

GEOQUÍMICA DOS ECLOGITOS DO MACIÇO DE BRAGANÇA: ORIGEM DOS "VEIOS DIORÍTICOS" E IMPLICAÇÕES GEOCRONOLÓGICAS

J.F. Santos ¹, J.M. Munhá ², C. Tassinari ³

¹ Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810 AVEIRO, PORTUGAL

² Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências de Lisboa, Bloco C2, Campo Grande, 1700 LISBOA, PORTUGAL

³ Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Rua do Lago, 582, 05508-900 SÃO PAULO - SP, BRASIL

Abstract

Systematic analysis of the distribution of "immobile" incompatible elements among the eclogites from the Bragança Massif (NE Portugal) reveals the occurrence of three distinct eclogite-rock groups: A) LREE depleted, with negative Ti anomalies; B) flat LREE and MREE, with depletion of the heaviest REE and negative anomalies of Nb and Ti; C) LREE enriched, with Nb/Y > 1.

Rocks belonging to groups B and C comprise granulitized eclogites which often display the characteristic development of late "dioritic" veins. The available geochemical data show that the vein material and the host eclogites have identical "immobile" incompatible element contents, whilst they differ in their mobile element concentrations; "dioritic" veins also display anomalous isotopic compositions with ($\epsilon_{\text{Sr}}^{\text{DMa}} = +97.2$ and $(\epsilon_{\text{Nd}})^{\text{DMa}} = -2.69$). Thus, it is unlikely that the veins could represent dioritic magmas generated by partial melting of the host eclogites. The "dioritic" veins are interpreted here as products of metasomatic activity affecting the eclogites; metasomatism was induced by fluids emanating from the enclosing gneisses during prograde decompression metamorphism. Such a pervasive metasomatic event must have caused isotope resetting, explaining the apparent contradictions among the available geochronological data for the eclogite rocks.

Introdução e trabalhos anteriores

No Complexo Alóctone Superior (Ribeiro *et al.*, 1993) do Maciço de Bragança, é conhecida a existência de corpos de eclogitos, os quais se apresentam sob a forma de lenticulas no interior de paragneisses.

Nos últimos anos, foram apresentados alguns dados geotermobarométricos (Munhá & Ribeiro, 1986) e geocronológicos (Peucat *et al.*, 1990; Santos *et al.*, 1995) respeitantes a eclogitos e rochas associadas de Bragança. Os primeiros indicam: 1) que o metamorfismo da fácies eclogítica decorreu a pressões de 18-20 kb e temperaturas de 570-630 °C; 2) que, a este episódio, se seguiram outros indicando, inicialmente, ligeira descompressão com aquecimento (800-900 °C) e, posteriormente, arrefecimento e descompressão. Quanto à geocronologia, trata-se ainda de assunto polémico que adiante será abordado.

A geoquímica elementar, nomeadamente a de elementos vestigiais imóveis, não tem sido abordada nos eclogitos de Bragança. Bernard-Griffiths *et al.* (1985) analisaram amostras de eclogitos provenientes do Complexo Alóctone Superior de Cabo Ortegal (Galiza), tendo obtido perfis de terras-raras caracterizados (após normalização condrítica) por empobrecimento das de massa atómica menor relativamente às restantes, assemelhando-se bastante àquilo que se observa nos MORB de tipo N.

Petrografia

As características mineralógicas e texturais dos eclogitos indicam terem sofrido evolução metamórfica complexa, com diferentes episódios de recristalização, anteriores e posteriores ao máximo de pressão. O metamorfismo eclogítico caracterizou-se pelo desenvolvimento da associação granada + onfacite ± distena ± fengite ± anfíbola ± zoisite + rútilo + quartzo. São, contudo, raros os casos em que, a esta paragénese, não se tenham sobreposto, de forma significativa, associações geradas a pressões sucessivamente mais baixas. Em resultado destes processos pós-eclogíticos, geraram-se rochas de dois tipos:

1) Eclogitos em que a decompressão levou a que a onfacite se decompusesse sob a forma de simplectites finas de diópsido (\pm sódico) e plagioclase (zonas de Rabal e Espinhosela);

2) Eclogitos granulitizados (zonas de Fontaelas e Gimonde), em que o diópsido, a plagioclase e a anfíbola (pós-eclogíticos) surgem em cristais bem individualizados, com textura granoblástica e granularidade média (se bem que sejam também observáveis associações simplectíticas entre aqueles minerais, estas são aqui caracterizadas por domínios mais largos dos constituintes, quando comparados com os das simplectites do tipo 1).

