

373 / *sympo = 0814275*

Aspectos Mineralógicos, Texturais e Químicos das Biotitas de Surubim, Vale do Rio Curaçá, Bahia

R. M. S. BELLO, J. V. VALARELLI e E. RUBERTI

Departamento de Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 01498 São Paulo, SP.

Manuscrito recebido em 16 de julho de 1990, aceito para publicação em 4 de dezembro de 1990

ABSTRACT

This study pointed out that the biotite crystals present in all rock types from Surubim (Curaçá River Valley, Bahia) have distinct textural relations to the other rock forming minerals, suggesting formation at several stages of the evolutionary history of the region. Part of the biotite (biotite 1 - TiO_2 from 0.5 to 2.5%) resulted from parageneses prior to the granulite facies, and took part in reactions that produced pyroxenes and garnet during progressive metamorphism; biotite 2 (TiO_2 from 2.5 to 5.5%) was crystallized or recrystallized during granulitic metamorphism; younger biotite crystals (TiO_2 contents decreasing with large scatter in data) were formed by retrometamorphic reactions involving pyroxenes and amphiboles and the addition of K, SiO_2 and Al_2O_3 rich fluids, from local migmatization and from several stages of granitic intrusions.

Key words: biotite, Surubim

INTRODUÇÃO

O depósito de cobre de Surubim, com reservas de 14 milhões de toneladas a 0,8% Cu, pertence à província cuprífera do vale do rio Curaçá, localizada na parte N-NE do Estado da Bahia, cujos terrenos são constituídos por rochas pré-cambrianas de alto grau metamórfico e de acentuada complexidade estrutural, estratigráfica e litológica.

A biotita é um mineral comumente encontrado em todos os tipos de rochas de Surubim; ocorre em quantidades variáveis nas diversas rochas gnáissicas e granulíticas, concentrando-se nos denominados biotititos. Apresenta diversas relações texturais com os demais minerais, sugerindo sua formação em mais de uma etapa, o que também é refletido através de suas composições químicas e colorações distintas,

muitas vezes características de determinadas condições metamórficas.

Neste trabalho são discutidos os diversos aspectos texturais apresentados pelas biotitas, os dados de microsonda eletrônica e as relações paragenéticas envolvendo esse mineral, o que permite a caracterização das diferentes gerações de cristalização e/ou recristalização.

Foram descritas cerca de 200 lâminas delgadas de amostras de furos de sonda e de uma travessa subterrânea de pesquisa de 40 m de comprimento, tendo sido consideradas as características mineralógicas, texturais, paragenéticas e os aspectos de alteração, retrometamorfismo e hidrotermalismo. Foram principalmente amostrados os furos de sonda FS-6514, FS-6019, FS-6316, FS-6118 da seção J-J; FS-6722 e FS-6524 da seção P-P, FS-5716 da seção G-G e a travessa subterrânea pertencente a

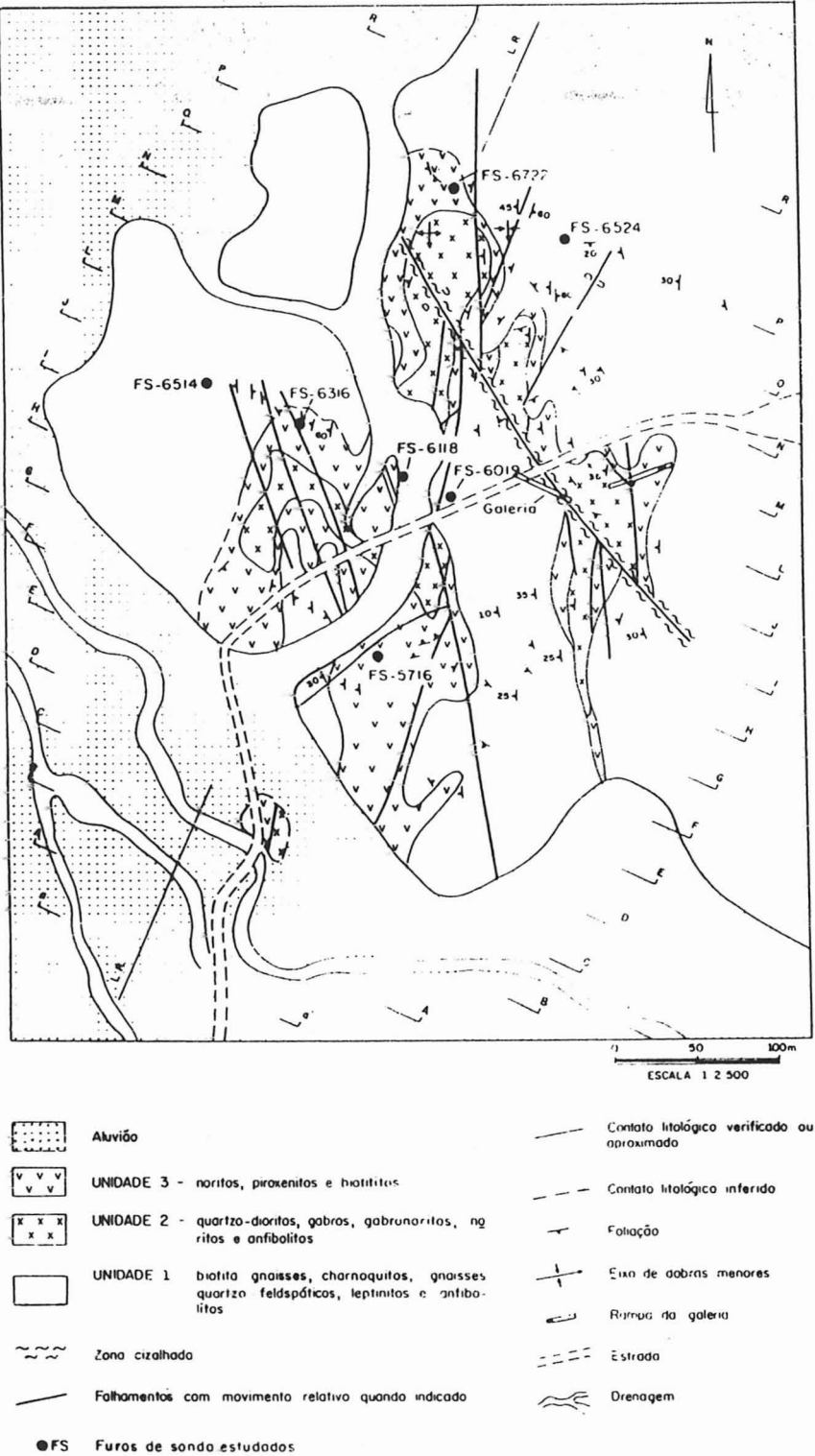


Fig. 1 — Mapa geológico simplificado do depósito de Cobre de Surubim (Franke *et al.* 1982), incluindo a galeria e os furos de sonda estudados.

seção LL (fig. 1). A partir desse estudo inicial, foram selecionadas as amostras para as análises da química mineral.

As análises químicas foram executadas na microsonda eletrônica de fabricação ARL (Applied Research Laboratories) modelo EMX-SM do Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Foram utilizados padrões naturais de biotita, para Fe, Mn, Mg, K e F, de hornblenda para Ca e Na e de magnetita para Ti e Fe. Para a análise de Ba foi empregado o eutético BaO-SiO₂.

Análises pelo método de dispersão de energia foram realizadas na Faculdade "Pierre et Marie Curie" (Jussieu) em Paris, pelo Prof. Dr. Johildo F. Barbosa.

SITUAÇÃO GEOLÓGICA

Na área do depósito de Surubim foram identificadas três unidades litológicas distintas (Franke & Carvalho 1981; Franke *et al.* 1982; Bello 1986). A *Unidade 1* é composta por rochas gnáissicas, nas quais bandas quartzo feldspáticas alternam-se com outras onde predominam máficos; a *Unidade 2* é constituída por intercalações de granulitos noríticos, gabronoríticos e gábricos, com proporções variáveis de biotita, e por finas lentes de granulitos plagioclásiticos; na *Unidade 3*, mineralizada, predominam granulitos piroxeníticos e noríticos, com quantidades variáveis de biotita, podendo chegar a termos verdadeiramente biotíticos. Intimamente associadas a essas rochas, ocorrem lentes de rochas cálcio-silicáticas e de formações ferríferas, bem como leitos granatíferos e/ou grafitosos.

As observações de Hutchinson (1977) e Figueiredo (1981), entre outros, na região do vale do Curaçá, mostram a importância de rochas cálcio-silicáticas, formações ferríferas e gnaisses metassedimentares intimamente associados às seqüências mineralizadas. Esses dados, ao lado das indicações de campo e estudos de testemunhos de furos de sonda do depósito de Surubim, dos aspectos texturais e mineralógicos observados em seções delgadas e polidas e das análises químicas de rocha total e diagramas de variação correspon-

dentes (Bello 1986), sugerem um ambiente vulcano-sedimentar original, onde foi possível a alternância de sedimentos químicos e clásticos, ocasionalmente grafitosos, com rochas de natureza efusiva.

As paragêneses atualmente presentes nas rochas das três unidades de Surubim são indicativas de metamorfismo de fácies granulito, denotando também a ocorrência de episódios retrometamórficos e hidrotermais posteriores (Franke *et al.* 1982; Bello 1986). O estudo paragenético das fases mineralógicas em equilíbrio (silicatos e sulfetos) e a aplicação de vários métodos geotermobarométricos indicaram temperaturas médias situadas entre 700°C e 750°C e pressões de 6 a 8 kbars para o pico do metamorfismo granulítico da região (Bello 1986; Bello *et al.* 1988 *a e b*).

MINERALOGIA E TEXTURAS

A biotita está presente em rochas das três unidades de Surubim, concentrando-se nos biotititos, onde ocorre numa proporção de 60 a 80%.

