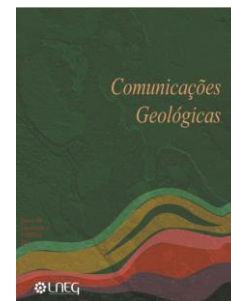


Características isotópicas (Sr-Nd) do Granito do Pedregal e rochas migmatíticas associadas

Isotopic (Sr-Nd) signatures of the Pedregal Granite and associated migmatite rocks

J. A. Ferreira^{1*}, H. C. B. Martins², J. F. Santos³, M. A. Ribeiro²



Artigo original
Original article

© 2015 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Resumo: O complexo granito-migmatítico sinorogénico varisco em estudo aflora na Zona Centro Ibérica, noroeste de Portugal. O granito do Pedregal, com idade de 311 ± 5 Ma, é um corpo alongado na direção NW-SE que intrui micaxistos estaurólíticos, rochas gnaisso-migmatíticas bandadas e, localmente, contacta com brechas ígneas. Trata-se de um granito de duas micas, de grão fino a médio, com pequenos nódulos biotíticos (1 a 2 cm). As rochas gnaisso-migmatíticas associadas, de carácter metatexitico estromático, evidenciam bandas leucocratas quartzo-feldspáticas (leucossoma) predominantes e sem foliação, alternando com bandas micáceas (paleossoma) onde ocorre granada em intercrescimento com quartzo (< 1 cm). Os dados isotópicos de Sr-Nd mostram ausência de sobreposição das composições iniciais do granito e das rochas gnaisso-migmatíticas, em aparente contradição com dados geoquímicos apresentados previamente. A inexistência daquela sobreposição é possivelmente resultante quer de desequilíbrio isotópico de Nd durante o processo de fusão parcial, quer de muscovitização tardia, acompanhada de incremento da razão Rb/Sr, no granito.

Palavras-chave: granito do Pedregal; migmatitos; assinatura isotópica Sr-Nd

Abstract: The synorogenic Variscan granite-migmatite complex in study outcrops in the Central Iberian Zone, northern Portugal. The Pedregal granite dated of 311 ± 5 Ma has an NW-SE elongated shape and is intrusive in staurolite-micaschist and banded gneiss-migmatite rocks, with local igneous breccias along the contact. This granite is a fine to medium-grained two mica rock with small biotitic nodules (1 to 2 cm). The associated gneiss-migmatite rocks of stromatic metatexitic character are banded, showing alternating of quartz-feldspathic leucosomes without foliation and subordinated micaceous paleosomes disclosing garnet - quartz intergrowths (< 1 cm). The Sr-Nd isotopic results for the Pedregal granite and associated gneiss-migmatite rocks indicate quite different compositions, in apparent contradiction with geochemical data previously presented. Their isotopic heterogeneity could be explained by Nd isotopic disequilibrium developed both during the melting event and late muscovitization, with Rb/Sr enrichment in the granite.

Keywords: Pedregal granite; migmatites; isotopic signature

¹DGOAT-FCUP, Rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal.

²Instituto de Ciências da Terra (ICT), Pólo da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto/DGAOT-FCUP, Rua do Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal.

³Geobiotec, Dep. Geociências, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal.

*Autor correspondente/Corresponding author:

joana.alexandra.ferreira@gmail.com

1. Introdução

A associação de uma grande diversidade de corpos graníticos intrusivos em metassedimentos de alto grau (migmatitos, xistos silimaníticos e xistos estaurólíticos) do Complexo Xisto-Grauváquico (CXG, Carrington da Costa e Teixeira, 1957; Pereira *et al.*, 1992) no limite NW da faixa metamórfica Porto-Viseu são determinantes no estabelecimento da cronologia e natureza dos processos magmáticos, anatéticos, metamórficos e respetivo significado geodinâmico.

As litologias em estudo localizam-se no bordo oriental da faixa metamórfica Porto – Viseu, pretendendo-se com este trabalho apresentar a assinatura isotópica Sr-Nd do granito peraluminoso do Pedregal e das rochas migmatíticas associadas, tentando contribuir para a caracterização da fonte (ou fontes) envolvidas na sua génese.

