



Análise da espessura da camada emissora de radônio em materiais de construção

Analysis of radon emitting layer thickness in building materials

Camila Sampaio Nogueira*, Sergei Anatolyevich Paschuk†

RESUMO

Esta pesquisa apresenta medidas de concentração de radônio em amostras de cimento com o objetivo de encontrar um padrão de estabilização da espessura máxima da amostra para a qual o gás ainda é exalado. Mediu-se a concentração de radônio em 10 corpos de prova isolados em canos de PVC por períodos de exposição de 5, 10, 15, 20 e 31 dias, utilizando o detector passivo CR-39. As espessuras dos corpos de prova variaram entre 1,3 cm e 4,5 cm, enquanto as concentrações variaram entre 117 Bq/m³ e 410 Bq/m³ para os corpos de prova de cimento comum e 7,7x10³ Bq/m³ a 35,8x10³ Bq/m³ para os corpos de prova com areia radioativa. Constatou-se que a estabilização da concentração nos corpos de prova de cimento comum depende do tempo em que o corpo de prova ficou exposto, enquanto para os demais, a estabilização deve ser atingida em espessura superior a 5 cm.

Palavras-chave: Radônio, Concentração, Estabilização, Cimento, CR-39.

ABSTRACT

This research presents measurements of radon concentration in cement samples with the goal of finding a pattern for stabilizing the maximum sample thickness from which the gas is still exhaled. Radon concentration was measured in 10 samples isolated in PVC pipes for exposure periods of 5, 10, 15, 20, and 31 days using the CR-39 passive detector. Sample thicknesses ranged from 1.3 cm to 4.5 cm, while concentrations ranged from 117 Bq/m³ to 410 Bq/m³ for the ordinary cement specimens and 7.7x10³ Bq/m³ to 35.8x10³ Bq/m³ for the specimens with radioactive sand. The stabilization of the concentration in the ordinary cement specimens depends on the time that the specimen was exposed, while for the others, stabilization must be reached at a thickness greater than 5 cm.

Keywords: Radon, Concentration, Stabilization, Cement, CR-39

1 INTRODUÇÃO

O radônio é um gás nobre radioativo, incolor, inodoro e insípido. Seu isótopo mais abundante é o ²²²Rn, cujo tempo de meia vida é de 3,8 dias. É derivado da série de decaimento do Urânio (²³⁸U), sendo produto da desintegração do Rádio (²²⁶Ra) e, consequentemente, bastante encontrado em materiais de construção civil. (DEL CLARO, 2016).

A concentração de radônio exalado do solo e materiais de construção civil em ambientes fechados chega a ser 20 vezes maior do que a concentração média encontrada em ambientes externos, podendo exceder os limites estabelecidos (HASHIMOTO, 2017; ICRP, 2010). O principal perigo advindo disso é a dose de

* Licenciatura em Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; camilanogueira@alunos.utfpr.edu.br

† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba; sergei@utfpr.edu.br



radiação recebida por humanos por meio da inalação, fazendo com que o gás seja depositado nos pulmões e se comporte como agente cancerígeno (ICRP, 1991, apud HASHIMOTO, 2017; UNSCEAR, 2000, apud CORREA, 2014).

Quanto a radioatividade natural, as normas que estabelecem limites de dose recebida por humanos estão, principalmente, relacionadas a concentração de radônio no ar, enquanto, para materiais de construção, as regulamentações definem como parâmetro a concentração de rádio. Os limites estabelecidos para a concentração de ^{222}Rn em ambientes é 148 Bq/m^3 (EPA, 2000 apud. CORREA, 2014), 300 Bq/m^3 (ICRP, 2009; CNEN, 2005, apud. CORREA, 2014) e 200 Bq/m^3 (UNSCEAR, 2000, apud. CORREA, 2014). Para materiais de construção, o limite é de 370 Bq/Kg e refere-se ao valor da Atividade Equivalente de Rádio, que considera a atividade de ^{226}Ra , ^{232}Th e ^{40}K (AL-SULAITI et al., 2010).

É possível medir a exalação de radônio de um material por meio de um modelo físico-matemático que considera a taxa de decaimento do gás e sua difusão através do material e, assim, determinar a concentração de rádio por inferência. Para isso, é necessário conhecer a espessura da camada emissora de radônio, afinal o radônio presente no material deve difundir para alcançar a atmosfera. Sabendo que a meia vida do ^{222}Rn é curta, a probabilidade de o gás atingir a atmosfera diminui à medida em que este é produzido mais longe da superfície exposta.

