

# **GEOCRONOLOGIA E PETROGÉNESE DO PLUTONISMO TARDI-VARISCO (NW DE PORTUGAL): SÍNTESE E INFERÊNCIAS SOBRE OS PROCESSOS DE ACREÇÃO E RECICLAGEM CRUSTAL NA ZONA CENTRO-IBÉRICA**

## ***GEOCHRONOLOGY AND PETROGENESIS OF LATE-VARISCAN PLUTONISM (NW PORTUGAL): SYNTHESIS AND INFERENCES ON CRUSTAL RECYCLING AND GROWTH IN THE CENTRAL IBERIAN ZONE***

G. Dias<sup>1</sup>, F. Noronha<sup>2</sup>, A. Almeida<sup>2</sup>, P. P. Simões<sup>1</sup>, H. C. B. Martins<sup>2</sup>, N. Ferreira<sup>3</sup>

### **RESUMO**

No NW de Portugal ocorre um importante volume de granitóides, que correspondem a sucessivos pulsos magmáticos principalmente instalados na etapa pós-colisional da orogenia varisca (290-321 Ma). Trata-se de plutonismo com assinaturas químicas e isotópicas diversas e forte variabilidade composicional. No presente trabalho, apresenta-se uma síntese dos dados geocronológicos e petrogenéticos disponíveis e discute-se sobre o seu significado na evolução geodinâmica da cadeia varisca, nomeadamente no referente aos processos de acreção e reciclagem crustal na Zona Centro-Ibérica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Varisco Ibérico, plutonismo, geocronologia, petrogénese

### **ABSTRACT**

In NW Portugal large volumes of granitoids were emplaced during the post-collisional stage of the variscan orogeny (290-321 Ma). This was the main period of successive granite generation, which exhibit different chemical and isotopic signatures and a large composition variability. A synthesis of available geochronological and petrogenetic results is presented and inferences on the geodynamic evolution of the Iberian Variscides are discussed, namely concerning crustal recycling and growth events in the Central Iberian Zone.

**KEY-WORDS:** Variscides, plutonism, geochronology, petrogenesis

### **INTRODUÇÃO**

A Zona Centro-Ibérica (ZCI), constituindo a zona axial do segmento ibérico da Cadeia Varisca, apresenta testemunhos de relevante e diversificada actividade plutónica, particularmente expressiva após o estágio de espessamento crustal sincolisional. Abundam rochas graníticas, por vezes associadas a rochas de composição básica a intermédia, que definem alinhamentos em estreita relação com zonas de cisalhamento (Ferreira et al., 1987a). Trata-se de rochas graníticas caracterizadas por forte variabilidade composicional e de tipologia diversa, desde afinidade aluminopotássica a calcoalcalina e subalcalina (Dias et al., 1998; Dias, 2001; Noronha et al., 2006), cujo estudo geocronológico e petrogenético é de significativo interesse na reconstrução geodinâmica da cadeia varisca ibérica.

O NW de Portugal constitui uma área privilegiada para este tipo de estudos, dada a abundância e variabilidade tipológica de granitóides variscos que ocorrem neste sector da ZCI. Instalam-se predominante e sucessivamente durante e após a última fase de deformação dúctil varisca (D3). Consideram-se quatro grupos (Ferreira et al., 1987a; Dias, 2001; Noronha et al., 2006):

<sup>1</sup> Centro de Geologia da Universidade do Porto, Departamento de Ciências da Terra da Escola de Ciências da Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal. E-mail: gracieta@det.uminho.pt

<sup>2</sup> Centro de Geologia da Universidade do Porto, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Rua Campo Alegre, 4169-007 Porto, Portugal.

<sup>3</sup> Departamento de Geologia, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Rua da Amieira, 4466-956 S. Mamede de Infesta, Portugal.

- (1) *Granitóides sin-D3*, monzogranitos/granodioritos biotíticos fraca a moderadamente peraluminosos e granitos de duas micas fortemente peraluminosos;
- (2) *Granitóides tardi-D3*, predominam os monzogranitos/granodioritos essencialmente biotíticos, fraca a moderadamente peraluminosos, por vezes associados a rochas de composição básica a intermédia, ocorrendo ainda granitos de duas micas fortemente peraluminosos;
- (3) *Granitóides tardi- a pós-D3*, granitos de duas micas fortemente peraluminosos;
- (4) *Granitóides pós-D3*, granitos biotíticos a biotítico-moscovíticos, ligeiramente metaluminosos a peraluminosos.

Nos últimos 25 anos, investigadores do Departamento de Geologia da Universidade do Porto e do Departamento de Ciências da Terra da Universidade do Minho têm vindo a desenvolver, no Norte de Portugal, estudos de caracterização petrológica, mineralógica e geoquímica destes granitóides. No presente trabalho, pretende-se efectuar uma síntese dos dados geocronológicos e petrogenéticos obtidos e discutir sobre o seu significado na evolução geodinâmica da cadeia varisca, nomeadamente no referente aos processos de reciclagem crustal e de acreção na ZCI. Assim, de entre os corpos graníticos estudados, foram seleccionados os representativos de cada um dos grupos acima citados e para os quais existem disponíveis dados petrográficos, mineralógicos, químicos e isotópicos.

## GEOLOGIA E GEOCRONOLOGIA

Na zona interna da cadeia varisca ibérica, a idade da primeira fase de deformação (D1) está estimada como sendo do Devónico médio. Quanto à segunda fase de deformação (D2) é uma deformação associada a cisalhamentos tangenciais de transporte de mantos de carreamento. Trata-se de uma fase sempre presente nas unidades alóctones e paraúctones da ZCI. Uma vez terminado o encurtamento crustal, a deformação transita do regime de cisalhamentos tangenciais para um regime de cisalhamentos transcorrentes subverticais que correspondem à terceira fase de deformação varisca (D3). Os reajustamentos intracontinentais geram cisalhamentos dúcteis que têm uma direcção dominante NW-SE. A fase D4 é desencadeada por transpressão dextra e compressão máxima W-E (Ribeiro et al., 2006).

Os maciços graníticos referidos neste trabalho localizam-se no NW de Portugal, são representativos dos diferentes grupos e tipos de granitóides e distribuem-se paralelamente a zonas de cisalhamento dúctil NW-SE, Vigo-Régua e Cabeceiras de Basto-Vila Real, ou à fracturação tardi-varisca, designadamente as falhas Gerês-Lovios e Penacova-Régua-Verin (fig. 1). As principais características petrográficas dos maciços graníticos seleccionados encontram-se resumidas no quadro 1 e os dados geocronológicos Rb-Sr e U-Pb estão compilados no quadro 2. As referências indicadas nestes quadros dão acesso aos dados geológicos e petrográficos obtidos, bem como aos estudos geocronológicos efectuados.

### *Granitóides sin-D3*

No âmbito do presente trabalho, este grupo de granitóides está representado por: monzogranitos/granodioritos biotíticos de Refoios do Lima, Sameiro, Felgueiras, Lamego e Ucanha-Vilar; quartzo-monzodioritos a granodioritos, espacialmente associados ao monzogranito de Ucanha-Vilar; leucogranitos de duas micas de Sra. da Graça e do maciço compósito de Cabeceiras de Basto.

Os monzogranitos/granodioritos biotíticos são porfíroides de grão médio, apresentam uma estrutura planar bem marcada (megacristais de feldspato potássico e biotite) e incluem frequentes encraves microgranulares máficos, à excepção do maciço de Refoios do Lima onde este tipo de encraves é raro (Simões, 2000). Os corpos hectométricos de composição quartzo-monzodiorítica a granodiorítica, espacialmente associados ao granito de Ucanha-Vilar, são biotíticos ( $\pm$  anfíbola) e de grão fino. Dados estruturais e de campo sugerem, para todas as unidades, uma instalação sin-D3 precoce (Pereira, 1992; Simões, 2000). Os dados geocronológicos U-Pb sobre zircão e monazite revelam que os granitóides biotíticos de Refoios do Lima, Sameiro, Felgueiras, Lamego e Ucanha-Vilar são de instalação subcontemporânea, no intervalo 313-321 Ma (quadro 2) (Dias et al., 1998). Para o granito de Sameiro, Simões (2000) refere uma idade Rb-Sr (rocha total) de  $313 \pm 8$  Ma. Estes dados estão em concordância com a idade K-Ar sobre biotite de  $321 \pm 6$  Ma referida por Martins (1997) para o granito de Lamego. Para o granito de Ucanha-Vilar, os valores de idade K-Ar (biotite) no intervalo 294-306 Ma, referidos por Ferreira et al. (1987b), são interpretados como idades de arrefecimento.