No seio dos eclogitos do tipo 2, encontram-se zonas venulares de composição "diorítica" a "tonalítica" (plagioclase + granada + anfíbola + diópsido + rútilo + quartzo + apatite + opacos \pm biotite), de onde se destacam cristais poicilíticos de anfíbola castanha que podem atingir dimensões centimétricas. Com a proximidade relativamente a estas zonas, os eclogitos tornam-se progressivamente mais ricos de anfíbola, plagioclase e quartzo, e a granularidade torna-se mais grosseira.

O material "diorítico" foi interpretado por Anthonioz (1972) como resultado da retrogradação dos eclogitos, enquanto Munhá & Ribeiro (1986) e Santos *et al.* (1995) o consideraram como representando líquido silicatado gerado por fusão parcial daquelas rochas e dos gneisses encaixantes.

Geoquímica dos eclogitos

Os dados geoquímicos obtidos revelaram que, em termos de elementos maiores, os eclogitos analisados se assemelham entre si, registando-se: SiO₂ entre 46.9% e 51.3%; TiO₂ entre 0.67% e 1.59% (excepto numa amostra com 0.30%); Al₂O₃ entre 13.59% e 16.4%; FeO^t entre 8.65% e 11.73% (excepto num caso, em que atinge 15.09%); MgO entre 5.39% e 10.87%; CaO entre 9.10% e 12.39%; Na₂O entre 1.91% e 3.46%; FeO^t/(FeO^t + MgO) entre 0.47 e 0.68; só no K₂O se nota, significativamente, uma diferença sistemática entre os eclogitos de Rabal - Espinhosela (0.04% a 0.08%) e os de Fontaelas - Gimonde (0.14% a 0.54%).

Em contraste, quando se consideram os elementos vestigiais são notórias as diferenças, não só entre os dois tipos petrográficos referidos, como também entre as amostras de Fontaelas - Gimonde. Assim, recorrendo a elementos relativamente imóveis (e que, portanto, devem reflectir as características dos protólitos destas rochas), definiram-se três grupos geoquímicos de eclogitos:

A) Eclogitos de Rabal - Espinhosela, patenteando quimismo toleítico, com: empobrecimento dos lantanídeos leves em relação aos mais pesados, registando-se (La/Lu)_n entre 0.54 e 0.79; razões Nb/Y inferiores a 0.13; teores baixos em TiO₂ (0.93%-1.40%); concentrações de Ni (47-63 ppm) e Cr (118-231 ppm) inferiores às dos restantes eclogitos.

B) Eclogitos subalcalinos de Fontaelas - Gimonde, caracterizados por: perfil quase condrítico das terras raras leves e intermédias, com (La/Tb)_n de 0.91 a 1.41, e ligeiro empobrecimento das mais pesadas, variando (La/Lu)_n entre 1.20 e 1.73; valores de Nb/Y inferiores a 0.095; concentrações de TiO₂ inferiores a 0.80%; Ni com concentrações entre 96 e 274 ppm e Cr de 376 a 441 ppm.

C) Eclogitos de Fontaelas - Gimonde com quimismo de tendência marcadamente alcalina, em que se nota: enriquecimento das terras-raras leves, com $(La/Lu)_n$ entre 8.5 e 13.4; Nb/Y entre 1.1 e 1.6; concentrações de TiO_2 de 1.00% a 1.59%; teores em Ni e Cr de 90-281 ppm e de 315-440 ppm, respectivamente.

