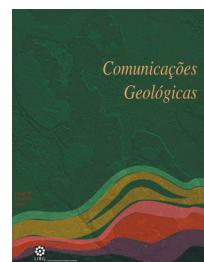


Novos dados geocronológicos do Finisterra

New geochronological data of Finisterre

N. Almeida^{1*}, M. Egydio Silva¹, P. E. Fonseca², M. H. Bezerra¹, M. Basei¹,
H. I. Chaminé³, C. Tassinari¹



Artigo Curto
Short Article

© 2014 LNEG – Laboratório Nacional de Geologia e Energia IP

Resumo: Idades determinadas para zircões das amostras das unidades englobantes do Terreno Finisterra, indicam a participação de material crustal reciclado com várias idades. Uma importante população de idades neoproterozóicas/cambrianas (≈ 550 Ma) indicam o envolvimento de embasamento cadomiano nos processos de fusão originados durante a Orogenia Hercínica (ou Varisca). A presença de idades mesoproterozóicas, sugere o envolvimento de uma área cratônica com idades greenvillianas (ca. 0.9-1.1 Ga), enquanto idades mais recentes (ca. 358Ma – 335 Ma) testemunham o evento da deformação hercínica, culminando com um forte tectonometamorfismo e hidrotermalismo na região. As idades modelo de Sm/Nd (T_{DM}), obtidas para as unidades tectonoestratigráficas de Espinho, de Lourosa, e de S. João-de-Ver, revelam que o Terreno Finisterra deriva de um retrabalhamento de uma crosta comum típica de preenchimento bacinal, com fonte variáveis entre ≈ 550 Ma e ≈ 2800 Ma, fato que explica a grande variedade de idades obtidas das análises U/Pb.

Palavras-chave: Terreno Finisterra, Orogenia Cadomiana, Orogenia Hercínica, Greenville, Geocronologia.

Abstract: Ages from zircons of the samples that comprising de Finisterre Terrane, indicate the involvement of recycled crustal material of different eras.. An important Neoproterozoic/Cambrian (≈ 550 Ma) population was also detected, indicating the involvement of the Cadomian basement in the process of fusion during the Hercynian (or Variscan) orogeny. The presence of Mesoproterozoic ages, suggests the involvement of a cratonic with Grenvillian ages (c. 0.9- 1.1 Ga), while more recent ages (c. 358 Ma, 335 Ma) attest the Hercynian deformation event, that culminating with an intense regional tectonometamorphism and hydrothermalism (270Ma). The model ages (T_{DM}) achieved by analyzing of the Espinho, Lourosa and S. João-de-Ver tectonostratigraphic units, reveals that the Finisterra Terrane derives from a reworking of a common crust with variable sources between ≈ 550 Ma and ≈ 2800 Ma typical of basinal infilling, which explains the large variety of ages obtained from the U/Pb analysis.

Keywords: Finisterre Terrane, Cadomian Orogeny, Hercynian Orogeny, Greenville, Geochronology.

¹Inst. de Geociências da Univ. de São Paulo, Rua do Lago, no562 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-080, Brasil.

²Centro de Geologia da Univ. de Lisboa (CeGUL), Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências de Lisboa, Portugal.

³Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada, DEG, Inst. Sup. de Eng. do Porto e Centro GeoBioTec/UA, Portugal.

*Autor correspondente / Corresponding author: nazare-almeida@usp.br

1. Introdução

Este trabalho expõe novos resultados geocronológicos das unidades tectonoestratigráficas do Terreno Finisterra, deformadas no segmento da Faixa de Cisalhamento de Porto-Coimbra-Tomar (FCPCT), uma importante megaestrutura tectônica da Ibéria formada e/ou retrabalhada durante a orogênese Hercínica. Os efeitos regionais dessa orogenia conferiram a justaposição de terrenos com características estratigráficas, tectônicas e metamórficas distintas, resultando na compartimentação tectônica atual da Península Ibérica.

Do ponto de vista geológico regional, a área de estudo integra o Terreno Finisterra (Ribeiro *et al.*, 2007), limitado e afetado por uma estrutura crustal, de direção geral NW-SSE, que se prolonga desde os arredores do Porto até pelo menos Ferreira do Alentejo, tomando a designação de Faixa de Cisalhamento de Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2003a,b, 2004) (ver figura 1). Esta faixa, de idade proterozóica média-superior (Gama Pereira, 1987; Chaminé *et al.*, 1998; Noronha & Leterrier, 2000; Chaminé, 2000) inclui-se na Zona da Ossa Morena (ZOM), contactando a oriente com a Zona Centro-Ibérica (ZCI).

