17)	(1604 ± 94)	(Ferreira, 2013)
Núcleo Piraquara (PEPB/RJ)	07	(1101,9 = 45)	(2536,4 ± 104)	Este trabalho

Os valores encontrados neste trabalho também estão abaixo da média mundial de concentração de atividade do 40K em solos, que é de 400 Bq.kg⁻¹, entre 40 – 850 Bq.kg⁻¹ (UNSCEAR, 2000).

4 – CONCLUSÕES

Os valores de concentração de atividade do ⁴⁰K encontrados nos sete afloramentos rochosos analisados estão em concordância com os resultados obtidos na literatura, provenientes de amostras de rochas nacionais e internacionais utilizadas como matéria prima para construção civil, mostrando que todas as rochas estudadas não apresentam, com relação a concentração de atividade do ⁴⁰K, riscos biológicos-ambientais aos visitantes destes pontos turísticos do Núcleo Piraquara — Parque Estadual da Pedra Branca/R.J.

5 – AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer o apoio e suporte operacional do Instituto Estadual do Ambiente – INEA/RJ, através de suas equipes, e o apoio e suporte financeiro da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, (FAPERJ), Processo E-26/200.028/2019, para o desenvolvimento deste trabalho.

6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ANJOS R M, VEIGA R, SOARES T, SANTOS A M A, AGUIAR J G, FRASCÁ M H B O, BRAGE J A P, UZÊDA D, MANGIA L, FACURE A, MOSQUEIRA B, CARVALHO C, GOMES P R S. 2005. Natural radionuclide distribution in Brazilian comercial granites. Radiat. Meas 39: 245-253.

BASTOS R O. 2008. Radioatividade de rochas provenientes das formações geológicas pertencentes à bacia hidrográfica do rio Tibagi. Tese (Doutorado), Departamento de Física, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008, 196p.

FERREIRA A O. 2013. Avaliação da radioatividade natural em algumas rochas graníticas do estado do Paraná e sua utilização na construção civil. Tese (Doutorado), Programa de Tecnologia Nuclear – Aplicações, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2013, 114p.

GARCÊZ R W D. 2016. Determinação das Atividades Específicas do ²²⁶Ra, ²²⁸Ra e 40K em Amostras de Fertilizantes Minerais. Dissertação (Mestrado), Programa de Engenharia Nuclear, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016, 67p.

CANBERRA, GENIETM 2000 3.3: Operations Manual, EUA, 2012.

EL-ARABI A. 2007. Ra-226, Th-232 and K-40 concentrations in igneous rocks from eastern desert, Egypt and its radiological implications. Radiat. Meas 42: 94-100.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBI-ENTE. 2013. Trilhas: Parque Estadual da Pedra Branca. Rio de Janeiro: Instituto Estadual do Ambiente, INEA, 2013.

INTERNATIONAL STANDARD. 2007. Water quality – Determination of the activity concentration of radionuclides – Method by high resolution gamma ray spectrometry,

ISO 10703, 2007.

INTERNATIONAL STANDARD. 2010. Determination os characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the confidence interval) for measurements of ionizing radiation – Fundamental and applications, ISO 11929. 2010.

KATHREN R L. 1998. Norm sources and their origins. Appl. Radiat. Isot 49:149-168.

LABORATOIRE NATIONAL HENRI BEC-QUEREL (LNHB). Disponível em http://www.nucleide.org/ Acesso em: outubro de 2019.

LAVI N, GROPP F, ALFASSI Z. B. 2004. On the measurement of ⁴⁰K in natural and synthetic materials by the method of high-resolution gamma ray spectrometry. Radiat. Meas 38: 139-143.

MAROCCHI M, RIGHI S, BARGOSSI G M, GASPAROTTO G. 2011. Natural radionuclides content and radiological hazard of commercial ornamental stones, an integrated radiometric and mineralogical-petrographic study. Radiat. Meas 46:538-545.

MOURA C L. 2005. Radioatividade natural e emanação de Rn-222 em rochas ornamentais provenientes de diferentes séries magmáticas. Tese (Doutorado). Departamento de Geologia regional, UNESP, Rio Claro, 2005. 195p.

SILVA A U. 2011. Caracterização e análise de resistência para as rochas dos emboques do Túnel da Grota Funda – Rio de Janeiro, RJ. Trabalho de Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2011, 55p.

TURHAN S. 2008. Assessment of the natural radioactivity and radiologycal hazards in turkish cement and its raw materials. J. Environ Radioact 50(3): 404-414.

TZORTZIS, M.; TSERTOS, H. Determination of thorium, uranium and potassium elemental concentrations in surface soils in Cyprus. J. Environ Radioact 77:325-338.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. (2000), "Sources and Effects of Ionizing Radiation", UNSCEAR 2000 Report Vol.1 to the General Assembly, with scientific annexes, United Nations Sales Publication, United Nations, New York.