O presente trabalho se propõe responder a seguinte questão: Qual o padrão de estabilização da camada emissora em materiais de construção para o qual o radônio ainda é exalado?

Para tanto, este trabalho terá como objetivo determinar o valor efetivo da camada emissora de radônio em amostras de compostos de cimento em medições com diferentes tempos de exposição, a fim de encontrar um padrão de estabilização para a espessura da camada emissora e usá-lo como parâmetro no modelo físico-matemático desenvolvido no Laboratório de Física Nuclear Aplicada – LFNA – da UTFPR (BARRETO, 2019).

2 MÉTODO

Foram preparadas amostras de diferentes espessuras com pasta de cimento comum e pasta de cimento com adição de areia radioativa, para que, a partir de medidas de concentrações do gás exalado, fosse possível estabelecer um padrão de estabilização para o valor máximo da camada emissora de radônio.

Para o preparo das amostras, foi utilizado um cimento do tipo CPIIZ-32, já que este é comumente utilizado na construção civil (HASHIMOTO, 2017). Os corpos de prova com pasta de cimento comum foram preparados com uma proporção de 1:0,41 (cimento:água), enquanto os corpos de prova com adição de areia radioativa foram preparados com um traço de 1:1:0,6 (cimento:areia:água). As misturas foram depositadas em moldes cilíndricos em quantidades diferentes, a fim de se obter diversas espessuras para as amostras, e permaneceram em processo de secagem por 24 horas. Depois de desmoldadas foram mantidas em câmara úmida, submersas em água saturada com adição de cal, por um período de 7 dias.

Após esse período, os corpos de prova foram selados com seladora concentrada nas laterais e na parte inferior, de modo que, durante a exposição, apenas uma das superfícies planas fosse responsável pela exalação do gás.

As amostras utilizadas nessa pesquisa com suas respectivas espessuras, estão apresentadas na Tabela 1. Sendo os corpos de prova “normal” àqueles preparados com pasta de cimento comum e “ativa” àqueles preparados com adição de areia radioativa.



Tabela 1 – Espessuras dos corpos de prova

Corpo de prova	Espessura (cm)
Normal 1B	1,74±0,04
Normal 2B	2,54±0,02
Normal 3B	2,67±0,02
Normal 4B	3,17±0,02
Normal 5B	4,52±0,02
Ativa 1B	1,28±0,02
Ativa 2B	2,24±0,04
Ativa 3B	2,85±0,06
Ativa 4B	3,42±0,02
Ativa 5B	4,21±0,04

Fonte: Autoria própria (2021).

Para a exposição, foram utilizados 11 canos de PVC de 10 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento, além de 22 tampões de cano para vedação dos mesmos. Cada corpo de prova foi posicionado em uma extremidade do cano e fixado com isopor para que permanecessem na posição inicial durante todo o processo de exposição; a extremidade, então, foi fechada com o tampão. Em outro tampão, foram posicionados dois detectores CR-39 dentro de câmaras de difusão, fixados com fita adesiva que, por fim, fechavam a outra extremidade do cano. Além dos detectores expostos aos corpos de prova, dois detectores eram fixados em um cano vazio para o background.

Foram realizadas cinco exposições com períodos distintos, sendo eles 5, 10, 15, 20 e 31 dias.

Após o período de exposição, todos os detectores foram revelados por meio de um processo químico no qual permaneceram em banho-maria a 72°C em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) por um período de 14 horas, para que as partículas alfa pudessem ser visualizadas através de microscópio óptico.

Os traços deixados pelas partículas alfa foram contabilizados, sendo a área lida nos detectores de 0,6 cm². O número de traços contabilizados nos detectores foi usado para calcular a concentração de ²²²Rn, em Bq/m³, por meio da Eq. (1), obtida em pesquisa realizada no LFNA (CORRÊA, 2014).

$$C = \frac{n}{h} * (405 \pm 30) \quad (1)$$

Onde n corresponde ao número de traços da exposição em 1cm² do detector e h equivale ao tempo de exposição em horas.

