

# Monitorização contínua de radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) no ar interior de um edifício localizado no Vulcão das Furnas durante 2017

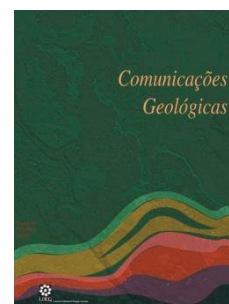
## Indoor radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) continuous monitoring in a building located at Furnas Volcano during 2017

C. Silva<sup>1,2\*</sup>, F. Viveiros<sup>1</sup>

Recebido em 21/02/2018 / Aceite em 16/12/2019

Publicado em agosto de 2020

© 2020 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP



Artigo original  
Original article

**Resumo:** A monitorização contínua de radão ( $^{222}\text{Rn}$ ) no ar interior foi efetuada num edifício localizado no Vulcão das Furnas. Este corresponde a um dos vulcões centrais ativos da ilha de S. Miguel, sendo a desgaseificação neste aparelho vulcânico significativa. Dado o potencial cancerígeno associado à exposição ao  $^{222}\text{Rn}$ , a acumulação deste gás no interior de edifícios pode ser prejudicial para a saúde, podendo levar em casos extremos ao desenvolvimento de doenças como o cancro do pulmão. Os valores de  $^{222}\text{Rn}$  medidos revelam concentrações acima dos limites recomendados pela Organização mundial de Saúde (OMS), evidenciando que mesmo em zonas onde a concentração de  $^{222}\text{Rn}$  no solo não é muito elevada, estes limites podem ser ultrapassados. A análise de regressão múltipla e a análise espectral foi aplicada à série temporal de  $^{222}\text{Rn}$ , o que permitiu identificar os parâmetros ambientais que influenciam a variação da concentração de  $^{222}\text{Rn}$  no ar interior do edifício estudado.

**Palavras chave:** Radão, perigo geológico, saúde pública.

**Abstract:** A continuous indoor radon ( $^{222}\text{Rn}$ ) monitoring was performed in a building located at Furnas Volcano. This volcano is one of the three central active volcanoes located at S. Miguel Island, and nowadays presents several degassing manifestations at the surface. As a radioactive gas,  $^{222}\text{Rn}$  can represent a threat to public health when it accumulates in buildings, and in extreme cases the exposure to this gas can be responsible for the development of lung cancer. The recorded  $^{222}\text{Rn}$  values were above the recommended ones by the World Health Organization (WHO), revealing that, even in areas where the soil  $^{222}\text{Rn}$  concentration is not very high, the indoor recommended limits can be surpassed. In order to understand the statistical influence of environmental parameters on the indoor  $^{222}\text{Rn}$  concentration, multivariate regression and spectral analyses were applied to the recorded time series.

**Keywords:** Radon, geologic hazard, public health.

<sup>1</sup> Instituto de Investigação em Vulcanologia e Avaliação de Riscos (IVAR), Universidade dos Açores, Rua Mãe de Deus, 9500-801 Ponta Delgada, Portugal.

<sup>2</sup> Centro de Informação e Vigilância Sismovulcânica dos Açores (CIVISA), Universidade dos Açores, Rua Mãe de Deus, 9500-801 Ponta Delgada, Portugal.

\* Autor correspondente/corresponding author: Catarina.PP.Silva@azores.gov.pt

### 1. Introdução

O  $^{222}\text{Rn}$  é um gás radioativo natural, incolor e inodoro que pertence à série de decaimento do urânio ( $^{238}\text{U}$ ) e está presente em rochas da crosta e em solos. Sendo um gás inerte, consegue deslocar-se livremente através dos poros do solo e de material geológico permeável, podendo ser posteriormente transferido para o ar interior de edifícios (Spencer, 1992). Dado o seu potencial cancerígeno, a acumulação deste gás em concentrações elevadas no interior de edifícios pode ter consequências graves em termos de saúde para os seus ocupantes. A radiação emitida pode penetrar nos tecidos epiteliais do pulmão, provocando danos nas suas células que, em casos extremos, podem conduzir ao desenvolvimento de cancro no pulmão (Boice Jr. e Lubin, 1997).

