

“Ciências Geológicas – Ensino e Investigação e sua História” - 2010

## **GEOCRONOLOGIA, PETROLOGIA E GEOQUÍMICA DOS GRANITÓIDES DO NE ALENTEJANO (TRANSIÇÃO ZCI/ZOM): SIGNIFICADO GEODINÂMICO**

### ***GEOCHRONOLOGY, PETROLOGY AND GEOCHEMISTRY OF GRANITIC MASSIFS FROM THE NE ALENTEJO (CIZ/OMZ TRANSITION): GEODYNAMIC SIGNIFICANCE***

A. Rita Solá<sup>1</sup>, Ana M.R. Neiva<sup>2</sup>, M. Luísa Ribeiro<sup>1</sup>

#### **RESUMO**

Na região do NE alentejano, ocorrem três maciços, essencialmente graníticos, que intruíram em dois períodos durante o Paleozóico: i) no Câmbrico superior-Ordovícico inferior relacionados com o regime de “rifting” do Paleozóico inferior (Maciços de Portalegre, c. 493 ± 3.5 Ma e do Carrascal, c. 486-471 Ma) e ii) no final do Carbónico relacionado com o final da orogenia Varisca (Maciço de Nisa com idade de 306 ± 3 Ma a 309 ± 4.6 Ma). Os dados indicam que a reciclagem crustal esteve envolvida na génese dos granitóides durante os dois eventos tectónicos, enquanto que a participação de magmas mantélicos (± enriquecidos) terá ocorrido apenas durante o primeiro evento, no caso do Maciço do Carrascal. A mistura de magmas em diferentes níveis crustais/infracrustais foi um importante mecanismo na petrogénese dos granitóides, além da cristalização fraccionada. O padrão de idades dos zircões herdados indica que o substracto Neoproterozóico (Cadomiano) esteve directamente envolvido nas fontes magmáticas durante esses dois eventos.

**PALAVRAS-CHAVE:** limite ZCI/ZOM, geocronologia do zircão, Paleozóico, génese de granitos

#### **ABSTRACT**

Three distinct granitic massifs, crop out in the region of NE Alentejo (SW Iberia). They intruded during two major Paleozoic events: i) Upper Cambrian - Lower Ordovician (c. 493 Ma ± 3.5 Ma and 486-471 Ma, Portalegre and Carrascal Massifs, respectively) related to the Cambrian–Ordovician rifting event and ii) Upper Carboniferous (c. 306 ± 3 Ma to 309 ± 4.6 Ma, Nisa Massif) related to the end of the Variscan orogeny. The present data indicate that the crustal recycling was strongly involved in granite magma genesis during the two major tectonic events, whereas the participation of (± contaminated) mantle magmas occurred only during the first event, in the Carrascal Massif. In both tectonic events the magma-mixing was an important mechanism in granite petrogenesis. The inherited zircon cores indicate the involvement of Neoproterozoic basement (Cadomian) in granite magma sources during those two events.

**KEY-WORDS:** ZCI/ZOM boundary, zircon geochronology, Paleozoic, granite magma genesis

#### **1. INTRODUÇÃO**

O magmatismo granítico constitui o principal mecanismo dos processos de geração e diferenciação crustal ao longo do tempo geológico. Assim, a sua caracterização geocronológica petrológica e geoquímica (rochas e minerais) fornece uma contribuição importante na compreensão da evolução geodinâmica dos continentes, onde surge amplamente representado.

No Maciço Ibérico, as rochas graníticas ocorrem maioritariamente nas duas zonas mais internas: a Zona Centro Ibérica (ZCI) e a Zona de Ossa-Morena (ZOM) (Fig. 1A) sendo a grande maioria contemporânea com a orogenia Varisca (c. 336-280 Ma, e.g., Ferreira et al., 1987; Neiva & Gomes, 2001). Os granitos pré-variscos são mais escassos, e ocorrem sobretudo em alinhamentos ao longo do limite

<sup>1</sup> Dep. de Geologia, INETI, Apartado 7586, 2721-866 Alfragide; rita.sola@ineti.pt; mluisa.ribeiro@ineti.pt

<sup>2</sup> Dep. de Ciências da Terra, Univ. de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra; neiva@dct.uc.pt

ZCI/ZOM e no interior da ZOM (e.g., Ferreira et al., 1987; Pinto et al., 1987; Ribeiro, 1993), existindo contudo algumas ocorrências esporádicas na ZCI (e.g., Antunes et al., 2007, in press; Neiva, 2007). O presente trabalho envolve a integração de dados geocronológicos, petrológicos, e geoquímicos recentemente obtidos em três maciços graníticos que ocorrem espacialmente associados na região do Nordeste Alentejano (Fig. 1B). Os três maciços (Portalegre, Carrascal e Nisa, Fig. 1B) possuem características distintas e intruíram em diferentes períodos num segmento crustal complexo do ponto de vista geológico-estrutural (limite ZCI/ZOM). Pretende-se assim, caracterizar a sua evolução geoquímica e avaliar os diferentes protólitos (metaígneos, metassedimentos, manto) e processos petrogenéticos envolvidos nos sucessivos ambientes geodinâmicos que ocorreram na região. Desta maneira, procura-se contribuir para o melhor conhecimento da evolução geodinâmica do SW do Maciço Ibérico durante o Paleozóico.

Os dados obtidos indicam que a reciclagem crustal esteve fortemente envolvida na génese dos granitóides e a mistura de magmas foi um importante mecanismo na sua petrogénese durante os dois eventos tectónicos (“rifting” do Paleozóico inferior e orogenia Varisca).

