

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Trabalho de Formatura 2004 / #15

**Petrogênese da mineralização aurífera filoniana do Palito
(SW do Estado do Pará) e de suas rochas hospedeiras:
alteração hidrotermal e gênese**

Jonas Mota e Silva

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

Co-orientador: Roberto Dall'Agnol

Departamento de Mineralogia e Geotectônica

Apoio:

SERABI Mineração Ltda
PRONEX/CNPq UFPA – 662103/1998
CT-Mineral/CNPq – 505851/2004-0

Dezembro de 2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Petrogênese da Mineralização Aurífera Filoniana do
Palito (SW do Estado do Pará) e de suas Rochas
Hospedeiras: Alterações Hidrotermal, Gênese e
Geocronologia**

Jonas Mota Silva

Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Caetano Juliani _____

Profa. Dra. Gianna Maria Garda _____

Prof. Dr. Gergely Andres Júlio Szabó _____

São Paulo

2004

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Trabalho de Formatura 2004 / #15

**Petrogênese da mineralização aurífera filoniana do Palito
(SW do Estado do Pará) e de suas rochas hospedeiras:
alteração hidrotermal e gênese**

Jonas Mota e Silva

Orientador: Prof. Dr. Caetano Juliani

Co-orientador: Roberto Dall'Agnol



Departamento de Mineralogia e Geotectônica

Apoio:

SERABI Mineração Ltda
PRONEX/CNPq UFPA – 662103/1998
CT-Mineral/CNPq – 505851/2004-0

DEDALUS - Acervo - IGC



30900016382

Dezembro de 2004

SS86
JM.P



DOAÇÃO

IGL-USP

Data: 27/06/05

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	03
RESUMO	04
ABSTRACT	05
1 INTRODUÇÃO	06
2 OBJETIVOS	07
3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	07
4 JUSTIFICATIVAS PARA A PESQUISA	08
5 GEOLOGIA REGIONAL	09
6 ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL	17
6.1 Tipos de alteração hidrotermal	17
6.1.1 Alteração alcalina (potássica e sódica)	17
6.1.2 Alteração propilítica	18
6.1.3 Alteração sericítica	18
6.1.4 Alteração argílica avançada	18
6.1.5 Alteração argílica	19
6.1.6 Silicificação	19
6.2 Estilos de alteração hidrotermal	19
7 MINERALIZAÇÕES DO TIPO PÓRFIRO	20
7.1 Ouro em sistemas pórfiros	21
7.1.1 Transporte e precipitação química	21
7.1.2 Ambiente tectônico	22
8 DIFICULDADES ENCONTRADAS NO DESENVOLVIMENTO DAS PESQUISAS	23
9 MÉTODO DE PESQUISA	24
9.1 Levantamentos bibliográficos	24
9.2 Trabalho de campo	24
9.3 Seleção de amostras	24
9.4 Petrografia	25
9.5 Geocronologia	25
9.6 Difração de raios-x	26
9.7 Microsonda eletrônica	27
9.8 Mapas e perfil geológico	27
10 RESULTADOS	28
10.1 Geologia da área mineralizada	28
10.2 Geologia estrutural	35
10.3 Petrografia	37
10.4 Alteração hidrotermal	44
10.5 Difractometria de raios-x	46
10.7 Microsonda eletrônica	47
10.7 Mineralização	48
11 CONCLUSÃO	51
12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
13 ANEXOS	

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que durante minha graduação mostraram-se ser agentes do progresso coletivo, contrariando tendência comum de oportunismo e individualismo vigente em todas as entranhas desta Universidade de São Paulo.

Valeu família (mãe, pai, Lia, vó e vô) pelo suporte e paciência perante minha chatisse, conformando peças fundamentais na viabilização desta pesquisa.

Origado ao orientador e grande geólogo Caetano Juliani pela paciência e sábias instruções durante a orientação desta pesquisa.

Valeu Roberto Dall'Agnol pela ajuda e disposição em auxiliar-me nesta pesquisa.

Ao pessoal da SERABI Mineração Ltda pelo compartilhamento dos dados, financiamento e ajuda nos trabalhos de campo e pela companhia nos fantásticos 20 dias de pesquisa na maior floresta tropical do mundo. Agradeço em especial aos geólogos Sérgio Aquino e Manoel da Costa, parceiro fiel nas pesquisas. Vinicius, Júnior, Robert, Batista, Willian, Jane, Sílvia, Hélio e Reymar meu muito obrigado. Valeu todos integrantes da comunidade Jardim do Ouro.

Ao PRONEX/CNPq/UFGA (662103/1998) – Magmatismo, Evolução Crustal e Metalogênese da Província Mineral de Carajás e Províncias Adjacentes, coordenado pelo Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol, pelo apoio prestado.

Ao CNPQ, processo 505851/2004-0 (Edital CT-Mineral/MCT/CNPq no 027/2004) – Modelagem genética do depósito de Au-(Cu) do Palito e sua relação com as mineralizações do tipo pórfiro e epitermais associadas ao magmatismo ácido paleoproterozóico na Província Aurífera do Tapajós, coodenado pelo orientador deste Trabalho de Formatura, pelos recursos que apoiam esta pesquisa e pelo financiamento para continuidade dos trabalhos.

Obrigado aos grandes parceiros de cerveja (são muitos) sempre presentes nos melhores momentos da graduação. Valeu República PáNaPia, onde em meio a cães, gatos, peixes, pó e sujeira, é possível ainda desenvolvimento de brilhantes discussões e produções científicas.

Salve o espírito revolucionário e a coragem de homens que sobrepujam a medíocre visão da mesmice em um ímpeto de mudança no âmbito coletivo.

RESUMO

Este estudo foi realizado em cooperação com empresa SERABI Mineração Ltda e visou a caracterização da mineralização aurífera associada a sulfetos em veios de quartzo no antigo Garimpo do Palito, situada na Província Aurífera do Tapajós, SW do Estado do Pará.

Durante a pesquisa foram desenvolvidos estudos bibliográficos, trabalho de campo, estudos petrográficos, de química mineral em microsonda eletrônica, caracterização mineralógica por difração de raios X e separação de amostras de zircão para estudos geocronológicos.

Foram identificados quatro litotipos principais que relacionam-se com a mineralização, informalmente nomeados como: Granodiorito, Granito Rio Novo, Granito Palito (unidade mineralizada) e Pórfiro Granítico, respectivamente em ordem de idade relativa do mais velho para o mais novo.

O Granito Palito compõe um possível domo de pequenas dimensões, parcialmente erodido, encaixado no contato entre o Granodiorito e o Granito Rio Novo e são cortados por pequenos corpos de brecha hidrotermal e de pórfiros riolíticos. O Granito Rio Novo, por sua vez, constitui um corpo intrusivo no Granodiorito.

As fases hidrotermais tardi- e pós-magmáticas derivadas da cristalização do Granito Palito foram, aparentemente, responsáveis pelas alterações hidrotermais e pela mineralização de Au-Cu, mas estudos complementares são necessários para comprovação deste modelo. Se comprovado esta origem, este tipo de mineralização pode ser análogo aos tipo pórfiro, conferindo a região grande potencial para existência de depósitos de classe mundial.

A associação sulfetada típica dos minérios é composta por calcopirita + pirita \pm digenita \pm arsenopirita \pm calcosina \pm pirrotita. O ouro no minério do Palito, mesmo quando em altos teores, mais raramente ocorre como ouro nativo, o que sugere estar principalmente dissolvido nos sulfetos de cobre, em especial a calcopirita. Assim mesmo, algumas dezenas de micropepitas de ouro foram identificadas na calcopirita ou em associação com a arsenopirita.

As galerias subterrâneas de exploração desta mineração estendem-se na direção SE-NW acompanhando discreta zona de cisalhamento que aproveita planos mineralizados já existentes. Isto se faz evidente pelo nítido cisalhamento superimposto aos corpos sulfetados. Esta estrutura é interpretada como tardia a todos outros eventos magmáticos e tectônicos.

ABSTRACT

This work was developed with the cooperation of SERABI Mineração Ltda and the aim was to describe the gold mineralization associated with sulphides on quartz veins at the Garimpo Palito, in Província Aurífera do Tapajós, SW of Pará state.

It includes literature review, field work, petrographic studies, mineral chemistry at electron microprobe, rare minerals identification with X-ray diffraction technique and zircon samples selection to geochronological study.

The four main litotypes related with the mineralization are, temporally named as: Granodiorite, Rio Novo Granite, Palito Granite (mineralized unit) and Granitic porphyre, in order from older to younger.

The Palito Granite is a small domical body, partially eroded, intruded just between the Granodiorite and the Rio Novo Granite, furthermore it is intercepted by some small bodies (dykes) of hydrothermal breccia and rhyolitic porphyre. However, the Rio Novo Granite has the Granodiorite as the country rock.

The source of the Au-Cu mineralized veins seems to be the hydrothermal activity at the late- and post-magmatic phases of Palito Granite crystallization, but this model must be improved by further studies. If this idea is improved, this kind of mineralization might be analogous to the porphyry type, suggesting probable existence of world class deposits in the region.

The typical sulphide association at the mineralization is chalcopyrite + pyrite \pm digenite \pm arsenopyrite \pm chalcocite \pm pyrrhotite. The gold at the Palito mine, even on high rates, occurs rarely as native gold, suggesting that most of gold is dissolved into the copper sulphides, mainly into chalcopyrite. However, a plenty of microinclusions of gold were identified included into chalcopyrite or associated with arsenopyrite.

The exploitation galleries at the mine are oriented along SE–NW direction, parallel to the shear zone that affects the pre-existing mineralized veins. This chronological relation was clearly identified at the field work, using the sheared massive sulphides criteria. This structure is understood as the latest tectonic event or even later than any other magmatic event.

1 INTRODUÇÃO

A Província Aurífera do Tapajós (Silva, 1984) foi responsável por grande parte da produção de ouro do Brasil nas décadas de 70 e 80, tendo sido registrada oficialmente a lavra de mais de 225 ton de Au (Faraco *et al.*, 1996), ou mais que de 900 ton, segundo estimativas não oficiais (Santos *et al.*, 2001). A lavra do ouro deu-se exclusivamente em garimpos em aluviões e coluviões e resultaram na descoberta de inúmeros veios mineralizados, geralmente encaixados em zonas de cisalhamento.

Nas décadas de 80 e 90, uma série de trabalhos de prospecção mineral foram efetuados por diversas empresas de mineração, o que tem permitido o estabelecimento da gênese das mineralizações auríferas filonianas como sendo orogênicas mesotermiais em zonas de cisalhamento que cortam granitóides, epitermais associadas a rochas básicas intrusivas, hospedados em metassedimentos (a maioria em zonas de cisalhamento), em seqüências vulcano-sedimentares de rochas básicas, *intrusion-related gold systems* em rochas graníticas e epitermais em zonas de cisalhamento (Coutinho *et al.*, 1998; Almeida *et al.*, 2000; Bahia & Quadros, 2000; Ferreira *et al.*, 2000; Klein & Vasquez, 2000; Vasquez & Klein, 2000; Santos *et al.*, 2001). Em adição, estudos mais recentes tem indicado a existência de mineralizações auríferas e de metais de base epitermais *high-* e *low-sulfidation* hospedadas nas vulcânicas ácidas do Grupo Iriri e em granitos mesozonais da Suite Parauari, com evolução dos fluidos e alteração hidrotermal semelhantes às verificada em pórfiros (*porphyry type*) na Província Aurífera do Tapajós (Jacobi, 1999; Juliani *et al.*, 2000; 2002; 2004a; 2004b; no prelo; Juliani, 2002; Nunes, 2001; Corrêa-Silva, 2002).