### 2. Área de estudo

O edifício monitorizado neste estudo localiza-se na freguesia das Furnas, Vulcão das Furnas. Este vulcão corresponde a um centro traquítico poligenético com caldeira e a sua atividade eruptiva tem apresentado um carácter essencialmente explosivo, emitindo material de natureza traquítica (*s.l.*). Nos últimos 5 000 anos ocorreram pelo menos 10 erupções no interior da caldeira (Guest *et al.*, 1999). A desgaseificação neste vulcão é significativa, incluindo a existência de campos fumarólicos, de nascentes termais e frias gasocarbónicas, e uma importante área de desgaseificação difusa. A cartografia da concentração de  $^{222}\text{Rn}$  no solo revelou concentrações que variaram entre 0 e 387 527 Bq/m<sup>3</sup> (Silva *et al.*, 2015), localizando-se o edifício em estudo numa área de concentração de  $^{222}\text{Rn}$  no solo inferior a 8 000 Bq/m<sup>3</sup>.

### 3. Metodologia

O equipamento utilizado corresponde a um detetor *Radon Scout Plus* e mede a concentração de  $^{222}\text{Rn}$  por difusão. A amostragem decorreu ao longo do ano de 2017 e foi efetuada em intervalos de 60 minutos, tendo sido controlada a ventilação do edifício. De modo a compreender a influência estatística de parâmetros ambientais na variação da concentração de  $^{222}\text{Rn}$ , foi aplicada a análise de regressão múltipla (ARM), através da aplicação do método *Stepwise*, e a

análise espectral (AE) através da utilização do filtro FFT (*Fast Fourier Transform*).

**4. Resultados**

A concentração de <sup>222</sup>Rn variou entre 0 e 14 506 Bq/m<sup>3</sup> (Fig. 1), com um valor médio de 336,4 Bq/m<sup>3</sup>. A ARM (Tab. 1) permitiu identificar as variáveis com significância estatística com os dados de <sup>222</sup>Rn log-transformados, explicando 17,2% do total das variações observadas. A AE permitiu, no espectrograma (Fig. 2), identificar um período durante o verão com variações cíclicas (1 ciclo por dia). Esta variação foi confirmada no espectro relativo ao período em questão (Fig. 3) e na Tabela 2 estão identificados os parâmetros ambientais associados a essa variação.

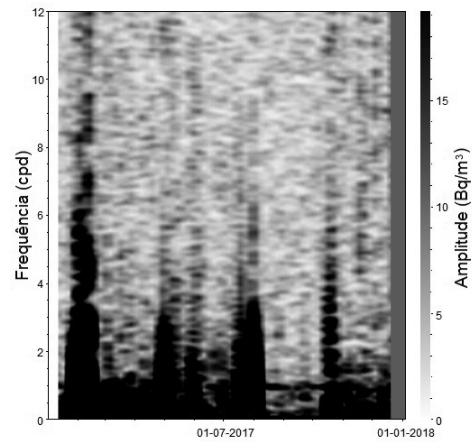


Figura 2. Espectrograma da concentração de <sup>222</sup>Rn no ar interior do edifício em estudo.  
Figure 2. Spectrogram of the indoor <sup>222</sup>Rn concentration in the studied building.

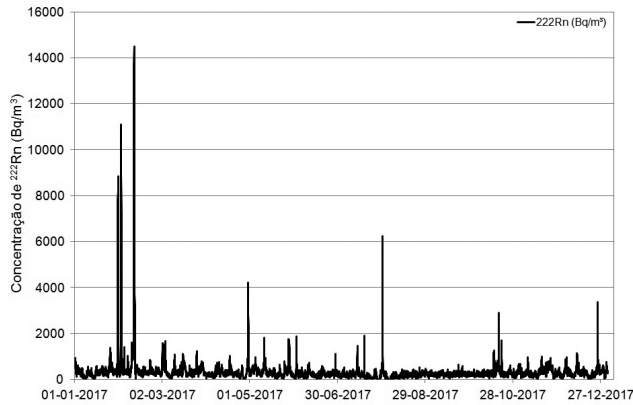


Figura 1. Variação temporal da concentração de <sup>222</sup>Rn no ar interior do edifício em estudo.  
Figure 1. Temporal variation of the indoor <sup>222</sup>Rn concentration in the studied building.