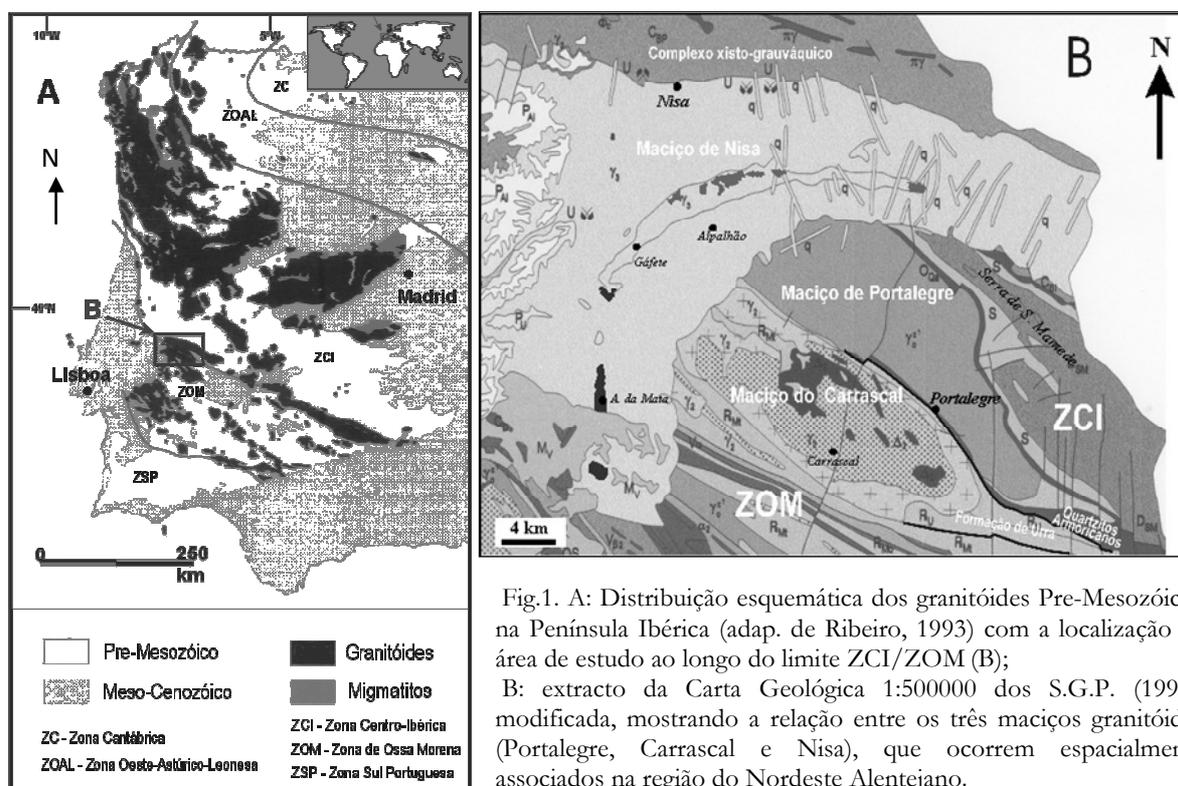


Fig.1. A: Distribuição esquemática dos granitóides Pre-Mesozóicos na Península Ibérica (adap. de Ribeiro, 1993) com a localização da área de estudo ao longo do limite ZCI/ZOM (B); B: extracto da Carta Geológica 1:500000 dos S.G.P. (1992), modificada, mostrando a relação entre os três maciços granitóides (Portalegre, Carrascal e Nisa), que ocorrem espacialmente associados na região do Nordeste Alentejano.

## 2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O Nordeste Alentejano (Fig. 1B) é uma região complexa do ponto de vista geológico onde as unidades estratigráficas foram fortemente afectadas pela deformação varisca. Aqui localiza-se o limite entre a ZCI e a ZOM, no que se designou por zona de transição ZCI-ZOM (Linnemman et al., 2008; Solá et al., 2008a) onde ocorre uma importante discordância que coloca directamente as sequências do Ordovícico inferior (Formação de Urra e Formação do Quartzito Armoricano) sobre o soco Neoproterozóico típico da ZOM (Série Negra). Nesta zona de transição localizam-se os maciços de Portalegre e do Carrascal que correspondem a intrusões pré-variscas orientadas NW-SE, de forma elíptica, fortemente deformadas com planos de folecção muito penetrativos e texturas protomiloníticas sobretudo junto dos acidentes que os limitam (Falha de Portalegre e de Mosteiros). Não foram observadas evidências de metamorfismo de contacto nas formações encaixantes (Série Negra, Formação Quartzito Armoricano e Formação de Urra).

No Maciço de Portalegre, o granito dominante (75% dos afloramentos) é biotítico-moscovítico porfiróide (granito de Alagoa). Nos bordos e no núcleo do maciço os granitos apresentam variações texturais (tamanho do grão e/ou ausência do carácter porfiróide).

O Maciço do Carrascal é uma intrusão compósita bimodal formada por uma bordadura de granito porfiróide, de grão grosseiro a médio, biotítico, intensamente deformado e um núcleo de granito biotítico de grão médio a fino (Fig. 1B). Manchas dispersas de rochas máficas de granularidade muito fina a média intruíram no núcleo e, raramente, no bordo, sendo possível observar, por vezes, brechas de intrusão.

O Maciço de Nisa, tardi-varisco, constitui parte de um importante alinhamento de granitóides polidiapíricos (Nisa-Albuquerque-Los Pedroches), que tem sido usado como critério de separação entre a ZOM e a ZCI (Fig. 1A; e.g. Julivert et al. 1974). Esta intrusão corta e metamorfiza as estruturas da ZCI e da ZOM, incluindo os maciços pré-variscos da zona de transição. Apresenta uma estrutura simétrica, onde o granito dominante de Nisa de granularidade muito grosseira, porfiróide, biotítico-moscovítico, contrasta fortemente com os granitóides do núcleo, de granularidade muito mais fina que definem um alinhamento interno descontínuo que acompanha a forma geral do maciço. No núcleo, o tonalito-granodiorito com anfíbola e biotite de Aldeia da Mata, envolve localmente o granito moscovítico-biotítico de Gáfete, o qual envolve o granodiorito de Alpalhão (Fig. 1B). Associado a este maciço granítico ocorrem mineralizações de urânio, sendo a mais importante relacionada com a auréola de metamorfismo de contacto, a E da povoação de Nisa.

### 3. GEOCROLOGIA DO ZIRCÃO

A datação dos granitóides é fundamental para a sua interpretação geoquímica e geodinâmica. A geocronologia do zircão (U-Th-Pb, SHRIMP, LA-ICP-MS e método de evaporação sequencial permitiu verificar que na área estudada o plutonismo ocorreu em dois períodos mais ou menos restritos (Solá et al., 2005, 2008b; Solá, 2007): i) no Câmbrico superior - Ordovícico inferior (maciços de Portalegre e do Carrascal, respectivamente, Figs. 2 e 3) e ii) no final do Carbónico (Maciço de Nisa, Fig. 4). A datação pontual do zircão permitiu também obter informação acerca da idade e natureza dos protólitos. Os dados geocronológicos encontram-se resumidos na Tabela 1. No caso do Maciço de Nisa foram também obtidos isótopos de oxigénio no zircão (Solá et al., in press).

