

A origem e evolução dos magmas graníticos de Macau à luz de dados de geoquímica elementar e isotópica

Source and evolution of Macau granitic magmas: insights from whole-rock geochemistry and isotopic signatures

Quelhas, P.^{1,2*}, Mata, J.², Lou, U.T.¹, Borges, R.¹, Ribeiro, M.L.³, Dias, Á.A.^{1,2}

¹ ISE, Institute of Science and Environment (University of Saint Joseph, Macau)

*pedro.quelhas@usj.edu.mo

² IDL, Instituto Dom Luiz (Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Portugal)

³ LNEG, Laboratório Nacional de Engenharia e Geologia, Portugal

Resumo

Neste estudo são apresentados dados de geoquímica elementar e isotópica (Sr e Nd) para os granitos mesozóicos de Macau. Os dados sugerem que os granitos tipo-I em Macau resultaram de uma evolução magmática complexa envolvendo cristalização fraccionada e interações magma/fluido em fases mais tardias. A isócrona Rb-Sr preliminar que obtivemos aponta para uma idade de ~160 Ma dos granitos de Macau, que é consistente com as que têm sido obtidas para granitos Jurássicos do tipo-I de áreas adjacentes. Com $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.7081\text{--}0.7201$, $\epsilon\text{Ndt} = -10.30$ a -6.39 e $T_{2\text{DM}} = 1.47\text{--}1.78$ Ga, estes granitos foram provavelmente gerados a partir de protólito(s) crustal(is) paleoproterozóico(s) a mesoproterozóico(s) com contribuição de magmas mantélicos.

Palavras-chave: Macau, granitos, cristalização fraccionada, evolução magmática, protólito.

Abstract

We report here geochemical and Sr–Nd whole-rock isotopic data for the Macau granites. The data suggests that Macau I-type granites were the result of a complex magmatic evolution involving fractional crystallization and late-stage fluid-melt interactions. A preliminary Rb–Sr isochron yields an age of ~160 Ma for Macau granites, which is consistent with those obtained for I-type Jurassic granites in surrounding areas. Having $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0.7081\text{--}0.7201$, $\epsilon\text{Ndt} = -10.30$ to -6.39 and $T_{2\text{DM}} = 1.47\text{--}1.78$ Ga, these granites were probably derived from Paleoproterozoic to Mesoproterozoic crustal protolith(s) with minor addition of mantle-derived magmas.

Keywords: Macau, granites, fractional crystallization, magma evolution, protolith.

Introdução

Macau está localizado no litoral do Sudeste (SE) da China, a Sul da província de Guangdong, a cerca de 50 Km a Oeste de Hong Kong. O bloco litosférico Cathaysia, onde Macau se insere, consiste num soco cristalino de idades paleoproterozóicas a mesoproterozóicas, coberto por metasedimentos proterozóicos e vulcanitos e sedimentos de idades compreendidas entre o Proterozóico superior (Ediacarano) e o Mesozóico (Chen and Jahn, 1998; Shen et al., 2000). Durante o Mesozóico tardio, a subducção da placa Paleo-Pacífica sob a placa Euroasiática induziu intenso magmatismo granítico no SE da China, hoje aflorante com ~3500 Km de comprimento e ~800 Km de largura (Zhou et al., 2006), área na qual Macau se integra.

De acordo com a geocronologia realizada por Ribeiro et al. (1992) através do método de datação K-Ar aplicado à biotite, as rochas graníticas de Macau apresentam dois períodos distintos de intrusão: 168-154 Ma e ~94 Ma. Neste trabalho iremos apresentar dados elementares e isotópicos (Sr e Nd) com o intuito de melhor compreender as causas da variabilidade composicional dos granitos de Macau e a fonte que deu origem a estes magmas.

Enquadramento Geológico

Macau é geologicamente composto por intrusões graníticas cortadas por uma rede filoniana de composições intermédias a ácidas (Fig. 1). O encaixante consiste em rochas metasedimentares paleozóicas (Ribeiro et al., 1992). Apesar da pequena área do território (~30 Km²), as rochas magmáticas, em particular as rochas graníticas, apresentam uma considerável variabilidade textural, mineralógica e composicional.

Foram também reconhecidos encraves máficos de composições monzograníticas e tonalíticas e um pequeno filão de monzodiorito quártzico.

