

A TRANSIÇÃO GABRO-ANFIBOLITO NOS COMPLEXOS DE MANGABAL I E II, SANCLERLÂNDIA, GOIÁS

M.A.F.Candia¹

V.A.V.Girardi¹

RESUMO

As rochas máficas dos complexos de Mangabal I e Mangabal II, localizados no Estado de Goiás, metamorfozadas a temperaturas da ordem de $700 \pm 50^\circ\text{C}$ em condições de baixa f_{O_2} e $P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{T}}$, mostram diferentes paragéneses dependendo do valor de a_{SiO_2} . A recristalização metamórfica de olivina gabronoritos desenvolve associações com plagioclásio (andesina), gedrita e hornblenda relativamente enriquecida na molécula pargasítica. A composição dos anfibólios e a ausência de quartzo nesta paragénesis é controlada pelo valor da atividade de sílica no sistema. A recristalização dos gabronoritos, em condições de a_{SiO_2} mais elevadas, produz antofilita, magnésio hornblenda relativamente empobrecida na molécula pargasítica, plagioclásio (andesina) e quartzo.

ABSTRACT

The mafic rocks of the stratiform complexes of Mangabal I and II, Goiás State, metamorphosed at temperatures around $700 \pm 50^\circ\text{C}$, low f_{O_2} and $P_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{T}}$ exhibit different parageneses, depending on their a_{SiO_2} . Olivine gabronorites gave rise to plagioclase (andesine), gedrite and hornblende richer in the pargasitic molecule. The composition of the amphiboles and the absence of quartz in this paragenesis result from lower values of a_{SiO_2} . Recrystallization of gabronorites at higher a_{SiO_2} gave rise to anthophyllite, Mg-hornblende (poorer in pargasitic molecule) and quartz. Plagioclase (andesine) also occurs in this association.

INTRODUÇÃO

¹Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências/USP, São Paulo.

Os complexos de Mangabal I e Mangabal II são dois corpos máfico-ultramáficos estratiformes metamorfizados, localizados próximo à cidade de Sanclerlândia, no centro sul de Goiás (Fig. 1).

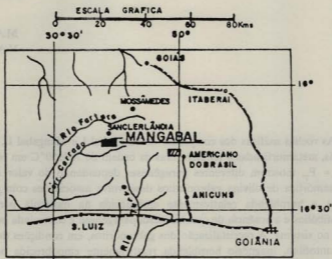


Figura 1 - Mapa de localização dos complexos máfico-ultramáficos de Mangabal I e Mangabal II.

As litologias ígneas originais constituintes dos complexos puderam ser reconhecidas graças à preservação de porções não deformadas, com texturas e mineralogia reliquiares pouco modificadas pelos processos metamórficos superimpostos. Em Mangabal I reconheceu-se uma seqüência ultramáfica, constituída por peridotitos feldspáticos, e uma seqüência máfica, representada por olivina gabronoritos e gabronoritos. Em Mangabal II a porção ultramáfica apresenta alternância de harzburgitos e bronzititos feldspáticos, e a seqüência máfica mostra olivina gabronoritos e gabronoritos semelhantes aos de Mangabal I. Em ambos os complexos, as texturas dos termos ígneos reliquiares são correlacionáveis às de rochas cumuláticas. O conjunto de dados petrográficos, químico/mineralógicos e petroquímicos indica que estes corpos derivaram de processos de fracionamento magmático (ver CANDIA, 1983 e CANDIA & GIRARDI, 1985, para maiores detalhes).

Os processos tectônicos e metamórficos subsequentes deformaram e recrystalizaram as rochas dos complexos. No metamorfismo, cada tipo litológico ígneo original gerou uma série de equivalentes recrystalizados, em função das condições metamórficas impostas (pressão, temperatura e natureza da fase fluida). O estudo das associações paragenéticas desenvolvidas em litologias ultramáficas, associado a dados de inclusões fluidas,

mostrou que as rochas dos complexos foram submetidas a evento metamórfico de alto grau, com temperaturas da ordem de $700 \pm 50^\circ\text{C}$ e pressões de 6 a 6,5 kbar, sendo o valor da relação $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ da fase fluida de fundamental importância no controle da natureza das paragêneses desenvolvidas (CANDIA, 1983).