Devido ao estreito relacionamento genético existente entre as mineralizações epitermais *high-* e *low-sulfidation* e os depósitos de Au, Cu-Au e Mo-Cu do tipo pórfiros, que ocorrem subjacentes às primeiras (Siltoe, 1973; Arribas Jr., 1995; Hedenquist *et al.*, 1998), a descoberta das mineralizações epitermais na Província Aurífera do Tapajós, as primeiras já descobertas no Brasil e as mais antigas já reconhecidas no mundo, favorece enormemente a possibilidade da ocorrência de depósitos do tipo pórfiro na Província Aurífera do Tapajós, em especial dos de Cu-Au. Esta descoberta expande o potencial mineral da região pois, comumente, depósitos auríferos de classe mundial são do tipo pórfiro.

Neste contexto, a caracterização da gênese da mineralização de filoniana Au-Cu do Palito, cujos dados preliminares indicam ser do tipo pórfiro, bem como o estudo da natureza, geocronologia e do ambiente tectônico das rochas graníticas a ela associada, constitui-se em uma excelente oportunidade para avaliação do modelo genético proposto para parte das mineralizações auríferas da Província Aurífera do Tapajós por Juliani *et al.* (no prelo; 2004a; 2004b), o que pode resultar, caso trate-se efetivamente de um pórfiro, na definição de um grande

potencial para ocorrência de grandes depósitos de Au de origem magmática-hidrotermal na Província.

2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é o entendimento da gênese da mineralização de ouro e cobre da Mina do Palito e do seu relacionamento com a granitogênese e com os sistemas hidrotermais magmáticos na Província Aurífera do Tapajós.

Para alcançar-se estes objetivos serão também necessários estudos geoquímicos, de isótopos estáveis e geocronológicos, em parte previstos na proposta inicial. Entretanto, especialmente em função da greve que afetou a USP, muitas das atividades não puderam ser completadas e outras, somente serão iniciadas no próximo ano, quando do desenvolvimento da dissertação de mestrado do autor deste trabalho, e do projeto de pesquisa aprovado junto ao Fundo Setorial de Mineração.

Desta forma, este trabalho de formatura foi focado nos estudos petrográficos e mineralógicos das rochas magmáticas, encaixantes, das zonas de alteração hidrotermal e do minério, visando a caracterização dos tipos e zonamentos da alteração hidrotermal e de seu relacionamento com as diversas rochas granitóides da área.

Como resultado dos trabalhos em campo, foi também elaborado um mapa geológico preliminar, que deverá ser detalhado nos estudos subsequentes.

3 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Mina do Palito (FOTO 1) insere-se na Província Aurífera do Tapajós, localizada no sudoeste do Estado do Pará, onde centenas de garimpo estão hoje abandonadas ou em baixa atividade. Esta mina, de propriedade da empresa SERABI Mineração Ltda é resultado das pesquisas geológicas feitas no Garimpo Palito, que detectaram uma série de veios de quartzo e sulfetados mineralizados em ouro e cobre encaixados em rochas graníticas.

O acesso à área pode ser feito por meio da rodovia Cuiabá-Santarém até cidade de Moraes Almeida e dali pela rodovia Transgarimpeira até a povoação de Jardim do Ouro, situada nas margens do rio Jamanxim (FIGURA 1). A área pode ser também alcançada por monomotores até Jardim do Ouro ou Novo Progresso, localizada na rodovia Cuiabá-Santarém). A partir de Jardim do Ouro o acesso até Mina do Palito é feito por uma estrada que inicia-se na rodovia Transgarimpeira.



FOTO 1 – Vista geral da área da Mina do Palito, onde podem ser observadas as pilhas de minério lavrados nas galerias subterrâneas, cujas entradas situam-se no sope da elevação, atrás das pilhas.

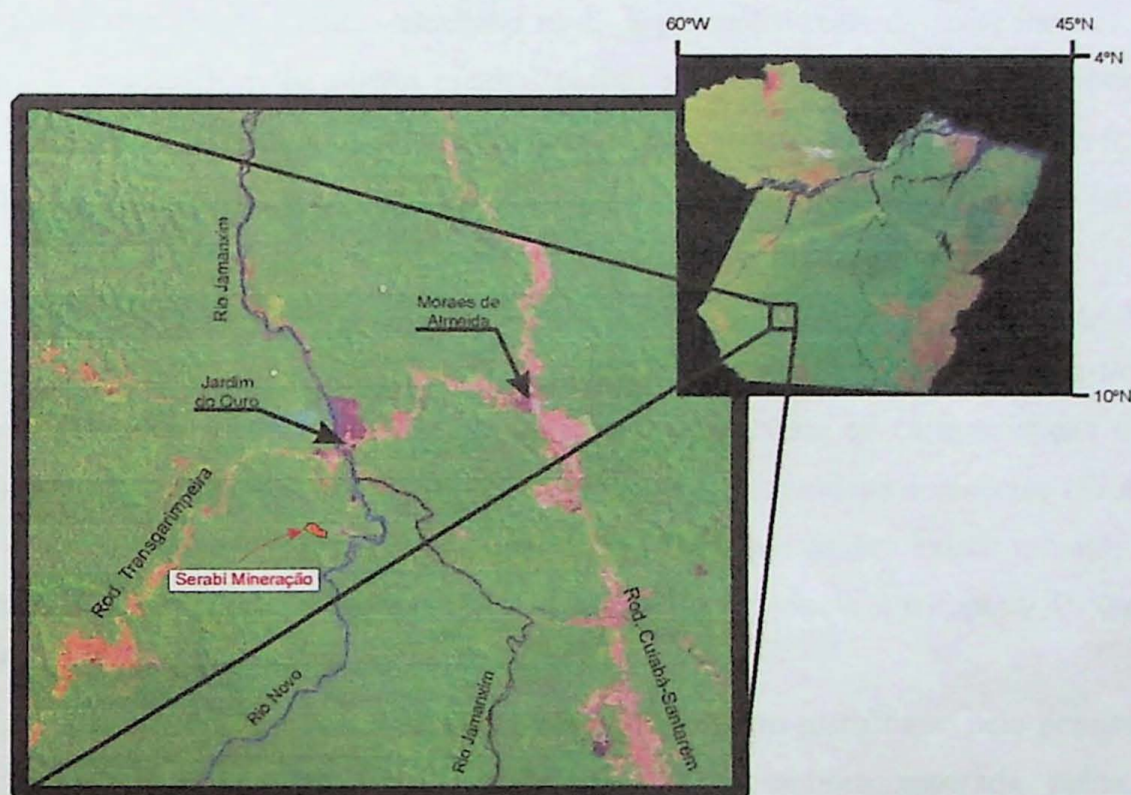


FIGURA 1 – Imagem de Satélite (Embrapa, 2004) com indicações das principais cidades, rios e rodovias da região da SERABI Mineração Ltda.

4 JUSTIFICATIVAS PARA A PESQUISA

A partir da década de 80 trabalhos de prospecção sistemáticos mineral foram desenvolvidos por empresas de mineração na Província Aurífera do Tapajós, mas somente em 2000 foram finalizados e divulgados o resultados do mapeamento geológico da Província Aurífera do Tapajós (PROMIN Tapajós) feito pelo Serviço Geológico do Brasil (Almeida *et al.*,

2000; Bahia & Quadros, 2000; Ferreira *et al.*, 2000; Klein & Vasquez, 2000; Vasquez & Klein, 2000). Concomitantemente a estes estudos, diversas pesquisas científicas tem contribuído significativamente para uma melhor compreensão da granitogênese e do vulcanismo paleoproterozóicos e da metalogênese do ouro na Província Aurífera do Tapajós, podendo ser destacados os trabalhos de Dall'Agnol *et al.* (1994; 1997; 1999; 2004), Lamarão *et al.* (1999; 2002), Juliani *et al.* (2001; no prelo) e Santos *et al.* (2001; 2002).

Os filões mineralizados em ouro e cobre da Mina do Palito estão hospedados em um granito vermelho fino semelhante aos granitos anorogênicos da Suite Maloquinha, incluídos nesta Suite por (Klein & Vasquez, 2000). Entretanto, os estudos em desenvolvimento indicam que a cor vermelha, não somente deste granito, como também do granito no qual ele foi introduzido, é devida a um metassomatismo potássico (*K-silicate metasomatism*), que ocorre de modo bastante generalizado na zona mineralizada. A esta alteração potássica seguiram-se alterações hidrotermais pervasivas e fissurais propilitica, sericitica, silicificação e, possivelmente argílica, com formas, cronologia e estilos semelhantes ao verificado no Granito Batalha, que é correlacionável aos granitos cálcio-alcálinos tardi- a pós-colisionais da Suite Parauri (Juliani *et al.*, 2002). O Granito Batalha possui mineralizações auríferas semelhantes e os tipos, estilos e fluidos da alteração hidrotermal são semelhantes às que ocorrem em depósitos do tipo pórfiro, muito embora sua cristalização profunda (~ 10 km) impossibilite sua classificação como um pórfiro.

A descoberta de mineralizações auríferas *high-sulfidation* (quartzo-alunita) (Juliani *et al.*, 2000; Nunes, 2001) e de Cu-Mo-(Au) *low-sulfidation* (adulária-sericitica) (Corrêa-Silva, 2002) associadas a granitos rasos da Suite Parauri, juntamente com as características do Granito Batalha indicam, em analogia ao verificado nos terrenos cenozóicos a recentes (Siltoe, 1973; Pirajno, 1992; Arribas Jr., 1995; Hedenquist *et al.*, 1998), que devem existir mineralizações do tipo pórfiro, especializadas em Au e em metais de base na Província Aurífera do Tapajós (Juliani *et al.*, 2001; 2004a; 2004b; no prelo).

Assim, o estudo da mineralização de Au-Cu do Palito justifica-se pela possibilidade de tratar-se de uma mineralização do tipo pórfiro que, embora esperada pelos modelos metalogenéticos citados, não foi ainda descrita na Província Aurífera do Tapajós. Caso o modelo venha a ser definitivamente comprovado, abrir-se-á um grande potencial metalogenético para a Província, face às dimensões comuns de depósitos do tipo pórfiro.

5 GEOLOGIA REGIONAL

A Província Aurífera do Tapajós insere-se no Cráton Amazônico (Almeida *et al.*, 1978) e situa-se no limite entre as províncias Ventuari-Tapajós (Tassinari & Macambira, 1999), ou

Tapajós-Parima (Santos *et al.*, 2000) e Amazônia Central (FIGURA 2). A sua porção oeste, onde distribui-se a maioria das mineralizações auríferas, foi gerada entre 2,10 e 1,87 Ga por orogenias oceano-continente e é composta por uma seqüência vulcanossedimentar de ~2,1 Ga (Grupo Jacareacanga) e dois arcos magmáticos continentais, representados pelo Complexo Cuiú-Cuiú (~2,01 Ga) e pela Suíte Intrusiva Parauari (~1,89 Ga), além dos arcos magmáticos da Suíte Creporizão (1,97–1,95 Ga) e do Tonalito Rio das Tropas (~1,90 Ga), como admitido por alguns autores (Santos *et al.*, 2000; 2001). As vulcânicas e vulcanoclásticas andesíticas, riodacíticas e riolíticas cálcio-alcálinas do Grupo Iriri (1,88 Ga) recobrem as rochas dos arcos e são invadidas pelos granitos anorogênicos Maloquinha (~1,87 Ga). Rochas sedimentares fluviais e marinhas paleoproterozóicas e intrusões máficas são também comuns.

