



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

TESE DE DOUTORADO

**PETROGÊNESE E EVOLUÇÃO MAGMÁTICA DA SUÍTE
SANUKITÓIDE RIO MARIA, TERRENO GRANITO-
GREENSTONE DE RIO MARIA, CRÁTON AMAZÔNICO**

Tese apresentada por:

MARCELO AUGUSTO DE OLIVEIRA

**BELÉM
2009**



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**PETROGÊNESE E EVOLUÇÃO MAGMÁTICA DA SUÍTE
SANUKITÓIDE RIO MARIA, TERRENO GRANITO-
GREENSTONE DE RIO MARIA, CRÁTON AMAZÔNICO**

TESE APRESENTADA POR

MARCELO AUGUSTO DE OLIVEIRA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA.

Data de Aprovação: **25 /08 /2009**

Comitê de Tese:

ROBERTO DALL'AGNOL (Orientador)

BRUNO SCAILLET

CLÁUDIO NERY LAMARÃO

LAURO VALENTIM STOLL NARDI

VALDECIR DE ASSIS JANASI

Belém

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

- O48c Oliveira, Marcelo Augusto de
Petrogênese e evolução magmática da Suíte Sanukitóide Rio Maria, Terreno Granito – *Greenstone* de Rio Maria, Cráton Amazônico / Marcelo Augusto de Oliveira – 2009
176 f. : il.
Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.
Orientador; Roberto Dall’Agnol.
1. Arqueano. 2. Séries sanukitóides. 3. Cráton Amazônico. 4. Condições de cristalização. 5. Granitóides Alto-Mg. 6. Química mineral. 7. Petrogênese. 8. Modelamento geoquímico. 9. Manto Metassomatizado. I. Universidade Federal do Pará. II. Dall’Agnol, Roberto, Orient. III. Título.

CDD 20. ed.: 551.712

RESUMO

Rochas que compõem a Suíte Sanukitóide arqueana Rio Maria (2,87 Ga) estão expostas em vários domínios do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria, sudeste do Cráton Amazônico. As rochas da suíte são intrusivas em *greenstone-belts* do Supergrupo Andorinhas, nos tonalitos Arco Verde, Mariazinha e Caracol, e no Trondhjemitó Mogno, enquanto que leucogranitos potássicos de afinidade cálcico-alcálica, o Trondhjemitó Água Fria e granitos paleoproterozóicos da Suíte Jamon são intrusivos nas rochas da Suíte Rio Maria. As rochas dominantes da suíte têm composições granodioríticas com monzogranitos subordinados, e menores proporções de quartzo-dioritos ou quartzo-monzodioritos (rochas intermediárias), além de rochas acamadadas e enclaves máficos. Rochas da Suíte Rio Maria apresentam claramente características de séries sanukitóides (alto #Mg, elevados conteúdos de Cr e Ni, enriquecimento em elementos terras raras leves e altos conteúdos de Ba e Sr, comparados as típicas séries cálcico-alcálicas). Os contrastes geoquímicos significativos entre as diferentes ocorrências de granodioritos que compõem a suíte sugerem que a unidade anteriormente denominada Granodiorito Rio Maria, corresponde realmente a uma suíte de rochas predominantemente granodioríticas, as quais derivaram a partir de magmas similares, porém distintos.

Apesar das amplas similaridades geoquímicas, granodioritos, rochas intermediárias e enclaves máficos mostram algumas diferenças significantes em seus padrões de elementos terras raras e no comportamento de Rb, Ba, Sr e Y. Os granodioritos e rochas intermediárias não são relacionados por processos de cristalização fracionada e a evolução interna das rochas intermediárias foi comandada pelo fracionamento de anfíbólio + biotita ± apatita, enquanto que os granodioritos evoluíram pelo fracionamento de plagioclásio + anfíbólio ± biotita. As rochas acamadadas devem ter sido derivadas a partir do magma granodiorítico pela acumulação de 50% de anfíbólio, no caso dos níveis mais ricos em material cúmulus, e 30% de anfíbólio ± plagioclásio, no caso dos níveis ricos em material intercúmulus.

