

**Mapeamento da radioatividade natural nos ambientes externos do CDTN****Mapping of natural radioactivity in CDTN's outdoor environments**

DOI:10.34115/basrv4n6-032

Recebimento dos originais: 07/11/2020

Aceitação para publicação: 07/12/2020

**Natália Fonseca Taveira**

Mestre em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais pelo CDTN

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Departamento de Engenharia Nuclear – Escola de Engenharia UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – Belo Horizonte, Bloco 4, sala 2299 31270-901

E-mail: natyfontaveira@hotmail.com

**Mayara Pinheiro Duarte**

Graduada em Geografia pela UFMG

Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 662731270 – 901 Belo Horizonte, MG

E-mail: mayarapinheiroduarte@gmail.com

**Talita de Oliveira Santos**

Doutora em Ciências e Técnicas Nucleares pela UFMG

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Faculdade de Medicina da UFMG, Av. Professor Alfredo Balena, 190 30130 – 100 Belo Horizonte, MG

E-mail: Talitaol@ufmg.br

**Aimoré Dutra Neto**

Mestre em Ciência e Técnicas Nucleares pela UFMG

Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 662731270 – 901 Belo Horizonte, MG

E-mail: dutraa@cdtn.br

**Zildete Rocha (Em memória)**

Mestre em Ciência e Técnicas Nucleares pela UFMG

Instituição: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos, 662731270 – 901 Belo Horizonte, MG

E-mail: rochaz@cdtn.br

**Arno Heeren de Oliveira**

Pós-doutor em aplicação de radioisótopos (métodos nucleares) no Centre d'Etudes Nucleaires de Saclav/CEA

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

Endereço: Departamento de Engenharia Nuclear – Escola de Engenharia UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha – Belo Horizonte, Bloco 4, sala 2299 31270-901

E-mail: heeren@nuclear.ufmg.br

**RESUMO**

A radiação natural ocorre devido a dois contribuintes principais: partículas de raios cósmicos de alta energia incidentes na atmosfera da Terra e radionuclídeos que estão presentes na crosta terrestre desde a sua formação. Para a maioria das pessoas, essas exposições naturais são muito mais significativas do que as exposições causadas por fontes artificiais. Os radionuclídeos primordiais mais significativos estão relacionados aos elementos tório (Th) e urânio (U) e potássio. Este trabalho tem como objetivo mapear e analisar a radioatividade natural nos ambientes externos no Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear (CDTN), a fim de observar a variação da radioatividade nesta localidade. É importante ressaltar que, como é uma área de um centro de pesquisa nuclear, alguns pontos indicaram valores significativos de radiação quando comparados aos naturais, sendo estes altos valores provenientes de fontes artificiais, por exemplo, de resíduos radioativos. Este estudo foi realizado com o espectrômetro RS-230, Radiation Solutions / CANADA, acoplado a um Sistema de Posicionamento Global (GPS), que identifica quantitativa e qualitativamente os radionuclídeos ambientais, como  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$ . Os resultados obtidos foram exportados para o programa ArcGis® onde uma análise geoespacial foi realizada para correlacionar os dados do RS-230 com as coordenadas obtidas a partir do GPS, de acordo com os valores os resultados foram classificados em cinco classes - muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Além de entender a radioatividade natural no CDTN, o trabalho está buscando fornecer uma base de informações para futuras aplicações em outros ambientes similares, isto é, ambientes que apresentam uma possível combinação de radioatividade natural e artificial.