Embora em todos os casos os eclogitos correspondam a protólitos de composição basáltica, não é plausível que os três grupos referidos se relacionem através de processos de diferenciação por cristalização (de um mesmo magma); de facto, para além das grandes variações no tipo de padrões de terras raras, os teores de elementos compatíveis nas rochas do grupo C (hipoteticamente mais diferenciado) são equivalentes aos registados nas do grupo B e superiores aos do grupo A. As diferenças deverão, pois, ter como causas essenciais a composição da fonte mantélica e/ou os processos de fusão que geraram os magmas primários.

As rochas do grupo A são as que, de acordo com os dados geoquímicos disponíveis, mais se assemelham aos eclogitos de Cabo Ortegal. Contudo, a presença constante de anomalia negativa de Ti afasta-as dos casos mais típicos de N-MORB. Análises isotópicas de Sm-Nd revelam, para uma rocha deste grupo, $(\epsilon_{Nd})^{0Ma} = +7.35$ (enquanto há 508 Ma - idade Sm-Nd registada pelo par granada-rocha total - ϵ_{Nd} seria de +5.80), reforçando os dados da geoquímica elementar; o valor de $(\epsilon_{Sr})^{0Ma}$ é elevado (+23.7), o que poderá resultar de episódios de metamorfismo envolvendo fluidos enriquecidos em Sr radiogénico, e não necessariamente de características primárias.

As rochas do grupo B patenteiam perfis de elementos incompatíveis em que as anomalias negativas de Nb e Ti são pronunciadas, o que é comum em toleitos continentais ou em magmas gerados em ambientes orogénicos. A tendência alcalina das rochas do grupo C é típica de magmas gerados a partir de fontes enriquecidas, em ambientes caracterizados por tectónica distensiva.

As características geoquímicas dos eclogitos estudados, quando observadas em conjunto, assemelham-se àquelas que tipificam as sequências vulcânicas de certos arcos insulares (por exemplo: Marianas, Fiji); contudo, o desconhecimento das idades dos protólitos magmáticos impede, de momento, uma análise rigorosa da sua posição no ciclo tectónico ante-varisco com o qual se relacionam.

Geoquímica dos "veios dioríticos" - evidências de metassomatismo nos eclogitos

Para além das rochas já descritas, foram ainda analisadas duas amostras de material de composição "diorítica" que se encontra no seio dos eclogitos de Fontaelas - Gimonde. Quando se consideram os elementos de menor mobilidade em fase aquosa (Nb, lantanídeos, Zr, Y, Ti, Cr e Ni), verifica-se que uma das amostras se enquadra quase perfeitamente nas características dos eclogitos do grupo C, enquanto a outra se poderia englobar nos do grupo B. Esta identidade geoquímica entre eclogitos e "dioritos", abarcando elementos desde muito incompatíveis até fortemente compatíveis, permite concluir que:

- Os "veios dioríticos" não podem ser material magmático de origem exterior aos eclogitos, cuja intrusão tivesse provocado metassomatismo nestes, visto que, em tal situação, os veios analisados deveriam corresponder a um extremo composicional,

enquanto os eclogitos apresentariam uma gama contínua de composições variando consoante o grau de transformação química;

- Os "veios dioríticos" também não podem corresponder a um produto de fusão parcial dos eclogitos, tendo em conta a identidade geoquímica já referida, pois isso implicaria coeficientes de distribuição em torno da unidade, entre as associações de minerais refractários e os líquidos formados, para elementos com comportamentos absolutamente distintos.

Assim, a única hipótese viável é a de que os "veios dioríticos" sejam o resultado de intenso metassomatismo nos eclogitos, implicando modificações significativas nos elementos mais facilmente mobilizáveis em fase fluida, enquanto os restantes, à escala mesoscópica, manteriam os seus teores relativamente constantes. De facto, os elementos em que está mais marcada uma diferença sistemática entre os "veios dioríticos" e os eclogitos encaixantes são o Si ($\text{SiO}_2 \sim 55\%$ nas rochas metassomáticas), o K ($\text{K}_2\text{O} > 0.6\%$, nos "veios dioríticos") e o Ca ($\text{CaO} < 7.3\%$); noutros elementos é difícil definir um padrão sistemático de variação, mas a sua mobilização ter-se-á, quase certamente, verificado, à excepção dos casos em que a tendência para o transporte em fase fluida é muito baixa.