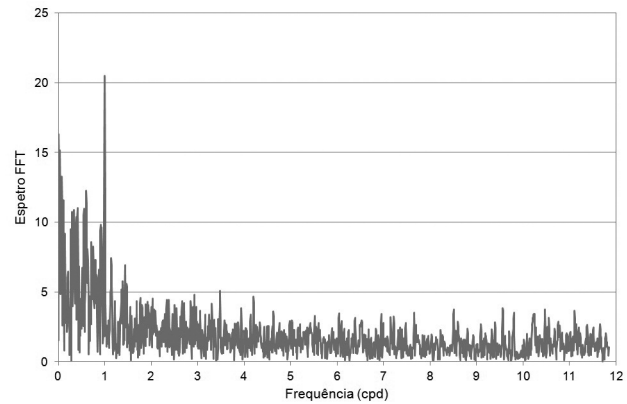


Figura 3. Espectro de amplitudes da concentração de <sup>222</sup>Rn no ar interior do edifício em estudo, para o período compreendido entre 1 de agosto e 31 de outubro de 2017.  
Figure 3. Amplitude spectrum of the indoor <sup>222</sup>Rn concentration in the studied building, for the period between August 1<sup>st</sup> and October 31<sup>st</sup> 2017.

Tabela 1. Resultados da aplicação da análise de regressão múltipla aos dados de radão log-transformados.  
Table 1. Results of the multivariate regression analysis applied to the radon log-transformed data.

Variável Independente	Coefficiente B	Erro padrão B	Coefficiente β	Teste t	Signif. teste t *	Incremento R <sup>2</sup> ajustado	VIF
Temperatura do ar	-0,034	0,001	-0,403	-22,730	0,000	0,087	2,358
Humidade relativa do ar	-0,010	0,001	-0,264	-19,194	0,000	0,030	1,415
Humidade do solo	0,014	0,001	0,179	11,013	0,000	0,028	1,988
Temperatura do solo	0,019	0,002	0,187	10,071	0,000	0,014	2,574
Pressão barométrica	-0,007	0,001	-0,149	-10,472	0,000	0,013	1,508

Variável dependente\*\*: Log<sub>10</sub> da concentração de <sup>222</sup>Rn  
 Número total de observações: 8761  
 Somatório do R<sup>2</sup> ajustado: 0,172  
 Teste F: 257,18

0,000\*\*\*

\*Significância estatística da correlação entre cada variável independente e a variável dependente

\*\*Os dados de concentração de <sup>222</sup>Rn foram log-transformados de modo a cumprir os pressupostos da ARM

\*\*\*Significância estatística do modelo

Tabela 2. Correlação e atraso entre a concentração de  $^{222}\text{Rn}$  no ar interior do edifício em estudo e os parâmetros ambientais em análise.  
 Table 2. Correlation and delay between the indoor  $^{222}\text{Rn}$  concentration in the studied building and the environmental parameters under analysis.

Variáveis	Concentração de $^{222}\text{Rn}$ ( $\text{Bq}/\text{m}^3$ )	Correlação (r)	Atraso (h)
			1 cpd
Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )		0,86	~11
Humidade relativa do ar (%)		0,85	~9

## 5. Discussão

No período em análise os valores de concentração de  $^{222}\text{Rn}$  ultrapassaram por diversas vezes os valores recomendados pela OMS. Esta entidade recomenda uma média anual de  $100 \text{ Bq}/\text{m}^3$  e, na sua impossibilidade, que não ultrapasse os  $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$  (WHO, 2010). O valor máximo registado ( $14\,506 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ) é 48 vezes superior ao limite máximo, sendo valor médio ( $336,4 \text{ Bq}/\text{m}^3$ ) superior ao limite máximo admissível.

A aplicação da ARM permitiu verificar que as variáveis em análise são responsáveis por cerca de 17,2% do total das variações dos dados de  $^{222}\text{Rn}$  log-transformados. As variáveis com maior

poder explicativo correspondem à temperatura do ar (8,7%) e à humidade relativa do ar (3%). Estas variáveis, assim como a pressão barométrica, exercem uma influência negativa sobre as variações de  $^{222}\text{Rn}$ , enquanto que a humidade do solo e a temperatura do solo exercem uma influência positiva sobre as variações deste gás (Tab. 1). AAE aplicada permitiu a identificação de variações sazonais, tendo sido identificadas variações cíclicas, associadas a um ciclo por dia, durante o período de verão. A análise aplicada correlaciona as frequências associadas a um ciclo por dia às variações da temperatura do ar e da humidade relativa do ar. A concentração de  $^{222}\text{Rn}$  apresenta uma relação inversa com estas variáveis com um atraso de 11 e 9 horas respetivamente (Tab. 2 e Figs. 4 e 5), em concordância com os resultados obtidos na ARM.