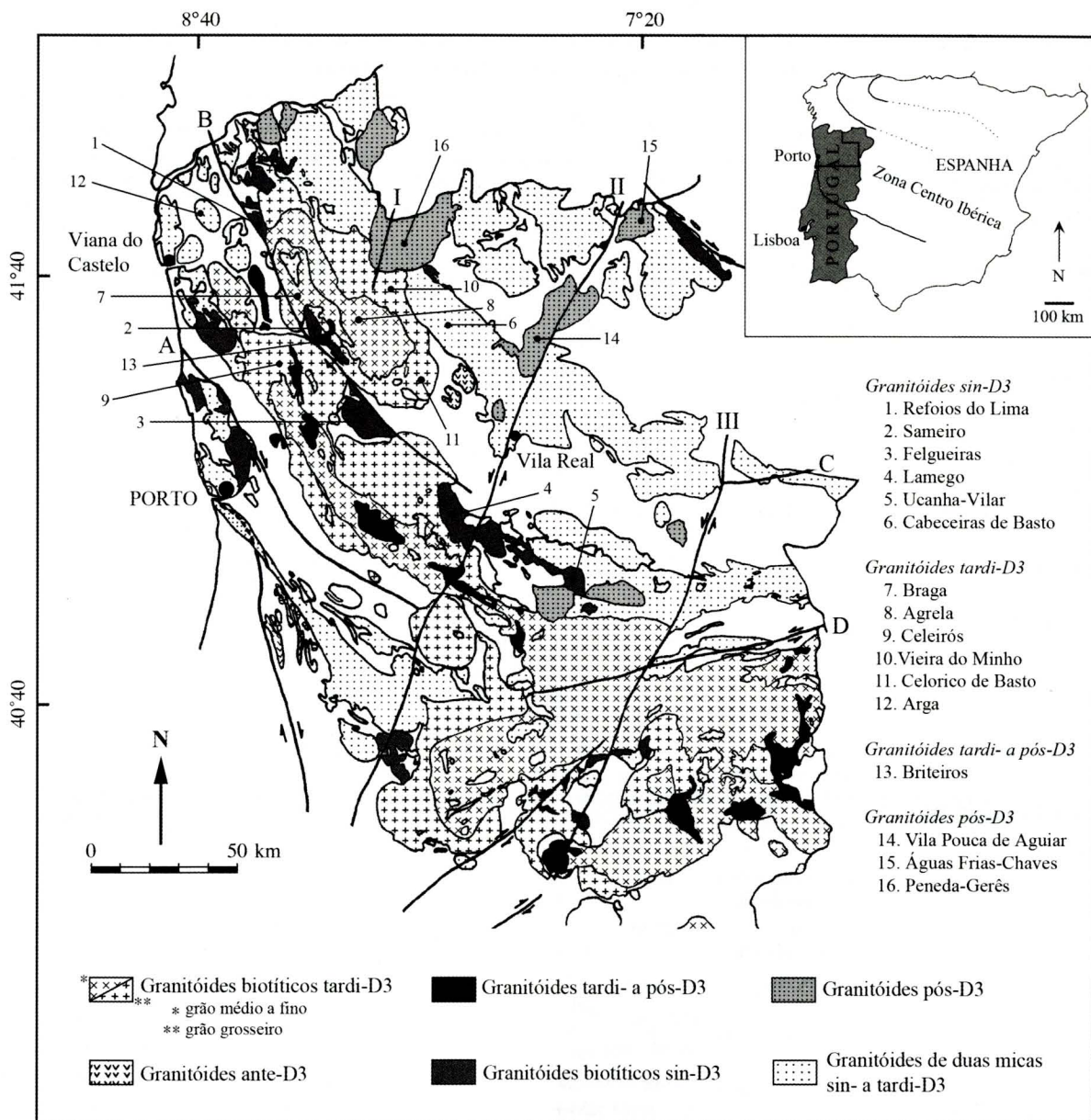


Figura 1. Distribuição dos granitóides variscos da ZCI, Norte de Portugal (Ferreira et al., 1987, modificado) e localização dos maciços estudados. A: Cisalhamento do Sulco Carbonífero Dúrico-Beirão; B: cisalhamento Vigo-Régua; C: cisalhamento Moncorvo-Bemposta; D: cisalhamento Traguntia-Penalva do Castelo; I: falha Gerês-Lovios; II: falha Penacova-Régua-Verin; III: falha da Vilarica; D3 - última fase de deformação dúctil varisca

O leucogranito de duas micas de Sr<sup>a</sup> da Graça é de grão médio a fino e ocorre espacialmente associado ao granito de Ucanha-Vilar. Os contactos são magmáticos, indicadores de contemporaneidade de instalação. Simões (2000) refere uma idade de  $312 \pm 4$  Ma (Rb-Sr, rocha total) para este leucogranito.

O maciço compósito de Cabeceiras de Basto é constituído por leucogranitos moscovíticos de grão fino, de grão médio e de grão grosseiro, por vezes porfiróide, de instalação síncrona (Almeida, 1994). O maciço encontra-se afectado por processos de alteração tardi a pós-magmática, envolvendo predominantemente moscovitização e albitização. A ocorrência de orientação planar e linear de micas e de megacristais de feldspato potássico à escala do maciço, bem como de deformação subsolidus, compatível com o campo de tensões de D3, sugerem instalação sin-D3 (Almeida, 1994; Ribeiro et al., 2000). Almeida et al. (1998) referem para este maciço uma idade mínima de instalação de 311 Ma, com base em dados U-Pb sobre zircão e monazite (discórdia inversa, quadro 2).

Quadro 1. Características petrográficas e mineralógicas dos maciços graníticos estudados (ZCI, NW de Portugal). Normas (%) estimadas com base nas composições químicas de rocha total e minerais.

	Textura	qz	pl (% An)	fK	mo	bi	anf	cpx	opx	ol
Granitóides sin-D3										
Refoios do Lima (g)	porfiróide, grão médio	23-30	31-36 (19-39)	12-20	4-6	12-22				
Sameiro (g)	porfiróide, grão médio	21-28	35-38 (24-42)	17-25	1-4	14-18				
Felgueiras (g)	porfiróide, grão médio	21-27	35-39 (21-39)	15-23	0-3	14-22				
Lamego (g)	porfiróide, grão médio	21-26	36-40 (20-38)	16-22	0-2	15-20				
Ucanha-Vilar (g)										
gr Ucanha-Vilar	porfiróide, grão médio	20-27	34-39 (22-35)	19-26	1-5	11-20				
gr Sra. da Graça	grão médio a fino	31-32	28-32 (0.4-2)	21-23	8-11	6-9				
qmd/gd	grão fino	12-16	48-52 (22-57)	8-10		21-25	<3			
Cabeceiras de Basto (c)										
gr grão fino	grão fino	33-37	19-31 (6-10)	19-22	14-20	2-5				
gr grão médio	grão médio	32-37	25-29 (1-5)	16-20	15-18	2-4				
gr grão grosseiro	grão grosseiro, tend. porfiróide	34-36	21-32 (2-9)	16-19	14-19	2-5				
Granitóides tardi-D3										
Braga (d)										
gr Braga	grão médio a fino, tend. porfiróide	22-28	28-36 (19-36)	22-31	0-4	10-19				
gr Gonça	grão fino, tend. porfiróide	29-30	27-32 (15-42)	22-29	6-7	6-11				
ga	grão médio		52 (54-64)			14	3	14	11	6
md	grão médio a fino	9	40 (30-53)	11		20	16	2		
qmd	grão médio a fino	14	39 (35-44)	18		18	8	1		
gd	grão fino a médio tend. porfiróide	22	35 (17-41)	23		18	13-17			
Agrela (e)	porfiróide, grão médio	26-28	33-36 (22-37)	19-23	0-3	13-17				
Celeirós (b)	porfiróide, grão grosseiro	25-33	22-30 (19-38)	29-32	2-4	9-14				
Vieira do Minho (f)	porfiróide, grão grosseiro	26-35	30-37 (14-34)	19-26	1-7	6-15				
Celorico de Basto (i)										
gr Celorico de Basto	porfiróide, grão grosseiro	28-33	27-32 (21-34)	21-29	2-4	10-12				
ga	grão médio		52 (50-66)			14	4	16	8	4
qd	grão médio a fino	6	36 (26-42)	4		25	29			
qmd	grão fino a médio	11	43 (31-53)	10		20	15			
gd	grão fino a médio ou porfiróide	23-26	37 (27-39)	14-19	1	17-23				
Arga (a)	grão médio a grossoiro	32-35	24-29 (3-15)	14-20	14-20	3-8				



Quadro 1 (continuação). Características petrográficas e mineralógicas dos maciços graníticos estudados (ZCI, NW de Portugal). Normas (%) estimadas com base nas composições químicas de rocha total e minerais.

Textura		qz	pl (% An)	fK	mo	bi	anf	cpx	opx	ol
Granitóides tardi- a pós-D3										
Briteiros (b)		grão fino	31-33	24-29 (10-13)	22-26	9-12	3-9			
Granitóides pós-D3										
Vila Pouca de Aguiar (f)										
gr Vila Pouca de Aguiar	porfiróide, grão médio a grosseiro	27-31	38-42 (16-30)	19-23	0-1	6-10				
gr Pedras Salgadas	porfiróide, grão médio a fino	30-33	35-39 (7-14)	22-24	2-5	4-7				
Águas Frias-Chaves (j)										
gr Águas Frias	porfiróide, grão médio a grosseiro	31-34	38-40	18-20	0-2	8-9				
Peneda-Gerês (h)										
gr Gerês	porfiróide, grão médio a grosseiro	32-38	32-36 (2-29)	23-28	0-1	3-6				
gr Pauflito	porfiróide, grão médio	29-36	32-37 (2-43)	23-26	1-5	5-8				
gr Illa	grão fino	30-35	30-36 (3-18)	24-27	4-7	3-6				
gr Carris	grão fino, tend. porfiróide	31-32	35-37 (7-26)	22-28	1-4	5-6				

% An calculada a partir de dados de microsonda electrónica; ga: gabronorito; gd: granodiorito; gr: granito; md: monzodiorito; qd: quartzo-diorito; qmd: quartzo-monzodiorito; anf: anfíbola; bi: biotite; cpx: clinopiroxena; fK: feldspato potássico; mo: moscovite; ol: olivina; opx: ortopiroxena; pl: plagioclase; qz: quartzo; tend.: tendência.  
(a) Dias (1987); (b) Dias et al. (1992); (c) Almeida (1994); (d) Dias & Leterrier (1994); (e) Veloso (1994); (f) Martins (1998); (g) Simões (2000); (h) Mendes (2001); (i) Dias et al. (2002); (j) Martins et al. (2008).

Granitóides tardi-D3

Neste grupo incluem-se rochas graníticas essencialmente biotíticas, representadas no âmbito do presente trabalho pelos maciços de Braga, Agrela, Celeirós, Vieira do Minho e Celorico de Basto, bem como granitos de duas micas, representados pelo maciço de Arga. Apresentam estruturação magmática (orientação preferencial dos megacristais de feldspato potássico e/ou parcial da biotite).