#### 3.1. Granitóides pré-variscos (Câmbrico superior - Ordovícico inferior)

A média ponderada de idade  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  do zircão do granito dominante do Maciço de Portalegre (granito de Alagoa) obtida por SHRIMP foi de  $492.7 \pm 3.5$  Ma ( $n=17$  (24), MSWD= 2.1), correspondendo ao topo do Câmbrico superior, próximo do limite com o Ordovícico inferior interpretada como idade de cristalização magmática (Fig. 2). Outras idades, obtidas por outros métodos e envolvendo, além do granito dominante, outras fases graníticas foram:  $482 \pm 4$  Ma, obtida pelo método de evaporação sequencial  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  e de ca. 480 Ma obtida por LA-ICP-MS (Tabela 1). Considerando os intervalos de erro, a idade obtida por SHRIMP é ligeiramente mais antiga que as obtidas pelos outros métodos. Os zircões herdados indicam a participação de material crustal reciclado de várias idades: neoarcaicas, mesoproterozóicas e neoproterozóicas (Tabela 1). Uma importante população de idade neoproterozóica/câmbrica ( $548 \pm 7$  Ma) foi também detectada, indicando o envolvimento do soco Neoproterozóico nos processos de fusão que originaram o maciço de Portalegre. A presença de idades Mesoproterozóicas, sugere o envolvimento de uma área cratónica com afinidades Grenvillianas (c. 0.9-1.1Ga). Idades mais recentes (c. 358 Ma, 335 Ma) testemunham o evento da deformação varisca (Tabela 1). A razão Th/U do zircão herdado sugere que o protólito dominante seja de natureza ígnea félsica a intermédia (Solá, 2007).

No caso do Maciço do Carrascal, a datação do zircão, pelo método de evaporação sequencial  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ , permitiu datar os eventos cronológicos das três unidades:  $486 \pm 7$  Ma para o granito do bordo;  $479 \pm 3$  Ma para o granito do núcleo e  $471 \pm 2$  Ma para as rochas máficas (Fig. 3). No granito do bordo foi também verificada uma idade de  $468 \pm 4$  Ma, interpretada como sobrecrecimento do zircão (recristalização), devido à intrusão das rochas máficas. Componentes crustais herdados de idades cadomianas foram apenas detectados num zircão pertencente a um gabro, sugerindo um protólito complexo com contribuição crustal.

Tabela 1. Resumo das idades de cristalização e herdadas obtidas em zircão, dos três maciços.

	Método, Idade de cristalização do zircão,	Idades herdadas	Observações
Maciço de Portalegre	SHRIMP 492,7±3,5 Ma Evaporação sequencial de <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb 482±4 Ma (n=14, sd=7.3) LA-ICP-MS c. 480 Ma	c.548 Ma, 611-681 Ma, 945 Ma (Neoprot.); c.1032-1075 Ma (Mesoproterozóico); c. 2630 Ma (Neoarcaico); subconcordantes	Recrescimentos variscos 358±36 Ma ( <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb) c. 335 Ma, LA-ICP-MS
Maciço do Carrascal Granito do bordo Granito do núcleo Rochas máficas (gabro)	Evaporação sequencial de <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb 486±7 Ma 479±3Ma 471±2 Ma	Apenas nas rochas máficas: 516-706 Ma (Câmbrico-Neoprot.)	Recrescimentos zircão do granito do bordo aos 468±4 Ma, interpretados como pequenos sobrecrescimentos devido à intrusão das rochas máficas
Maciço de Nisa Granito externo (granito Nisa)  Tonalito do alinhamento interno (tonalito de A. Mata)	SHRIMP 309,0±4.6 Ma (núcleos) 305.4±6.2 Ma (zonamento concêntrico) 307.4±4 Ma (sobrecrescimentos)  306.2±3 Ma	Apenas no granito de Nisa: 660-505 Ma; a maioria concordantes (Câmbrico-Neoprot.) c. 2.56-1.85 Ga; a maioria discordantes (Paleoproterozóico e Arcaico)	No granito de Nisa várias evidências de mistura de magmas: i) dissolução parcial dos núcleos de zircão; ii)Th/U dos sobrecrescimentos 10x < que nas restantes áreas e iii) variação nos valores de δ <sup>18</sup> O <sub>zr</sub> : sobrecrescimentos ~9.7‰ ; núcleos ~6.9-11.0‰ ; núcleos herdados ~4.5-9.9‰. No tonalito de A. Mata δ <sup>18</sup> O <sub>zr</sub> =7.5 ± 0.3‰

Neoprot.-Neoproterozóico

### 3.2. Granitóides tardi-variscos (Carbónico)

No Maciço de Nisa, o granito dominante (granito de Nisa) possui três gerações de zircão magmático com base na textura e na composição química, com idades indistinguíveis entre os 309.0 ± 4.6 Ma (média de idades dos núcleos precoces) a 307.4±4.0 Ma (média de idade dos sobrecrescimentos), (Fig. 4). Os padrões texturais discordantes entre os núcleos e o zonamento concêntrico dos zircões indicam que este cresceu em vários estádios, separados por um período de subsaturação. A presença de núcleos de zircão herdado de várias idades indica que os granitóides são rochas crustais policíclicas. A maioria das idades herdadas cobrem o intervalo Neoproterozóico-Câmbrico mas, também, foram obtidas idades Paleoproterozóicas e mais antigas (Tabela 1). Os isótopos de oxigénio do zircão, analisados pontualmente por SHRIMP mostram uma gama de variação muito elevada (Tabela 1), reflexo duma evolução magmática complexa, que envolveu a mistura de dois magmas: i) um magma metaluminoso progressivamente contaminado com uma pequena componente sedimentar e ii) um magma peraluminoso, mais abundante, derivado de uma fonte essencialmente metassedimentar (Solá et al., in press). A idade de cristalização obtida para o tonalito de Aldeia da Mata situado no alinhamento interno do Maciço de Nisa foi de 306.2±3.0 Ma, semelhante à do granito envolvente, indicando contemporaneidade de cristalização. Não foram detectados núcleos de zircão herdados, mas os valores moderadamente altos de δ<sup>18</sup>O<sub>zr</sub>=7.5 ± 0.3‰ permitem excluir à partida uma origem directamente a partir de um magma mantélico. Apesar da contemporaneidade de instalação com o granito envolvente, as razões Th/U e δ<sup>18</sup>O do zircão do tonalito excluem a participação do magma tonalítico na componente de mistura dos dois magmas envolvidos na génese do granito de Nisa (Solá et al., in press).

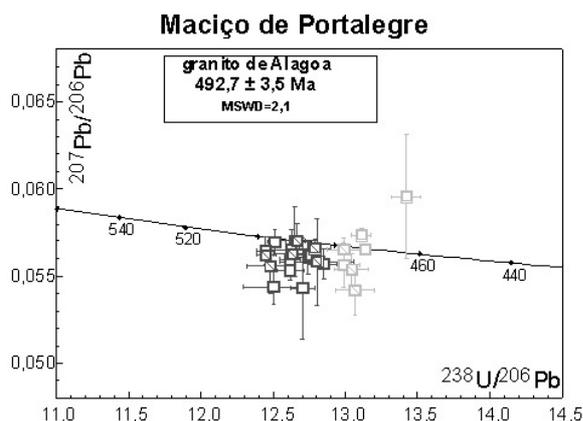


Fig. 2. Diagrama da concórdia Tera-Wasserburg dos zircões analisados por SHRIMP do granito dominante do Maciço de Portalegre (idades de cristalização). As análises com símbolos mais claros não foram consideradas no cálculo da idade (Solá, 2007).