Uma das amostras de "veio diorítico" (a relacionável com o grupo B de eclogitos) foi sujeita a análises isotópicas, verificando-se que $(\epsilon_{\text{Nd}})^{0\text{Ma}} = -2.89$ e $(\epsilon_{\text{Sr}})^{0\text{Ma}} = +97.2$; há 389 Ma (idade do equilíbrio rocha total - granada - hornblenda, registada pelo sistema Sm-Nd neste "diorito"; amostra 38-35 de Santos *et al.*, 1995), ϵ_{Nd} seria de -2.24 e ϵ_{Sr} de $+69.2$. Tendo em conta a "imobilidade" dos lantanídeos, é de supor que o ϵ_{Nd} não se afaste muito do da rocha básica que sofreu metassomatismo, o que, conjugado com uma provável idade precâmbrica do protólito ígneo, leva a concluir que, aquando do magmatismo, aquele parâmetro deveria ter um valor aproximadamente condrítico, o que está de acordo com os perfis de terras-raras dos eclogitos do grupo B. Já o ϵ_{Sr} , como é de esperar, deverá estar essencialmente condicionado pelas transformações metamórficas, em especial pelo episódio metassomático.

Leal & Munhá (1993), a partir do estudo de inclusões fluidas em veios de quartzo + distena que atravessam os eclogitos de Fontaelas - Gimonde, demonstraram que a fase fluida presente nestas rochas era essencialmente aquosa. Tendo em conta que, durante a descompressão, as rochas básicas sofrem essencialmente reacções que consomem água, enquanto o inverso sucede nos sistemas pelíticos, aqueles autores concluíram que os fluidos que circularam através dos eclogitos se originaram nos gneisses encaixantes. Deve ser, pois, esta a origem da contribuição para a intensa transformação mineralógica e geoquímica que deu origem à fácies "diorítica" dos eclogitos; os valores bastante elevados de ϵ_{Sr} encontrados nos "veios dioríticos" implicam uma fonte enriquecida em Sr radiogénico, reforçando aquela conclusão.

Implicações geocronológicas

Os trabalhos de geocronologia absoluta que incidiram nos eclogitos, e rochas associadas, do Maciço de Bragança resultaram num espectro de valores entre 509 e 389 Ma (U-Pb em zircões - Peucat *et al.*, 1990; Sm-Nd e Rb-Sr em minerais e rocha total - Santos *et al.*, 1995). Enquanto Peucat *et al.* (1990) interpretaram os seus dados

considerando um episódio magmático (509 Ma) e um de metamorfismo de alto grau (mais recente que 430 Ma), Santos *et al.* (1995) encararam os resultados entretanto acumulados como indicando reajustamentos dos sistemas isotópicos, posteriores ao metamorfismo de alto grau, devidos a processos associados ao empolamento térmico resultante do magmatismo extensional no Paleozóico inferior (Marques *et al.*, 1995) e posterior exumação das rochas eclogíticas de níveis profundos, há cerca de 390 Ma (Dallmeyer *et al.*, 1991).

Merece aqui menção especial a rocha eclogítica do Maciço de Bragança (amostra 7125) utilizada por Peucat *et al.* (1990) na obtenção dos valores acima citados; de facto, os valores de ϵ_{Nd} e ϵ_{Sr} mostram grande semelhança entre aquele metabasito e a rocha metassomática (38-35) agora analisada, quer quanto aos valores actuais ($\epsilon_{Nd} = -4.23$, $\epsilon_{Sr} = +93.7$, para 7125; $\epsilon_{Nd} = -2.89$, $\epsilon_{Sr} = +97.2$, para 38-35), quer para os valores calculados para há 390 Ma ($\epsilon_{Nd} = -2.12$, $\epsilon_{Sr} = +73.5$, para 7125; $\epsilon_{Nd} = -2.24$, $\epsilon_{Sr} = +69.2$, para 38-35). Tal similitude parece revelar que a rocha analisada por Peucat *et al.* (1990) foi afectada por metamorfismo aloquímico, pelo que não parece adequado menosprezar o efeito deste evento.

