



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DA ALTERAÇÃO HIDROTERMAL, COM ÊNFASE NO
METAMORFISMO SÓDICO, DE ROCHAS GRANITÓIDES E
MÁFICAS DA REGIÃO DE CANAÃ DE CARAJÁS, PROVÍNCIA
MINERAL DE CARAJÁS.**

**Dissertação apresentada por:
FRANCISCA D'ÁVILA SOARES DE SOUSA**

**BELÉM
2007**

Sousa, Francisca D'Avila Soares de

S724e Estudo da alteração hidrotermal, com ênfase no metassomatismo sódico, de rochas granitóides e máficas da região de Canaã de Carajás, Província Mineral de Carajás. / Francisca D'Avila Soares de Sousa; Orientador, Raimundo Netuno Nobre Villas. – 2007

195 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2007.

1. Rochas granitóides. 2. Alteração hidrotermal. 3. Metassomatismo sódico. 4. Sossego (PA). 5. Serra Dourada (PA). 6. Província Mineral de Carajás (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Villas, Raimundo Netuno Nobre, Orient. III. Título.



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

**ESTUDO DA ALTERAÇÃO HIDROTERMAL, COM ÊNFASE
NO METAMORFISMO SÓDICO, DE ROCHAS
GRANITÓIDES E MÁFICAS DA REGIÃO DE CANAÃ DE
CARAJÁS, PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS.**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
FRANCISCA D'ÁVILA SOARES DE SOUSA

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

Data de Aprovação: **25/06/2007**

Comitê de Dissertação:

RAIMUNDO NETUNO NOBRE VILLAS (Orientador)

MÁRCIO DIAS SANTOS

LENA VIRGÍNIA DIAS SANTOS

RESUMO

As áreas do Sossego e Serra Dourada estão localizadas ao sul da Serra dos Carajás, na zona de contato entre as rochas do embasamento (Complexo Xingu; ~2,8 Ga) e do Grupo Grão Pará (2,76 Ga). Serra Dourada encontra-se a cerca de 15 km a leste do depósito Sossego, na região de transição entre o bloco Itacaiúnas e os terrenos granito-*greenstone* de Rio Maria. No depósito do Sossego foram investigados granitóides, rochas metavulcânicas ácidas e ricas em biotita, além de rochas máficas, todos com variável grau de deformação e alteração hidrotermal, enquanto em Serra Dourada foram estudados granitóides, enclaves neles contidos e metadiabásios, os primeiros representados por tipos inalterados, hidrotermalizados e milonitizados. No depósito Sossego, prováveis protólitos dos apogranitóides e rochas metavulcânicas alteradas corresponderiam, respectivamente, a sienogranitos/granodioritos e andesitos/basaltos porfiríticos, enquanto as rochas máficas alteradas teriam sido derivadas de microgabros. A preservação da textura porfiroclástica nas rochas ricas em biotita sugere que, pelo menos em parte, seus protólitos foram os mesmos que originaram as rochas metavulcânicas ácidas. Os apogranitóides, rochas metavulcânicas e ricas em biotita têm padrões de distribuição de ETR muito similares, o que é sugestivo de terem sido elas derivadas de um magma granítico comum, apesar de algumas amostras da rocha rica em biotita apresentarem razões La_N/Yb_N mais elevadas. Com relação ao conteúdo de elementos menos móveis (Nb e Zr), as rochas ricas em biotita e metavulcânicas ácidas são mais semelhantes. Albitização, escapolitização, anfibolitização, cloritização, biotitização, epidotização e feldspatização potássica foram os principais tipos de alteração hidrotermal que afetaram aqueles protólitos, sendo o primeiro mais comum nos apogranitos e metavulcânicas e o segundo nas rochas ricas em biotita e máficas. Nos apogranitóides, foram identificadas duas gerações de albita (I e II). A albita I é representada por cristais com textura em tabuleiro de xadrez, tendo resultado da substituição do feldspato alcalino, enquanto a albita II ocorre em finas vênulas monominerálicas e constitui uma das fases mais tardias da alteração hidrotermal. Apenas a albita I ocorre em todas as variedades de granitóide estudadas. Nas rochas máficas foram identificadas duas gerações de escapolita. A primeira é representada por agregados de cristais oriundos da substituição do plagioclásio primário e a outra por finas vênulas sinuosas de escapolita + Mg-hornblenda, as quais marcam, nestas rochas, os estágios mais tardios da alteração hidrotermal. Nas rochas ricas em biotita foi identificada apenas