Dados geoquímicos e testes de modelamento sugerem que os magmas granodiorítico e do enclave máfico foram originados em diferentes profundidades e devem ter sofrido processo de “mingling” durante a ascensão e final da colocação, pois só uma interação limitada poderia explicar o comportamento geoquímico relativamente uniforme desses dois grupos de rochas e os *trends* distintos mostrados por cada grupo em diferentes diagramas modais e geoquímicos. Esses contrastes entre granodioritos e enclaves máficos são refletidos no comportamento de Sr e Y, os

quais são geralmente admitidos como bons indicadores das condições de pressão reinantes quando da formação dos magmas. O comportamento desses elementos, observados em rochas sanukitóides de diferentes terrenos arqueanos do mundo, indica que os contrastes observados entre as séries sanukitóides granodioríticas (granodioritos) e monzoníticas (enclaves máficos) são características gerais dessas rochas e suas origens dependem fortemente da condição de pressão quando da geração dos magmas e, como consequência, que a natureza das séries pode indicar a profundidade aproximada de geração de seu magma.

A petrogênese da Suíte Rio Maria requer a fusão de um manto, previamente metassomatizado pela adição de ~30% de líquido TTG para gerar os magmas granodiorítico (21% de fusão) e intermediário (24% de fusão), e ~20% de líquido TTG no caso do magma do enclavo máfico (9% de fusão). Os testes de modelamento geoquímico indicam que um ambiente de subducção ativo esteve presente no Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria entre 2,98 e 2,92 Ga para gerar, ao menos em parte, os magmas TTGs e produzir o metassomatismo do manto por esses magmas, antes do processo responsável pela origem dos magmas sanukitóides. Um evento tectonotermal em 2,87 Ga, possivelmente relacionado à pluma do manto, causaria a fusão parcial do manto metassomatizado e geraria os magmas sanukitóides Rio Maria.

Nas rochas da Suíte Rio Maria, a assembléia mineral é dominada por anfibólio, plagioclásio, biotita e epidoto, todos de provável origem magmática, sendo que piroxênio nunca foi identificado. Critérios texturais e composicionais indicaram que o anfibólio foi a fase *liquidus* durante a cristalização dos magmas Rio Maria. Esses magmas foram ricos em água ($H_2O > 7\%$), com temperaturas de cristalização entre 950 e 680° C. As razões $Mg/(Mg+Fe)$ de anfibólios e biotitas indicaram condições oxidantes, entre $NNO + 0,5$ e $NNO + 2,5$, similares as indicadas pelos teores de pistacita em cristais de epidotos magmáticos. Análises de conteúdos de alumínio em anfibólios, indicaram pressões entre 700 e 1000 MPa para o início da cristalização e, de aproximadamente 200 Mpa para o final da colocação dos magmas Rio Maria. Os magmas sanukitóides do Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria são oxidantes e ricos em água, características de magmas de arcos modernos, o que sugerem, assim como resultados de modelamento geoquímico, bem como aspectos geológicos e petrográficos, que eles podem ter sido formados em um ambiente geodinâmico similar as zonas de subducção modernas.

ABSTRACT

The Archean sanukitoid Rio Maria suite yielded zircon ages of ~2.87 Ga and is exposed in large domains of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, southeastern Amazonian craton. It is intrusive in the greenstone belts of the Andorinhas Supergroup, in the Arco Verde, Mariazinha, and Caracol tonalite, and Mogno trondhjemite. Archean potassic leucogranites, Água Fria trondhjemite, and the Paleoproterozoic granites of Jamon Suite are intrusive in the rocks of the Rio Maria suite. The dominant rocks have granodiorite to subordinate monzogranitic compositions, with minor proportions of intermediate quartz-diorites or quartz-monzodiorites rocks, in addition to mafic end members occurring as layered rocks or as enclaves. The Rio Maria suite has clear geochemical characteristics of Sanukitoids rocks (high Mg#, elevated Cr and Ni contents, LREE enrichment, and high Ba and Sr contents relative to typical calc-alkaline series). The significant geochemical contrasts between the occurrences of the granodiorites in different areas suggest that this unit corresponds in fact to a granodioritic suite of rocks derived from similar but distinct magmas.