O maciço de Braga é compósito, associando duas fácies graníticas distintas (Dias & Leterrier, 1994; Ferreira et al., 2000): monzogranito de Braga que inclui abundantes encraves microgranulares máficos e corpos hectométricos de composição gabróica a granodiorítica (gabronoritos, monzodioritos, quartzo-monzodioritos e granodioritos); monzogranito de Gonça que contém encraves micáceos e metassedimentares, sendo rara a ocorrência de encraves microgranulares máficos. O monzogranito de Braga é biotítico, de grão médio a fino, tendência porfiróide e o monzogranito de Gonça é biotítico-moscovítico de grão fino. O monzogranito de Agrela é biotítico, porfiróide de grão médio e possui grande quantidade de encraves microgranulares máficos (Veloso, 1994; Veloso & Dias, 1995). Este tipo de encraves é raro nos monzogranitos biotíticos, porfiróides de grão grosseiro, de Celeirós, Vieira do Minho e Celorico de Basto (Pereira, 1987; Ferreira et al., 1993; Martins, 1998). Ao monzogranito biotítico de Celorico de Basto encontram-se associados corpos hectométricos a quilométricos (máx. 3 km) de rochas de composição gabróica a granodiorítica (gabronoritos, quartzo-dioritos, quartzo-monzodioritos, granodioritos) (Dias et al., 2002).

Observam-se contactos graduais entre os granitos de Braga-Gonça, Braga-Agrela e Agrela-Celeirós (Ferreira et al., 2000). Os granitos de Vieira do Minho e Celorico de Basto encontram-se em continuidade cartográfica. Entre os granitos e as rochas básicas a intermédias associadas verifica-se a existência de contactos tipicamente magmáticos, graduais ou francos, mas neste caso lobados ou interdigitados. Estes dados revelam sincronismo de instalação das diferentes unidades. O estudo geocronológico U-Pb sobre zircão e monazite confirma estes factos, tendo-se obtido idades de instalação no intervalo 306-312 Ma (quadro 2; referências citadas no quadro). As idades U-Pb são concordantes com as idades Rb-Sr (rocha

total) obtidas para os mesmos granitos: Braga, U-Pb 309 ± 3 Ma, Rb-Sr 310 ± 10 Ma; Agrela, U-Pb 307 ± 4 Ma, Rb-Sr 307 ± 10 Ma; Celeirós, U-Pb 306 ± 2 Ma, Rb-Sr 308 ± 6 Ma (quadro 2).

Quadro 2. Síntese dos dados geocronológicos (Rb-Sr e U-Pb) e intervalos de valores dos parâmetros isotópicos  $\text{Sr}_i$  e  $\epsilon\text{Nd}$  referentes aos maciços graníticos estudados (ZCI, NW de Portugal).

	Geocronologia		Parâmetros isotópicos		
	Rb-Sr (rocha total)	U-Pb	Sr <sub>i</sub>	εNd	
<b>Granitóides sin-D3</b>					
Refoios do Lima (f) (h) (j)		317 ± 3 Ma (mz_sc)	0.7104 - 0.7106	-6.01 a -6.28	
Sameiro (f) (h) (j)	313 ± 8 Ma	314 ± 2 Ma (zr+mz_dn)	0.7082 - 0.7084	-4.59a –5.03	
		318 ± 2 Ma (mz_sc)			
		314 ± 4 Ma (zr_di)			
		316 ± 2 Ma (zr+mz_di)			
Felgueiras (h) (j)			0.7083 - 0.7084	-5.02 a -5.43	
Lamego (f) (h) (j)		317 ± 5 Ma (mz_sc)	0.7082 - 0.7085	-5.03 a -5.09	
		321 ± 3 Ma (zr_sc)			
		319 ± 4 Ma (zr_dn)			
		318 ± 3 Ma (zr+mz_dn)			
Ucanha-Vilar (f) (h) (j)					
gr Ucanha-Vilar		317 ± 3 Ma (mz_sc)	0.7072 - 0.7073	-4.39 a -4.75	
		315 ± 5 Ma (zr_dn)			
		313 ± 2 Ma (zr+mz_dn)			
gr Sra. da Graça	312 ± 4 Ma		0.7124 - 0.7135	-7.68 a -7.72	
qmd/gd					0.7064
<b>Cabeceiras de Basto (c) (e)</b>					
gr grão fino		311 ± 4 Ma (mz_sc)	0.7101 - 0.7112	-8.66	
		311 ± 2 Ma (zr_di)			
		311 ± 1 Ma (zr+mz_di)			
gr grão médio			0.7142 - 0.7152	-10.60	
gr grão grosseiro			0.7177 - 0.7205	-16.40	
<b>Granitóides tardi-D3</b>					
Braga (d) (f) (j)					
gr Braga	310 ± 10 Ma	309 ± 3 Ma (zr+mz_dn)	0.7071 - 0.7073	-5.37 a -6.20	
gr Gonça		309 ± 1 Ma (zr+mz_dn)	0.7093	-6.81	
ga			0.7050	-2.48	
md			0.7053	-2.97	
qmd		309 ± 4 Ma (zr_sc)	0.7056	-4.52	
		311 ± 5 Ma (zr_dn)			
gd			0.7070	-5.40	
Agrela (b) (f) (j)	307 ± 10 Ma	308 ± 4 Ma (zr_sc)	0.7064 - 0.7075	-4.98 a -5.96	
		307 ± 4 Ma (zr+mz_dn)			
Celeirós (b) (f)	308 ± 6 Ma	306 ± 2 Ma (zr+mz_dn)	0.7084 - 0.7087	-5.16 a -5.65	
Vieira do Minho (g)		312 ± 2 Ma (mz_sc)			
		311 ± 2 Ma (zr_dn)			
Celorico de Basto (j) (m)					
gr Celorico de Basto		308 ± 4 Ma (Mz_sc)	0.7089 - 0.7090	-5.62 a -5.66	
ga			0.7049 - 0.7053	-2.09 a -2.35	
qd			0.7055 - 0.7057	-2.58 a -2.89	
qmd			0.7061 – 0.7067	-3.34 a -4.54	
gd			0.7074 – 0.7080	-4.92 a -5.50	
Arga (a)	305 ± 6 Ma*		0.7213 - 0.7215		
<b>Granitóides tardi- a pós-D3</b>					
Briteiros (f)		300 ± 1 Ma (Mz_sc)			
<b>Granitóides pós-D3</b>					
Vila Pouca de Aguiar (g)					
gr Vila Pouca de Aguiar	298 ± 9 Ma	299 ± 3 Ma (Zr_dn)	0.7067 - 0.7071	-2.49 a -2.56	
gr Pedras Salgadas	297 ± 14 Ma		0.7044 - 0.7050	-1.95 a -2.00	
Águas Frias-Chaves (l)					
gr Águas Frias			0.7076 - 0.7079	-2.53 a -2.54	
Peneda-Gerês (f) (i) (k)					
gr Gerês	296 ± 6 Ma	296 ± 2 Ma (Mz_sc)	0.7033 - 0.7038	-1.51 a -1.57	
		297 ± 7 Ma (Zr_dn)			
gr Paufito	292 ± 6 Ma	290 ± 3 Ma (Zr_dn)	0.7061 - 0.7064	-2.36 a -2.39	
gr Illa	292 ± 6 Ma		0.7061 - 0.7069	-2.34 a -2.39	
gr Carris		280 ± 5 Ma (Zr_di)	0.7048 - 0.7053	-1.88 a -1.96	

ga: gabronorito; gd: granodiorito; gr: granito; md: monzodiorito; qd: quartzo-diorito; qmd: quartzo-monzodiorito; mz: monazite; zr: zircão; sc: subconcordante; dn: discórdia normal; di: discórdia inversa (idade mínima); \* isócrona rocha total – plagioclase;  $\text{Sr}_i$  e  $\epsilon\text{Nd}$  calculados à idade de instalação dos maciços.

(a) Dias (1987); (b) Dias & Leterrier (1993); (c) Almeida (1994); (d) Dias & Leterrier (1994); (e) Almeida et al. (1998); (f) Dias et al. (1998); (g) Martins (1998); (h) Simões (2000); (i) Mendes (2001); (j) Dias et al. (2002); (k) Mendes & Dias (2004); (l) Martins et al. (2008); (m) não publicado.



No âmbito do presente trabalho, os granitos de duas micas tardi-D3 estão representados pelo maciço de Arga (região de Ponte de Lima - Caminha). Em estudo estrutural desenvolvido neste sector, Dias & Boullier (1985) demonstram que a instalação deste maciço é síncrona da deformação regional compressiva com componente de cisalhamento transcorrente, tardi-D3, que ocorre no sector. O leucogranito de duas micas de Arga apresenta textura de grão médio a grosseiro e fraca tendência porfiróide. Ocorrem encraves micáceos e metassedimentares, estando ausentes encraves microgranulares máficos (Dias, 1987). A alteração tardi a pós-magmática é evidente, marcada essencialmente por processos de albitização e de moscovitização. Uma isócrona interna Rb-Sr (rocha total - plagioclase) a  $305 \pm 6$  Ma é interpretada como representando a idade de instalação do maciço (Dias, 1987).

### ***Granitóides tardi- a pós-D3***

Este grupo de granitóides está representado, no âmbito do presente trabalho, pelo granito de Briteiros (Dias et al., 1992; Ferreira et al., 1993). Trata-se de leucogranito de duas micas, de grão fino, que inclui abundantes encraves micáceos. Obteve-se para este granito uma idade  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  de  $300 \pm 1$  Ma em monazite subconcordante, considerada como a idade de cristalização (Dias et al., 1998).

### ***Granitóides pós-D3***

Este grupo de granitóides está representado pelos maciços de Vila Pouca de Aguiar, Águas Frias-Chaves e Peneda-Gerês.