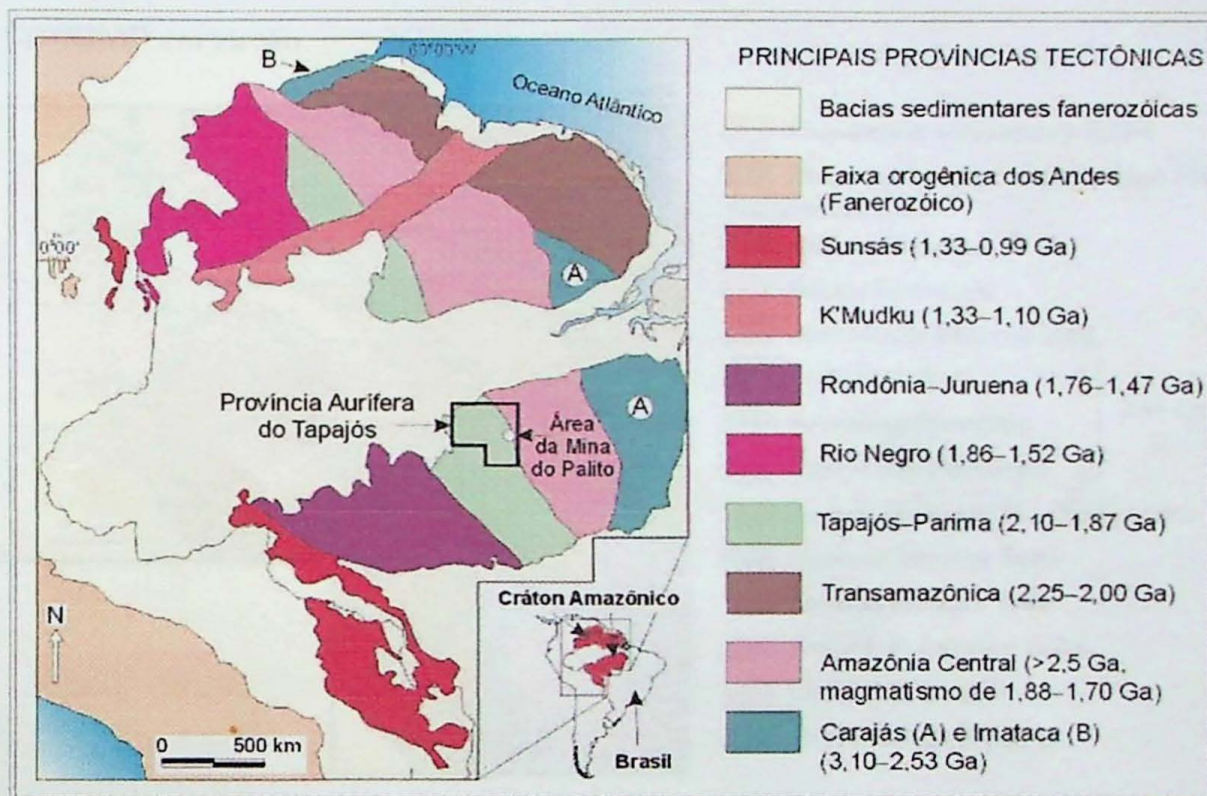


FIGURA 2 -. Principais unidades tectônicas do Cráton Amazônico, com a localização da Província Aurífera do Tapajós (segundo Juliani *et al.*, no prelo, modificado de Santos *et al.*, 2000).

As principais unidades geológicas que compõem a Província Aurífera do Tapajós, descritas a seguir, tem suas distribuições apresentadas na FIGURA 3. Nesta figura deve ainda ser notado que não foram feitas, por não haver descontinuidades ou variações litológicas, distinções entre as rochas que ocorrem nas províncias Tapajós-Parima e Amazônia Central.

5.1 Grupo Jacareacanga

O Grupo Jacareacanga é constituído predominantemente por micaxistos, quartzo micaxistos, actinolita xisto, talco xisto, quartzito, metachert, metargilito, metagrauvaca e filitos de baixo grau metamórfico (Ferreira *et al.*, 2000). Sua idade situa-se ao redor de 2,1 Ga, como

indicado pela datação U–Pb em zircão detrítico dos xistos (2.098 a 2.875 Ma) e pelas intrusivas graníticas do Complexo Cuiú-Cuiú, que tem idade ao redor de 2.005 Ma (Santos *et al.*, 1997; 2000; 2001).

5.2 Complexo Cuiú-Cuiú

O Complexo Cuiú-Cuiú (Almeida *et al.*, 1998) é composto por migmatitos, gnaisses, anfibolitos e granitóides metassomáticos. Estes litotipos são intrusivos ou encontram-se associados às rochas do Grupo Jacareacanga e apresentam grau metamórfico que pode chegar à fácies anfibolito. Santos *et al.* (2000) consideram estas rochas como representantes do arco magmático mais antigo da Província Tapajós–Parima, desenvolvido ao redor de 2.005 ± 7 Ma U–Pb SHRIMP em zircão.

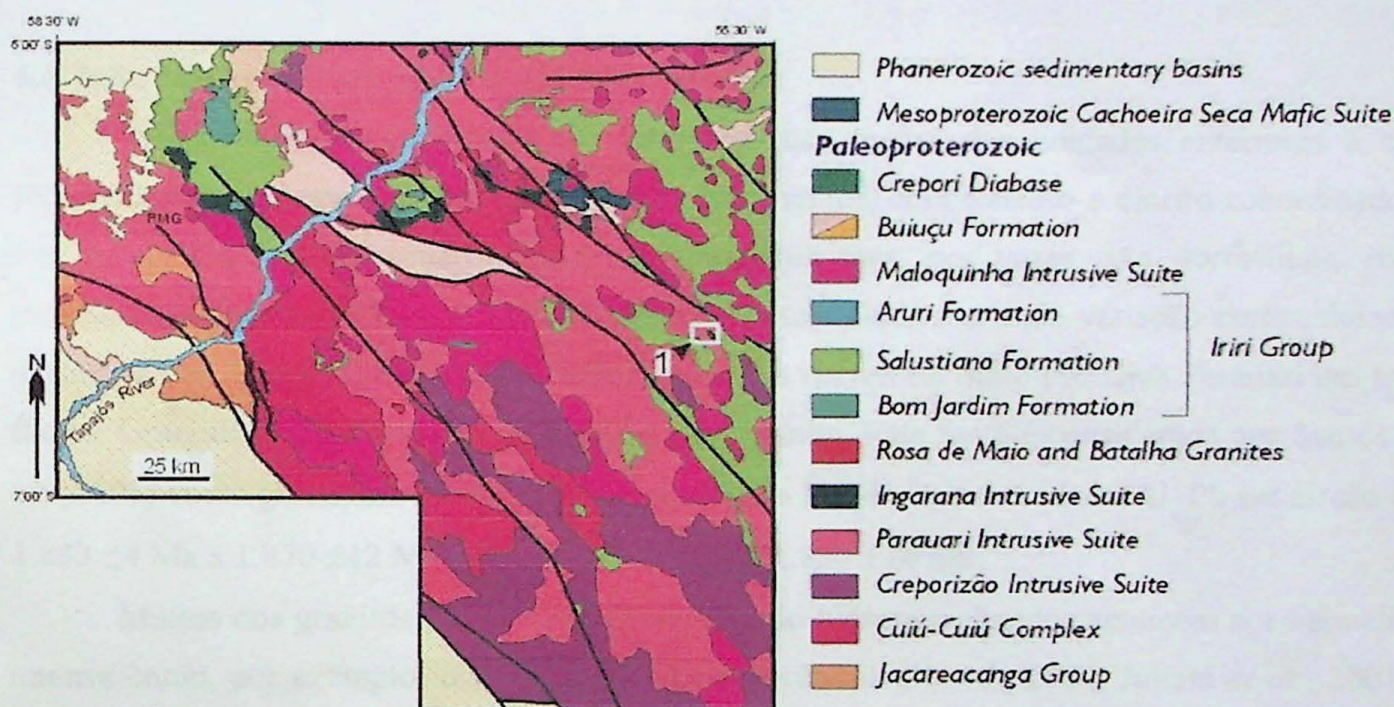


FIGURA 3. Mapa geológico da Província Aurífera do Tapajós (simplificado de Almeida *et al.*, 2000; Bahia & Quadros, 2000; Ferreira *et al.*, 2000; Klein & Vasquez, 2000; Vasquez & Klein, 2000; Santos, 2000). Os traços mais grossos representam as principais zonas de cisalhamento e o retângulo identificado com o número 1, a área da Mina do Palito.

5.3 Suite Intrusiva Creporizão

Esta unidade é composta predominantemente por sieno- e monzogranitos, com granodiorito, tonalito e quartzo monzodiorito subordinados (Ricci *et al.*, 1999; Lamarão *et al.*, 1999; Klein & Vasquez, 2000), com composições cálcio-alcálinas peraluminosas e metaluminosa, com idade de 1.974 ± 6 e 1.957 ± 6 Ma (Santos *et al.*, 2001). Vasquez & Klein (2000) interpretam que estas rochas são sin- a tardi-orogênicas e Santos *et al.* (2001) consideram esta Suite como parte do segundo arco magmático desenvolvido na Província Tapajós–Parima. Estas rochas podem estar metamorfisadas na fácies anfibolito inferior.

5.4 Formação Vila Riozinho

Esta sequência é composta por derrames de andesito basáltico, traquiandesito basáltico, traquito e riolito com idades de 1.998 ± 3 a 2.000 ± 4 Ma (Lamarão *et al.*, 2002). Estas rochas foram inicialmente consideradas como pertencentes ao Grupo Iriri, mas posteriormente foram separadas deste Grupo, pelos autores supracitados.

5.5 Tonalito Rio das Tropas

Esta unidade compõe o terceiro arco magmático desenvolvido na Província, segundo Santos *et al.* (2000), e é formada predominantemente por corpos de tonalito com xenólitos de basalto e de andesito. Associam-se a derrames de basalto e de andesito cálcio-alcálico com idade de 1.895 ± 7 Ma (Santos *et al.*, 2001).

5.6 Suíte Intrusiva Parauari

Os litotipos desta unidade são intrusivos nas rochas das unidades anteriores e são representados, em essência, por granitos e monzogranitos, com tonalito e diorito subordinados. Em geral têm cor cinza-claro e são equigranulares mas, por vezes, são porfiríticos, com megacristais de plagioclásio e, localmente, de quartzo. Dada a grande variação composicional destas rochas Almeida *et al.* (2000) subdividiram as rochas da Suíte Intrusiva Parauari em três fácies: Granodiorítica, Granítica e Granítica com titanita. Esta Suíte é considerada por Santos *et al.* (2001) como gerada no quarto arco magmático da Província e tem idades U–Pb em zircão de 1.883 ± 4 Ma a 1.870 ± 12 Ma e Pb–Pb em zircão de 1.880 ± 14 Ma.

Muitos dos granitos cinzas desta Suíte, quando hidrotermalizados assumem cor vermelha intensa como, por exemplo, o Granito Batalha (Corrêa-Silva *et al.*, 2000; Juliani *et al.*, 2001), semelhante à dos granitóides da Suíte Intrusiva Maloquinha.

