

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDO PETROGRÁFICO DAS ALTERAÇÕES
HIDROTERMAIS E MINERALIZAÇÕES DE OURO
DO GARIMPO DO BATALHA, TAPAJÓS (PA).**

Rafael Hernandes Corrêa Silva

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

Monografia de Trabalho de Formatura

SÃO PAULO
1999

Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências
Departamento de Mineralogia e Geotectônica

DEDALUS - Acervo - IGC



30900004563

ESTUDO PETROGRÁFICO DAS ALTERAÇÕES HIDROTERMAIS E
MINERALIZAÇÕES DE Au DO GARIMPO BATALHA, TAPAJÓS (PA).

Rafael Hernandes Corrêa Silva



Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

Monografia de Trabalho de Formatura

TF-14/99

1999

C824
RH.2



Agradecimentos:

Ao Prof. Dr. Costano Juliari, pelas aulas, orientações, discussões e amizade.
A Mestre de Curso M. D. Nogueira, pelo apoio científico, técnico e pedagógico.
A Diretora Desenvolvimento de Recursos Humanos Lúcia, que redirecionou e viabilizou.
Aos colegas Rodrigo Milioni, Sérgio Nogueira, Maria Lúcia, Fabiano, Marlene, Manoel, Marcelo, Pedro, Maria Cecília, Luiz D'Agostino, Liz Zanqueto, Eduardo Ferreira, Paulo Sato, Eduardo Patrício, Márcio P. Lúcio, Nemer, Fernando Barreira, Fernando, Gustavo, Kiana, Arabel, Lara, Marco Aurélio, André, Jovana, Luciana Passarelli e outros que direto ou indiretamente, pelas discussões geradas e pela força motriz para a obra.
Ao Prof. Dr. Exequiel, pelo apoio e participação nas atividades de extensão.
Ao Técnico Marcelo, pelas aulas e ajuda na estruturação eletrônica.
Ao pessoal da seção de informática, pela atenção.

"Intão o céu sabe que o sangue da terra é a chuva".

Sr José, quando indagado sobre a chuva, Itaitê BA.

Dedico este trabalho aos meus pais,
por toda dedicação e luta
para que o sonho se tornasse realidade,
e a Thatyana pelo carinho e paciência

Agradecimentos:

Ao Prof. Dr. Caetano Juliani, pelas aulas, orientações, discussões e amizade.

A Mestranda Carmem M. D. Nunes, pelo apoio científico, técnico e psicológico.

A Rio Tinto Desenvolvimento Minerais Ltda, que cedeu a área e as amostras.

Aos amigos Rodrigo Miloni, Sergio Nobuo, Nickie Unonius, Fabiola Membribes, Marcelo Pedro, Maria Cecília, Luiz D'agostino, Liz Zangueta, Eduardo Ferreira, Paulo Sato, Eduardo Patricio, Maurício P. Lucio, Itamar, Fernando Benegas, Fernando, Gustavo, Klaus, Anabel, Lena, Marco Aurélio, André Stern, Luciana Pascareli e outros que devo estar esquecendo, Pelas discussões geológicas e pela força nestes cinco anos.

Ao Prof. Dr. Excelso, pelo auxílio e paciência nas análises de microsonda.

Ao técnico Marcos, pelas aulas e ajuda na microsonda eletrônica.

Ao pessoal da seção de laminação, pela atenção .

A técnica Angélica do Laboratório de óptica pela dedicação.

Aos colegas do Instituto que de um jeito ou de outro contribuíram para a realização deste trabalho e tornaram agradáveis estes cinco anos.

A Fapesp.

Ao CNPq.

A todos vocês, meu Muito Obrigado.

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMO | 5 |
| ABSTRACT | 6 |
| INTRODUÇÃO | 7 |
| 1 OBJETIVOS | 7 |
| 2 LOCALIZAÇÃO | 8 |
| 3 GEOLOGIA REGIONAL | 8 |
| a) Suíte Metamórfica Jacareacanga (Arqueano) | 9 |
| b) Suíte Metamórfica Cuiú-Cuiú (Arqueano)..... | 9 |
| c).Granito Parauari (Proterozóico Inferior) | 10 |
| d) Rochas Máficas De Ingarana (Arqueano)..... | 10 |
| e) Grupo Iriri (Proterozóico Médio) | 10 |
| f) Suíte Intrusiva Maloquinha (Proterozóico Médio) | 10 |
| g) Grupo Beneficiente (Proterozóico Médio) | 11 |
| h) Formação Garotire (Proterozóico Médio) | 12 |
| i) Básicas Cachoeira Seca (Proterozóico Superior) | 12 |
| j) Aluviões (Quaternário) | 12 |
| 4 AS ESTRUTURAS REGIONAIS | 14 |
| 5 MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS | 14 |
| 6 SISTEMAS HIDROTERMAIS | 16 |
| a) Metassomatismo alcalino e alteração potássica | 18 |
| b) Alteração propílica ou propilítica | 18 |
| c) Alteração sericítica (ou filítica) e greisenificação | 19 |
| d) Alteração argílica/argílica avançada | 19 |
| 7 TRANSPORTE E DEPOSIÇÃO DO OURO EM SISTEMAS HIDROTERMAIS | 20 |
| 8 MAGMATISMO ANOROGÊNICO E GRANITOS RAPAKIVI NO CRÁTON AMAZÔNICO | 21 |
| 9 PETROGRAFIA..... | 21 |
| 9.1 FBT-1, Profundidade 150,10m | 22 |
| 9.2 FBT-2, Profundidade 181,20m | 27 |
| 9.3 FBT-3, Profundidade 154,40m | 31 |
| 9.4 FBT-4, Profundidade 150,55m | 34 |
| 9.5 FBT-5, Profundidade 152,89m | 37 |
| 9.6 CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICAS DAS ALTERAÇÕES | 41 |
| 9.6.1 Alteração potássica | 41 |
| 9.6.2 Alteração propílica | 42 |
| 9.6.2 Alteração sericítica..... | 43 |
| 10 PETROGRAFIA DE LUZ REFLETIDA | 44 |
| 11 MICROSONDA ELETRÔNICA | 46 |
| 12 EDS | 49 |
| 13 RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES | 50 |
| 14. MODELO GENÉTICO..... | 52 |
| 15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |

RESUMO

O estudo de amostras de testemunho de sondagem rotativa da região do Garimpo do Batalha revelou rochas graníticas mineralizadas em ouro afetadas por diferentes tipos, estilos e intensidade de hidrotermalização.

Os diferentes tipos de alteração que afetam estas rochas são o tipo potássica, propílica e sericítica.

A alteração potássica, no estilo pervasivo predomina nos litotipos estudados. É caracterizada pela associação de texturas do tipo rapakivi e texturas pertíticas com a paragênese microclínio, plagioclásio, biotita, quartzo e sericita.

A alteração propílica, caracterizada pela associação epidoto, carbonatos, clorita, fluorita, albita, feldspato potássico e pirita, afeta a rocha nos estilos pervasivo e no estilo fissural associado a zonas de cisalhamento.

Alteração sericítica superpõe-se as anteriores em estilo pervasivo e fissural associada a texturas cataclásticas. É caracterizada pela paragênese Quartzo, sericita, pirita.

As mineralizações de ouro, estão relacionadas a alteração propílica e sericítica, nos estilos pervasivo e principalmente no fissural, sempre associadas aos sulfetos.

ABSTRACT

The study of the drill hole samples in the Garimpo do Batalha region presented granitic rocks mineralized in gold affected by different types, styles and intensity of hydrothermalization.

These different types of alteration that affect those rocks are potassic propylitic and phyllic.

The potassic alteration, in a pervasive style, is the main in all the studied lithotypes. It is characterized by an association of rapakivi like textures and perthitic textures, with the assemblage microcline, plagioclase, biotite, quartz and sericite.

The propylitic association, characterized by the epidote, carbonates, chlorite, fluorite, albite, potassic feldspar and pyrite, affects the rock in the pervasive styles and fissural associated to shear zones.

The phyllic alteration overprinted to the former ones in pervasive and fissural styles, associated to cataclastic textures. It is characterized by the mineral association quartz, sericite, pyrite.

The gold mineralizations, are related to the propylitic and phyllic alterations, in the pervasive and mainly fissural styles, always associated to sulfides.

INTRODUÇÃO

A Província Mineral do Tapajós destaca-se pela sua grande produção de ouro proveniente de atividade garimpeira em aluviões, coluviões e eluviões. No entanto o conhecimento sobre as mineralizações primárias ainda não está bem estabelecido, devido à escassez de afloramentos naturais e à precariedade dos acessos, que dificultam muito os trabalhos de geologia básica e prospecção mineral.

No Garimpo do Batalha a empresa Rio Tinto Desenvolvimento Minerais (RTDM) fez uma série de sondagens rotativas que interceptaram rochas alteradas hidrotermalmente e mineralizadas em ouro, constituindo-se em excelente oportunidade de estudo das mineralizações primárias associadas a rochas graníticas.

Este trabalho objetiva, desta forma, contribuir com as atividades de prospecção e exploratórias na região, através de estudos petrográficos, aliados a informações geológicas de campo e bibliográficas e da modelagem dos processos hidrotermais e magmáticos associados às mineralizações de ouro.

1 OBJETIVOS

O objetivo fundamental deste trabalho é o estudo de zonas de alteração hidrotermal associadas a rochas graníticas e a zonas de cisalhamento do Garimpo do Batalha, através da petrografia detalhada de luz transmitida, refletida, espectrometria por dispersão de energia (EDS) e microsonda eletrônica (MSE), usada para determinação dos minerais de difícil identificação ao microscópio petrográfico.

Este trabalho busca também definir a cronologia relativa entre os eventos hidrotermais associados às atividades ígneas e cataclásticas, bem como entre os diferentes tipos de alteração hidrotermal. Objetiva também sugerir a modelagem genética para as mineralizações de ouro do Garimpo Batalha.

2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

O Garimpo do Batalha situa-se no sudoeste do Estado do Pará, na margem esquerda do Rio Tapajós, sendo Itaituba a cidade mais próxima (FIGURA 1).

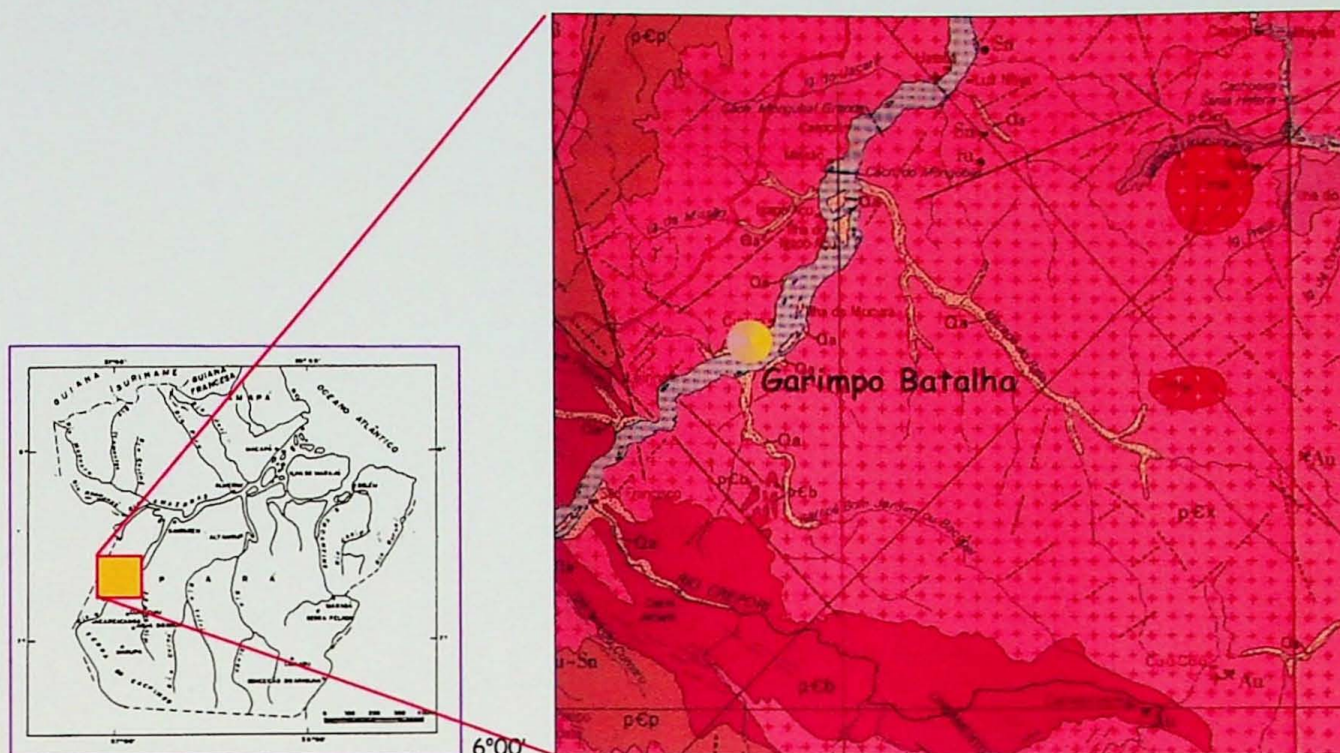


FIGURA 1 - Localização da área onde situa-se o Garimpo Batalha. (Detalhe do mapa geológico do Projeto Radam Brasil - 1975. Escala 1:1.000.000).

3 GEOLOGIA REGIONAL

A Província Mineral do Tapajós situa-se na borda sudoeste do Cráton Amazônico, de idade pré-brasiliana, como definido por ALMEIDA *et al.* (1976). Os extensos afloramentos deste embasamento foram divididos em dois importantes escudos: das Guianas e do Brasil Central (ou Guaporé), situados, respectivamente, a norte e a sul do rio Amazonas.

A Província do Tapajós insere-se no Escudo do Guaporé (ALMEIDA *et al.*, 1981), cujas unidades que compõem o embasamento recebem a denominação local de Complexo Xingu (SILVA *et al.*, 1974, em SCHOBENHAUS, 1984), muito embora SANTOS *et al.* (1997), considerem o termo inadequado, por admitirem que a idade da crosta da Província do Tapajós é transamazônica e não arqueana, como na Província Carajás-Xingu.

O Complexo Xingu na região é constituído por gnaisses, migmatitos, anfibolitos,

rochas ultramáficas dobrados e metamorfisados na fácies anfibolito a granulito, além de inúmeros corpos de granitóides e rochas cataclásticas.

SILVA (1982), baseado em informações obtidas pelos projetos Jamanxim (PESSOA *et al.*, 1977, em SILVA, 1982) e Tapajós-Sucunduri (BIZZINELA *et al.*, 1980, em SILVA, 1982) e trabalhos executados pelo DNPM, PROSPEC e CPRM distinguiram as seguintes unidades na região:

a) Suíte Metamórfica Jacareacanga (Arqueano)

Constitui a unidade mais antiga, aflorando como corpos menores distribuídos em uma estreita faixa com direção NW-SE, junto a Serra do Cachimbo. É formada por quartzitos, actinolita xistos, mica-quartzo xistos, quartzo-sericita-clorita xistos, quartzo-muscovita xistos e meta-ortopiroxênitos.

Segundo LEAL *et al.* (1984) e SANTOS & LOGUERCIO (1984) esta unidade mantém estreito relacionamento genético e temporal com as seqüências do tipo *greenstone belt* da região.

O metatonalito de Conceição, pertencente a esta unidade, tem idade de 2,006 Ga. (U/Pb em zircão) e os zircões detríticos dos xistos Sai-Cinza tem idade variando entre 2,1 e 2,125 Ga., indicando sedimentação no Transamazônico (SANTOS *et al.*, 1997).

b) Suíte Metamórfica Cuiú-Cuiú (Arqueano)

É composta por gnaisses, migmatitos e anfibolitos, além de granitos e granodioritos sin-cinemáticos e granitos tardi-cinemáticos. Este conjunto de litotipos foi considerado como Complexo Xingu por ANDRADE *et al.* (1978, em LEAL *et al.*, 1984).

Estas duas unidades constituem o embasamento da região e são mais antigas que o Granodiorito Parauari, com idade U/Pb de 1,92 Ga. (SANTOS *et al.*, 1997), aproximadamente concordante com os dados Rb/Sr de REIS NETO (1982) e TASSINARI (1996).

c) Granito Parauari (Proterozóico Inferior)

Está representado por granitos cinza, equigranulares, de granulação grossa por vezes porfiríticos, róseos e granitos e granodioritos cinzas porfiríticos, representando magmatismo pré-Uatumã.

d) Suíte Intrusiva Igarana (Proterozóico Médio).

As rochas máficas de Igarana foram inicialmente descritas como Gabro Igarana por PESSOA *et al.* (1977, em SILVA, 1982) e foram consideradas uma suíte por QUADROS *et al.* (1999). São representadas por augita gabros, leucogabros. Leuconoritos e hiperstênio diabásio intrusivos nas unidades pré-Uatumã e cortados por intrusões ácidas do Grupo Iriri. Em vários locais associam-se mineralizações de ouro filonianas, como no Garimpo Davi e a idade varia entre $1,830 \pm 33$ Ga e $1,887 \pm 3$ Ga (SANTOS *et al.*, 1997 e QUADROS *et al.*, 1999).

e) Grupo Iriri (Proterozóico Médio)

Pertence, juntamente com a Suíte intrusiva Maloquinha, ao Supergrupo Uatumã e é constituído por riodacitos, andesitos, latitos, tufos e brechas, subseqüentes ao ciclo orogênico Transamazônico.

As primeiras datações U/Pb de riodacitos dos grupo Surumu e Iricoumé, pertencentes ao Supergrupo Uatumã, foram feitas por SCHOBENHAUS *et al.* (1994), indicando idade de aproximadamente 1,9 Ga. Datações mais recentes das vulcânicas indicam idades ao redor de 1,8 Ga (SANTOS *et al.*, 1997).

f) Suíte Intrusiva Maloquinha (Proterozóico Médio)

Engloba rochas graníticas subvulcânicas com características ortogênicas e tendências alaskíticas. Estão associadas ao vulcanismo ácido Uatumã (SANTOS *et al.*, 1975; ANDRADE *et al.*, 1978, em SANTOS & LOGUERCIO, 1984) e são equivalentes aos granitos Saracura (RO), Mapuera (PA/AM) e Serra dos Carajás (PA). Muito embora tenham idades semelhantes às vulcânicas Iriri, são necessariamente um pouco mais novas, pois são intrusivas nas vulcânicas, representando o final do evento magmático Uatumã (SANTOS *et al.*, 1997).

Segundo SCHOBENHAUS (1984), os diversos representantes plutônicos do Supergupo Uatumã caracterizam a fase intrusiva da primeira grande reativação cratogênica da plataforma, enquanto que outros granitóides, como o Teles Pires, correspondem a segunda reativação, pós-Uatumã e posterior à cobertura sedimentar também, que teria ocorrido a pelo menos 200 Ma após a primeira.

A idade obtida para esta suíte está ao redor de 1.840 ± 26 Ma., mas as idades Rb/Sr são às vezes mais novas ($\sim 1,2$ Ga.), devido aos reequilíbrios isotópicos causados no episódio de milonitização K'Mudku, segundo SANTOS *et al.* (1997).

O Granito Maloquinha é representado principalmente por *stocks* e, secundariamente, batólitos circulares e elipsóides. Petrograficamente são caracterizados como alaskito, biotita granito e granófiro, ocorrendo também granodiorito, quartzo sienito, quartzo monzonito e diorito.

As características petrográficas e químicas, bem como os modelos de distribuição dos elementos terras raras indicam similaridade desta suíte com os granitos tipo A.