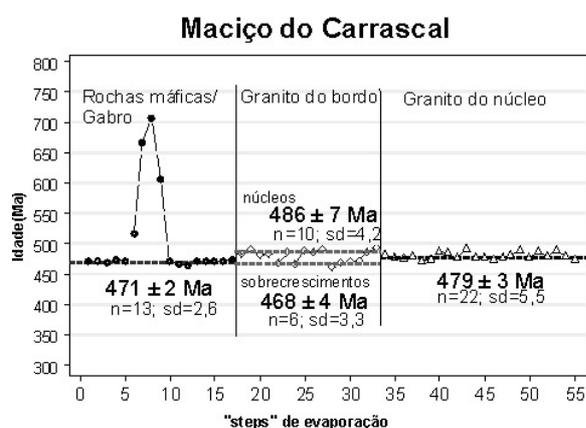


Fig. 3. Projecção das idades dos zircões das três unidades do Maciço do Carrascal obtidas pelo método  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  (Solá, 2007).

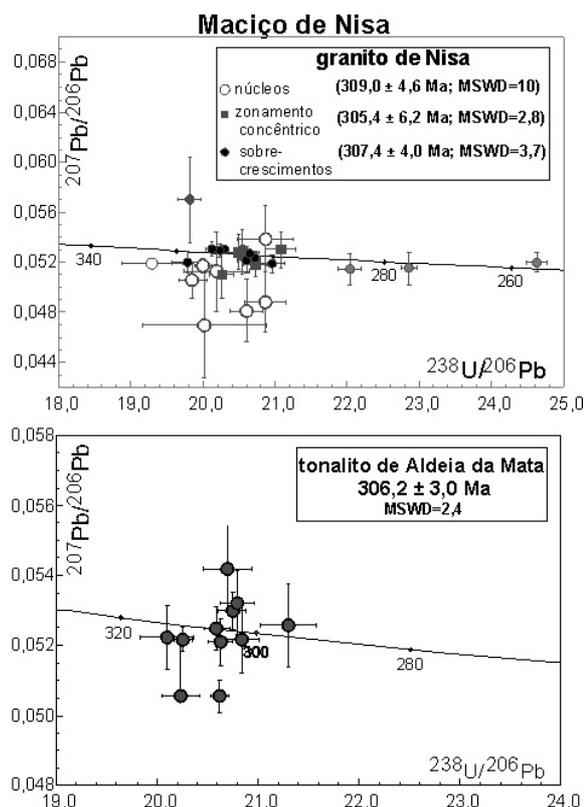


Fig. 4. Diagramas da concórdia Tera-Wasserburg, para os zircões analisados por SHRIMP dos granitóides do Maciço de Nisa (idades de cristalização). A: granito de Nisa; B: tonalito de Aldeia da Mata (Solá, 2007).

## 4. PETROLOGIA E GEOQUÍMICA

### 4.1. Granitóides pré-variscos (c. 493-471Ma): Maciços de Portalegre e do Carrascal

Os granitóides do Maciço de Portalegre são rochas extremamente evoluídas quimicamente ( $\text{SiO}_2 > 74\%$ , Fig. 5A e 6A), peraluminosas, de alto-K e com assinaturas predominantemente crustais. Têm composições e características mineralógicas que tendem a aproximar-se das dos granitos tipo-A (e.g.  $1000\text{Ga}/\text{Al} > 3$ , alta  $\text{SiO}_2$ , baixo Sr e CaO, biotite rica em anite, feldspatos predominantemente alcalinos com soluções sólidas e intercrecimentos micrográficos), mas possuem teores em Zr, Nb, Y e REE bastante mais baixos do que os típicos granitos tipo-A referidos na literatura. A gama de assinaturas isotópicas (Tabela 2, Fig. 7A) é compatível com um protólito crustal metaígneo (tipo-I), gerado num ciclo magmático anterior (Cadomiano), o que é apoiado pela presença de zircões herdados com idades edicarianas (Tabela 1). Os perfis multielementares normalizados para o granito hipotético da crista oceânica (ORG) de Pearce et al., 1984 (Fig. 8A) mostram anomalias positivas de Rb, Th, e Ta e anomalias negativas de Ba e Zr, características típicas dos granitos de origem predominantemente intra-placa sugerindo um componente mantélico enriquecido em elementos incompatíveis nos materiais precursores destes granitóides (Pearce et al., 1984). Contudo, os perfis apresentam também uma acentuada anomalia negativa de Nb, típica dos granitos sin/pós colisionais.

O Maciço do Carrascal constitui uma associação bimodal (Figs. 5A, 6A). Os granitóides do bordo ( $66.7\% > \text{SiO}_2 < 76.10\%$ ) e do núcleo ( $70\% > \text{SiO}_2 < 76.6\%$ ), do tipo-I, magnesianos, enquadram-se nas

seqüências peraluminosas, de alto-K, enquanto que as rochas máficas/ultramáficas ( $43.4\% > \text{SiO}_2 < 58.8\%$ ) constituem uma associação metaluminosa, calco-alcalina de médio-K com alguns dioritos de alto-K (Solá, 2007). Os diagramas de variação de elementos maiores e menores e as REE, mostram que os granitóides e as rochas máficas/ultramáficas definem tendências claramente distintas e sem composições intermédias, confirmando que não estão relacionadas por diferenciação magmática. Os granitóides do bordo e do núcleo apresentam composições químicas com evoluções independentes e sub-paralelas nos diagramas de variação, confirmando duas pulsações magmáticas distintas que evoluíram provavelmente por cristalização fraccionada. As suas assinaturas isotópicas (Tabela 2, Fig. 7) e os minerais acessórios (alanite a rodear monazite) são compatíveis com protólitos híbridos (envolvimento de magmas máficos “underplating” que interagiram com magmas crustais por processos MASH (“Melting, Assimilation, Storage and Homogenization”). O granito do núcleo é isotopicamente mais evoluído do que o do bordo. Os seus perfis normalizados para o ORG são muito idênticos aos dos granitóides de Portalegre, mostrando anomalias positivas de Rb, Th, e Ta e pronunciadas anomalias negativas de Ba, Nb e Zr (Fig. 8A), características típicas dos granitos de origem predominantemente intra-placa (com excepção da anomalia em Nb) que podem ter derivado de um manto enriquecido em elementos incompatíveis (Pearce et al., 1984).

