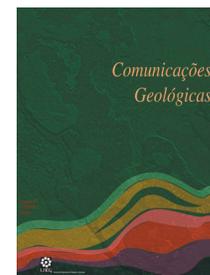


# Contribuição dos sistemas isotópicos Sm-Nd e Rb-Sr para o estudo petrogenético do maciço granítico peraluminoso de duas micas da cidade do Porto (NW Portugal)

## Contribution of Sm-Nd and Rb-Sr isotope systems to the petrogenetic study of the peraluminous two-mica granite pluton in Oporto town (NW Portugal)

A. Almeida<sup>1\*</sup>, J. F. Santos<sup>2</sup>, F. Noronha<sup>1</sup>



Artigo Curto  
Short Article

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

**Resumo:** O *Granito do Porto* corresponde a um granito hercínico, leucocrata, de duas micas, fortemente peraluminoso. No presente trabalho foram realizadas análises para os sistemas isotópicos Rb-Sr e Sm-Nd, em cinco amostras frescas do granito em estudo. Obteve-se uma isócrona Rb-Sr de  $306 \pm 7$  Ma (MSWD=0,71;  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  inicial=0,7128), que dentro da margem de erro, deverá refletir a instalação magmática. Em termos de geoquímica isotópica, as razões isotópicas iniciais de Sr e Nd, calculadas de acordo com aquela isócrona, testemunham um claro enriquecimento em Sr radiogénico e um ligeiro empobrecimento em Nd radiogénico, típico de granitos tipo S. Os valores ligeiramente negativos de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  inicial (entre -1,9 e -3,6) apontam para que a fonte do magma granítico sejam litologias metapelíticas.

**Palavras-chave:** Sm-Nd, Rb-Sr, Petrogénese, Granito.

**Abstract:** The *Oporto Granite* is a Variscan, highly peraluminous, leucocratic, two-mica granite. In this work, information resulting from isotopic Rb-Sr and Sm-Nd analyses on five fresh samples of the Oporto granite is presented. Rb-Sr data give a  $306 \pm 7$  Ma isochron (MSWD=0.72,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ =0.7128), which, within error, should reflect the emplacement age. Geochemically, initial isotopic Sr and Nd ratios, calculated according to that isochron, show a strong enrichment in radiogenic Sr and a slight depletion in radiogenic Nd, typical of S-type granites. In addition, the range of initial  $\epsilon_{\text{Nd}}$  values (from -1.9 to -3.6) suggests that metapelites could have been the source of the granitic melt.

**Keywords:** Sm-Nd, Rb-Sr, Petrogenesis, Granite.

<sup>1</sup>CGUP, DGAOT, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto  
Rua do Campo Alegre, 687, 4169-007 Porto.

<sup>2</sup>Geobiotec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro  
3810-193 Aveiro

\* Autor correspondente / Corresponding author: [aalmeida@fc.up.pt](mailto:aalmeida@fc.up.pt)

Mais recentemente, foram reportadas idades de  $317 \pm 6$  Ma e  $318 \pm 2$  Ma pelo método U-Pb em zircões e monazites (Martins *et al.*, 2001; Almeida, 2001). Com o presente estudo espera-se contribuir para uma melhor compreensão dos constrangimentos geocronológicos e da origem do magma granítico da cidade do Porto, comparando e integrando os resultados para os sistemas Rb-Sr e Sm-Nd com dados previamente conhecidos.