Quimicamente correspondem a rochas peraluminosas e subalcalinas. A análise de elementos terras raras sugerem uma evolução a partir de fusão parcial. Na divisão química dos granitóides tipo-A (EBY, 1990 em BRITO *et al.*, 1997) a Suíte Intrusiva Maloquinha apresenta características químicas situadas entre a média da crosta e de basaltos de arco de ilhas, podendo representar vários ambientes incluindo os granitos pós-colisionais ou posicionados no fim de um longo período de alto fluxo de calor e magmatismo granítico, em áreas orogênicas em processo de estabilização.

g) Grupo Beneficiente (Proterozóico Médio)

É composto por arenitos, às vezes quartzíticos, siltitos, argilitos e conglomerados, além de calcários e dolomitos subordinados, com características de sedimentação marinha. Ocupa o Gráben do Cachimbo e outras pequenas bacias da Região.

h) Formação Garotire (Proterozóico Médio)

É constituída por arenitos, arcóseos, subarcóseos, siltitos, conglomerados, brechas e *cherts* com características de deposição em ambientes continentais.

i) Básicas Cachoeira Seca (Proterozóico Superior)

Rochas básicas alcalinas relacionadas ao Magmatismo Cachoeira Seca, assim como os kimberlitos de Rondônia e as ultrabásicas de Siriquiqui, ocorrem sob forma de pequenos derrames e intrusivas que recobrem e cortam o Complexo Xingu, a Fm. Garotire e o Grupo Iriri. Petrograficamente são caracterizados como gabro e diabásio olivínico, chegando por vezes a troctólito.

As rochas basálticas apresentam idades K/Ar de 1,042 a 1,090 Ga. (SANTOS *et al.*, 1997).

j) Aluviões (Quaternário)

Segundo SANTOS *et al.* (1975), esta unidade é composta por sedimentos inconsolidados que distribuem-se ao longo de drenagens, principalmente nas partes mais arrasadas. A exploração do ouro é, de modo geral, feita nesta unidade.

A síntese dos trabalhos geológicos em desenvolvimento na região do Tapajós pode ser visto na FIGURA 2, segundo COUTINHO *et al.* (1996).

Há controvérsias na literatura a respeito da identificação dos granitos Maloquinha e Teles Pires, que, não raramente, são confundidos entre si. LEAL *et al.* (1984) descreveram a Suíte Granítica associada às vulcânicas do Grupo Iriri como Teles Pires, mas os corpos graníticos que compõe esta suíte, apesar de também ocorrerem na forma de *stocks*, batólitos circulares e elipsóides, como os da Suíte Intrusiva Maloquinha, apresentam, diferentemente do Maloquinha, características texturas Rapakivi. As datações indicam idade dos Granitos Teles Pires de aproximadamente 1550 Ma (SANTOS *et al.*, 1980, em ISSLER & LIMA, 1980), ou seja, eles são posteriores ao Evento Uatumã. Segundo SANTOS & LOGUERCIO (1984) a Suíte Teles Pires ocorre com mais freqüência ao sul da escarpa meridional da Serra do Cachimbo e pertence à segunda geração de granitos cratogênicos, originada

pela chamada reativação Parguazense, sendo, portanto, mais novos que os granitos da primeira geração e inclusos no Supergrupo Uatumã.

Completando o contexto geológico, tem-se as ocorrências de diques de diabásio Penatecaua, encaixados no Grupo Beneficiente (LEAL *et al.*, 1984).

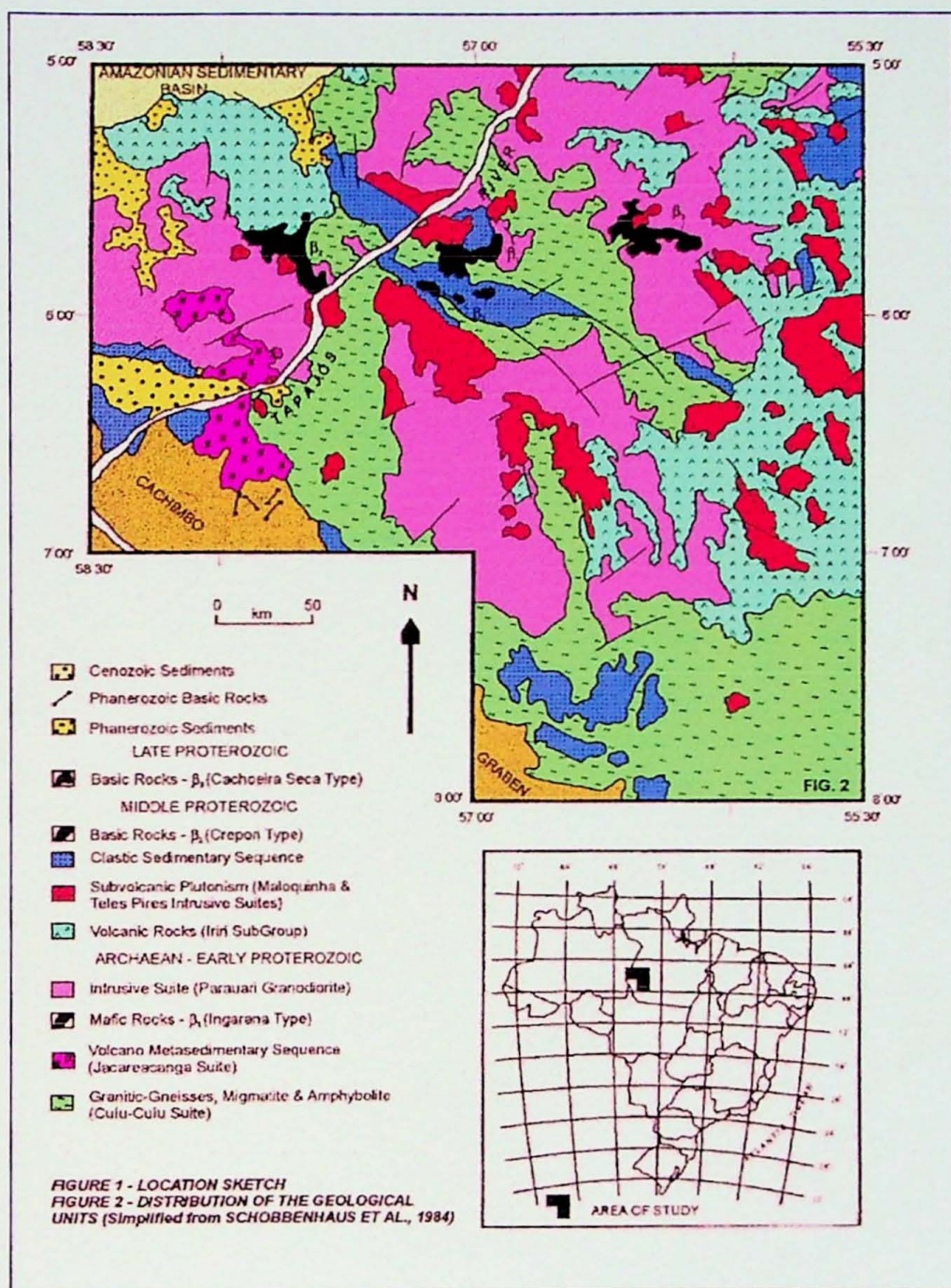


FIGURA 2 - Distribuição das principais unidades geológicas da região do Tapajós, segundo COUTINHO *et al.* (1996).

4 AS ESTRUTURAS REGIONAIS

Segundo SILVA (1982), na Folha Tapajós são evidentes *trends* com direções preferenciais NE-SW e NW-SE, onde se localiza a maioria dos garimpos da região. Estes lineamentos, também definidos com imagens de radar, parecem, segundo o autor supracitado, representar eventos que, provavelmente, foram remobilizadores das mineralizações de ouro.

Além dos lineamentos Tapajós e Abacaxis, foram definidos por SILVA (1982) os lineamentos Rio das Tropas - Inambé, Inambé e Jamanxim.

5 MINERALIZAÇÕES AURÍFERAS

A primeira informação sobre ocorrências de ouro no Tapajós data de 1747, mas somente a partir de 1970, com a construção da Rodovia Transamazônica, foram iniciados levantamentos geológicos um pouco mais detalhados na região.

BARBOSA (1966, em SILVA, 1982) foi o primeiro a associar a fonte do ouro do Tapajós às rochas do embasamento. SANTOS *et al.* (1975) e SILVA (1982) acreditam que os sistemas que originaram os principais lineamentos da região estejam associadas as remobilizações auríferas. As intrusões, falhas e frentes de migmatização teriam remobilizado o ouro, reconcentrando-o e depositando-o nas zonas de cisalhamento.

PESSOA *et al.* (1977, em SILVA, 1982) consideram as mineralizações de ouro da Região do Tapajós estariam associadas a terrenos do tipo *greenstone belt*.

Um evento colisional no Proterozóico Inferior, afetou os terrenos granito-*greenstone* do Complexo Xingu, gerando corpos graníticos sin-, tardi- e pós tectônicos e estes podem estar associados à maioria das mineralizações de ouro do Tapajós, segundo COSTA *et al.* (1998).

A íntima vinculação das mineralizações de ouro com as rochas ácidas foi proposta por SILVA (1984), principalmente às do plutonismo Uatumã. Ouro associado a quartzo e *chert* também é encontrado, apresentando, algumas vezes disseminação de sulfetos.

Trabalho feito nos garimpos do Batalha e do Davi por COUTINHO *et al.* (1996) reforçam esta idéia. No garimpo do Batalha há predomínio de rochas félsicas e as mineralizações estão encaixadas em granitóides da Suíte Intrusiva Maloquinha. Na área do garimpo do Davi as rochas encaixantes da mineralização variam desde básicas (gabronorito) até termos menos básicos (monzogranito), caracterizando associação magmática correlacionável ao magmatismo Cacoal-Ingarana.

Na área do Batalha as zonas de alteração são potássicas e a interação fluido-rocha foi menos efetiva que na área do garimpo do Davi. Este fato, provavelmente, está relacionado com a competência das encaixantes, cuja diferença litológicas existentes controlou a percolação dos fluidos mineralizantes nas rochas (COUTINHO *et al.*, 1996). As relações existentes entre deformação, zonas de alteração e mineralizações em ambos garimpos reforçam a hipótese da existência de um controle essencialmente estrutural para as mineralizações da Província.

Esta orientação geral das estruturas regionais, e seus cruzamentos, podem ser condicionadores não só das mineralizações, como também, de intrusões graníticas mais jovens (ARANEDA *et al.*, 1998).

As mineralizações de ouro ocorrem principalmente como veios de quartzo epitermais/mesotermiais, geralmente associados a rochas graníticas (COUTINHO *et al.*, 1997) e a idade dos sulfetos da Mina Davi é de 1,83 Ga., mas outro evento importante associa-se ao magmatismo básico Cachoeira Seca (1,0 Ga.), segundo SANTOS *et al.* (1997).

ALMEIDA *et al.* (1998), descreveram mineralizações auríferas associadas a vulcanismo ácido a intermediário do Supergrupo Uatumã e pré-Uatumã, na folha Vila Mamãe Anã. Vários garimpos foram estudados e foram verificadas mineralizações associadas a tufos ácidos, riolitos, e a dacito pórfiros.

Baseados em estudos estruturais, mineralógicos, petrogenéticos, de inclusões fluidas e de isótopos, COUTINHO *et al.* (1998) reconheceram dois tipos de depósitos de ouro na região do Tapajós: a) tipo *lode gold*, relacionados ao magmatismo pré-Uatumã e b) tipo *porphyry gold*, geneticamente associados ao magmatismo Uatumã.

6 SISTEMAS HIDROTERMAIS

Um sistema hidrotermal pode ser definido como a distribuição de fluidos quentes circulantes com variação vertical e horizontal de temperatura e pressão abaixo da superfície da Terra. A presença e o movimento destes fluidos constituem uma atividade hidrotermal, mas uma definição mais rigorosa deve incluir o ambiente geológico onde a circulação de fluidos é gerada e mantida por um período de tempo, longo o suficiente para formar uma concentração anômala de minerais metálicos.

Sistemas hidrotermais são constituídos por dois componentes essenciais: uma *fonte de calor* e uma *fase fluida*. Uma *célula de convecção de atividade hidrotermal* constitui-se de um *sistema de recarga*, uma *célula de circulação* e um *sistema de descarga*.

PIRAJNO (1992) dividiu os sistemas hidrotermais em seis tipos:

- 1) Associados a magmatismo plutônico, que geram depósitos de Sn e W (*greisen*).
- 2) Associados a magmatismo plutônico e responsáveis por mineralizações do tipo *porphyry*, *skarns*, epitermais, minerais preciosos e vários tipos de depósitos em veios.
- 3) De assoalho oceânico, que condiciona a formação de uma grande variedade de depósitos vulcanogênicos de sulfeto maciço.
- 4) Associados a *rifts*, com ou sem conexão com atividade ígnea, que produzem os depósitos de sulfetos estratiformes sedimentares exalativos.
- 5) Vinculados a salmouras bacinais diagenéticas.
- 6) Associados a processos metamórficos.

Esta simplificação visa facilitar o entendimento, pois sistemas naturais são muito complexos, devido à circulação de fluidos hidrotermais na crosta da Terra pode ocorrer dentro de um grande número de situações geológicas, nas quais uma complexa variedade de condições transicionais podem levar a um grande número de tipos de depósitos e estilos de mineralização.

Um depósito mineral hidrotermal é formado por circulação de fluidos quentes a muito quentes (50 a > 500 °C) que lixivia, transporta e precipita o metal carregado, em

resposta as mudanças de condições físico-químicas. A rocha, dentro do qual o depósito é formado, passa, conseqüentemente, por vários graus de alteração hidrotermal, comumente em grandes extensões, e de vários tipos constituindo os chamados halos de alteração hidrotermal-metassomática.

Estes halos são usualmente mais fáceis de serem reconhecidos em trabalhos de prospecção, através das assembléias de minerais presentes, por variações sistemáticas em teores de elementos químicos (como o aumento do teor de potássio em rochas básicas, devido a alterações produzidas por rochas ácidas a intermediárias intrusivas); ou por razões ou variações isotópicas características. Mesmo quando as zonas hidrotermais são metamorfasadas, por vezes podem ainda ser reconhecidos os zonamentos originais, como os vários tipos de anfibolitos com antofilita e cummingtonita e os marunditos da Serra do Itaberaba (PÉREZ AGUILAR & JULIANI, 1994 e PÉREZ AGUILAR, 1996), por exemplo.

Os principais estilos de alteração são: *pervasivo*, *seletivamente pervasivo* e *não pervasivo*.

A alteração pervasiva é caracterizada pela substituição total, ou da maioria dos minerais originais formadores de rocha, com parcial ou total obliteração das texturas originais.

A alteração pervasiva seletiva refere-se a substituição de minerais originais específicos (clorita substituindo biotita ou sericita substituindo plagioclásio), com preservação da textura original.

A alteração não pervasiva faz com que somente certas porções do volume da rocha sejam afetados pelos fluidos.

O estilo de alteração em torno do controle de veios ou fraturas pode ser pervasivo ou seletivamente pervasivo.

As alterações hidrotermais envolvem uma série de processos metassomáticos e reações de troca básica na qual o metassomatismo alcalino e de H^+ são importantes, especialmente em sistemas hidrotermais associados a rochas ígneas.

Os tipos de alteração são definidos pelo decréscimo da relação $a K^+ / a H^+$, sendo

subdivididos em:

a) Metassomatismo alcalino e alteração potássica:

Fluidos derivados de fusão e dos últimos estágios de cristalização, inicialmente com temperaturas na ordem de 800 - 600⁰ C, resultam em crescimento *subsolidus* de novos minerais e reações de troca iônica. Os processos *subsolidus* incluem reações de mudança de base ou estruturais nos feldspatos, tais como albitização, microclinização e cristalização de micas trioctaédricas, como a sericita.

Em ambientes tectônicos anorogênicos, as mudanças mineralógicas podem incluir uma série de anfibólios ricos em sódio e assembléias ricas em boro e ferro.

O metassomatismo alcalino é caracterizado pela substituição de feldspato e quartzo por feldspato potássico (microclinização) ou albita (albitização), freqüentemente observados em lâminas petrográficas através de bordas de feldspato potássico no plagioclásio, no caso da microclinização, e plagioclásio ao redor de feldspato potássico na albitização. A albitização também é caracterizada por cristais de albita intergranulares e preenchendo fraturas, vazios e veios.

Em sistemas hidrotermais associados a pórfiros ou epitermais mineralizados, a alteração potássica é muito comum. A característica desta alteração é a presença de feldspato potássico e biotita nos sistemas pórfiros e adularia nos sistemas epitermais. Esta alteração é comumente acompanhada por sulfetos.

As assembléias mais comuns desta alteração são feldspato potássico-biotita-quartzo, feldspato potássico-clorita, feldspato potássico-biotita-magnetita, acompanhados por vários minerais como albita, sericita, anidrita, apatita e, ocasionalmente, rutilo derivado da quebra da biotita.

Os grãos de feldspato potássico de zonas de alteração potássica, freqüentemente apresentam coloração avermelhada devido a micro-inclusões de hematita.

b) Alteração propílica ou propilítica:

É caracterizada pela adição de H₂O e CO₂, e localmente S, com pouco metassomatismo de H⁺. Os minerais característicos desta alteração são o epidoto,

carbonatos, clorita, fluorita, albita, feldspato potássico e pirita. Em algumas situações, pode apresentar intensa albitização, cloritização e carbonatização.

c) Alteração sericítica (ou filítica) e greisenificação:

Caracteriza-se pela assembléia quartzo-sericita-pirita, associada usualmente com feldspato potássico, caolinita, calcita, biotita, rutilo, anidrita e apatita. Este tipo de alteração evolui para a alteração potássica pelo aumento gradativo de feldspato potássico e/ou biotita.

É o tipo mais comum de alteração hidrotermal e ocorre em quase todos depósitos minerais hidrotermais.

Greisenização é o termo usado para a assembléia de alteração sericítica com quantidades variadas de topázio, turmalina, fluorita, cassiterita, hematita, wolframita, scheelita, sulfetos e sulfatos.

d) Alteração argílica/argílica avançada:

Esta alteração é caracterizada pela formação de argilo-minerais com intenso metassomatismo de H^+ a temperaturas 100 - 300° C (FIGURA 3). Formam-se em ambientes epitermais marcados por extrema lixiviação ácida, sendo, desta forma, um importante guia para mineralizações epitermais de ouro, estanho, bismuto, etc.

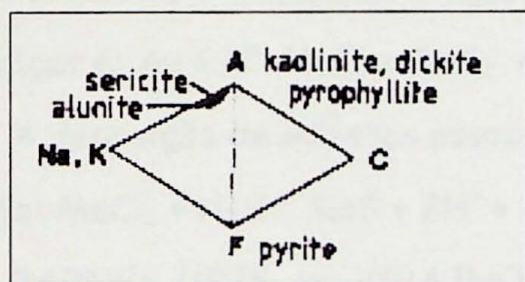


FIGURA 3 - Associações minerais típicas das alterações argílicas avançadas, segundo Pirajno (1992)

Outros tipos de alteração não associados ao metassomatismo de H^+ são: turmalinização, alteração talco-clorítica e talco-carbonática, serpentinização, silicificação, silicatação, fenitização, hematitização e alteração rica em ferro, carbonatização e dolomitização.

7 TRANSPORTE E DEPOSIÇÃO DO OURO EM SISTEMAS HIDROTERMAIS

Os fluidos hidrotermais formadores de depósitos minerais, são soluções com muitos ânions como Cl^- , HS^- , Br^- , I^- , CN^- , S^{2-} , que formam complexos estáveis com o ouro. Dentre eles Cl^- , HS^- se destacam por serem mais comuns em soluções hidrotermais.

Ligantes de enxofre em estado reduzido, formam complexos muito estáveis com Au^+ sendo importantes no seu transporte em soluções hidrotermais SEWARD (1993, em FOSTER, 1993).