Constitui geralmente cristais euédricos de hábito lamelar, embora possa ser observada também sob a forma de pequenas placas anédricas a subédricas, de bordas arredondadas, englobadas em piroxênios e granada.

Pode estar associada a ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio, hornblenda e, ocasionalmente, à granada, hercinita e grafita; neste último caso, ambas possuem a mesma orientação, podendo mostrar deformações, com desenvolvimento local de crenulações. A biotita ainda ocorre junto à apatita, euédrica e subédrica, e a zircões arredondados, às vezes englobando esses minerais. É comum a associação de biotita com minerais de ferro e titânio, principalmente magnetita, e com sulfetos de cobre e ferro, estes, geralmente, dispostos entre suas lamelas. Em certos biotititos, cristais de magnetita encontram-se dispostos em bandas orientadas paralelamente a leitos de biotita, podendo constituir até 50% da seção delgada, o que parece indicar contribuição de formações ferríferas nas rochas mineralizadas,

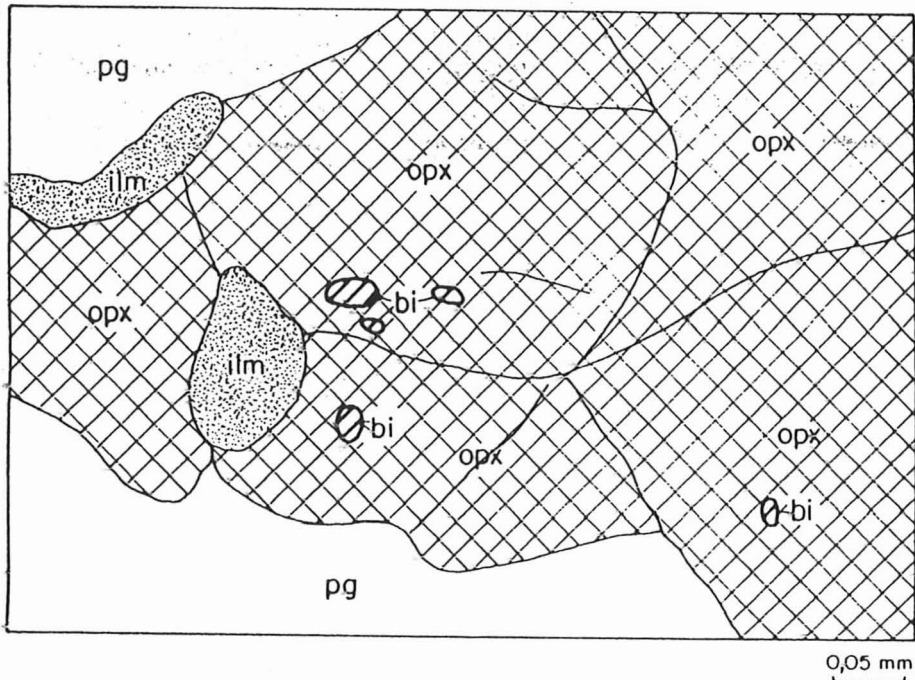


Fig. 2 — (Gnaiss charoquítico - Unidade 1) - Cristais arredondados de biotita incluídos em ortopiroxênio, apresentando contatos nítidos e bem definidos. (bi: biotita; opx: ortopiroxênio; ilm: ilmenita; pg: plagioclásio).

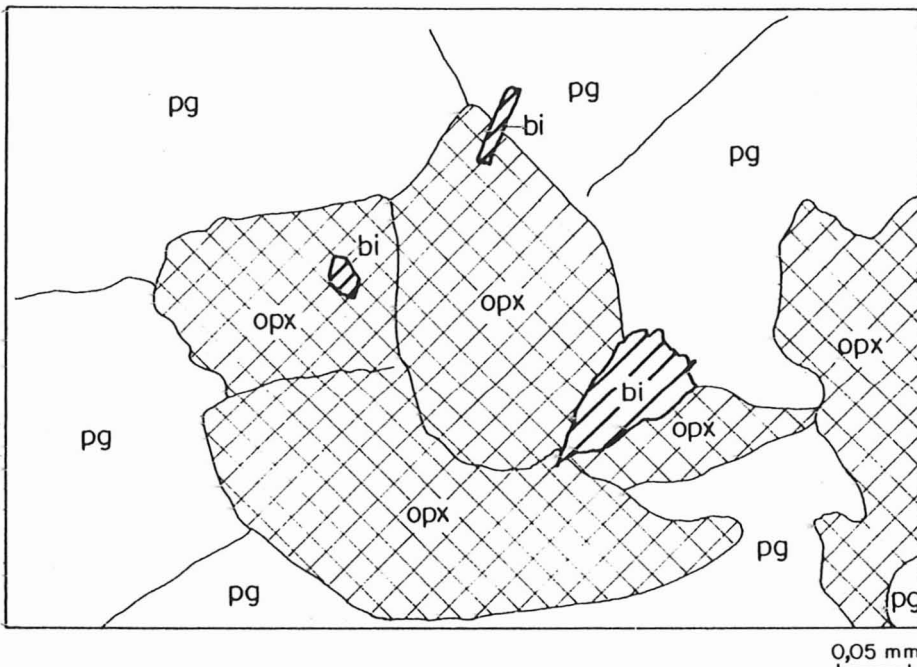


Fig. 3 — (Gnaiss charoquítico - Unidade 1) - Biotita como inclusão arredondada em ortopiroxênio; como cristais finos cortando plagioclásio e ortopiroxênio; associada a piroxênio e plagioclásio. (bi: biotita; opx: ortopiroxênio; pg: plagioclásio).

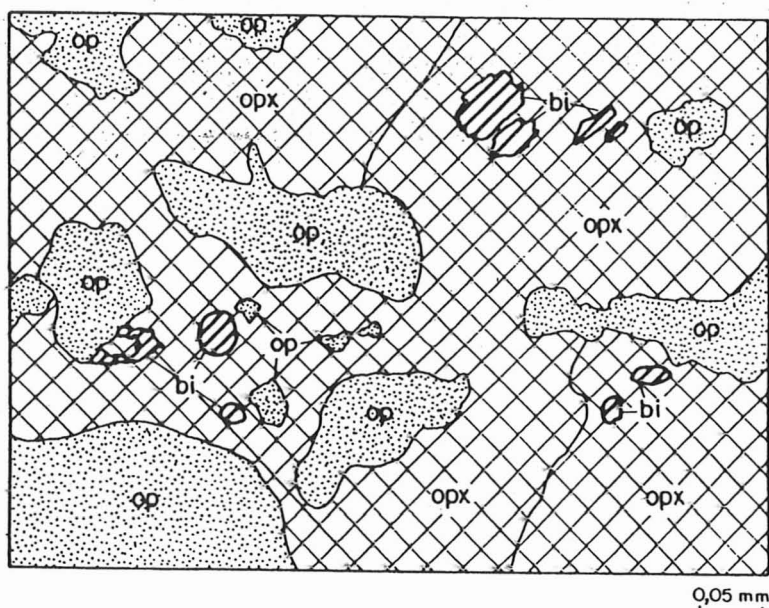


Fig. 4 — (Granulito norítico - Unidade 3) - Inclusões arredondadas de biotita em ortopiroxênio; cristais finos e esfiapados de biotita, condicionados pelas clivagens de ortopiroxênio. (bi: biotita; opx: ortopiroxênio; op: opaco).

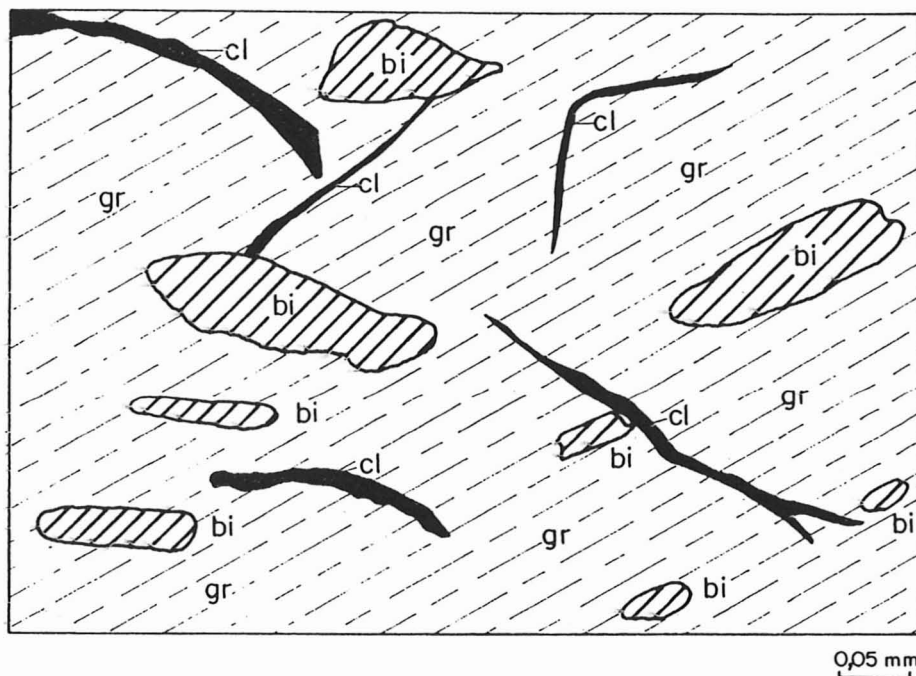


Fig. 5 — (Granada biotítico - Unidade 3) - Inclusões arredondadas de biotita em granada. (bi: biotita; gr: granada; cl: clorita).

como discutem Figueiredo (1981) e Bello (1986), entre outros. Em biotitos localizados próximos a zonas fraturadas e a veios pegmatóides, foi ainda observada sua associação com turmalina, que forma cristais anédricos intersticiais, mostrando a presença do hidrotermalismo pneumatolítico.

