



**Geoquímica das estruturas estratiformes sub-circulares da ilha do Sal,
Arquipélago de Cabo Verde**

***Geochemistry of sub-circular layered structures from Sal Island,
Cape Verde Archipelago***

R. Caldeira^{1, 2, 3}, L. C. Silva^{2, 3}

¹ LNEG – Unidade de Geologia e Cartografia Geológica, Alfragide, Portugal. (rita.caldeira@lneg.pt)

² CeGUL – Centro de Geologia da Universidade de Lisboa, Portugal

³ IICT Instituto de Investigação Tropical – DES

Resumo

Apresenta-se o estudo de pequenas intrusões bandadas sub-circulares que ocorrem na ilha do Sal, Arquipélago de Cabo Verde. São estruturas constituídas por alternância de bandas sub-horizontais de piroxenitos e gabros na base, a essexitos e sienitos no topo, por vezes com intercalações de gabros com bandado fino sub-vertical. Estudos petrográficos, geoquímicos, mineraloquímicos e petrogenéticos, integrados com os dados de campo, apontam para que estas estruturas correspondam a intrusões sub-vulcânicas originadas por injeção de magmas de composição basanítica em pequenas câmaras magmáticas.

Palavras chave: Intra-vulcânico, Câmara magmática, Petrografia, Geoquímica.

Abstract

The investigation of small sub-circular layered intrusions on Sal Island, Cape Verde Archipelago, is presented. These structures are composed of alternating subhorizontal layers of alkali pyroxenites and gabbroic rocks, including banded gabbros, to essexites and/or syenites on top. Fine-scale, sub-vertical, rhythmic phase layering occurs within some of the gabbroic bands. Petrographic, geochemistry, mineral chemistry and petrogenetic analyses together with field data suggest that these intra-volcanic intrusions were built up by injection of small magma batches of basanitic composition into small magma chambers.

Keywords: Intra-volcanic, Magmatic chamber, Petrography, Geochemistry.

Introdução

A ilha do Sal é uma das mais erodidas do Arquipélago de Cabo Verde o que favorece a exposição de várias gerações de rochas granulares silicatadas. As mais recentes (~16 Ma: Torres et al., 2002a) correspondem a pequenas intrusões sub-circulares, intra-vulcânicas, bandadas que ocorrem no seio de brechas vulcânicas e de rochas granulares mais antigas profusamente cortadas por filões, pertencentes ao Complexo Eruptivo Antigo (Torres et al., 2002b). A investigação destas pequenas intrusões bandadas, sub-circulares, que ocorrem na ilha do Sal, é importante para a compreensão dos processos de diferenciação magmática em reservatórios magmáticos não muito profundos associados ao vulcanismo intra-placa das ilhas oceânicas em geral e de Cabo Verde em particular. Apresentam-se aqui os dados de campo, petrográficos, geoquímicos, mineraloquímicos e petrogenéticos, centrados em 6 destas estruturas discutindo-se os seus processos de implantação e a génese e evolução dos líquidos magmáticos que estiveram na origem dum espectro composicional que vai dos piroxenitos aos sienitos.

Descrição das Estruturas Intravulcânicas

As intrusões estudadas correspondem a pequenas estruturas sub-circulares, de 40 a 650 m de dimensão máxima, com diferentes faixas litológicas, sub-horizontais (bandado modal), que à superfície parecem ter zonamento concêntrico. Consoante a sua dimensão e composição dos diferentes níveis foram classificadas como estruturas compósitas ou simples. As primeiras apresentam uma zona externa/inferior composta por níveis alternados (150 a 10 m) de piroxenitos e rochas gabróicas (gabros e teralitos) e uma zona central/superior (50 a 150 m) de essexitos e/ou sienitos. É frequente a ocorrência de níveis gabróicos com bandado rítmico de fases minerais, centimétrico a milimétrico, subvertical, com alinhamento de cristais de feldspatos (essencialmente plagioclases) alternando com minerais máficos como a clinopiroxena e a olivina. O padrão mostrado pelos dois tipos de bandado, modal e rítmico, sugere a influência de correntes de convecção no interior do reservatório magmático. As estruturas simples exibem apenas a zona superior a qual é essencialmente composta por sienitos e, por vezes, essexitos, embora possam corresponder a estruturas compósitas que não afloram em toda a sua extensão. Estas estruturas são cortadas por (poucos) filões de composição basanítica, contrastando com a elevada densidade de filões que atravessa as rochas granulares circundantes, mais antigas.