As características texturais e mineralógicas das rochas ígneas originais e dos seus respectivos equivalentes recristalizados, provenientes de reequilíbrios metamórficos em condições de alta a baixa razão de $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ na fase fluida, são apresentadas na Tabela 1 e comentadas a seguir.

As rochas da 1ª coluna representam os termos ígneos originais, com texturas cumuláticas, citando-se, entre parênteses, as fases cumulus. As associações coroníticas (2ª coluna) e à espinélio (3ª coluna) se desenvolveram somente nas rochas originalmente portadoras da associação olivina-plagioclásio, minerais entre os quais se desenvolve a corona. Tais associações, que foram denominadas de coroníticas quando o desenvolvimento das coronas foi incompleto, ou à espinélio, quando uma das fases reagentes (olivina ou plagioclásio) foi totalmente consumida, corresponderiam a paragêneses formadas em condições de $P_{\text{H}_2\text{O}} < P_T$. Os dados de inclusões fluidas indicam que o valor de $X_{\text{H}_2\text{O}}$ na fase fluida deve ter sido da ordem de 0,2%. Nessas condições persistiram também os tipos ígneos não modificados, representados por bronzitos feldspáticos e gabronoritos.

A 4ª coluna discrimina as paragêneses que se estabeleceram em presença da fase fluida saturada em H_2O ($P_{\text{H}_2\text{O}} = P_T$), que mostram recristalização total da rocha e texturas granoblásticas. Nestas condições desenvolveram-se antofilita xistos, meta-harzburgitos à clorita, metaperidotitos à clorita, meta-olivina gabronoritos e metagabronoritos. Em relação às rochas originais, tais paragêneses diferem pelo aparecimento de clino e ortoanfíbólio, cloritas e pela diminuição do teor de An dos plagioclásios, correspondendo a associações pertencentes à fácies anfíbolito.

OBJETIVOS

No presente trabalho pretende-se analisar as modificações que produziram as assembléias hidratadas nas litologias máficas, relacionadas à fácies anfíbolito. As recristalizações que conduziram à formação de associações coroníticas e à espinélio são aqui resumidas, tendo sido objeto de estudos pormenorizados por CANDIA et al. (no prelo). Os dados citados para litologias ultramáficas são utilizados somente para comparações e correlações.

Para a elaboração deste estudo foram efetuadas análises químicas por microsonda eletrônica de várias amostras de meta-olivina gabronoritos e metagabronoritos em diferentes graus de recristalização.

Os dados das análises químicas de anfíbólios e demais minerais estudados estão disponíveis mediante solicitação aos autores.

Tabela 1 - Características das rochas ígneas originais e equivalentes recristalizados.

	ASSOCIAÇÕES ÍGNEAS ORIGINAIS		ASSOCIAÇÕES REEQUILIBRADAS	
Litologias máficas	Peridotitos e harzburgitos feldspáticos (ol-crsp) _C - plag _E ± opx _I ± cpx _I	Metaperidotitos e/ou harzburgi tos coroníticos (ol-opx-parg-esp-plag) _{cor} ± opx _E ± cpx _E	Metaperidotitos e/ou harzburgi tos a espinélio ol, opx, parg, esp, ± cpx	Metaperidotitos e/ou harzburgi tos a clorita ol, opx, mg-ho, -clor ± ortoanf
	Bronzitos feldspáticos (opx) _C ± plag, cpx _I	Bronzitos feldspáticos (opx) _C ± plag, cpx _I	Bronzitos feldspáticos (opx) _C ± plag, cpx _I	Metabronzitos opx, ortoanf, clinoanf
Litologias ultramáficas	Olivina gabronoritos (ol-plag) _C opx, ± cpx _I	Meta-olivina gabronoritos corq níticos (ol-opx-parg-esp-plag) _{cor} opx _E cpx _E	Meta-olivina gabronoritos a espí nélio opx, parg, esp, plag, ± cpx	Meta-olivina gabronoritos mg- ho, ortoanf, plag, rutilo/ilme nita/magnetita
	Gabronoritos (opx-plag) _C ± cpx _I	Gabronoritos (opx-plag) _C ± cpx _I	Gabronoritos (opx-plag) _C ± cpx _I	Meta-gabronoritos, mg-ho, ortq anf, plag, quartzo, rutilo/ilmenj ta/magnetita

Abreviações: ol - olivina; opx - ortopiroxênio; cpx - clinopiroxênio; plag - plagioclásio; esp - espinélio; crsp - cromoespinélio; cl - clorita-clinodoro; parg - pargasita; mg-ho - magnésio-hornblenda; ortoanf - ortoanfólio; clinoanf - clinoanfólio cálcico. Subscritos: c - cumulus; i - intercumulus; cor - coronítico. X_{H₂O} aumenta da 1ª para a 4ª coluna.