A granulação da biotita é extremamente

sugerindo a presença de biotita antes do metamorfismo granulítico, podendo tratar-se de relictos não consumidos nas reações metamórficas progressivas (figs. 2, 3, 4 e 5).

2. Cristais intersticiais ora orientados segundo as foliações principais das rochas gnáissicas, ora associados a piroxênios, plagioclásio e outros

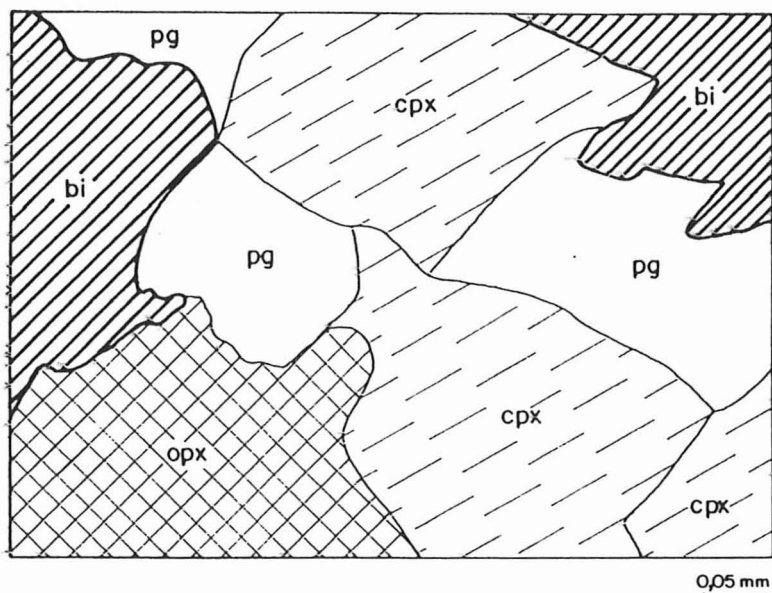


Fig. 6 — (Granulito gabronorítico - Unidade 2) - Biotita intersticial associada a piroxênio e plagioclásio. Textura granoblástica de equilíbrio. (bi: biotita; opx: ortopiroxênio; cpx: clinopiroxênio; pg: plagioclásio).

variável, ocorrendo desde cristais milimétricos (ocasionalmente englobando piroxênios total ou parcialmente alterados por hidrotermalismo e/ou retrometamorfismo), até lamelas muito finas e esfiapadas que cortam todos os outros minerais, inclusive as biotitas maiores. A variedade fina e esfiapada ainda é encontrada no interior de cristais de ortopiroxênio, com feições que sugerem sua formação a partir do mesmo, através de reações retrometamórficas.

Os diferentes tipos de biotita observados em seções delgadas (alguns também discutidos por Franke 1982) podem ser resumidos como segue:

1. Inclusões arredondadas em orto e clinopiroxênio e, ocasionalmente, em granada, sendo seus contatos nítidos e bem delimitados,

minerais, desenvolvendo texturas granoblásticas (Fig. 6).

3. Cristais constituindo parte dos pseudomorfos de ortopiroxênio. Foram observados contatos bruscos entre biotita e as porções cloritizadas ou talcificadas dos pseudomorfos; essa feição poderia ser resultante da transformação parcial de ortopiroxênio em biotita, seguida de recristalização. Posteriormente teriam ocorrido transformações retrometamórficas atingindo principalmente o ortopiroxênio restante, manifestando-se em menor extensão sobre a biotita (Fig. 7).

4. Cristais grandes interpenetrados (Fig. 8) ou englobando ortopiroxênio "alterado"; ocasionalmente, entre as lamelas de biotita ocorre quartzo microgranular, parecendo, em muitos casos, tratar-

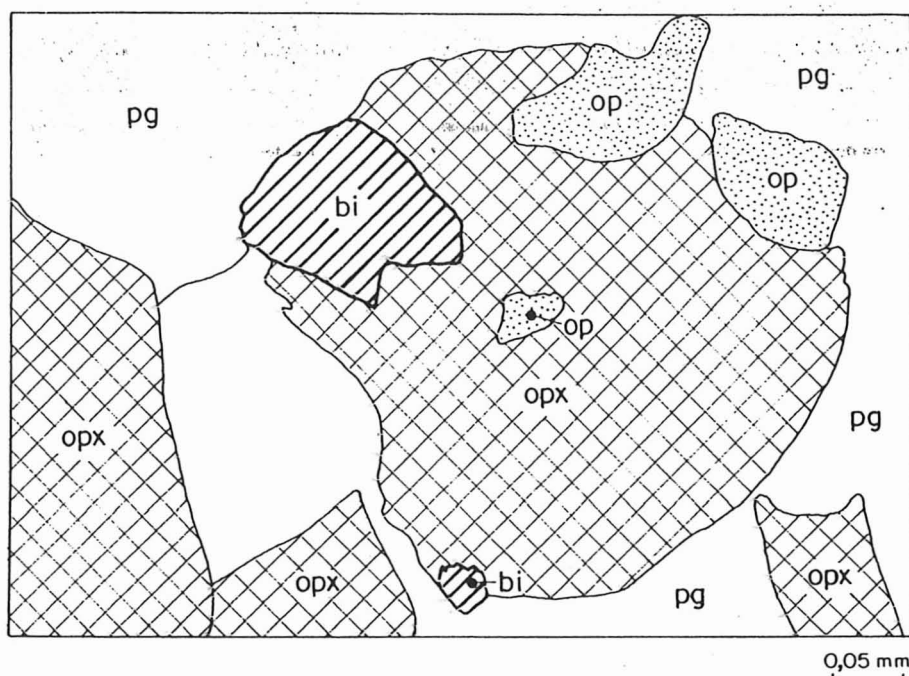


Fig. 7 — (Granulito norítico com faixas biotíticas - Unidade 3) - Cristal de biotita constituindo parte de ortopiroxênio retrometamorfizado, apresentando contatos bruscos e nítidos, sugerindo recrystalização. Biotita fina, desenvolvida por retrometamorfismo, na borda inferior esquerda do ortopiroxênio com contatos difusos. (bi: biotita; opx: ortopiroxênio; pg: plagioclásio; op: opaco).

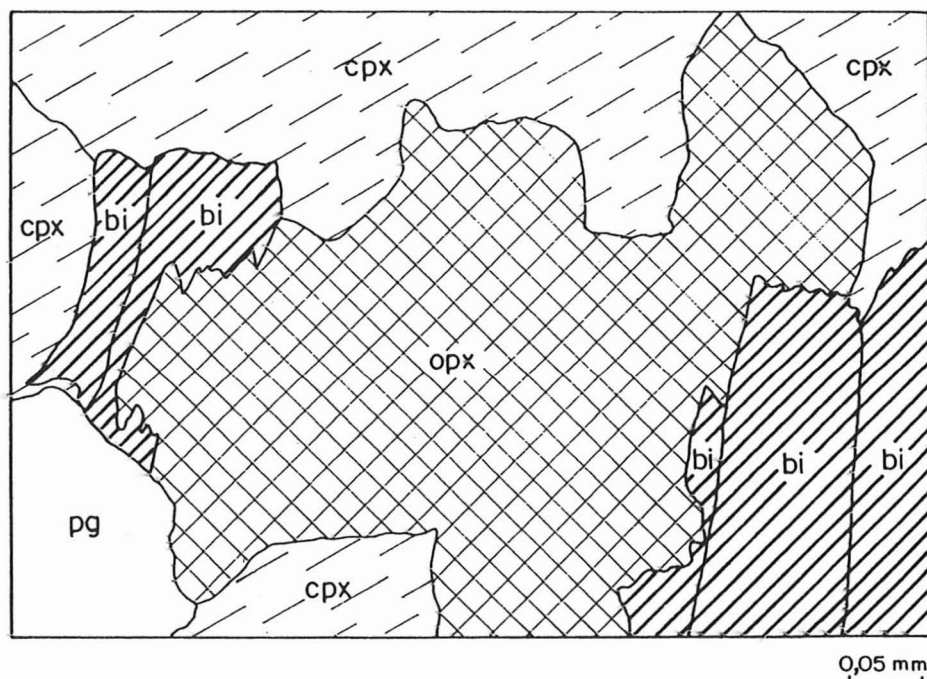


Fig. 8 — (Granulito gabronorítico - Unidade 2) - Cristais de biotita interpenetrados por ortopiroxênio retrometamorfizado. (bi: biotita; opx: ortopiroxênio; pg: plagioclásio).

se de intercrescimentos secundários resultantes da transformação retrometamórfica de piroxênio para biotita.

5. Cristais grandes contornando grãos de ortopiroxênio, desenvolvendo contatos côncavos com o mesmo, sugerindo transformação do piroxênio em biotita (Fig. 9).

6. Cristais finos e esfiapados presentes em clivagens e/ou fraturas de ortopiroxênio, às vezes orientados; manchas difusas de finos agregados de biotita no interior de pseudomorfos e de grãos preservados de ortopiroxênio. Nestes casos, a biotita teria sido formada a partir do piroxênio, por

finas podem ainda ocorrer em regiões de fraturas e falhas e próximo a veios pegmatóides (Fig. 11).