O transporte do ouro associado ao HS^- , ocorre acima de 300°C , em pressões da ordem de 1,5 kbar e com pH 3-10, segundo a reação: $\text{Au} + \text{H}_2\text{S} + \text{HS}^- = \text{Au}(\text{HS})_2^- + 1/2\text{H}_2$. Entretanto, um decréscimo de H_2S na solução, causado, por exemplo, por ebulição, pode resultar em um aumento do pH, diminuição da atividade de HS e, conseqüentemente, na precipitação de sulfetos e ouro segundo a reação $\text{Me}(\text{HS})_3^- = \text{MeS} + \text{HS} + \text{H}_2\text{S}$.

A mobilidade do ouro associado ao Cl^- , se dá a temperaturas acima de 350°C e também possui importante papel no transporte do metal, comprovado pela presença freqüente de elevados teores relativos de NaCl nos fluidos aprisionados em inclusões fluidas bifásicas e trifásicas. A equação que mostra a solubilidade do ouro em soluções clorídricas é: $\text{Au} + \text{H}^+ + 2\text{Cl}^- = \text{AuCl}_2^- + 1/2\text{H}_2$.

A deposição de sulfetos associados a metais complexados com cloretos segue a equação: $\text{MeCl}_2 + \text{H}_2\text{S} = \text{MeS} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^-$.

BARNES (1979, em PIRAJNO, 1992) define a deposição de metais a partir de complexos de cloretos em função do aumento da concentração de H_2S , aumento do pH (causado por ebulição, por exemplo), decréscimo da temperatura e da concentração de cloretos. A deposição de metais a partir de complexos de sulfetos, é dada por alívio de pressão, ebulição e oxidação, com decréscimo da quantidade de sulfetos e redução do pH.

8 MAGMATISMO ANOROGÊNICO E GRANITOS RAPAKIVI NO CRÁTON AMAZÔNICO

HAAPALA & RÄMÖ (1992, em DALL'AGNOL *et al.*, 1997) redefiniram os granitos rapakivi como sendo granitos tipo-A, com típicas texturas de bordas de plagioclásio ao redor de feldspato potássico (textura rapakivi). Os granitos tipo-I, S e migmatitos, que podem apresentar bordas de plagioclásio em megacristais de feldspato potássico são, segundo esta definição, excluídos da série rapakivítica.

Na porção oriental do Cráton Amazônico, onde insere-se a Província Aurífera do Tapajós, ocorre um grande número de corpos de granitos anorogênicos intrusivos nas rochas arqueanas regionais (DALL'AGNOL *et al.*, 1997). No extremo leste desta região, ocorrem afloramentos de granitos rapakivi associados ao magmatismo Uatumã ou aos granitóides cálcio-alcalinos Parauari, ambos mais antigos que os outros granitos anorogênicos, como indicado pelas relações de campo. No bloco central, ao sul na região do Tapajós, corpos de granitos rapakivi estão associados espacialmente aos vulcanitos Uatumã ou aos granitóides cálcio-alcalinos Parauari.

É muito comum nestes granitos a presença de texturas rapakivíticas, mas apenas no bloco oeste foram observados wiborgitos e pyterlitos típicos (DALL'AGNOL *et al.*, 1994).

9 PETROGRAFIA

Os estudos petrográficos foram baseados nos testemunhos de 5 sondagens rotativas efetuadas pela RTDM no Garimpo do Batalha. Estes foram descritos e amostrados no local. Algumas outras amostras da área do garimpo foram coletadas para determinação de possíveis variações dentro do maciço.

Além da identificação dos minerais e das texturas ígneas, cataclásticas e hidrotermais, as descrições petrográficas objetivaram principalmente o relacionamento das paragêneses com suas respectivas texturas, buscando a separação dos tipos de alteração e sua cronologia relativa. Estes estudos foram

sistematicamente confrontados com dados bibliográficos de outros sistemas hidrotemais.

Os testemunhos de sondagem são identificados neste trabalho como FBT-1 a 5, cujas análises petrográficas são apresentadas a seguir:

9.1 FBT-1, Profundidade 150,10m.

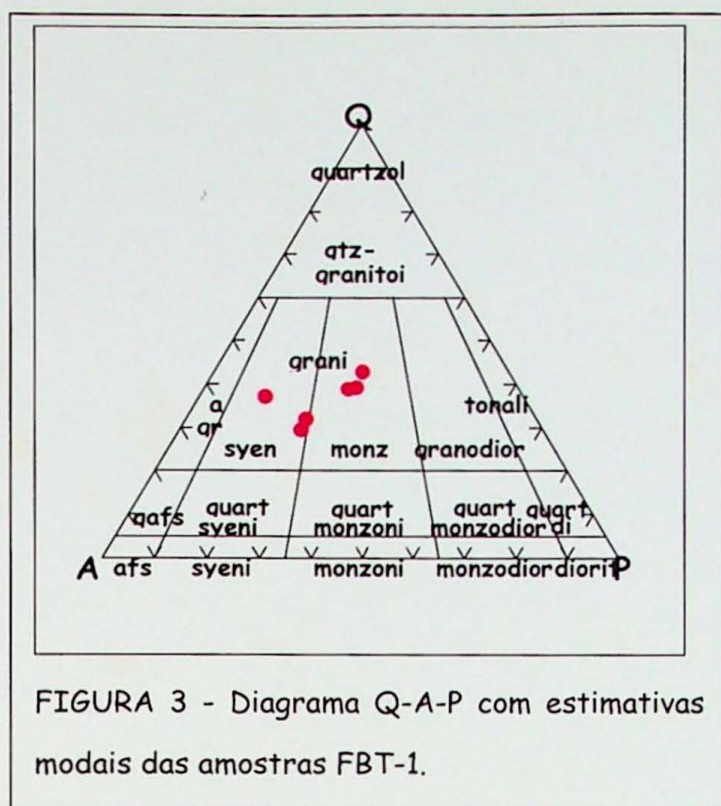
Os primeiros 25m da sondagem correspondem a solo saprolítico de alteração de rocha granítica. A partir dos 25m de profundidade, a sondagem atinge o granito, que apresenta texturas faneríticas média a grossa, variando de coloração avermelhada, nas porções mais alteradas hidrotermalmente, que predomina no furo, a acinzentado, nas porções mais preservadas, a aproximadamente 80m de profundidade(FOTOS 1 e 2). A composição varia de composição entre um granito 3a e 3b (FIGURA 3). A composição foi definida por estimativa visual e análise modal em todos conjuntos.



FOTO 1 - Granito cinza - amostra FBT-1/5



FOTO 2- Granito vermelho - amostra FBT-1/3



Texturas granofíricas são observadas ao longo de todo testemunho, ora mais desenvolvidas, ora incipientes. São geradas pelo intercrescimento de quartzo com microclínio e ortoclásio pertítico a mesopertítico (FOTO 3). Algumas porções da rocha apresentam texturas do tipo rapakivi, com borda de plagioclásio ao redor de microclínio e ortoclásio pertítico a mesopertítico (FOTO 4).

Estas texturas já foram descritas por DALL'AGNOL *et al.*, (1994) no bloco leste da porção Oriental do Craton Amazônico.

O quartzo nesta rocha, tem forma anhedral a subeuédrico, por vezes intersticial, e freqüentemente intercrescido com os feldspatos. Mostra forte extinção ondulante, feições de recristalização e inclusões fluidas bifásicas gás-líquido, por vezes supercríticas, e monofásicas, sólidas, dispostas em trilhas e em nuvens.

As trilhas de inclusões fluidas geralmente atravessam o grão penetrando em seus vizinhos.

Identifica-se neste



FOTO 3- textura granofírica gerada pelo intercrescimento de quartzo e feldspato potássico pertítico. Amostra FBT-1-6. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador cruzado.

granito várias gerações de quartzo. A primeira geração é de origem ígnea, localmente com feições de corrosão em golfo. A segunda fase é do final da cristalização

magmática, encontra-se intercrescida com microclínio e ortoclásio pertítico, constituindo-se no produto do aporte de sílica e álcalis pelos fluidos hidrotermais que geraram a textura granofírica. A associação destas texturas granofírica e pertíticas é característica de metassomatismo potássico, como indicado por PIRAJNO (1992).

A geração seguinte de quartzo associa-se à alteração hidrotermal sericítica que

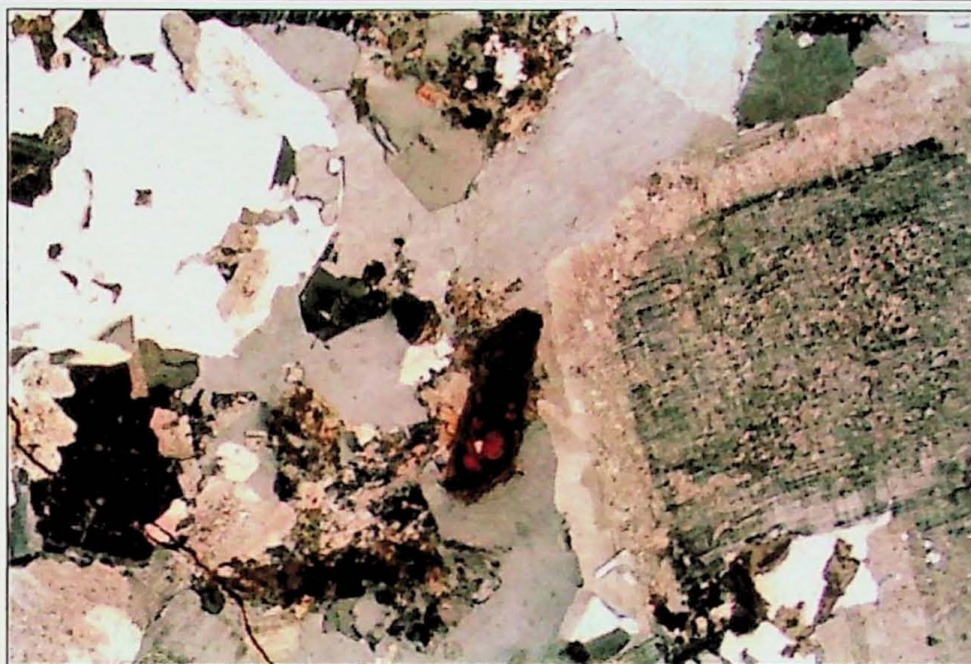


FOTO 4 - Microclínio com borda de plagioclásio. No centro da foto observa-se cristal euédrico de alanita. Amostra FBT-1-4. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador cruzado.

afeta certas porções da rocha, com estilo fissural e pervasivo

Ortoclásio de origem ígnea apresenta texturas com aspecto pertítico ou mesopertítico, geradas por metassomatismo alcalino. Estas texturas são caracterizadas pela presença de inclusões

de albita no ortoclásio, que não seguem as direções cristalográficas do hospedeiro e tem formas irregulares. Estas texturas são muito semelhantes às descritas por PIRAJNO (1992) como características de metassomatismo alcalino (FOTO 5).

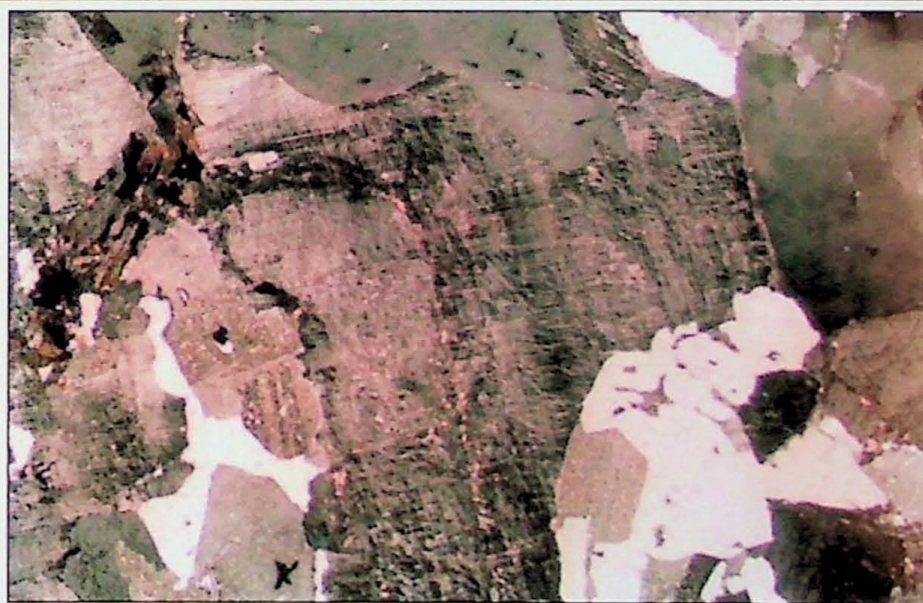


FOTO 5 Ortoclásio pertítico zonado e microclinizado, intercrescido com quartzo. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador cruzado.

O microclínio tem forma subeuédrica e também apresenta-se pelo menos com duas gerações, uma primeira ígnea, e outra hidrotermal, que preenche interstícios intergranulares e microcliniza o ortoclásio pertítico (FOTO 5).

Microinclusões de hematita nos feldspatos alcalinos produzem a coloração avermelhada da rocha.

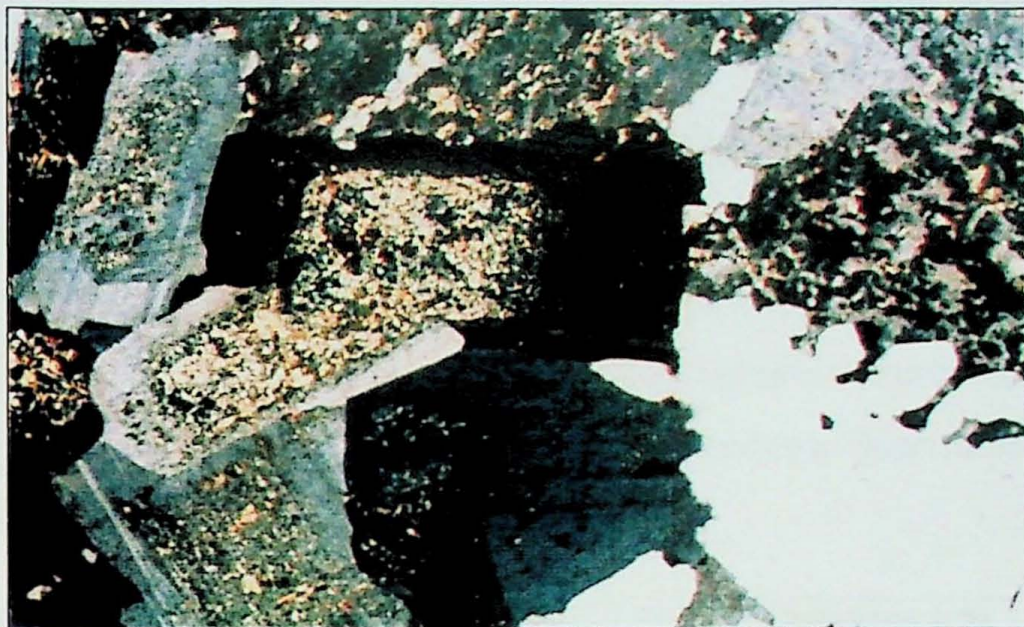


FOTO 6 - Plagioclásio apresentando zonamento composicional com núcleo de composição mais cálcica saussuritizado e borda com composição mais albitica. Amostra FBT-1-6. Lado menor da foto 1,85 mm. Analisador cruzado.

O plagioclásio, variando de oligoclásio (An_{28}) a andesina (An_{32}), tem forma euédrica e freqüentemente é zonado, com núcleo saussuritizado e bordas com composição mais albitica (FOTO 6). O plagioclásio também

envolve o microclínio e ortoclásio pertítico, gerando textura rapakivíticas (FOTO 4).

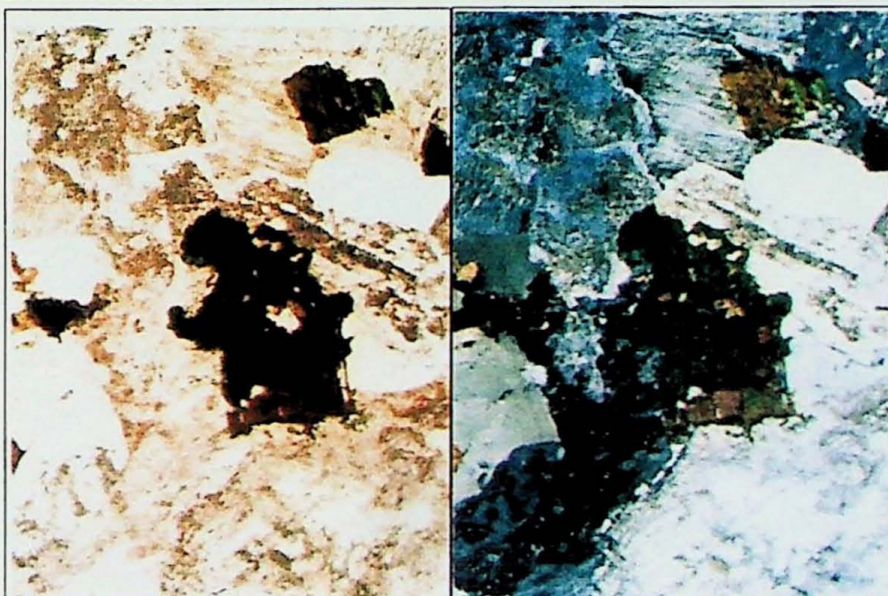


FOTO 7 - Anfibólio hastingsítico parcialmente substituído por biotita. Amostra FBT-1-5. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador descruzado e cruzado.

Distingue-se também duas gerações de biotita, uma ígnea, de coloração avermelhada, e outra hidrotermal, de coloração esverdeada, que substitui a primeira e preenche fissuras e interstícios entre os grãos.

Em algumas porções da rocha, encontra-se hornblenda ígnea ainda preser-

vada, freqüentemente substituída por biotita e clorita de hidrotermal (FOTO 7).

Como acessórios ocorrem allanita e zircão ambos euédricos. O zircão associa-se geralmente a biotita.

Opacos tem forma euédrica cúbica a anedral e, geralmente, preenchem veios e fraturas, às quais associam-se sericita, clorita e quartzo. Encontram-se também associados a biotita e clorita disseminados pela rocha e foram identificados como pirita e calcopirita.

A alteração predominante nesta sondagem foi caracterizada como metassomatismo alcalino, com típicas texturas de microclinização e biotitização em estilo pervasivo. Superpõe-se a esta alteração propílica com estilo fissural e pervasivo, caracterizada pela associação epidoto + carbonatos + clorita + fluorita \pm albita \pm feldspato potássico \pm pirita. Carbonatos e fluorita preenchem veios e espaços intergranulares.