Suas principais fácies são:

a) Fácies granítica

Esta fácies é representada por batólitos de biotita monzogranito, biotita-hornblenda granodiorito, hornblenda-biotita monzogranito, álcali-feldspato granito, sienogranito, tonalito, microtonalito e micromonzogranito granofírico cálcio-alcálicos (Almeida *et al.*, 2000). Estas rochas são leucocráticas, equigranulares e localmente porfiríticas.

b) Fácies granodiorítica

Esta fácies constitui corpos isolados inseridos nas áreas de afloramento das rochas da fácies granítica, as quais apresentam contatos, em geral, gradacionais. É constituída por biotita

granodiorito, clinopiroxênio-biotita-hornblenda granodiorito e biotita monzogranito (Almeida *et al.*, 2000).

c) Fácies granítica com titanita

Esta unidade compreende predominantemente corpos de biotita monzogranito, hornblenda-biotita monzogranito, granodiorito e sienogranito. São rochas, em essência, equigranulares leucocráticas e de cor rosa (Almeida *et al.*, 2000).

d) Granito Batalha

Este granito foi anteriormente considerado por Coutinho *et al.* (1996) como pertencente à Suíte Intrusiva Maloquinha, mas Juliani *et al.* (2001) e Juliani *et al.* (no prelo) o redefiniram como pertencente ao evento final do magmatismo Parauari e correlato ao Granito Rosa de Maio, que pertence à Fácies Granítica da Suíte. Santos *et al.*, (2000) obtiveram idade de U-Pb por SHRIMP em zircão de 1.883 ± 4 Ma em rochas próximas ao Granito Batalha.

O Granito Batalha aflora como *stocks* circulares a elípticos intrusivos nos granitóides da Suíte Intrusiva Parauari e é composto por hornblenda-biotita monzogranito leucocrático com variações para sienogranito, de cor variando de cinza nas porções sem alteração hidrotermal a vermelha nas porções mais intensamente hidrotermalizadas. Localmente, apresenta texturas rapakivi e granofíricas incipientes. Quimicamente é metaluminoso a peraluminoso, cálcio-alcalino a subalcalino e possui afinidade com granitos tardi- a pós-colisionais.

5.7 Suíte Intrusiva Ingarana

A Suíte Intrusiva Ingarana (Bahia & Quadros, 2000) compreende corpos de gabro e diabásio com tendências cálcio-alcálinas e médio a altos teores de potássio (Almeida *et al.*, 2000; Santos *et al.*, 2001). As rochas desta unidade são intrusivas nas rochas descritas anteriormente e são cortadas por subvulcânicas e plutônicas do Supergrupo Uatumã. Para estas rochas Santos *et al.* (2001) obtiveram idades U-Pb em zircão entre 1.879 ± 3 e 1.873 ± 10 Ma.

5.8 Supergrupo Uatumã

O Supergrupo Uatumã é uma das unidades mais discutidas no Cráton Amazônico, tanto quanto à sua extensão, estratigrafia e presença de vários eventos magmáticos de fontes diversas. Pessoa *et al.* (1977), Rambrag & Santos (1974), Silva *et al.* (1974) e Santos *et al.* (1975) foram responsáveis pela caracterização e individualização das unidades deste Grupo, considerado como formado em um grande evento vulcano-plutônico anorogênico que afetou todo o Cráton Amazônico. Melo *et al.* (1978, em Almeida *et al.*, 2000) elevaram a categoria do Grupo Uatumã

para Supergrupo, uma vez que o conjunto engloba suítes intrusivas e extrusivas heterogêneas. Assim, o Supergrupo Uatumã passou a ser considerado como composto pela Suíte Intrusiva Maloquinha e pelo Grupo Iriri, este subdividido nas formações Bom Jardim, Salustiano e Aruri.

Devido à composição química intermediária da Formação Bom Jardim, Almeida *et al.* (2000) propuseram que a mesma fosse excluída do Supergrupo Uatumã, mas Santos *et al.* (2000) e Juliani *et al.* (no prelo) a consideram como a unidade inferior do Grupo Iriri e geneticamente relacionada à evolução do arco magmático Parauari.

As principais características desta unidade são:

5.8.1 Grupo Iriri

O Grupo Iriri foi inicialmente denominado Formação Iriri por Forman *et al.* (1972) e, posteriormente, elevado à categoria de Grupo por Pessoa *et al.* (1977), que também o dividiu nas formações Aruri e Salustiano e em uma Sequência Híbrida, posteriormente incluída na Formação Aruri (Santos *et al.*, 2000), que compreende rochas vulcânicas ácidas e piroclásticas com tendências cálcio-alcálicas. A grande extensão do vulcanismo Iriri no Cráton Amazônico tem sido muito discutida. Trabalhos como o de Lamarão *et al.* (1999; 2002) indicam a existência de mais de um evento vulcânico na unidade atualmente denominada Grupo Iriri, e Juliani *et al.* (no prelo) definem o Grupo de Iriri como gerado em complexos de *ash-flow calderas* que alcançam mais de 50 km de comprimento. Estes complexos formaram-se em bacias de *back-arc* e, geneticamente, vinculam-se à colocação rasa de batólitos cálcio-alcálicos tardi- a pós-tectônicos da Suíte Parauari (Juliani *et al.*, 2000; 2002; no prelo).

As unidades de pré-caldeira são compostas por derrames de andesito, riolito e ignimbrito e as sin-caldeira por extensas e espessas camadas de tufos e ignimbritos. O vulcanismo pós-caldeira gerou vulcões compostos e domos de riolito e ignimbrito distribuídos ao redor e internamente às caldeiras. Tufos, arenitos epiclásticos e sedimentos lacustres formam os depósitos de intra-caldeira.

A intrusão de *stocks* granofíricos riodacíticos e diques de riolito e riodacito porfirítico tardios geraram sistemas epitermais *high-* e *low-sulfidation* nas crateras dos vulcões anelares.

a) Formação Bom Jardim

A Formação Bom Jardim (Almeida *et al.*, 2000) é composta por derrames de andesito, andesito basáltico, traquiandesito e latito, anteriormente incluídos na Formação Salustiano. Localmente apresentam textura porfirítica e amígdalas preenchidas por quartzo e carbonatos. Juliani *et al.* (no prelo) descrevem ainda hialoclastitos, hornblenda riodacitos e corpos de brechas hidrotermais em andesitos desta unidade. Quimicamente as rochas vulcânicas são cálcio-

alcalinas de alto potássio, com rochas básicas tholeiíticas metaluminosas.

b) Formação Salustiano

A Formação Salustiano (Pessoa *et al.*, 1977) é constituída por derrames de riolito, riodacito, dacito e latito, localmente porfíricos, e por ignimbritos e tufos diversos, de composições cálcio-alcalina de alto potássio (Bahia & Quadros, 2000). O conjunto é comumente cortado por granitos da Suíte Intrusiva Maloquinha e as rochas encontram-se localmente hidrotermalizadas em diferentes estilos, tipos e intensidades (Nunes *et al.*, 2000; Nunes, 2001; Corrêa-Silva *et al.*, 2001; Juliani *et al.*, 2001; no prelo). Santos *et al.* (2000) obteve idade de 1.870 ± 8 Ma (SHRIMP U–Pb em zircão) para os riolitos. Dall'Agnol *et al.* (1999) obteve idade de 1.888 ± 2 Ma através do método de evaporação Pb–Pb em zircão.

c) Formação Aruri

A Formação Aruri (Pessoa *et al.*, 1977) é constituída por rochas piroclásticas, incluindo tufos, ignimbritos e brechas vulcânicas, e epiclásticas, com tufitos e arenitos tufáceos. Bahia & Quadros (2000) atribuíram a gênese destas rochas ao caráter explosivo dos magmas ácidos da Formação Salustiano, que geraram grandes quantidades de material piroclástico, que seria em parte retrabalhado e depositado em ambiente subaquoso.

Esta unidade hospeda sistemas epitermais *high-sulfidation* (ou quartzo–alunita) mineralizado a ouro totalmente preservados (Juliani *et al.*, 2000; 2001; no prelo; Nunes *et al.*, 2000; 2001; Nunes, 2000). Corrêa-Silva *et al.* (2001) descreveram um sistema epitermal *low-sulfidation*, (ou adularia–sericita) mineralizado em cobre e molibdênio, com ouro subordinado, hospedado nesta unidade. A mineralização de ouro *high-sulfidation* ocorre em brechas hidrotermais e exibem um núcleo de sílica maciça envolvido por alteração argílica avançada com alunita, natroalunita, pirofilita, andalusita, diásporo, rutilo, caolinita–dickita, woodhouseita–svanbergite, pirita, calcopirita, bornita, covellita, enargita–luzonita e Au e Ag nativos. Esta zona de alteração é envolvida uma zona de alteração argílica, seguida por um halo externo propilitico. Um *silica cap* rico em hematita ocorre acima dos corpos de brecha hidrotermal e, em níveis profundos, predomina alteração sericítica. O contexto geológico da mineralização Cu–Mo–(Au) *low-sulfidation* é análogo ao da *high-sulfidation*, mas a alteração principal caracteriza-se pela presença de adularia e sericita.

d) Formação Moraes de Almeida

A Formação Moraes de Almeida é composta por derrames de ignimbritos, lápili-tufos, riolito e traquito alcalinos, de idade Pb–Pb em zircão de 1.875 ± 4 Ma (Lamarão *et al.*, 2002).

5.8.2 Suíte Intrusiva Maloquinha

A Suíte Intrusiva Maloquinha (Almeida *et al.*, 1977) ocorre como batólitos elípticos e circulares orientados segundo lineamentos regionais de direção NW-SE formados por granito alaskítico, biotita granito, anfibólio granito, granodiorito, granito sódico e granitos granofíricos. A distribuição destes granitos no Cráton Amazônico e sua gênese foram descritas por Bettencourt & Dall'Agnol (1987), Bettencourt *et al.* (1995) e Dall'Agnol *et al.* (1994; 1997; 1999).

Almeida *et al.*, (2000) distinguiu as fácies de biotita granito e de anfibólio-biotita granito na Suíte Intrusiva Maloquinha. Ambas são formadas por granitos subalcalinos a alcalinos, peraluminosos, com características químicas semelhantes aos granitóides do tipo A de Eby (1990). Frequentemente estas rochas apresentam texturas rapakivi (Brito *et al.*, 1997). Para estas rochas Santos *et al.* (2000) obtiveram idades ao redor de 1.870 Ma pelo método U–Pb em zircão.

Juliani *et al.* (no prelo) consideram que as vulcânicas fazem parte do conjunto tardi- a pós-colisional do evento magmático cálcio-alcalino Parauari, que muitas vezes tem suas rochas confundidas com as do evento anorogênico Maloquinha, em função das cores vermelhas intensas adquiridas pelo intenso metassomatismo potássico que, comumente, as afeta nos arredores das mineralizações epitermais *high-* e *low-sulfidation* e as do tipo pórfiro.

5.9 Lamprófiro Jamanxim

Estes lamprófiros constituem diques encaixados nas rochas do Grupo Iriri, das suítes Ingarana e Parauari. Para estas rochas Almeida *et al.* (1978) obtiveram idade K–Ar em rocha de 1.536 ± 31 Ma.

5.10 Formação Buiçu

A Formação Buiçu é constituída predominantemente por corpos de arenito e arenito arcoseano, além de conglomerado, siltito, argilito, tufos e tufitos com estratificação plano paralela, localmente cruzada e com marcas onduladas (Almeida *et al.*, 2000). A idade máxima desta unidade, e a das vulcânicas ácidas do Grupo Iriri, já que encontram-se seixos desta unidade em conglomerados e sua idade mínima é dada pela idade do Diabásio Crepori nela introduzidos.

