

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

[http://biometria.sgapeio.es/descargas/Libro\\_Actas\\_BIOAPP2016.pdf](http://biometria.sgapeio.es/descargas/Libro_Actas_BIOAPP2016.pdf)

(pp. 245-248.)

# ANÁLISE COMPARATIVA DE RESULTADOS DE ESPETROMETRIA GAMA PORTÁTIL EM AFLORAMENTOS ROCHOSOS

Flávio Dias<sup>1</sup>, Marco Lima<sup>2</sup>, Jorge Sanjurjo-Sánchez<sup>3</sup> e Carlos Alves<sup>4</sup>

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

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

3 Instituto Universitario de Xeoloxía “Isidro Parga Pondal”, Universidade da Coruña, A Coruña, Espanha

4 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

São comparadas estimativas de elementos obtidas por espectrometria gama portátil em afloramentos de rochas metamórficas e ígneas, assim como medições de campo e análises laboratoriais para uma das rochas ígneas consideradas, tendo em vista contribuir para a discussão da utilidade da espectrometria portátil técnica na avaliação dos materiais.

Palavras e frases chave: materiais geológicos, granitos, rochas metassedimentares, radiação gama externa.

## 1. INTRODUÇÃO

Os materiais geológicos utilizados como material de construção (como pedra natural ou agregados) podem contribuir para a dose gama externa a que os seres humanos estão expostos no ambiente construído (nomeadamente nos espaços interiores), devido, em geral, aos seus teores em potássio, urânio e tório, os quais podem ser extremamente variáveis em função do tipo de rocha e, adicionalmente, ser afetados por processos de alteração (posteriores à formação da rocha). A avaliação dessa contribuição é, habitualmente, baseada em índices (ver, e.g., [1]), calculados a partir das atividades específicas do <sup>40</sup>K (potássio) e de isótopos representativos das séries de decaimento do urânio (U) e do tório (Th), determinadas por dispendiosas e morosas análises laboratoriais. Adicionalmente, ainda que o procedimento de análises laboratoriais de amostras de rocha possa ser utilizado na avaliação dos materiais que vão ser aplicados, dificilmente será viável desenvolver o mesmo para o estudo generalizado dos materiais em habitações existentes. Existe, consequentemente, interesse em poder realizar uma avaliação de campo, mesmo que essencialmente comparativa, dos teores dos elementos radioativos nos materiais (o que permitiria, se bem sucedida, uma comparação da perigosidade dos materiais em termos de radiação gama externa). Dias et al. [2] compararam medições num tipo de granito e em rochas metassedimentares do Silúrico, tendo em vista o estudo de um perfil num local sem afloramentos. A análise grupal separou claramente as medições no granito das medições nas rochas metassedimentares, indicando ainda uma agregação dos dados do perfil compatível com a cartografia geológica destas rochas na escala 1:50000.

Neste trabalho o estudo comparativo dos resultados de campo de espectrometria gama é estendido a um outro tipo de granito da mesma área, sendo feita, também, a comparação de dados de campo com análises de laboratório para um dos granitos considerados.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os espectros de radiação gama foram adquiridos com um espectrómetro portátil GF Instruments GRS-2000, transportado por um operador e equipado com uma sonda BGO (Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>) e um fotomultiplicador que regista fotões em 512 canais (medindo energias até 3 MeV). Cada espectro corresponde a um período de aquisição igual a 180 segundos, segundo a calibração e otimização das medições feitas para o equipamento utilizado. A partir destes espectros são obtidas estimativas de teores de K, de equivalente de urânio (eU) e equivalente de tório (eTh). O teor em potássio (K, %) é estimado a partir do pico do <sup>40</sup>K. As séries de decaimento do urânio e do tório têm vários isótopos radioativos e, assumindo equilíbrio secular, são obtidas estimativas de eU (ppm ou partes por milhão em massa) e eTh (ppm) a partir dos picos do <sup>214</sup>Bi (bismuto) e <sup>208</sup>Tl (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 base nestas estimativas calcularam-se valores de taxa de dose absorvida de radiação gama externa utilizando os fatores indicados em [3] e em [4].

Estas medições foram realizadas por contacto direto em superfícies de afloramentos cartografados [5] como rochas metassedimentares do Silúrico, assim como granitos do Sameiro e de Braga, ambos granitos biotíticos porfíroides mas, respetivamente, de grão grosseiro e de grão fino a médio. As medições foram realizadas em locais que apresentavam diferentes feições em termos de processos de alteração presumivelmente superficial (meteorização). Foram ainda colhidas

amostras com diferentes graus de meteorização do granito de Braga para análises laboratoriais de espectrometria gama num detetor de germânio tipo coaxial marca CANBERRA modelo GR6022 (amostras seladas durante 25 dias para equilíbrio do Rn), cujos resultados, publicados em [6], mostraram variações em amostras com diferentes graus de meteorização. Para comparação com as medições de campo, foram calculadas estimativas de teores dos elementos (utilizando os fatores indicados em [3]) e valores de taxa de dose absorvida (pelo procedimento anteriormente indicado).