A Tabela 2 apresenta os valores de concentração de ²²²Rn obtidos na medição de 10 e 31 dias:

Tabela 2 – Concentração de ²²²Rn nas amostras

Exposição 10 dias		Exposição 31 dias	
Corpo de prova	Concentração (Bq/m ³)	Corpo de prova	Concentração (Bq/m ³)
Normal 1B	85 ± 21	Normal 1B	191 ± 21
Normal 2B	144 ± 35	Normal 2B	183 ± 19
Normal 3B	140 ± 34	Normal 3B	198 ± 21
Normal 4B	159 ± 38	Normal 4B	295 ± 31
Normal 5B	217 ± 52	Normal 5B	273 ± 29
Ativa 1B	(11,2 ± 2,8)10 ³	Ativa 1B	(7,6 ± 0,6)10 ³
Ativa 2B	(16,6 ± 3,9)10 ³	Ativa 2B	(14,4 ± 1,6)10 ³
Ativa 3B	(19,4 ± 4,6)10 ³	Ativa 3B	(16,4 ± 1,8)10 ³
Ativa 4B	(22,1 ± 5,3)10 ³	Ativa 4B	(21,8 ± 2,4)10 ³
Ativa 5B	(29,4 ± 7,0)10 ³	Ativa 5B	(21,8 ± 2,4)10 ³



Fonte: Autoria própria (2021).

Os valores obtidos para a concentração de ^{222}Rn nos detectores de background foram de $25 \pm 6 \text{ Bq/m}^3$ para a exposição de 10 dias e $102 \pm 11 \text{ Bq/m}^3$ para a exposição de 31 dias.

3 RESULTADOS

Os valores encontrados para a concentração de ^{222}Rn referentes a cada corpo de prova foram utilizados para a construção de gráficos, sendo a concentração determinada como função da espessura da amostra. Com base na análise da disposição dos pontos, alguns ajustes foram testados a fim de se obter a função mais apropriada.

Os melhores resultados foram obtidos com ajustes exponenciais para os corpos de prova normal B, utilizando-se a Eq. (2):

$$C(x) = C_b + \left[a * e^{\left(\frac{-x}{1 \text{ cm}} \right)} \right] \quad (2)$$

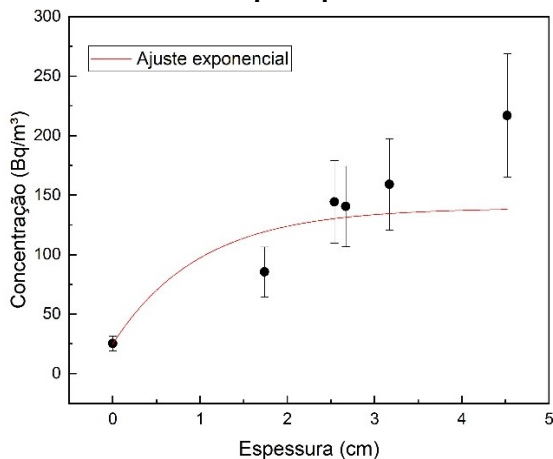
Onde C_0 é a concentração de background, x a espessura dos corpos de prova e a uma constante de ajuste, que representa a concentração de atividade de radônio por metro cúbico de material da amostra.

Já para os corpos de prova ativa B, o melhor resultado foi obtido com ajuste linear, conforme Eq. (3):

$$C(x) = C_b + \left(a * \frac{x}{1 \text{ cm}} \right) \quad (3)$$

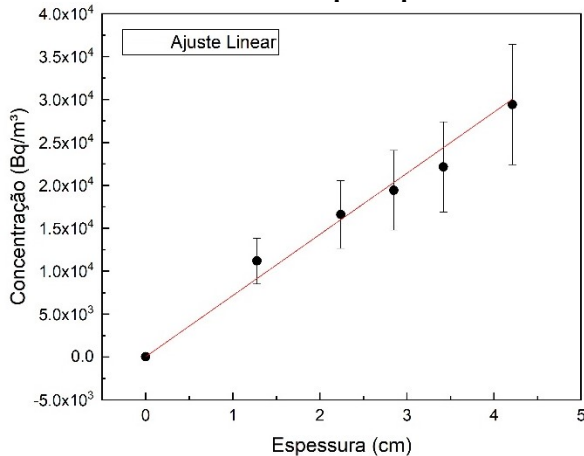
Os gráficos apresentados abaixo são referentes as exposições de 10 e 31 dias

Figura 1 – Concentração de ^{222}Rn na amostra Normal B exposta por 10 dias



Fonte: Autoria própria (2021)

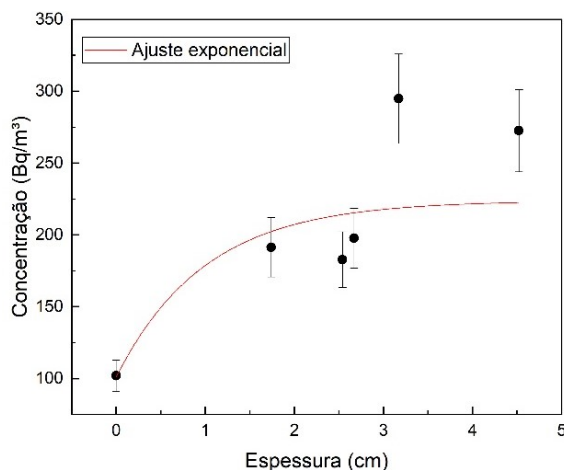
Figura 2 – Concentração de ^{222}Rn na amostra Ativa B exposta por 10 dias