Rochas graníticas e filonianas ocupam grande parte da área de estudo, denunciando eventos tectonomagnéticos contemporâneos à Orogenia Hercínica ou anteriores (e.g., Severo Gonçalves, 1974; Noronha & Leterrier, 2000; Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 1998, 2003a,b; Santos *et al.*, 2012).

O presente trabalho tem como objetivo apresentar os resultados obtidos em datação por U/Pb em SHRIMP e LA-ICP-MS das unidades tectonoestratigráficas de Lourosa, de Espinho e de S. João-de-Ver (Chaminé, 2000; Chaminé *et al.*, 2003b), aplicada a zircões de amostras de rochas não alteradas que possivelmente representam estágios evolutivos distintos da FCPCT.

Idades modelo de Sm/Nd em rocha total e idades K-Ar completam o acervo geocronológico da região.

2. Caracterização das unidades tectonoestratigráficas em estudo

No setor ocupado pelas litologias do Terreno Finisterra, que inclui rochas metamórficas do Paleozóico e/ou Precambriano, foram definidas por Chaminé (2000) várias unidades tectonoestratigráficas, das quais três representaram o alvo do nosso estudo (pormenores em Chaminé et al., 2003a,b, 2004): Unidade de Lourosa, Unidade de Espinho e Unidade de S. João-de-Ver. Os locais de amostragem podem ser consultados na figura 1.

A Unidade de Lourosa (amostras SP1, SP2, EN, PA1 e PA2) é constituída por gnaisses, migmatitos e micaxistas por vezes granatíferos e anfibolitos. A Unidade de Espinho (amostras SP5, CRTG1 e CRTG2) é composta por micaxistas biotíticos de cor cinzenta esverdeada nos quais ocorrem porfiroblastos de granada. Afloram ainda, de modo descontínuo, rochas quartzíticas com granada (Chaminé, 2000). A Unidade S. João-de-Ver (amostra CAIM1) é composta por rochas de metamorfismo de grau médio, e possui litologias bem diferenciadas: na base observam-se metapórfiros e gnaisses blastomyloníticos localmente recortados por pseudotaquilitos; no topo reconhecem-se micaxistas, por vezes granatíferos e metagrauvaques.

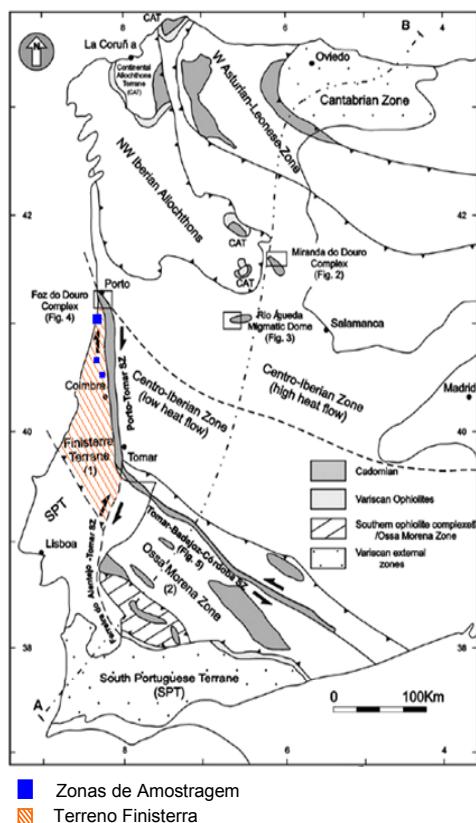


Fig. 1. Localização geotectónica do Terreno Finisterra e zonas de amostragem (base cartográfica: adaptado de Ribeiro et al., 2007).

Fig. 1. Geotectonic location of the Finisterre Terrane and sampling areas (base map: adapted from Ribeiro et al., 2007).

3. Materiais e métodos

Com vista ao estudo, colheram-se amostras, não-alteradas, de granitóides, anfibolitos e quartzitos das unidades estudadas. Para determinação das idades foram utilizadas duas técnicas de datação em zircões pelo método U/Pb - *Sensitive High Resolution Ion Micro-Probe (SHRIMP)* e *Laser Ablation – Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry (LA-ICP-MS)*.