## 2. Enquadramento geológico e tectónico

O substrato geológico sobre o qual assenta a cidade do Porto localiza-se na Zona Centro-Ibérica (ZCI), sabendo-se que a zona de cisalhamento Porto-Tomar atravessa o extremo oeste da cidade, separando a ZCI da Zona de Ossa-Morena (Julivert *et al.*, 1974; Ribeiro *et al.*, 1979). As litologias dominantes na cidade são de natureza granítica. Utilizando a classificação de Ferreira *et al.* (1987), distinguem-se na área da cidade dois tipos de granitos: biotíticos e de duas micas. Com base na relação temporal entre os granitos e a terceira fase de deformação tectónica da orogenia hercínica, D<sub>3</sub>, o granito de duas micas estudado neste trabalho, amplamente o mais representativo da área, está reconhecido como sin-D<sub>3</sub>, definindo um alinhamento NW-SE, contactando, a leste, com o Complexo Xisto-Graváquico (CXG) de idade ediacariana a câmbica (*e.g.* Teixeira *et al.*, 2011) e, a oeste, com o Complexo Metamórfico da Foz do Douro (Noronha & Leterrier, 2000).

## 3. Petrografia

O estudo petrográfico incidiu em amostras colhidas em afloramento e em sondagens efetuadas nos locais de construção de túneis urbanos. É um granito predominantemente não porfiroide, localmente com uma tendência porfiroide, e com uma granularidade variando de média a grosseira ou de fina a média, com transições graduais. Por vezes exhibe uma textura orientada N130°E.

## 1. Introdução

O magmatismo hercínico da região do Porto tem sido objeto de datações isotópicas apresentadas por diversos autores. Usando o sistema Rb-Sr foram obtidas, até agora, as seguintes idades:  $394 \pm 58$  Ma,  $332 \pm 6$  Ma e  $317 \pm 19$  Ma (Mendes, 1968),  $312 \pm 10$  Ma (Priem *et al.*, 1970),  $345 \pm 4$  Ma (Abranches *et al.*, 1979) e  $343 \pm 10$  Ma (Silva, 1995).

A análise petrográfica revelou quartzo, feldspato potássico, plagioclase, biotite, moscovite, zircão, apatite, monazite, opacos, turmalina e granada.

O quartzo é xenomórfico exibindo extinção ondulante. O feldspato potássico consiste em ortoclase e/ou microclina, frequentemente peritítico, sendo de referir a ocorrência de processos de alteração tardi-magmática, particularmente albitização a partir do desenvolvimento das pertites que por vezes se insinuam ao longo do plano de macla de Carlsbad. Aspetos de intensa caulínização do feldspato potássico são observados mas em amostras alteradas. A plagioclase é uma oligoclase-albite, por vezes sericitizada e moscovitizada. A biotite é o único mineral máfico, exibindo cor castanha, fortemente pleocroica, com inclusões de zircão e de apatite rodeadas por halos pleocroicos. A moscovite é sempre mais abundante do que a biotite, e ocorre em placas desenvolvidas de moscovite primária, e mais tardia em associações simplectíticas com o quartzo e como resultado da moscovitização da biotite e da plagioclase. Neste estudo a análise petrográfica foi fundamental na seleção das amostras pois foram selecionadas as menos afetadas pelos processos de alteração.

#### 4. Geoquímica de rocha total

Num conjunto de vinte e cinco amostras observaram-se valores elevados de SiO<sub>2</sub> (70-74 %) e de Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O (7,5-8,8 %), baixos valores de B (12,8 – 47,8) (Debon & Le Fort, 1983), um intenso caráter peraluminoso traduzido

em razões A/CNK entre 1,2 e 1,5 e um total de elementos de terras raras (ETR) entre 50 e 131 ppm. Os espectros normalizados ao condrito C1 (Evensen *et al.*, 1978) revelam um forte fracionamento dos ETR leves, com razões (La/Yb)<sub>NC</sub> variando de 16 a 66, e anomalias negativas em európio, (Eu/Eu\*)<sub>NC</sub>, entre 0,32 e 0,66. No diagrama A-B (Debon & Le Fort, 1983) todas as amostras se projetam na área dos leucogranitos peraluminosos, com moscovite mais abundante que biotite, concordando com a composição modal (*e.g.* Silva, 1995). No diagrama de discriminação tectónica Y+Nb -Rb (Pearce *et al.*, 1984) todas as amostras se projetam no domínio dos granitos sincolisionais confirmando o caráter sinorogénico do granito do Porto. (Almeida & Begonha, 2010). As características geoquímicas e a composição mineralógica, particularmente moscovite primária abundante, permitem incluir o granito do Porto na categoria dos granitos de tipo S (Chappell & White, 1974).