Petrografia

Os estudos petrográficos confirmaram a existência de variações nas proporções relativas dos minerais constituintes dos diferentes níveis litológicos identificados nas observações de campo i.e. evidenciaram a existência de bandado modal nestas estruturas intravulcânicas. Não existem grandes diferenças petrográficas nos níveis do mesmo tipo entre as diferentes estruturas verificando-se uma transição gradual de uma litologia para outras adjacentes.

Os piroxenitos variam de clinopiroxenitos a clinopiroxenitos anfibólicos com texturas acumuladas a ortocumuladas indicando formação por precipitação gravítica. São essencialmente compostos por clinopiroxena a qual por vezes está parcial a totalmente substituída por anfíbola tardia. Os óxidos, em especial a magnetite e ilmenite, estão sempre presentes e a plagioclase intersticial surge em pequenas percentagens. A olivina, muito alterada, pode ocorrer mas não é frequente.

Os gabros são essencialmente constituídos por elevada percentagem de clinopiroxena castanho-púrpura e plagioclase subordinada. Nalgumas amostras detectam-se relíquias de olivina. A clinopiroxena mostra frequentemente zonamento núcleo-bordo que consoante a litologia consiste num reforçar da cor castanho-púrpura para o bordo reflectindo aumento em TiO_2 ou no aparecimento de bordos esverdeados como consequência dum incremento em Na_2O . A hornoblenda e a biotite ocorrem muitas vezes associadas a clinopiroxena e a anfíbola, e a nefelina, alterada, pode ser abundante (gabros teralíticos). Os óxidos, anédricos, e a apatite são frequentes enquanto o feldspato alcalino é raro.

Os gabros bandados são caracterizados pela alternância de microbandas (5 mm a 1 cm) felsicas e máficas. As primeiras são ricas em cristais alongados e orientados de plagioclase, com nefelina e algum feldspato alcalino intersticial. As máficas são ricas em clinopiroxena, hornoblenda e óxidos, podendo conter pequenas quantidades de biotite e olivina. Nos essexitos

os cristais de clinopiroxena variam de incolores a castanho claro mas existem também cristais de menores dimensões de clinopiroxena verde especialmente próximo da zona de transição para os sienitos. Os restantes minerais constituintes dos essexitos são, em ordem decrescente de percentagem, a nefelina, caersutite, plagioclase, óxidos, feldspato alcalino, apatite, biotite e esfena.

Os sienitos são constituídos por clinopiroxena verde, por vezes com núcleos rosados e bordos hastingíticos, feldspato alcalino, caersutite, nefelina, plagioclase e óxidos.

Química Mineral

A química mineral mostra que existe uma variação sistemática nas composições dos principais minerais dos piroxenitos e gabros para os essexitos e sienitos, típico de bandado críptico e compatível com um processo de evolução por cristalização fraccionada. Nem sempre esta variação é linear indiciando a intervenção de outros processos.

As clinopiroxenas mostram um decréscimo em Mg# de 86 para 70. São ricas em Ca projectando-se todas no campo dos diópsidos mas em dois grupos. Um correspondente às clinopiroxenas incolores a castanho-púrpura e outro muito próximo do campo da hedenbergite correspondendo às clinopiroxenas esverdeadas presentes nos sienitos e nalguns bordos das primeiras. Verifica-se uma boa correlação entre os valores de Mg# da cpx e da rocha total, com diminuição nas percentagens de Al_2O_3 e aumento de SiO_2 , FeO, MnO e Na_2O dos piroxenitos para os sienitos. O TiO_2 de um modo geral diminui dos piroxenitos para os sienitos (média 3.41 - 1.40 %) mostrando comportamento compatível. No entanto, quando se consideram as variações núcleo-bordo, observa-se um aumento de TiO_2 nos cristais dos piroxenitos/gabros (1.5 a 4.25 %) e diminuição nos essexitos/sienitos (3.5 a 0.8 %), sugerindo que o teor de Ti nas clinopiroxenas tenha sido afectado pela cristalização simultânea de óxidos-Ti durante o processo de cristalização fraccionada.

A aplicação do geotermobarómetro de Soesoo (1997) indica temperaturas de cristalização das clinopiroxenas entre 1150 e os 1000 °C, correspondendo as mais baixas às piroxenas dos sienitos que também indicam as menores pressões de cristalização (< 2 kb) enquanto as dos piroxenitos, gabros e essexitos variam entre 2 e 5 kb.