VARIAÇÕES COMPOSICIONAIS DOS MINERAIS

Anfibólios

Os reequilíbrios mineralógicos de estágios pós-ígneos desenvolveram associações portadoras de anfibólio em praticamente todos os tipos litológicos presentes nos complexos, em diferentes paragéneses, dependendo da composição da rocha original (ver Tabela 1).

Nas associações coroníticas e à espinélio somente um tipo de anfibólio (cálcico) foi produzido, mostrando composições no campo das pargasitas e hornblendas pargasíticas (campo tracejado das Figs. 2a e 2b) seja em litologias ultramáficas, seja nas máficas.

Associações portadoras de dois anfibólios, um rico e outro pobre em cálcio, são comumente observadas em meta-olivina gabronoritos, em metagabronoritos e metabronzitos. Em metaperidotitos e/ou harzburgitos a presença de ortoanfibólio é ocasional.

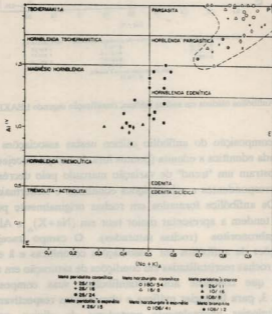


Figura 2A - Anfibólios cálcicos em litologias ultramáficas, classificação segundo LEAKE (1978).

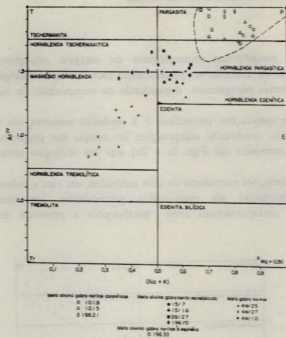


Figura 2B - Anfibólios cálcicos em rochas máficas, classificação segundo LEAKE (1978).

A composição do anfibólio cálcico nestas associações varia de magnésio-hornblenda, hornblenda edênítica a edenita (pontos fora do campo tracejado das Figs. 2a e 2b). Em seu conjunto mostram um "trend" de variação marcado pelo decréscimo simultâneo de $(Na+K)_A$ e Al^{IV} (correspondentes a substituições edeníticas e tschermakíticas), tendendo ao pólo da tremolita. Os anfibólios formados em rochas originalmente portadoras de olivina (rochas insaturadas) tendem a apresentar maior teor em $(Na+K)_A$ e Al^{IV} relativamente aos formados em metagabronoritos (rochas saturadas). O campo tracejado nos diagramas delimita as composições de anfibólios em associações coroníticas e à espinélio. Os demais pontos referem-se às rochas recristalizadas em condições de saturação em água.

No que concerne aos ortoanfibólios, suas composições encontram-se projetadas na Figura 3, para litologias máficas e ultramáficas respectivamente; nas quais se verifica que, em litologias originalmente portadoras de olivina, ocorre gedrita como ortoanfibólio associado ao anfibólio cálcico; enquanto em metabronzitos e em metagabronoritos antofilita é o ortoanfibólio associado.

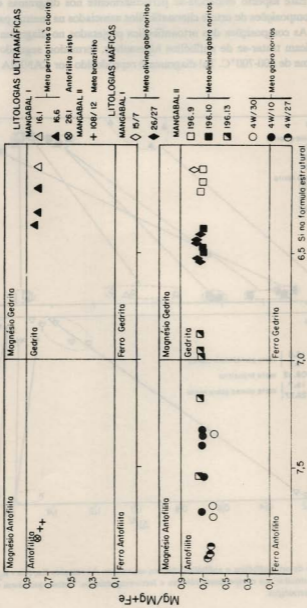


Figura 3 - Ortioamfibólios de Mangabal I e II classificados segundo LEAKE (1978).

Este aspecto evidencia-se particularmente nos diagramas da Figura 4, que representam as composições de orto e clinofanfíbólios associados na mesma paragênese.

As composições dos ortoanfíbólios projetados no diagrama de ROBINSON et al. (1971) indicam tratar-se de anfíbólios hipersolvus, formados, segundo esses autores, a temperaturas acima de 600-700 °C. Tal diagrama é reproduzido por CANDIA (1983).