**Palavras-Chave:** Radioatividade Natural, radônio, detecção de radiação, mapeamento.

**ABSTRACT**

Natural radiation occurs due to two main contributors: high-energy cosmic ray particles in the Earth's atmosphere and radionuclides that have been present in the Earth's crust since its formation. For most people, these natural exposures are much more significant than those caused by artificial sources. The most significant primary radionuclides are related to the elements thorium (Th) and uranium (U) and potassium. This work aims to map and analyze natural radioactivity in outdoor environments at the Nuclear Technology Development Center (CDTN) in order to observe the variation of radioactivity in this location. It is important to emphasize that, as it is an area of a nuclear research center, some points have indicated significant values of radiation when compared to natural ones, being these high values coming from artificial sources, for example, radioactive waste. This study was carried out with the RS-230 spectrometer, Radiation Solutions / CANADA, coupled with a Global Positioning System (GPS), which identifies quantitatively and qualitatively environmental radionuclides, such as  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$ . The results were exported to the ArcGis® program where a geospatial analysis was performed to correlate the RS-230 data with the coordinates obtained from the GPS, according to the values the results were classified into five classes - very low, low, medium, high and very high. Besides understanding the natural radioactivity in the CDTN, the work is seeking to provide a basis of information for future applications in other similar environments, that is, environments that present a possible combination of natural and artificial radioactivity.

**Keywords:** Natural radioactivity, radon, radiation detection, mapping.

**1 INTRODUÇÃO**

As radiações ionizantes e os elementos radioativos existem no planeta Terra desde a sua origem, sendo, portanto, um fenômeno natural. Porém, as taxas de exposição aos radionuclídeos naturais, há milhares de anos, eram possivelmente incompatíveis com a vida, por serem extremamente altas. Com o

passar do tempo, os átomos radioativos, instáveis, foram evoluindo para configurações cada vez mais estáveis, através da liberação do excesso de energia armazenada nos seus núcleos, possibilitando o surgimento dos primeiros seres vivos [1].

Existem dois principais fatores que contribuem para a exposição à radiação natural: partículas de raios cósmicos incidentes na atmosfera terrestre e núclídeos radioativos que se originaram na crosta terrestre e estão presentes em qualquer parte do ambiente [2]. Para a maioria das pessoas, as exposições naturais são muito mais significativas que as exposições causadas por fontes artificiais. Hoje, só é possível conhecer e estudar os radionuclídeos que surgiram na origem do planeta Terra, pois alguns desses elementos possuem meia vida longa o suficiente para serem ainda detectados. Para estudos de impactos radiológicos os dois principais elementos e suas respectivas séries radioativas são o urânio e o tório.

O urânio ocorre naturalmente na crosta terrestre e consiste, basicamente, de três isótopos,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  e  $^{234}\text{U}$ , com abundâncias isotópicas de 99,274%, 0,720% e 0,0057%, respectivamente. É encontrado em rochas e minérios, areia monazítica, águas salgadas e doces. As jazidas de urânio têm sua origem na interação de processos orogênicos, estruturais, geomorfológicos e geoquímicos, que distribuem e concentram esse elemento em depósitos economicamente exploráveis [3]. Cada um dos tipos de depósito possui suas respectivas associações minerais e características geoquímicas [4;5].

Os depósitos de urânio ocorrem em quase todos os tipos litológicos, os mais antigos conhecidos são os conglomerados de seixos de quartzo, do fim do Arqueano, início do Proterozóico. Na água, pode estar na forma dissolvida, adsorvida ou absorvida. Seu transporte e mobilidade dependem de quatro fatores principais: potencial de oxirredução, pH, agentes complexantes e materiais adsorventes presentes na água. [6]. Cada isótopo de urânio possui suas etapas de desintegrações, constituindo esquemas de decaimento específicos.

O tório ocorre naturalmente na crosta terrestre em concentrações na faixa de 0,01 a 21,5  $\text{mg.kg}^{-1}$ . É encontrado, principalmente, em areia monazítica, rochas e alguns minerais. Geralmente, os compostos de tório não são facilmente solúveis em água e não evaporam do solo ou da água para a atmosfera [6].

Desta forma, solos enriquecidos com urânio e tório são condições básicas para criar substratos geológicos favoráveis à liberação do radônio, apesar de existir outras propriedades que devem ser levadas em consideração para estudar a emissão e exalação de radônio, este trabalho se ateve apenas à detecção do U, Th e K.