A maioria dos feldspatos é da série da plagioclase. Nestas, a percentagem de molécula anortítica decresce de 82 para 24 dos piroxenitos para os sienitos. É frequente a diminuição de %An do núcleo para o bordo dos cristais, sendo habitual nos essexitos/sienitos a plagioclase estar a rodeada por feldspato alcalino. As estimativas de temperatura para o par plagioclase/feldspato alcalino (Elkins & Grove, 1990) indicam um decréscimo de 974 °C nos gabros para 678 °C nos essexitos/sienitos.

A olivina é pouco abundante, fazendo suspeitar que existem níveis inferiores de cumulados de olivina, provavelmente wherlíticos ou duniticos. Está presente em pequenas percentagens nos clinopiroxenitos e nos gabros e como xenocristais nos sienitos. Mostra uma forte diminuição em fosterite dos gabros ($Fo = 85$) para os gabros bandados ($Fo = 50$).

As anfíbulas são cálcicas (horneblendas), a maioria caersutites, algumas ferro-pargasites e hastingites. Esta fase não mostra variação sistemática, a não ser no aumento em Si, dos níveis inferiores para os superiores.

Os óxidos são magnetites, titanomagnetites e ilmenites. Os cálculos oxibarmétricos com base no par magnetite/ilmenite (Anderson & Lindsey, 1985) mostraram condições de fugacidade do oxigénio próximas do tampão FMQ.

Geoquímica

Tal como para as rochas lávicas do Sal (Torres, 1998) a composição química de rocha total das diferentes intrusões intravulcânicas sub-circulares é característica de magmas alcalinos sub-saturados. Todas as amostras acusam nefelina normativa com percentagens entre os 7 e os 15%. A tendência de evolução verificada dos piroxenitos para os sienitos, com aumento em SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O e K_2O , e diminuição em TiO_2 , MgO, CaO e FeO é compatível com o processo de cristalização fraccionada a partir de um magma basanítico.

A projecção dos elementos traço por tipos de litologia mostra que existe um aumento consistente em elementos incompatíveis ao longo da sequência piroxenito-sienito (Zr = 207 - 467 ppm, La = 21 - 69 ppm, Ce = 49 - 128 ppm, Nb = 39 - 160 ppm), além do normal decréscimo em elementos compatíveis (Ni = 100 - 20 ppm, Cr = 110 - 20 ppm). Os gabros

bandados estão demasiado empobrecidos nestes elementos (Cr = 30 ppm, Ni = 30 ppm) relativamente aos essexitos o que é interpretado como resultado de uma maior concentração de plagioclase. Os baixos conteúdos em Ni (< 100 ppm) são atribuídos à extracção prévia da olivina.