Verificou-se, ainda, que a biotita englobada poiquiloblasticamente em piroxênios e granada e a que apresenta relações de equilíbrio possuem, geralmente, coloração avermelhada com forte pleocroísmo, variando de castanho avermelhado em α , atingindo tonalidades vermelhas a castanho avermelhadas mais escuras em $\beta = \gamma$. Essas biotitas apresentam propriedades ópticas bastante semelhantes, embora os dados de microsonda eletrônica mostrem a existência de diferenças essenciais entre elas. Por outro lado, cristais de

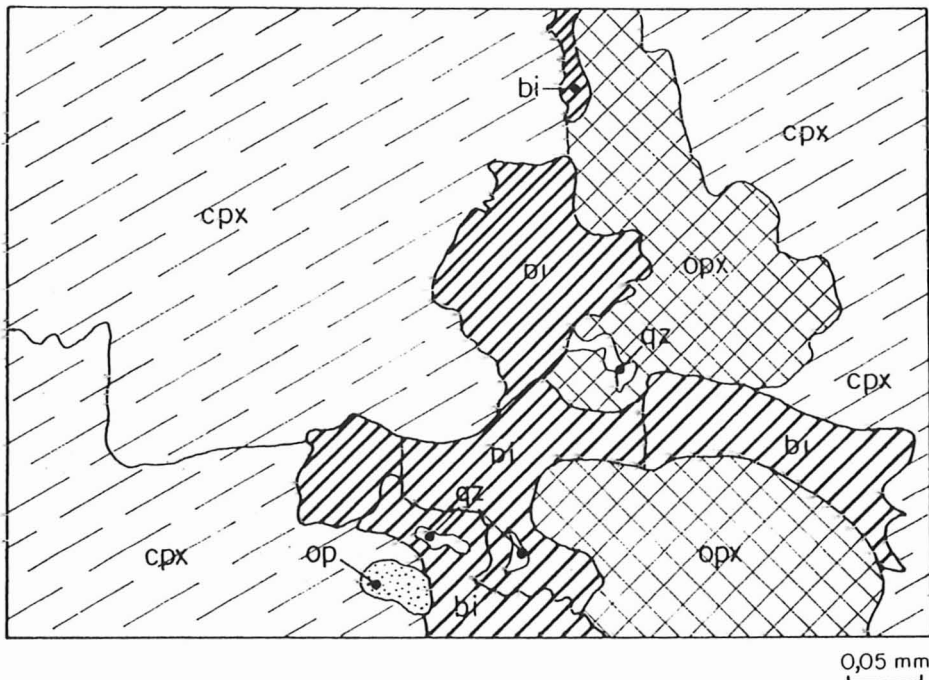


Fig. 9 — (Biotita piroxenito com opx e cpx - Unidade 2) - Cristais de biotita contornando grãos de ortopiroxênio, desenvolvendo contatos côncavos. Quartzo recristalizado intimamente associado a biotita e ortopiroxênio. (bi: biotita; opx: ortopiroxênio; cpx: clinopiroxênio; qz: quartzo; op: opaco).

reações retrometamórficas, sem ter sofrido recristalização posterior, sendo, portanto, de uma fase mais tardia que no caso 3 (Figs. 4 e 10).

7. Cristais desenvolvidos na borda de grãos de hornblenda, através de reações retrometamórficas.

8. Biotita fina cortando todos os minerais formadores de rocha. Faixas orientadas de biotitas

biotita cujas relações texturais sugerem ter sido formados por reações retrometamórficas, a partir de piroxênios, possuem colorações bastante variáveis, desde equivalentes aos tipos anteriores, até tonalidades mais claras, acastanhadas, levemente avermelhadas. As demais já exibem diferenças marcantes de coloração, apresentando cores castanhas bem claras, geralmente sem

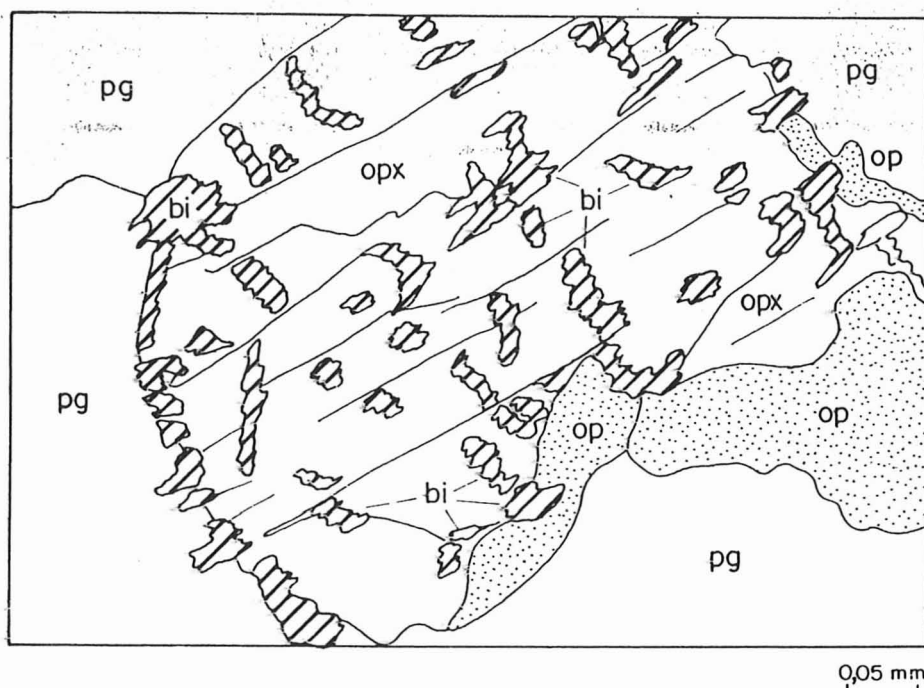


Fig. 10 — (Gnaiss de composição enderbítica - Unidade 1) - Manchas finas e difusas de biotita, desenvolvidas por retrometamorfismo, nas bordas e segundo as direções de clivagem e fraturas de ortopiroxênio. (bi: biotita; opx: ortopiroxênio; pg: plagioclásio; op: opaco).

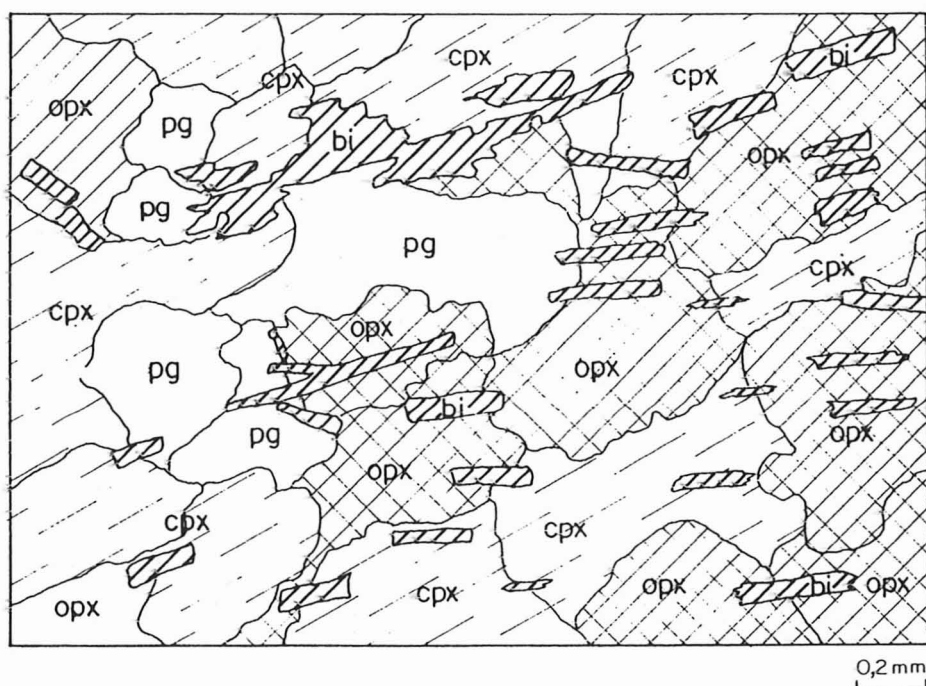


Fig. 11 — (Granulito gabronorítico - Unidade 2) - Biotita como cristais finos e orientados, cortando todos os minerais da rocha, a qual apresenta textura granoblástica de equilíbrio. (bi: biotita; opx: ortopiroxênio; cpx: clinopiroxênio; pg: plagioclásio).

tonalidades avermelhadas, embora estas possam aparecer em alguns casos.

Esses aspectos fortalecem as evidências de que a biotita tenha sido formada em diferentes etapas, pois, como enfatizam Hyndman (1972), Miyashiro (1973) e Guidotti (1984), sua coloração apresenta variações com o metamorfismo crescente, adquirindo tonalidade avermelhada em ambientes de alto grau, devido ao aumento do conteúdo de TiO_2 .

Por se tratar de um mineral que apresenta maior resistência às transformações retrometamórficas e hidrotermais, nas amostras mais afetadas por esses fenômenos, os cristais de biotita apresentam apenas regiões descoloridas ou com transformações parciais para clorita e quartzo, com desenvolvimento de magnetita titanífera secundária, agulhas de rutilo ou fitas de leucoxênio. Foram também localmente observadas clinozoizita e prehnita entre lamelas de biotita.