#### 5. Geologia isotópica de Rb-Sr e Sm-Nd

A fim de complementar a informação U-Pb previamente obtida sobre o granito do Porto foram analisadas cinco amostras em cuja seleção foi fundamental a exclusão das que exibissem sinais de alteração meteórica. Na tabela 1 apresentam-se os teores em ppm dos elementos Rb, Sr, Sm e Nd e os respetivos resultados isotópicos Rb-Sr e Sm-Nd.

Tabela 1. Teores em ppm dos elementos Rb, Sr, Sm e Nd e respetivos resultados isotópicos Rb-Sr e Sm-Nd, obtidos em cinco amostras de granito do Porto consideradas as menos alteradas (selecionadas de testemunhos de sondagens).

Table 1. Rb, Sr, Sm and Nd data (ppm) and the respective isotopic results Rb-Sr and Sm-Nd, obtained on five Oporto granite samples assumed as the least chemically altered (selected from borehole logs).

ppm	9C-5		ST1-7		ST2-12		ST3-6		ST4-2	
Rb	215		368		302		370		382	
Sr	67,9		40,7		48,0		31,6		23,8	
Sm	3,42		3,52		5,62		2,61		2,14	
Nd	15,3		15,4		26,1		12,6		9,51	
		2σ								
<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	9,22	0,26	26,46	0,75	18,35	0,52	34,38	0,97	47,29	1,34
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0,753166	0,000039	0,828277	0,000028	0,792127	0,000030	0,860717	0,000033	0,921667	0,000020
<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	0,135	0,007	0,138	0,007	0,130	0,007	0,125	0,007	0,136	0,010
<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	0,512417	0,000012	0,512365	0,000022	0,512317	0,000012	0,512315	0,000016	0,512354	0,000025

#### Geocronologia Rb-Sr

As razões <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr e <sup>87</sup>Rb/<sup>86</sup>Sr apresentam uma correlação praticamente perfeita (MSWD = 0.71), definindo uma isócrona (Fig. 1) obtida por uma solução de modelo 1 no programa Isoplot 4 (Ludwig, 2012). O valor de idade registado é 306±7 Ma, a que corresponde uma razão <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr inicial de 0,7128. Tratando-se de uma isócrona de rocha total com um MSWD muito pequeno, a idade corresponde a uma situação de homogeneidade isotópica de <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr à escala do corpo intrusivo, não podendo ser explicada por perturbações posteriores à instalação magmática, a menos que se tratassem de fenómenos

metassomáticos tão intensos que causassem re-homogeneização de <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr à escala do corpo em causa. Não havendo indícios desses fenómenos, a isócrona deve representar a idade de instalação. Tendo em conta as margens de erro, é de notar que há sobreposição entre a datação agora obtida e a de 317±6 Ma (U-Pb em zircões), apresentada por Martins *et al.* (2001), sendo possível que a idade real esteja próxima do limite máximo da margem de erro da isócrona Rb-Sr. Contudo, há também que ter em atenção que as datações U-Pb em zircões até agora efetuadas no granito do Porto não resultaram de análises pontuais, sendo impossível descartar totalmente a hipótese

da presença de uma componente herdada, o que explicaria o valor mais antigo da idade obtida nos zircões. Estudos geocronológicos U-Pb em granitos instalados num contexto geotectónico análogo ao que caracteriza o maciço do Porto (e.g. Almeida *et al.*, 1998; Dias *et al.*, 2010), cujos zircões exibem zonas de sobrecrecimento em torno de núcleos herdados, dão suporte à possibilidade de existir uma componente de Pb herdada de uma fonte mais antiga.