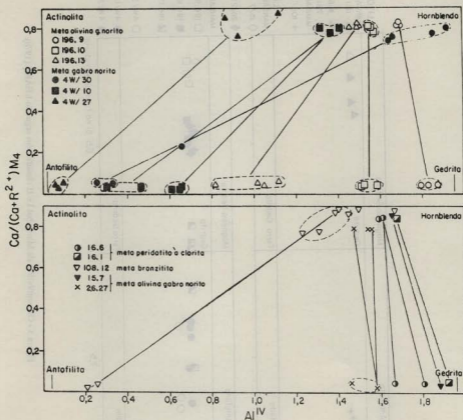


Figura 4 - Composição de ortoanfíbólios e anfíbólios cálcicos associados. As relações $Ca/(Ca+R_2^{+}) M_4$ e Al^{IV} refletem respectivamente os conteúdos nos componentes cálcicos e ferro-magnesianos. Linhas que unem orto e clinofanfíbólios indicam associação mineralógica.

Feldspatos

A segunda fase mineral de importância nos metagabros são os plagioclásios. Nos termos ígneos reliquiores ocorrem como fase intercumulus nas litologias ultramáficas, e como fase cumulus nas litologias máficas. Em ambos os tipos a composição corresponde ao campo da labradorita (An_{44-61}) podendo mostrar zoneamento normal.

Nos termos recrystalizados, o feldspato persiste somente nas litologias máficas, onde apresenta composições no campo da andesina, mostrando texturas granoblásticas. A Figura 5 retrata a variação composicional desta fase em algumas das amostras analisadas.

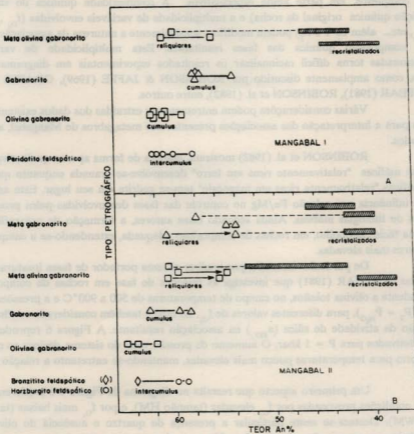


Figura 5 - Variações composicionais dos plagioclásios.

Outros minerais

Destaca-se ainda nos metagabbros a presença de óxidos, representados predominantemente por rutilo, ilmenita e magnetita.

DISCUSSÃO

A interpretação das transformações mineralógicas e das paragêneses desenvolvidas pelos processos subsólidos em rochas de natureza máfica apresenta aspectos bastante complexos, em parte ainda especulativos. A complexidade química do sistema (composição química original da rocha) e a multiplicidade de variáveis envolvidas (f_{O_2} , f_{H_2O} , f_{CO_2} , a_{SiO_2} , etc... além de T e P_T) podem modificar sensivelmente a natureza da associação, bem como a composição química das fases resultantes. Esta multiplicidade de variáveis interrelacionadas torna difícil racionalizar os resultados experimentais em diagramas P-T explícitos, como amplamente discutido por ROBINSON & JAFFE (1969), GRAPES et al. (1977), SPEAR (1981), ROBINSON et al. (1982), entre outros.

Várias considerações podem entretanto ser extraídas dos dados existentes na literatura para a interpretação das associações presentes nos metagabbros de Mangabal, abaixo considerados.

ROBINSON et al. (1982) mostram, embora de forma apenas qualitativa, que em rochas máficas "relativamente ricas em ferro" desenvolve-se granada enquanto que em rochas máficas "relativamente ricas em magnésio" tem-se gedrita em seu lugar. Este aspecto mostra a influência na relação Fe/Mg no controle das fases desenvolvidas pelos processos subsólidos de litologias máficas. Ainda segundo estes autores, a formação de ortoanfibólios inicia-se na fácies anfibolito, em rochas de composição adequada, estendendo-se a campos de temperaturas mais elevadas.

De particular interesse, por analisar sistema portador de fases insaturadas, é o trabalho de SPEAR (1981) que investiga as relações de fase em rochas de composição correspondente a olivina toleitos, no campo de temperaturas de 500 a 900°C e a pressões de 1 a 5 kbar ($P_T = P_{H_2O}$), para diferentes valores de f_{O_2} , no qual é também considerada a influência da variação da atividade de sílica (a_{SiO_2}) na associação resultante. A Figura 6 reproduz tais estudos efetivados para $P = 1$ kbar. O aumento da pressão total do sistema desloca as curvas de equilíbrio para temperaturas pouco mais elevadas, mantendo-se entretanto a relação entre as fases.