DADOS QUÍMICOS

* Foram analisadas por microsonda eletrônica as biotitas lepidoblásticas e granoblásticas, as englobadas poiquiloblasticamente em piroxênios e granada e as resultantes de transformações retrometamórficas de piroxênios (Tab. I e II), das seguintes amostras:

- 4: FS 5716 - 94,03 m - granulito granada quarto norítico (U_2)
- 5: FS 5716 - 107,11 m - gnaiss de composição enderbítica (U_1)
- 6: FS 5716 - 109,15 m - granulito biotita norítico (U_2)
- 8: FS 5716 - 126,80 m - granulito biotita piroxenítico (opx + cpx) (U_2)
- 13: FS 6019 - 68,30 m - Lente cálcio-silicática (U_3)
- 14: FS 6019 - 68,30 m - Intercalação de biotito (U_3)
- 15: FS 6019 - 80,60 m - granada biotito (U_3)
- 17: FS 6118 - 33,19 m - granulito piroxenítico (U_3)
- 18: FS 6118 - 34,50 m - granulito granada biotita piroxenítico (U_3)

- 26: FS 6118 - 126,80 m - granulito norítico (U_3)
- 33: FS 6316 - 89,59 m - hornblenda biotito (U_3)
- 36: FS 6316 - 146,27 m - granulito norítico com hornblenda (U_2)
- 44: FS 6514 - 183,24 m - granulito gabronorítico com hornblenda (U_2)
- 45: FS 6514 - 185,39 m - biotito com espinélio (U_3)
- 47: Travessa subterrânea L-L-Om - Biotito com espinélio (U_3)

com as respectivas legendas:

- (1) biotitas englobadas em opx
- (2) biotitas englobadas em cpx
- (3) biotitas englobadas em granada
- (4) biotitas provenientes de opx
- (b) borda
- (n) núcleo

* biotita grano ou lepidoblástica

A partir dos dados obtidos, observa-se a ocorrência de grandes variações nas porcentagens em peso de TiO_2 , que se dispõem entre 0,5% e 4,9%, correspondentes a 0,057 e 0,563 cátions/6 posições octaédricas respectivamente, predominando as quantidades maiores. Essas variações estão representadas nas figuras 12 a, b e c, tendo sido considerado, respectivamente: o total de amostras analisadas (49 amostras); biotita englobada poiquiloblasticamente em piroxênio e granada e proveniente de ortopiroxênio (18 amostras); e apenas os cristais de biotita com texturas granoblásticas e lepidoblásticas, em equilíbrio com os outros minerais (31 amostras).

Esses histogramas mostram que, de modo geral, a maioria dos cristais de biotita englobados em granada, orto e clinopiroxênio apresenta teores de TiO_2 inferiores (0,5% a 2,5%, ou seja, 0,066 a 0,246 cátions/6 posições octaédricas) àqueles com texturas grano e lepidoblásticas. Destes, a maioria apresenta teores entre 2,5% e 5,5% TiO_2 (0,287-0,563 cátions/6 posições octaédricas, com maior concentração de valores no intervalo 2,5%-3,5% TiO_2 (0,287-0,389 cátions/6 posições octaédricas). A biotita proveniente de transformações retrometamórficas de ortopiroxênio apresenta

TABELA I
Composição Química de Biotitas - Análises por Microsonda Eletrônica

	granulitos noríticos (U2)				granulito gabronorítico	granulitos piroxeníticos					cálcio silicática		
	4/A*	4/B*	6*	36*		44*	8/A*	8/B*	8/e ²	17*		18/eA ³	18/eB ³
Amostra													13*
SiO ₂	35,36	35,38	36,94	35,99	36,41	36,04	36,07	36,27	34,12	35,73	34,05	32,37	40,68
TiO ₂	3,58	4,68	3,54	3,85	4,21	3,15	3,90	3,67	2,96	1,90	1,70	1,50	0,63
Al ₂ O ₃	13,81	13,17	13,78	14,18	13,31	14,00	13,69	13,50	15,70	16,26	15,45	15,65	14,21
FeO*	27,90	27,29	18,39	19,23	20,46	22,90	21,90	21,54	22,40	22,02	26,54	29,14	4,28
MnO	0,12	0,12	0,03	0,09	0,12	0,10	0,06	0,07	0,12	0,17	0,16	0,16	0,02
MgO	5,38	5,67	13,19	13,77	11,51	10,81	10,90	11,33	11,56	12,22	11,15	10,95	23,26
CaO	0,14	0,06	0,01	0,11	0,09	0,06	0,17	0,24	—	0,24	0,15	0,22	0,09
Na ₂ O	0,02	—	0,19	0,30	0,08	0,05	0,21	0,13	0,24	0,19	0,22	0,01	0,18
K ₂ O	9,77	9,76	9,84	8,91	9,51	9,45	9,61	9,49	9,42	8,32	8,11	7,15	9,69
BaO	0,53	0,56	0,18	0,30	0,48	0,28	0,29	0,20	0,03	0,07	0,11	0,14	—
F	0,11	0,01	0,72	0,47	0,26	0,35	0,43	0,40	0,03	0,11	0,02	0,01	1,49
TOTAL	96,72	96,70	96,81	97,20	96,44	97,19	97,23	96,84	97,03	97,23	97,66	97,30	94,53
O 3 F	0,05	—	0,30	0,22	0,11	0,15	0,18	0,17	0,01	0,05	0,01	—	0,63
TOTAL	96,67	96,70	96,51	96,98	96,33	97,04	97,05	96,67	97,02	97,18	97,65	97,30	93,90
Fórmula Estrutural com base em 22 Oxigênios													
Si	5,613	5,601	5,598	5,433	5,583	5,539	5,532	5,565	5,257	5,398	5,256	5,074	5,881
Al ^{IV}	2,387	2,339	2,402	2,522	2,405	2,461	2,468	2,435	2,743	2,602	2,744	2,892	2,119
Al ^{VI}	0,196	0,059	0,059	—	—	0,074	0,007	0,006	0,102	0,294	0,067	—	0,303
Ti	0,428	0,557	0,404	0,437	0,486	0,364	0,450	0,423	0,342	0,216	0,197	0,176	0,069
Fe	3,704	3,613	2,330	2,427	2,623	2,943	2,809	2,764	2,881	2,783	3,427	3,820	0,518
Mn	0,016	0,016	0,004	0,011	0,015	0,013	0,008	0,009	0,015	0,022	0,021	0,021	0,002
Mg	1,273	1,338	2,980	3,099	2,631	2,475	2,491	2,590	2,650	2,751	2,567	2,557	5,013
Ca	0,024	0,010	0,002	0,018	0,015	0,010	0,028	0,039	—	0,039	0,025	0,037	0,014
Na	0,007	—	0,056	0,088	0,024	0,014	0,06	0,037	0,072	0,057	0,067	0,004	0,051
K	1,978	1,971	1,902	1,715	1,860	1,853	1,880	1,857	1,861	1,603	1,597	1,430	1,787
Ba	0,033	0,035	0,011	0,018	0,029	0,017	0,017	0,012	0,021	0,004	0,007	0,009	—
Z	8,000	8,000	8,000	7,955	7,988	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	7,966	8,000
Y	5,617	5,583	5,777	5,974	5,755	5,869	5,765	5,792	5,990	6,066	6,279	6,576	5,905
X	2,105	2,016	1,971	1,839	1,928	1,894	1,986	1,945	1,954	1,703	1,696	1,480	1,852
X _{Mg}	0,343	0,370	1,279	1,277	1,003	0,841	0,887	0,937	0,920	0,988	0,749	0,669	9,678
X _{Fe*}													

TABELA I (continuação)

	granulitos norfíticos (U3)												gnaisses (U1)	
Amostra	26a*	26a/eA ¹	26a/eC ¹	26b/A.b*	26b/An*	26b/B.b*	26b/B.n.*	26b/eA ¹	26b/B ¹	26b/eBn ¹	26b/eC ¹	5/aA ⁴	5/aB ⁴	
SiO ₂	35,23	35,19	35,38	35,66	35,53	34,16	35,54	35,92	35,16	34,64	35,54	35,57	36,39	
TiO ₂	2,51	1,26	2,63	2,27	3,37	2,01	3,89	3,61	1,89	2,68	2,15	2,60	3,69	
Al ₂ O ₃	15,17	15,57	14,19	13,51	14,53	15,17	14,50	13,35	15,20	15,28	15,68	15,58	14,36	
FeO*	21,99	23,84	23,97	22,92	20,83	22,94	20,91	22,61	22,45	22,73	21,46	21,24	15,47	
MnO	0,17	0,21	0,21	0,18	0,16	0,17	0,14	0,16	0,22	0,20	0,20	0,08	0,02	
MgO	13,19	13,13	11,68	12,23	11,68	13,24	12,16	11,50	12,69	12,21	12,39	12,13	15,36	
CaO	0,02	0,02	0,13	0,15	0,24	0,08	0,06	0,15	0,04	0,04	0,07	0,36	0,089	
Na ₂ O	0,05	—	0,22	0,05	0,18	0,05	0,09	0,15	—	—	0,02	0,08	0,10	
K ₂ O	8,60	7,82	8,27	8,82	8,99	8,93	9,35	9,19	8,44	8,74	8,91	8,74	9,73	
BaO	0,12	0,01	0,04	0,17	0,07	0,10	0,13	0,19	0,18	0,13	0,25	0,04	0,06	
F	0,20	0,12	0,09	0,16	0,12	0,11	0,10	0,08	0,10	0,10	0,15	0,24	0,43	
TOTAL	97,25	97,17	96,81	96,12	95,70	96,96	96,87	96,91	96,37	96,75	96,82	96,66	95,69	
O = F	0,08	0,05	0,04	0,07	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,06	0,10	0,18	
TOTAL	97,17	97,12	96,77	96,05	95,65	96,91	96,83	96,88	96,33	96,71	96,76	96,56	95,51	

Fórmula Estrutural com base em 22 Oxigênios													
Si	5,350	5,358	5,440	5,523	5,467	5,252	5,412	5,514	5,394	5,315	5,411	5,414	5,484
Al ^{IV}	2,649	2,642	2,560	2,465	2,533	2,748	2,588	2,416	2,606	2,685	2,589	2,586	2,516
Al ^{VI}	0,067	0,151	0,011	—	0,102	0,001	0,014	—	0,142	0,079	0,225	0,208	0,035
Ti	0,287	0,145	0,304	0,264	0,389	0,233	0,445	0,417	0,218	0,309	0,246	0,297	0,418
Fe	2,792	3,036	3,083	2,969	2,681	2,949	2,663	2,903	2,881	2,917	2,732	2,703	1,950
Mn	0,022	0,027	0,027	0,023	0,021	0,022	0,018	0,021	0,028	0,026	0,026	0,010	0,002
Mg	2,987	2,979	2,676	2,823	2,679	3,033	2,761	2,632	2,901	2,792	2,813	2,752	3,450
Ca	0,003	0,003	0,021	0,025	0,040	0,013	0,010	0,025	0,007	0,006	0,011	0,059	0,013
Na	0,013	—	0,066	0,014	0,054	0,014	0,027	0,045	—	—	0,007	0,023	0,028
K	1,667	1,519	1,623	1,742	1,764	1,752	1,817	1,800	1,651	1,711	1,730	1,697	1,870
Ba	0,007	0,001	0,003	0,010	0,004	0,006	0,008	0,011	0,011	0,008	0,015	0,003	—
Z	8,000	8,000	8,000	7,988	8,000	8,000	8,000	7,930	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Y	6,155	6,338	6,101	6,079	5,872	6,237	5,901	5,973	6,170	6,123	6,042	5,970	5,855
X	1,689	1,521	1,713	1,791	1,862	1,785	1,862	1,881	1,669	1,725	1,763	1,782	1,911
X _{Mg} X _{Fe*}	1,070	0,981	0,868	0,951	0,999	1,028	1,037	0,907	1,007	0,957	1,030	1,018	1,769