A maior relevância de se estudar o urânio e o tório naturais é a existência na cadeia radioativa de ambos, o radônio. O radônio é um gás e consiste de vários isótopos, entretanto, somente três são de ocorrência natural: o radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ), o actinônio ( $^{219}\text{Rn}$ ) e o torônio ( $^{220}\text{Rn}$ ), estes radionuclídeos são

provenientes das séries de decaimento originadas a partir do  $^{238}\text{U}$ , do  $^{235}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$ , respectivamente. Na prática, somente os radioisótopos radônio ( $^{222}\text{Rn}$ ) e torônio ( $^{220}\text{Rn}$ ) apresentam relevância do ponto de vista de proteção radiológica ou interesse ambiental e geológico, por possuírem meia vidas maiores do que seus outros isótopos [7].

O  $^{222}\text{Rn}$  é emissor alfa com energia de 5,49 MeV e os decaimentos responsáveis pela dose mais significativa, do ponto de vista radiológico, são o  $^{218}\text{Po}$  (alfa - 6,00 MeV) e o  $^{214}\text{Po}$  (alfa - 7,69 MeV) [8]. Se inalados tais isótopos do polônio ficam retidos no pulmão e decaem para chumbo antes de serem removidos por mecanismos do metabolismo orgânico.

O radônio e seus descendentes são responsáveis por 45% da dose de radiação recebida anualmente pelo homem e por 50% da dose devido a fontes naturais [9]. O maior problema causado pela exposição a esse gás e seus filhos é o aumento da probabilidade de se desenvolver câncer de pulmão, sendo a segunda maior causa para essa patologia depois do tabagismo, nos Estados Unidos. A proporção desta doença com causa atribuída ao radônio é de 3 a 14% para todos os seus tipos [10].

O artigo apresenta como principal objetivo entender a distribuição espacial e o comportamento dos radionuclídeos naturais nas ruas e trilhas do CDTN através da realização de um levantamento inicial por varredura gama.

## 2 METODOLOGIA

Atualmente há um número crescente de técnicas para determinação de radionuclídeos naturais. O método utilizado neste trabalho foi uma varredura gama através da utilização de um espectrômetro gama portátil na condição inspecionar (survey) dos níveis de emissão “gama total”,  $^{238}\text{U}$  (ppm),  $^{232}\text{Th}$  (ppm),  $^{40}\text{K}$  (%) e níveis de taxas de dose ( $\text{nSv}\cdot\text{h}^{-1}$ ). O espectrômetro RS-230, Radiation Solutions / CANADÁ, auto portado, foi acoplado a um Sistema de Posicionamento Global (GPS). As coordenadas foram utilizadas para realizar o geoprocessamento, através do programa *ArcGis®*, dos pontos onde foram feitas as aquisições dos dados do RS-230. Portanto, o estudo identifica quantitativa e qualitativamente os radionuclídeos ambientais, como  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  e  $^{232}\text{Th}$  e os localiza espacialmente em mapas do local de interesse.

Primeiramente foi realizado um levantamento radiométrico das ruas e caminhos do CDTN, com os equipamentos supracitados. Em seguida, utilizando o software *RSAnalyst*, foi feita a análise dos dados obtidos pelo RS-230. Estes dados são apresentados graficamente em função do tempo, juntamente com suas coordenadas e posteriormente são convertidos em tabelas, e transferidos para o programa *ArcGis* com o qual a distribuição geoespacial é realizada. Neste trabalho os níveis de radiação foram distribuídos em cinco classes de contagens por segundo (cps) muito baixa (3-150), baixa (150-200), média (200-

400), alta (400-800) e muito alta (800-2924) e distinguidos por cores na apresentação. Para a realização do mapa final, *shapes* de Belo Horizonte, com ênfase para a região do CDTN, foram utilizadas.