As idades dos zircões da amostra SP1 foram obtidas em *SHRIMP*, seguindo técnicas analíticas descritas por Smith et al. (1998) enquanto as condições instrumentais e de aquisição seguem o trabalho de Compston et al. (1984). As amostras SP5, CRTG1, PA1, PA2 e EN foram analisadas por LA-ICP-MS utilizando ICP-MS de alta resolução NEPTUNE por ablação a laser e seguiram a rotina de Sato et al. (2008).

Foram ainda determinadas idades recorrendo ao método Sm-Nd em rocha total (amostras SP2, SP3, SP5, CAIM1, CRTG1 e CRTG2). As razões isotópicas de Sm e Nd foram obtidas no espectrômetro de massa Finnigan MAT-262. As idades foram calculadas com base no modelo de manto empobrecido (depleted Mantle-TDM) de DePaolo (1981) e seguiu a rotina de Sato et al. (1995).

Em complemento, foi analisada moscovita e biotita pelo método de K-Ar da amostra SP2. O teor de K (%) foi determinado por análises repetidas em microssonda eletrônica enquanto a análise isotópica de Ar foi feita por aquecimento gradual com laser Verdi (ARGUS VI), seguindo o procedimento "spikeless" proposto por Cassignol & Gillot (1982). Todas as análises são feitas em triplicata e o resultado é escolhido com base nas proporções medidas de ^{40}Ar Rad e ^{40}Ar Atm.

4. Resultados e discussões

As amostras obtidas da Unidade de Espinho (SP5 e CRTG1) e foram analisadas em LA-ICP-MS (U/Pb). Em análise de lupa binocular, os grãos de zircão são prismáticos (2:1), variando entre translúcidos e levemente amarelados. Já nas imagens obtidas por CL, a maioria dos grãos apresenta zoneamento ígneo oscilatório. Os demais grãos são arredondados, homogeneamente claros e com zoneamento oscilatório. Todos os grãos apresentam uma borda metamórfica, mais ou menos evidente. As idades representativas da referida amostra, estão compreendidas entre ≈ 535 Ma e ≈ 670 Ma. No entanto, é possível verificar na figura 2, que a população de zircões é extremamente variável e com uma amplitude que vai desde os ≈ 370 Ma e ≈ 3280 Ma (amostra CRTG1). Uma importante população de c.300-400Ma é observada na amostra SP5, para datação de borda de zircão, representando o metamorfismo regional hercínico.

No que diz respeito à Unidade de Lourosa, foram obtidas idades tanto para a porção gnássica (amostras SP1, PA1 e PA2) como anfibolítica (amostra EN), e à exceção da amostra SP1 (cuja idade foi determinada em *SHRIMP*), todas as idades foram obtidas por LA-ICP-MS. Enquanto na porção gnássica os zircões são predominantemente prismáticos

e com zoneamento oscilatório, uma importante população de zircões arredondados (2:1), translúcidos e homogeneamente escuros em imagem de CL foram observados na amostra PA2, revelando idades variáveis entre ≈ 312 Ma e ≈ 271 Ma (ver figura 3). Os zircões da amostra SP1 são arredondados e tipicamente detriticos, embora os zircões da população representativa na concórdia sejam prismáticos, com uma razão de comprimento: largura de 3:1, e com zoneamento oscilatório. No caso da amostra PA1 a granulometria é variável, mas os cristais apresentam-se preferencialmente prismáticos e com uma razão de comprimento: largura de 3:1. Estes dados estão de acordo com as datações U/Pb avançadas por Chaminé *et al.* (1998).

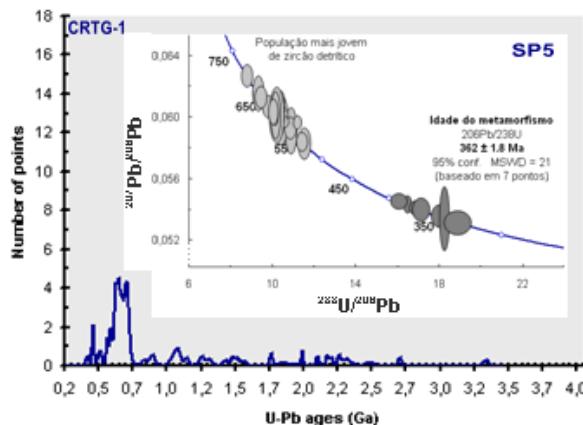


Fig. 2. Diagrama de concórdia de Tera & Wasserburg (1972) para as amostras quartzíticas (CRTG1 e SP5) da Unidade de Espinho em LA-ICP-MS. Data point error ellipses are 68,3% conf. Concordância de $100\% \pm 10\%$.