#### Geoquímica isotópica Rb-Sr e Sm-Nd

Usando o valor central da isócrona obtida neste trabalho (306 Ma), os valores de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  iniciais variam entre 0,711022 e 0,715734, correspondendo a  $\epsilon_{\text{Sr}(306)}$  de, respetivamente, +98 e +165. Por sua vez,  $\epsilon_{\text{Nd}(306)}$  varia entre -1,9 e -3,7. O claro enriquecimento em Sr radiogénico e os valores negativos de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  correspondem à assinatura isotópica típica de granitos de tipo S, coerente com os dados de geoquímica elementar e petrográficos.

Considerando o limite mais antigo da margem de erro da isócrona (313 Ma), sobrepondo-se à idade U-Pb em zircões, obtêm-se valores de  $\epsilon_{\text{Sr}(313)}$  entre +49 e +113 e de  $\epsilon_{\text{Nd}(313)}$  entre -1,9 e -3,6 (Fig. 2), ainda adequados a granitos de tipo S. Para uma idade de 318 Ma, o valor mais baixo de  $\epsilon_{\text{Sr}(318)}$  é de somente +14, correspondendo a  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(318)} = 0,705138$ , relativamente pequeno para granitos de tipo S. A variação da assinatura isotópica de Nd, em função da idade é muito menor.

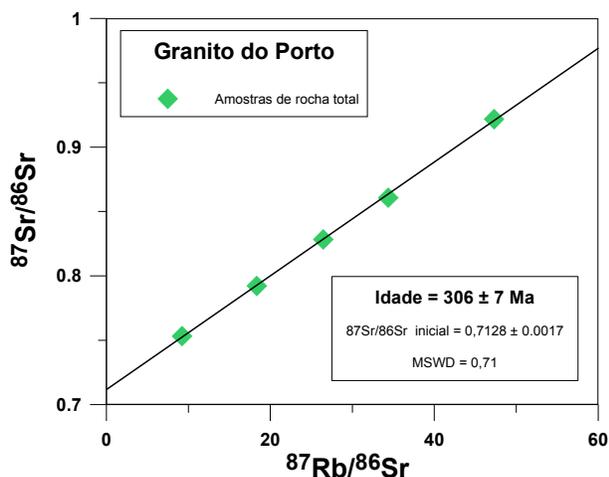


Fig. 1. Isócrona Rb-Sr definida por amostras de rocha total do granito do Porto. Os valores usados constam da tabela 1. Os cálculos foram efetuados recorrendo a Isoplot 4 (Ludwig, 2012), sendo a solução de modelo 1. A idade de  $306 \pm 7$  Ma é interpretada como correspondendo à instalação do granito, considerado syn-D3.

Fig. 1. Whole-rock Rb-Sr isochron for the Oporto granite. The plotted values are presented in table 1. The isochron corresponds to a model 1 solution obtained by using Isoplot 4 (Ludwig, 2012). The  $306 \pm 7$  Ma date is interpreted as the granite (usually considered as syn-D3) emplacement age.

Sendo óbvia a origem deste granito a partir de magma gerado por fusão de crosta metassedimentar, pondera-se qual a natureza mais precisa dessa crosta. Trabalhos em curso numa área próxima a N do Porto (Areias *et al.*, 2013), revelaram que em rochas atribuídas ao CXG o  $\epsilon_{\text{Nd}}$

para idades variscas varia entre -2,0 e -5,1 nas fácies metapelíticas, apresentando valores menores nas fácies metagrauacóides. Considerando os valores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  iniciais agora obtidos, e integrando-os com valores num enquadramento semelhante (Silva, 1995) ressalta como bastante provável a relação entre o granito do Porto e uma fonte crustal metapelítica.