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 multivariadas comparativas, análise de semelhança (ANOSIM) e MANOVA não paramétrica (NPMANOVA ou PERMANOVA), ambas com 99999 permutações, foram realizadas com o PAST-PAleontological STatistics [7]. Todas as outras análises e todos os diagramas apresentados foram preparados com o Statistica 11 (Statsoft).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1a-d, utilizando diagramas de pontos, são comparadas as estimativas (valores normalizados) obtidas a partir dos espectros de campo em afloramentos das diferentes litologias consideradas. Parece existir uma tendência para valores mais baixos nas medições realizadas nas rochas metassedimentares silúricas (em relação às rochas graníticas) mas os tipos de rochas graníticas consideradas mostram alguma sobreposição de valores. A análise de componentes principais (Figura 1e) mostra uma clara separação entre rochas metassedimentares e rochas graníticas na componente principal 1 (CP1) sendo que a CP2 parece sugerir alguma tendência para separação do granito do Braga em relação ao granito de Sameiro. O diagrama das variáveis (Figura 1f) sugere que esta CP2 será afetada pela relação entre o urânio e o tório. Os resultados da análise grupal (Figura 1g) também mostram a clara separação das rochas metassedimentares em relação às rochas graníticas e uma certa tendência para agrupar as medições do granito do Sameiro. Os resultados de ANOSIM para a comparação de medições no granito de Braga e no granito do Sameiro fornecem valores de p baixos, e.g.  $p < 0,10$  para a distância Chord e  $p < 0,050$  utilizando as distâncias euclidiana, Manhattan, Mahalanobis e Gower. A NPMANOVA fornece resultados semelhantes, com exceção da distância de Mahalanobis para a qual são obtidos valores de  $p < 0,10$ .

Na Figura 2 são comparados os valores normalizados das medições de campo no granito de Braga e dos resultados das análises laboratoriais, parecendo existir alguma tendência para valores mais baixos nos resultados obtidos em laboratório. O teste ANOSIM forneceu alguns valores muito baixos de p (por exemplo  $p < 0,010$  para as distâncias Chord ou Mahalanobis e  $p < 0,0050$  utilizando as distâncias euclidiana, Manhattan ou Gower). A NPMANOVA forneceu resultados semelhantes com exceção da distância de Mahalanobis para a qual são obtidos valores de  $p < 0,05$ .

Figura 1: Análise das estimativas (normalizadas) obtidas por espectrometria gama portátil (assim como taxa de dose absorvida calculada a partir destas) em afloramentos de granitos de Braga (B) e do Sameiro (GS) e rochas metassedimentares do Silúrico (S) utilizando: diagramas de pontos para (a) K (N\_K), (b) eU (N\_eU), (c) eTh (N\_eTh) e (d) taxa de dose absorvida (N\_Dt); (e) Análise de Componentes Principais (com base em N\_K, N\_eU e N\_eTh) das medições; (f) Análise de Componentes Principais das variáveis (N\_Dt como variável suplementar); (g) dendrograma com base em N\_K, N\_eU e N\_eTh (método de Ward).

Figura 2: Diagramas de pontos para comparação das estimativas (normalizadas) de campo (C) por espectrometria gama portátil em afloramento de granito de Braga com as estimativas calculadas a partir dos resultados da espectrometria gama laboratorial (L) em amostras do mesmo granito: (a) K (N\_K), (b) eU (N\_eU), (c) eTh (N\_eTh) e (d) taxa de dose absorvida calculada a partir destas estimativas (N\_Dt).

#### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espectrometria gama portátil mostrou (como anteriormente) capacidade para distinguir as rochas metassedimentares silúricas das rochas graníticas, indicando que as primeiras apresentarão uma menor perigosidade em termos de radiação gama externa. Todavia, a distinção entre rochas graníticas petrologicamente semelhantes é mais complexa (possivelmente indicando níveis semelhantes de perigosidade). Será interessante estender este programa comparativo a outras variações petrológicas de rochas graníticas para avaliar a capacidade diferencial deste procedimento de campo. Na comparação das diferentes litologias, a utilização da espectrometria gama portátil enfrenta, para além das diferenças primárias (no momento de formação das rochas), os efeitos dos processos de alteração (hidrotermal/meteorítica) que podem afetar as relações entre os diferentes elementos e as dificuldades na avaliação do grau de alteração no campo, problema que se estenderá aos materiais no ambiente construído (onde essa avaliação poderá ser ainda mais complexa dadas as limitações inerentes aos objetos construídos). A comparação de medições de campo no ambiente construído enfrentará,

adicionalmente, dificuldades relacionadas com a existência de vários materiais no mesmo local e com as proporções desses materiais, problema que poderá requerer a definição de tipologias de locais.

Os resultados obtidos parecem sugerir que há uma tendência para valores mais elevados nas medições de campo com a espectrometria gama portátil. Embora existam vários fatores a considerar (geometria, humidade, etc.), se esta tendência for confirmada, as medições de campo serão a favor da segurança, no sentido em que os valores de campo fornecem valores mais elevados.

## 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.

## REFERÊNCIAS

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] IAEA - International Atomic Energy Agency (2003). Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data. IAEA-TECDOC-1363. Viena.
- [4] UNSCEAR - United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and effects of ionizing radiation (2010). UNSCEAR 2008 report to the General Assembly, with scientific annexes. Organização das Nações Unidas, Nova Iorque.
- [5] Ferreira, N., Dias, G., Meireles, C. & Sequeira Braga, M. A. (2000). Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:50 000. Folha 05-D (Braga). Notícia explicativa da folha 5-D (Braga). Lisboa, IGM.
- [6] Lima, M., Alves, C., Sanjurjo-Sánchez, J. (2015). Radiación gamma en rocas usadas como material de construcción el granito de Braga (NO de Portugal). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 38, 79-92
- [7] Hammer, Ø., Harper, D.A.T., Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.