Fig. 2. Concord diagram of Tera & Wasserburg (1972) for quartz samples (CRTG1 and SP5) of Espinho Unit in LA-ICP-point error ellipses are MS. Data 68.3% conf. 100% agreement 10%.

No que se refere à porção anfibolítica da Unidade de Lourosa (amostra EN) a análise sob lupa binocular revelou zircões arredondados e/ou fragmentados de coloração translúcida com razão comprimento: largura 2:1. Com a análise das imagens de cátodo, foi possível observar que maioria dos grãos possuem um núcleo magmático com zoneamento oscilatório e sobre-crescimento irregular. As idades variaram entre ≈ 320 Ma e ≈ 426 Ma (ver figura 4)

Ainda referente à Unidade de Lourosa, foram separadas alguns cristais de moscovita e biotita, da amostra SP2, para datação por K-Ar. As idades para a biotita e para moscovita, foram de 342 ± 7 Ma e 353 ± 7 Ma. Assumindo a temperatura de fechamento da biotita de c. 300°C e da moscovita de c. 400°C , as idades obtidas representam o *timing* de resfriamento regional do último evento orogênico da região.

Para as amostras das unidades de Espinho e de S. João-de-Ver, foram realizadas análises Sm/Nd em rocha total (figura 5). As linhas de evolução de Nd para cada unidade são paralelas, com exceção das amostras SP2 e SP3. Essas mostraram razões de $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ fortemente fracionadas, provavelmente devido à presença de granada, resultando em idade T_{DM} espúrias. Para essas amostras foi feita uma

simulação usando o modelo de estágio duplo, para uma idade T1 de 550 Ma (idade do magmatismo dos granitos da região). Com esse exercício as linhas de evolução revelam-se concordantes.

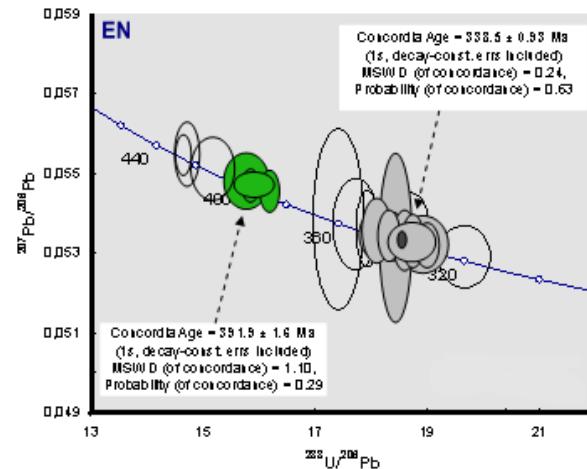


Fig. 3. Diagrama de concórdia da análise U/Pb da amostra PA-2 em LA-ICP-MS. Data point error ellipses are 68,3% conf. Concordância de $100\% \pm 10\%$.

Fig. 3. Concord diagram of U/Pb analysis of sample PA-2 in LA-ICP-MS. Data point error ellipses are 68.3% conf. 100% agreement 10%.

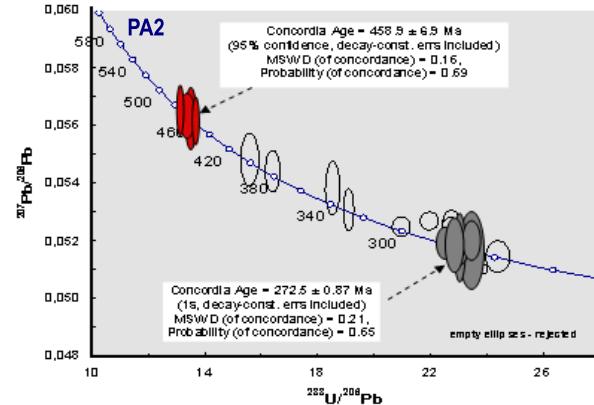


Fig. 4. Diagrama de concórdia Tera & Wasserburg (1972) da porção anfibolítica da Unidade de Lourosa (amostra EN) em LA-ICP-MS. Data point error ellipses are 68.3% conf. Concordância de $100\% \pm 10\%$.

Fig. 4. Concord diagram Tera & Wasserburg (1972) of the amphibolite portion of the Lourosa Unit (sample EN) in LA-ICP-MS, Data point error ellipses are 68.3% conf. 100% agreement 10%.