5.11 Diabásio Crepori

Esta unidade (Santos & Loguércio, 1984), originalmente denominada como *Sill* Crepori por Pessoa *et al.* (1977), é composta por diques de direção predominante E–W e *sills* de diabásio, olivina diabásio e microgabro. Para estas rochas Santos *et al.* (2000) obtiveram idade

U–Pb SHRIMP em baddeleyita de 1.778 ± 9 Ma.

5.12 Suíte Intrusiva Cachoeira Seca

Esta suíte é formada por diques e derrames de olivina gabro, diorito, troctolito e diabásio troctolito com idade K–Ar em plagioclásio de 1.072 ± 18 Ma (Pessoa *et al.*, 1977).

5.13 Coberturas Fanerozóicas

Sedimentos clásticos, lateritas, alúvios e colúvios são englobados nesta unidade. Estas coberturas são importantes depósitos de ouro na Província Aurífera do Tapajós, notadamente os aluviões e coluviões, onde a atividade garimpeira foi responsável por grande parte da produção de ouro da região.

6 ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL

A seguir, é apresentada uma síntese sobre alteração hidrotermal.

Entende-se por alteração hidrotermal as transformações químicas, mineralógicas e texturais resultantes da interação de fluidos aquosos quentes (entre 50 a 500 °C), sob determinadas condições físico-químicas, com rochas nas quais percolam pervasivamente, ou em fissuras (Pirajno, 1992). Estas transformações podem ser classificadas, de maneira geral, em função do metassomatismo e de reações de troca de bases que dependem da atividade de álcalis e de hidrogênio no sistema.

6.1 Tipos de Alteração Hidrotermal

Os diferentes tipos de alteração hidrotermal são fruto das interações dos fluidos hidrotermais com a rocha sob diferentes condições de temperatura e razão a_K^+/a_H^+ (atividades de potássio e hidrogênio), sendo distinguidas as alterações potássica, sericítica (ou filica, termo este em desuso), propilítica, argílica e argílica avançada (FIGURA 4). Esta razão diminui com a evolução do sistema hidrotermal, acompanhada por queda na temperatura e pressão (Pirajno, 1992), mas variações importantes podem também ser devidas à composição e reatividade da rocha, tipo de estruturas percoladas, realimentações do sistema hidrotermal e mistura de fluidos. Outros tipos de alteração são também distinguidos, como pode ser visto a seguir.

6.1.1 Alteração alcalina (sódica e potássica)

Alteração de mais alta temperatura (800 a 600 °C) é bastante comum nos primeiros estágios pós-magmáticos e é causada pela interação dos fluidos residual da cristalização magmática com os minerais formados a partir do próprio magma, ou de rochas encaixantes. O

resultado desta interação são reações de trocas químicas e crescimento de novos minerais no estado *subsolidus*, incluindo troca de bases nos feldspatos, mudanças na estrutura cristalina, albitização e/ou microclinização e crescimento de micas tri-octaédricas (Pirajno, 1992).

A microclinização ou a albitização comumente resultam em núcleos de plagioclásio com borda de feldspato potássico e vice-versa, ou texturas de dissolução. O metassomatismo potássico usualmente é acompanhado pela cristalização de biotita hidrotermal e de quartzo e o metassomatismo sódico pode ser acompanhado por muscovitização da biotita ígnea.

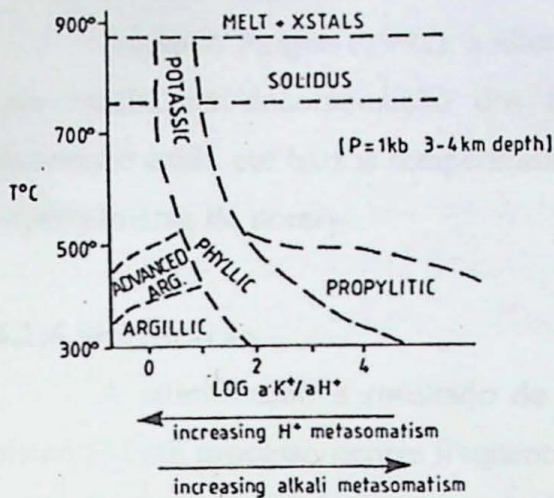


FIGURA 4 – Diagrama ds tipos de alteração hidrotermal em função da temperatura e atividades dos íons de H^+ e álcalis ($K^+ + Na^+$), segundo Pirajno (1992).

6.1.2 Alteração propilítica

A alteração propilítica é caracterizada pela adição de H_2O e CO_2 e, localmente, S no sistema. Sua mineralogia típica é dada por assembléias com epidoto, clorita e albita, além de carbonatos, feldspato potássico, pirita e sericita subordinados. Eventualmente apresenta também quartzo e finos cristais actinolita.

Esta alteração ocorre nas partes distais fonte de calor (da intrusão do magma) e mais profundas.

6.1.3 Alteração sericítica

A alteração sericítica, também chamada de filica, é caracterizada, em essência, pela cristalização de sericita e quartzo que são fases residuais de reações de desestabilização dos feldspatos, chegando algumas vezes a obliterar totalmente a mineralogia original da rocha. Neste tipo de alteração geralmente há mistura de fluidos ígneos com fluidos meteóricos.

6.1.4 Alteração argílica avançada

Este tipo de alteração é caracterizado pela cristalização da paragênese quartzo–alunita–pirofilita, produtos da lixiviação ácida causada por um fluido magmático oxidado e com alto

conteúdo de enxofre, com pouca mistura de fluidos meteóricos.

A alunita cristaliza-se comumente em veios como cristais grossos em paragênese com quartzo e pirita, ou exibe granulação fina, quando a rocha (geralmente riolito e tufos ácidos) é total- ou quase que totalmente substituída por fluidos percolados pervasivamente. A alunita tende a desaparecer em profundidade e com o aumento da distância em relação ao principal conduto hidrotermal, onde ocorre um núcleo de sílica, em detrimento ao aparecimento da pirofilita.

6.1.5 Alteração argílica

Segundo Pirajno (1992), a alteração argílica é uma fase tardia nos sistemas hidrotermais, que resulta da decomposição dos feldspatos para argilominerais, produzidos por intensa lixiviação ácida em baixas temperaturas (300 a 100 °C) e com baixa atividade de íons alcalinos, especialmente de potássio.

6.1.6 Silicificação

A silicificação é resultado de lixiviação ácida intensa e introdução de sílica livre no sistema. Este processo ocorre freqüentemente no centro de domos vulcânicos, nas brechas e nos tufos, mas pode atingir rochas plutônicas em porções rasas da crosta, onde forma típicas estruturas de *stockworks* que, comumente constituem as principais zonas de minérios nos pórfiros. As rochas silicificadas têm, muitas vezes, toda sua assembléia mineral e texturas obliteradas por quartzo microcristalino, podendo também conter hematita ± pirofilita ± alunita ± sulfetos e relíquias de feldspatos em sistemas epitermais *high-sulfidation*, ou até mesmo no topo de mineralizações do tipo pórfiro, onde comumente associa-se com a alteração sericítica ou potássica e é rica em sulfetos.

6.2 Estilos da Alteração Hidrotermal

Existe pouco consenso na definição dos estilos de alteração hidrotermal na literatura, reflexo dos diferentes critérios aplicados na descrição e classificação dos depósitos minerais.

Neste relatório serão utilizados os termos utilizados mais freqüentes em trabalhos recentes, onde o estado de preservação da rocha implica na denominação do estilo de alteração hidrotermal, quais sejam:

- **Fissural:** substituições ou preenchimentos em veios e/ou fraturas, com atuação em até alguns centímetros ao redor.
- **Pervasivo:** substituição total ou da maior parte dos minerais originais da rocha, resultando na obliteração parcial ou total das texturas originais.

- **Pervasivo seletivo:** caracterizado pela substituição de determinados minerais da rocha, como, por exemplo, a substituição de determinados megacristais, resultando em texturas pseudomórficas.

7 MINERALIZAÇÕES DO TIPO PÓRFIRO

Em processos geológicos de colocação de plútons rasos, fluidos tardi-magmáticos com grande quantidade de vapor exercem pressão suficiente para fraturar o próprio plúton e as rochas encaixantes, gerando circulação de fluidos pelos espaços abertos em sistemas que podem incluir também misturas com água meteórica. Os sistemas hidrotermais associados aos pórfiros estão intimamente ligados a mineralizações metálicas. Estes sistemas podem ser classificados em relação ao seu contexto geotectônico, do principal metal no minério, do padrão da alteração hidrotermal e da natureza de suas rochas encaixantes (Pirajno, 1992). Nestes sistemas hidrotermais, podem ocorrer três tipos distintos de mineralização: *stockwork* (sistemas de veios e vênulas), em determinadas zonas da alteração hidrotermal (sericítica, por exemplo) e diretamente relacionada com a intrusão (*intrusion related*).

A alteração hidrotermal no sistema pórfiro afeta grandes volumes de rocha do próprio plúton e da encaixante, em geometria elipsoidal concêntrica e os fluidos endógenos que circulam pelas zonas fraturadas das rochas podem ser misturados com águas meteóricas, devido à instalação de células de convecção. Os principais tipos de pórfiros podem ser observados na FIGURA 5.

As alterações hidrotermais associadas aos pórfiros foram sintetizadas por Lowell & Guilbert (1970, em Pirajno, 1992). Segundo este modelo (FIGURA 6), a primeira fase alteração hidrotermal é a alcalina (geralmente a potássica), que age dentro e fora do corpo pórfiro intrusivo, resultando em um halo que envolve e afeta o plúton e as rochas encaixantes, de modo semelhante ao verificado na Mina do Palito, como descrito adiante. A alteração propilitica ocorre mais externamente, é mais difusa e é caracterizada pela mineralização disseminada ou em vênulas de sulfetos. Em um estágio mais tardio, como resultado da interação dos fluidos ígneos com os meteóricos, ocorrem as alterações sericíticas e argílicas, que obliteram as alterações prévias e remobilizam a mineralização associada aos sulfetos.

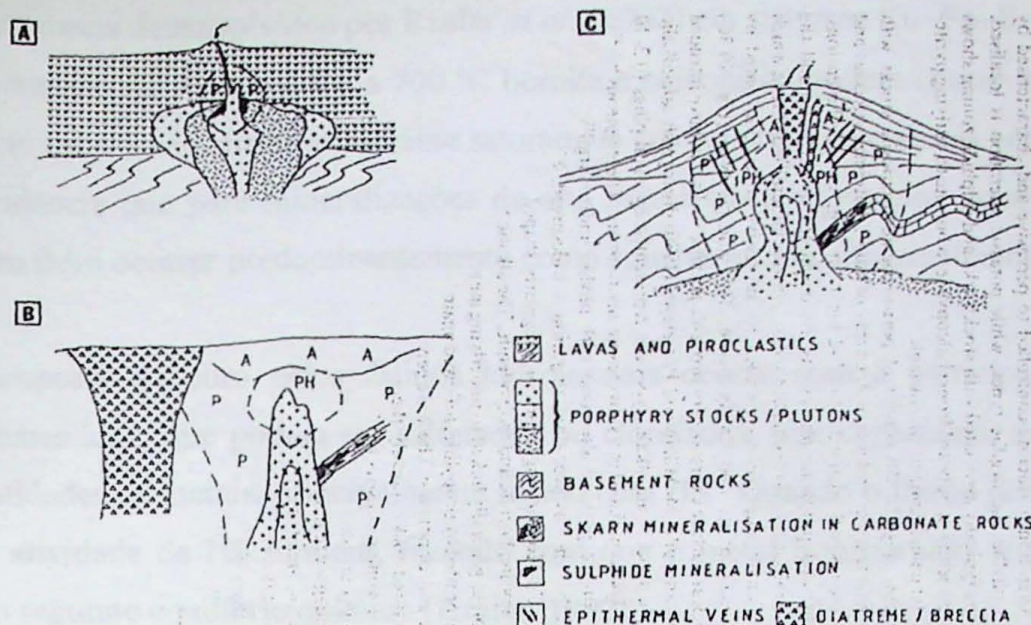


FIGURA 5 – Modelos de sistemas mineralizantes do tipo pórfiros (e mineralizações associadas), segundo Pirajno (1992). **A)** tipo plutônico, com o plúton consolidado entre 5 e 6 km de profundidade; **B)** tipo clássico, com o topo do *stock* do pórfiro intrusivo situado a 0,5 a 1,5 km de profundidade; **C)** tipo subvulcânico, com o topo do *stock* de pórfiro situado entre 3 e 4 km do topo do edifício vulcânico.