O maciço de Vila Pouca de Aguiar, espacialmente associado à falha Penacova-Régua-Verin, é compósito e zonado, constituído por duas fácies graníticas principais cujas relações de campo sugerem sincronismo de instalação: uma fácies externa, o granito de Vila Pouca de Aguiar, biotítico e porfiróide de grão médio a grosseiro; o granito de Pedras Salgadas, mais leucocrático, biotítico e porfiróide de grão médio a fino (Martins, 1998). Encraves microgranulares máficos são de ocorrência frequente no granito de Vila Pouca de Aguiar, caracterizados por composição granodiorítica e mais raramente tonalítica (Gomes, 1990). Os dados geocronológicos U-Pb sobre zircão indicam uma idade de cristalização de  $299 \pm 3$  Ma para o granito de Vila Pouca de Aguiar, concordante com as idades Rb-Sr obtidas em rocha total ( $298 \pm 9$  Ma para este granito e  $297 \pm 14$  Ma para o granito de Pedras Salgadas) (quadro 2; Martins, 1998). Estas idades confirmam o carácter pós-tectónico do maciço, de acordo com as observações de campo e os estudos de anisotropia da susceptibilidade magnética (Sant'Ovaia, 2000; Sant'Ovaia et al., 2000).

Águas Frias-Chaves é um pequeno maciço (ca. 30 km<sup>2</sup>), também espacialmente associado à falha Penacova-Régua-Verin, constituído por uma fácies periférica (granito de Águas Frias) biotítica, porfiróide de grão médio a grosseiro e uma fácies central (granito de Stº António de Monforte) representada por um granito de duas micas de grão médio (Martins et al., 2007, 2008).

Espacialmente associado à falha Gerês-Lovios, ocorre o maciço de Peneda-Gerês, sendo zonado e constituído por quatro fácies graníticas principais, três das quais afloram em disposição concêntrica (Mendes, 1994; Mendes & Dias, 1996). A mais externa e cartograficamente mais expressiva (granito de Gerês) é biotítica, porfiróide de grão médio a grosseiro. Contacta com o granito de Paufito, biotítico e porfiróide de grão médio. O carácter porfiróide, a granularidade e o conteúdo em moscovite diminuem com a proximidade à fácies mais interna do maciço (granito de Illa), um granito de duas micas e de grão fino. A outra unidade (granito de Carris) aflora essencialmente associada ao granito de Gerês, sendo biotítica de grão fino, por vezes porfiróide. As relações de contacto observáveis (contactos graduais entre os granitos de Paufito e Illa e contactos magmáticos lobados nos restantes) sugerem sincronismo de instalação. Encraves microgranulares máficos ocorrem nos granitos de Gerês e de Paufito. Todas as unidades graníticas são leucogranitos (conteúdo máximo de biotite de 8%). O estudo geocronológico U-Pb efectuado indica idades de cristalização de  $297 \pm 7$  Ma (zircão) e  $296 \pm 2$  Ma (monazite) para o granito de Gerês,  $290 \pm 3$  Ma (zircão) para o granito de Paufito e uma idade mínima de  $280 \pm 5$  Ma (zircão, discórdia inversa) para o granito de Carris (Dias et al., 1998) (quadro 2). As idades U-Pb são semelhantes às idades Rb-Sr (rocha total) obtidas por diversos autores, tendo em conta os valores de idade e respectivos erros: Gerês,  $287 \pm 4$  Ma (Priem et al., 1984),  $293 \pm 8$  Ma (Neiva, 1993a,b) e  $296 \pm 6$  Ma (Mendes, 2001); Paufito e Illa,  $292 \pm 6$  Ma (Mendes, 2001); Carris,  $302 \pm 4$  Ma (Neiva, 1993b).



Foi efectuada uma compilação dos dados químicos (rocha total e fases minerais) e isotópicos (Sr-Nd) obtidos para os maciços graníticos referidos no presente trabalho. Os métodos e técnicas analíticas utilizados encontram-se referidos em Dias & Leterrier (1994), Dias et al. (2002) e Martins et al. (2008).

No quadro 3 apresenta-se a composição química, referente a elementos maiores e vestigiais seleccionados, bem como os valores das razões  $(La/Yb)_N$  e  $Eu/Eu^*$ , de amostras representativas dos maciços graníticos estudados. Os valores das razões isotópicas iniciais  $^{87}Sr/^{86}Sr$  ( $Sr_i$ ) e de  $\epsilon Nd_{CHUR}$  ( $\epsilon Nd$ ), calculados à idade de instalação dos maciços graníticos, estão referidos no quadro 2 e projectados no diagrama da figura 2A. Os dados analíticos (químicos e isotópicos) globais estão acessíveis nas referências indicadas nos quadros 2 e 3.

A tipologia granítica é estabelecida com base em critérios mineralógicos (composição da biotite, Nachit et al., 1985, Rossi & Chevremont, 1987; tipologia do zircão, Pupin, 1981, 1988) e critérios químico-mineralógicos (La Roche et al., 1980; Debon & Le Fort, 1983). Como índice de aluminosidade (IA) será utilizado o parâmetro  $Al-(K+Na+2Ca)$  (Debon & Le Fort, 1983).

### ***Granitóides sin-D3***

Teores relativamente elevados em Ba (720-2181 ppm) e terras raras ( $La = 77-167$  ppm), espectros de terras raras fortemente fraccionados  $((La/Yb)_N = 32-78)$  e moderadas anomalias negativas em Eu ( $Eu/Eu^* = 0.52-0.72$ ) são características distintivas dos granitos de Refoios do Lima, Sameiro, Felgueiras, Lamego e Ucanha-Vilar (Simões, 2000, Dias et al., 2002). Os teores em  $SiO_2$  variam entre 62 e 70 % e as biotites são aluminosas ( $Al_{total} = 3.01-3.54$  apfu) e ricas em ferro ( $XMg = 0.36-0.47$ ). São granitóides peraluminosos, com índice de aluminosidade fraco a moderado ( $IA = 0-45$ ), de afinidade calcoalcalina a aluminopotássica, excepto o granito de Refoios do Lima que apresenta características de associação aluminopotássica típica. Este granito regista os valores mais elevados do índice de aluminosidade ( $IA = 34-45$ ). Os corpos granodioríticos a quartzo-monzodioríticos, especialmente associados ao granito de Ucanha-Vilar, são ligeiramente metaluminosos ( $IA$  de  $-11$  a  $1$ ) e possuem maiores conteúdos em Al, Ca, Na, Fe, Mg, Ti, Zr, Y e menores teores de Si, K, Rb, comparativamente ao granito (Simões, 2000). O leucogranito de duas micas de Sra. da Graça, também associado ao granito de Ucanha-Vilar, é composicionalmente evoluído (valores médios de  $SiO_2 = 72$  %,  $MgO = 0.3$  %,  $CaO = 0.6$  %;  $Sr = 83$  ppm,  $La = 28$  ppm) e apresenta elevado índice de aluminosidade [ $IA = 47$ ] (Simões, 2000).

As fácies que constituem o complexo granítico de Cabeceiras de Basto apresentam características de rochas evoluídas, típicas de associações leucograníticas, fortemente aluminosas ( $IA = 55-86$ ) (Almeida, 1994). São de referir os elevados teores em Si,  $Na+K$  e Rb, baixos conteúdos em Fe, Mg, Ca, Sr e La (quadro 3). As biotites são aluminosas (valor médio de  $Al_{total} = 3.49$  apfu) e feríferas (valor médio de  $XMg = 0.28$ ).

O grupo de granitóides estudados, representativos do plutonismo varisco sin-D3, apresenta um larga gama de variação dos valores das razões isotópicas iniciais, verificando-se correlação negativa  $Sr_i - \epsilon Nd$  (fig. 2A). O subgrupo dos leucogranitos (leucogranitos de Sra. da Graça e do complexo de Cabeceiras de Basto) revela assinatura isotópica fortemente enriquecida ( $Sr_i > 0.7112$ ,  $\epsilon Nd < -7.7$ ), enquanto os monzogranitos/granodioritos apresentam composições isotópicas menos enriquecidas ( $Sr_i = 0.7072$  a  $0.7106$ ,  $\epsilon Nd = -4.4$  a  $-6.3$ ) (quadro 2 e fig. 2A). Neste subgrupo a assinatura isotópica mais enriquecida corresponde ao granito de afinidade aluminopotássica (granito de Refoios do Lima). Os corpos granodioríticos a quartzo-monzodioríticos, especialmente associados ao granito de Ucanha-Vilar, apresentam composição isotópica menos enriquecida ( $Sr_i = 0.7064$ ,  $\epsilon Nd \approx -3.3$ ) comparativamente ao granito (quadro 2, fig. 2A).

### ***Granitóides tardi-D3***

O maciço de Arga, representando o subgrupo dos leucogranitos tardi-D3, é caracterizado por um índice de aluminosidade elevado ( $IA = 67-79$ ), típico de associações aluminosas, e uma composição química fortemente evoluída (Dias, 1987). As amostras representativas da fácies primária (fracamente alteradas por processos tardi a pós-magmáticos) apresentam elevados teores em Si e Rb, baixos conteúdos em Fe, Mg, Ca, Sr e La (quadro 3). As biotites são aluminosas ( $Al_{total} = 3.57$  apfu, valor médio), ricas em ferro ( $XMg = 0.34$ , valor médio) e em Rb (1679 ppm, valor médio), características típicas destas associações magmáticas (Dias, 1987). O granito de Arga apresenta valores elevados da razão isotópica inicial  $^{87}Sr/^{86}Sr$  ( $Sr_i = 0.7213-0.7215$ , quadro 2). Não estão disponíveis dados isotópicos de Nd.