## 2.1 ÁREA ESTUDADA

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) é uma instituição de pesquisa, desenvolvimento, produção, serviços e ensino na área nuclear e em áreas correlatas. É um dos cinco institutos de pesquisas nucleares da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Com sede no campus da UFMG em Belo Horizonte-MG, ocupa uma área de 240.000 m<sup>2</sup>, sendo 35.000 m<sup>2</sup> de área construída. Os perímetros da região e o contorno dos prédios foram as áreas de interesse, realizando, assim, uma cobertura de todas as áreas acessíveis.

## 2.2 ESPECTRÔMETRO RS-230 BGO

O RS-230 (Figura 1) é um espectrômetro constituído por um detector cintilador inorgânico de Germanato de Bismuto (Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>). Nos detectores cintiladores, a radiação interage com o material produzindo neste excitações e ionizações que, ao retornarem ao seu estado fundamental, emitem luz na faixa visível.

Fig. 1 - RS-230 Superespectrômetro



A luz é, então, absorvida por um fotocátodo de uma fotomultiplicadora, onde o sinal é multiplicado até atingir intensidade suficiente para se tornar um pulso. A vantagem do BGO, em relação ao Iodeto de Sódio (mais comumente usado), é possuir uma grande densidade e alto número atômico o que o torna muito eficiente para a detecção de raios gama.

O equipamento após sincronizado é capaz de operar em modo *Assay* (realização de espectro gama) e *Survey* (inspeção). Este estudo foi realizado principalmente no modo *Survey*. Onde houve indicação de “anormalidades radiométricas” realizaram-se, em *Assay*, um espectro pontual, para

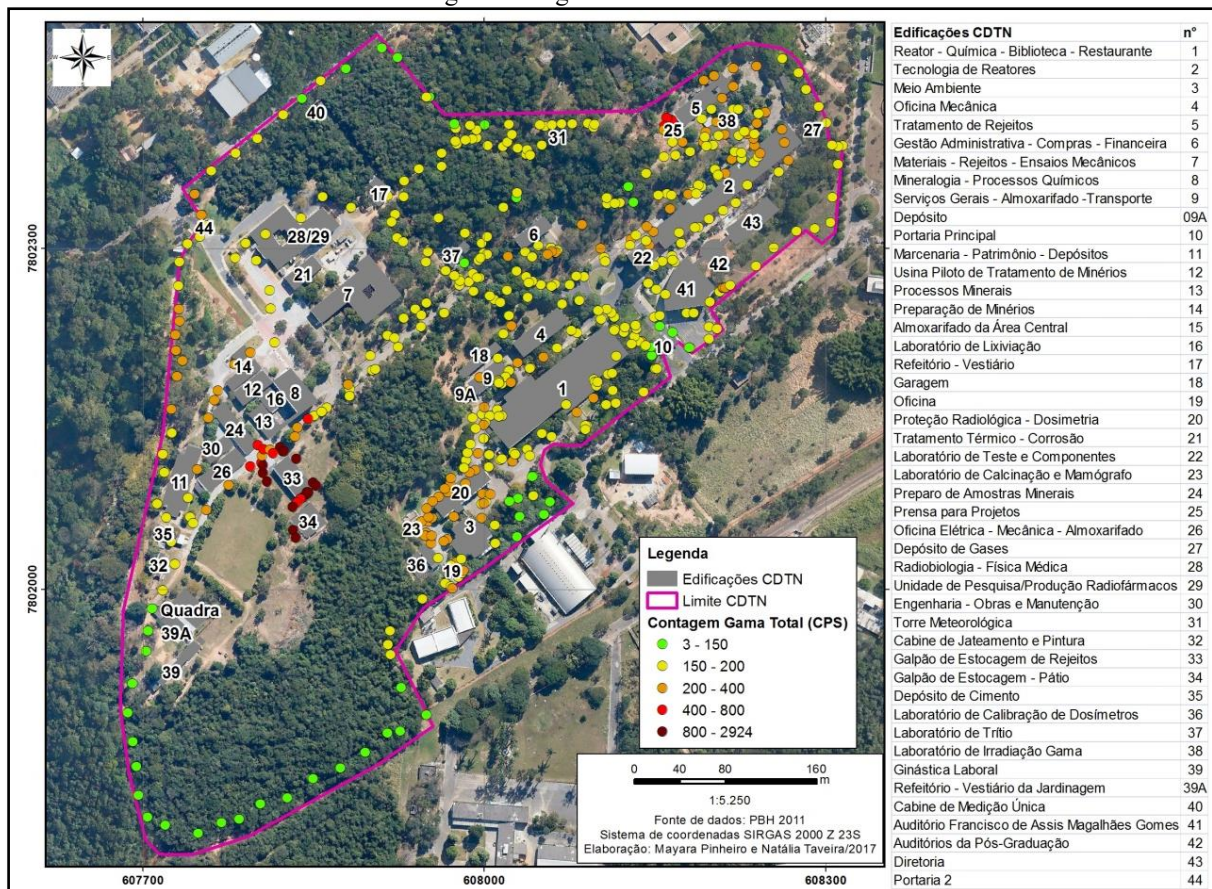
discriminar as energias e possivelmente os seus respectivos radionuclídeos. Estes espectros são realizadas em tempo mínimo de 30 segundos. Para melhorar a precisão, um tempo de até 1800 segundos pode ser utilizado, assim, em áreas de baixa intensidade de emissão gama, deve-se aumentar o tempo de permanência do detector no local para a realização do espectro bem como para o levantamento no modo *Survey*.