In spite of their broad geochemical similarities, granodiorites, intermediate rocks, and mafic enclaves show some significant differences in their REE patterns and in the behavior of Rb, Ba, Sr, and Y. The granodiorites and intermediate rocks are not related by fractional crystallization and the internal evolution of intermediate rocks were leaded by fractionation of amphibole + biotite ± apatite, whereas granodiorites evolved by fractionation of plagioclase + amphibole ± biotite. The layered rocks should have been derived from the granodiorite magma by accumulation of 50% of amphibole (dark layer) and 30% of amphibole ± plagioclase accumulation (gray layer).

Modeling and geochemical data suggest that mafic enclave and granodiorite magmas were originated at different depths and should have mingled during their ascent and final emplacement and a limited interaction would explain the relatively uniform geochemical behavior of each rock variety and the distinct trends displayed by their rocks in different modal and geochemical diagrams. These contrasts between granodiorites and mafic enclaves are reflected in the behavior of the Sr and Y, which are generally seen as good indicators of the pressure of melt formation. The behavior of these elements, observed in different sanukitoid rocks from Archean terranes worldwide, indicates that the geochemical and modal contrasts observed between the

granodioritic (granodiorites) and monzonitic (mafic enclaves) sanukitoid series are a general feature of these rocks and their origin is strongly dependent of the pressure of magma generation and, as a consequence, that the nature of the series could indicate the approximate depth of formation of its magma.

The petrogenesis of the Rio Maria suite requires melting of a modified mantle extensively metasomatized by addition of about 30% TTG-like melt to generate the granodiorite (21% of melt) and intermediate magmas (24% of melt), and ~20% TTG-like melt in the case of mafic enclave magma (9% of melt). Our modeling results indicate that an active subduction tectonic setting was present in the Rio Maria terrane in between 2.98 to 2.92 Ga to generate the TTG magmas and the proposed metasomatism of the mantle by these magmas, before the melting process responsible for the origin of the sanukitoid magmas. A tectonothermal event at ~2.87 Ga, possibly related to a mantle plume, causing the partial melting of the metasomatized mantle and generating the Rio Maria sanukitoid magmas.

In the rocks of the Rio Maria suite, the mineral assemblage is dominated by amphibole-plagioclase-biotite and epidote minerals, all of inferred magmatic origin, pyroxenes being notably absent. Textural and compositional criteria indicate that amphibole is a principal mineral on the liquidus of all the Rio Maria rocks. To derive crystallisation conditions, the phase assemblages, proportions and compositions of the natural rocks were compared with experimental works carried out on similar magma compositions. The comparison shows that the parental magmas were water-rich, with more than 7 wt% dissolved H₂O near liquidus, with crystallisation temperature in the range 950-680°C. The Mg/(Mg+Fe) ratios of both amphibole and biotite indicate fO_2 conditions in the range NNO + 0.5 up to NNO + 2.5, therefore pointing to both water-rich and oxidizing conditions for sanukitoid magmas. Analyses of amphibole aluminium content in cumulate rocks, indicate in addition a high pressure crystallisation stage, around 700-1000 MPa, prior to emplacement in the upper crust at around 200 MPa. Sanukitoid magmas share therefore two of the principal characteristics of modern arc magmas, elevated redox state and volatile contents, which suggest that they may have formed in a geodynamic environment broadly similar to present-day subduction zones.