5. Considerações finais

As idades determinadas para zircões detriticos indicam a participação de material crustal reciclado de várias idades: neoarqueanas, mesoproterozóicas e neoproterozóicas. Uma importante população de idades neoproterozóicas/cambrianas (≈ 550 Ma) foi também detectada, indicando a reciclagem de embasamento neoproterozóico durante a Orogenia Hercínica. A presença de idades mesoproterozóicas, sugere o envolvimento de uma área cratônica greenvillianiana (c. 0.9-1.1

Ga), enquanto que as idades mais recentes ($c.$ 358 Ma, 335 Ma) testemunham o evento da deformação hercínica, culminado com forte hidrotermalismo na região (\approx 270 Ma). Tais constrangimentos estão de acordo com dados geocronológicos avançados em estudos prévios para a região de Porto-Tomar (e.g., Gama Pereira, 1987, 1998; Chaminé et al., 1998; Noronha & Leterrier, 2000; Chaminé, 2000).

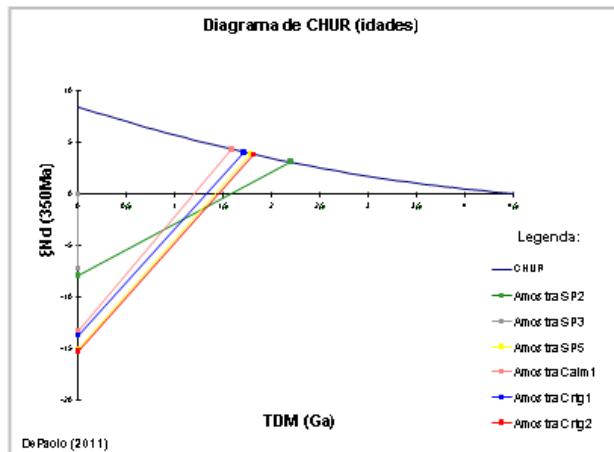


Fig. 5. Diagrama ξ Nd (350Ma) vs. TDM (Ga) em relação à linha de CHUR.

Fig. 5. ξ Nd Diagram (350Ma) vs. TDM (Ga.) relative to the CHUR line.

As idades modelo (T_{DM}) conseguidas através da análise das unidades de Espinho e de S. João-de-Ver, revelam que o Terreno Finisterra deriva de um retrabalhamento de uma crosta comum típica de preenchimento bacinal com fontes variáveis entre \approx 550 Ma e \approx 2800 Ma, fato que explica a grande variedade de idades obtidas das análises U/Pb. Tal evidencia está de acordo com o conhecimento geodinâmico regional (e.g., Noronha & Leterrier, 2000; Chaminé et al., 2003b).

Agradecimentos

O presente trabalho pôde contar com as instalações laboratoriais do Departamento de Geologia da Universidade de Lisboa e do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. A autora beneficiou de uma bolsa da CAPES. Os autores agradecem aos Professores A. Ribeiro (UL), A. Mateus (UL), J. Mata (UL), L.C. Gama Pereira (UC) e ao Dr. J. Teixeira (GeoBioTec|UA), pelo apoio no trabalho de campo, laboratorial e/ou bibliográfico. Aos técnicos, Vasco Loios, Maurício de Souza, Key Sato, Walter Sproesser, Solange de Souza, Ivone Sonoki e Giselle Enrich pelo apoio laboratorial.