TABELA I (continuação)

		granada biotitos										biotitos	
Amostra	15/Ab ⁺	15/An ⁺	15/B ⁺	15/C ⁺	15/Ea.b ³	15/Ea.n ³	15/Eb.b ³	15/Eb.n ³	15/Ec.b ³	15/Ec.n ³	14 ⁺	33 ⁺	47 ⁺
SiO ₂	36,05	36,32	36,02	36,01	35,64	35,37	34,90	35,06	35,42	35,61	37,65	36,51	36,44
TiO ₂	1,16	3,32	1,57	1,12	0,76	1,22	0,50	1,67	0,58	1,57	4,29	3,06	2,96
Al ₂ O ₃	16,41	15,68	16,17	16,42	17,79	17,54	17,56	17,26	17,11	16,94	15,66	15,10	7,05
FeO ⁺	19,66	19,54	18,67	18,40	19,43	17,64	19,97	18,28	20,81	18,30	16,33	17,33	15,29
MnO	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,06	0,03	0,06	0,03	0,06	0,08	0,05
MgO	13,37	11,58	13,51	14,27	13,26	14,59	14,50	14,17	14,13	14,55	13,66	14,97	15,16
CaO	0,03	—	0,05	0,03	0,14	0,01	0,06	—	0,06	0,011	0,02	0,10	0,03
Na ₂ O	0,09	0,22	0,22	0,17	0,02	0,20	0,04	0,12	0,02	0,11	0,16	0,24	0,428
K ₂ O	9,30	9,27	8,69	8,90	8,84	8,89	8,49	8,86	8,58	9,03	8,64	8,30	8,53
BaO	0,24	0,26	0,19	0,17	—	0,03	0,07	0,15	0,07	0,12	0,23	0,15	0,10
F	0,57	0,31	0,57	0,65	0,48	0,51	0,41	0,44	0,40	0,49	0,36	0,44	0,52
TOTAL	96,93	96,53	95,69	96,17	96,40	96,02	96,66	96,04	97,24	96,76	97,06	96,28	96,55
O = F	0,24	0,13	0,24	0,27	0,20	0,21	0,17	0,18	0,17	0,21	0,15	0,18	0,22
TOTAL	96,69	96,40	95,45	95,90	96,20	95,81	96,49	95,86	97,07	96,55	96,91	93,10	96,33
Fórmula Estrutural com base em 22 Oxigênios													
Si	5,453	5,503	5,478	5,450	5,380	5,330	5,271	5,305	5,335	5,348	5,548	5,468	5,387
Al ^{IV}	2,547	2,497	2,522	2,550	2,620	2,670	2,729	2,695	2,665	2,652	2,452	2,532	2,613
Al ^{VI}	0,380	0,303	0,376	0,379	0,545	0,445	0,397	0,383	0,372	0,347	0,268	0,134	0,357
Ti	0,132	0,378	0,180	0,127	0,087	0,139	0,057	0,189	0,066	0,178	0,476	0,344	0,329
Fe	2,488	2,476	2,375	2,329	2,453	2,224	2,523	2,313	2,621	2,298	2,012	2,171	1,890
Mn	0,006	0,004	0,004	0,004	0,005	0,003	0,008	0,004	0,008	0,004	0,007	0,010	0,006
Mg	3,015	2,616	3,062	3,219	2,983	3,277	3,287	3,196	3,172	3,257	3,001	3,342	3,340
Ca	0,005	—	0,008	0,005	0,023	0,002	0,010	—	0,010	0,002	0,003	0,016	0,005
Na	0,026	0,066	0,065	0,048	0,006	0,057	0,013	0,036	0,006	0,032	0,047	0,070	0,120
K	1,795	1,791	1,687	1,719	1,702	1,710	1,635	1,710	1,648	1,730	1,623	1,583	1,610
Ba	0,014	0,015	0,011	0,010	—	0,002	0,004	0,009	0,004	0,007	0,013	0,009	0,006
Z	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Y	6,021	5,777	5,997	6,058	6,073	6,088	6,272	6,085	6,239	6,084	5,764	6,001	5,992
X	1,840	1,872	1,771	1,783	1,732	1,771	1,662	1,755	1,668	1,771	1,686	1,680	1,741
X _{Mg} X _{Fe}	1,212	1,056	1,289	1,382	1,216	1,473	1,303	1,382	1,210	1,417	1,492	1,539	1,767

TABELA II
Composição Química de Biotitas - Análises por Dispersão de Energia

	granulito norítico	granulito grabrono- rítico	granulitos proxeníticos		biotititos					
	36/17J*	44/11J*	8/3J*	17/24J*	14/21J*	14/22J*	45/11J*	45/21J*	47/28J*	47/29J*
Amostra										
SiO ₂	37,45	35,39	37,39	34,70	36,74	36,42	37,08	36,91	36,56	36,07
TiO ₂	4,84	4,89	4,74	3,01	4,83	4,51	3,55	3,40	3,00	3,00
Al ₂ O ₃	14,44	14,21	13,74	15,82	15,44	15,58	16,34	16,73	17,30	17,32
Cr ₂ O ₃	0,15	0,10	0,08	0,44	0,41	0,54	0,15	0,17	0,16	0,12
FeO*	16,82	19,15	19,74	21,63	15,22	14,65	11,57	12,07	12,54	12,35
MnO	0,06	0,24	0,04	0,10	0,06	0,11	0,07	0,02	0,05	0,05
MgO	14,05	11,94	11,67	11,23	13,47	14,02	16,94	16,32	16,19	16,20
CaO	0,01	0,19	0,02	0,06	0,03	0,01	0,01	0,01	—	0,01
Na ₂ O	0,23	0,08	0,05	0,11	0,24	0,25	0,49	0,51	0,55	0,46
K ₂ O	9,53	9,15	9,76	8,29	9,28	9,41	9,40	9,34	9,22	9,37
TOTAL	97,58	95,34	97,23	95,39	95,72	95,50	95,60	95,48	95,57	94,95
Fórmula Estrutural com base em 22 Oxigênios										
Si	5,612	5,425	5,612	5,345	5,478	5,440	5,436	5,427	5,380	5,348
Al ^{IV}	2,399	2,557	2,399	2,555	2,522	2,560	2,564	2,573	2,620	2,652
Al ^{VI}	0,043	—	0,043	0,218	0,190	0,182	0,259	0,326	0,380	0,374
Ti	0,535	0,563	0,535	0,349	0,541	0,506	0,392	0,376	0,332	0,335
Cr	0,010	0,012	0,010	0,054	0,048	0,064	0,017	0,020	0,018	0,014
Fe	2,478	2,456	2,478	2,787	1,898	1,830	1,419	1,484	1,544	1,531
Mn	0,005	0,031	0,005	0,014	0,008	0,014	0,008	0,002	0,006	0,006
Mg	2,612	2,728	2,612	2,579	2,993	3,121	3,703	3,577	3,551	3,581
Ca	0,003	0,031	0,003	0,011	0,005	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002
Na	0,015	0,025	0,015	0,033	0,069	0,071	0,140	0,146	0,158	0,133
K	1,869	1,788	1,869	1,629	1,764	1,792	1,759	1,751	1,730	1,772
Z	8,000	7,992	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Y	5,683	5,790	5,683	6,001	5,678	5,717	5,798	5,785	5,831	5,841
X	1,887	1,844	1,887	1,673	1,838	1,865	1,901	1,899	1,889	1,907
$\frac{X_{Mg}}{X_{Fe}}$	1,054	1,111	1,054	0,925	1,577	1,705	2,610	2,410	2,300	2,339

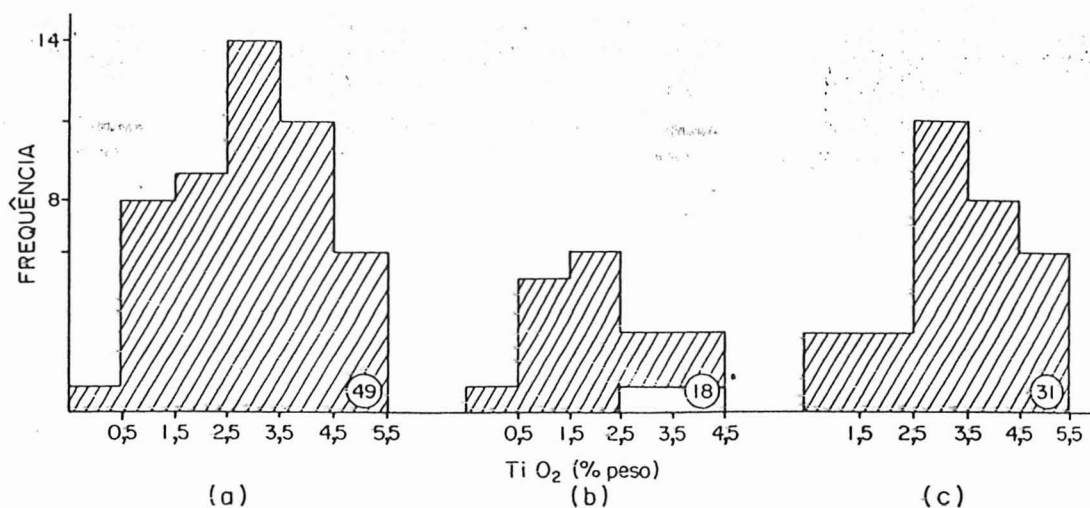


Fig. 12 — Histogramas mostrando a variação de TiO₂ (% em peso) das biotitas de Surubim. a = total de amostras analisadas (49 amostras); b = biotitas englobadas em piroxênios e granada (área hachurada) e as provenientes de ortopiroxênio (18 amostras); c = biotitas em equilíbrio granulítico (31 amostras).

teores de TiO₂ variáveis, sendo também, na maioria das vezes, bastante inferiores aos obtidos a partir das anteriores.