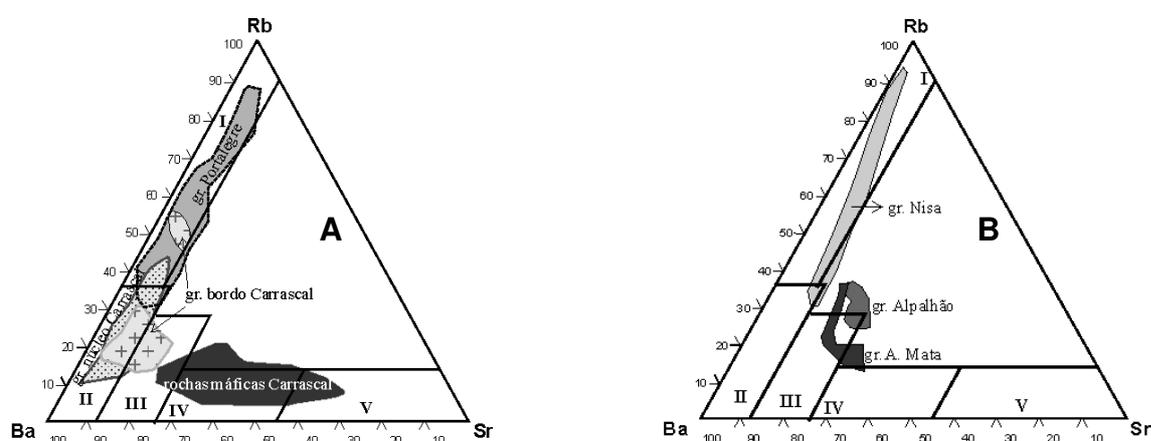


Fig. 5. Projecção dos granitóides no diagrama de El Bouseily & El Sokyary (1975). Campos: I- granitos fortemente diferenciados, II-granitos normais, III-granitos anómalos, IV- granodioritos e quartzo-dioritos, V-dioritos. A) Granitóides pré-variscos (Maciço de Portalegre e do Carrascal); B) Granitóides tardi-variscos (Maciço de Nisa); gr. - granito.

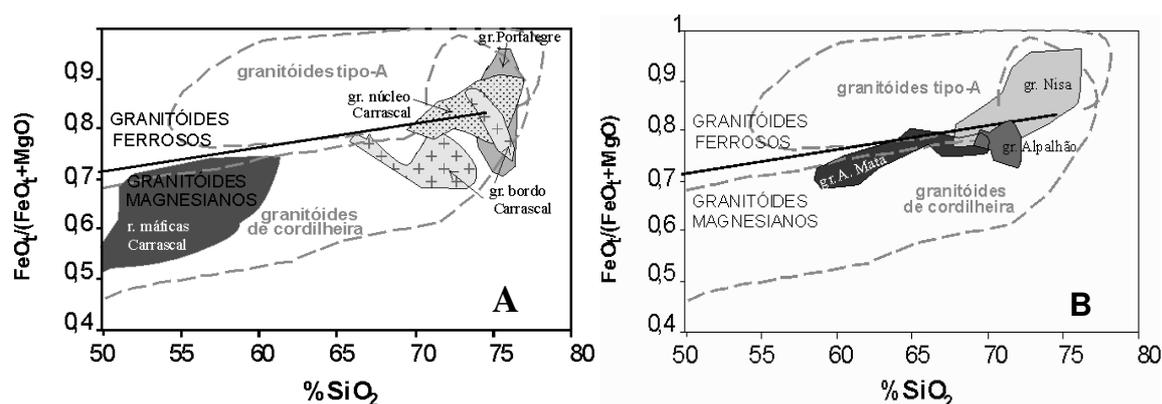


Fig. 6. Projecção dos granitóides no diagrama  $\text{FeO}_T/(\text{FeO}_T+\text{MgO})$  vs  $\text{SiO}_2$  de Frost et al. (2001), discriminatório entre granitóides ferrosos/magnesianos, com a sobreposição dos campos dos granitóides tipo-A de carácter presumivelmente anorogénico e de cordilheira (orogénicos). A) Granitóides pré-variscos (Maciço de Portalegre e do Carrascal); B) Granitóides tardi-variscos (Maciço de Nisa).

As rochas máficas do Maciço do Carrascal possuem anfíbolas cálcicas e Fe-Mg de várias gerações e com composições muito diversas, plagioclase (anortite $<64\%$ ), biotite (por vezes ausente), quartzo (raro) e óxidos (ilmenite, rútilo, espinelas) em proporções muito variáveis (Solá et al., 2003; Solá, 2007). A predominância de Mg-hornblenda em todas as composições indica que os magmas originais eram hidratados, ou se tornaram hidratados através da contaminação com a crosta. As composições ultramáficas não apresentam associações mineralógicas de alta temperatura, além de relíquias de

clinopiroxena (diópsido), sugerindo que foram retrogradados por um conjunto de minerais de intermédia/baixa temperatura. Os altos conteúdos em MgO (14-21%), Ni (>300 ppm), Cr (895-545ppm) e Co (>60 ppm), superiores ao dos magmas basálticos em geral, indicam que possivelmente correspondem a cumulados. As composições isotópicas das rochas máficas/ultramáficas, primitivas (Tabela 2, Fig. 7A) são compatíveis com magmas com composição semelhante à do manto com assinatura de arco vulcânico (anterior subducção?) mais ou menos contaminado com a crosta continental.

Tabela 2. Resumo das assinaturas isotópicas de Sr, Nd e O (rocha total) dos três maciços granitóides e proposta para a sua petrogénese.

	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	$\epsilon\text{Nd}_T$	$\delta^{18}\text{O} (\text{‰})$	Petrogénese
Maciço de Portalegre Gr. dominante (gr. Alagoa)	(0.7001) a 0.70653 valores irrealistas (deformação e metamorfismo varisco)	-1.71 a -0.94	9.98-10.77	Fusão crustal Protólito essencialmente metaígneo de idade Neoproterozóica, com componentes de idades Paleoproterozóicas, Mesoproterozóicas (Greenvillianas) e Arcaicas
Maciço do Carrascal Gr. do bordo Gr. do núcleo Rochas máficas (s.l.) Hornblendito Gabro hornbléndico Gabros Dioritos	0.70340-0.70497 0.70367-0.70655  0.70260 n.d. 0.70423 0.70470	-0.25 a +2.59 -0.8 a +1.18  +3.26 n.d. +1.26 +2.93	7.85-8.55 7.91-8.05  n.d. 5.11 6.06-6.49 5.79-7.12	Granitos: fontes híbridas: magmas máficos “underplating” que interagiram com a crosta metaígne por processos MASH  Rochas máficas: magmas com composição semelhante à dos magmas mantélicos com assinatura de arco vulcânico (anterior subducção?) hidratados mais ou menos contaminado com componentes crustais
Maciço de Nisa Gr. externo (Gr. Nisa)  Gr. alinhamento interno Granito Gáfete Tonalito A. Mata Granodiorito Alpalhão	0.7126-0.7141   0.7133-0.7153 0.7048-0.7070 0.7048-0.7051	-4.14 a -3.35   -4.16 a -5.16 n.d. -2.29 a -3.08	10.97-11.63   11.46-11.99 8.94-10.12 8.89-10.19	Granito de Nisa: Fusão crustal de duas fontes independentes uma essencialmente metaígne e outra metassedimentar e subsequente mistura dos respectivos magmas  Protólitos de idade Neoproteróica-Câmbrica com componentes de idade Paleoproterozóicas e Arcaicas  Tonalito A. da Mata: Fusão crustal de uma fonte homogénea metaígne de composição básica hidratada (anfíbolitos)