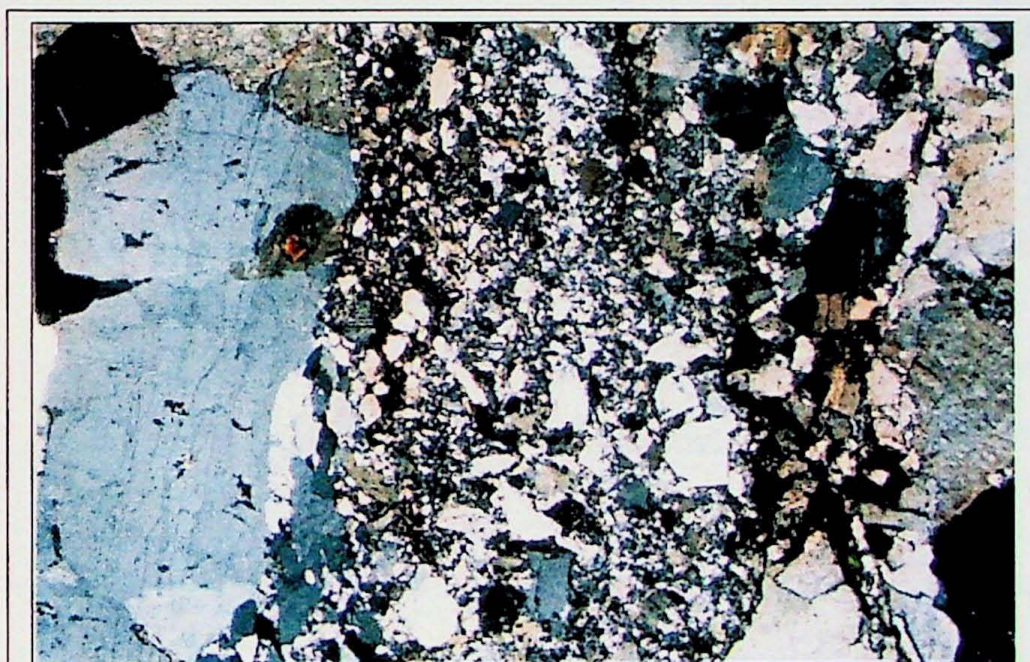


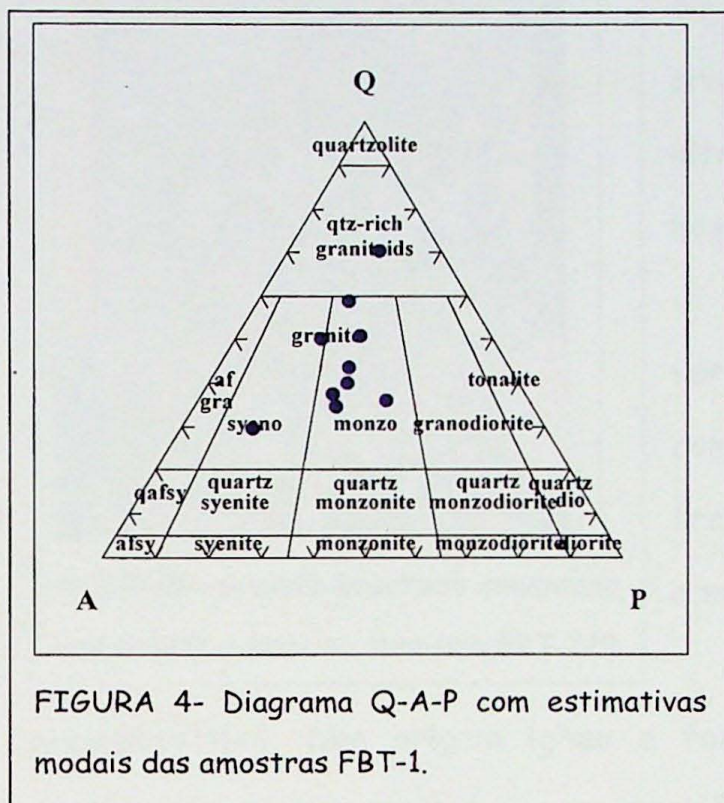
FOTO 8 - Zona cataclástica preenchida por quartzo feldspato e opacos em alteração hidrotermal sericítica, de estilo fissural. Amostra FBT-2-2. Lado menor da foto 3,5mm. Analizador cruzado.

Em alguns trechos, como ao redor de 68m e 129m de profundidade, ocorre alteração sericítica caracterizada pela associação quartzo, sericita e pirita no estilo predominantemente fissural associada pequenas zonas cataclásticas e, subordinadamente per-

vasiva (FOTO 8).

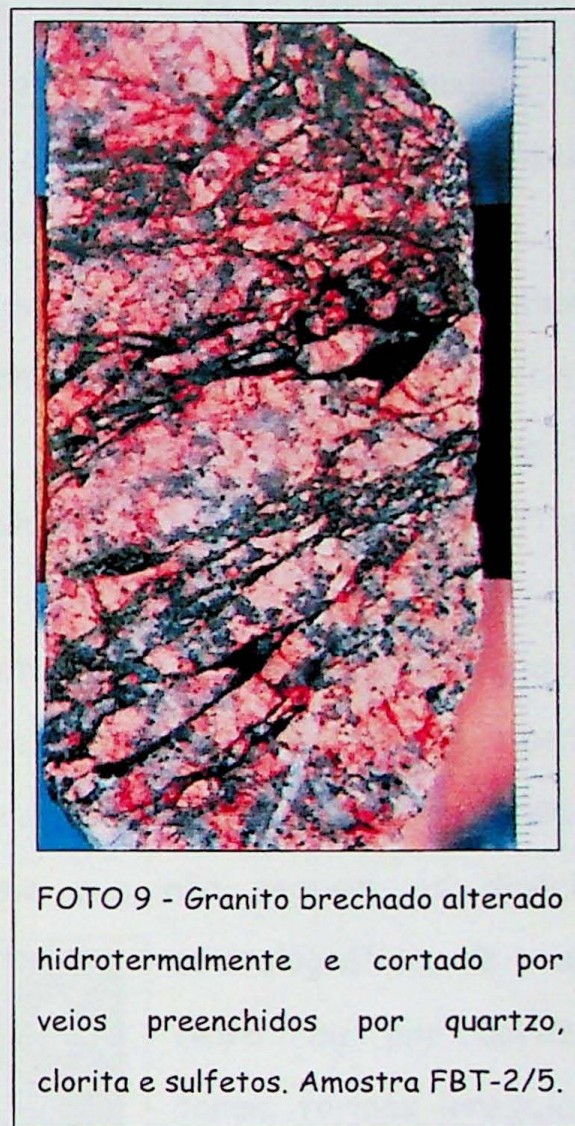
9.2 FBT-2, Profundidade 181,20m

O manto de alteração nesta sondagem alcança aproximadamente 24m, onde encontra-se a interface solo/rocha. O granito tem granulação média a grossa, coloração avermelhada e composição variando entre 3a e 3b. Localmente é cortado por microfraturas e veios (FIGURA 4, FOTO 9).



Algumas zonas são afetadas por intenso cisalhamento ao qual associa-se intensa alteração hidrotermal propílica. A aproximadamente 132m, onde a rocha passa para uma brecha cataclástica com veios de calcita e fluorita (FOTO 10). Alteração sericítica também associa-se às zonas cataclásticas a aproximadamente 32m.

O quartzo neste granito apresenta-se também com texturas indicativas de mais de uma geração. A primeira, de origem ígnea, apresenta comumente estruturas de corrosão em golfo e possuem formas subeuédricas indicativas de cristalização em temperaturas mais altas. A segunda geração está intercrescida com microclínio e plagioclásio, gerando texturas granofíricas, caracterizando cristalização sob maior influência de fluidos hidrotermais. Esta geração associa-se à alteração potássica. O



quartzo de ambas gerações tem forte extinção ondulante e freqüentemente



FOTO 10- Granito brechado cimentado por calcita e fluorita. Amostra FBT-2/9

apresenta inclusões fluidas bifásicas gás-líquido, por vezes supercríticas, e líquido-sólido, dispostas em linhas ou em nuvens. Nas zonas de cisalhamento predominam inclusões orientadas em trilhas, geralmente acompanhando a orientação dos planos de deformação, que ultrapassam os limites dos grãos e continuam nos grãos vizinhos.

Uma geração posterior às anteriores é verificada em rochas com alteração sericítica com estilo fissural preenchendo veios e fraturas, tendo associados ao quartzo a pirita, e a sericita.

O ortoclásio, geralmente pertítico a mesopertítico, tem origem ígnea e formas subeuédricas a anhedrais. A textura pertítica pode ser muitas vezes identificada como de origem hidrotermal devido à presença de inclusões de albita no ortoclásio que não seguem as direções

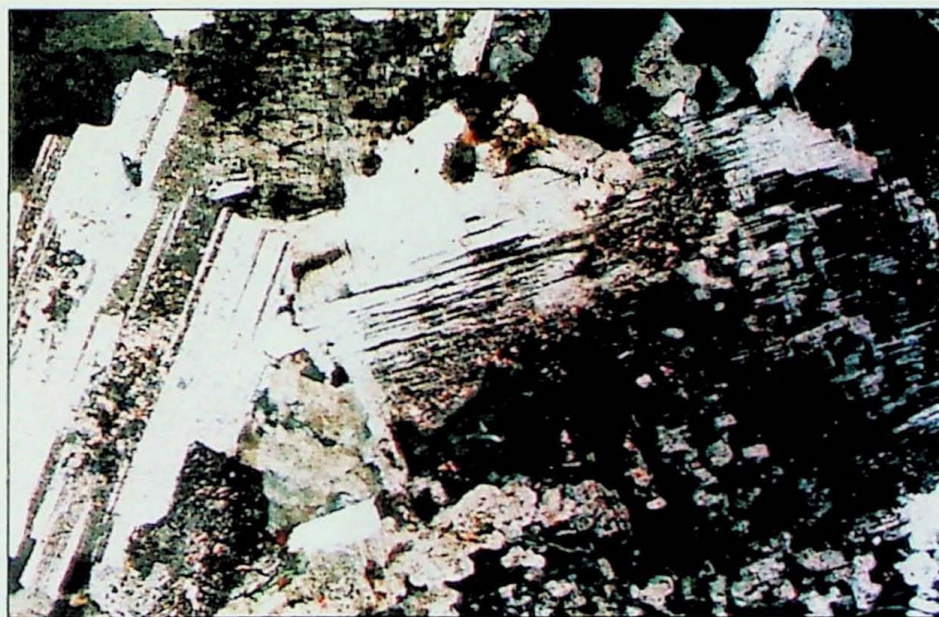


FOTO 11 - Microclínio com textura pertítica e domínios de formação de albita nas bordas. Alteração hidrotermal do tipo potássica. Amostra FBT-2-6. Lado menor da foto 3,5mm. Analizador cruzado.

cristalográficas do hospedeiro, ou por apresentarem formas irregulares (FOTO 11).

Microclínio de origem hidrotermal preenche espaços intergranulares e substitui o ortoclásio pertítico a mesopertítico. Estas fases estão associadas à

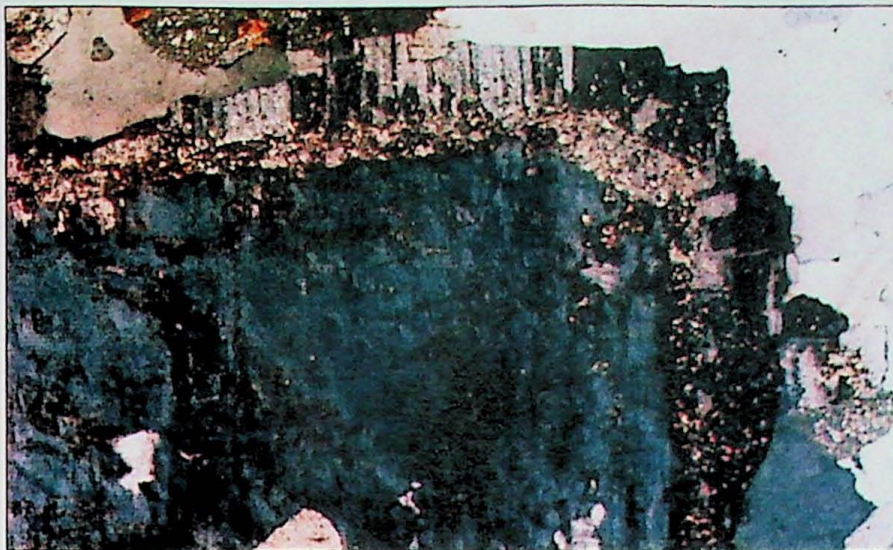


FOTO 12 - Microclínio com textura pertítica com bordas de plagioclásio gerando textura tipo rapakivi. Alteração hidrotermal do tipo potássica. Amostra FBT-2-11. Lado menor da foto 3,5mm. Analizador cruzado.

alteração potássica. A coloração avermelhada da rocha, produto de microinclusões de hematita no microclínio, também é típica da alteração potássica (PIRAJNO, 1992).

O plagioclásio é representado pela andesina (An_{32-35}), tem forma

subeuédrica, está frequentemente zonado, com núcleos de composição mais cálcica, saussuritizado, com bordas de composição albitica. Albitização é devida ao metassomatismo alcalino, que também é responsável pela formação de bordas ao redor

do microclínio e ortoclásio pertítico, gerando texturas rapakivíticas (FOTO 12).

Duas gerações de biotita são observadas na rocha, uma ígnea, de coloração avermelhada, e outra de coloração verde, de granulação mais fina e origem hidrotermal, que substitui a anterior e cristaliza-se no interstício dos grãos.

Relíquias de hornblenda ígnea também estão presentes na rocha, quase que totalmente substituídas pela biotita verde, que é por sua vez substituída por clorita.

Clorita frequentemente substitui a biotita e anfibólio, associa-se com as alterações do tipo propílica, potássica e



FOTO 13 - clorita e epidoto produto de alteração hidrotermal do tipo propílica. Amostra FBT-2-5. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador cruzado.

sericítica (FOTO 13).

Opacos com formas anedral a euédrica ocorrem associados a veios, microfraturas e à alteração da biotita.

Zircão euédrico está disseminado por toda rocha e allanita, também euédrica, encontra-se em algumas porções da rocha.

A alteração potássica predomina nos testemunhos desta sondagem e, em algumas porções, alteração propílica fissural superpõe-se a ela. Em algumas das amostras a alteração propílica associa-se também a zonas de brechas cataclásticas, com cimentação e preenchimento por veios de calcita, quartzo, opacos e fluorita (FOTO 15).



FOTO 14 - veio cataclástico preenchido por carbonato. Clastos de quartzo e feldspato. Alteração propílica fissural. Amostra FBT-2-1. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador cruzado.

A alteração propílica também afeta a rocha com estilo pervasivo seletivo,

substituindo principalmente o plagioclásio.

Em Algumas porções a rocha também apresenta alteração hidrotermal do tipo sericítica com estilo fissural.

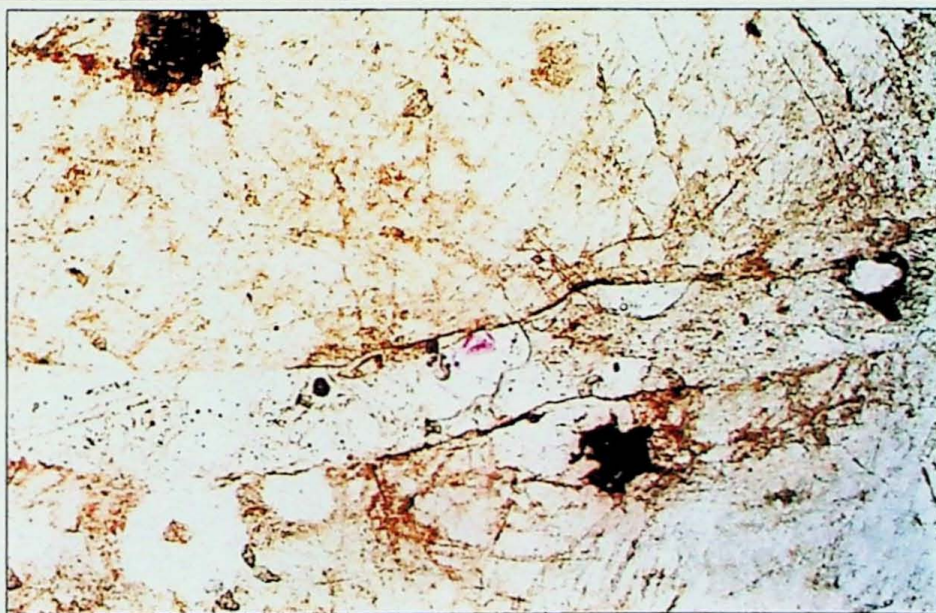


FOTO 15 - Fratura preenchido por carbonato, fluorita, quartzo e feldspato. Alteração propílica fissural. Amostra FBT-2/9. Lado menor da foto 3,5mm.

9.3 FBT-3, Profundidade 154,40m

Solo saprolítico ocorre nesta sondagem até 26m de profundidade, onde encontra-se a interface solo-rocha.

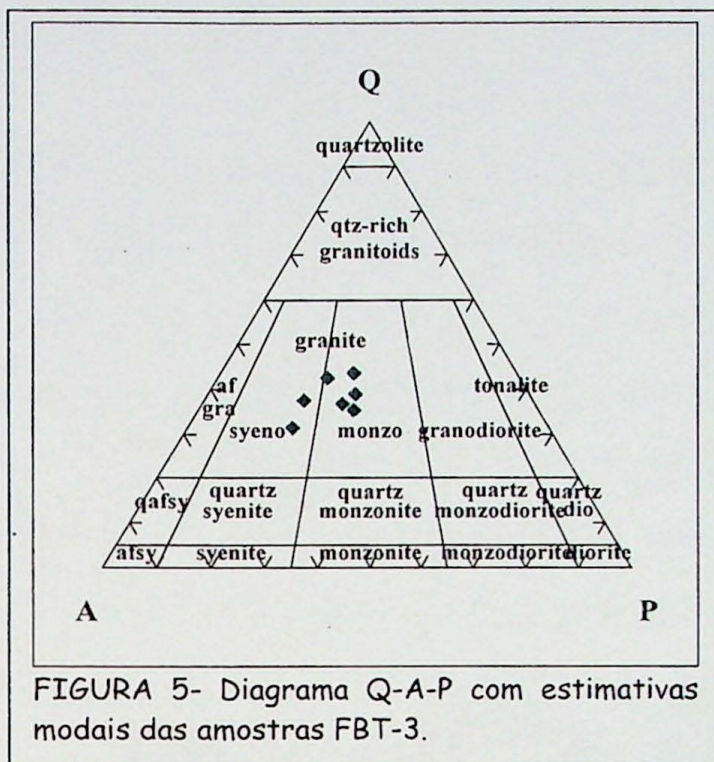


FIGURA 5- Diagrama Q-A-P com estimativas modais das amostras FBT-3.

O granito tem coloração predominantemente avermelhada, localmente (aproximadamente 45m) esverdeada devido a veios e microfraturas preenchidas por clorita e sulfetos. Nestas porções há um aumento da quantidade de plagioclásio em relação ao microclínio. A composição é a mesma das amostras das outras sondagens e varia entre sienogranito e monzogranito (FIGURA 5). A rocha é afetada localmente por zonas de cisalhamento que, por vezes,

geram texturas protomiloníticas a aproximadamente 124m e a 140m de profundidade (FOTO 16).

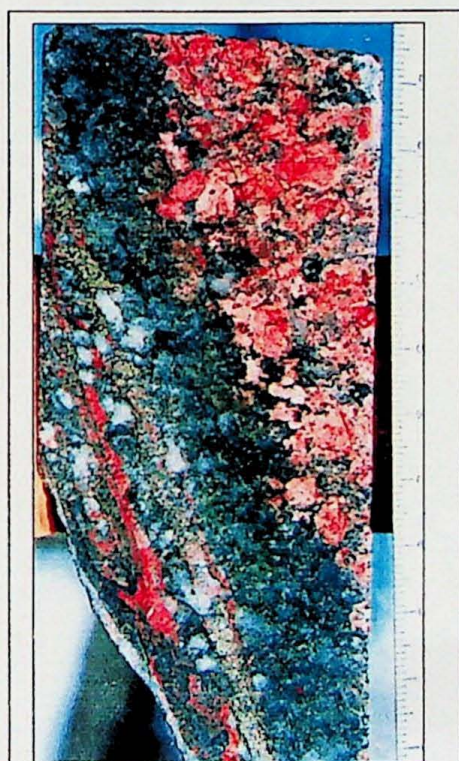


FOTO 16 - Granito com textura milonítica associada alteração propílica. Amostra FBT-3/7.

O quartzo mostra-se com texturas indicativas de cristalização ígnea, com freqüente corrosão magmática. Segue-se a este uma geração de quartzo intercrescida com microclínio, ortoclásio pertítico e plagioclásio, geneticamente vinculada ao metassomatismo potássico, que proporcionou o surgimento texturas granofíricas e pertítica semelhantes às descritas nas rochas dos testemunhos anteriores e muito semelhantes as descritas por PIRAJNO (1992).

Ocorre ainda uma terceira geração preenchendo veios, associada a zonas cisalhadas e às alterações hidrotermais sericíticas e propílicas. O quartzo de todas as gerações apresenta extinção ondulante e inclusões fluidas

bifásicas gás-líquido e monofásicas sólidas em arranjos lineares.