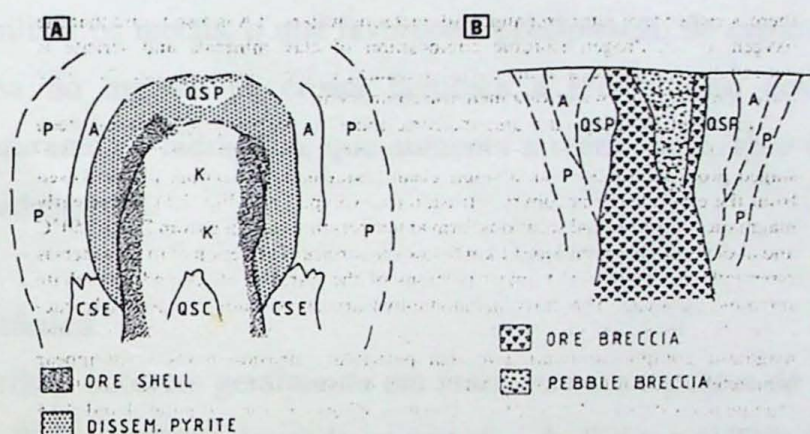


FIGURA 6 – Modelos de Lowell & Guibert (1970, em Pirajno, 1992) das zonas de alteração hidrotermal e das mineralizações do tipo pórfiro. **A)** sistema em quartzo monzonito pórfiro e **B)** sistema em pórfiros brechados. Alterações: **K** - potássica; **A** - argílica; **QSP** - sericítica (quartzo, sericita e pirita); **P** - propilítica; **CSE** - clorita-sericita-epidoto ± magnetita; **QSC** - quartzo-sericita-clorita ± feldspato potássico.

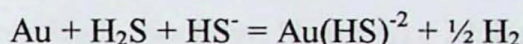
7.1 Ouro em Sistemas Pórfiro

7.1.1 Transporte e precipitação química

Depósitos do tipo cobre pórfiro constituem, em geral, as maiores reservas de ouro da crosta superior, além de serem importantes fontes em potencial para ouro de depósitos epitermais de mais baixa temperatura (Kesler et al., 2002). Nestes depósitos o ouro ocorre como solução sólida em sulfetos em Cu-Fe e Cu e como ouro nativo, associado ou não a um determinado mineral. Segundo estes autores a razão Cu/Au < 40000 tipicamente ocorre em depósitos pobres em Au que, freqüentemente, são ricos em Mo.

Experimentos desenvolvidos por Kesler *et al.* (2002) em sistemas Cu-Fe-S-Au mostram que em temperaturas na faixa de 600 a 700 °C bornita e calcopirita podem conter até 1000 ppm de ouro. Porém estas fases minerais somente saturam-se em Au em temperaturas entre 200 e 300 °C, o que evidencia que para mineralizações de alta temperatura, como nos depósitos do tipo pórfiro, o ouro deve ocorrer predominantemente como solução sólida, principalmente em bornita e calcopirita.

O transporte do ouro pelos fluidos hidrotermais ocorre com a participação de íons complexos. Estes íons, que podem ser sulfetados ou cloretados, têm capacidade de transportar grandes quantidades de metais, principalmente ligado com HS⁻. Quando o fluido perde H₂S o pH aumenta e a atividade de HS diminui, fazendo com que o metal transportado se precipite, de acordo com o seguinte equilíbrio químico (Pirajno 1992):



Quando o fluido mineralizante atinge ponto de ebulição, perde voláteis, o que reduz a sua capacidade de solubilizar os metais, o que favorece a precipitação de metais. Isto faz com que a colocação mais rasa do magma na crosta favoreça a precipitação dos metais pela maior possibilidade de fraturamento hidráulico, que aumenta a reatividade, abre espaços e pela perda de gases do fluido hidrotermal.

7.1.2 Ambiente tectônico

Sistemas pórfiros ocorrem geralmente em margens convergentes de placas tectônicas, ou relacionados à *rifts*. Pirajno (1992), baseado no trabalho de Sillitoe (1980) faz uma análise entre tipo de metal presente nos pórfiros e o ambiente tectônico de formação. Estes sistemas mineralizantes estão geralmente associados a intrusões de quartzo monzonito, granodiorito e diorito, ou a rochas cálcio-alcalinas mais diferenciadas.

Segundo Pirajno (1992), não consenso na comunidade científica em relação às causas que levam à formação de pórfiros com diferentes razões Cu/Mo ou Cu/Au. Entretanto, prevalece o conceito que atribui o conteúdo dos metais primariamente com o ambiente de geração d magma e a subseqüentes interações do magma com a crosta (FIGURA 7). Neste caso, a razão Cu/Mo diminuiria com o aumento da espessura da crosta siálica e, conseqüentemente, altas razões Cu/Mo ou altos teores de Au seriam concentrado em uma crosta oceânica. Alternativamente, Sillitoe (1986) propõe que a espessura da crosta não é responsável pelo conteúdo de metais nos pórfiros, que seria estabelecido pelo tipo de zona de subducção. Em ambas hipótese considera-se que a fonte dos metais é sempre a crosta oceânica subductada.

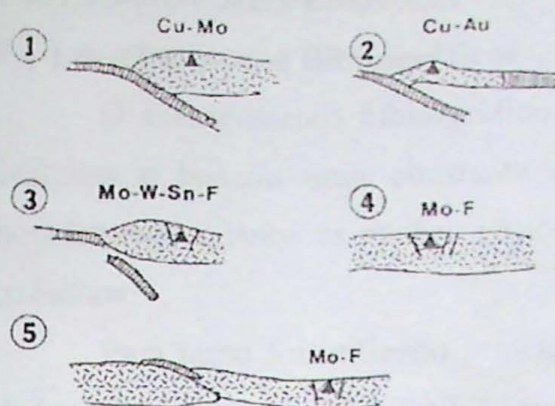


FIGURA 7 – Ambientes tectônicos de formação de sistemas pórfiros e seus metais predominantes. 1) subducção em margem continental do tipo andino; 2) subducção em arco de ilha; 3) *rift* de *back-arc*; 4) *rift* intra continental; 5) *rift* relacionado à orógeno colisional. Baseado em Sillitoe (1980, em Pirajno, 1992).

Quanto a distribuição no tempo geológico, os depósitos do tipo pórfiro mostram semelhança com os sistemas epitermais, sendo predominantemente terciários a mesozóicos. Entretanto depósitos de pórfiros cupríferos, embora raros, são também reconhecidos no Proterozóico, como por exemplo Haib (Southern Namibia) e Malanjand (India) (Porter, 2001) e 17 Mille Hill (Western Australia), ou até mesmo arqueanos, como Boddington (Australia) e Clark Lake e Troilus (Canada) (Rowins, 2000).

8 DIFICULDADES ENCONTRADAS NO DESENVOLVIMENTO DAS PESQUISAS

O arrocho no reajuste salarial de professores e funcionários, bem como a própria deterioração da estrutura das universidades públicas paulistas, desdobraram-se em greve geral de dois meses no ano de 2004. Durante este período de luta, funcionários, professores e estudantes, ficaram restritos às atividades de greve, deixando de lado pesquisas, laboratórios, bibliotecas e todas outras ações que participam do dia-a-dia da academia.

Com isso, o trabalho de campo desta pesquisa só teve condições de ocorrer no mês de julho. Após regresso a São Paulo, para o início dos trabalhos foi necessário aguardar o recebimento das amostras coletadas, despachadas por ônibus pela SERABI Mineração Ltda de Itaituba. Devido à distância, as amostras somente foram recebidas no final do mês de agosto.

A redução do tempo de execução dos trabalho resultou na impossibilidade de execução de diversas atividades previstas, em especial as laboratoriais. A geocronologia Pb-Pb e U-Pb em zircão, apesar das amostras já estarem preparadas, somente poderá ser feitas durante o desenvolvimento da dissertação de mestrado a ser realizada pelo autor deste trabalho. As análises geoquímicas de rochas foi também prejudicada pela greve e pela demora no recebimento das amostras. Esta parte do trabalho foi prioritariamente sacrificada, pois foram priorizadas as realizações das etapas de petrografia, microsonda eletrônica e DRX.

9 MÉTODOS DE PESQUISA

9.1 Levantamentos Bibliográficos

O levantamento bibliográfico foi realizado durante a maior parte de elaboração desta pesquisa e buscou uma constante atualização das informações geológicas sobre a região, notadamente quanto às rochas plutônicas, e das técnicas empregadas durante o decorrer dos trabalhos.

Para tanto foi utilizado principalmente o acervo da biblioteca do IGUSP e os bancos de dados eletrônicos na INTERNET, através de sistemas de buscas de dados disponibilizados pelo Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade de São Paulo (SIBi/USP), através do SiBiNET/Biblioteca Virtual.

9.2 Trabalhos de Campo

O trabalho de campo foi realizado com apoio da SERABI Mineração Ltda entre os dias 5 e 25 de julho. Partindo de São Paulo com destino à Belém e posteriormente Itaituba, ou a partir de Cuiabá, é possível hoje em dia chegar à Novo Progresso com aviões comerciais regulares. Em Novo Progresso uma caminhonete da empresa fez o transporte do trecho de aproximadamente 100 km até a área da Mineração.

Com base instalada na área da Mineração, foi feito, acompanhado pelo orientador deste trabalho, incursões a pé por trilhas de levantamento topográfico, drenagens (FOTO 2) e por mata virgem; de automóvel por estradas de madeiros ou de trânsito regular e de “voadeira” (pequeno bote de alumínio) pelos rios Jamanxim e Novo. Os afloramentos são mais abundantes em beira de rio, zonas mineradas e garimpadas ou em cortes de estrada. Os afloramentos em zonas de mata são bastante escassos.

9.3 Seleção e descrição de amostras

Foram selecionadas amostras representativas para caracterização petrográfica e química dos litotipos encontrados. Foi dada ênfase para amostras que contivessem os diferentes tipos de alteração hidrotermal, de preferência, relacionadas com o veio de quartzo mineralizado.

Os pontos de afloramentos foram praticamente todos amostrados, e têm suas descrições listadas em ANEXO I. Dessas amostras foram, via IGc-USP, confeccionadas cerca de 20 lâminas delgadas para a micropetrografia. O minério sulfetado foi amostrado em diversos pontos das galerias subterrâneas e confeccionadas 12 seções polidas para análise.

Além da amostragem em galerias e afloramentos, foram descritos e amostrados testemunhos de 54 furos de sondagens, o que perfaz cerca de 6 km linear de rocha. Destes foram

feitas cerca de 20 lâminas delgadas.