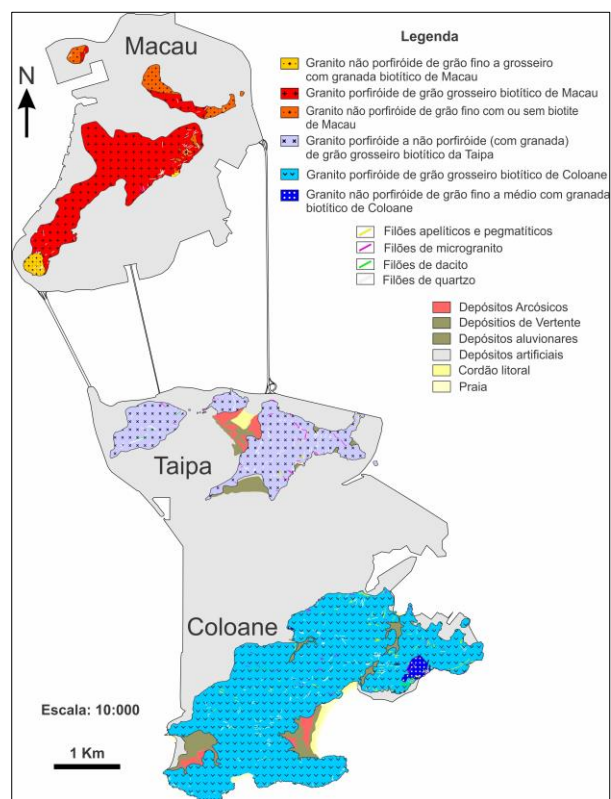


Fig. 1 – Mapa geológico simplificado de Macau.

Métodos

58 amostras foram analisadas para geoquímica de rocha-total de elementos maiores, traço e Terras Raras (REE) por ICP-OES, ICP-MS e INAA, no Activation Laboratories (Canadá).

23 amostras foram posteriormente escolhidas para análises isotópicas de rocha-total no Laboratoire G-Time "Géochimie: Traçage isotopique, minéral et élémentaire" na "Université Libre de Bruxelles" (Bélgica).

Processos de génese e evolução mágnica

A petrografia e química elementar de rocha-total indicam que os granitóides de Macau são granitos biotíticos calco-alcalinos metaluminosos a fracamente peraluminosos (ANK = 0.96–1.13) do tipo-I (Dias et al., 2016; Quelhas et al., 2016; Quelhas et al., 2017), com diferentes graus de fraccionaço. Dentro destes foram

distinguidos dois grupos principais: granitos porfiróides (monzogranitos) com $La_N/Yb_N = 2.05-11.83$ e temperaturas de saturação em zircão (T_{Zr}) variando entre $727-835^\circ C$; granitos não porfiróides (sienogranitos a granitos com feldspato alcalino) com $La_N/Yb_N = 0.12-1.2$ e $T_{Zr} = 697-735^\circ C$.

A elevada correlação apresentada pelas 23 amostras isotopicamente analisadas no diagrama isocrónico Rb-Sr ($r^2 = 0.9949$) indica um elevado grau de co-magmatismo das amostras estudadas e uma idade de cerca de 160 Ma. Esta idade é similar a idades determinadas para granitos tipo-I de idades jurássicas em áreas envolventes no SE da China (e.g. Huang et al., 2013; Zhang et al., 2015) e em Hong Kong (Sewell et al., 2012) e às obtidas por Ribeiro et al. (1992) para a maioria das rochas de Macau. A modelação geoquímica mostra que parte da variabilidade dos elementos maiores e traço se deve a cristalização fraccionada de feldspato alcalino, plagioclase, biotite, óxidos de Fe e Ti, titanite e hornblenda. A variação dos elementos das terras Raras (REE) parece ser maioritariamente controlada por fraccionamento de alanite, monazite e em menor grau de apatite, enquanto que a ocorrência de minerais acessórios como a granada, fergusonite, columbite e gadolinite nos granitos mais diferenciados explica o enriquecimento relativo em Y, terras raras pesadas (HREE) e elementos de elevado potencial iónico (HFSE) como o Nb, Ta, U e Pb. A presença de ligeiros efeitos tétrades (Fidelis et al., 1996) nos padrões de REE dos granitos mais evoluídos ($TE_{1,3} = 1-1.12$) associada às suas razões não-condríticas de Zr/Hf (12.24–25), K/Ba (498.9–9560), K/Rb (101.83–158.7), La/Nb (0.15–2.18) e La/Ta (0.69–11.32), sugere a interação entre um magma fortemente diferenciado e um líquido aquoso quente em fases tardias da evolução magmática.