O ortoclásio pertítico a mesopertítico tem origem ígnea e formas subeuédricas a anhedrais. A textura pertítica é em parte de origem hidrotermal, caracterizada pelas mesmas texturas e formas já descritas.

O microclínio geralmente tem formas subeuhedral e está intercrescido com quartzo ou preenchendo interstícios. Frequentemente substitui o ortoclásio pertítico a mesopertítico, caracterizando o metasomatismo potássico. Microinclusões de hematita no microclínio e no ortoclásio pertítico conferem à amostra coloração avermelhada, que também são típicas de alterações potássicas (PIRAJNO, 1992).

O plagioclásio ígneo é representado pela andesina (An_{32-38}), é euédrico, por vezes é zonado, com núcleos mais cálcicos, quase sempre saussuritizados, e bordas mais albíticas. Localmente estas feições caracterizam texturas rapakivíticas.



FOTO 17 - Fratura preenchido por quartzo e clorita, onde a alteração propílica grada do estilo fissural para o pervasivo. Amostra FBT-3/2. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador cruzado na foto a direita.

A biotita ígnea tem coloração castanha avermelhada e está quase que totalmente substituída por biotita verde e/ou clorita hidrotermal. Estes minerais hidrotermais também preenchem veios nas porções cataclasadas, onde apresentam-se com granulação mais fina e dispostos nos interstícios dos grãos

(FOTO 17).

Relíquias de hornblenda encontram-se preservadas em partes menos alteradas da rocha. Geralmente predominam rochas com o anfibólio quase que totalmente substituído por clorita, biotita e carbonato (FOTO 18).

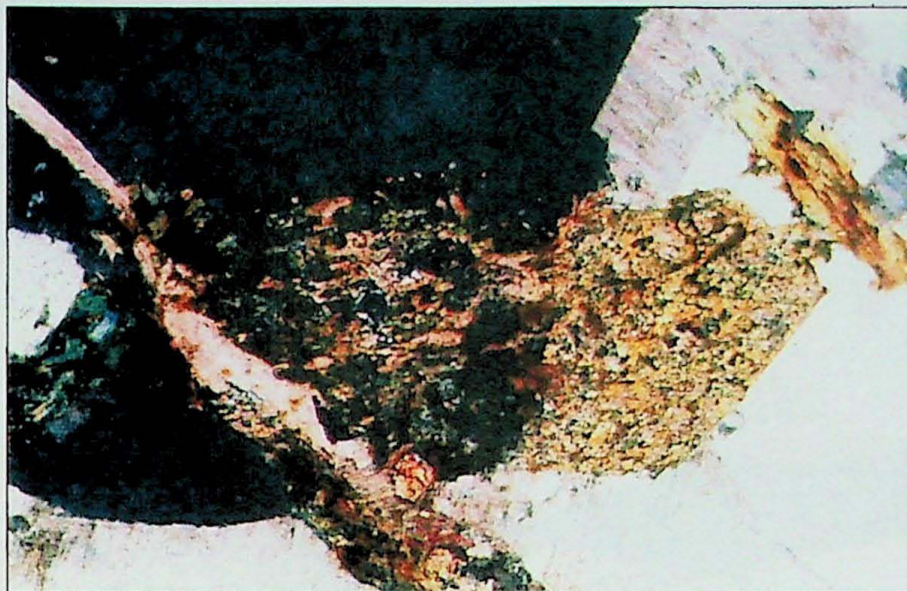


FOTO 18 - Anfibólio substituído por biotita, carbonato, clorita e epidoto. Observa-se fratura cortando o anfibólio preenchida por carbonato, produto de alteração hidrotermal no estilo fissural e pervasivo. Amostra FBT-3/8. Lado menor da foto 3,5mm.

Opacos tem forma euédrica e subeuédrica, (predominantemente pirita) e estão associados à biotita e à clorita hidrotermais ou preenchem fraturas.

Zircão euédrico é o acessório mais comum, geralmente associado à biotita e allanita euédrica também ocorre

subordinadamente.

Também predomina nas rochas desta sondagem alteração potássica pervasiva, e também está localmente superposta, a aproximadamente 47m e a 143m, alteração propílica de estilo fissural. Alteração sericítica pervasiva seletiva substitui os

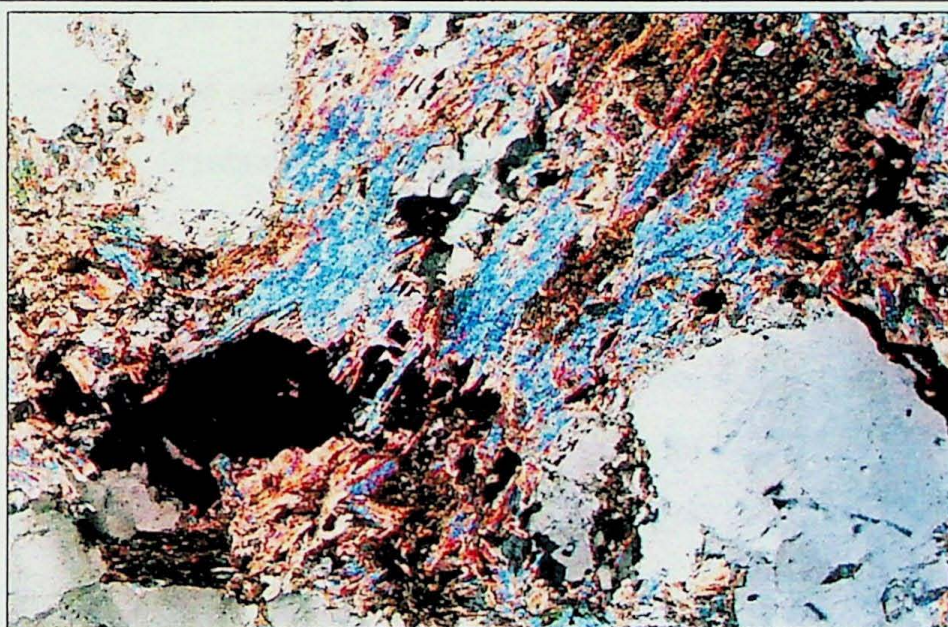


FOTO 18 - Sericita quartzo e sulfetos, produto de alteração hidrotermal do tipo sericítica em estilo pervasivo seletivo. Amostra FBT-3/7 Lado menor da foto 3,5mm.

feldspatos por sericita, quartzo e opacos. (FOTO 18). A aproximadamente 90m, 124m e 140m, ocorrem zonas de cisalhamento com alteração sericítica fissural (FOTO 19).

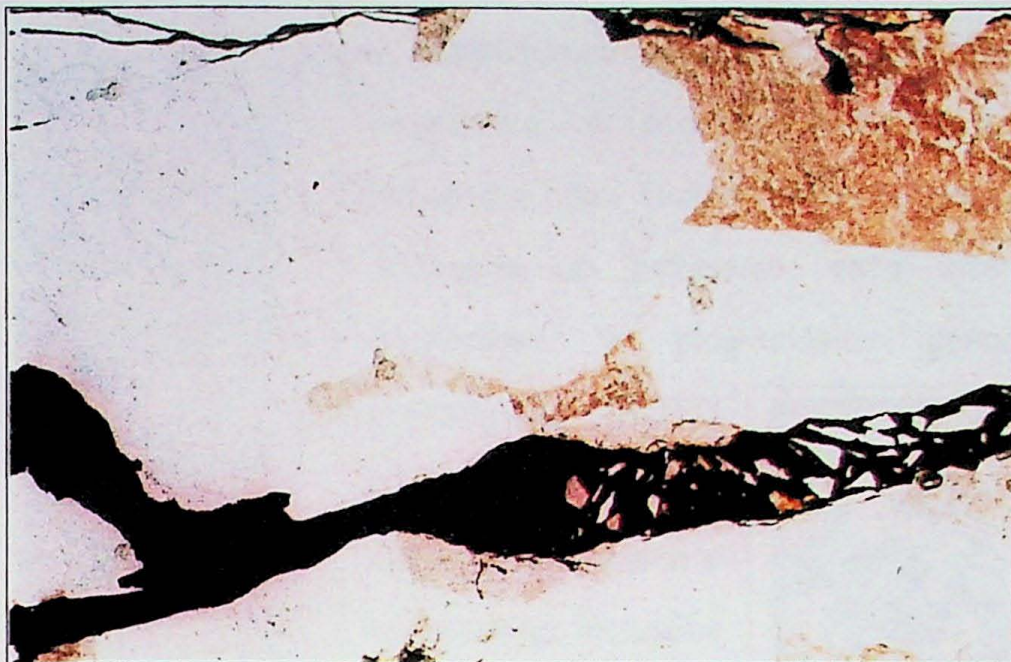


FOTO 19 - Fratura preenchida por minerais opacos. Alteração Hidrotermal do tipo sericítica no estilo fissural Amostra FBT-3/4 Lado menor da foto 3,5mm.

9.4 FBT-4, Profundidade 150,55m

Nesta sondagem o manto de alteração atinge a profundidade de 17m. O granito, varia entre as composições 3a e 3b (FIGURA 6). A coloração é rosada a intensamente avermelhada e as rochas são cortadas localmente por microfraturas e veios (FOTOS 20 e 21).

A 50m de profundidade ocorre um veio aplítico que corta o granito, apresenta textura sacaroidal e granulação fina. Este litotipo também foi afetado pela alteração hidrotermal potássica (FOTO 22).

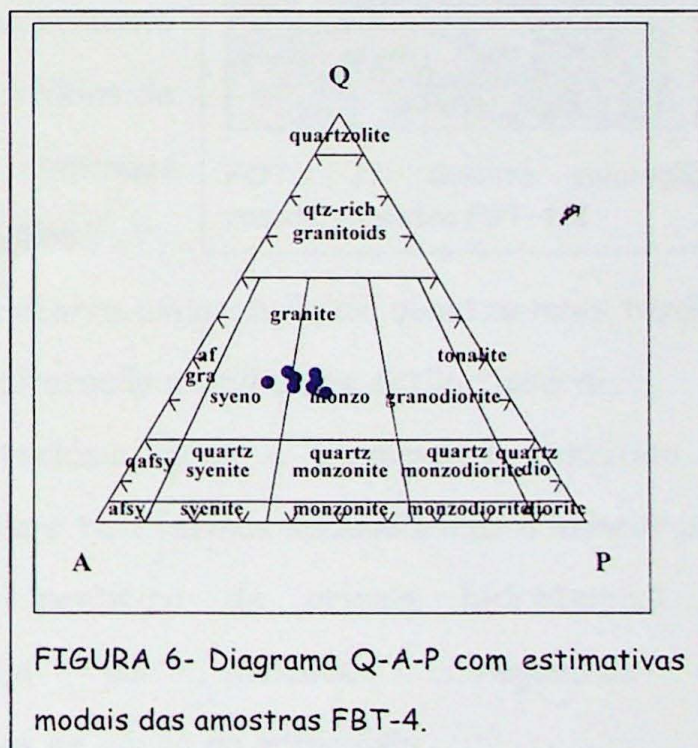


FIGURA 6- Diagrama Q-A-P com estimativas modais das amostras FBT-4.

A aproximadamente 138m ocorre uma zona brechada com epidoto, clorita, fluorita e carbonatos cimentando clastos de granito.



FOTO 20- Granito cortado por microfraturas e com alteração hidrotermal potássica. Observa-se ainda a biotitização ao redor do microclínio. Amostra FBT-4/7.

O quartzo ígneo nas amostras desta sondagem é subeuédrico e possui estruturas de corrosão magmática. A segunda geração, cristalizada sob influência de fluidos hidrotermais associa-se à alteração do potássica, está intercrescida com microclínio e plagioclásio, gerando texturas granofíricas (FOTO 23). Ambas tem extinção ondulante e apresentam inclusões fluidas bifásicas gás-líquido, por vezes supercríticas, e líquido-sólido alinhadas ou



FOTO 21- Granito coloração rosada. Amostra FBT-4/2.

dispersas irregularmente. Nas zonas de cisalhamento predominam trilhas de inclusões contínuas através de grãos.

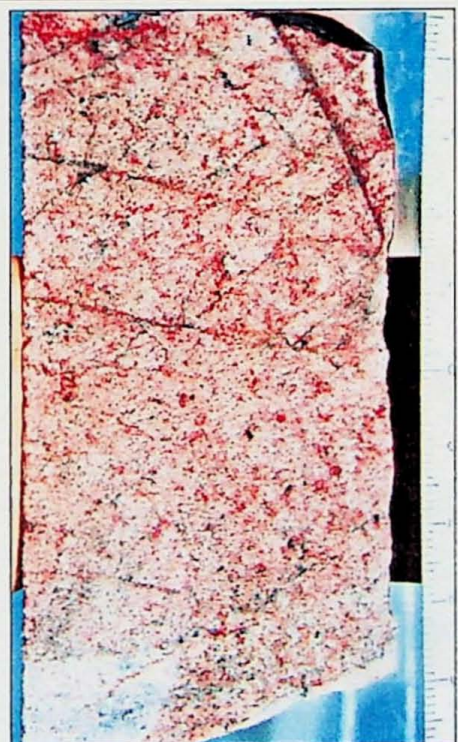


FOTO 22- Aplito cortado por microfraturas e aspecto sacaroidal. Amostra FBT-4/6.

Ainda ocorre um geração de quartzo mais tardia associada à alteração propílica de estilo fissural.

O ortoclásio ígneo é geralmente pertítico a mesopertítico e tem formas subeuédricas a anhedrais. A textura pertítica de origem hidrotermal é caracterizada por inclusões irregulares e desorientadas de albita no ortoclásio.

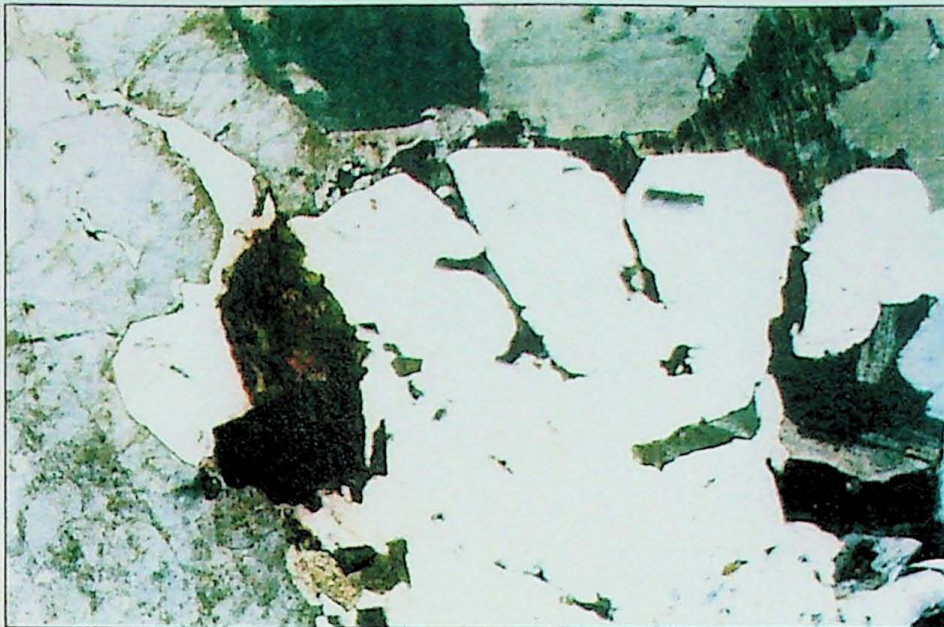


FOTO 23 - Quartzo intercrescido com microclínio, gerando textura granofírica. Observa-se também biotita de origem hidrotermal associada a opaco, todos minerais produtos de alteração do tipo potássica.. Amostra FBT-4/1b Lado menor da foto 3,5mm. Analizador cruzado.

O microclínio de hidrotermal preenche os interstícios e substitui o ortoclásio pertítico a meso-pertítico.

O plagioclásio tem forma subeuédrica e varia composicionalmente de oligoclásio (An_{28}) a andesina (An_{35}). Fre-
qüentemente é zonado,

com núcleos cálcicos, saussuritizados, e bordas albíticas. A albitização pode ser verificada nas bordas do microclínio e do ortoclásio pertítico, gerando localmente texturas do tipo rapakivi.

Duas gerações de biotita são observadas na rocha, uma ígnea de coloração avermelhada, e outra de coloração verde, de origem hidrotermal, que substitui a



FOTO 23 - Biotita ígnea de coloração avermelhada, substituída por biotita de origem hidrotermal, de coloração esverdeada. Associada-se a biotita epidoto e opacos. Amostra FBT-4/2. Lado menor da foto 3 5mm

primeira e cristaliza-se nos interstícios dos grãos. Esta apresenta granulação mais fina (FOTO 23).

Relíquias de hornblenda ígnea substituídas por biotita e clorita ainda mais tardia também estão presentes.

As substituições de biotita ígnea e hidrotermal, com ou sem relíquias de anfibólios estão vinculadas com episódios de alterações potássica e propílica.

Opacos de forma anhedral a euédrica ocorrem associados principalmente a alteração da biotita e a veios e microfraturas.

Zircão distribui-se preferencialmente junto aos agregados ou cristais isolados de biotita, por vezes formando halos pleocróicos. Os cristais são euédricos e freqüentemente zonados. Allanita euédrica e zonada é comum, mas concentra-se em determinadas porções do testemunho.



FOTO 24 - Fluorita inclusa em esfalerita (?) associada a biotita. Amostra FBT-4/2. Lado menor da foto 1,85 mm.

Os litotipos desta sondagem foram hidrotermalizados em intensidade menor que as demais, predominando a alteração potássica, à qual superpõe-se localmente alteração propílica no estilo fissural e pervasivo. Calcita e fluorita associados a este tipo de alteração preenche veios e substitui plagioclásio no estilo pervasivo, juntamente com epidoto (FOTO 24), apresentando, por vezes, ouro livre em teores altos.

9.5 FBT-5, Profundidade 152,89m

A interface solo rocha nesta perfuração foi atingida à profundidade de 25m. A rocha é um granito rosado a avermelhado, com composição de granito 3a a 3b (FIGURA 7). Está afetado em algumas porções por zonas cataclásticas com alteração hidrotermal propílica (FOTO 25).

Localmente xenólitos de andesito são observados. Nas proximidades do contato

o andesito e o granito apresentam-se recristalizados (FOTO 26).

A aproximadamente 61m ocorre um corpo intrusivo de rocha basáltica afanítica, com cerca de 1m de espessura. Este litotipo também foi hidroter-

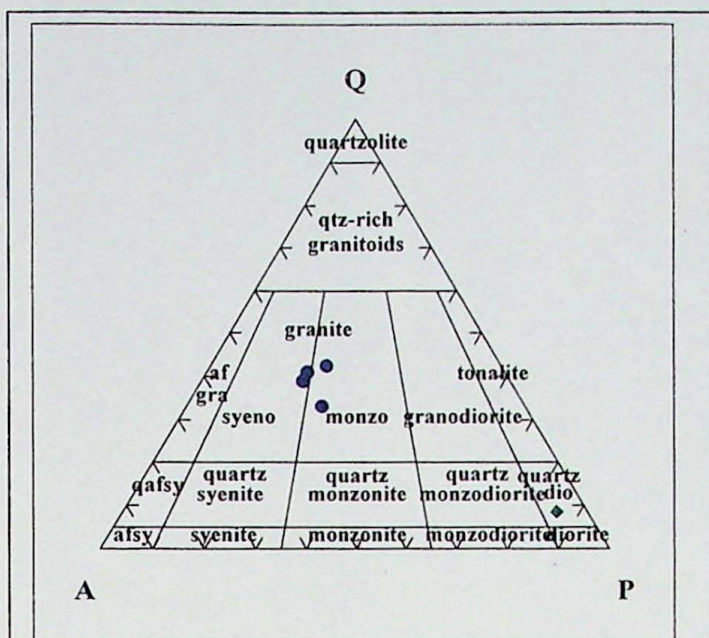


FIGURA 7- Diagrama Q-A-P com estimativas modais das amostras FBT-5. A Mostra plotada na cor verde corresponde a amostra FBT-5/1 que é um basalto.

malizado por alterações propílicas (FOTO 27).

