



## Caracterização geoquímica e isotópica de depósitos sedimentares vulcanogénicos do Ordovícico Inferior do Sinclinal de Moncorvo, Nordeste de Portugal

### *Geochemistry and isotopic characterization of Lower Ordovician volcanogenic sedimentary deposits of Moncorvo Synclinal, northeast Portugal*

Teixeira, R. J. S.<sup>1,2</sup>; Urbano, E. E. M. C.<sup>1,2</sup>; Gomes, M. E. P.<sup>1,2\*</sup>; Meireles, C. A.<sup>3</sup>; Corfu, F.<sup>4</sup>; Santos, J. F.<sup>5</sup>; Azevedo, M. R.<sup>5</sup>; Sá, A. A.<sup>1,6</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geologia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal;

<sup>2</sup>CEMUC, Universidade de Coimbra, Portugal; \*mgomes@utad.pt;

<sup>3</sup>Laboratório Nacional de Energia e Geologia, Portugal;

<sup>4</sup>Departamento de Geociências, Universidade de Oslo, Noruega;

<sup>5</sup>Departamento de Geociências, GEOBIOTEC, Universidade de Aveiro, Portugal;

<sup>6</sup>Centro de Geociências, Universidade de Coimbra, Portugal.

#### Resumo

Os ambientes geodinâmicos extensionais na Zona Centro Ibérica, durante o Ordovícico Inferior, favoreceram a ocorrência de episódios vulcânicos. No sinclinal de Moncorvo há evidências desses episódios, preservados sob a forma de depósitos sedimentares vulcanogénicos intercalados em metassedimentos da Formação Marão. Estes depósitos são essencialmente constituídos por quartzo, mas também contêm moscovite, fosfatos da série lazulite-scorzalite, zircão, monazite, raros opacos e turmalina. Embora os depósitos se apresentem recristalizados e com foliação metamórfica penetrativa, a sua granulometria fina, espessura (< 40 cm) e mineralogia sugerem que corresponderiam a depósitos de cinzas distais, com afinidade riodacítica, envolvendo a mistura com materiais detríticos. A datação U-Pb, obtida por ID-TIMS em zircão, indica uma idade preliminar de formação de  $484.5 \pm 3.0$  Ma. Os elevados teores em alguns elementos incompatíveis, a razão CaO/Na<sub>2</sub>O de 0.33 a 1.77, perfis de REE com  $(La/Lu)_N = 3.37$  a 7.96 e discreta anomalia negativa de Eu, valores de  $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  e  $\epsilon Nd_t$  variáveis entre 0.71156 e 0.71304 e -10.8 e -10.0, respectivamente, indicam que os materiais vulcânicos teriam resultado da fusão parcial de metassedimentos semelhantes aos do Grupo do Douro e equivalentes do norte da Zona Centro Ibérica. Porém, o envolvimento de processos sedimentares terá tido uma influência significativa na geoquímica elementar e isotópica destas rochas.

Palavras-chave: Depósitos sedimentares vulcanogénicos, Ordovícico Inferior, Sinclinal de Moncorvo, ID-TIMS, Datação U-Pb

#### Abstract

The extensional geodynamic conditions in the Central Iberian Zone, during Lower Ordovician, were favorable to the occurrence of volcanic episodes. At the syncline of Moncorvo there are evidences of those episodes, which occur in the form of volcanogenic sedimentary deposits interbedded in the metasediments of Marão Formation. These deposits are mainly composed of quartz, but also contain muscovite, phosphates of the lazulite-scorzalite series, zircon, monazite, rare opaques and tourmaline. Despite the recrystallization and metamorphic foliation overprint, the fine-grained texture, the thickness (< 40 cm) and mineralogy of the deposits suggest that they correspond to distal ash-fall layers, with rhyodacitic to dacitic affinity, involving mixing with detrital materials. The U-Pb zircon dating, obtained by ID-TIMS, indicates a preliminary formation age of  $484.5 \pm 3.0$  Ma. The high contents of some incompatible elements, the CaO/Na<sub>2</sub>O ratio between 0.33 and 1.77, the REE pattern with  $(La / Lu)_N = 3.37$  to 7.96 and slight negative Eu anomaly,  $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$  and  $\epsilon Nd_t$  values variable between 0.71156 and 0.71304 and -10.8 and -10.0, respectively, indicate that the volcanogenic materials were derived from partial melting of metasediments similar to those of Douro Group and equivalents from northern Central Iberian Zone. However, the involvement of sedimentary processes may have had significant influence on elemental and isotopic geochemistry of these rocks.

