

**ESTA É UMA VERSÃO DE AUTOR
CONSULTE A VERSÃO FINAL (ACESSO LIVRE) EM**

http://biometria.sgapeio.es/descargas/Libro_Actas_BIOAPP2016.pdf
(pp. 338-341.)

DADOS DE ESPETROMETRIA GAMA PORTÁTIL E TIPOLOGIA DE ESPAÇOS INTERIORES

Marco Lima¹, Jorge Sanjurjo-Sánchez² e Carlos Alves³

1 LandS/Lab2PT - Laboratório de Paisagens, Património e Território (FCT UID/AUR/04509/2013; FEDER COMPETE POCI-01-0145-FEDER-007528)

2 Instituto Universitario de Xeoloxía "Isidro Parga Pondal", Universidade da Coruña, A Coruña, Espanha

3 LandS/Lab2PT - Laboratório de Paisagens, Património e Território (FCT UID/AUR/04509/2013; FEDER COMPETE POCI-01-0145-FEDER-007528) e Escola de Ciências, Universidade do Minho, Braga, Portugal

RESUMO

Neste trabalho são discutidos resultados de análise multivariada de estimativas obtidas por espectrometria gama portátil em espaços interiores de construções na cidade de Braga, com diferentes proporções de granito, para avaliar uma proposta de tipologia dos mesmos.

Palavras e frases chave: granito, materiais, perigosidade, ambiente construído, análise multivariada

1. INTRODUÇÃO

Os riscos radiológicos incluem a radiação gama externa proveniente de várias fontes incluindo materiais de construção como os materiais geológicos. As principais fontes de radiação gama nos materiais de construção são o isótopo ⁴⁰K (potássio) e isótopos das séries de decaimento do urânio e do tório presentes em alguns minerais. Como referido pelo Conselho da União Europeia [1], algumas rochas são consideradas merecedoras de especial atenção por apresentarem, frequentemente, valores elevados (em termos naturais) destes isótopos, como é o caso das rochas graníticas. A avaliação da perigosidade em termos de radiação gama externa é feita sobretudo para locais interiores e precisa de considerar os teores destes isótopos radioativos nos materiais mas também (ver, por exemplo, Markkanen [2]) a quantidade desses materiais presentes, a distribuição espacial dos mesmos e as características geométricas do espaço considerado (nomeadamente a distância à fonte), assim como o tempo de exposição. Em geral, os espaços interiores (nomeadamente nas construções históricas) mostram uma grande variabilidade não só em dimensões mas também em termos do tipo e quantidade de material aplicado e da distribuição do mesmo no espaço considerado. A proposta do Conselho da União Europeia [1] refere a necessidade de realizar estudos específicos para materiais de construção que apresentem valores superiores ao valor de referência de um índice calculado para um determinado cenário de aplicação de materiais (que pode não corresponder a vários espaços históricos e atuais). Pelo contrário, outros documentos, como um de 1999 da Comissão Europeia [3], indicam diferentes valores de referência em função da extensão da aplicação dos materiais. Este é um tema que poderá vir a ter implicações negativas para uma componente importante da atividade económica da região da Galiza e do norte de Portugal. A espectrometria gama portátil está entre os métodos radiométricos de terreno indicados pela IAEA ("International Atomic Energy Agency") [4] e consiste numa sonda transportada por um operador que permite obter espetros com contagens de fótons em determinados valores de energia, sendo que é possível relacionar os valores de energia com isótopos radioativos específicos. Estes sistemas têm mostrado potencial para o mapeamento de parâmetros relacionados com a radiação gama mesmo em ambientes urbanos complexos [5]. Ainda que a preocupação deste estudo seja a radiação gama externa, as estimativas obtidas por espectrometria gama portátil podem ter interesse para o estudo de outros riscos radiológicos como os relacionados com as emissões de Rn (radão), uma vez que este gás resulta do decaimento radioativo do urânio e, se todas as outras condições forem iguais, um teor superior em urânio implicará maior perigosidade em termos de Rn. A análise multivariada tem sido utilizada na interpretação de dados de campo de radiação gama há bastante tempo (há pelo menos um exemplo de 1973 por Schwarzer & Adams [6]). Num estudo anterior sobre medições de campo de radiação gama em terrenos de diferentes tipos de rochas utilizamos a análise grupal para comparar os resultados em granitos e rochas metassedimentares [7]. Todavia, não encontramos nenhuma publicação com um objetivo como o aqui considerado. Neste trabalho, com base em dados de espectrometria gama portátil, tentamos avaliar a utilização da análise grupal hierárquica para a discussão de propostas de categorias ordinais das construções em termos de isótopos radioativos que contribuem para a dose de radiação gama externa resultante dos materiais de construção.