Fonte: Autoria própria (2021)

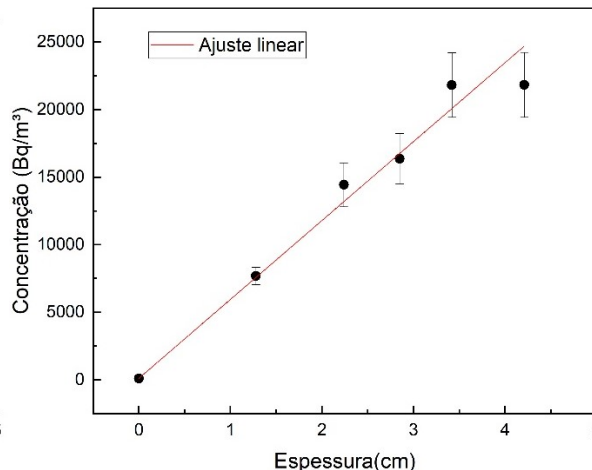


Figura 3 – Concentração de ^{222}Rn na amostra Normal B exposta por 31 dias



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 4 – Concentração de ^{222}Rn na amostra Ativa B exposta por 31 dias



Fonte: Autoria própria (2021)

A concentração do gás, para os casos das amostras ativa B, apresentou um crescimento linear, o que indica que tal equilíbrio deva ocorrer em espessuras superiores a 5 cm. Entretanto, como a concentração de radônio obtida nestas amostras foi cerca de cem vezes superior àquelas obtidas para os corpos de prova de cimento comum, sugere-se que o crescimento linear seja, na verdade, o início de um crescimento exponencial, e que, portanto, o equilíbrio seja obtido em espessuras muito superiores a 5 cm.

No caso das amostras normal B, notou-se que quanto maior o tempo de exposição, maior deve ser a espessura para estabilizar a concentração. No caso da medição de 10 dias, a concentração tende a estabilização com espessura próxima a 2,5 cm; na medição de 31 dias, por sua vez, a estabilização tende a acontecer próxima de 3,5 cm de espessura.

4 CONCLUSÃO

A partir de amostras de cimento comum, constatou-se que a estabilização da concentração de radônio depende do tempo em que o corpo de prova ficou exposto. Corpos de prova que ficaram expostos por 10 dias apresentaram estabilização com espessura próxima a 2,5 cm, enquanto corpos de prova expostos por 31 dias apresentaram estabilização próxima a 3,5 cm.

As amostras preparadas com adição de areia radioativa apresentaram concentração de radônio cem vezes maior que amostras preparadas com cimento comum. Os dados obtidos nas medições com corpos de prova ativa B, apresentou um crescimento linear, contudo, sugere-se que esta reta seja o início de um crescimento exponencial. Uma vez que existem regulamentações que garantem níveis máximos de concentração de rádio para materiais de construção, dificilmente materiais que exalam grandes quantidades de radônio são encontrados em construções civis.

AGRADECIMENTOS



Os autores agradecem o CNPq pelo apoio financeiro a este trabalho, bem como aos colegas do Laboratório de Física Nuclear Aplicada (LFNA) e do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN) pela permanente assistência

REFERÊNCIAS

- AL-SULAITI, H. et al. A preliminary report on the determination of natural radioactivity levels of the State of Qatar using high-resolution gamma-ray spectrometry. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment**, v. 619, n. 1-3, p. 427-431, 2010.
- BARRETO, Rafael Carvalho et al. Determining radium-226 concentration from radon-222 emanation in building materials: a theoretical model. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 7, n. 2A, 2019.
- CORREA, Janine N. et al. Measurements of indoor ²²²Rn activity in dwellings and workplaces of Curitiba (Brazil). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 104, p. 104-107, 2014.
- DEL CLARO, Flávia. Proposta de protocolo para medição de concentrações de radônio proveniente de rochas graníticas em marmorarias. 2016. 125 f. Tese – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.
- HASHIMOTO, Y.R., 2017. Avaliação da concentração de radônio em casas pré-fabricadas e determinação da camada emissora de radônio em argamassa de cimento. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial – CPGEI. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 07, 2014.
- ICRP, 2010. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. ICRP Publication 115, Ann. ICRP 40(1).