Keywords: Volcanogenic sedimentary deposits, Lower Ordovician, Syncline of Moncorvo, ID-TIMS, U-Pb dating



## Introdução

Na Zona Centro Ibérica (ZCI) há registos de diversos episódios vulcânicos/ vulcanossedimentares, durante o Ordovícico Inferior/Médio. Com efeito, na região da Cantábria, Espanha, a camada de K-bentonite localizada na Formação Barrios (equivalente à Formação Marão) contém zircões com idade U-Pb de  $477.47 \pm 0.93$  Ma, marcando a idade mínima de abertura do oceano Rheic (Gutiérrez-Alonso *et al.* 2007). Em Portugal, próximo de Eucísia, ocorrem metatufitos intercalados na sequência metassedimentar da base do Ordovícico (Formação Vale de Bojas, Membro Eucísia; Sá *et al.*, 2005), enquanto em Mateus, filões sub-vulcânicos porfíricos cortam os metassedimentos do Grupo do Douro. Datações U-Pb de zircões de ambas as zonas indicaram idades de formação de  $482.1 \pm 1.5$  Ma e  $478.0 \pm 1.7$  Ma, respectivamente (Coke *et al.*, 2011). Na Serra do Marão ocorrem metatufos quartzo-riolíticos intercalados em metassedimentos da Formação Marão, com zircões magmáticos que apresentam idades U-Pb de  $480.7 \pm 2.8$  Ma (Teixeira *et al.*, 2013). No sinclinal de Moncorvo, localizado no NE de Portugal, também ocorrem bancadas de depósitos sedimentares vulcanogénicos (DSV) intercalados nas rochas do Ordovícico Inferior. A fim de se determinar a idade deste episódio vulcanossedimentar obtiveram-se dados geocronológicos U-Pb em cristais de zircão e monazite e, além disso, através de geoquímica elementar e de isótopos Rb-Sr e Sm-Nd procurou-se determinar quais os protólitos e mecanismos envolvidos na sua génese.

## Enquadramento geológico

O Sinclinal de Moncorvo localiza-se na ZCI, tendo resultado de um longo processo de deformação durante a orogenia Varisca. Neste sinclinal a Formação Marão (equivalente à fácies do “Quartzito Armoricano”, de idade

Floiano) é caracterizada por sedimentos de plataforma com alguns níveis bioturbados, sendo constituída por quartzitos compactos, por vezes ferríferos, xistos e metagrauvaques. Localmente, ocorrem bancadas de composição metatufítica, intercaladas nos quartzitos ferríferos do flanco norte deste sinclinal. Estas camadas são regulares, concordantes com as unidades adjacentes e têm uma espessura máxima de 40 cm. Na corta do Cabeço de Mua é possível identificar até cinco níveis de DSV.

## Petrografia

Os DSV são essencialmente constituídos por quartzo, mas também contêm moscovite, fosfatos da série lazulite-scorzalite, zircão, monazite, raros opacos e turmalina. Como mineral secundário ocorre rockbridgeite, que se forma por alteração dos fosfatos da série lazulite-scorzalite. Os fosfatos da série lazulite-scorzalite são interpretados como de origem sedimentar, tendo sido afectados por posterior recristalização metamórfica. Os grãos euédricos a subédricos de turmalina são pós-cinemáticos, sendo originados por processos metassomáticos/hidrotermais. A granulometria dos DSV é fina ( $< 1$  mm) e a sua textura apresenta evidências de uma intensa recristalização devido ao metamorfismo regional, sendo facilmente perceptível uma foliação metamórfica penetrativa. A granulometria fina e a espessura das camadas sedimentares vulcanogénicos sugerem que estes correspondem a depósitos de cinzas do tipo distal, com baixa taxa de sedimentação, podendo ter sofrido processos de meteorização e o envolvimento de componentes terrígenas.