As amostras estudadas apresentam razões isotópicas iniciais de Sr radiogénicas $^{87}Sr/^{86}Sr_i$ (0.7081–0.7201) mas com $^{143}Nd/^{144}Nd_i$ (0.5119–0.5121) inferiores aos valores condríticos, correspondendo a valores de ϵNdt ($t = 160$ Ma) entre -10.30 e -6.39. As idades modelo

de Nd calculadas relativamente ao modelo de manto empobrecido e considerando estágio duplo (T_{2DM} ; Liew & Hoffman, 1988) variam entre 1.78 e 1.47 Ga, indicativas de fontes crustais de idades paleoproterozóicas a mesoproterozóicas.

No entanto, as elevadas T_{Zr} ($727-835^\circ C$) determinadas para os granitos menos fraccionados, bem como a relativa abundância de encraves máficos nos granitos, são sugestivos de contribuição de magmas mantélicos, o que não é negado pelas linhas de mistura envolvendo assinaturas isotópicas. Esta ter-se-á feito sentir não só quimicamente, mas também enquanto fonte de calor indutora de fusão parcial da crosta inferior com consequente geração de magmatismo granítico regional.

Conclusões

Os granitos de Macau apresentam uma variabilidade petrográfica e geoquímica consistente com a actuação de processos de cristalização fraccionada e de interacção magma/fluido em fases tardias da evolução magmática. Os dados isotópicos sugerem que as diferentes fácies são co-magmáticas com uma idade de ~160 Ma. As composições isotópicas sugerem que os magmas graníticos de Macau terão sido gerados a partir de um protólito crustal de idade compreendida entre o Paleoproterozóico e o Mesoproterozóico, com provável pequena contribuição composicional de magmas máficos mantélicos.

Agradecimentos

Investigação financiada pelo Fundo para o Desenvolvimento das Ciências e da Tecnologia (FDCT) de Macau, Projecto Ma.G.I.C., nº 043/2014/A1.

Referências

- Chen, J., Jahn, B., 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics* 284, 101–133.
- Dias, Á. A., Quelhas, P.M., Lou, U.T., Mata, J. & Ribeiro, M.L., 2016. Petrology and Geochemistry of Granitic Rocks from Macao. *Goldschmidt2016*. 665, 05c-665.

Yokohama, Japan. 26 June-1 July.

Fidelis, I. and Siekierski, S. (1966) The regularities in stability constants of some rare earth complexes. *J. inorg. nucl. Chem.*, 28, 185-188.

Huang, H.-Q., Li, X.-H., Li, Z.-X., Li, W.-X., 2013. Intraplate crustal remelting as the genesis of Jurassic high-K granites in the coastal region of the Guangdong Province, SE China. *J. Asian Earth Sci.* 74, 280–302.

Liew TC, Hofmann AW (1988) Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian Fold Belt of Central Europe: indications from a Nd and Sr isotopic study. *Contrib Mineral Petrol* 98:129–138.

Quelhas, P.M., Mata, J., Lou, U.T., Ribeiro, M.L. & Dias, Á. A., 2016. Mesozoic Granitic Magmatism in Macao, Southeast China. *2016 Fall Meeting, AGU. V11B-2775*. San Francisco, USA. 12-16 December.

Quelhas, P.M., Mata, J., Lou, U.T., Borges, R., Ribeiro, M.L. & Dias, Á. A., 2017. New geochemical constraints on I-type granites of Macao: petrogenesis and geodynamic implications. *Goldschmidt2017*. 06d-2126. Paris, France. 13-18 August.

Ribeiro, M.L., Ramos, J.M.F, Pereira, E. & Dias, R.P., 1992. *Notícia Explicativa da Carta Geológica de Macau na escala 1/5000*. Lisboa.

Shen, W., Ling, H., Li, W., Wang, D., 2000. Crust evolution in Southeast China: evidence from Nd model ages of granitoids. *Sci. China Ser. D Earth Sci.* 43, 36–49.

Sewell, R.J., Davis, D.W., Campbell, S.D.G., 2012. High precision U–Pb zircon ages for Mesozoic igneous rocks from Hong Kong. *J. Asian Earth Sci.* 43, 164–175.

Zhang, Y., Yang, J.-H., Sun, J.-F., Zhang, J.-H., Chen, J.-Y., Li, X.-H., 2015. Petrogenesis of Jurassic fractionated I-type granites in Southeast China: Constraints from whole-rock geochemical and zircon U–Pb and Hf–O isotopes. *J. Asian Earth Sci.* 111, 268–283.

Zhou, X.M., Sun, T., Shen, W., Shu, L., Niu, Y., 2006. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in south China: a response to tectonic evolution. *Episodes* 29, 26–33.