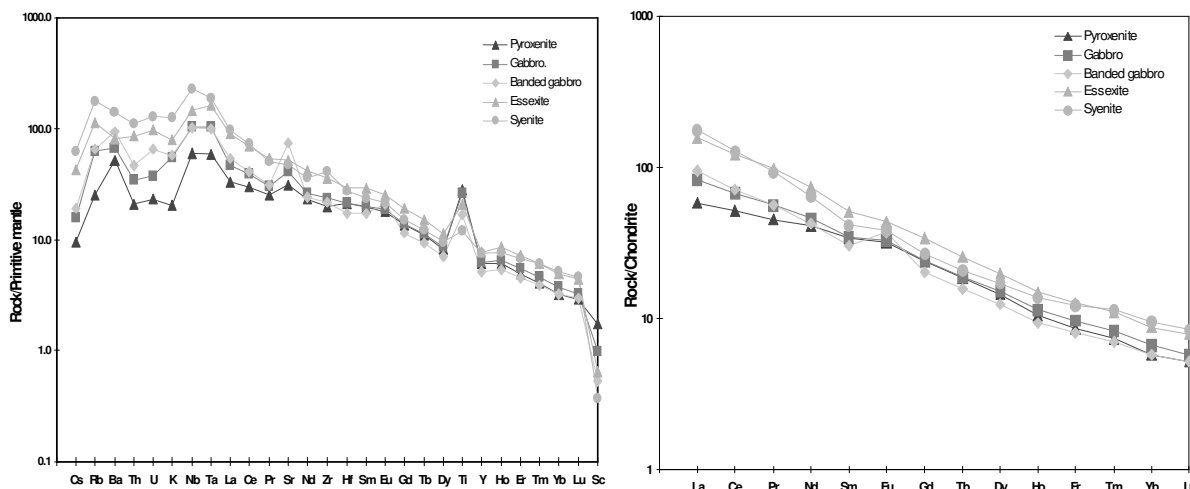


Fig. 1 – Padrões de distribuição dos elementos incompatíveis, normalizados em relação ao manto primordial (Sun & McDonough, 1989) e da terras raras (REE) normalizadas em relação aos condritos (McDonough & Sun, 1995). Valores médios por litologia.

Como esperado, os padrões de elementos incompatíveis e de terras raras (fig. 1) são quase sempre paralelos e mostram que o enriquecimento aumenta para as litologias mais diferenciadas. Os padrões de elementos incompatíveis são típicos de séries alcalinas em ilhas oceânicas intraplaca. O enriquecimento LREE/HREE e os valores elevados de HSFE como o Nb e o Ta relativamente aos LREE e aos LILE são típicos de uma fonte magmática com influência do componente mantélico HIMU. O padrões de terras raras mostram enriquecimento de LREE relativamente aos HREE [(La/Yb)_n = 8.64 – 25.28]. Estes padrões não são totalmente paralelos pois os gabros bandados apresentam uma anomalia positiva em Eu e os valores mais baixos de HREE devido à acumulação de feldspatos s.l.

Conclusões

As estruturas intravulcânicas sub-circulares da ilha do Sal correspondem a câmaras magmáticas que foram preenchidas por magmas alcalinos do tipo basanítico. Os dados petrográficos e químicos são compatíveis com evolução por cristalização fraccionada, como o incremento geral em elementos incompatíveis e o decréscimo no Mg# e em elementos compatíveis dos níveis da base para o topo testemunham, tendo a acumulação de cristais por deposição gravítica levado à formação dos piroxenitos e gabros acumulados. Estes dois processos estão na origem dos bandados modal e críptico da estruturas intravulcânicas e foram ocasionalmente perturbados pela acção de correntes de convecção composicionais e térmicas gerando estruturas de fluxo e de arrastamento de cristais, que estão traduzidas nos gabros de bandado rítmico fino, sub-vertical. A reacção parcial dos líquidos mais fraccionados com os restantes cristais em suspensão explica a composição e textura dos essexitos. Os sienitos correspondem à cristalização do líquido residual. As estimativas baseadas na química mineral indicaram condições de fugacidade do oxigénio próximas do tampão FMQ, temperaturas de cristalização entre os 1150 e os 650 °C e pressões abaixo dos 5 kb.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela FCT através do projecto PLINT (POCTI/CTA/45802). Os autores agradecem a revisão e sugestões da Prof. Doutora Maria Rosário Azevedo que muito beneficiaram este resumo.

Referências

- Anderson, D.J., Lindsey, D.H., 1985. New (and final!) models for the Ti-magnetite/ilmenite geothermometer and oxygen barometer. EOS 66:416.
- Elkins & Grove, 1990. Ternary feldspar experiments and thermodynamic models. American Mineralogist, 75 (5-6), 544-559.
- McDonough, W.F., Sun, S.S., 1995. The composition of the earth. Chem. Geol., 120: 223-253.
- Soesoo, A., 1997. A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT- estimations. GFF, 19, 55-60.
- Sun, S.S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D. and Norry, M.J. (eds) – Magmatism in the ocean basins, Geological Society Spec. Publ., 42: 313-345.
- Torres, P.C., 1998. Geologia e petrogénese das formações vulcânicas da ilha do Sal, arquipélago de Cabo Verde. Dissertação apresentada para acesso à categoria de investigador auxiliar. IICT, Lisboa, 212p.
- Torres, P.C., Silva, L. C., Serralheiro, A., Tassinari, C. Munhá, J., 2002a. Enquadramento geocronológico pelo método K-Ar das principais sequências vulcano-estratigráficas da ilha do Sal – Cabo Verde. Garcia de Orta, Ser. Geol 18:9-13.
- Torres, P.C., Silva, L. C., Serralheiro, A., Mendes, M.H., Macedo, J.R., Mota Gomes, A., 2002b. Geologia da Ilha do Sal. Comunicações, Série Ciências da Terra, 10, 57 p.