Quadro 3. Composição química de amostras representativas dos maciços graníticos estudados (ZCI, NW de Portugal), referente a elementos maiores (%) e vestigiais (ppm) seleccionados e razões (La/Yb)<sub>N</sub> e Eu/Eu\* (valores de normalização de Evensen et al., 1978). Os dados químicos globais estão acessíveis nas referências indicadas

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Ba	Rb	Sr	Zr	La	(La/Yb) <sub>N</sub>	Eu/Eu*
<b>Granitóides sin-D3</b>															
<b>Refoios do Lima (g)</b>															
	62.25	16.88	5.75	1.85	2.70	2.95	4.48	0.81	1393	183	451	300	139.8	46.7	0.59
	69.56	15.01	3.37	0.86	1.54	3.50	4.04	0.44	720	263	252	171	77.5	43.2	0.61
<b>Sameiro (g)</b>															
	66.95	15.31	4.83	1.22	2.37	3.16	4.37	0.60	1107	234	375	261	129.7	34.6	0.57
<b>Felgueiras (g)</b>															
	67.44	15.08	4.16	1.03	2.20	3.12	4.75	0.52	1082	231	374	226	111.9	33.3	0.60
	62.84	16.42	5.75	1.72	3.12	2.99	4.50	0.80	1662	179	531	288	156.2	45.5	0.64
<b>Lamego (g)</b>															
	67.04	15.30	4.22	1.31	2.50	3.16	4.30	0.56	1164	225	413	205	102.3	39.4	0.64
	62.96	16.28	5.08	1.87	3.29	3.00	4.62	0.69	1715	176	675	253	141.8	50.1	0.65
	66.56	15.13	4.16	1.33	2.49	3.08	4.58	0.58	1124	196	403	194	103.3	32.9	0.62
<b>Ucanha-Vilar (g)</b>															
gr Ucanha-Vilar	62.14	16.35	5.05	1.97	3.32	3.06	4.83	0.64	2006	201	896	261	166.8	78.2	0.70
	68.90	15.21	2.83	0.88	1.70	3.32	5.12	0.39	939	228	425	188	92.8	56.0	0.54
<b>gr Stra. da Graça</b>															
	71.56	14.69	1.69	0.45	0.67	3.11	5.40	0.24	344	310	94	117	43.3	51.3	0.35
	72.53	14.47	1.38	0.26	0.55	3.33	5.04	0.16	188	354	44	73	13.1	22.7	0.36
<b>qmd/gd</b>															
	57.94	17.33	6.29	2.56	4.08	3.89	3.72	1.01	1186	161	583	260	87.3	31.3	0.74
<b>Cabeceiras de Basto (c)</b>															
gr grão fino	70.51	14.74	2.01	0.45	0.41	2.79	5.28	0.35	327	468	133	195	61.4	51.8	0.31
	72.57	14.66	1.33	0.29	0.55	2.86	5.08	0.19	202	389	44	74	15.7	21.2	0.36
<b>gr grão médio</b>															
	70.84	15.34	1.78	0.26	0.42	3.11	5.05	0.28	241	305	70	94	20.5	23.1	0.49
	73.30	15.11	1.18	0.22	0.22	3.24	4.80	0.16	98	453	30	49	7.9	13.3	0.41
<b>gr grão grosseiro</b>															
	71.44	14.64	1.97	0.44	0.64	3.04	5.22	0.28	229	322	51	88	19.6	22.1	0.30
	72.77	14.65	1.15	0.19	0.14	3.15	4.58	0.12	61	592	25	46	7.3	8.2	0.32
<b>Granitóides tardi-D3</b>															
<b>Braga (d)</b>															
gr Braga	64.96	15.13	4.94	1.61	2.77	2.95	4.72	0.96	938	252	299	308	71.3	24.6	0.52
	69.03	14.34	3.24	0.86	1.61	3.00	5.47	0.66	599	361	176	209	55.8	21.4	0.48
<b>gr Gonça</b>															
	69.65	14.78	2.20	0.58	1.36	3.12	4.99	0.44	774	234	221	161	40.0	65.9	0.60
	70.97	14.81	2.18	0.60	1.39	3.22	4.69	0.38	624	215	265	110	30.4	32.6	0.59
<b>ga</b>															
	48.46	16.78	8.53	10.75	9.05	2.24	1.21	0.72	571	34	980	106	34.4	19.5	1.00
<b>md</b>															
	54.95	16.17	7.80	5.16	5.91	3.08	3.54	1.45	1266	122	702	364	83.1	24.9	0.76
<b>qmd</b>															
	58.70	16.57	6.58	2.72	4.16	3.15	4.30	1.41	1555	170	639	388	88.1	30.8	0.66
<b>gd</b>															
	64.18	15.61	5.08	1.61	2.66	3.02	5.01	1.02	1071	256	336	365	87.8	34.4	0.49
<b>Agrela (e)</b>															
	65.82	14.61	4.50	1.47	2.54	2.97	4.54	0.81	732	183	244	257	67.9	23.8	0.47
<b>Celeirós (b) (k)</b>															
	70.20	14.30	3.27	0.80	1.66	3.04	4.97	0.54	581	310	162	214	49.9	17.8	0.48
	67.89	14.92	4.08	0.93	2.00	2.97	5.40	0.68	761	264	181	261	69.7	30.3	0.45
<b>Vieira do Minho (f)</b>															
	72.18	13.61	2.75	0.52	0.96	2.67	5.50	0.34	323	287	88	180	37.6	18.4	0.32
	67.74	15.17	4.19	0.91	2.08	3.12	4.91	0.60	826	232	208	285	57.9	13.2	0.52
	72.56	13.86	2.50	0.44	1.12	2.91	5.15	0.32	394	280	102	150	31.8	19.3	0.45
<b>Celorico de Basto (i)</b>															
gr Celorico de Basto	70.39	14.28	3.06	0.75	1.46	2.97	5.02	0.50	483	227	125	234	49.1	18.2	0.32
	71.35	14.36	2.61	0.55	1.17	2.81	5.50	0.35	441	244	112	185	39.8	13.2	0.42
<b>ga</b>															
	51.17	13.62	9.82	10.48	6.34	2.24	2.48	0.97	924	101	754	243	61.9	18.5	0.80
<b>qd</b>															
	53.04	14.38	8.43	8.11	6.16	2.70	2.97	1.14	1088	118	629	225	57.8	17.0	0.82
<b>qmd</b>															
	56.44	16.45	6.92	3.82	5.38	3.10	3.71	0.54	1361	166	718	397	79.1	19.7	0.81
<b>gd</b>															
	66.78	14.86	4.23	1.82	2.43	3.07	4.49	1.82	589	206	243	242	43.8	15.8	0.54
<b>Arga (a)</b>															
	71.37	15.42	4.08	0.52	0.44	3.15	5.13	0.29	253	382	79	71.1	76.2	0.18	0.43
	72.97	14.37	5.57	0.27	0.27	3.30	4.65	0.24	189	421	69	149	18.9	18.9	0.43

Quadro 3 (continuação). Composição química de amostras representativas dos maciços graníticos estudados (ZCI, NW de Portugal), referente a elementos maiores (%) e vestigiais (ppm) seleccionados e razões (La/Yb)<sub>N</sub> e Eu/Eu\* (valores de normalização de Evensen et al., 1978). Os dados químicos globais estão acessíveis nas referências indicadas

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Ba	Rb	Sr	Zr	La	(La/Yb) <sub>N</sub>	Eu/Eu*
<b>Granitóides tardi- a pós-D3</b>															
Briteiros (b) (k)	72.18	14.66	2.20	0.51	0.68	2.95	5.49	0.29	243	411	59	116	27.4	30.3	0.29
	72.57	14.53	1.16	0.22	0.36	3.27	4.76	0.11	153	464	43	44	11.5	14.2	0.48
<b>Granitóides pós-D3</b>															
<b>Vila Pouca de Aguiar (f)</b>															
gr Vila Pouca de Aguiar	70.72	14.51	3.08	0.79	1.99	3.68	4.41	0.39	330	233	69	169	28.8	5.8	0.50
	72.24	13.35	2.22	0.51	1.54	3.54	4.47	0.31	362	251	113	153	27.3	5.1	0.49
gr Pedras Salgadas	73.00	13.57	1.76	0.32	1.18	3.52	4.52	0.19	295	237	70	106	26.1	3.6	0.36
	74.40	13.48	1.62	0.26	1.04	3.45	4.47	0.15	277	237	66	100	24.4	4.6	0.36
<b>Águas Frias-Chaves (i)</b>															
gr Águas Frias	72.19	14.07	2.30	0.69	1.80	3.61	4.21	0.32	308	241	98	144	27.47	5.44	0.35
	73.85	13.31	2.16	0.60	1.56	3.39	3.96	0.29	257	216	82	124	25.6	5.57	0.30
<b>Peneda-Gerês (h)</b>															
gr Gerês	71.40	13.63	3.24	0.53	1.72	3.52	4.51	0.39	353	238	93	208	35.6	5.9	0.46
	76.53	11.78	2.11	0.22	1.00	3.20	4.22	0.17	116	253	34	159	31.1	5.4	0.23
gr Pauflito	71.18	14.08	2.70	0.68	1.77	3.39	4.50	0.35	479	239	118	183	39.1	8.8	0.39
	73.20	13.81	1.82	0.34	1.12	3.50	4.75	0.17	431	254	87	120	32.6	6.8	0.34
gr Illa	72.71	14.08	1.87	0.32	1.12	3.40	4.91	0.17	468	242	99	128	34.4	11.6	0.40
	74.68	13.41	1.62	0.22	0.44	3.33	4.72	0.13	152	274	38	92	24.0	5.8	0.25
gr Carris	72.82	14.15	2.05	0.38	1.12	3.61	4.45	0.23	563	287	101	162	38.0	6.9	0.33
	73.79	13.55	1.72	0.28	1.04	3.49	4.75	0.15	548	284	90	131	40.7	6.2	0.31

Fe<sub>2</sub>O<sub>3t</sub> : ferro total; ga: gabronorito; gdt: granodiorito; gr: granito; md: monzodiorito; qd: quartzo-diorito; qmd: quartzo-monzodiorito.

(a) Dias (1987); (b) Dias et al. (1992); (c) Almeida (1994); (d) Dias & Leterrier (1994); (e) Veloso (1994); (f) Martins (1998); (g) Simões (2000); (h) Mendes (2001); (i) Dias et al. (2002); (j) Martins et al. (2008); (k) não publicado.