2. Enquadramento geológico

O granito do Pedregal encontra-se cartografado na folha 1 da Carta Geológica de Portugal à escala 1/200 000 e na folha 9-C Porto da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000, sendo descrito, respetivamente, como granito de duas micas de grão fino sin-tectónico relativamente a D_3 (Pereira *et al.*, 1992) e como um granito alcalino, de grão fino a médio, mesocrata, de duas micas (Carrington da Costa e Teixeira, 1957), individualizando-se dos granitos envolventes, nomeadamente do granito de Gondomar e do granito de Fânzeres.

O granito do Pedregal forma um corpo com secção aflorante em torno de 3 km^2 , alongado na direção NW-SE que intrui micaxistos estaurólíticos do Supergrupo Dúrico-Beirão (SGDB) evidenciando foliação principal com direção NW-SE a NNW-SSE. Encontra-se espacialmente associado com outros granitos sin-orogénicos: Granito do Porto (granito de duas micas), Granito de Gondomar (granito turmalínico) e granito de Fânzeres (granito gnaissico granatífero) (Fig. 1). No encaixante, para além dos micaxistos estaurólíticos, ocorrem rochas gnaisso-migmatíticas, localmente com brechificação no contacto.

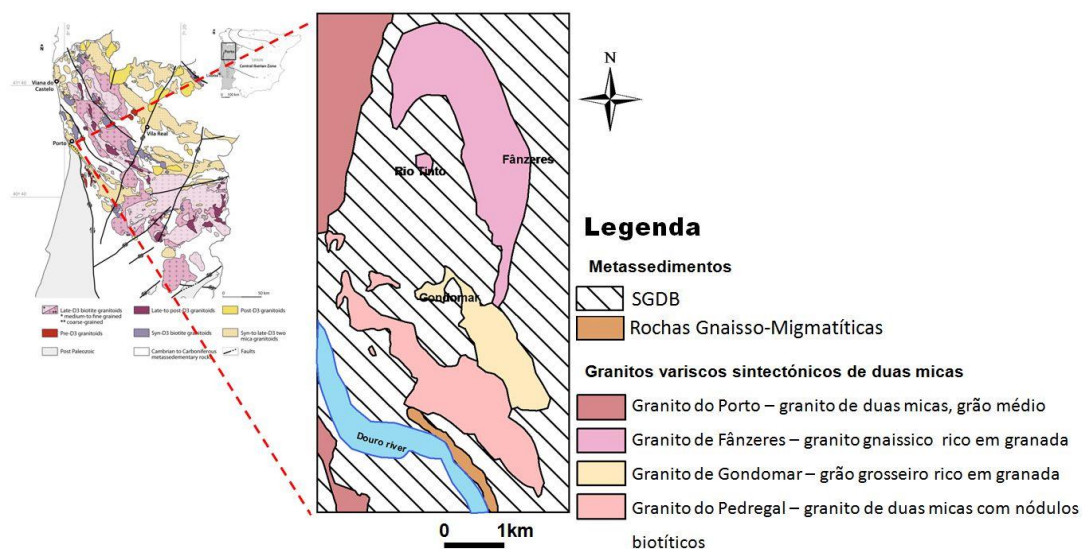


Fig. 1. Esboço geológico da área em estudo, baseado na Folha do Porto da Carta Geológica de Portugal 1/50 000 (Carrington da Costa e Teixeira, 1957).

Fig. 1. Geological sketch of the studied area, based on the Porto sheet of the Geological Map of Portugal 1/50 000 (Carrington da Costa e Teixeira, 1957).

3. Caracterização litológica e geoquímica

O Granito do Pedregal (Ribeiro *et al.*, 2008) revela textura heterogranular de grão fino a médio, em geral isotrópica. Localmente, o granito apresenta nódulos biotíticos (1 a 2 cm) com uma foliação interna de rumo variável entre NE-SW e E-W e enclaves de rochas metassedimentares. No contacto com este granito ocorrem rochas gnaisso-migmatíticas de carácter metatexítico estromático associadas aos micaxistos estaurolíticos

(Fig.1). Estas rochas apresentam bandado de orientação predominante N100 a N130°, subvertical. O bandado das rochas gnaisso-migmatíticas é marcado por leitos quartzo-feldspáticos predominantes sem foliação, de espessura variável, alternando com níveis micáceos subordinados. Destacam-se nestas rochas intercrescimentos de granada e quartzo (< 1 cm).

O Granito do Pedregal apresenta quartzo + biotite + moscovite + plagioclase + feldspato potássico + zircão + apatite + monazite + rútilo ± silimanite ± alanite ± hercinite rica em Zn.