gr.- granito; n.d.- não determinado

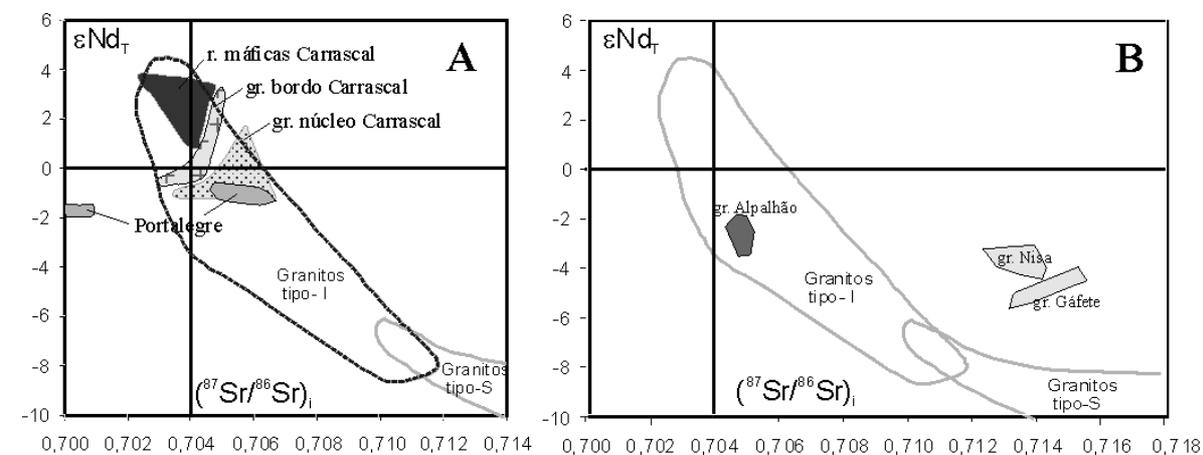


Fig. 7. Projecção dos granitóides no diagrama a que se sobrepôs os campos dos granitos tipo-I e tipo-S da região de Lachlan Fold Belt, Austrália, in King et al., 1997. A) Granitóides pré-variscos (Maciço de Portalegre e do Carrascal); B) Granitóides tardi-variscos (Maciço de Nisa).

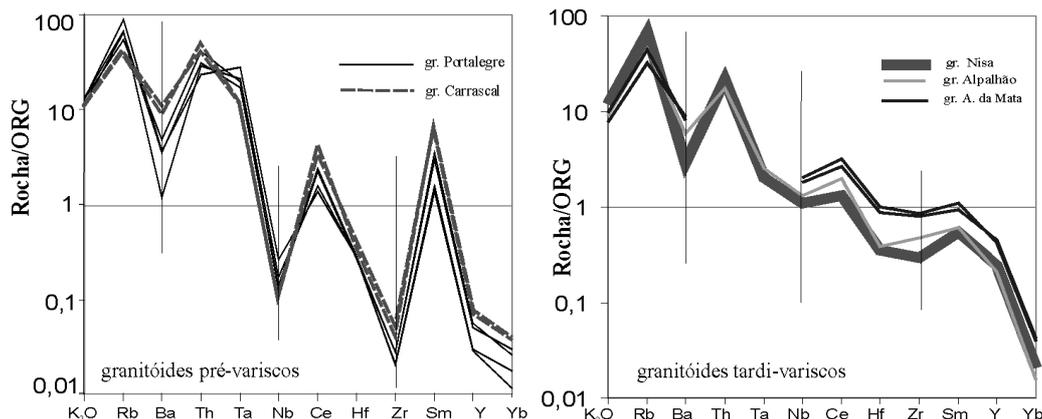


Fig. 8. Perfis multi-elementares normalizados para o ORG (Pearce et al., 1984) A - granitoides pré-variscos, mostrando a semelhança entre os perfis dos granitoides dos maciços de Portalegre e do Carrascal, com anomalias negativas de Ba, Nb e Zr e anomalias positivas de Ce, Sm, características mistas dos perfis dos granitos intraplaca e orogénicos. B - granitoides tardi-variscos, com perfis semelhantes aos granitos pós-colisionais de Pearce et al. (1984).

#### 4.2. Granitoides tardi-variscos (c.309-306Ma): Maciço de Nisa

O Maciço de Nisa é um maciço compósito com assinaturas peraluminosas exceptuando os tonalitos de Aldeia da Mata que são metaluminosos. Os dados geoquímicos indicam padrões geoquímicos distintos nas várias fases graníticas e mostram uma progressiva diferenciação do maciço para E (Moreira, 1994; Ribeiro et al. 1995; Solá et al., 1998; Ferreira et al., 1999). González-Menéndez, 2002). Globalmente, as assinaturas isotópicas são mais evoluídas quando comparadas com as dos granitos pré-variscos (Fig. 7B).

O granito de Nisa, dominante, com afinidade do tipo-S, contrasta claramente do ponto de vista isotópico com os granitoides de Aldeia da Mata–Alpalhão, dispersos no interior do alinhamento interno, menos evoluídos e com afinidades do tipo-I (Fig. 7B). Os perfis normalizados relativamente ao ORG (Fig. 8B) mostram padrões semelhantes aos dos granitos pós-colisionais de Pearce et al. (1984) com anomalias positivas de Rb e Th e negativas de Ba  $\pm$  Zr, e um ligeiro enriquecimento em Ce e Sm. A maior anomalia negativa de Ba no granito de Nisa, indica um maior contributo crustal na sua génese, relativamente aos granitoides de Aldeia da Mata que possuem teores de Hf, Zr e Sm próximos do valor normalizado, sugerindo a participação de um componente mantélico na sua origem (Pearce et al., 1984).

A variação da composição isotópica de oxigénio, nas diferentes gerações de zircão do granito de Nisa (Tabela1), demonstra, claramente, o envolvimento de duas fontes crustais distintas que fundiram parcialmente e com a subsequente mistura dos respectivos magmas: i) um magma metaluminoso com uma pequena contribuição sedimentar e ii) um magma peraluminoso, mais abundante, derivado de uma fonte essencialmente metassedimentar (Solá et al., in press). Esta mistura de magmas, justifica assim, as assinaturas isotópicas, com valores de Sr inicial típicos dos granitos do tipo-S, mas com  $\epsilon\text{Nd}_T$  fora desse campo, reflectindo uma importante contribuição metaígneia na mistura dos magmas que originaram o granito de Nisa (Fig. 7 B)

Pelo contrário, no caso do tonalito de Aldeia da Mata os dados isotópicos de oxigénio em zircão, indicam que derivou de uma única fonte crustal homogénea de origem metaígneia, sem qualquer relação com o granito envolvente (Solá et al., in press).