2. OBJECTOS E MÉTODOS DE ESTUDO

Os espetros de radiação gama foram adquiridos com um espectrómetro portátil GF Instruments GRS-2000, transportado por um operador com uma sonda BGO (Bi₄Ge₃O₁₂) de 512 canais (medindo energias até 3 MeV). Cada espetro corresponde a um período de aquisição de 180 segundos. A partir destes espetros são obtidas estimativas de teores de K (potássio), eU (equivalente de urânio) e eTh (equivalente de tório). O teor em potássio (K, %) é estimado

partir do pico do 40K. As séries de decaimento do urânio e do tório têm vários isótopos radioativos e, assumindo equilíbrio secular, são obtidas estimativas de equivalente de urânio (eU, ppm ou partes por milhão em massa) e equivalente de tório (eTh, ppm) a partir dos picos do 214Bi (bismuto) e 208Tl (tálio), respetivamente. As estimativas apresentadas são expressas em diferentes escalas uma vez que o potássio é um elemento maior na crosta e apresenta nos materiais geológicos teores muito superiores aos teores de urânio ou tório (que são elementos traço). Com as estimativas obtidas, foram calculados valores de taxa de dose absorvida (Dt) com base nos fatores indicados em [4] e os fatores indicados em [2] para um “quarto” padrão. A parte histórica da cidade de Braga (NW de Portugal) está localizada em terrenos graníticos e o granito é um dos principais materiais nas construções históricas (em quantidades variáveis). Os espetros gama considerados foram adquiridos em espaços interiores de diversos locais desta cidade que serão divididos em 4 tipos (A, B, C e D). A ordem alfabética corresponde a uma, estimada, influência decrescente dos materiais graníticos, de acordo com a descrição seguinte:

- Tipo A, cinco espetros gama em espaços interiores de construções históricas que apresentam uma pequena dimensão e onde o granito é o material claramente dominante;
- Tipo B, cinco espetros gama em espaços interiores de construções históricas onde o granito é o material dominante e que apresentam uma dimensão superior às dimensões do tipo anterior;
- Tipo C, três espetros em espaços interiores de construções históricas onde há elementos em granito mas onde há outros materiais que, em termos grosseiros, são tão ou mais importantes;
- Tipo D, um espetro num espaço interior de uma construção contemporânea (último quarto do século XX) onde não há materiais graníticos à vista.

A numeração dentro de cada tipo segue a ordem de medição dentro de cada tipo (mas não necessariamente a ordem global), servindo para a identificação das medições na discussão dos resultados.

Considerando que os parâmetros são expressos em escalas diferentes, e para evitar o efeito de variações de valores mais elevadas, foram utilizados, nas análises multivariadas, os valores normalizados (média igual a zero e desvio-padrão igual a 1) das estimativas de K, eU e eTh. As análises estatísticas e os gráficos aqui apresentados foram preparados com o Statistica 11 (Statsoft).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1a são projetados os valores normalizados das estimativas de K, eU e eTh, assim como os valores normalizados da taxa de dose absorvida (Dt) calculada a partir destas. O gráfico apresentado é do tipo caixa-de-bigodes com as diferentes medições individualizadas e onde os valores acima e abaixo das extremidades dos "bigodes" serão considerados potenciais "outliers". O gráfico sugere uma certa tendência para valores mais elevados, nos diferentes parâmetros, em espetros dos espaços de tipo A, tendência que fica mais evidente nos valores de taxa de dose absorvida. Também é visível que há medições abaixo do limite do "bigode" inferior: B5 para todos os parâmetros e também D para eTh e taxa de dose absorvida. Se os resultados para D seriam expectáveis, de acordo com a tipologia apresentada, o resultado B5 merece atenção. Este poderá, simplesmente, resultar de problemas de medição mas, uma vez que há medições antes e após B5 que não aparentam ter problemas, vamos considerar uma hipótese alternativa mais interessante do ponto de vista da investigação da perigosidade radiológica. O espaço onde foi adquirido o espetro B5 corresponde a um depósito de publicações periódicas, com estruturas que podem atenuar a radiação (vários armários com as referidas publicações). Utilizando os valores normalizados de K, eU e eTh foram experimentadas análises hierárquicas aglomerativas considerando várias regras de agregação. Todas as análises hierárquicas consideradas juntaram os espetros D e B5 num primeiro "cluster" separado de todos os outros. As análises pelo método de Ward (Figura 1b) e pelo UPGMA (ou "Unweighted pair-group average") juntam, seguidamente, as medições em locais de tipo A num "cluster" separado das outras medições. Algumas medidas de distância com estes procedimentos (por exemplo a distância euclidiana) juntam também num "cluster" as medições B1, B2 e B4 e, noutro cluster, as medições B3 e as medições nos espaços de tipo C. Outras regras podem produzir resultados variados que tem em comum juntarem A3 e A4 (após a separação de B5 e D) e colocarem as outras medições em espaços de tipo A num cluster com as restantes medições. Os valores normalizados de K, eU e eTh foram estudados, também, por análise de componentes principais. Em termos de associação das medições com as componentes principais calculadas e considerando (Figura 1c) as duas primeiras (CP1 e CP2), podemos observar que a CP1 separa claramente B5 e a medição no espaço tipo D e que as medições em espaços do tipo A são separadas das medições nos espaços dos outros tipos. A CP2 tende a separar as medições em espaços de tipo B das medições em espaços de tipo C (mas B3 aparece entre as medições dos espaços de tipo C), divide as medições nos espaços tipo A em dois grupos semelhantes aos "clusters" definidos e separa B5 de D. Em termos de associação com as variáveis (Figura 1d), K, eU e eTh têm pesos semelhantes (e negativos) em CP1. A taxa de dose absorvida (Dt), calculada de acordo com o procedimento acima indicado, foi projetada como variável suplementar (não utilizada no cálculo das componentes principais) e também tem um comportamento semelhante em termos de CP1. A CP2 mostra pesos quase simétricos para eU e eTh, sugerindo a influência da relação entre os dois.