Os dados do potássio são apresentados em porcentagem (%) e os dados do urânio e do tório em ppm (*partes por milhão*). A taxa de contagem total é mostrada em cps (contagem por segundo) e a taxa de dose em (nSv.h<sup>-1</sup>). Nos dias em que foram realizadas medições, foi possível analisar os espectros e avaliar a dose total.

### 3 RESULTADOS

As áreas estudadas apresentaram valores de contagens gama variando, em valores, de 3 a 2924 cps. Na maior parte do terreno os níveis de radiação se apresentaram como baixo e médio, o que significa que está dentro da normalidade para a região em que se encontram, como mostrado na Fig. 2.

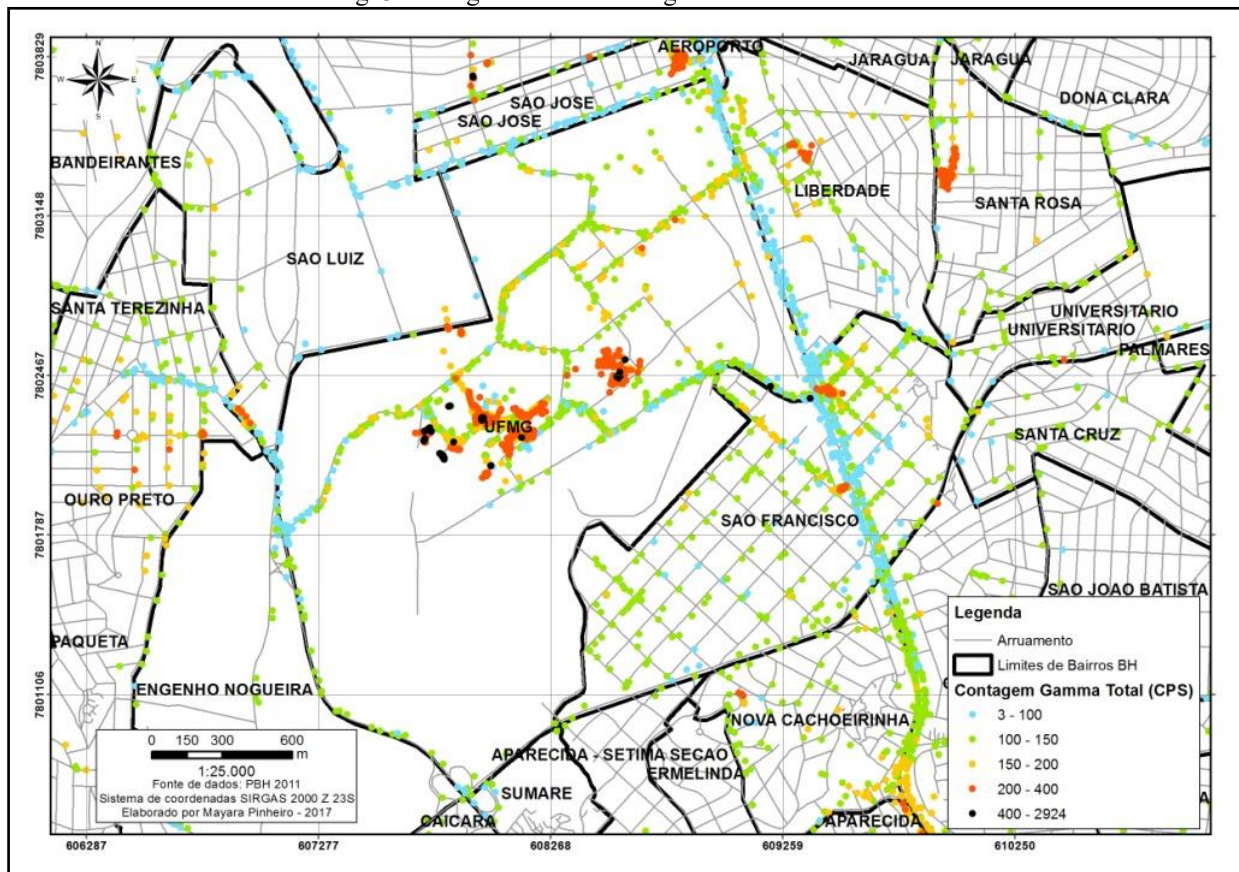
Fig. 2 Contagem Gama Total CDTN



As áreas em que a detecção se apresentou alta, em relação ao esperado para radioatividade natural, foi possível diferenciar que estas eram provenientes de fontes artificiais, principalmente em regiões circunvizinhas ao prédio 33 – Galpão de Estocagem de Rejeitos-, uma vez que se trata de um núcleo de pesquisa em técnicas nucleares, onde fontes exauridas, provenientes de vários serviços que utilizam fontes radioativas, são armazenadas. A exemplo de fontes exauridas que são depositadas nesta edificação, são fontes provenientes de hospitais e clínicas de medicina nuclear, como  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{60}\text{Co}$  e materiais que possivelmente entraram em contato com essas e outras fontes, como luvas e aventais.

Comparando-se os dados deste estudo com os dados previamente obtidos pelo Laboratório de Radioatividade Natural (LRN) realizado pelo professor Zildete Rocha do SEAMA/CDTN (Figura 3). Na figura 3 é possível perceber a distribuição das contagens nos bairros ao redor da região do CDTN. O mapa mostra a variação das detecções realizada pelo RS-230, utilizado neste estudo, e com os mesmos valores de classificação em contagens por segundo.