## Metodologia

Os elementos maiores e menores dos DSV provenientes do Cabeço de Mua e da Serra do Reboredo foram determinados, na Univ. do País Basco, por ICP-OES (Optima 8300 - Perkin Elmer), enquanto as terras raras foram



determinadas por ICP-MS. Os dados isotópicos de Rb-Sr e Sm-Nd foram obtidos, por ID-TIMS, no Laboratório Central de Análises da Univ. de Aveiro, enquanto os dados geocronológicos U-Pb foram obtidos, por ID-TIMS, no Departamento de Geociências da Univ. de Oslo, em frações de zircão e monazite da amostra AM-1 colhida na Serra do Reboredo.

## Resultados e Discussão

Os DSV apresentam afinidade com rochas de composição riodacítica e dacítica, embora sejam pobres em CaO (< 0.23 %) e Na<sub>2</sub>O (< 0.54 %). Apresentam elevados teores de elementos incompatíveis do tipo LILE (Ba, Rb, K, Sr) e HFSE (Th, Ta, Zr, Hf, Y) e os seus perfis multielementares são subparalelos aos de rochas do Grupo do Douro. Contudo, os DSV são muito mais enriquecidos em P e Sr do que estas rochas metassedimentares (Fig. 1).

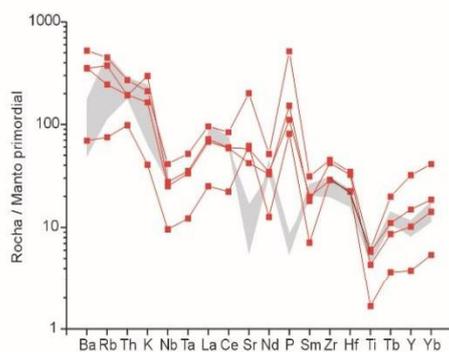


Fig. 1 – Diagrama multielementar dos DSV de Moncorvo, normalizado para o manto primordial. Metassedimentos do Grupo do Douro (Teixeira *et al.*, 2012) representados na área sombreada.

Os teores de REE são moderados ( $\Sigma\text{REE} \approx 73.4$  a  $300.5$ ), embora predominem as LREE. Os perfis de REE apresentam um fracionamento moderado das LREE em relação às HREE ( $\text{La}_N/\text{Lu}_N = 3.37$  a  $7.96$ ) e uma discreta anomalia negativa de Eu. No que diz respeito às LREE e MREE, há um subparalelismo entre os perfis de REE dos DSV e das rochas metassedimentares neoproterozoicas do norte da Zona Centro Ibérica (metassedimentos N-CIZ definidos por Villaseca *et al.*, 2014) onde também se

incluem os metassedimentos do Grupo do Douro (Fig. 2). Contudo, no que se refere às HREE, verifica-se que algumas amostras de DSV apresentam um enriquecimento em HREE ( $\text{Gd}_N/\text{Lu}_N = 0.81$  a  $1.21$ ) que as afasta dos perfis pouco fracionados típicos dos metassedimentos neoproterozoicos N-ZCI (Fig. 2).

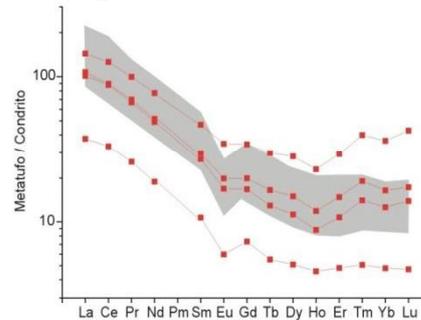


Fig. 2 – Diagrama de REE, normalizado para a média dos condritos. Metassedimentos do Grupo do Douro (Teixeira *et al.*, 2012) e do N-CIZ (Villaseca *et al.*, 2014) representados na área sombreada.