FOTO 2 – Foto ilustrativa das condições de acesso durante os levantamentos feitos ao longo de algumas drenagens. A foto mostra o autor deste trabalho tomando uma medida GPS em um pequeno igarapé.

9.4 Petrografia

As amostras foram descritas macroscópica- e microscopicamente segundo métodos tradicionais de petrografia em luz transmitida e refletida e fotografadas digitalmente para arquivo das informações.

Nestes estudos foram descritas a mineralogia, as estruturas e as texturas ígneas e da alteração hidrotermal e foram estabelecidas as relações cronológicas de cristalização dos minerais magmáticos e hidrotermais.

Nestes trabalhos foram constantemente utilizadas as obras de Deer *et al.* (1967), Bard (1986), Tröger (1979), Ixer (1990), Klein & Hurlbut (1993), MacKenzie & Adams (1994), Hibbard (1995) e Melgarejo (1997).

9.5 Geocronologia

Na proposta deste trabalho foi previsto que amostras de zircão separados nos laboratórios do IGc-USP seriam datados (Pb–Pb) pelo Prof. Macambira, em conjunto com o co-orientador desta pesquisa nos laboratórios da UFPa. Porém, contratempos devidos à greve bem como a demora no recebimento das amostras coletadas, inviabilizaram a ida do aluno para Belém. Com isso esta etapa limitou-se à separação os zircões dos principais litotipos que, juntamente com outras amostras, serão datadas futuramente. Para estas e outras atividades, já há recursos disponíveis com a aprovação de um projeto de pesquisa junto ao CT-Mineral no final de 2004.

Até este momento foram separadas no CPGeo do IGc-USP amostras de zircão de

testemunhos de sondagens representativos dos quatro litotipos principais, informalmente nomeados Granito Palito, Granito Rio Novo, Granodiorito e Pórfiro granítico.

Para estas separações foram primeiramente selecionados 0,5 m de testemunhos de cada litotipo, posteriormente cominuídos em britador da marca Cauê, modelo BM-120x80 de mandíbula de aço, e moídos em moinho de disco da marca RENARD, modelo MAS-200-N. Durante estes processos foram tomados todos os cuidados necessário com a limpeza dos aparelhos para não contaminação das amostras.

Em seguida os materiais foram peneirados para obtenção de uma amostras com granulação nas frações TYLER 150 a 260, o que representou cerca de 80% do total das amostras. O material peneirado foi separado em uma vibratória da marca Cauê, modelo MC-24x48, que resultou na redução da amostra para uma fração “pesada” com cerca de 10% do material. Em seguida foram utilizados líquidos densos (bromofórmio e iodeto de metileno) para separação da alíquota rica em zircão, por meio de um sistema de funis, borracha com presilha lacradora, filtro qualitativo de papel, Erlenmeyer e Becker. Com seguidas agitações o material mais denso que o bromofórmio ($2,81 \text{ g/cm}^3$) decantou no fundo. Repetindo-se o processo com o iodeto de metileno ($3,1 \text{ g/cm}^3$), quase todo quartzo, feldpato e outros minerais menos densos foram retirados da amostra, resultando em uma alíquota composta basicamente por minerais máficos, sulfetos e zircão.

Posteriormente foi utilizado separador magnético Frantz, da S.G. Frantz Co. Inc., produzido nos EUA. Inicialmente foi feita uma separação das frações magnética e não-magnética com uma corrente de 1 A. Ajustes finos com corrente 0,4 A foram realizados para otimizar a separação. Para a última etapa a assembléia mineral limitava-se quase que somente a zircões e sulfetos. Através de uma última catação manual, com utilização de uma lupa isolou-se quantidades suficientes de zircão para realização das datações Pb-Pb e U-Pb.

9.6 Difração de Raios X

As análises qualitativas de difração de raios X foram utilizadas para complementar a identificação petrográfica, especialmente para alguns minerais pouco comuns presentes nas rochas hidrotermalizadas. O difratômetro utilizado foi o SIEMENS D5000 do Laboratório de Difração de R-X do GMG-IGUSP. As análises foram realizadas utilizando-se ânodo de $\text{CuK}\alpha$ à tensão de 40 kV e corrente de 40 μA . Os intervalos de 2θ medidos, variaram de 3–65 2θ , com passo de 0,5 $2\theta/\text{s}$ /passo. As interpretações foram efetuadas pelo *software* DIFFRACAT PLUS, utilizando o banco de dados POWDER DIFFRACTION FILE, set1-45, de 1995.

9.7 Microsonda eletrônica

Algumas fases minerais ígneas e hidrotermais foram analisadas em microsonda eletrônica, para caracterização de suas composições químicas, eventuais zonamentos, substituições, etc.

Química mineral foi feita em microsonda eletrônica JEOL JXA 8600 Superprobe do GMG-IGUSP, com cinco espectrômetros com cristais TAP/STE, TAP/PET, LIF/PET, PET/LIF, automatizada com o sistema *Voyager 3.61* da *Noran Instruments*. As secções delgadas polidas foram metalizadas com película de carbono de aproximadamente 25 nm em evaporador *Auto 206* da *Edwards* no Laboratório de Preparação de Amostras do GMG-IGUSP.

As análises de fluorapofilita, sericita, biotita e anfibólio foram feitas com feixe de elétron com o diâmetro de 5 μ , corrente de $\sim 20,10 \pm 0,1$ nA e voltagem de 15kV. Para os feldspatos foi utilizado um diâmetro de feixe de 10 μ . Os erros totais máximos das análises variam entre 1 e 2% para elementos maiores, 5% para elementos menores e acima de 10% para elementos traço (< 1% em peso do elemento).

Para tratamento dos dados foi utilizado o *software* MINPET 2.02. Este programa calcula as fórmulas estruturais dos cristais analisados a partir dos dados em % em peso da microsonda. Os gráficos classificatórios, ternários para feldspato e binários para anfibólio, foram feitos com o mesmo *software*. Os resultados das análises químicas em anfibólio são classificados baseados na classificação desenvolvida por Leake 1997, e os do feldspato foram plotadas no consagrado diagrama albita-ortoclásio-anortita

9.8 Mapa e Perfil Geológicos

Os mapas geológicos (ANEXO II) e perfis foram elaborados a partir dos 73 afloramentos e dos 54 testemunhos estudados. Estes dados foram lançados sobre as bases topográficas do programa SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) da NASA, com resolução espacial de 90 m, uma vez que a base topográfica em 1:250.000 do não se mostra fiel à topografia. As localizações dos afloramentos e a litologia de cada ponto podem vistas no ANEXO III. A área de ocorrência do Granito Rio Novo foi delimitada no modelo digital de terreno gerado segundo os lineamentos circulares que controlam, inclusive a fluxo dos rios.

Visando um melhor entendimento da geometria de contato entre os 2 principais litotipos (Granito Palito e Rio Novo) utilizou-se os dados das 7 sondagens que o interceptaram. Foram utilizados os dados de orientação das sondagens (localização, inclinação e azimuth) e as descrições dos testemunhos para montagem uma tabela contendo 7 pontos X, Y e Z do contato para definição espacial da superfície do contato, conforme equações abaixo:

$DH = CC \cdot \cos(dip)$	$X = X1 + (DH \cdot \sin(Az))$
$Y = Y1 + (DH \cdot \cos(Az))$	$Z = Z1 - (CC \cdot \sin(dip))$

As variáveis da equação acima são: Az – Azimute da inclinação da sonda; Dip – inclinação da sondagem; X1 – UTM X do início da sondagem na superfície; Y1 – UTM Y do início da sondagem na superfície; Z1 – cota do início da sondagem; CC – comprimento do início da sondagem até o contato entre os granitos no testemunho; DH – diferença no posicionamento horizontal entre X1, Y1, Z1 e X, Y, Z.

Posteriormente estes 7 pontos foram interpolados através do método da mínima curvatura e o mapa com linhas de mesma profundidade no *software* Surfer 8.0 (ANEXO IV).

No modelo digital do terreno pode-se observar a forma do corpo intrusivo do Granito Rio Novo (ANEXO V) o que, juntamente com a gradação de suas rochas para subulcânicas no Rio Novo, a noroeste da Mina do Palito, sugere que o plúton pode representar as raízes de uma caldeira vulcânica.

Mapa dos grandes lineamentos da área é apresentado no ANEXO VI. Este mapa evidencia em lineamentos traçados na porção NE, a última fase de cisalhamento com direção NW. Assim como em afloramentos visitados ou nas galerias subterrâneas nos veios mineralizados, vê-se que este cisalhamento propagou-se em diferentes feixes de falha, cortando as outras estruturas presentes em movimentação dextrógiro.

10 RESULTADOS

Os principais resultados de pesquisa são apresentados a seguir:

10.1 Geologia da Área Mineralizada

Para o entendimento da gênese da mineralização foi necessário primeiramente entender-se as relações geométricas e a cronologia relativa existente entre os principais litotipos. Desta maneira este tópico apresenta as observações feitas sobre as principais unidades litotípicas da área, cujo mapa e perfil geológicos são apresentados no ANEXO II.

a) Granito Palito

O nome Palito é informalmente usado nesta pesquisa para designar o granito que hospeda os principais dos veios de quartzo e sulfetados mineralizados. Sua área de afloramento mostra-se bastante restrita, limitando-se às cercanias da cava do antigo garimpo. O granito apresenta-se sempre com cor vermelha intensa (FOTOS 3 e 4), devida ao forte metassomatismo potássico que o afetou. A rocha tem granulação média e é inequigranular, mas apresenta variações locais para tipos levemente porfiríticos ou mais finos, especialmente nas proximidades do contato com o granito encaixante, sugerindo ser a redução da granulação um efeito de resfriamento nas bordas da intrusão. Seu índice de cor é muito baixo e é dado pela presença de biotita fina. Não raramente apresentam tendência de formação de quartzo bipiramidado, cavidades miarolíticas e

texturas granofíricas pouco desenvolvidas.

Em uma zona lavrada na superfície, no topo da elevação sobre a embocadura das galerias, o granito mostra-se muito hidrotermalizado e está parcialmente intemperizado, o que ressalta estruturas que sugerem fluxo magmático, com movimentação do magma do topo para a base da elevação. Estas estruturas parecem ser indicativas da proximidade da cúpula da intrusão, que pode então constitui um domo consolidado em níveis crustais relativamente rasos.

Pequenos diques de diabásio, pequenos veios brechas hidrotermais são também comuns nesta unidade, especialmente nas zonas mineralizadas e veios e pequenos diques de aplito, do pórfiro granítico e de andesito estão também presentes, principalmente nas zonas de contato com outras unidades.



FOTO 3 – Aspecto macroscópico do granito fino vermelho, a principal rocha hospedeira das mineralizações auríferas da Mina do Palito, cortado por veios com alteração propilítica e veios de quartzo cisalhados.

Usualmente o granito encontra-se variavelmente afetado por falhas rúpteis, chegando a configurar zonas que assemelham-se a brechas com fragmentos tabulares angulosos (FOTO 5). Comumente, nestas falhas observa-se um cloritização não muito intensa, silicificação fraca e carbonatos e fluorita abundantes

O metassomatismo potássico é muito semelhante ao verificado no Granito Batalha (Juliani *et al.*, 2002) e, comumente, há sobreposição de alteração propilítica pervasiva ou fissural, sericitização, especialmente em fissuras, silicificação e, possivelmente, argilização. Zonas de brechas hidrotermais estão comumente mais intensamente hidrotermalizadas.

Fraturnas com preenchimentos de pirita são frequentes, assim como aquelas ligadas ao hidrotermalismo propilítico, com carbonato, às vezes com calcita placóide e clorita. Porém nesta rocha o hidrotermalismo propilítico é sempre subordinado ao potássico.