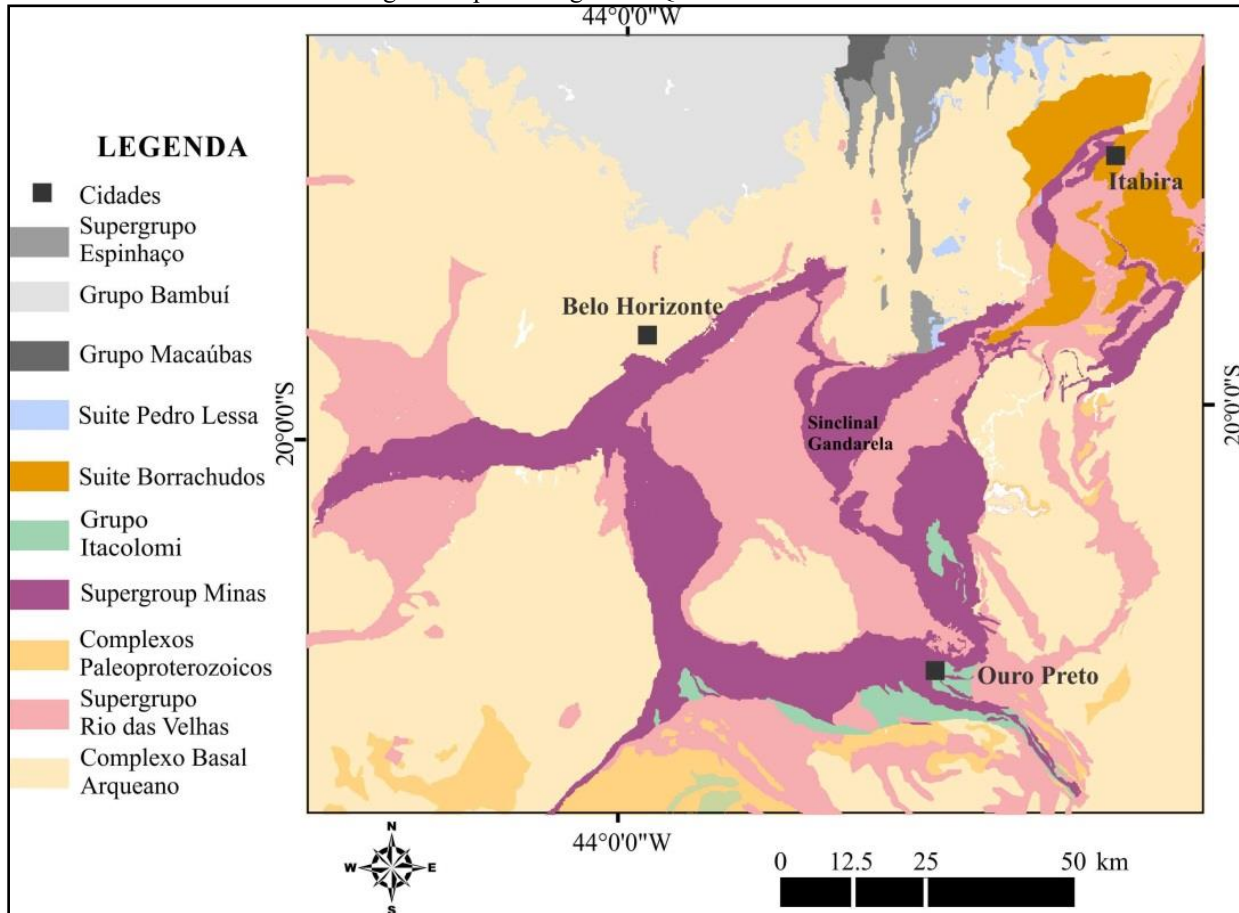
Fig. 3 Contagem Gama total regiões vizinhas ao CDTN



A maioria das contagens, em ambos, permaneceu em níveis baixos e médios, comprovando, assim, que a detecção é, em sua maioria, proveniente de fontes naturais e que possui uma característica intrínseca das rochas da região, onde se predomina o gnaisse. Anomalias radiométricas registradas em

trabalhos de campo em campanhas de prospecção de urânio foram encontradas na Formação Moeda no Quadrilátero Ferrífero com contagens superiores a 1000 cps [3]. Contudo o embasamento geológico em que a cidade de Belo horizonte se encontra é diferente da supracitada. Belo Horizonte se encontra no Complexo Basal Arqueano, enquanto que a Formação Moeda pertence ao Supergrupo Minas como indicado na Figura 4.

Fig. 4: Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero.



Fonte: Modificado de CPRM, 2004;

Diferentes embasamentos geológicos possuem diferentes constituições de radionuclídeos naturais, o que justifica os valores encontrados na detecção gama. É importante ressaltar que a constituição rochosa é apenas um dos fatores que devem ser considerados no nível de radiação de uma região. O solo, sua permeabilidade, umidade e porosidade são fatores preponderantes para compor o entendimento geral da radioatividade natural em determinado meio ambiente.