a escapolita I. A escapolita dos gabros e das rochas ricas em biotita têm valores da fração molar meionítica ($Me=27-28\%$) e teores de Cl ($3-4\%$) equivalentes, e muito provavelmente foram formadas a partir de um mesmo fluido, rico em NaCl, sem marcante influência da composição da rocha. Esse fluido teria sido também responsável pela produção de albita em todas as amostras estudadas, que é mais pura nos apogranitóides ($Ab=98,5-99,3\%$) e nas rochas metavulcânicas ácidas ($Ab=99-99,3\%$). Na área de Serra Dourada, os granitóides são representados por sienogranitos, granodioritos e tonalitos; os enclaves neles contidos têm composição tonalítica. As características mineralógicas e a afinidade cálcio-alcalina dessas rochas permitem caracterizá-las como granitos tipo I e relacioná-las a um ambiente de subducção com influência do regime tracional. Vários parâmetros geoquímicos indicam cogeneticidade entre estas rochas, estando elas ligadas por processos de cristalização fracionada em que os sienogranitos são os termos mais evoluídos. Albitização, escapolitização e, em menor escala, biotitização foram os principais tipos de alteração hidrotermal que afetaram essas rochas, sendo que a primeira se restringiu aos sienogranitos e, as duas últimas, aos tonalitos. Os sienogranitos mostram diferentes graus de alteração sódica, desde aposienogranitos sem albita hidrotermal até albititos com cerca de 75% de albita hidrotermal. Nessas rochas, observa-se que a albita hidrotermal é mais pura que a magmática. Cálculos de balanço de massa revelam que, em relação à média dos sienogranitos, houve, durante a transformação do sienogranito em albititos, independentemente do método utilizado e dentro dos mais prováveis valores de fator de volume ($f_v = 0,8-1,1$), adição de Na_2O e Cu, e perda de K_2O , Ba, Rb, Sr e W. Para as rochas escapolitizadas, os dados petrográficos são consistentes com uma geração a partir dos tonalitos, que chegam a hospedar veios com até cerca de 70% de escapolita. A escapolita das variedades moderadamente alteradas é mais rica em Na ($Me=24\%$) e Cl (4%) quando comparada com a que ocorre na amostra do veio e no granito milonitizado. Os resultados de balanço de massa revelam, para valores de f_v entre 0,9 e 1,04, que durante o processo de escapolitização, houve perda de Al_2O_3 , MgO, CaO, Sr e Zr e ganhos de $Fe_2O_{3(t)}$, Na_2O , K_2O , voláteis, Rb, Ba e Cu. Os fluidos responsáveis pela produção de albita e escapolita eram ricos em Na e Cl e, aparentemente, eles primeiro causaram a albitização dos sienogranitos e, em seguida, a escapolitização dos tonalitos. A composição da escapolita teve forte influência da composição do plagioclásio primário, tanto que a escapolita que ocorre no metadiabásio é mais cálcica do que a variedade presente nos tonalitos. As rochas investigadas em ambas as áreas amostram teores elevados de Cl ($1-2\%$), estimados com base nas concentrações

determinadas na escapolita, biotita e anfíbólio. A estabilidade da escapolita exige fluidos muito salinos, o que vem sendo confirmado pelos dados obtidos em inclusões fluidas aprisionadas em minerais do depósito Sossego. A falta de evidência de ebulição e restrições impostas pela partição do Cl entre magmas graníticos e fase aquosa dele exsolvida, dão suporte à contribuição metamórfica (dissolução de leitos evaporíticos?) nos fluidos responsáveis pelo metassomatismo sódico. Ainda não foram obtidos dados de fluidos para as rochas de Serra Dourada, porém o estudo da alteração hidrotermal, pelo menos em parte, sugere uma situação bastante semelhante à observada no depósito do Sossego.

Palavras-chave: Rochas granitóides. Alteração hidrotermal. Metassomatismo sódico.