Gebauer (1993), usando análises de U-Pb (SHRIMP) em zircões de eclogitos de Cabo Ortegal, obteve valores em torno de 395 Ma, não tendo encontrado testemunhos de eventos metamórficos anteriores. Gebauer (1993) considerou esta idade como reflectindo o período de eclogitização. O valor mencionado vem reforçar a ideia da importância dos reajustamentos isotópicos ocorridos há cerca de 390 Ma; contudo, o conjunto de evidências estruturais, petrológicas e geoquímicas disponíveis permite-nos identificar esses fenómenos com o metamorfismo associado à exumação tectónica de material de zonas profundas, e não com um episódio de subducção.

Referências

- Anthionioz, P.-M., 1972. Les Complexes Métamorphiques Precambriens de Morais et Bragança (N-E du Portugal): Étude Pétrographique et Structurale. 192 p. Mem. Serv. Geol. Portugal n° 20 (nova série). Lisboa.
- Bernard-Griffiths, J., Peucat, J.J., R.P., Cornichet, J., Ponce de Leon, M.I. & Gil Ibarguchi, J.I., 1985. U-Pb, Nd isotope and REE geochemistry in eclogites from the Cabo Ortegal Complex, Galicia, Spain: an example of REE immobility conserving MORB-like patterns during high-grade metamorphism. *Chem. Geol.*, 52: 217-225.
- Dallmeyer, R.D., Ribeiro, A. & Marques, F., 1991. Polyphase Variscan emplacement of exotic terranes (Morais and Bragança Massifs) onto Iberian successions: evidence from $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral ages. *Lithos*, 27: 133-144.
- Gebauer, D., 1993. Intra-grain zircon dating within the Iberian Massif: Olla de Sapo augengneiss, bimodal gneisses from the Massif de Guilleries (Girona), graywacke of the Tentudia Group (Série Negra, SW Spain and the HP/HT-rock association at Cabo Ortegal (Galicia). *Comunicações da XII Reunião de Geologia do Oeste Oeninsular*, Univ. Évora, 2: 41-46.
- Leal, N.G.F. & Munhá, J., 1993. Dualidade de regime de fluidos durante a exumação de rochas máficas e pelíticas. *Mem. Mus. Lab. Mineral. Geol. Fac. Ciênc. Univ. Porto*, 3: 89-91.
- Marques, F., Munhá, J., Ribeiro, A., Rogers, G. & Santos, J., 1995. Lower Palaeozoic granulite metamorphism during extension of Precambrian continental crust in the Bragança CAT: new Nd isotopic data. *Terra Abstracts*, supplement n° 1 to Terra Nova, v. 7: 106.
- Munhá, J. & Ribeiro, A., 1986. Metamorphic evolution of kyanite-eclogites and related high-grade rocks of the Bragança Massif (Trás-os-Montes, NE Portugal). *Maleo*, 2(13): 31.
- Peucat, J.J., Bernard-Griffiths, J., Gil Ibarguchi, J.I., Dallmeyer, R.D., Menot, R.P., Cornichet, J. & Ponce de Leon, M.I., 1990. Geochemical and geochronological cross section of the deep Variscan crust: the Cabo Ortegal high-pressure nappe (northwestern Spain). *Tectonophysics*, 177: 263-292.
- Ribeiro, A., Pereira, E. & Dias, R., 1990. Structure in the northwest of the Iberian Peninsula. In: Dallmeyer, R.D. & Martínez-García, E. (Eds), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*. p. 220-236. Springer-Verlag. Berlin.
- Santos, J., Marques, F., Munhá, J. & Tassinari, C., 1995. A new isotopic tale for Bragança eclogites (NE Portugal). *Terra Abstracts*, supplement n° 1 to Terra Nova, v. 7: 108.