Referências

- Cassignol, C., Gillot, P. Y., 1982. Range and effectiveness of unspiked potassium E argon dating: experimental groundwork and applications. In: G.S. Odin, (Ed.), *Numerical Dating in Stratigraphy*. John Wiley & Sons, 159-179.
- Chaminé, H.I., 2000. *Estratigrafia e estrutura da faixa metamórfica de Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa Morena): implicações geodinâmicas*. Tese doutoramento, Universidade do Porto (não publicada), 497 p.
- Chaminé, H.I., Gama Pereira, L.C., Fonseca, P.E., Moço, L.P., Fernandes, J.P., Rocha, F.T., Flores, D., Pinto de Jesus, A., Gomes, C., Soares de Andrade, A.A., Araujo, A., 2003a. Tectonostratigraphy of middle and upper Palaeozoic black shales from the Porto-Tomar-Ferreira do Alentejo shear zone (W Portugal): new perspectives on the Iberian Massif. *Geobios*, **36**(6), 649-663.
- Chaminé, H.I., Gama Pereira, L.C., Fonseca, P.E., Noronha, F., Lemos de Sousa, M.J., 2003b. Tectonoestratigrafia da faixa de cisalhamento de Porto-Albergaria-a-Velha-Coimbra Tomar, entre as Zonas Centro-Ibérica e de Ossa-Morena (Maciço Ibérico, W de Portugal). *Cadernos do Laboratorio Xeológico de Laxe*, **28**, 37-78.
- Chaminé, H.I., Gomes, A., Teixeira, J., Fonseca, P.E., Pinto de Jesus, A., Gama Pereira, L.C., Soares de Andrade, A.A., Araujo, M.A., Fernandes, J.P., Moço, L.P., Flores, D., Rocha, F., 2004. Geologia, geomorfologia e estratigrafia dos domínios estruturais de Carvoeiro-Caldas de S. Jorge e de Arrancada do Vouga-Águeda (faixa de cisalhamento de Porto-Tomar, NW de Portugal): implicações paleogeográficas. *Cadernos do Laboratorio Xeológico de Laxe*, **29**, 299-330.
- Chaminé, H.I., Leterrier, J., Fonseca, P.E., Ribeiro, A., Lemos de Sousa, M.J., 1998. Geocronologia U/Pb em zircões e monazites de rochas ortoderivadas do sector Espinho-Albergaria-a-Velha (Zona de Ossa Morena, NW de Portugal). *Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro*, **84**(1), B115-B118.
- Compston, W., Williams, I.S., Meyer, C., 1984. Geochronology of zircons from the lunar breccia 73217 using a sensitive high mass resolution ion microprobe. *Journal of Geophysical Research*, **89**(B), 525-534.
- DePaolo, D.J., 1981. Trace elements and isotopic effects of combined wall rock assimilation and fractional crystallization. *Earth and Planetary Science Letters*, **53**, 189-202.
- Gama Pereira, L.C., 1987. *Tipologia e evolução da sutura entre a Zona Centro Ibérica e a Zona Ossa Morena no sector entre Alvaiázere e Figueiró dos Vinhos (Portugal Central)*. Tese doutoramento, Universidade de Coimbra (não publicada), 331 p.
- Gama Pereira, L.C., 1998. A faixa de cisalhamento Porto-Tomar, no sector entre o Espinhal e Alvaiázere (Portugal Central). In: H.I., Chaminé, A.G., Dias, M.A., Ribeiro, F.S. Borges, (Coords). *4a Conferência Anual GGGET'98. GEOlogos*, **2**, 23-27.
- Noronha, F., Leterrier, J., 2000. Complexo metamórfico da Foz do Douro (Porto): geoquímica e geocronologia. *Revista Real Academia Galega Ciências, Santiago de Compostela*, **19**, 21-42.
- Ribeiro, A., Munhá, J., Dias, R., Mateus, A., Pereira, E., Ribeiro, L., Fonseca, P.E., Araújo, A., Oliveira, J.T., Romão, J., Chaminé, H.I., Coke, C., Pedro, J., 2007. Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. *Tectonics*, **26**(6), 24 p.
- Santos, J.F., Mendes, M.H., Gonçalves, A.C., Moita, P., 2012. New geochemical and isotopic constraints on the genesis of the Oliveira Azeméis granitoid melts (Porto-Tomar Shear Zone, Iberian Variscan Chain, Central-Western Portugal). *Geophysical Research Abstracts*, **14**, EGU2012-3430-1.
- Sato, K., Basei, M.A.S., Siga Junior, O., Sprosser, W.M., Passarelli, C.R., 2008. Novas técnicas aplicadas ao método U-Pb no CPGeo-IGC-USP: avanços nas técnicas de digestão química, espectrometria de massa (Tims): exemplos e aplicações. *Geologia USP, Série Científica*, **8**(2), 77-99.
- Sato, K., Tassinari, C.C.G., Kawashita, K., Petronilho, L., 1995. O método geocronológico Sm-Nd no IG/USP e suas aplicações. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **67**(3), 313-336.
- Severo Gonçalves, L., 1974. *Geologie und petrologie des gebietes von Oliveira de Azeméis und Albergaria-a-Velha (Portugal)*. Tese Freien Universität Berlin. 261 p.
- Smith, J.B., Barley, M.E., Groves, D.I., Krapez, B., McNaughton, N.J., Bickle, M.J., Chapman, H.J., 1998. The Scholl shear zone, West Pilbara: evidence for a Terrane boundary structure from integrated tectonic analyses, SHRIMP U/Pb dating and isotopic and geochemical data of granitoids. *Precambrian Research*, **88**, 143-171.
- Tera, F., Wasserburg, G.J., 1972. U-Th-Pb systematics in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in Lunar rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, **14**, 281-304.