### 5. SIGNIFICADO GEODINÂMICO DOS GRANITÓIDES NO CONTEXTO DO MACIÇO IBÉRICO

Os maciços pré-variscos de Portalegre e do Carrascal estão associados espacialmente com rochas vulcanoclásticas félsicas, peraluminosas, de idade contemporânea (c. 493-488 Ma), pertencentes à Formação de Urra (Solá et al., 2008a) e a rochas de quimismo peralcalino da mesma idade (Lancelot & Allegret, 1982). Estas manifestações magmáticas intrusivas e extrusivas ocorridas no final do Câmbrico – Ordovícico inferior, na região do NE Alentejano, resultaram provavelmente de um ambiente geodinâmico equivalente. Os vulcanoclastitos da Formação de Urra foram interpretados como resultantes da fusão crustal do substrato Cadomiano (comprovado pela elevada presença de zircão herdado com essa idade) relacionada com o regime de “rifting” do Paleozóico inferior (Solá et al., 2008a). Os maciços de Portalegre e do Carrascal representam também, muito provavelmente, intrusões relacionadas com um mecanismo extensional (relaxamento e estiramento crustal) em regime de “rifting” com forte extensão litosférica. Um

dos factores que pode ter sido responsável pela aparente assinatura de arco vulcânico e/ou sin-pós colisional dos granitóides pré-variscos é o facto de os respectivos magmas terem sido gerados num segmento crustal já afectado por uma orogénese anterior (ciclo Cadomiano), com esse tipo de assinatura. De facto foram recentemente datadas rochas de idade Cadomiana de composição gabro-diorítica com assinatura calco-alcalina, na parte espanhola do limite ZCI/ZOM (plutão de Aljucén,  $580 \pm 3$  Ma; Talavera et al., 2008). As altas temperaturas requeridas para a fusão crustal terão sido induzidas, pelo menos no caso do Maciço do Carrascal, por influxo de magmas mantélicos. De referir que a presença de magmas mantélicos relacionados com os estádios iniciais de "rifting" continental está bem documentada na região desde o Câmbrio inferior ao Câmbrio médio com assinaturas inicialmente toleíticas empobrecidas a alcalina-transicional (Mata & Munhá, 1990). Contudo, a assinatura calco-alcalina das rochas máficas do Maciço do Carrascal bem como alguns dados mineralógicos (e.g. Solá et al, 2003) permitem, também, sugerir que estas rochas correspondam a magmas extraídos de um manto "herdado" dum subducção anterior, provavelmente cadomiana (Solá et al., in prep).

O evento de "rifting" durante o Câmbrio-Ordovício terá sido responsável pela estruturação maior e respectivas diferenças paleogeográficas e litológicas das várias zonas geotectónicas do autóctone do Maciço Ibérico (e.g. Liñán & Quesada, 1990; Sánchez-García et al., 2003). Neste contexto, a região estudada corresponderia a uma zona de descontinuidade estrutural profunda (limite ZCI/ZOM), activa, que terá promovido a ascensão de magmas crustais de natureza essencialmente ígnea, actualmente representados pelos granitóides dos maciços de Portalegre e do Carrascal.

Posteriormente, no Carbónico, durante o encurtamento crustal relacionado com o final da orogenia Varisca em regime transtensivo (e.g. Pereira et al., 1998; Silva & Pereira, 2004), esta zona de fraqueza terá sido reactivada com a subida de magmas gerados em diferentes níveis crustais (envolvendo sobretudo metassedimentos), representados pelos granitóides do Maciço de Nisa.

Em resumo, os dados apresentados permitem concluir que:

i) A reciclagem crustal foi o principal mecanismo na génese dos granitóides durante os dois eventos magmáticos do Paleozóico nesta região do SW do Maciço Ibérico ("rifting" do Paleozóico inferior e final da orogenia Varisca).

ii) A participação de magmas derivados do manto mais ou menos enriquecido terá ocorrido somente durante o "rifting" do Paleozóico inferior (Maciço do Carrascal).

iii) A mistura de magmas em diferentes níveis da crosta (magma mantélicos + magmas crustais no Paleozóico inferior e diferentes magmas crustais nos finais do Carbónico, foi um importante mecanismo na petrogénese dos granitóides, além da cristalização fraccionada.

iv) O padrão de idades dos zircões herdados indica que o substracto Cadomiano (Neoproterozóico) esteve directamente envolvido nas fontes magmáticas durante esses dois eventos. Núcleos de zircão com idades herdadas mais antigas do que o Neoproterozóico também foram detectados nos granitos de Portalegre e de Nisa (Tabela 1), mas não implicam a existência de rochas de idades pré-neoproterozóicas no soco do Maciço Ibérico.

v) Nos granitos de Portalegre a presença de zircões com idades herdadas mesoproterozóicas relacionadas com eventos Grenvillianos (c. 0.9-1.1Ga), é significativa no contexto regional do Maciço Ibérico (Solá et al., 2008b).

## REFERÊNCIAS

- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G. (2007) – "Geochemistry of microgranular enclaves and host granodiorite from Oledo, central Portugal". *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Special Supplement 71 (N15S), pp. A31.
- Antunes, I.M.H.R., Neiva, A.M.R., Silva, M.M.V.G., Corfu, F. (in press) – "The genesis of I- and S- type granitoid rocks of the Early Ordovician Oledo pluton, Central Iberian Zone (central Portugal)". *Lithos* (2008), doi: 10.1016/j.lithos.2008.07.014.
- El Bouseily, A.M., El Sokkary, A.A. (1975) – "The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks". *Chem. Geol.* 16, pp. 207–219.
- Ferreira, N., Iglésias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A., Ribeiro, M.L. (1987) – "Granitóides da zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico". In: Bea, F., Carnicero, A., Gonzalo, J.C., López-Plaza, M., Rodríguez Alonso, M.D. (Eds.), *Geología de los granitoids y rocas asociadas del Macizo Hespérico*, Libro Homenagem a L.C.G. Figuerola. Editorial Rueda, Madrid, pp. 37–53.
- Ferreira, P.L., Solá, A.R., Ribeiro, M.L. (1999) – "Contribuição para a caracterização geoquímica do Complexo Eruptivo de Nisa - Elementos do grupo das Terras Raras". *Actas II Congresso Ibérico de Geoquímica*. Inst. Sup. Técnico, Lisboa, pp. 337-340.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis D.J., Frost C.D. (2001) – "A geochemical classification for granitic rocks". *Journal of Petrology*, 42, pp. 2033–2048.