Segundo Guidotti (1984) cristais de biotita de metapelitos de fácies anfibolito possuem quantidades de titânio de, aproximadamente, 0,25 cátions/6 posições octaédricas, podendo atingir em fácies granulito valores de até 0,65 cátions/6 posições octaédricas. Para os outros tipos de rocha, como por exemplo, as meta-ígneas, esses teores também aumentam com o metamorfismo, chegando a valores de 0,4 a 0,6 cátions/6 posições octaédricas, em condições de alto grau metamórfico. Essas considerações também evidenciam que a formação da biotita deu-se em várias etapas distintas.

Deve ser, no entanto, ressaltado que as considerações a respeito do grau metamórfico, apenas com base nas quantidades de TiO₂ da biotita, nem sempre podem ser conclusivas. De acordo com Guidotti (1984), é condição necessária sua coexistência com alguma fase titanífera, o que assegura sua saturação em TiO₂, devido às interações dos elementos entre as fases em equilíbrio. Essa condição, porém, é satisfeita pela maioria das biotitas analisadas, por se encontrarem em rochas onde os óxidos de ferro e titânio estão

geralmente presentes, sendo comum sua associação com magnetita e ilmenita.

Considerem-se ainda os estudos sobre partição de elementos entre fases mineralógicas coexistentes (particularmente do Fe e Mg), os quais mostraram que, em muitos casos, os equilíbrios químicos foram atingidos. Isso ocorreu, por exemplo, para biotita (grano e lepidoblástica) associada a ortopiroxênio e granada, cujos diagramas evidenciaram a existência de equilíbrio, indicando cristalização ou recristalização das mesmas durante o metamorfismo granulítico. Já dos outros tipos texturais de biotita, muitos apresentaram-se como pontos dispersos no diagrama, por terem sido provavelmente formados em outras etapas, pré e pós-granulíticas, não havendo indícios de estarem em equilíbrio com qualquer mineral (Bello 1986; Bello *et al.* 1988 b).

Além disso, a aplicação de métodos geotermométricos, que utilizam o par biotita-granada em equilíbrio, forneceu temperaturas consistentes com as de fácies granulito, a saber: temperaturas variando entre 680°C e 700°C, pelo método de Perchuk (1977) e entre 716°C e 791°C, pelo método de Ferry & Spear (1978) com correção proposta por Hoinkes (1984) para o Ca e Mn da granada (Bello 1986; Bello *et al.* 1988 b).

PARAGÊNESES MINERALÓGICAS

As associações mineralógicas observadas na região de Surubim (Bello 1986) são indicativas de metamorfismo de alto grau, fácies granulito, pela presença quase constante de ortopiroxênio, envolvendo, ainda, em muitos casos, a biotita, que pode apresentar texturas granoblásticas de equilíbrio com piroxênios, granada, hornblenda e plagioclásio.

Entre as associações paragenéticas que envolvem a biotita, destacam-se, nas rochas gnáissicas e nas de composição máfica/ultramáfica, as seguintes: feldspato potássico + quartzo + ortopiroxênio + biotita (observada principalmente nas rochas gnáissicas da Unidade 1); granada + biotita + ortopiroxênio ($\pm$ quartzo); hornblenda + biotita + ortopiroxênio + plagioclásio; biotita + clinopiroxênio + ortopiroxênio; e biotita + clinopiroxênio + plagioclásio.

Outras vezes, as feições texturais e os dados químicos são indicativos de que a biotita provém, ao menos em parte, de paragêneses anteriores às de fácies granulito, tendo participado de reações que produziram o ortopiroxênio. Como enfatiza Winkler (1977), essas reações são contínuas, havendo equilíbrio entre reagentes e produtos em certos intervalos de condições físicas, ocorrendo mudanças progressivas nas porcentagens modais e nas composições das fases minerais com o metamorfismo crescente.

Algumas reações que envolvem a quebra das biotitas, citadas por Winkler (1977), são:

hornblenda + biotita + quartzo = ortopiroxênio + feldspato potássico + plagioclásio + H_2O (para rochas máficas) (1)

biotita + quartzo = ortopiroxênio + almandina + feldspato potássico + H_2O (para rochas pelíticas) (2)

Miyashiro (1973) também menciona a seguinte reação:

biotita + 3 quartzo = 3 ortopiroxênio + feldspato potássico + H_2O (3)

Essas reações explicariam as inclusões poiquiloblásticas de biotita em ortopiroxênio e granada, bem como sua associação em equilíbrio

com esses minerais e com plagioclásio e hornblenda, a menos do feldspato potássico, normalmente ausente, ou presente em quantidades mínimas, nos granulitos de composição máfica/ultramáfica. No entanto, nas rochas gnáissicas da Unidade 1, são observadas, com maior frequência, paragêneses que incluem o feldspato potássico. A ausência desse mineral em muitos tipos litológicos poderia indicar liberação de fluidos ricos em potássio, responsáveis por algumas das feições retrometamórficas observadas, incluindo a formação de biotita posterior, a partir de ortopiroxênio.

As rochas cálcio-silicáticas de Surubim também possuem paragêneses envolvendo biotita, tais como: diopsídio + calcita + biotita e feldspato potássico + diopsídio ($\pm$ biotita) (Bello 1986).

Guidotti (1984) mostra que em rochas carbonáticas silicosas contendo abundância de impurezas, constituídas por K_2O , Al_2O_3 , FeO e Na_2O , pode ser formada a biotita com o metamorfismo crescente.

Em condições de alto grau, ocorreria a quebra da biotita através da seguinte reação, a qual explicaria as paragêneses citadas:

quartzo + calcita + biotita = diopsídio + microclínio + H_2O + CO_2 (4)

Como essa reação é contínua, permitindo o equilíbrio entre reagentes e produtos em determinados intervalos de pressão e temperatura, a biotita pode permanecer estável ainda em condições metamórficas de fácies granulito, havendo, no entanto, mudança nas composições químicas dos minerais ferromagnesianos com o metamorfismo crescente.

ORIGEM DA BIOTITA

No ambiente vulcano-sedimentar original, a biotita formada anteriormente às condições granulíticas pode ter sido proveniente de um metamorfismo progressivo em leitos tufáceos e de rochas sedimentares pelíticas e químicas.

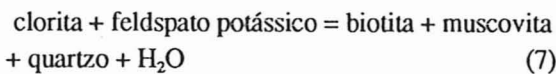
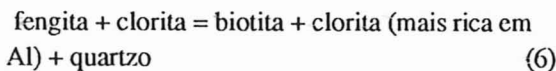
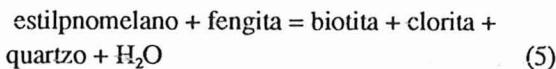
O potássio necessário para a sua formação teria sido fornecido pelas illitas ou fengitas provenientes dos argilo-minerais presentes nesse

ambiente original, bem como pelas próprias rochas tufáceas.

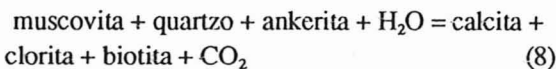
Também pode ter havido contribuições de formações ferríferas e de rochas efusivas, o que explicaria não apenas as maiores quantidades de Mg e Fe^{2+} , mas também dos demais elementos encontrados na estrutura da biotita, tais como Fe^{3+} e Ti.

Desse modo, a formação da biotita metamórfica teria ocorrido, possivelmente, a partir de reações envolvendo minerais do tipo illita ou fengita, ou ainda, estilpnomelano e cloritas, os últimos comumente desenvolvidos através da diagênese em sedimentos químicos ferríferos com impurezas de material pelítico, como discutido por Mel'nick (1982), entre outros.

Algumas reações que explicariam a formação de biotita em leitos pelíticos ou de formações ferríferas impuras, com contribuições efusivas, seriam, segundo Winkler (1977):

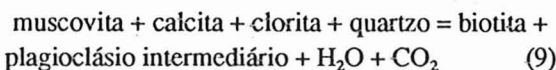


Guidotti (1984) mostra que, em rochas carbonáticas silicosas com impurezas, o aparecimento da biotita ocorreria através da reação:



podendo haver, ainda, a formação de plagioclásio cálcico ou de zoizita, ao invés de clorita.

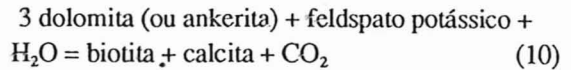
O decréscimo modal da muscovita, até sua total eliminação ocorreria por meio da reação contínua:



Já em fácies anfibolito superior, poderia haver a formação de anfibólio cálcico e microclínio às expensas de biotita, calcita e quartzo, e, finalmente, em mais altos graus, haveria um decréscimo progressivo nas

proporções modais de biotita, cristalizando-se o diopsídio através da reação (4).