#### 4 CONCLUSÃO

As informações obtidas com o mapeamento são de suma importância, principalmente para o ambiente que faz o uso de fontes artificiais, pois é possível distinguir áreas contaminadas de áreas que são naturalmente mais radioativas.

O conjunto de dados obtidos fornece informações sobre os radionuclídeos ambientais emissores gama CDTN. As detecções realizadas apresentam-se dentro da normalidade, cerca de 200 cps para a localidade, e estão concordantes com os conjuntos de dados do LRN do CDTN. Os aspectos geológicos e litológicos influenciam diretamente na concentração dos nuclídeos primordiais analisados neste estudo como visto em literatura previamente estudada.

A maior parte das detecções foi proveniente de radionuclídeos naturais, principalmente U, Th e K. As anomalias encontradas, onde a detecção chegou próximo de 3000 cps, foram provenientes de radioisótopos artificiais que se encontram guardados em depósito no CDTN e são devidamente controlados.

Por fim, as informações adquiridas podem ser de extrema importância para compor uma base de dados da radioatividade ambiental do CDTN. O conhecimento da radiação de fundo, em locais onde há manipulação e produção de radionuclídeos artificiais, pode auxiliar no momento da deconstaminação de um possível acidente.

O conhecimento adquirido com este estudo pode ser aplicado onde o público geral frequenta, como escolas, casas e edifícios. O levantamento da radiação natural e o conhecimento das doses nestes locais, torna-se crucial para entender e estimar a quantidade de radônio dentro de ambientes fechados. Isto é possível, posto que, o radônio é o elemento das cadeias do urânio e do tório que mais contribui para a dose anual recebida pela população.

#### AGRADECIMENTOS

Ao CDTN/CNEN e ao Departamento de Engenharia Nuclear da UFMG pelas orientações e pelo uso das instalações, à UFMG e a CAPES pelo financiamento da bolsa que possibilitou o envolvimento no projeto e às minhas colegas que cooperaram com o mapeamento e geoprocessamento.

**REFERÊNCIAS**

- [1] Nouailhetas, Y. Radiações Ionizantes e a Vida. Apostilas Educativas. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/index.php/component/content/article?id=128>
- [2] UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 1993.
- [3] VILLAÇA, J. N. Projetos do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: NUCLEBRÁS, E. R. D. B. H., v. I, 1976. 98 p. Relatório de Síntese.
- [4] CUNEY, M. The extreme diversity of uranium deposits. *Mineralium Deposita*, v. 44, n. 1, p. 3-9, 2009. ISSN 1432-1866.
- [5] CUNEY, M.; KYSER, T. K. Recent and Not-so-recent Developments in Uranium Deposits and Implications for Exploration. *Mineralogical Association of Canada*. ISBN 9780921294481, 2009.
- [6] Camargo, Iara Maria Carneiro. Determinação da concentração de isótopos naturais de urânio e tório em amostras de água. Dissertação (Mestrado em Ciências – área de Tecnologia Nuclear) – Comissão Nacional de Energia Nuclear - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, IPEN/CNEN, São Paulo, 1994.
- [7] Santos, T.O., “Distribuição da Concentração de Radônio em Residências e outras Construções da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH”. Dissertação de mestrado em Ciência e Técnicas Nucleares, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- [8] ICRP - International Commission of Radiological Protection. “*Protection against Radon-222 at Home and at Work*”. Annals of ICRP publication 65, 23, Canada, United States, 1993.
- [9] NEVES, L. F.; PEREIRA, A. C. Radioatividade natural e ordenamento do território: o contributo das Ciências da Terra. *Geonovas*. No 18, p.103-114, 2004.
- [10] WHO – World Health Organization. World Cancer Report. IARC Press, Lyon, 2003.
- [11] CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Disponível em: [WWW.cprm.gov.br](http://WWW.cprm.gov.br); Acesso em: 22 out. 2018.