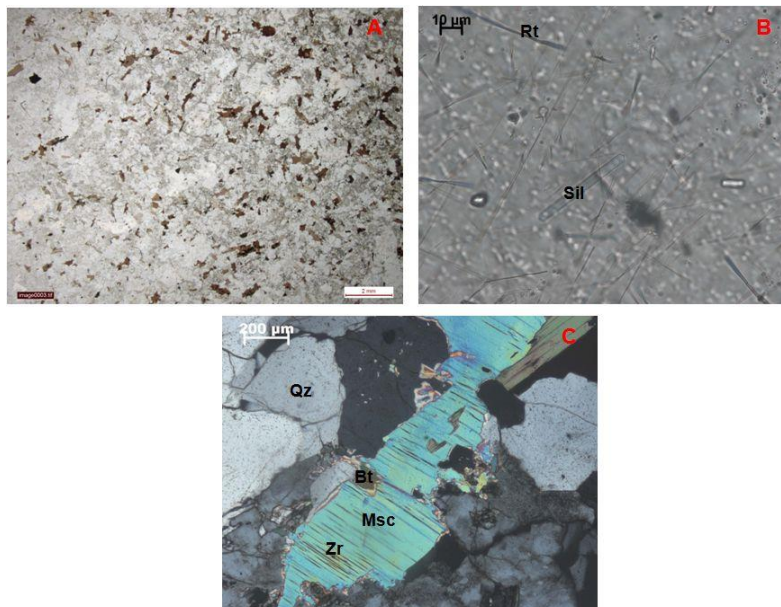


Fig. 2. Aspectos petrográficos do Granito do Pedregal: A) Distribuição homogénea dos cristais alongados de biotite; B) Quartzo com inclusões de silimanite (Sil) e rútilo (Rt); C) Moscovite (Msc) com inclusões de biotite (Bt) e zircão (Zr) associada ao quartzo (Qz).

Fig. 2. Petrography of Granite Pedregal: A) Homogeneous distribution of the elongated crystals of biotite; B) Quartz with sillimanite (Sil) and rutile (Rt) inclusions; C) Muscovite (Msc) with biotite (Bt) and zircon (Zr) inclusions associated with quartz (Qz).

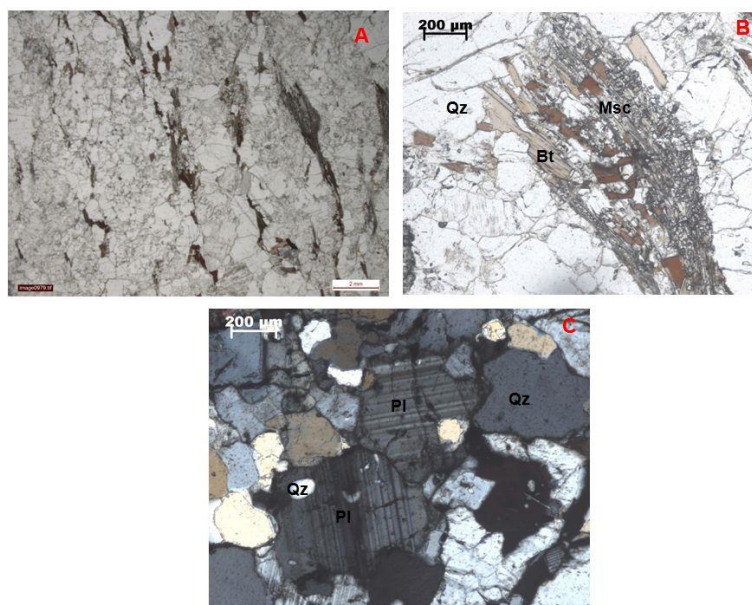


Fig. 3. Aspectos petrográficos das rochas gnaíso-migmatíticas: A) Níveis micáceos orientados; B) Associação da moscovite (Msc) e biotite (Bt) nos níveis micáceos associada ao quartzo (Qz); C) Inclusões globulares de quartzo (Qz) na plagioclase (Pl).

Fig. 3. Petrography of gneiss-migmatitic rocks: A) Subordinated micaceous bands; B) Muscovite (Msc) and biotite (Bt) association on micaceous bands associated with quartz (Qz); C) Quartz (Qz) globular inclusions on plagioclase (Pl).