O limitado número de casos considerados aconselha uma elevada prudência nas ilações a retirar. Todavia, os resultados obtidos sugerem que análise grupal poderá ser uma ferramenta importante na definição de tipologias de construção para uma cartografia da perigosidade relacionada com radiação gama externa. As análises pelo método de Ward e pelo UPGMA mostraram os resultados mais próximos da tipologia inicialmente proposta com base na avaliação qualitativa da importância da presença dos materiais graníticos e aparentam ser convergente com os resultados da análise de componentes principais. Os resultados obtidos sugerem, também, que o efeito na dose de radiação gama externa de aspetos como a presença de elementos que diminuem a radiação (armários, papel) poderá merecer um estudo mais atento, e mesmo estimativas do fator de atenuação considerando propriedades físicas como a densidade ou número atómico (Z). Poderá existir um outro aspeto, potencialmente preocupante, nesta questão: a redução das estimativas de campo dos teores em urânio poderá não corresponder a uma redução das emissões de Rn, o que prejudicará a utilidade desta técnica na avaliação de riscos radiológicos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito das atividades do Lab2PT- Laboratório de Paisagens, Património e Território (AUR/04509) financiado pela FCT através de fundos nacionais e quando aplicável do cofinanciamento do FEDER, no âmbito dos novos acordos de parceria PT2020 e COMPETE 2020 – POCI-01-0145-FEDER-007528. Gostaríamos de agradecer também à Mara Dória e ao Tomaz Assunção pela colaboração no trabalho de Campo.

REFERÊNCIAS

- [1] DIRETIVA 2013/59/EURATOM (2014) Normas de segurança de base relativas à proteção contra os perigos resultantes da exposição a radiações ionizantes, e que revoga as Diretivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom e 2003/122/Euratom. Jornal oficial da União Europeia. L13/1-73.
- [2] Markkanen, M. (1995). Radiation Dose Assessments for Materials with Elevated Natural Radioactivity. Report STUK-B-STO 32 Radiation and Nuclear Safety Authority – STU. Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, Helsínquia.
- [3] Comissão Europeia (1999). Radiation Protection 112 - Radiological protection principles concerning the natural radioactivity in building materials. Luxemburgo.
- [4] IAEA - International Atomic Energy Agency (2003) Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. IAEA-TECDOC-1363. Viena.
- [5] Cresswell, A. J., Sanderson, D. C. W., Harrold, M., Kirley, B., Mitchell, C., Weir, A. (2013). Demonstration of lightweight gamma spectrometry systems in urban environments. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 22–28.
- [6] Schwarzer, T. F., & Adams, J. A. S. (1973). Rock and Soil Discrimination by Low Altitude Airborne Gamma-Ray Spectrometry in Payne County, Oklahoma. *Economic Geology*, 68(8), 1297–1312.
- [7] Dias, F., Lima, M., Sanjurjo-Sánchez, J., Alves, C. (2016). Analysis of spectra from portable handheld gamma-ray spectrometry for terrain comparative assessment. *Journal of Environmental Radioactivity*, 154, 93–100.

Figura 1: Estudos estatísticos dos resultados (valores normalizados) obtidos por espetrometria gama portátil: a) Diagrama de caixa-de-bigodes assinalando os resultados de K (S_K), eU (S_eU) e eTh (S_eTh), assim como da taxa de dose absorvida calculada a partir dos mesmos (S_Dt); b) Dendrograma (Método de Ward) considerando os resultados de K, eU e eTh; c) Análise de Componentes Principais dos locais estudados (resultados de K, eU e eTh); d) Análise de Componentes Principais das variáveis consideradas com projeção da taxa de dose absorvida (Dt) como variável suplementar (não utilizada na Análise de Componentes Principais).