## 6. Conclusões

Os dados isotópicos de Rb-Sr e Sm-Nd do granito do Porto, e a sua conjugação com a informação previamente disponibilizada, permitem as seguintes conclusões:

- As amostras analisadas definem, no sistema Rb-Sr, uma isócrona de rocha total de  $306 \pm 7$  Ma, que deverá corresponder ao processo de instalação magmática. Considerando a sobreposição com idades U-Pb (em zircões) previamente reportadas, é provável que a idade real daquele processo se situe nos valores mais antigos permitidos pela margem de erro.

- As assinaturas isotópicas, assumindo uma idade de 313 Ma, indicam que  $\epsilon_{\text{Sr}}$  e  $\epsilon_{\text{Nd}}$  iniciais variam, respetivamente, de +49 a +113 e de -1,9 a -3,6, o que está de acordo com as características de granitos de tipo S, confirmando os dados petrográficos e geoquímicos.

- Os valores de  $\epsilon_{\text{Nd}}$  inicial pouco negativo permite, ainda, considerar como provável que a fonte do magma granítico correspondesse a litologias pelíticas idênticas às agora aflorantes a norte da cidade do Porto.

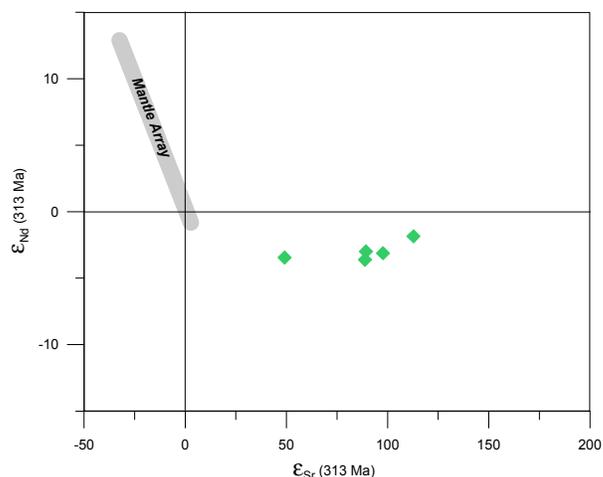


Fig. 2. Assinaturas isotópicas de Sr e Nd de amostras do granito do Porto, calculadas para 313 Ma, revelando composições típicas de granitos de tipo S. Os motivos da escolha da idade de 313 Ma estão apresentados no texto.

Fig. 2. Sr and Nd isotope signatures of Oporto granite samples, at 313 Ma, revealing compositions typical of S-type granites. The rationale for the choice of 313 Ma age is presented in the text.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a N. Ferreira (LNEG) pela colaboração na seleção das amostras das sondagens e a Sara Ribeiro (LGI-UA) pela realização das análises de TIMS para os sistemas Rb-Sr e Sm-Nd. Este estudo foi

financiado pela FCT através dos projetos Petrochron (PTDC/CTE-GIX/112561/2009), Geobiotec (PEst-OE/CTE/UI4035/2014) e PEst-OE/CTE/UI0039/2011 (CGUP).