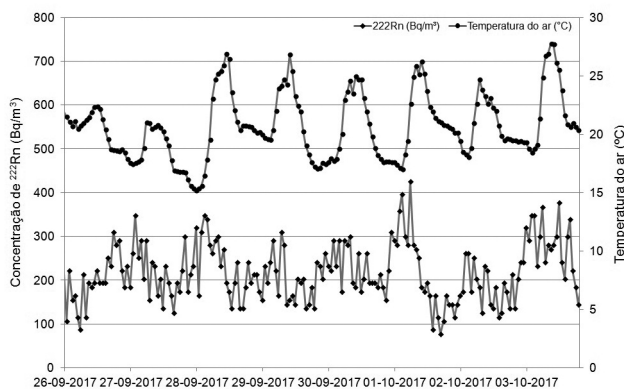


Figura 4. Variação temporal da concentração de  $^{222}\text{Rn}$  e da temperatura do ar, para o período compreendido entre 29 de setembro e 3 de outubro de 2017.

Figure 4. Temporal variation of the indoor  $^{222}\text{Rn}$  concentration and the air temperature for the period between September 29<sup>th</sup> and October 3<sup>rd</sup> 2017.

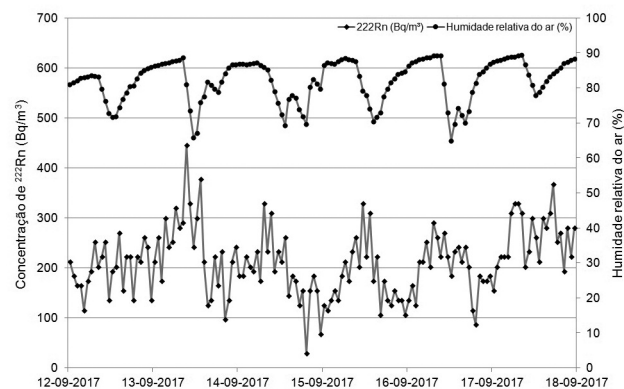


Figura 5. Variação temporal da concentração de  $^{222}\text{Rn}$  e da humidade relativa do ar, para o período compreendido entre 12 e 18 de setembro de 2017.

Figure 5. Temporal variation of the indoor  $^{222}\text{Rn}$  concentration and the air relative humidity for the period between September 12<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> 2017.

## 6. Conclusões

As concentrações de  $^{222}\text{Rn}$  registadas no edifício em estudo permitiram salientar a importância deste tipo de monitorização em regiões vulcânicas quiescentes, pois mesmo em zonas onde a concentração de  $^{222}\text{Rn}$  no solo não é muito elevada, a concentração deste gás no ar interior de edifícios pode ser significativa, dependendo em grande parte das variações de parâmetros ambientais. Assim, sendo a desgaseificação difusa um processo contínuo, as populações expostas estão em permanente risco.

## Agradecimentos

Este trabalho teve o suporte dos projetos VOLRISKMAC (Mac/3.5b/124) e VOLRISKMAC II (Mac2/3.5b/328), programa INTERREG MAC 2014-2020 para cooperação territorial.

## References

- Boice Jr., J. D., Lubin, J., 1997. Occupational and environmental radiation and cancer. *Cancer Causes Control*, **8**: 309-322.
- Guest, J. E., Gaspar, J. L., Cole, P. D., Queiroz, G., Duncan, A. M., Wallenstein, N., Ferreira, T., Pacheco, J.-M., 1999. Volcanic geology of Furnas Volcano, São Miguel, Azores. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **92**: 1-29.
- Silva, C., Viveiros, F., Ferreira, T., Gaspar, J. L., Allard, P., 2015. Diffuse soil emanations of radon and hazard implications at Furnas Volcano, São Miguel Island (Azores). In: Gaspar, J. L., Guest, J. E., Duncan, A. M., Barriga, F. J. A. S., Chester, D. K. (Eds.), *Volcanic Geology of S. Miguel Island (Azores archipelago)*, Geological Society, London, Memoirs, **44**: 197-211.
- Spencer, J. E., 1992. Radon gas – A Geologic Hazard in Arizona. Arizona Geological Survey, *Down-to-Earth*, **2**: 17.
- World Health Organization (WHO), 2010. *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*. World Health Organization, 454.