A biotite ocorre sob a forma de cristais lamelares longos e estreitos por vezes com corrosão evidente. Não existem evidências de diferenciação metamórfica em domínios micáceos e domínios quartzo-feldspáticos. A biotite apresenta distribuição homogênea sem orientação preferencial (Fig. 2A). O quartzo preserva microestruturas denunciadoras de incipiente acomodação de deformação e ocorre frequentemente incluso noutros minerais assumindo formas globulares; frequentemente revela inclusões aciculares de silimanite e rútilo (Fig. 2B).

A moscovite manifesta carácter secundário (Ferreira, 2013) e ocorre sob a forma de grandes cristais subédricos, com alguma tendência poicilítica, e inclusões de quartzo, biotite, zircão, monazite, silimanite e hercinite zincífera (Fig. 2C).

As rochas gnaíso-migmatíticas exibem bandado composicional sendo compostas por quartzo + plagioclase + feldspato-K + biotite + moscovite \pm granada. Nos níveis micáceos, observa-se orientação preferencial das micas (Fig. 3A e 3B). Nas bandas leucocratas a composição é essencialmente, quartzo, plagioclase e feldspato potássico, e a textura é heterogranular sem orientação. Existem frequentes inclusões globulares de quartzo no feldspato potássico e na plagioclase (Fig. 3C).

A geoquímica de rocha total revela que o granito do Pedregal é peraluminoso (parâmetro A/CNK entre 1,18 e 1,62), com assinatura magnésiana e alcalina a alcalina-cálcica (Ferreira *et al.*, 2014a). Destacam-se ainda os teores consideráveis de TiO_2 (0,7-0,9 wt %), P_2O_5 (0,4 – 0,6 wt %), Zr (388 – 435 ppm), La (91,6 – 130 ppm), Ce (243 – 320 ppm) e Th (72,3 – 137 ppm).

As rochas gnaíso-migmatíticas, comparativamente com o granito, são ligeiramente mais siliciosas e sódicas, SiO_2 (72 – 74 wt%) e Na_2O (3,3 – 3,5 wt%) e mais pobres em ETR.

A idade $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ do granito do Pedregal cifra-se em 311 ± 5 Ma (MSWD=0,55), coincidente com o período de instalação dos granitos sin- a tardi- D_3 variscos (Ferreira *et al.*, 2014b).

4. Métodos analíticos

As composições isotópicas de Sr e Nd foram determinadas no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade de Aveiro. Após a dissolução das amostras, os elementos alvo foram purificados usando cromatografia iónica em duas etapas: (1) separação do Sr e dos ETR numa coluna de troca catiónica com a resina AG8 50 W Bio-Rad e (2) purificação do Nd em relação aos outros lantanídeos em colunas com resina Ln Resin (ElChrom Technologies). Os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ foram obtidos usando o espectrómetro de massa de ionização térmica VG Sector 54. As razões isotópicas foram corrigidas para fracionamento de massa, considerando $^{88}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,1194$ e $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$. Durante este estudo, os padrões SRM 987 e JNdi-1 deram valores médios de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,710263(16)$ (N = 14; limite de confiança = 95 %) e $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,5121030(68)$ (N = 13; limite de confiança = 95 %), respetivamente. As concentrações de Rb e Sr nas seis amostras com maiores razões Rb/Sr foram determinadas por diluição isotópica, utilizando-se um “spike” de $^{87}\text{Rb}/^{84}\text{Sr}$.

5. Resultados

As rochas gnaíso-migmatíticas apresentam teores de Rb, Sr, Sm e Nd bastante inferiores aos do granito do Pedregal. Quanto aos valores iniciais de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ e ϵNd , o granito do Pedregal ostenta os resultados mais baixos para ambos os parâmetros (Tabela 1). A divergência da composição isotópica das litologias em estudo sugere diferentes protólitos para o granito do Pedregal e para as rochas migmatíticas associadas (Fig. 4), o que não era expectável tendo em conta as relações de campo e as características petrográficas e geoquímicas de todas estas litologias (Ferreira *et al.*, 2014a, 2014b). O valor de ϵNd das rochas gnaíso-

Tabela 1. Dados isotópicos Sr e Nd para as amostras do granito do Pedregal (P1, P2, P3, P6, P7) e rochas gnaisso-migmatíticas (P8, P9, P10).

Table 1. Isotopic data Sr-Nd of the Pedregal granite (P1, P2, P3, P6, P7) and gneiss-migmatite rocks (P8, P9, P10).