## Referências

- Abranches, M.C.B., Canilho M.H., Canêlhas, M.G.S., 1979. Idade absoluta pelo método Rb-Sr dos granitos do Porto e de Portalegre (Nota preliminar). *Bol. Soc. Geológica de Portugal*, **21**, 239-248.
- Almeida, A., 2001. Geochemical and geochronological characterization of the syn-tectonic two-mica granite of Porto (NW Portugal). In: M. Lago, E. Arranz, C. Galé, (Eds). *Actas do III Congresso Ibérico de Geoquímica e VIII Congresso de Geoquímica de Espanha*. Instituto Geológico de Aragón, Zaragoza, 311-315.
- Almeida, A., Begonha, A., 2010. Geologia Urbana e Património da Região do Porto – Parte II: Geologia do Centro Histórico. In: D. Flores, M. Marques, (Eds). *X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e XVI Semana de Geoquímica*. Memórias nº 15. Porto, 39-49.
- Almeida, A., Leterrier, J., Noronha, F., Bertrand, J.M., 1998. U-Pb zircon and monazite geochronology of the Hercynian two-mica granite composite pluton of Cabeceiras de Basto (Northern Portugal). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, **326**, 779-785.
- Areias, M., Ribeiro, M.A., Santos, J.F., Dória, A., 2013. Complexo migmatítico de Mindelo (NW de Portugal). Anatexia e relações petrogenéticas. *IX Congresso Ibérico/XI Congresso Nacional de Geoquímica*, Sória, 28-30.
- Chappell, B.W., White, A.J.R., 1974. Two contrasting granite types. *Pacific Geology*, **8**, 173-174.
- Debon, F., Le Fort, P., 1983. A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, **73**, 135-149.
- Dias, G., Noronha, F., Almeida, A., Simões, P.P., Martins, H.C.B., Ferreira, N., 2010. Geochronology and petrogenesis of late-Variscan plutonism (NW Portugal): synthesis and inferences on crustal recycling and growth in the Central Iberian Zone. In: J.M., Coteló Neiva, A. Ribeiro, L. Mendes Victor, F. Noronha, M. Magalhães Ramalho (Eds). *Ciências Geológicas: Ensino, Investigação e sua História*. Geologia Clássica. Volume I, 143-160.
- Evensen, N.M., Hamilton, P.J., O'Nions, R.K., 1978. Rare Earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **42**, 1199-1212.
- Ferreira, N., Iglesias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L., 1987. Granitoides da Zona Centro Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: F. Bea, A. Carnicero, J. Gonzalo, M. Lopez Plaza, M. Alonso, (Eds). *Geologia de los Granitoides y Rocas Asociadas del Macizo Hesperico*. Editorial Rueda, Libro Homenaje a L.C. Garcia de Figuerola, Madrid, 37-51.
- Julivert, M., Fontbote, J., Ribeiro, A., Conde, L., 1974. Memória explicativa del Mapa Tectónico de la Península Iberica y Baleares, Escala 1:1.000.000. *Instituto Geológico y Minero de España*, Madrid.
- Ludwig, K.R., 2012. *Isoplot 3.75. A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel*. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 5.
- Martins, H.C.B., Almeida, A., Noronha, F., Leterrier J., 2001. Novos dados geocronológicos de granitos do Porto: granito do Porto e de Lavadores. *VI Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa e XII Semana de Geoquímica*. Universidade Algarve, Faro, 146-148.
- Mendes, F., 1968. Contribution à l'étude géochronologique, par la méthode au strontium, des formations cristallines du Portugal. *Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Universidade de Lisboa*, **11(1)**, 155 p.
- Noronha, F., Leterrier, J., 2000. Complexo Metamórfico da Foz do Douro (Porto). Geoquímica e Geocronologia. *Revista Real Academia Galega de Ciências*, **XIV**, 21-42.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, **25**, 956-983.
- Priem, H.N.A., Boelrijk, N.A.I.M., Verschure, R.H., Hebeda, E.H., Verdurmen, E.A.Th., 1970. Dating events of acid plutonism through the Paleozoic of the Western Iberian Peninsula. *Eclogae Geologicae Helveticae*, **63**, 255-274.
- Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Almeida, F.M., Carvalho, D., Monteiro, J.H., 1979. *Introduction à la géologie du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 114 p.
- Silva, M.M.V.G., 1995. *Mineralogia, petrologia, e geoquímica de encraves de rochas graníticas de algumas regiões Portuguesas*. Tese de doutoramento, Universidade Coimbra (não publicada), 288 p.
- Teixeira, R.J.S., Neiva, A.M.R., Silva, P.B., Gomes, M.E.P., Anderson, T., Ramos, J.M.F., 2011. Combined U-Pb geochronology and Lu-Hf isotope systematics by LAM-ICPMS of zircons from granites and metasedimentary rocks of Carrazeda de Ansiães and Sabugal areas, Portugal, to constrain granite sources. *Lithos*, **125**, 321-334.