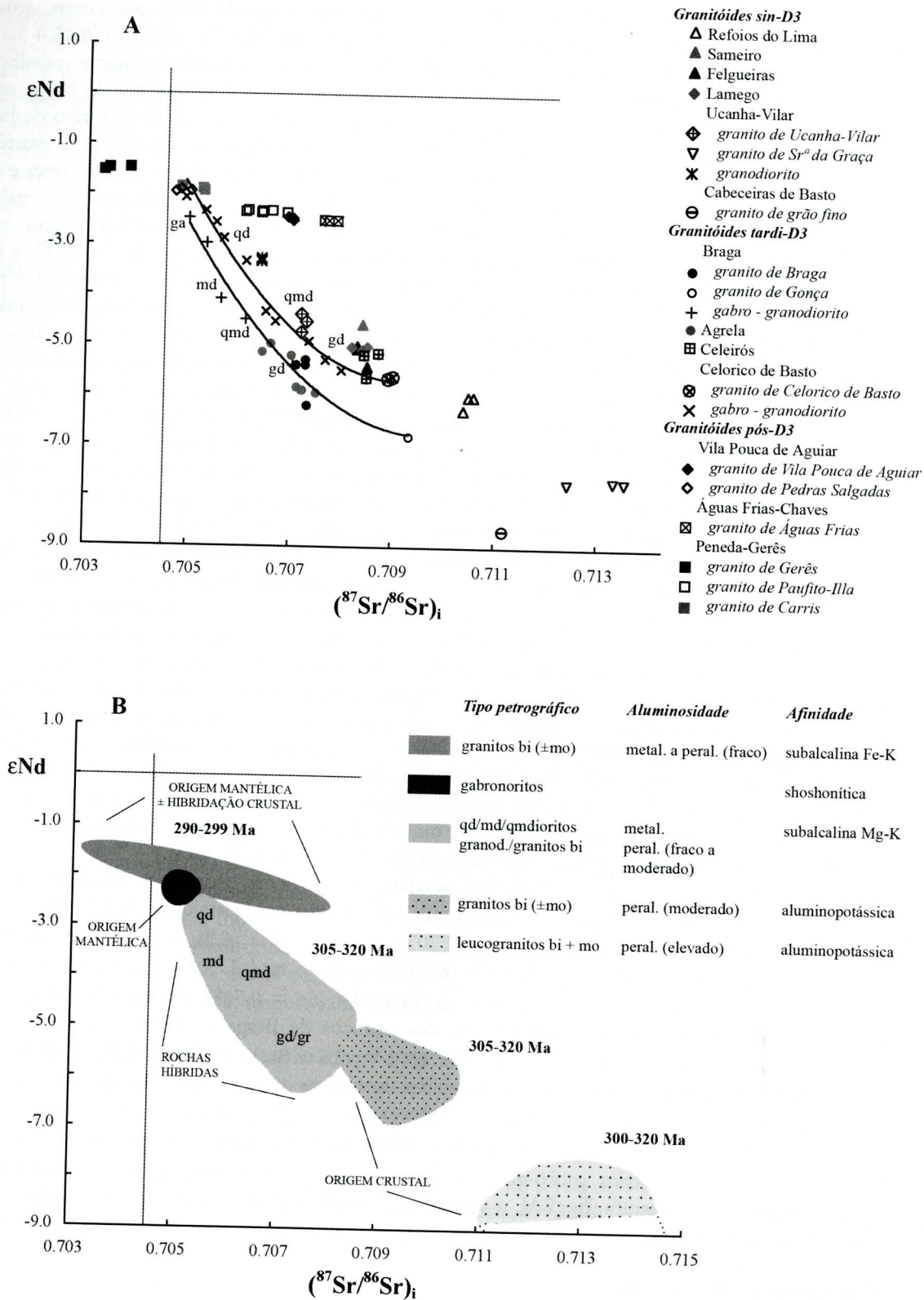


Figura 2. Representação dos maciços graníticos estudados (ZCI, NW de Portugal) no diagrama  $\epsilon Nd$  vs.  $Sr_i$ . (A) Projecção dos dados isotópicos e curvas hiperbólicas de mistura para as séries de Braga e de Celorico de Basto. (B) Relação entre assinatura isotópica, afinidade geoquímica e modelo genético proposto. Parâmetros isotópicos calculados à idade de instalação dos maciços; ga: gabronorito; gd: granodiorito; md: monzodiorito; mg: monzogranito; qd: quartzo-diorito; qmd: quartzo-monzodiorito.

As diferentes unidades que constituem os maciços de Braga e Celorico de Basto, representando o subgrupo dos monzogranitos biotíticos tardi-D3 e rochas gabro-granodioríticas associadas, apresentam um largo intervalo de variação da composição química ( $\text{SiO}_2 = 48.5\text{-}71.0\%$ ;  $\text{MgO} = 0.6\text{-}12.4\%$ ;  $\text{CaO} = 1.2\text{-}9.1\%$ ) (Dias & Leterrier, 1994; Dias et al., 2002). Estas rochas são predominantemente metaluminosas, atingindo-se nas rochas gabróicas um índice de aluminosidade de -102. O granito de Braga apresenta carácter peraluminoso fraco a moderado ( $\text{IA} = 0\text{-}32$ ) e os granitos de Gonça e de Celorico de Basto são moderadamente peraluminosos ( $\text{IA} = 25\text{-}42$ ). Em cada um dos maciços, verifica-se a existência de continuidade evolutiva entre as diferentes fácies dos corpos gabro-granodioríticos e entre estes e as fácies graníticas, sem hiatos composicionais significativos. Paralelamente ao decréscimo dos valores do parâmetro  $\text{Fe}+\text{Mg}+\text{Ti}$  (proporcional ao conteúdo em minerais máficos e utilizado como índice de diferenciação) verifica-se: (i) aumento dos teores em Si, Na, K, Rb; (ii) diminuição de Ca, Sr, Cr e  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$ ; (iii) tendências curvilíneas com acréscimo inicial (para composições básicas a intermédias) e posterior decréscimo de Ti, Ba, Zr, La (Dias & Leterrier, 1994; Dias et al., 2002). Esta distribuição segundo curvas regulares sugere uma relação genética entre as diferentes unidades que constituem cada um dos maciços. No diagrama R1-R2 (La Roche et al., 1980) as diferentes unidades das séries de Braga e Celorico de Basto distribuem-se no domínio subalcalino, segundo tendências com curvatura para composições quartzo-monzodioríticas, típicas de associações monzoníticas (subalcalinas Mg-K) (Dias & Leterrier, 1994; Dias et al., 2002). Estas tendências curvilíneas são explicadas por um processo de cristalização fraccionada, com significativa variação da associação mineral que fracciona nas diferentes etapas evolutivas (de plagioclase rica em Ca + olivina + ortopiroxena + clinopiroxena para plagioclase mais sódica + anfíbola + biotite + zircão). Os gabronoritos das duas séries evidenciam carácter primitivo ( $\text{Mg}/(\text{Fe}+\text{Mg}) = 0.68\text{-}0.72$  e  $\text{Cr} = 439\text{-}626$  ppm) e possuem afinidade shoshonítica, caracterizada por elevados teores em Al, K, Ba, Sr, Th, TR leves e baixos conteúdos em Ti, Nb, TR pesadas (Dias & Leterrier, 1994; Dias et al., 2002).

As duas unidades graníticas do maciço de Braga são composicionalmente distintas, apresentando o granito de Gonça mais baixos teores em Fe, Mg, Ca, Ti, Zr, Y e TR, bem como espectros de TR mais fraccionados (quadro 3; Dias & Leterrier, 1994). O granito de Braga apresenta composição química idêntica ao granito de Agrela (Veloso, 1994). O granito de Celorico de Basto é composicionalmente distinto destes granitos, revelando semelhanças petrográficas e químicas com os granitos de Celeirós e Vieira do Minho (Martins, 1998; Dias et al., 2002). Estas duas fácies graníticas são moderadamente peraluminosas ( $\text{IA} = 10\text{-}39$ ). As biotites dos granitos de Gonça, Celorico de Basto, Celeirós e Vieira do Minho são aluminosas ( $\text{Al}_{\text{total}} = 3.11\text{-}3.57$  apfu) e fracamente magnesianas ( $\text{Mg} = 1.18\text{-}1.86$  apfu), típicas de biotites de associações aluminopotássicas. As biotites dos granitos de Braga e Agrela revelam-se menos aluminosas ( $\text{Al}_{\text{total}} = 2.78\text{-}3.44$  apfu) e mais magnesianas ( $\text{Mg} = 1.46\text{-}2.23$  apfu).

Os monzogranitos biotíticos tardi-D3 revelam composições isotópicas distintas (fig. 2A). A assinatura isotópica menos enriquecida corresponde aos granitos com peraluminosidade fraca a moderada (granitos de Braga e de Agrela,  $\text{Sr}_i = 0.7064\text{-}0.7075$ ,  $\epsilon\text{Nd} = -5.0$  a  $-6.2$ ), os quais apresentam idêntica composição isotópica (quadro 2, fig. 2A). Os restantes granitos tardi-D3 (Gonça, Celeirós e Celorico de Basto) possuem composições isotópicas mais enriquecidas ( $\text{Sr}_i = 0.7084\text{-}0.7093$ ,  $\epsilon\text{Nd} = -5.2$  a  $-6.8$ ) e distintas (quadro 2, fig. 2A). Os gabronoritos dos maciços de Braga e Celorico de Basto apresentam idênticas composições isotópicas ( $\text{Sr}_i = 0.7050$ ,  $\epsilon\text{Nd} = -2.5$  e  $\text{Sr}_i = 0.7049\text{-}0.7053$ ,  $\epsilon\text{Nd} = -2.1$  a  $-2.4$ , respectivamente). Nestes maciços as composições isotópicas das restantes fácies dos corpos gabro-granodioríticos situam-se na gama  $0.7053$  a  $0.7080$  para  $\text{Sr}_i$  e  $-2.6$  a  $-5.5$  para  $\epsilon\text{Nd}$ , valores intermédios entre os obtidos para os gabronoritos e para os correspondentes granitos hospedeiros. No diagrama  $\text{Sr}_i - \epsilon\text{Nd}$ , as amostras dos corpos gabro-granodioríticos e dos granitos associados distribuem-se segundo curvas hiperbólicas de mistura (fig. 2A), o que exclui a hipótese petrogenética de um simples processo de cristalização fraccionada.