Ao microscópio o basalto apresenta plagioclásio

(andesina com An₄₀) ripiforme, tanto na matriz, como nos

poucos fenocristais. Todos estão intensamente saussuritizados. Apesar da intensa sericitização alguns cristais dispersos na matriz sugerem ter sido de ortoclásio. O quartzo ocorre de modo subordinado na matriz e, principalmente, preenchendo vesículas.

Também ocorrem duas gerações de biotita no basalto, sendo uma delas provavelmente ígnea, com coloração avermelhada, e outra de coloração verde, tipicamente hidrotermal, mais fina, intersticial que substituí a biotita ígnea. Clorita substitui a biotita das duas gerações e também associa-se ao plagioclásio

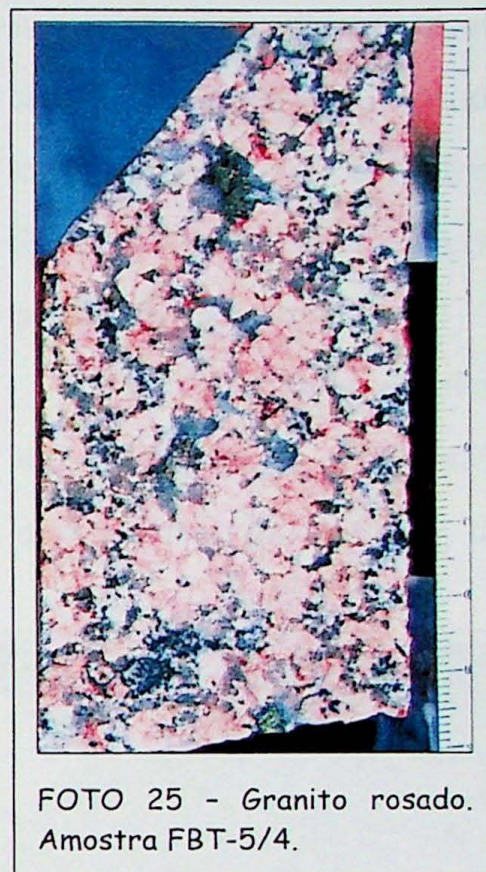


FOTO 25 - Granito rosado. Amostra FBT-5/4.

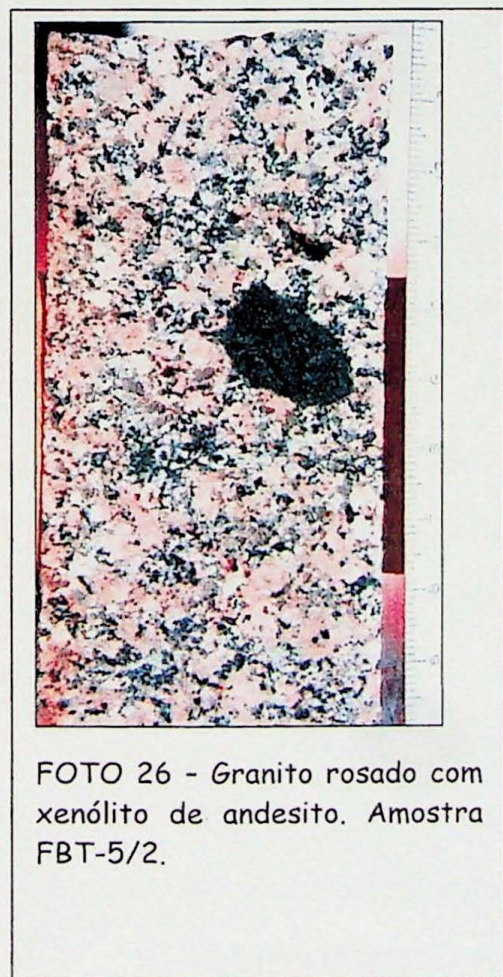


FOTO 26 - Granito rosado com xenólito de andesito. Amostra FBT-5/2.

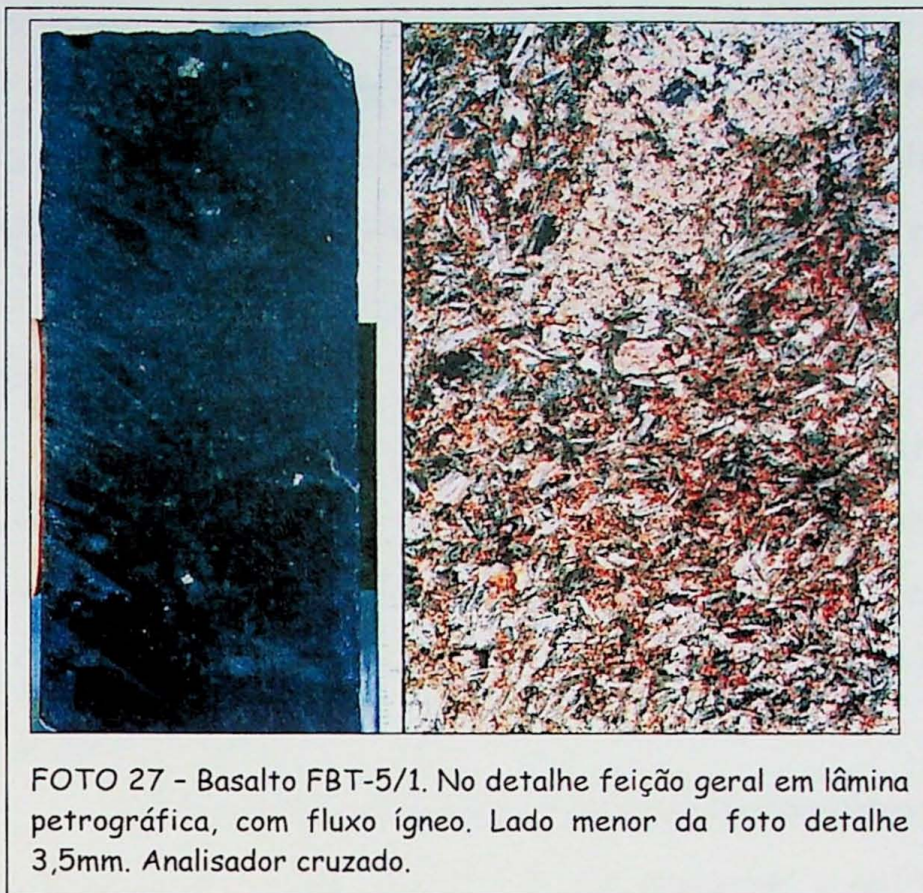


FOTO 27 - Basalto FBT-5/1. No detalhe feição geral em lâmina petrográfica, com fluxo ígneo. Lado menor da foto detalhe 3,5mm. Analisador cruzado.

saussuritizado. Epidotização e carbonatização também são observadas nestes litotipos, bem como minerais opacos por vezes associados a biotita ora dispersos na matriz tem forma variando de euédrica a anedral. Zircão também está presente na matriz.

No granito o quartzo de origem magmática apresenta texturas de

corrosão em golfo frequentes e uma segunda geração de cristais intercrescidos com o ortoclásio pertítico, microclínio e plagioclásio, geneticamente vinculados ao metassomatismo potássico. Ambas gerações apresentam extinção ondulante e inclusões fluidas bifásicas gás-líquido e monofásicas sólidas dispostas em trilhas.

O ortoclásio de origem ígnea tem formas subeuédricas a anhedrais e apresenta texturas pertíticas a mesopertíticas de origem hidrotermal (FOTO 28).

O microclínio pode ter formas subeuédricas e geralmente está intercrescido com quartzo ou preenchendo vazios. Tal qual nos conjuntos anteriores, substitui o

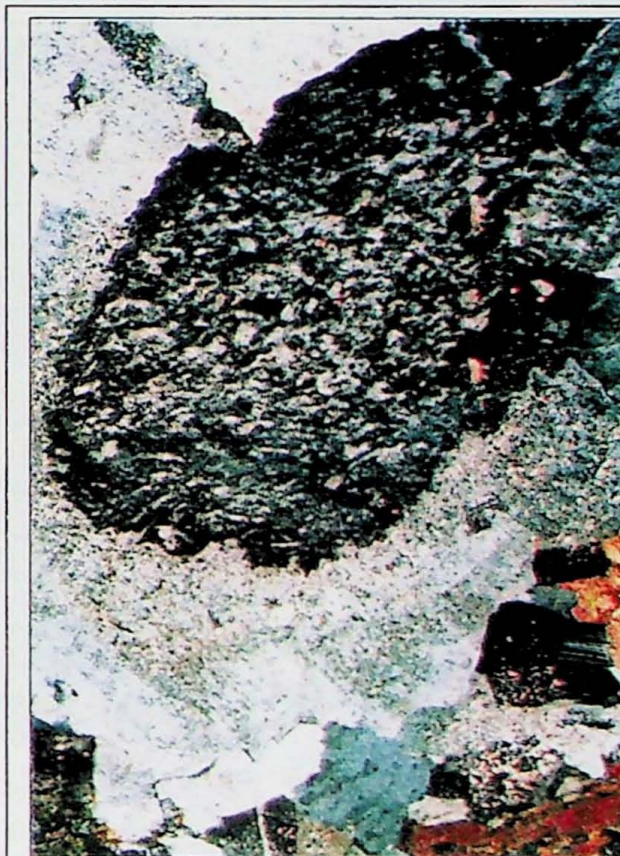


FOTO 28 - Ortoclásio pertítico, microclinizado com bordas de plagioclásio. Texturas produto do metassomatismo potássico. Amostra FBT-5/2. Lado menor da foto detalhe 3,5mm. Analisador cruzado.

ortoclásio, indicando que as rochas sofreram alteração potássica.

O plagioclásio ígneo é representado pela andesina (An_{32-40}), tem forma euédrica e, por vezes, é zonado, com bordas mais albitica e núcleo mais cálcicos, saussuritizados. O metasomatismo alcalino em alguns casos cristalizou albita ao redor do microclínio gerando texturas tipo rapakivi, ou substituiu o ortoclásio gerando textura pertítica.

Biotita apresenta-se com texturas e características ópticas indicativas de duas gerações, uma ígnea, com coloração castanha avermelhada, que é substituída por biotita e/ou clorita hidrotermal de coloração verde, por sua vez substituída por clorita. Esta biotita ocupa também os interstícios dos demais minerais e possui granulação fina.

Relíquias de hornblenda encontram-se disseminadas em algumas porções menos alteradas da rocha. Na maioria das amostras o anfibólio foi quase que totalmente substituído por clorita, biotita e carbonato (FOTO 29).

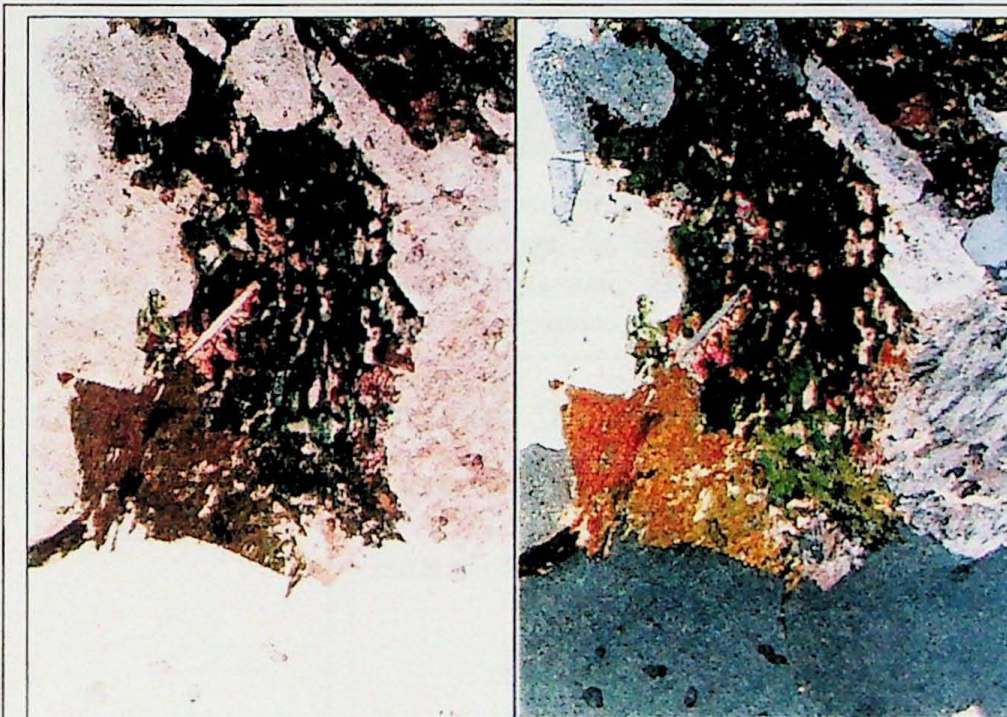


FOTO 29 - Hornblenda substituída por clorita, biotita, carbonato e epidoto, indicando alteração hidrotermal propílica pervasiva. Amostra FBT-5/2. Lado menor da foto detalhe 3,5mm. Analisador cruzado na foto a direita.

Opacos tem forma euédrica a subeuédrica e são representados principalmente pela pirita. Associam-se geralmente à biotita hidrotermal ou preenchem e fraturas.

Zircão acessório está quase sempre associado à biotita.

A alteração presente é predominantemente do tipo metasomatismo potássico e com estilo pervasivo, à qual pode estar superposta alteração propílica fissural e

pervasiva, caracterizada pela associação carbonato-epidoto-clorita-plagioclásio-microclínio-quartzo.

9.6 Caracterização Petrográficas das Alterações

9.6.1 Alteração potássica

A alteração potássica ou metasomatismo alcalino afeta todas amostras em maior ou menor intensidade. É caracterizada pela albitização, microclinização e



FOTO 30 - Microclínio pertítico com borda de albita, microclinizado intercrescido com quartzo, produto do metasomatismo alcalino. Observa-se também biotita hidrotermal. Amostra FBT-1/5. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador cruzado.

biotitização associadas a texturas granofíricas e texturas do tipo pertíticas (FOTO 30, FIGURA 8).

A albitização é caracterizada pela formação de bordas e inclusões de plagioclásio no ortoclásio devido a troca de potássio por sódio nos

cristais de feldspato alcalino (FIGURA 9). As inclusões não seguem as direções cristalográficas do hospedeiro muito semelhantes as descritas por PIRAJNO(1992).

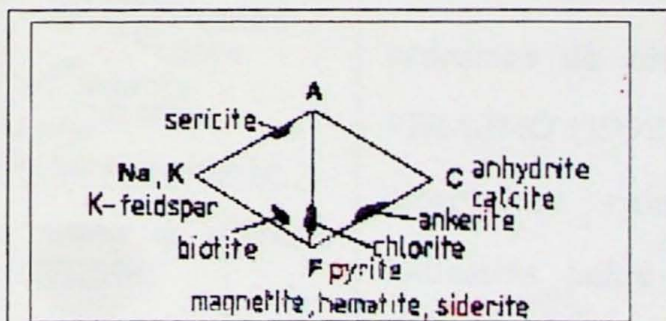


FIGURA 8 - Associação mineral da alteração potássica, segundo PIRAJNO(1992).

Microclinização está relacionada ao aumento da quantidade de potássio na

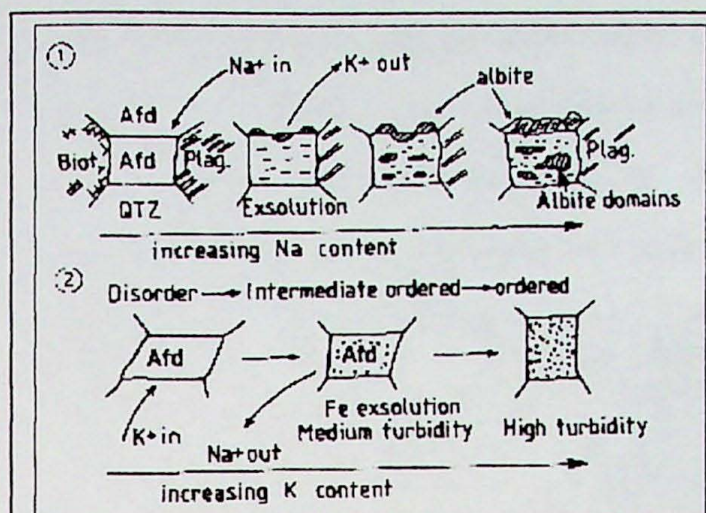


FIGURA 9 - (1) Formação da textura pertítica e do tipo rapakivi em cristal de feldspato alcalino por troca de potássio por sódio.

(2)- Processo de microclinização do feldspato alcalino e formação de microinclusões de hematita. KINNAIRD *et al.* (1985, em PIRAJNO 1992).

solução hidrotermal, cristalizando microclínio nos interstícios e microclinizando o ortoclásio com o decrescimento da temperatura e a mudança da estrutura de monoclinica para triclinica. Este processo pode ser melhor observado na FIGURA 9.

Durante a troca do sódio pelo potássio o ferro é liberado do retículo cristalino do feldspato e é oxidado, formando microinclusões de hematita. Este processo foi descrito por KINNAIRD *et*

al. (1985, em PIRAJNO 1992) no complexo Ririway, norte da Nigéria.

9.6.2 Alteração propílica

Este tipo de alteração desenvolveu-se tanto com estilo fissural como pervasivo e é caracterizada pela associação carbonato, epidoto, clorita, feldspato potássico, albite e pirita (FIGURA 10).

Mineralizações de ouro podem estar associadas a este tipo de alteração,

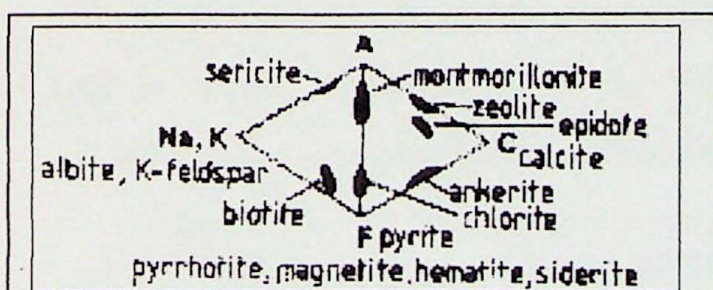


FIGURA 10 Associação mineral da alteração propílica, segundo PIRAJNO(1992).

especialmente quando o hidrotermalismo ocorre em níveis crustais rasos, próximos da zona de ebulição segundo PIRAJNO (1992). As características de alterações relativamente rasas são indicadas pelas texturas granofíricas, deformações rúpteis e xenólitos de

rochas vulcânicas semelhantes às das rochas que compõe o Grupo Iriri, sugerindo que em níveis crustais ainda mais rasos que os verificados no Garimpo Batalha, possam ocorrer mineralizações associadas à alteração propílica.

Este tipo de alteração no Garimpo Batalha tem estilo predominantemente pervasivo e subordinadamente seletivamente pervasivo, este preferencialmente alterando o plagioclásio.



FOTO 31 - Veio de carbonatos com clastos de quartzo, feldspato nas bordas, produto de alteração propílica fissural associada a zonas de brechação. Amostra FBT-2/9. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador cruzado.

alterando o plagioclásio.

Em algumas das amostras esta alteração está intimamente vinculada às zonas de cisalhamento preenchidas e cimentadas por carbonatos, fluorita, quartzo, clorita e epidoto de zonas brechadas, ainda observada nas bordas dos veios (FOTO 31.).

9.6.3 Alteração sericítica

A alteração sericítica nas rochas graníticas do Garimpo Batalha associam-se preferencialmente às zonas de cisalhamento, onde a típica paragênese quartzo-sericita-pirita (FIGURA 11, FOTO 32) preenche veios e fraturas. Sericitização e sulfetização, produtos deste tipo de alteração ocorrem também com estilo pervasivo.