Um primeiro aspecto que ressalta no diagrama da Figura 6 é a diferença de fases em condições provocadas por f_{O_2} elevadas (tampão HM), e por f_{O_2} mais baixas (tampão QFM e WM). Destaca-se neste particular a presença de quartzo e ausência de olivina e ortopiroxênio nas associações de alta f_{O_2} . No caso das amostras estudadas, a conspícua presença de rutilo, ilmenita e magnetita nas paragêneses desenvolvidas nos metagabbros limita

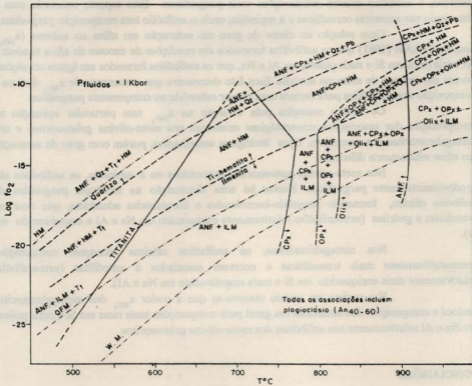


Figura 6 - Relação entre as fases desenvolvidas em olivina-toleito a $P_{\text{fluidos}} = 1$ kbar (SPEAR, 1981).

o valor de f_{O_2} atuante nos reequilíbrios, que deve ter sido igual ou inferior ao marcado pela curva ilmenita-titanita-hematita do diagrama.

Em termos gerais, mesmo não envolvendo ortoanfíbólio, as transformações descritas por SPEAR (1981) no campo de temperaturas de 900 a 500°C em condições de f_{O_2} relativamente baixas, podem ser correlacionadas às modificações mineralógicas que podem ter ocorrido na transformação dos olivina gabronoritos ígneos, até seus equivalentes recristalizados. O aparecimento e desaparecimento de fases, como visto no diagrama da Figura 6, é coerente com o observado nas amostras estudadas, ressalvada a ausência de espinélio e ortoanfíbólio, provavelmente devida a diferenças na composição química das rochas.

No que se refere ao campo de estabilidade do anfíbólio, destaca SPEAR (1981) que a temperaturas mais elevadas, o anfíbólio mostra-se mais enriquecido em Na, K, Al e Ti, com concomitante empobrecimento em Si, ou seja, no campo de temperaturas mais

elevadas, o anfibólito mostra composições mais pargasíticas. Este aspecto concorda com o observado nas amostras coroníticas e à espinélio, onde o anfibólito tem composição pargasítica.

Com relação ao efeito do grau em saturação em sílica no sistema (a_{SiO_2}) ressalta SPEAR (1981) que os anfibólitos formados em condições de excesso de sílica tendem a ser mais ricos em Si e mais pobres em Al e Na, que os anfibólitos formados em iguais condições, porém em excesso de sílica no sistema. Este fato demonstra que o aumento de a_{SiO_2} desloca a composição dos anfibólitos para termos com menor conteúdo no componente pargasítico.

Os efeitos causados pela variação na a_{SiO_2} tem particular aplicação na interpretação das associações mineralógicas existentes nos meta-olivina gabronoritos e nos metagabronoritos dos complexos, tipos litológicos semelhantes, porém com grau de saturação em sílica nitidamente diferente.

Nos meta-olivina gabronoritos coroníticos ou à espinélio, os anfibólitos são predominantemente pargasíticos. Nestes há uma diminuição na molécula pargasítica do anfibólito cálcico, formando magnésio-hornblendas e hornblendas edeníticas, que ocorrem associadas a geditras (ortoanfibólito relativamente enriquecido em Na e Al e empobrecido em Si).

Nos metagabronoritos, os anfibólitos cálcicos alcançam composições comparativamente mais tremolíticas e ocorrem associados a antofilitas (ortoanfibólito relativamente mais enriquecido em Si e mais empobrecido em Na e Al).

Nas rochas em estudo observa-se que a maior a_{SiO_2} dos metagabronoritos desloca a composição dos anfibólitos em geral para composições mais ricas em Si e mais pobres em Na e Al relativamente aos anfibólitos dos meta-olivina gabronoritos.