As datações U-Pb obtidas por ID-TIMS mostram que o DSV apresenta uma elevada percentagem de zircões com núcleos herdados. Com efeito, as idades obtidas em vários cristais selecionados, com base no seu hábito prismático alongado, bem como numa monazite, estão compreendidas entre 547 e 685 Ma, sugerindo proximidade ao sistema magmático cadomiano, que desenvolveu ao longo da margem norte gondwânica entre 700 e 545 Ma (Pereira *et al.*, 2012). Contudo, num dos prismas de zircão foi obtida uma idade na concórdia de  $484.5 \pm 3.0$  Ma, que pode ser representativa de um evento vulcânico contemporâneo da deposição sedimentar. Por outro lado, a idade U-Pb obtida num cristal de monazite (317.3 Ma) é claramente mais jovem parecendo datar o evento metamórfico varisco, responsável pelo reequilíbrio isotópico desse mineral. Os dados isotópicos Rb/Sr e Sm/Nd foram determinados em três amostras de DSV, tendo sido obtidos valores de  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{484.5}$  e  $\epsilon\text{Nd}_{484.5}$  variáveis entre 0.71156 e 0.71304 e -10.8 e -10.0, respectivamente. Embora se trate de

DSV, a sua composição geoquímica, nomeadamente o valor da razão  $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}$ , variável entre 0.33 e 1.77, aponta para um protólito de natureza metagrauváquica ou metaígnea. Este facto também é apoiado pelos seus perfis de terras raras (Fig. 2) e valores  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$  e  $\epsilon\text{Nd}_t$  que indicam uma génese a partir da fusão parcial de materiais metassedimentares supracrustais do norte da ZCI (Grupo do Douro ou, de uma forma mais abrangente, “N-CIZ metasediments” de Villaseca *et al.* (2014) (Fig. 3).

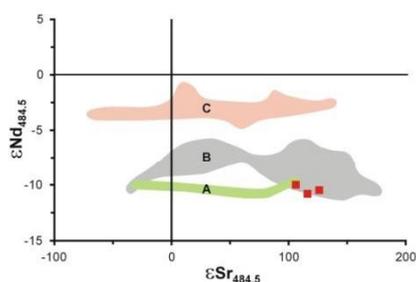


Fig. 3 – Projecção dos DSV no diagrama  $\epsilon\text{Nd}$  versus  $\epsilon\text{Sr}$ . Campos recalculados para 484.5 Ma. A- Xenólitos de granulitos matapelíticos da crosta inferior (Villaseca *et al.*, 1999); B- Metassedimentos do Grupo do Douro (Teixeira *et al.*, 2012) e do N-CIZ (Villaseca *et al.*, 2014); C- Metassedimentos do Grupo das Beiras (Beetsma, 1995) e do S-CIZ (Villaseca *et al.*, 2014).

A projecção dos dados no diagrama de discriminação tectónica Nb-Y de Pearce *et al.* (1984) mostra que os depósitos vulcanogénicos, apesar de toda a ressedimentação sofrida, ainda mantêm uma assinatura sin-colisional e de arco vulcânico, muito próxima dos granitóides intraplaca, indicando que estes poderiam ter resultado da mistura de fundidos crustais com líquidos mantélicos. Este facto estaria de acordo com modelo geodinâmico proposto por Villaseca *et al.* (2014) para a ZCI durante o Ediacárico e Paleozoico Inferior. Ao arco magmático formado numa margem continental activa, estaria associada uma bacia do tipo “back-arc” onde se teriam depositado os sedimentos correspondentes ao Grupo do Douro. O regime extensivo preponderante na