ABSTRACT

The Sossego and Serra Dourada areas are located in the southern part of Carajas ridge, at the contact zone between the basement rocks (Xingu Complex; ~2.8 Ga) and the Grão Pará Group (2.76 Ga). Serra Dourada lies 15 km east of the Sossego deposit, at the transition strip that bounds the Itacaiúnas block and the Rio Maria granite-greenstone terrane. In the Sossego deposit granitoids, metavolcanic rocks, biotite-rich and mafic rocks were investigated, all of them were hydrothermalized and/or deformed to a greater or lesser extent. In Serra Dourada granitoids, their enclaves and mafic rocks were studied, the former being represented by unaltered, altered and milonitized varieties. The likely protoliths of the apogranitoids and metavolcanic rocks that occur in Sossego were syenogranites/granodiorites and porphyritic quartzodiorite/diorite, respectively, while the mafic altered rocks were derived from microgabros. The porphyroclastic texture of the biotite-rich rocks may be an evidence for their protoliths being, at least in part, the same as those of the metavolcanic rocks. Apogranitoids, metavolcanic and biotite-rich rocks have similar REE patterns, suggesting that they might be comagmatic, although some samples of the biotite-rich rocks show higher La/Yb ratios. Concerning the contents of less mobile elements (Nb and Zr), the metavolcanic and biotite-rich rocks are much more similar. Albitization, scapolitization, amphibolitization, chloritization, biotitization, epidotization and potassic feldspatization were the most important hydrothermal processes that affected those protoliths. Albitization is more common in the apogranitoids and acid metavolcanic rocks, whereas scapolitization is more typical of the biotite-rich and mafic rocks. In the apogranitoids two albite generations (I and II) were identified. The albite I represents crystals with chessboard texture produced by the replacement of potassium feldspar. Albite II is present in monomineralic veinlets which correspond to one of the latest stage of hydrothermal activity. Only albite I occurs in all granitoid varieties. In the mafic rocks two scapolite generations were recognized. One refers to crystals aggregates that replaced the primary plagioclase and the other to fine sinuous veinlets of scapolite+Mg-hornblende that, in these rocks, mark the latest stage of the hydrothermal alteration. In the biotite-rich rocks only scapolite I was identified. The scapolite that occurs in both the mafic and biotite-rich rocks have similar meionite (Me=27-28%) and Cl (3-4%) contents, and were most likely formed by a NaCl-rich fluid, with little influence of the rock composition. This fluid might have also been responsible for the production of albite in all

analyzed samples. This albite is purer in the apogranitoids (Ab=98.5-99.3%) and the metavolcanic rocks (Ab=99-99.3%) than in the other rocks.

In Serra Dourada area, the granitoids include syenogranites, granodiorite and tonalites as well as enclaves of tonalitic composition. Their mineralogical characteristics and calc-alkaline affinity allow them to be classified as I-type granitoids related to subduction with some influence of extensional regime. Most geochemical data indicate that they are cogenetic and have been produced by fractional crystallization. Albitization, scapolitization and minor biotitization were the most important types of alteration that affected those rocks, the first being restricted to the syenogranites, while the other two types are recorded only in the tonalites. The syenogranites present different degrees of alteration ranging from aposyenogranite without hydrothermal albite to albitite with ~75% of hydrothermal albite. In all granitoids, the hydrothermal albite is purer than the magmatic albite. Mass-balance calculations shows that, in relation to the average composition of syenogranites and for volume factors of 0.8-1.1, the albitites gained Na₂O and Cu, and lost K₂O, Ba, Rb, Sr and W. The scapolitized rocks resulted from the alteration of tonalites and are mainly characterized by scapolite-rich (up to ~70%) veins/veinlets that cross-cut the rocks. In the moderately altered varieties, the scapolite composition is richer in Na (Me=24%) and Cl (4%) in comparison to that present in veins and in the mylonitized granitoids. Mass-balance calculations indicate that the formation of the scapolitized rocks was accompanied by losses of Al₂O₃, MgO, CaO, Sr and Zr and gains of Fe₂O_{3(t)}, Na₂O, K₂O, volatiles, Rb, Ba and Cu. The fluids that caused albitization and scapolitization of the rocks were Na and Cl-rich and, apparently, the albitization of the syenogranites preceded the scapolitization of the tonalites. The scapolite composition seems to have been strongly controlled by the composition of primary plagioclase, as evidenced by its more calcic character in the mafic rocks than in the apotonalites.

Estimates of Cl content (1-2%) of rocks from both areas were based on its concentrations in modal scapolite, biotite and amphiboles. The stability of scapolite requires high salinity fluids as those that have been reported in the Sossego deposit. No fluid inclusion data concerning the Na-rich fluids responsible for albitization and scapolitization in the Serra Dourada area are yet available, although the evidences, notably the abundance of scapolite, suggest an evaporitic or similar source.

Keywords: Granitoid rocks. Hydrothermal alteration. Sodic metasomatism.