Parte das
de ouro associam-se aos
pirita deste tipo de

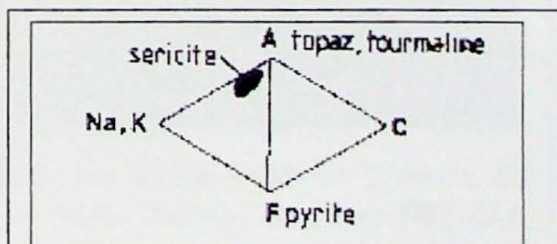


FIGURA 11 Associação mineral da alteração sericítica, segundo PIRAJNO(1992).

mineralizações
veios de quartzo e
alteração hidrotermal.

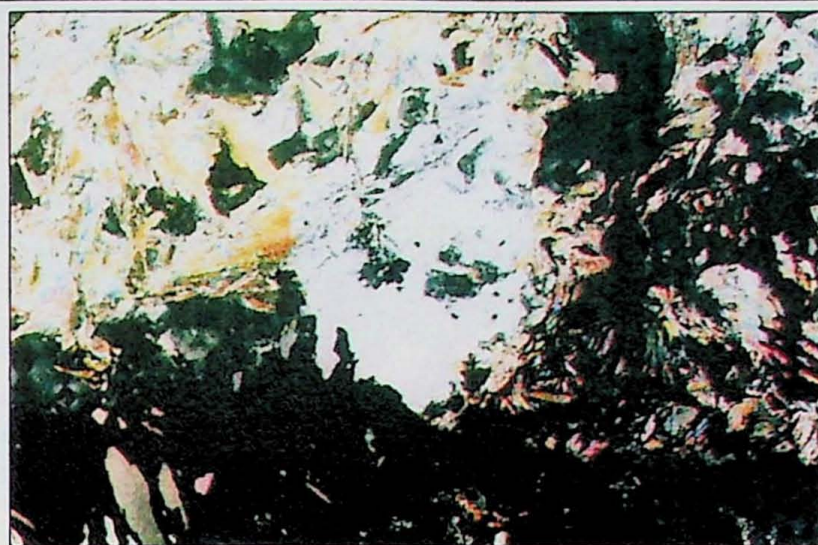


FOTO 32 - Veio preenchido por quartzo, pirita e sericita, produto de alteração sericítica com estilo fissural. Amostra FBT-3/5. Lado menor da foto 3,5mm. Analisador cruzado

10 PETROGRAFIA DE LUZ REFLETIDA

Esta técnica foi utilizada para determinação dos minerais opacos e de seus relacionamentos com as estruturas e tipos de alterações.

A pirita é o principal mineral associado às alterações hidrotermais. Geralmente

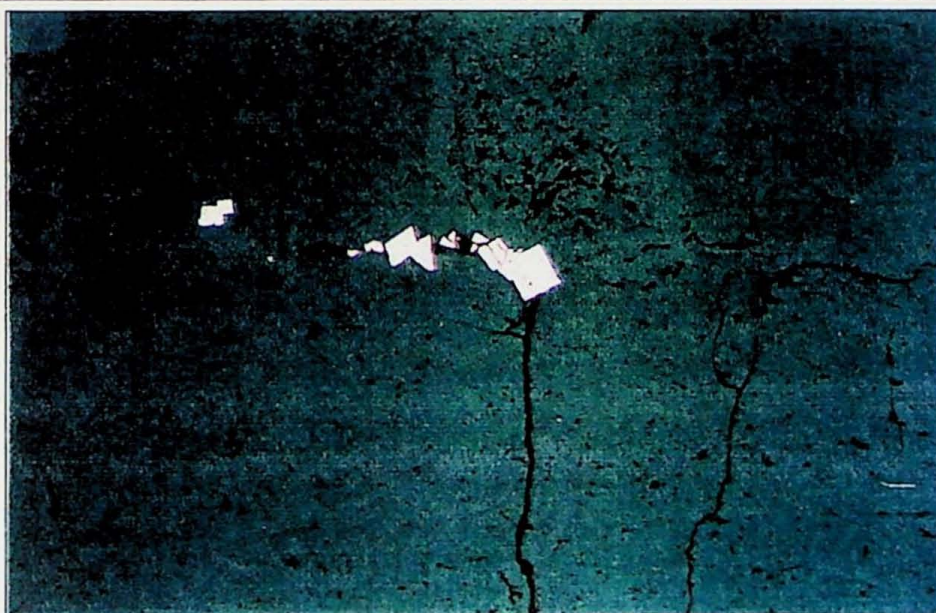


FOTO 33 - Fratura preenchida por pirita euédrica produto de alteração do tipo sericítica com estilo fissural. Amostra FBT-2/4. Lado menor da foto 1,85 mm.

ocorre sob a forma de veios ou preenchendo parcialmente fraturas (FOTOS 33 e 34). Por vezes encontra-se associada à clorita e à biotita e frequentemente possui inclusões de calcopirita em contatos geralmente retos e bem definidos, denotando equilíbrio

química. Grãos de ouro muito finos, de cor clara, indicando altos teores de prata,

encontram-se inclusos na pirita associada aos veios ou à biotita. Por vezes o ouro forma pequenas vênulas com formas enterolíticas (FOTO 35).

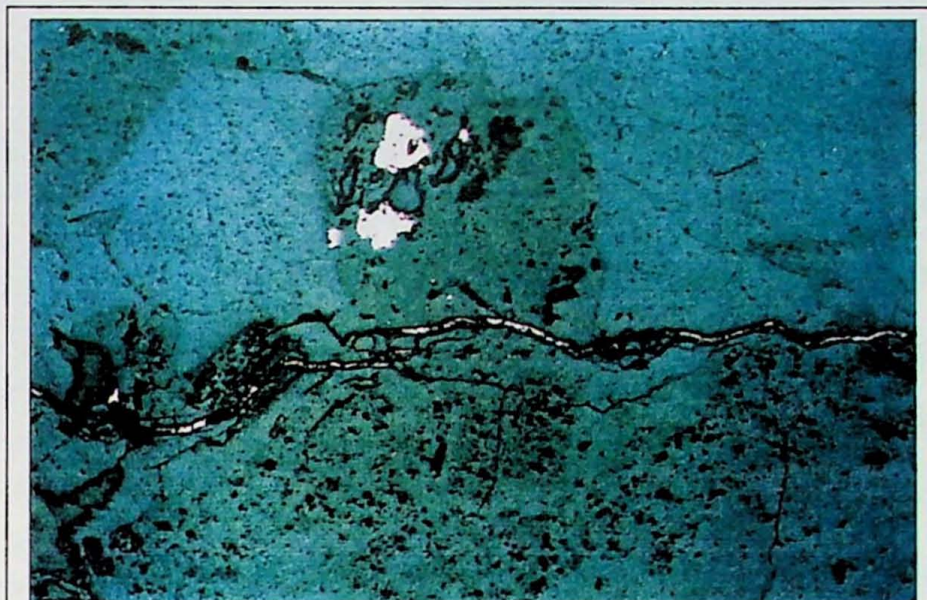


FOTO 34 - Fratura preenchida por pirita produto de alteração do tipo sericítica no estilo fissural. Ao lado observa-se pirita associada a biotita. Amostra FBT-2/4. Lado menor da foto 1,85 mm.

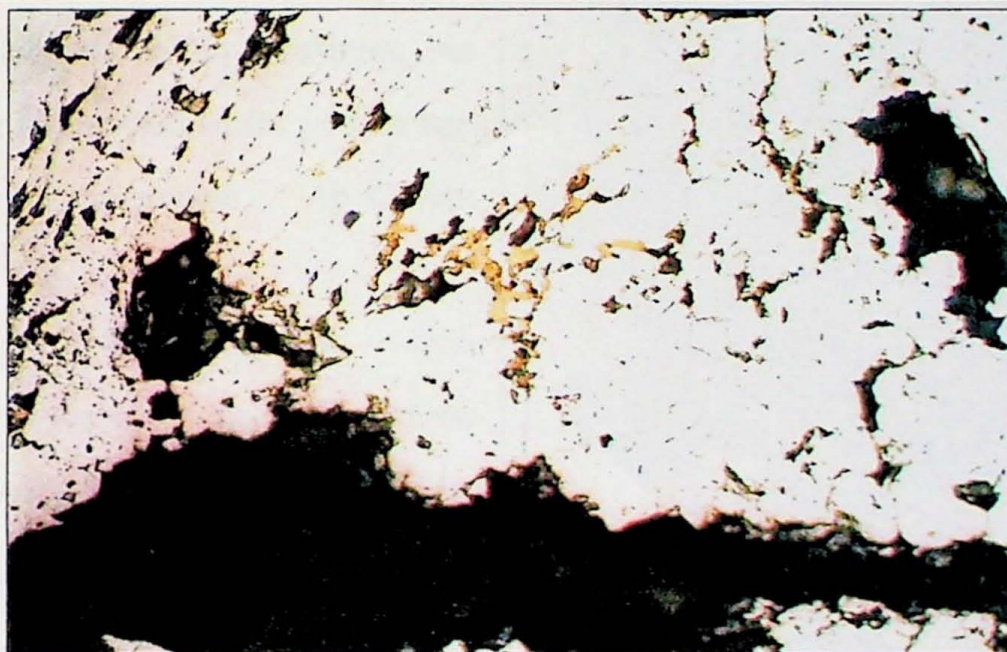


FOTO 35 - Vênulas de ouro inclusas na pirita. Amostra FBT-3/1. Lado menor da foto 1,85 mm.

11 MICROSSONDA ELETRÔNICA

Análises por microsonda eletrônica foram utilizadas para caracterização das

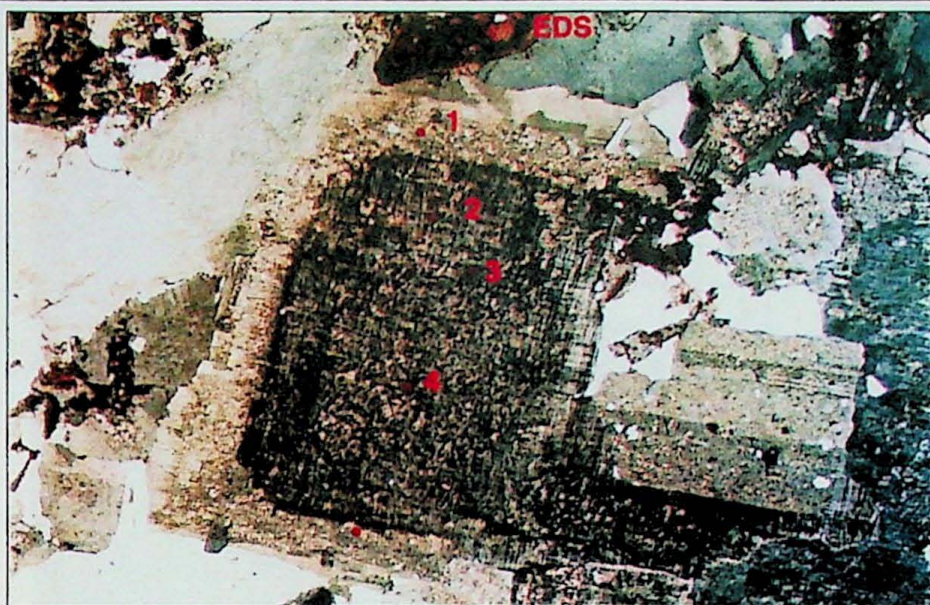


FOTO 36 - Microclínio com borda de plagioclásio FBT-1/4. Lado menor da foto 3,5 mm. No topo da foto observa-se allanita euédrica onde foi realizada análise de EDS. Os números correspondem aos pontos analisados.

principais fases minerais dos granitos, ígneas e hidrotermais e para confirmação dos estudos petrográficos.

Foram realizados perfis analíticos em cristais de microclínio pertítico com texturas rapakivíticas, objetivando a determinação da variação composicional do

zonamento do microclínio pertítico e das bordas albíticas que envolvem o microclínio (FOTOS 36, 37, 38).

Os resultados foram tratados no programa *Minpet* e os resultados podem ser observados no diagrama Ab-Or-An (FIGURA 12).

Observa-se no diagrama uma variação na composição do microclínio devido basicamente à granulação muito fina da albita das pertitas e do diâmetro do feixe de elétrons. Entretanto, parte das variações podem ser devidas às substituições do feldspato potássico pela albita, bem caracterizada nas bordas de



FOTO 37 - microclínio com borda de plagioclásio FBT-1/4. Lado menor da foto 3,5 mm.

albita. Por vezes o microclínio está cristalizado ao redor das bordas de albita, como observado nas (FOTOS 36, 37 e 38).



FOTO 38 - microclínio com borda de plagioclásio FBT-1/4. Lado menor da foto 3,5 mm.

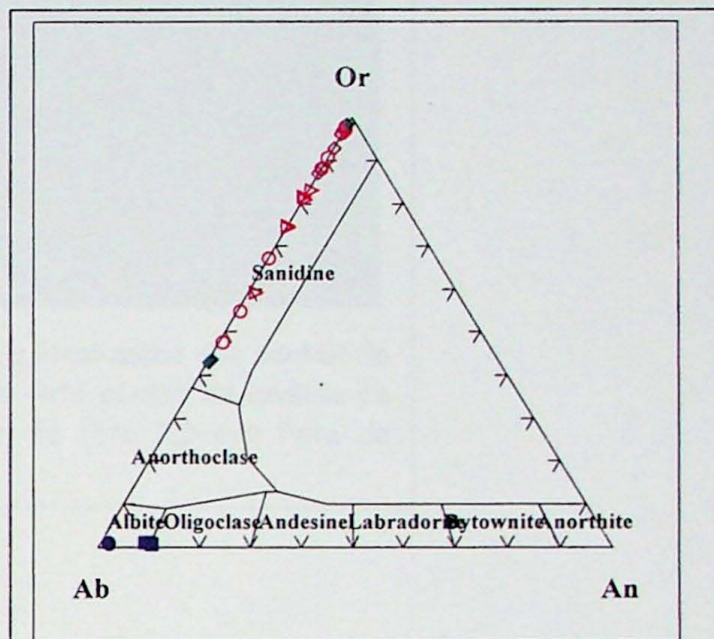


FIGURA 12 Diagrama AB-Or-An. Os pontos em azul correspondem aos pontos 9 e 5 da foto 38 e ao ponto 1 e 2 da foto 37. Os pontos vermelhos e verdes correspondem aos outros pontos das fotos 36, 37 e 38.

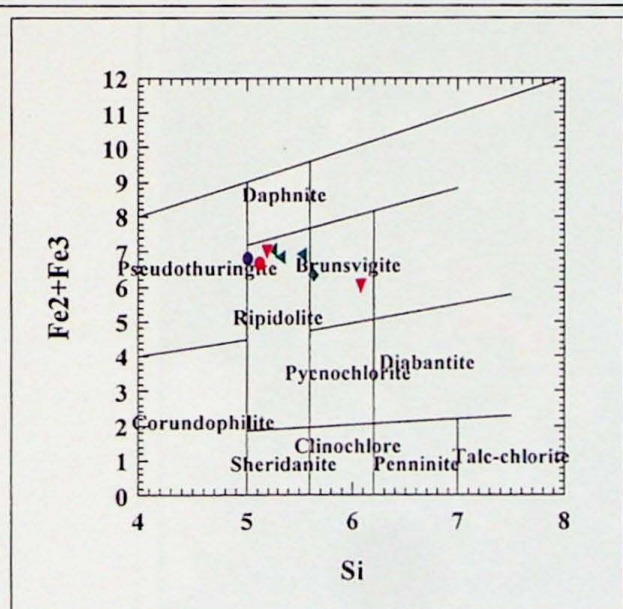


FIGURA 13 - Diagrama Fe_2+Fe_3 X Si de classificação de clorita. Os pontos representam análises de clorita de origem hidrotermal.

A clorita e a biotita também foram analisadas com a finalidade visando caracterizar as variações químicas produzidas pela transformação da biotita ígnea para a hidrotermal e desta para a clorita. Os resultados das análises da clorita são apresentados na FIGURA 13 e FOTOS 39, 40 e 41.

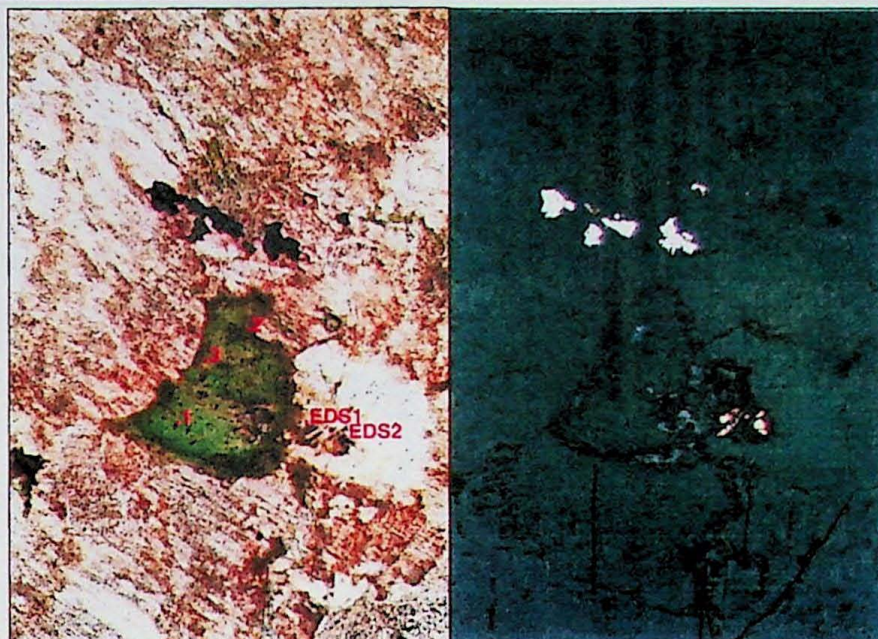


FOTO 39 - Clorita hidrotermal com a localização dos pontos de análise . Também estão indicados na foto pontos de análise de EDS.Amostra FBT-2/4. Lado menor da foto 3,5 mm Foto da direita com luz refletida.

As análises realizadas em epidoto (FOTOS 40 e 41) recalculadas pelo programa *MINPET* são apresentadas na FIGURA 14.

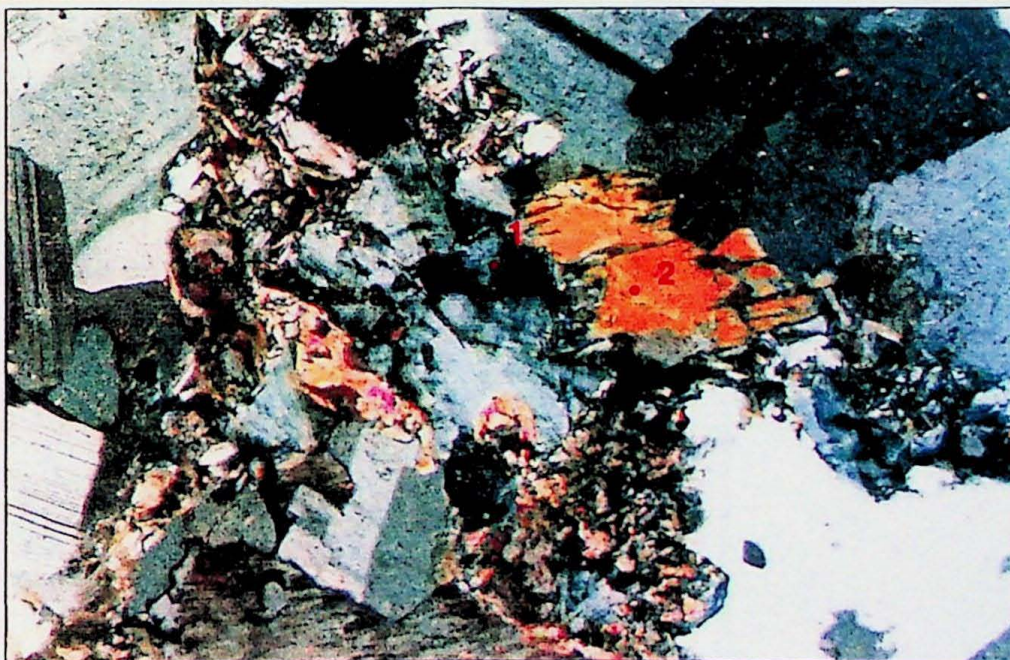


FOTO 40 - O ponto 1 corresponde a análise na clorita e o ponto 2 análise no epidoto.Amostra FBT-2/5. Lado menor da foto 3,5 mm.