bacia do tipo “back-arc” teria permitido a instalação de rochas sub-vulcânicas, vulcânicas e vulcano-sedimentares, formadas a partir da fusão parcial desses materiais crustais (Díez Montes *et al.*, 2010; Villaseca *et al.*, 2014). Contudo, este cenário tectónico deve ser encarado com prudência, uma vez que o modelo de “rifting” continental também já foi considerado na explicação destes eventos (e.g. Fernández Suárez *et al.*, 2000). É importante salientar que o envolvimento de processos sedimentares deverá ser considerado, pois terá influenciado a geoquímica elementar e isotópica destes depósitos.

## Referências

- Beetsma, J. J. 1995. *The late Proterozoic/Paleozoic and Hercynian crustal evolution of the Iberian Massif, N Portugal*. Tese de doutoramento, Vrije Universiteit Amsterdam. 223 pp.
- Coke, C.J.M., Teixeira, R.J.S., Gomes, M.E.P., Corfu, F., Rubio Ordóñez, A. 2011. Early Ordovician volcanism in Eucisia and Mateus areas, Central Iberian Zone, northern Portugal. *Goldschmidt Conference Abstracts, Mineralogical Magazine*, 685.
- Díez Montes, A., Martínez Catalán, J.R., Bellido Mulas, F., 2010. Role of the Olla de Sapo massive felsic volcanism of NW Iberia in the Early Ordovician dynamics of northern Gondwana. *Gondwana Research* 17, 363-376.
- Fernández Suárez, J., Gutiérrez Alonso, G., Jenner, G. A. & Tubrett, M. N., 2000. New ideas on the Proterozoic-Early Paleozoic evolution of NW Iberia. Insights from U–Pb detrital zircon ages. *Precambrian Research*, 102, 185-206.
- Gutiérrez-Alonso, G., Fernández-Suárez, J., Gutiérrez-Marco, J.C., Corfu, F., Murphy, J.B., Suárez, M., 2007. U–Pb depositional age for the upper Barrios Formation (Armorican Quartzites facies) in the Catabrian zone of Iberia: Implications for stratigraphic correlation and paleogeography. *Geological Society of America, Special Paper* 423, 287-296.
- 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, 956-983.
- Pereira, M. F., Linnemann, U., Hofmann, M., Chichorro, M. Solá, A.R. Medina, J., Silva, J.B. 1984. The provenance of Late Ediacaran and Early Ordovician siliciclastic rocks Southwest Central Iberian Zone: Constraints from detrital zircon data on northern Gondwana margin evolution during the late Neoproterozoic. *Precambrian Research* 192-195, 166-189.
- Sá, A. A., Meireles, C., Coke, C. Gutiérrez-Marco, J. C. 2005. Unidades litoestratigráficas do Ordovícico da região de Trás-os-Montes (Zona Centro-Ibérica, Portugal). *Comunicações Geológicas* 92, 31-74.
- Teixeira, R.J.S., Coke, C., Gomes, M.E.P., Corfu, F., Dias, R. 2013. ID-TIMS U–Pb Ages of Tremadocian-Floian ash-fall tuff beds from Marão and Eucisia areas, northern Portugal. *William Smith Meeting, Abstract Book*, 152-154.
- Teixeira, R.J.S., Neiva, A.M.R., Gomes, M.E.P., Corfu, F., Cuesta, A., Croutace, I.W. 2012. The role of fractional crystallization in the genesis of early syn-D3, tin-bearing mineralized Variscan two-mica granites from the Carraceda de Ansiães, northern Portugal. *Lithos* 153, 177-191.
- Villaseca, C., Merino, E., Oyarzun, R., Orejana, D., Pérez-Soba, C., Chicharro, E. 2014. Contrasting chemical and isotopic signatures from Neoproterozoic metasediments in the Central-Iberian Zone of pre-Variscan Europe (Spain): Implications for terrane analysis and Early Ordovician magmatic belts. *Precambrian Research* 245, 131-145.