### ***Granitóides tardi- a pós-D3***

O leucogranito de Briteiros é geoquimicamente evoluído, apresenta forte índice de aluminosidade ( $\text{IA} = 51\text{-}66$ ) e afinidade aluminopotássica (Dias et al., 1992). Os teores em  $\text{SiO}_2$  variam entre  $70\text{-}73\%$ . Apresenta baixos teores em Ca, Mg, Ti, Ba, Sr, Zr, La (quadro 3).



### **Granitóides pós-D3**

As unidades graníticas que constituem os maciços de Vila Pouca de Aguiar, Águas Frias-Chaves e Peneda-Gerês são fracamente metaluminosas a peraluminosas ( $IA = -4$  a  $40$ ) e apresentam afinidade subalcalina Fe-K (Martins, 1998; Mendes, 2001; Martins et al., 2008). Possuem composições químicas evoluídas, caracterizadas por elevados teores de  $SiO_2$  (71-77 %), baixos conteúdos em  $MgO$  (0.14-0.79 %) e Sr (25-139 ppm). Apresentam baixos teores em TR ( $La = 21-45$  ppm), fraco fraccionamento das terras raras leves relativamente às terras raras pesadas [ $(La/Yb)_N = 2.3-11.6$ ] e forte anomalia negativa em Eu ( $Eu/Eu^* = 0.16-0.50$ ). As biotites das diferentes fácies graníticas dos maciços de Vila Pouca de Aguiar e Peneda-Gerês são feríferas ( $XMg = 0.19-0.38$ ), sendo menos aluminosas nos granitos de Vila Pouca de Aguiar e de Gerês ( $Al_{total} = 2.39-2.89$  apfu).

Os granitos pós-D3 revelam composição isotópica Sr-Nd empobrecida ( $Sr_i = 0.7033-0.7079$ ,  $\epsilon Nd = -1.5$  a  $-2.6$ ), comparativamente aos restantes grupos de granitóides estudados (quadro 2, fig. 2A). Esta assinatura isotópica de “tipo manto” constitui uma característica distintiva dos granitos pós-D3, que atingem composições isotópicas mais empobrecidas do que as que se registam em gabronoritos de afinidade shoshonítica associados ao plutonismo granítico tardi-D3 (fig. 2A). No conjunto de dados obtidos para os três maciços verifica-se correlação negativa  $Sr_i - \epsilon Nd$  e a ocorrência de quatro domínios composicionais. As composições mais empobrecidas correspondem ao granito de Gerês ( $Sr_i = 0.7033-0.7038$ ,  $\epsilon Nd = -1.5$  a  $-1.6$ ). É de referir que as baixas razões isotópicas de Sr obtidas em rocha total para o granito de Gerês ( $Sr_i = 0.7033$  a  $0.7038$ ) foram confirmadas por análise isotópica de duas amostras de apatite ( $(^{87}Sr/^{86}Sr) = 0.70357$  e  $0.70380$ ;  $Sr_i = 0.7033$  e  $0.7036$ , respectivamente) (Mendes & Dias, 2004). O granito de Águas Frias apresenta a composição isotópica menos empobrecida ( $Sr_i = 0.7076-0.7079$ ,  $\epsilon Nd = -2.5$ ). Os granitos de Vila Pouca de Aguiar, Paufito e Illa, bem como os granitos de Pedras Salgadas e Carris, possuem composição intermédia.

## **DISCUSSÃO**

### **Inferências geocronológicas**

Os dados geocronológicos obtidos permitem estabelecer os seguintes intervalos de idades para os diferentes grupos de granitóides: granitóides sin-D3, 312-321 Ma; granitóides tardi-D3, 305-312 Ma; granitóides tardi- a pós-D3, 300 Ma; granitóides pós-D3, 290-299 Ma (quadro 2).

No NW de Portugal, o plutonismo varisco ante-D3 é pouco expressivo, em contraste com a larga predominância de granitóides cuja instalação ocorreu durante a última fase de deformação dúctil varisca (D3) ou imediatamente após. Efectivamente, os dados geocronológicos revelam que na ZCI se verificou a instalação sucessiva de numerosas intrusões graníticas durante um curto intervalo de tempo de cerca de 30 Ma, correspondente à etapa pós-colisional da orogenia varisca, não se verificando a existência de hiatos geocronológicos significativos. Os dados sugerem ainda que as fases D3 e D4 terão estado activas nos intervalos 321-300 Ma e 290-299 Ma, respectivamente.

### **Relação geocronologia – tipologia – assinatura isotópica**

Integrando os resultados de geoquímica isotópica e relacionando-os com os dados geocronológicos e características petrográficas e tipológicas das diferentes associações graníticas, ressaltam os seguintes aspectos (fig. 2B):

- (1) Verifica-se a sucessiva instalação de magmas leucograníticos no intervalo 300-321 Ma, representados na área em estudo pelos leucogranitos de duas micas de Sra. da Graça, complexo de Cabeceiras de Basto, Argá e Briteiros. Trata-se de associações aluminopotássicas, com elevado índice de aluminosidade ( $IA = 47-86$ ) e composições isotópicas fortemente enriquecidas ( $Sr_i > 0.711$ ,  $\epsilon Nd < -7.7$ ).
- (2) No intervalo 305-321 Ma e em simultâneo com o plutonismo leucogranítico, ocorreu a instalação de maciços graníticos compósitos que, na região em estudo, estão representados pelos maciços sin-D3 de Refoios do Lima - Ucanha-Vilar e tardi-D3 de Braga - Agrela e Celeirós - Vieira do Minho - Celorico de Basto. Associam: (i) monzogranitos essencialmente biotíticos com encraves microgranulares máficos raros ou ausentes, de afinidade aluminopotássica, moderadamente peraluminosos ( $IA = 10-45$ ) e com assinatura isotópica menos enriquecida comparativamente a (1) ( $Sr_i = 0.7084-0.7106$ ,  $\epsilon Nd = -5.2$  a  $-6.8$ ); (ii) monzogranitos/granodioritos biotíticos com abundantes



encraves microgranulares máficos, carácter peraluminoso fraco a moderado ( $IA = 0-32$ ), afinidade calcoalcalina (granitóides sin-D3) ou subalcalina Mg-K (granitóides tardi-D3) e assinatura isotópica mais empobrecida ( $Sr_i = 0.7064-0.7085$ ,  $\epsilon Nd = -4.4$  a  $-6.2$ ). Estas unidades graníticas associam-se a corpos hectométricos a quilométricos de composição gabróica a granodiorítica (gabronoritos, quartzo-dioritos, monzodioritos, quartzo-monzodioritos e granodioritos), segundo tendências (químicas e isotópicas) evolutivas contínuas (fig. 2A), de rochas metaluminosas a peraluminosas com composição isotópica no seguinte intervalo de valores:  $Sr_i = 0.7049-0.7106$ ,  $\epsilon Nd = -2.1$  a  $-6.8$ . Aos gabronoritos corresponde a composição isotópica menos enriquecida ( $Sr_i = 0.7049-0.7053$ ,  $\epsilon Nd = -2.1$  a  $-2.5$ ).

- (3) As últimas manifestações do magmatismo granítico varisco, pouco abundante, ocorreram no intervalo 290-299 Ma (pós-D3), num enquadramento geodinâmico de processos extensionais, estando representadas na região em estudo pelos maciços compósitos e zonados de Vila Pouca de Aguiar, Águas Frias-Chaves e Peneda-Gerês. Incluem granitos fracamente metaluminosos a peraluminosos ( $IA = -4$  a  $40$ ), de afinidade subalcalina Fe-K e composição isotópica empobrecida comparativamente aos restantes grupos de granitóides ( $Sr_i = 0.7033-0.7079$ ,  $\epsilon Nd = -1.5$  a  $-2.6$ ). Esta assinatura isotópica de “tipo manto” é uma característica distintiva do plutonismo pós-D3.

### *Inferências petrogenéticas*

Os dados geológicos, petrográficos, mineralógicos, químicos e isotópicos sugerem que as rochas graníticas estudadas se incluem em três grupos genéticos distintos: origem mantélica, crustal ou híbrida. Em trabalhos anteriores e para cada um dos maciços, foram discutidos os modelos genéticos e evolutivos aplicáveis, bem como caracterizados os potenciais protólitos (Dias, 1987; Dias et al., 1992; Dias & Leterrier, 1993, 1994; Almeida, 1994; Martins, 1998; Simões, 2000; Mendes, 2001; Dias et al., 2002; Mendes & Dias, 2004; Martins et al., 2008). Uma primeira síntese sobre a caracterização dos reservatórios parentais envolvidos na génese de granitóides da ZCI (Norte de Portugal) pode ser encontrada em Dias (2001). Reunindo a informação disponível, são de realçar os aspectos petrogenéticos que a seguir se apresentam.

Os granitos para os quais se admite uma origem puramente crustal ou essencialmente crustal constituem dois grupos com características distintas, acima explicitadas em (1) e (2i). É de referir que as idades modelo  $T_{DM}$  se situam no intervalo 1.2-1.5 Ga, o que é comum em granitos variscos, não se registando diferenças significativas no valor deste parâmetro entre os dois grupos de granitóides.

- (1) Protólitos crustais I (leucogranitos de duas micas)

As características mineralógicas e geoquímicas deste grupo de granitóides sugere uma origem a partir de magmas aluminosos, ricos em água e caracterizados por elevados valores de  $Sr_{300-321}$  ( $> 0.711$ ) e baixos valores de  $\epsilon Nd_{300-321}$  ( $< -7.7$ ). Vários tipos de fontes são improváveis, nomeadamente litologias do tipo ortognaisses ou granulitos ácidos metaígneos, sendo de admitir como mais provável uma fonte metassedimentar pelítica (Dias, 2001). No Maciço Ibérico, granulitos metapelíticos da crosta inferior e rochas metapelíticas da crosta média (Villaseca et al., 1998, 1999) possuem idênticos valores de  $\epsilon Nd_{300-321}$  no intervalo  $-8$  a  $-12$ , diferindo na composição isotópica do Sr (metapelitos da crosta inferior,  $Sr_{300-321} = 0.710$  a  $0.717$ ; metapelitos da crosta média,  $Sr_{300-321} = 0.717$  a  $0.723$ ). Assim, sugere-se para este grupo de granitóides uma origem por fusão parcial de rochas metassedimentares aluminosas, predominantemente metapelíticas, a diferentes níveis crustais (crosta média e inferior).