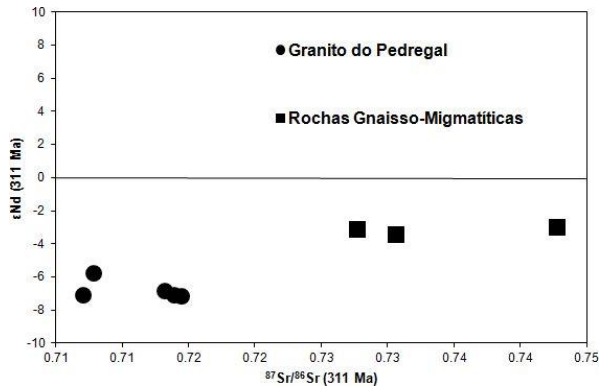
	Rb (ppm)	Sr (ppm)	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}_{(m)}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(311)}$	Sm (ppm)	Nd (ppm)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}_{(m)}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}_{(m)}$	$\epsilon\text{Nd}_{(311)}$
P1	266	228	3.3804	0.7078	16.2	110	0.0891	0.5121	-5.80
P2	383	109	10.1900	0.7070	22.2	156	0.0861	0.5120	-7.11
P3	321	68	13.7074	0.7139	22.2	146	0.0920	0.5121	-7.13
P6	403	93	12.6695	0.7144	22.3	142	0.0950	0.5121	-7.16
P7	383	82	13.6581	0.7131	22.1	148	0.0903	0.5121	-6.88
P8	174	62	8.1639	0.7277	2.4	8.9	0.1631	0.5124	-3.14
P9	164	56	8.5228	0.7306	2.5	9	0.1680	0.5124	-3.43
P10	171	37	13.4654	0.7427	2.1	7.7	0.1650	0.5124	-3.01

(m): medido

migmatíticas é semelhante ao dos metassedimentos do SGDB (Beetsma, 1995), provavelmente em consequência do contributo paleossomático dos metassedimentos para as rochas gnaisso-migmatíticas. O granito do Pedregal revela valores de ϵNd inferiores a de outros granitos sin- D_3 variscos da faixa metamórfica Porto-Viseu, como por exemplo o granito da Junqueira (Azevedo and Aguado, 2013).

6. Considerações Finais

A distinta composição isotópica das litologias em estudo sugere diferentes fontes para o Granito do Pedregal e para as rochas gnaisso-migmatíticas associadas. Contudo, o modelo genético proposto suportado pelas relações de campo, petrografia e geoquímica de rocha total considera uma provável relação genética resultante de processos de fusão sequencial entre estas litologias (Ferreira *et al.*, 2014a).

Fig. 4. Diagrama ϵNd vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; valores calculados para a idade de 311 Ma.Fig. 4. ϵNd vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ diagram, values calculated for 311 Ma age.

As diferenças isotópicas entre as duas litologias associadas podem ser consequência de diversos fatores, tais como o reequilíbrio do sistema Rb-Sr durante a deformação (Page and Bell, 1986), alteração pós-magmática (Kwan *et al.*, 1992) e fusão parcial em desequilíbrio (Allègre e Minster, 1978). Este último processo pode influenciar as características geoquímicas e isotópicas dos *melts* anatóticos, mais pelo controlo fases refractárias vs. fases que fundem, do que pela composição do protólito. A participação no *melt* de minerais ricos em ETRL, nomeadamente monazite, tem importantes implicações nas concentrações de elementos vestigiais e, eventualmente, nas razões isotópicas de Nd (Wolf e London, 1995; Zeng *et al.*, 2005a; Zeng *et al.*, 2005b).

A intensa moscovitização tardia do granito poderá ter influenciado os baixos valores da razão inicial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Este processo deverá ter conduzido a incrementos da razão Rb/Sr,

tendo como consequência a subestimação de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ quando calculado para um evento anterior, nomeadamente para o cálculo da idade de instalação. Os teores relativamente elevados de P_2O_5 e de ETRL do Granito do Pedregal apontam para a importância do contributo da apatite e da monazite (Ferreira *et al.*, 2014a), sugerindo contributos de uma fonte enriquecida nestes minerais. Os baixos valores iniciais de ϵNd no granito podem ser interpretados como resultado: i) da fonte do fundido que deu origem ao granito ser isotopicamente distinta das litologias metassedimentares; e/ou ii) de ter ocorrido fusão em desequilíbrio isotópico. Na hipótese de fusão em desequilíbrio, fases minerais com elevadas razões ETRL/ETRP (e, portanto, baixas razões Sm/Nd, implicando baixo crescimento, ao longo do tempo, de $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) teriam sido incorporadas no líquido. Por outro lado, fases minerais com baixos valores de ETRL/ETRP (como, por exemplo, xenótimo e granada) teriam um comportamento refractário, não só por resistirem à fusão e ficarem no resíduo, como também por não estabelecerem reequilíbrio isotópico de Nd com o fundido gerado.