- González Menéndez, L. (2002) – “Petrología del batolito granítico de Nisa-Alburquerque”. *Revista Soc. Geol. España* 15, pp. 233-246.
- Julivert M., Fontboté J. M., Ribeiro A., Conde L. (1974) – “Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares Escala 1/1000000”. *Inst. Geol. Min. España, Madrid*. 133 pp.
- King, P.L., White, A.J.R., Chappell, B.W. (1997) – “Characterization and origin of aluminous A type granites of the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia”. *Journal of Petrology*, 36, pp. 371–391.
- Lancelot J.R., Allegret A. (1982) – “Radiochronologie U/Pb de l'orthogneiss alcalin de Pedroso (Alto Alentejo, Portugal) et évolution anté-hercynienne de l'Europe occidentale”. *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.* 9, pp. 385–394.
- Liñan, E., Quesada, C. (1990) – “Rift Phase (Cambrian) stratigraphy of the Ossa-Morena Zone”. In: Dallmeyer, R.D., Martínez García, E. (Eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 259–266.
- Linnemman, U., Pereira, M.F., Jeffries, T.E., Drost, K., Gerdes, A. (2008) – “The Cadomian Orogeny and the opening of the Rheic Ocean: The diachrony of geotectonic processes constrained by LA-ICP-MS U–Pb zircon dating (Ossa-Morena and Saxo-Thuringian Zones, Iberian and Bohemian Massifs)”. *Tectonophysics*, 461, pp. 21-43.
- Mata, J., Munhá, J. (1990) – “Magmatogénese de Metavulcanitos Câmbrios do Nordeste Alentejano: os estádios iniciais de "rifting" Continental”. *Com. Serv. Geol. de Portugal*, 76, pp. 61-89.
- Moreira, A. (1994) – “Reconhecimento geológico, estrutural, petrográfico e geoquímico dos granitos de Alpalhão, Gáfete e Quareleiros. (Alto Alentejo)”. *Estudos Notas e Trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro* 36, pp. 103-117.
- Neiva, A.M.R. (2007) – “Geochemistry of I-type granodiorite and tin-bearing S-type granites from Gouveia area, central Portugal”. *Geochimica et Cosmochimica Acta, Special Supplement* 71 (N15S) pp. A709.
- Neiva, A.M.R., Gomes, M.E.P. (2001) – “Diferentes tipos de granitos e seus processos petrogenéticos: granitos hercínicos portugueses”. *Memórias da Academia das Ciências de Lisboa* 31, pp. 53–95.
- 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(4), pp. 956-983.
- Pereira, L.G., Campos, A.B.A., Ribeiro, M.L., Solá, A.R., Moreira, M. (1998) – “Modelo tectónico da implantação do Complexo Eruptivo de Nisa (Alto Alentejo – Portugal)”. *Actas do V Congresso Nacional de Geologia, Lisboa. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro* 84, (1), pp. B11/14.
- Pinto, M.S., Casquet, C., Ibarrola, E., Corrége, L.G., Pereira, M.R. (1987) – “Síntese geocronológica dos granitóides do Maciço Hespérico”. In: Bea, F., Carnicero, A., Gonzalo, J.C., López-Plaza, M., Rodríguez Alonso, M.D. (Eds.), *Geologia de los granitoids y rocas asociadas del Macizo Hespérico. Libro de Homenagem a L.C.G. Figuerola*. Editorial Rueda, Madrid, pp. 69–86.
- Ribeiro M.L. (1993) – “Granitos do Ocidente Ibérico: contribuição para a sua interpretação geodinâmica”. *Cuadernos Lab. Xeológico de Laxe, Coruña*, 18, pp. 7-25.
- Ribeiro, M.L., Moreira, A., Moreira, M.E., Moreira, M., Ferreira, P., Torres, L. (1995) – “Geoquímica das fácies internas do complexo eruptivo de Nisa (NE Alentejo)”. *IV Congresso Nacional de Geologia. Memórias do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico, Universidade do Porto* 4, pp. 801-804.
- Sánchez-García, T., Bellido F., Quesada C. (2003) – “Geodynamic setting and geochemical signatures of Cambrian–Ordovician rift-related igneous rocks (Ossa-Morena Zone, SW Iberia)”. *Tectonophysics*, 365, pp. 233-255.
- S.G.P. (1992) – “Carta Geológica de Portugal na escala 1:500 000”, (5.ª edição). *Serviços Geológicos de Portugal*. Lisboa.
- Silva, J.B., Pereira, M.F. (2004) – “Transcurrent continental tectonics model for the Ossa-Morena Zone Neoproterozoic–Paleozoic evolution, SW Iberian Massif, Portugal”. *International Journal Earth Sciences*, 93, pp. 886–896.
- Solá, A.R. (2007) – “Relações Petrogeoquímicas dos Maciços Graníticos do NE Alentejano”. *Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra, Portugal*, 405 pp.
- Solá, A.R., Ribeiro, M.L., Moreira, M.E., Moreira, M. (1998) – “Complexo Eruptivo de Nisa - cartografia geoquímica e mecanismo de implantação”. *Actas do V Congresso Nacional de Geologia, Lisboa. Comunicações do Instituto Geológico e Mineiro* 84, (1), pp. B39-B42.
- Solá, A.R., Ribeiro, M.L., Neiva, A.M.R. (2003) – “Aspectos da Variabilidade mineralógica e textural num gabro do maciço do Carrascal: algumas inferências petrogenéticas”. *Livro de resumos do IV Congresso Ibérico de Geoquímica, XIII Semana de Geoquímica, Coimbra*, pp. 87-89.
- Solá, A.R., Montero, P., Ribeiro, M.L., Neiva, A.M.R., Zinger, T., Bea, F. (2005) – “Pb/Pb age of the Carrascal Massif, central Portugal”. *Geochimica et Cosmochimica Acta, Special Supplement* 69, pp. A856.
- Solá A.R., Pereira M.F., Williams I.S., Ribeiro M.L., Neiva A.M.R., Montero P., Bea F., Zinger T. (2008a) – “New insights from U–Pb zircon dating of Early Ordovician magmatism on the northern Gondwana margin: The Urra Formation (SW Iberian Massif, Portugal)”, *Tectonophysics*, 461, pp. 114–129.
- Solá, A.R., Ribeiro, M.L., Neiva, A.M.R. (2008b) – “Zircon dating and inheritance of a Pre-Variscan granite (SW Iberia)”. *Geochim. Cosmochim. Acta* 72, Special Supplement 12S, pp. A880.
- Solá A.R., Williams I.S., Neiva A.M.R., Ribeiro M.L. (in press) – “SHRIMP zircon U-Th-Pb ages and oxygen isotopic compositions from two contrasting late Variscan granitoids, Nisa-Albuquerque batholith, SW Iberian Massif: petrologic and regional implications”. *Lithos*.
- Talavera, C., Montero, P., Bea, F. (2008) – “Precise single-zircon Pb-Pb dating reveals that Aljucén (Mérida) is the oldest plutonic body of the Central Iberian Zone”. *Geo-Temas* 10, pp. 249-252.