FOTO 41 - O ponto 1 corresponde a análise na clorita e o ponto 2 análise no epidoto. Amostra FBT-2/5. Também estão indicados na foto os pontos de análise de EDS. Lado menor da foto 3,5 mm.

| | fbt-2/5 c2 | fbt-2/5 c1 |
|--------------------------------|---------------|---------------|
| SiO ₂ | 38 | 38 |
| TiO ₂ | 0 | 0 |
| Al ₂ O ₃ | 26 | 26 |
| FeO | 11 | 11 |
| Cr ₂ O ₃ | 0 | 0 |
| MnO | 0 | 0 |
| MgO | 0 | 0 |
| CaO | 24 | 24 |
| Na ₂ O | 0 | 0 |
| K ₂ O | 0 | 0 |
| F | 0 | 0 |
| CL | 0 | 0 |
| TOTAL | 99 | 99 |

FIGURA 14 - Análises do epidoto recalculada no MINPET.

12 EDS

Esta técnica foi empregada para determinação dos opacos e confirmação da alanita e sericita. Os pontos analisados são mostrados nas fotos 38, 39 e 42. Os dados são apresentados nos diagramas (FIGURAS 15, 16, 17 e 18).

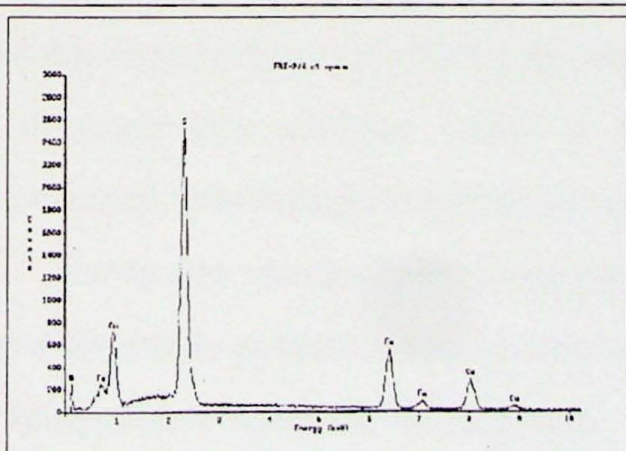


FIGURA 15- Diagrama EDS de calcopirita.

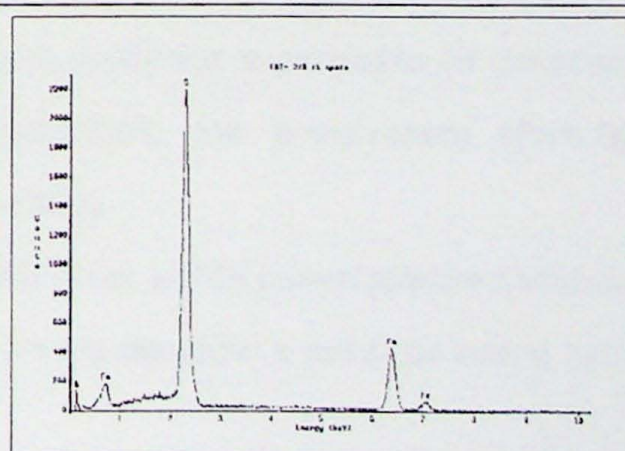
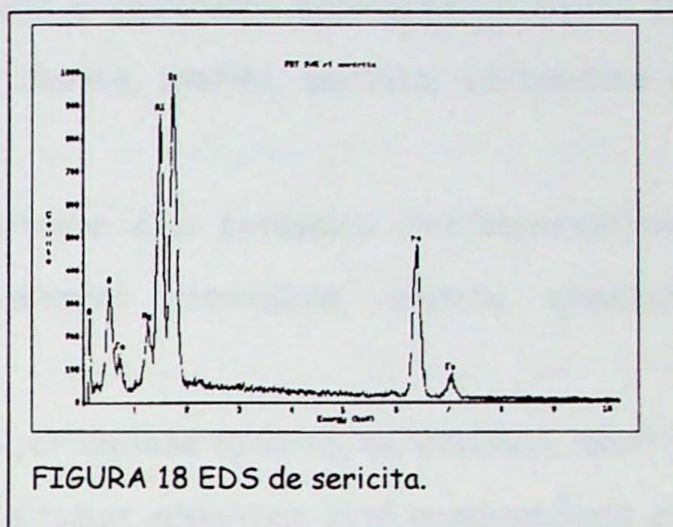
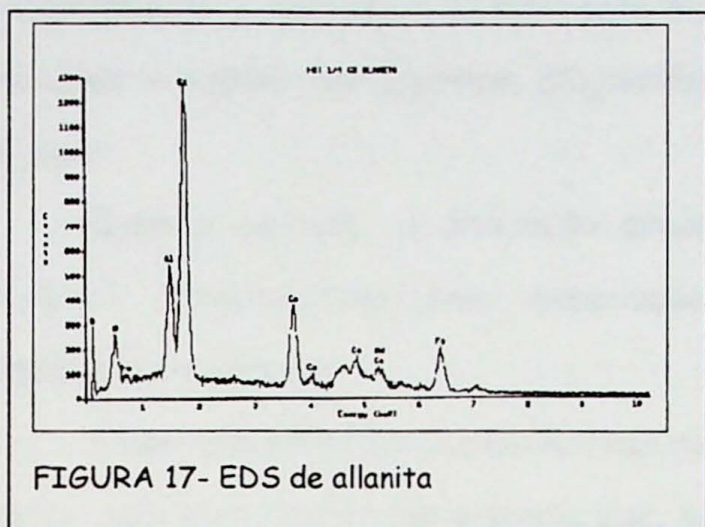


FIGURA 16- Diagrama EDS de pirita.

A análise dos diagramas, mostra que os sulfetos presentes são a pirita e a calcopirita.

Os picos encontrados nos diagramas (FIGURAS 17 e 18) correspondem, respectivamente, à allanita e à sericita.



13 RESULTADOS OBTIDOS E CONCLUSÕES

As rochas interceptadas pelas sondagens no Garimpo Batalha correspondem a granitos com texturas granofíricas e rapakivíticas variavelmente hidrotermalizados e localmente cortados por fraturas e zonas de cisalhamento. As rochas encontram-se mineralizadas em ouro.

As texturas granofíricas, mesmo que não estando intensamente desenvolvidas, indicam condições de resfriamento do magma em profundidade rasa e com contribuição de fluidos tardios ricos em sílica, potássio e sódio. Estes fluidos foram também responsáveis pela alteração hidrotermal potássica superposta às assembléias de minerais dos estágios tardi- a pós-magmáticos, que provocaram albitização, silicificação, biotitização e microclinização da rocha.

Parte das texturas pertíticas e as rapakivíticas estão geneticamente vinculadas com a alteração potássica e são produtos das trocas de sódio e potássio entre cristais de feldspatos e a solução hidrotermal.

A coloração avermelhada verificada na maioria das amostras é também produto

do metassomatismo potássico onde o Fe liberado do retículo dos feldspatos alcalinos é oxidado e forma microinclusões de hematita. Desta forma pode-se esperar que em zonas de um mesmo maciço ou em corpos menos intensamente alterados as colorações tendam a ser mais claras ou mesmo acinzentadas.

Os estilos das alterações hidrotermais foram pervasivo e fissural, predominando a pervasiva. O alteração fissural é observada pelo preenchimento de fraturas e vazios por quartzo, plagioclásio, clorita, biotita, sericita, carbonatos e opacos.

Quanto ao tipo, a alteração predominante é a potássica (metassomatismo alcalino) caracterizada pela associação mineral microclínio, biotita, quartzo, plagioclásio e clorita.

Alteração propílica, caracterizada pela paragênese epidoto, carbonatos, clorita, albita, feldspato potássico e pirita que, em algumas amostras está acompanhada de intensa albitização é o tipo de alteração que sucede a anterior. Esta apresenta estilo predominantemente pervasivo, com características fissurais locais.

Também foram observadas paragêneses características de alteração sericítica, com quartzo-sericita-pirita, feldspato potássico, calcita e biotita.

A alteração sericítica superpõe-se gradacionalmente à propílica, sob a forma de veios e, menos claramente, com estilo pervasivo.

Algumas zonas de cisalhamento afetam o maciço localmente, desenvolvendo texturas cataclásticas e brechas tectônicas, e ocorrem também protomilonitos subordinados. Algumas das zonas brechadas não são tectônicas e sim são produto de instalação de microcondutos vulcânicos, os quais funcionaram como condutos para os fluidos hidrotermais.

Pequenos diques de aplito e de basalto cortam o granito e ambos apresentam alteração potássica incipiente.

As mineralizações de ouro associam-se à pirita e calcopirita, tanto da alteração sericítica vinculada com as zonas de cisalhamento como com o evento da alteração propílica pervasiva com biotita. O ouro encontra-se em sua forma livre, metálica como

inclusões e microvênulas na pirita e os maiores teores são observados em veios preenchidos por carbonatos, quartzo, sulfetos e fluorita.

14 MODELO GENÉTICO

Nos últimos anos o modelo prospectivo para ouro no Tapajós tem se concentrado nas mineralizações associadas às zonas de cisalhamento associadas a grandes lineamentos regionais, onde concentram-se muitos garimpos. As mineralizações nestes casos estão, muitas vezes encaixadas em rochas graníticas e apresentam alterações hidrotermais não muito intensas, incluindo os tipos sericítico, propilítico e carbonatização. A associação das mineralizações com granitos vermelhos, tem sido comumente reportada em vários estudos, como no Garimpo São Jorge. Entretanto, não tem sido atribuída gênese hidrotermal para esta coloração e alterações potássicas com microclínio tem sido consideradas muito subordinadas e locais.

Os estudos petrográficos anteriores feitos no Garimpo do Batalha consideraram as variações composicionais entre os granitos mais ou menos sódicos ou potássicos, como magmáticas. O reconhecimento neste estudo do metassomatismo alcalino potássico e sódico e sua distribuição generalizada pelo maciço, sem que tenha sido verificado controle por estruturas tectônicas pós-magmáticas indica que os sistemas hidrotermais estão geneticamente associados à colocação do granito em níveis crustais rasos, com fluidos hidrotermais gerado e/ou remobilizados pela intrusão.

Como consequência, podem, potencialmente, existirem corpos ígneos menores, mais tardios e diferenciados, mais intensamente alterados, que podem hospedar mineralizações mais importantes, filonianas, em *stockworks* ou disseminadas, como depósitos do tipo pórfiro.

De fato, os sistemas como o do Garimpo Batalha podem ser eventualmente relacionados com as mineralizações de ouro epitermal observadas nas rochas

vulcânicas preservadas da erosão em níveis crustais mais elevados, como sugerido pelas alterações nos diques subvulcânicos e xenólitos observadas no Granito Batalha.

O segundo metalocteto encontrado vincula-se com as zonas de cisalhamento, que, por serem condutos preferenciais de fluidos hidrotermais, foram responsáveis pela remobilização e reconcentração (ou concentração) do ouro presente nos granitos hidrotermalizados, sob a forma de filões menores, por vezes com altos teores e ouro livre mais grosso, o que, certamente é mais atrativo e rentável para atividade garimpeira.

Conseqüentemente, as zonas de cisalhamento não devem ser consideradas como sendo o único objetivo dos modelos prospectivos, que devem incluir também os sistemas hidrotermais associados aos granitos, notadamente aqueles vinculados a estruturas circulares menores, que em imagens de satélite parecem ser intrusivos tanto em rochas graníticas que constituem grandes estruturas circulares com em metavulcânicas do Grupo Iriri.

Os estudos sugerem, ainda uma especialização dos granitos do evento Uatumã no Tapajós para ouro ao invés de estanho, que ocorre como principal bem mineral associado aos granitos da porção leste do Crátom Amazônico.

15 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. - 1976 - The upper Precambrian of South America. Bol. IG. 7: 45 - 80, Inst. Geoc. Univ. São Paulo. São Paulo
- ALMEIDA, F.F.M. de ; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R. - 1981 - Brazilian structural provinces an introduction. *Earth Sciences Review*, 17(1/2): 1 - 29.
- ALMEIDA, M.E.; BRITO, M. de F.L. de; FERREIRA, A.L.; MONTEIRO, A.S.; POPINI, M.V.F.; DREHER, A.M. - 1998 - Mineralizações auríferas associadas a vulcanismo ácido e intermediário na Follha Vila Mamãe Anã, Província Mineral do Tapajós. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte, 1998. *Anais...*, SBG Núcleo MG; p. 148.
- ARANEDA, R.; LIZ, J.C.; MADALOSSO, A.; ANDRADE, P.J.; OLIVEIRA, G. - 1998 - Características geológicas e natureza das mineralizações auríferas de alguns prospectos da Província Mineral do Tapajós. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte, 1998. *Anais...*, SBG Núcleo MG; p. 124.
- BARD, J.P. - Microtextures of igneous and metamorphic rocks. - 1980.

- COUTINHO, M.G. da N.; DREHER, A.M.; MARINI, S. - 1996 - Controle das mineralizações de ouro na Província do Tapajós: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., Salvador, 1996. Anais..., SBG Núcleo Bahia-Sergipe, v. 7, p.230 - 233.
- BRITO, M.F.L.; ALMEIDA, M.E.; FERREIRA, A.L.; MONTEIRO, M.A.S.; POPINI, M.V.F. 1997. Petrografia e litoquímica da Suite Intrusiva Maloquinha - registro de magmatismo tipo A na Província do Tapajós. In: SBGq, Congresso Brasileiro de Geoquímica, 6, Salvador, Anais, 2: 847-851
- COUTINHO, M.G. da N.; LIVERTON, T.; SOUZA, E.C. de - 1997 - Granitic magmatism and related gold mineralization in the Tapajós mineral province, Amazonian area, Brasil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 2, Salvador, BA, 1997. Extended Abstract and Program..., SGRM, p. 46 - 47.
- COUTINHO, M.G. da N.; ROBERT, F. & SANTOS, R. A. dos. - 1998 - Província mineral do Tapajós, Amazônia, Brasil: Novo enfoque geológico das mineralizações de ouro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte, 1998. Anais..., SBG Núcleo MG; p. 160.
- COSTA, J.B.S.; BORGES, M. da S. & ARAÚJO, O.J.B. - 1998 - História da reativação da Província Aurífera do Tapajós. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40, Belo Horizonte, 1998. Anais..., SBG Núcleo MG; p. 13.
- DALL'AGNOL, R.; LAFON, J.-M.; MACAMBIRA, M.J.B. - 1994 - Proterozoic anorogenic magmatism in the central Amazonian province, Amazonian Craton: Geochronological, petrological and geochemical aspects. Mineralogy and petrology, 50, p 113-138.
- DALL'AGNOL, R.; COSTI, H.T.; LEITE, A.A. da S.; de MAGALHÃES, M.S.; TEIXEIRA, N.P. - 1997 - Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. Precambrian research 95, p 9-39.
- FOSTER, R.P. - 1993 - Gold Metalogeny and exploration. Chapman & Hall, 432p.
- ISSLER, R.S. & LIMA, M.I.C - 1987 - Amazonian Craton (Brazil) granitogenesis and its relations to geotectonic units. Revista Brasileira de Geociências, 17(4): 426 - 431.
- LEAL, J.W.L.; JOÃO, X.S.J.; MATOS S.H.S. de - 1984 - Ouro do Tapajós - Aspectos da Geologia e Mineralização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais..., SBG Núcleo RJ, v. 8, p. 3970 - 3982.
- LESTRA, A.D & NARDI, J.I.S - 1984 - O ouro da Amazônia Oriental - O mito e a realidade, 2a. ed. - Belém, Editora Grafisa, 395p.
- PÉREZ AGUILAR, A. - 1996 - Geologia, petrografia e gênese dos granada-cordierita-cummingtonita/antofilita anfibolitos e rochas associadas do Grupo Serra do Itaberaba, SP. Inédito, 168 p. (Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências da USP).
- PÉREZ AGUILAR, A.; JULIANI, C. - 1994 - Petrografia de granada-cordierita-cummingtonita anfibolitos da serra do Itaberaba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Balneário Camboriú, SC, 1994. Boletim... Balneário Camboriú, SBG, v. 3, p. 98-99.
- PIRAJNO, F. - 1992 - Hydrothermal mineral deposits. Principles and fundamental

- concepts for the exploration geologists. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 709 p.
- QUADROS, M.L.E.S.; BAHIA, R.B.C.; KLEIN, E.L.; VASQUEZ, M.L.; ALMEIDA, M.E.; RICCI, P.S.F.; MONTEIRO, M.A.S. 1999. As intrusões básicas da Província Mineral do Tapajós (PMT) e possibilidades de mineralizações associadas. In: SBG/Núcleo Norte, VI Simpósio de Geologia da Amazônia, Manaus, Anais, 567-569
- SANTOS, D.B. dos; FERNANDES, P.E.C.A.; DREHER, A.M; CUNHA, F.B. da; BASEI, M.A.S.; TEIXEIRA, J.B.G. - 1975 - Geologia - Projeto RADAMBRASIL - Folha SB-21/Tapajós; Geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da Terra. Rio de Janeiro, DNPM, p. 15 - 99.
- SANTOS, J.O.S. & LOGUERCIO, S.O.C. - 1984 - A parte meridional do Cráton Amazônico (Escudo Brasil Central) e as bacias do Alto Tapajós e Parecis-Alto Xingu. In: SCHOBENHAUS et al. (1984) Geologia do Brasil: Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Adjacente Incluindo Depósitos Minerais, - Brasília, DNPM/MME, p. 93 - 127.
- SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E. - 1997 - Reconnaissance U/Pb in zircon, Pb/Pb in sulphides and review of Rb/Sr geochronology in Tapajós gold Province, Pará/Amazonas States, Brazil. In: SOUTH-AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, Campos do Jordão, SP. Extended Abstracts..., p. 280 - 282.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (Eds.) - 1984 - Geologia do Brasil: Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Adjacente Incluindo Depósitos Minerais, Escala 1:2.500.000, Brasília, DNPM/MME, 501p.
- SCHOBENHAUS, C.; HOPPE, A.; LORK, A.; BAUMANN, A. - 1994 - Idade U/Pb do magmatismo Uatumã no norte do Cráton Amazônico, Escudo das Guianas (Brasil): primeiros resultados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, Balneário de Camburiú, SC, 1994. Anais..., SBG, v. 2, p. 395 - 397.
- SILVA, A.R.B. da - 1982 - Considerações sobre as mineralizações auríferas da Região do Tapajós. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1, Belém, 1983. Anais..., SBG, Núcleo Norte, v. 2, p. 100 - 115.
- SILVA, A.R.B. da - 1984 - Províncias auríferas do Estado do Pará e Território Federal do Amapá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais..., SBG, Núcleo Rio de Janeiro, v. 8, p. 3945-3958.
- TAYLOR, R.G & POLLARD, P.J.- 1988- Pervasive Hydrothermal alteration in tin-bearing granites and implications for the evolution of ore-bearing magmatic fluids. In: Recent Advances in the Geology of Granite-Related Mineral Deposits.
- TASSINARI, C.C.G. - 1996 -O mapa geocronológico do Cráton Amazônico no Brasil: revisão dos dados isotópicos. Inédito, 139 p., apêndices (Tese de Livre-Docência apresentada ao Instituto de Geociências - USP).

DOAÇÃO *IG*

Seco Graduação

Data: *26 / 07 / 2000*