Face às características geológicas e geoquímicas das duas litologias em estudo parece mais razoável considerar a hipótese da fusão em desequilíbrio.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por fundos FEDER através do Programa Operacional Factores de Competitividade – COMPETE 2020 e por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do ICT – Group G3G (Projeto UID / GEO / 04683/2013, POCI-01-0145 - FEDER-007690) e do projeto Geobiotec (UID/GEO/04035/2013). Os autores agradecem as sugestões de melhoria do colega António Mateus.

Referências

- Allègre, C. e Minster, J., 1978. Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes. *Earth and Planetary Science Letters*, **38**: 1-25.
- Azevedo, M., Aguado, B., 2013. Origem e instalação de Granitóides Variscos na Zona Centro-Ibérica. In: Dias, R., Araújo, A., Terrinha, P., Kullberg J.C. (eds), *Geologia de Portugal*, Volume I: Geologia Prémesozoica de Portugal. Escolar Editora, Lisboa, 377-401.
- Beetsma, J., 1995. *The Late Proterozoic/Paleozoic and Hercynian Crustal Evolution of the Iberian Massif, N Portugal*. Ph.D. Thesis, Vrije University, Netherlands, 223.
- Carrington da Costa, J., Teixeira, C., 1957. *Notícia Explicativa da Folha 9-C da Carta Geológica de Portugal, na escala 1/50 000*, Serviços Geológicos de Portugal, 39.
- Ferreira, J. A., 2013. *Caracterização do granito do Pedregal. Condicionantes da sua aplicação*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 155.
- Ferreira, J. A., Ribeiro, M. A., Martins, H. C. B., 2014a. The Pedregal granite: petrographic and geochemical characterization of a peculiar granitoid. *Estudios Geológicos*, **70**(2): 19.

- Ferreira, J., Martins, H. C. B., Ribeiro, M. A., 2014b. Geocronologia (U-Pb) e Geoquímica do granito do Pedregal. *Comunicações Geológicas*, **101**(1): 89-92.
- Kwan, T., Krahenbul, R., Jager, E., 1992. Rb-Sr, K-Ar and fission track ages for granites from Penang Island, West Malaysia: an interpretation model for Rb-Sr whole-rock and for actual experimental mica data. *Contrib. Mineral. Petrol*, **111**: 527-542.
- Page, R., Bell, T., 1986. Isotopic and Structural Responses of Granite to Successive Deformation and Metamorphism. *The Journal of Geology*, **94**: 365-379.
- Pereira, E., Cabral, J., Cramez, P., Moreira, A., Noronha, F., Oliveira, J. M., Farinha Ramos, J. M., Reis, M. L., Ribeiro, A., Ribeiro, M. L., Simões, M. 1992. *Notícia Explicativa da Folha 1 da Carta geológica de Portugal, Escala 1/200000*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 83.
- Ribeiro, M. A., Dória, A., Sant'Ovaia, H., 2008. Relações entre deformação, magmatismo e metamorfismo na região oriental do maciço do Porto. In: Sant'Ovaia, H., Dória, A. and Ribeiro, M. A. (eds), GGET'08 – 8ª Conferência Anual, 24-25 de Julho – Resumos alargados, Memórias Univ. Porto, Faculdade de Ciências, Departamento de Geologia, 13: 39-43.
- Wolf, M. B., London D., 1995. Incongruent dissolution of REE- and Sr-rich apatite in peraluminous granitic liquids: Differential apatite, monazite and xenotime solubilities during anatexis. *Am. Mineral.*, **80**: 765-775.
- Zeng, L., Asimow, P. D., Saleeby, J.B., 2005a. Coupling of anatectic reactions and dissolution of accessory phases and the Sr and Nd isotope systematic of anatectic melts from a metasedimentary source. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **69**(14): 3671-3682.
- Zeng, L., Saleeby, J. B., Ducea, M., 2005b. Geochemical characteristics of crustal anatexis during the formation of migmatite at the Southern Sierra Nevada, California. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **150**: 386-4.