Para rochas pelíticas com impurezas de carbonatos, o autor menciona a seguinte reação, responsável pela primeira cristalização da biotita:



As reações citadas por Guidotti (1984), em condições de altos graus metamórficos, poderiam explicar algumas das paragêneses observadas nas rochas cálcio-silicáticas da região, e também a presença de hornblenda, encontrada, em muitos casos, nessas rochas.

Deve-se, ainda, considerar a formação da biotita em outras etapas, a partir de fluidos ricos em potássio, sílica e alumina, que seriam provenientes de migmatizações locais durante o metamorfismo anfibolítico ou, ainda, de intrusões graníticas que ocorreram em diversos estágios da história evolutiva da região, conforme discussões de Delgado & Souza (1975), Lindenmayer (1981) e Figueiredo (1981), entre outros. Esses fluidos poderiam ter interagido com minerais máficos das rochas efusivas e de certos tipos de formações ferríferas impuras, causando a transformação dos mesmos em biotita.

Também não pode ser descartada a hipótese da existência de biotita originalmente presente nas rochas efusivas do complexo, embora sua ocorrência nesse tipo de rocha seja, em muitos casos, restrita, como discutem Deer *et al.* (1966).

CONCLUSÕES

Os aspectos mineralógicos, texturais e paragenéticos, aliados aos dados de microsonda eletrônica, sugerem que parte da biotita, a englobada em granada e piroxênios, já estava presente antes do metamorfismo granulítico; representaria relictos do metamorfismo progressivo, tendo preservado as condições anteriores de mais baixo grau, uma vez que possui menores quantidades de TiO_2 e texturas condizentes com essa hipótese. Também deve ter havido cristalização ou recristalização desse mineral em condições granulíticas, representadas pelas biotitas com texturas granoblásticas e lepidoblásticas de equilíbrio,

que contém porcentagens de titânio compatíveis com as esperadas para alto grau metamórfico. Teriam, ainda, ocorrido diversos estágios de formação desse mineral através de reações retrometamórficas que envolvam ortopiroxênio e hornblenda, provavelmente desde condições de fácies anfibolito alto, com o início da introdução de fluidos no sistema, estendendo-se até graus metamórficos mais baixos. Essas fases são também evidenciadas pelas colorações variáveis apresentadas por esse mineral. Biotita de fases tardias é representada pelos agregados finos e de coloração geralmente castanho clara, que cortam todos os minerais formadores da rocha.

A biotita teria, assim, se cristalizado em várias etapas e em diferentes condições de metamorfismo. As microtexturas observadas em biotita de gerações mais antigas indicam, ainda, que esse mineral sofreu mais de uma fase de deformação. Muitas vezes, ocorrem microdobras locais, em cujos ápices concentram-se opacos, principalmente sulfetos de cobre e ferro remobilizados. Também existem evidências de redobramentos, crenulações e, em certos casos, a presença de cristais muito fraturados, com

preenchimento de quartzo fino recrystalizado, indicando intensa silicificação.

As várias fases de formação desse mineral são resumidas abaixo, porém apenas de modo aproximado, dadas as dificuldades de serem estabelecidas com precisão, principalmente quando se trata da biotita desenvolvida por retrometamorfismo e dos cristais que cortam os outros minerais da rocha.

1 - Biotita englobada poiquiloblasticamente em piroxênios e granada (textura 1) - formada anteriormente ao metamorfismo granulítico; relicto do metamorfismo progressivo que culminou com fácies granulito - *Biotita 1*.

2 - Biotita com texturas granoblásticas de equilíbrio (textura 2) - cristalizada ou recrystalizada em fácies granulito - *Biotita 2*.

3 - Cristais constituindo parte dos pseudomorfos de ortopiroxênio (textura 3) - transformação parcial do ortopiroxênio em biotita, seguida de recrystalização - pode ter sido formada desde o final do evento granulítico, com o início do retrometamorfismo, até condições de fácies anfibolito alto a médio, posteriores - *Biotita 3*.

QUADRO I
Gerações de Biotita

RETROMETAMORFISMO ↓	Fácies Metamórficas	Gerações de Biotita	
	Anfibolito		
	Baixo		
	Médio	Bi(1)	Bi(2)
	Alto		
	Granulito		
	Baixo		Bi(3)
	Anfibolito		Bi(4)
	Alto		
	Médio		Bi(5)
	Baixo		Bi(6)
	Xistos Verdes		
	Alto		
	Médio		

4 - Cristais grandes de biotita interpenetrados ou englobando ortopiroxênio retrometamorfizado (textura 4) e cristais grandes desenvolvendo contatos côncavos com ortopiroxênio (textura 5) - transformação retrometamórfica de ortopiroxênio em biotita, porém ainda em graus metamórficos relativamente elevados, provavelmente fácies anfibólio alto, médio ou, mesmo, baixo - *Biotita 4*.

5 - Cristais finos e esfiapados presentes em clivagens e/ou fraturas de ortopiroxênio (textura 6) - por sua coloração e conteúdo de titânio variável, teriam começado a se desenvolver em fácies anfibolito médio a baixo, estendendo-se até fácies xistos verdes, havendo mais de uma etapa de formação - *Biotita 5 (?)*. O mesmo pode ser dito a respeito da biotita desenvolvida a partir de hornblenda (textura 7).

6 - Biotita fina, geralmente clara, cortando todos os minerais formadores da rocha (textura 8) - desenvolvimento provável desde fácies anfibolito baixo a médio, até xistos verdes - *Biotita 6 (?)*.

O quadro 1 sintetiza essas relações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a *Caraíba Metais S/A*, pelo apoio dado à realização de estudos na área de Surubim; ao Prof. Dr. Johildo S.F. Barbosa da UFBA, pela realização de análises químicas por dispersão de energia; a FAPESP (Proc. 88/2270-1) e ao CNPq (Proc. 303872/85-3) pelos auxílios prestados a um dos autores (Rosa Maria da Silveira Bello).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELLO, R. M. S., (1986), Jazida de cobre de Surubim, Vale do Curaçá, Ba: mineralogia, petrografia e petrogênese. São Paulo, 426 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da USP).
- BELLO, R. M. S.; VALARELLI, J. V.; BARBOSA, J. S. F. & SCHULTZ-GÜTTLER, R. A., (1988), Óxidos de Fe e Ti do depósito de cobre de Surubim, Vale do Curaçá, Ba. *Rev. Bras. Geoc.*, 18 (2): 149-161.
- BELLO, R. M. S.; VALARELLI, J. V. & RUBERTI, E., (1988), Geotermometria e geobarometria dos granulitos de Surubim, Ba. *An. Acad. bras. Ci.*, 60 (2): 205-221.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J., (1977), An introduction to the rock-forming minerals. 2. ed. London, Longmans, Green and Co., Ltda. 528 p.
- DELGADO, I. M. & SOUZA, J. D., (1975), Projeto Cobre Curaçá. Geologia econômica do distrito cuprífero do rio Curaçá, Ba, Brasil. Bahia CPRM/DNPM, 30 vol. (Relatório Final).
- FERRY, J. M. & SPEAR, F. S., (1978), Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 66: 113-117.
- FIGUEIREDO, M. C. H., (1981), Geoquímica das rochas metamórficas de alto grau do nordeste da Bahia, Brasil. In: INDA, H. A. V., MARINHO, M. M. & DUARTE, F. B. org. Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia. Secretaria das Minas e Energia, CPM. *Textos Básicos*, 4: 1-71.
- FRANKE, N. D., (1982), Estudos de caracterização mineralógica do minério oxidado e sulfetado do depósito cuprífero de Surubim. Bahia, 104 p. (Caraíba Metais S/A. Relatório. Inédito).
- FRANKE, N. D. & CARVALHO, P. R., (1981), Relatório geológico de Surubim. Bahia. 80 p. (Caraíba Metais S/A. Relatório. Inédito).
- FRANKE, N. D.; REINHARDT, M. C.; BELLO, R. M. S.; CARVALHO, P. R. S. & MORAES, J. A., (1982), Geologia do depósito cuprífero de Surubim, Bahia. Bahia, 30 p. (Caraíba Metais S/A. Relatório. Inédito).
- GUIDOTTI, C. V., (1984), Micas in metamorphic rocks. In: BAILEY, S. W. ed. Micas. Washington, Reviews in Mineralogy. *Mineral. Soc. Am.*, 13: 357-467.
- HOINKES, G., (1984), Eine empirische korrektur der Mg/Fe Verteilung Zwischen granat und biotit für (Ca + Mn) reiche granat. *Fortschr. Mineral.*, 62 (1): 103-105.
- HUTCHINSON, R. W., (1977), Report on the Caraíba copper deposit and the Bahia copper project. Bahia, Brazil. Bahia, p. 1-18 (DOCEGEO. Relatório. Inédito).
- HYNDMAN, D. W., (1972), Petrology of igneous and metamorphic rocks. New York, McGraw-Hill Book Company. Inc.: 533 p.
- LINDENMAYER, Z. G., (1981), Evolução geológica do vale do Curaçá e dos corpos máfico-ultramáficos mineralizados a cobre. In: INDA, H. A. V.; MARINHO, M. M. & DUARTE, F. B. org. Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia. Secretaria das Minas e Energia, CPM. *Textos Básicos*, 4: 72-110.

- MEL'NIK, Y. P., (1982), Precambrian banded iron-formations. Physicochemical conditions of formation. In: WINDLEY, B. F. ed. Developments in Precambrian Geology, 5, Amsterdam, ELSEVIER, 310 p.
- MIYASHIRO, A., (1973), Metamorphism and metamorphic belts. London, George Allen & Unwin Ltd. 492 p.
- PERCHUCK, L. L., (1977), Thermodynamic control of metamorphic processes. In: SAXENA, S. K. & BHATTACHARJI, S. Eds. Energetics of geological processes. New York, Springer Verlag. p. 285-352.
- WINKLER, H. G. F., (1977), Petrogênese das rochas metamórficas. Trad. 4ª Ed. São Paulo, Edgard Blücher Ltda. 254 p.