CONCLUSÕES

As considerações até agora efetuadas permitem a obtenção das seguintes conclusões a respeito das paragênese desenvolvidas nas rochas máficas em condições de $P_T = P_{H_2O}$:

- A composição química das rochas máficas dos complexos de Mangabal I e II é suficientemente rica em magnésio de forma a inibir a formação da granada e produzir ortoanfibólitos.
- As composições químicas dos ortoanfibólitos indicam tratar-se de fases hipersolvus, formados a temperaturas superiores a 600-700°C.
- A fugacidade do oxigênio (f_{O_2}) durante os reequilíbrios deve ter sido baixa, limitada pela curva de estabilidade da ilmenita, como indicado pela presença desta fase mineral na associação. Nestas condições, mantém-se a estabilidade de olivina e ortopiroxênio.
- Os olivina gabronoritos correspondem a um sistema relativamente insaturado (com a_{SiO_2} baixa) em confronto aos gabronoritos, nos quais não há fases originais insaturadas. A baixa a_{SiO_2} faz com que nos reequilíbrios metamórficos dos olivina gabronoritos

forme-se gedrita e hornblendas com certo conteúdo em molécula pargasítica, associados a plagioclásio andesina. Não há quartzo nestas rochas. Nos gabronoritos, a a_{SiO_2} é relativamente alta, formando-se antofilita e hornblenda com menor porcentagem de molécula pargasítica; o plagioclásio é andesina e há quartzo livre na associação, indicando saturação em sílica.

Tais dados permitem delimitar-se a temperatura de recristalização das rochas máficas a valores de cerca de $700 \pm 50^\circ C$ o que concorda com os parâmetros alcançados através de equacionamentos termodinâmicos das assembléias ultramáficas, que forneceram, conforme já assinalado, valores respectivos de $T = 700-750^\circ C$ e $P = 6,0$ kbar.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, FINEP e ao CNPq pelo suporte financeiro, e a METAGO (Metais de Goiás S.A.) pelas facilidades de acesso à área em estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CANDIA, M.A.F. (1983) **Petrologia dos complexos máfico-ultramáficos de Mangabal I e Mangabal II, Sanclerlândia, Goiás.** São Paulo, 400p. (Tese de Doutorado/Instituto de Geociências/USP).
- CANDIA, M.A.F. & GIRARDI, V.A.V. (1985) Geologia e petrologia dos complexos máfico-ultramáficos de Mangabal I e Mangabal II, Sanclerlândia, Goiás. **Revista Brasileira de Geociências**, 15(3):221-230.
- CANDIA, M.A.F.; MAZZUCHELLI, M.; SIENA, F. (1989) Sub-solidus reactions and Corona structures in the Niquelândia layered complex (Central Goiás, Brazil). **Mineralogy and Petrology**, 40:17-37.
- GRAPES, R.H.; HASHIMOTO, S.; MIYASHITA, S. (1977) Amphibole of a metagabro-amphibolite sequence, Hidaka metamorphic belt Hokkaido. **Journal of Petrology**, 18(2):285-318.
- LEAKE, B.E. (1978) Nomenclature of amphiboles. **American Mineralogist**, 63:1023-1052.
- ROBINSON, P. & JAFFE, H.W. (1969) Chemographic exploration of amphibole assemblages from Central Massachussets and southwestern New Hampshire. **Special Paper. Mineralogical Society of America**, 2:251-274.

- ROBINSON, P.; ROSS, M.; JAFFE, H.W. (1971) Composition of the anthophyllite-gedrite series, compositions of gedrite and hornblende and the anthophyllite-gedrite solvus. *American Mineralogist*, 56:1005-1041.
- ROBINSON, P.; SPEAR, F.S.; SCHUMACHER, J.C.; KLEIN, C.; EVANS, B.W.; DOOLAN, B.L. (1982) Phase relations of metamorphic amphiboles: natural occurrence and theory. *Reviews in Mineralogy*, 9B:1-227.
- SPEAR, F.S. (1981) An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite. *American Journal of Science*, 281:697-734.
- THOMPSON, J.B.; LAIRD, J.; THOMPSON, A.B. (1982) Reactions in amphibolite, greenschist and blueschist. *Journal of Petrology*, 23:1-27.

Recebido em 21/06/1990.
Aprovado em 29/10/1990.