- (2) Protólitos crustais II (monzogranitos biotíticos)

As características mineralógicas, químicas e isotópicas deste grupo de granitóides excluem protólitos metassedimentares pelíticos, sugerindo uma fonte crustal de natureza metassedimentar imatura (metassedimentos de tipo grauvaque) e/ou metaígnea félsica (Dias, 2001; Dias et al., 2002). Verifica-se compatibilidade com xenólitos metaígneos (granulitos félsicos peraluminosos) da crosta inferior ( $Sr_{305-321} = 0.706$  a  $0.713$ ;  $\epsilon Nd_{305-321} = -1$  a  $-8$ ), referidos por Villaseca et al. (1999) no Maciço Ibérico. Os ortognaisses da crosta média no Maciço Ibérico não constituem uma fonte provável, dado que apresentam uma composição isotópica do Sr mais radiogénica ( $Sr_{305-321} > 0.715$ ; Beetsma, 1995; Villaseca et al., 1998) do que os monzogranitos biotíticos, embora os valores  $\epsilon Nd$  sejam idênticos. Os elevados conteúdos em Ba e Sr dos monzogranitos biotíticos, bem como os elevados valores K/Rb e  $(La/Yb)_N$ , sugerem um protólito rico em feldspato e um resíduo relativamente pobre em



feldspato potássico ou biotite e rico em granada. Assim, propõe-se para este grupo de granitóides uma origem por fusão parcial de uma crosta continental heterogênea, na fácies granulítica, envolvendo materiais metassedimentares (metagrauwaques) e/ou metaígneos félsicos da crosta inferior.

Os gabronoritos não revelam assinatura isotópica de manto empobrecido (fig. 2B), além do que o seu carácter primitivo ( $Mg/(Fe+Mg) = 0.68-0.72$  e  $Cr = 439-626$  ppm) é incompatível com um processo extenso de contaminação crustal de magma mantélico empobrecido. A afinidade shoshonítica e a composição isotópica destas rochas sugerem a existência de domínios de manto enriquecido sub-Ibérico durante o evento varisco (Dias & Leterrier, 1994; Dias et al., 2002). A presença de manto enriquecido no orógeno varisco encontra-se igualmente referida noutros locais do Maciço Ibérico (Moreno-Ventas et al., 1995; Galán et al., 1996), no Maciço Central em França (Downes & Duthou, 1988; Pin & Duthou, 1990; Shaw et al., 1993) e no Maciço da Boémia (Gerdes et al., 1998; Janousek et al., 1995, 2000). É de referir que se verifica identidade na composição química e isotópica das rochas básicas estudadas, o que revela homogeneidade isotópica do componente mantélico envolvido na génese dos maciços compósitos de Braga e de Celorico de Basto.

Os monzogranitos/granodioritos biotíticos, cujas características tipológicas e isotópicas se encontram acima resumidas em (2ii), bem como as séries de rochas dioríticas-monzodioríticas-granodioríticas associadas, apresentam evidências de campo, petrográficas, mineralógicas e geoquímicas que sugerem processos de interacção entre magmas contemporâneos e composicionalmente contrastados (Dias & Leterrier, 1994; Dias et al., 2002). As características químicas e isotópicas destas rochas híbridas podem ser explicadas por um processo petrogenético complexo envolvendo cristalização fraccionada e mistura de magmas, entre um magma mantélico enriquecido (representado pelos gabronoritos) e magmas crustais félsicos (representados pelos monzogranitos biotíticos). Este modelo explica as tendências evolutivas contínuas e curvilíneas evidenciadas para alguns elementos (Ti, Ba, Zr, La), assim como a distribuição no diagrama  $Sr_i - \epsilon Nd_i$  segundo curvas hiperbólicas de mistura. As diferenças na composição química e isotópica das diferentes rochas híbridas estão relacionadas com a heterogeneidade composicional dos magmas crustais e com variabilidade no grau de contribuição crustal. A abundância de rochas graníticas híbridas sin-D3 e tardi-D3, originadas por interacção magmática manto-crosta, revela a ocorrência de um importante episódio de acreção durante a etapa pós-colisional da orogenia varisca.

Magmas subalcalinos Fe-K de assinatura isotópica de “tipo manto” constituem a característica distintiva do plutonismo pós-D3. A sua génese e natureza dos reservatórios parentais tem sido objecto de debate (Bonin et al., 1998; Debon & Lemmet, 1999; Pupin, 2000; Mendes & Dias, 2004). No caso dos maciços estudados, as evidências de campo (ocorrência de encaves microgranulares máficos) e as características químicas e isotópicas dos granitos podem ser explicadas pela contribuição de componente(s) mantélico(s), seguida de interacção manto-crosta. É de referir que, pelo menos para o granito de Gerês, os dados sugerem a contribuição de um componente mantélico menos enriquecido do que o envolvido na génese dos granitóides híbridos subalcalinos Mg-K (tardi-D3). Dados morfológicos, de estrutura interna e quimismo de zircões deste granito suportam a hipótese de um processo de interacção entre dois magmas de afinidades magmáticas distintas, alcalino e calcoalcalino, o que explicaria as características intermédias do magmatismo subalcalino Fe-K (Mendes, 2001).

## CONCLUSÕES

- (1) Na etapa pós-colisional da orogenia varisca verificou-se a instalação sucessiva de um importante volume de magmas graníticos na ZCI, caracterizados por grande variabilidade composicional e tipológica: granitóides sin-D3, 312-321 Ma; granitóides tardi-D3, 305-312 Ma; granitóides tardi-pós-D3, 300 Ma; granitóides pós-D3, 290-299 Ma. São particularmente abundantes os granitóides originados durante a fase de deformação D3 (300-321 Ma).
- (2) Após a fase de deformação D2, atingiu-se o maior espessamento crustal e geraram-se magmas hidratados, com elevado índice de aluminosidade e composições isotópicas fortemente enriquecidas, a partir de protólitos metassedimentares essencialmente pelíticos da crosta média/inferior ( $Sr_{300-321} > 0.711$ ,  $\epsilon Nd_{300-321} < -7.7$ ), originando-se leucogranitos de duas micas.
- (3) Nas etapas sin- e tardi-D3 (305-321 Ma) e em simultâneo com o plutonismo leucogranítico, formaram-se monzogranitos essencialmente biotíticos, moderadamente peraluminosos e de afinidade

- Pupin, J.P. (1981) - A propos des granites potassiques. C.R. Acad. Sci. Paris, 292, pp. 405-408.
- Pupin, J.P. (1988) - Granites as indicators in paleogeodynamics. Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol., 43-2, pp. 237-262.
- Pupin, J.P. (2000) - Granite genesis related to geodynamics from Hf-Y in zircon. Trans. Roy. Soc. Edinburgh, 91, pp. 245-256.
- Ribeiro, A., Pereira, E., Rodrigues, J. (2006) - Tectónica. In: Pereira, E. (coord.) Carta Geológica de Portugal, Notícia explicativa da folha 2, Publ. IGM/INETI, Lisboa, pp. 69-76.
- Ribeiro, M.A., Martins, H.C., Almeida, A., Noronha, F. (2000) - Notícia explicativa da Folha 6-C (Cabeceiras de Basto) da Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000. Publ. IGM, Lisboa, 48 pp.
- Rossi, P., Chevremont, P. (1987) - Classification des associations magmatiques granitoïdes. Géochronique, 21, pp. 14-18.
- Sant'Ovaia, H. (2000) - O maciço granítico pós-tectónico de Vila Pouca de Aguiar: estudo petro-estrutural e mecanismo de instalação. Tese de doutoramento, Universidade do Porto, Porto, Université Paul Sabatier, Toulouse, 314 pp.
- Sant'Ovaia, H., Bouchez, J.L., Noronha, F., Leblanc, D., Vignerresse J.L. (2000) - Composite-laccolith emplacement of the post-tectonic Vila Pouca de Aguiar granite pluton (northern Portugal): a combined AMS and gravity study. Trans. Roy. Soc. Edinburgh, Earth Sciences, 91, pp. 123-137.
- Shaw, A., Downes, H., Thirlwall, M.F. (1993) - The quartz-diorites of Limousin: Elemental and isotopic evidence for Devonian-Carboniferous subduction in the Hercynian belt of the French Massif Central. Chemical Geology, 107, pp. 1-18.
- Simões, P.P. (2000) - Instalação, geocronologia e petrogénese de granitóides biotíticos sintectónicos associados ao cisalhamento Vigo-Régua (ZCI, Norte de Portugal). Tese de doutoramento, Universidade do Minho, Braga, 351 pp.
- Veloso, M.L. (1994) - Estudo petrográfico e químico-mineralógico de encraves microgranulares máficos associados a granitos biotíticos tardi-hercínios da região de Braga-Vieira do Minho (Norte de Portugal). Tese de mestrado, Universidade do Minho, Braga, 181 pp.
- Veloso, M.L., Dias, G. (1995) - Estudo químico-mineralógico de encraves microgranulares máficos associados a granitóides tardi-hercínios da região de Braga - Vieira do Minho (Norte de Portugal): tipo e mecanismos de hibridação. Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Porto, Memória nº 4, pp. 843-847.
- Villaseca, C., Barbero, L., Rogers, G. (1998) - Crustal origin of Hercynian peraluminous granitic batholiths of Central Spain: petrological, geochemical and isotopic (Sr, Nd) constraints. Lithos, 43, pp. 55-79.
- Villaseca, C., Downes, H., Pin, C., Barbero, L. (1999) - Nature and composition of the lower continental crust in Central Spain and the granulite-granite linkage: inferences from granulitic xenoliths. Journal of Petrology, 40 (10), pp. 1465-1496.