FOTO 4 – Aspecto macroscópico dos granitos Palito (superior) e Rio Novo (inferior) em testemunhos de sondagens.

b) Granito Rio Novo

Este granito, que aflora desde a área da mina até a região do Rio Novo, é a rocha encaixante do Granito Palito (ANEXOS II e VI). Xenólitos de granodiorito foram encontrados no Granito Rio Novo, indicando, caso se trate de uma única unidade de granodiorito, ser o Granito Rio Novo intrusivo na unidade Granodiorito, o que também é indicado pela análise de imagens de satélite. Entretanto, a presença de fácies subvulcânicas do mesmo granito, como nos afloramentos 68 e 69, sugerem tratar-se de um corpo composto por várias intrusões de magmas em níveis crustais cada vez mais rasos.

A rocha que o compõe é um granito porfíritico de granulação média, às vezes um pouco mais grossa ou mais fina, de cor variando de rosa-avermelhado, rosa-alaranjado (FOTOS 4 e 6), vermelho ou vermelho-esverdeado, em função da alteração hidrotermal. Os megacristais geralmente são de feldspato potássico, mas também ocorrem cristais de plagioclásio zonados. A matriz usualmente é fina, mas pode chegar a quase afanítica e possui biotita e anfibólio, este por vezes alcançando até 3 mm de comprimento. São também comuns texturas granofíricas e cavidades miarolíticas pouco desenvolvidas, bem como zonas silicificadas, fraturadas, brechadas e mais intensamente hidrotermalizadas, com freqüente propilitização, o que confere à rocha tons mais acinzentados ou esverdeados.

Especialmente nas proximidades do contato com o Granito Palito, exhibe cor vermelha, devido ao metassomatismo potássico. A análise dos afloramentos e dos testemunhos de sondagem indica uma redução da intensidade da alteração hidrotermal e da dimensão dos veios mineralizados do Granito Palito para o Granito Rio Novo, que o encaixa e, nas porções mais distais a alteração potássica é localizada e fissural e está sobreposta a uma zona de alteração

propilítica predominantemente pervasiva, o que sugere que as alterações hidrotermais foram causadas pela intrusão do Granito Palito (e, eventualmente, dos pórfiros mais tardios que cortam o Granito Palito), o que resultaria no halo externo propilítico. Verifica-se também a presença de alteração propilítica fissural tardia, representativa da fase de resfriamento do sistema hidrotermal.



FOTO 5 – Zona de cisalhamento no Granito Palito, responsável pela deformação dos veios mineralizados. A deformação concentra-se nos veios de alteração propilítica (porções verde-escuras), resultando em uma estrutura brechada com fragmentos tabulares angulosos.



FOTO 6 – Aspecto macroscópico do Granito Rio Novo, encaixante do Granito Palito.

Zonas intensamente fraturadas por falhas rúpteis são também comuns nestas rochas, comumente com brechas associadas e veios com carbonatos e fluorita.

A presença de riolitos e ignimbritos no Rio Novo, a oeste da Mina do Palito, e na rodovia Transgarimpeira, a norte, pode, face à presença dos pórfiros do Granito Rio Novo, sugerir que o magmatismo que gerou o plúton Rio Novo pode ter sido responsável pela formação das vulcânicas, o que poderia constituir um complexo vulcano-plutônico relativamente raso, associados a estrato-vulcões ou caldeiras de cinzas vulcânicas.

As características macroscópicas e petrográficas destas rochas não são indicativas de afinidades com os granitos alcalinos da Suite Maloquinha, assemelhando-se mais aos granitos tardios da Suite Parauari, mas este tema somente poderá ser solucionado com o desenvolvimento dos estudos geoquímicos previstos.

c) Granodiorito

O granodiorito que ocorre nas porções mais a norte e noroeste da Mina (ANEXO II), aparenta ser a unidade onde foi introduzido o Granito Rio Novo. Nesta área os afloramentos são bastante escassos, o que impossibilitou uma melhor amostragem da unidade.

O Granito Palito ocorre na zona de contato norte entre o Granito Rio Novo e o Granodiorito, sugerindo que os magmas graníticos mais tardios do evento Rio Novo formaram domos nas zonas de descontinuidade, gerando o Granito Palito.

A rocha tem granulação média a grossa, é inequigranular a levemente porfirítica e pode apresentar até 15 a 20% de minerais máficos, principalmente anfibólio e óxidos, especialmente magnetita. Sua cor varia de cinza a cinza-esverdeado e os cristais mais grossos são de plagioclásio intensamente zonados. Possíveis variações composicionais para tonalito e monzodiorito foram também observadas macroscopicamente. Em alguns afloramentos o granodiorito mostra-se muito enriquecido em magnetita, que desaparece quando as rochas foram afetadas pelo metassomatismo potássico causado, provavelmente, tanto pela intrusão do Granito Rio Novo como do Granito Palito. Quando metassomatizadas estas rochas adquirem tons avermelhados e tornam-se semelhantes ao Granito Palito, dois quais podem ser facilmente distinguidos pelo maior índice de cor e pelos teores relativamente baixos de quartzo.

Em pequenas áreas circulares (poucas dezenas de metros de diâmetro) em superfície afloram blocos de magnetita granito grosso, levemente silicificado, com feldspato róseo e cristais de anfibólio com até 1 cm de comprimento, com calcopirita e pirita fina em pequenas quantidades. Estas ocorrências sugerem a existência de diferenciados mais ácidos do granodiorito. Tanto o granodiorito como o magnetita granito podem, neste contexto, serem responsáveis por algumas das anomalias magnéticas reconhecidas em levantamento aéreo feito

pela empresa.

Não raramente são encontrados pequenos diques de pórfiros, aparentemente de granodiorito, nesta unidade, bem como diques de aplito.

As alterações hidrotermais, bastante comuns nos granitos, são pouco intensos nesta rocha e nota-se ainda que os veios mineralizados, encaixados segundo a orientação geral NW-SE no Granito, não invadem significativamente o granodiorito encaixante. Este fato, sugere que há algum deslocamento maior por falhas no contato noroeste entre o Granito Palito e o Granodiorito, ou que as falhas com orientação NW-SE não foram as responsáveis pela canalização dos fluidos hidrotermais mineralizados em cobre e ouro.

O conjunto ds características macroscópicas destas rocha permite inferir, preliminarmente, que as mesmas fazem da Suite Parauari.

d) Pórfiro granítico

Esta rocha subvulcânica foi reconhecida em testemunhos de sondagem como diques cortando os granitos Palito e Rio Novo, ou encaixado preferencialmente no contato entre as unidades de rochas ígneas. Os diques são, localmente alcançam até 30 m de espessura mas, em geral são relativamente delgados, raramente ultrapassando 0,5 m de espessura.

São rochas de cor rosa-acinzentada ou acastanhada, porfiríticas, com matriz muito fina a afanítica e composição (FOTO 7), em essência, granítica. Cavidades miarolíticas são comuns, bem como pequenas concentrações de minerais máficos e sulfetos.



FOTO 7 – Aspecto macroscópico do pórfiro granítico, parcialmente propilitizado.

Claramente há alterações hidrotermais produzidas por estas intrusões, incluindo

metassomatismo potássico, propilitização, sericitização e sulfetação. Esta alteração afeta rochas já hidrotermalizadas do Granito Palito, o que indica uma colocação relativamente tardia do pórfiros, e próprio pórfiro.

Pórfiros riolíticos e riodacíticos são também observados como intrusões tardias nas mineralizações *high-* e *low-sulfidation* (Juliani *et al*, no prelo; Corrêa-Silva, 2002) responsáveis por alterações hidrotermais e mineralizações em Cu–Mo–Au, o que sugere semelhanças entre os sistemas epitermais e mesotermiais na Província Aurífera do Tapajós.

e) Pórfiro Rio Novo

Esta variedade porfirítica de matriz muito fina do Granito Rio Novo aflora na Rio Novo, à SE da localização da Mina do Palito. É importante ressaltar também que esta rocha subvulcânica aflora na borda de estrutura circular interpretada como fruto da erosão do plúton Rio Novo.

São rochas de cor rosa-alaranjada, às vezes mais avermelhadas ou vermelho-acastanhado, com matriz muito fina a afanítica, com megacristais com ~ 0,6 cm de comprimento de feldspato potássico e quartzo bipiramidado. Sua composição é sempre riolítica e três subtipos podem ser distinguidos: um deles é maciço e tem granulação um pouco mais grossa; o outro é mais fino, friável e tem aspecto brechado; e o terceiro constitui pequenos diques de pórfiro de granulação ainda mais fina. No leito do rio o intemperismo resalta, devido à erosão mais intensa dos pórfiros “brechados”, estruturas elípticas com formas de cálice, o que sugere serem condutos magmáticos do tipo cone-em-cone.

Em alguns afloramentos, a rocha aparenta ser riolitos, provavelmente subvulcânicos, mas podem também ser restos de rochas vulcânicas incorporadas na unidade.

Nota-se, de modo geral, que os pórfiros são, relativamente às rochas anteriores, menos afetados pelo fraturamento causado pelas falhas rúpteis.

f) Gabro

Esta unidade litológica aflora como blocos em drenagem e no solo nas porções mais a NW da área da mineração, mas sua forma de dique é facilmente identificável pela ocorrência de faixas de solo vermelho argiloso em meio à área de afloramento do Granodiorito. Existe outro corpo gabróide que aflora mais a norte da Mineração Serabi na estrada para o Jardim do Ouro. Esta rocha é interpretada no mapeamento 1:250.000 do Projeto Especial Província Mineral do Tapajós da CPRM como uma unidade a parte, o Olivina-Gabro Rio Novo.

O gabro constitui diques espessos ou delgados, comumente brechados, com xenólitos de granodiorito potassificado e, possivelmente, do Granito Palito, feições estas que sugerem ser a

intrusão máfica o evento magmático mais tardio. Entretanto, o gabro mostra-se também afetado por metassomatismo potássico e é cortado por veios e diques de pórfiros riolítico marrom, o que indica uma colocação posterior ao Granito Palito mas anterior aos pórfiros riolíticos verificados nos testemunhos de sondagem, aos quais associam-se alterações. Comumente o gabro possui magnetita como um componente subordinado ou importante.

g) Ignimbrito

Esta rocha ocorre em dois pontos distintos na área mapeada, ambas na rodovia Transgarimpeira. No afloramento mais expressivo (extremo SW da área mapeada) ocorre em lajedo ao lado da estrada. É evidente neste ponto sua estrutura finamente laminada truncada por estruturas mais espaçadas e verticais, ambas suavemente dobradas. São comuns nódulos de sílica, estruturas de queda de fragmentos líticos ou de cristal finos, microlaminações cruzadas, granodecrescência e marcas onduladas, indicando deposição relativamente distal de cinzas vulcânicas.

Esta ocorrência pode ser significativa para a modelagem do ambiente geológico e tectônico, uma vez que os depósitos do tipo pórfiro usualmente situam-se sobre estrato-vulcões ou associados a caldeiras de cinzas vulcânicas, sob as mineralizações epitermais, como as descritas por Juliani *et al.* (no prelo) nas mineralizações *high-sulfidation* e por Corrêa-Silva (2002) nas mineralizações *low-sulfidation* da Província Aurífera do Tapajós.

10.2 Geologia Estrutural

A abordagem da análise estrutural durante os levantamentos em campo foi feita inicialmente para separação das famílias de juntas. Porém, com o tempo, percebeu-se que os fraturamentos rúpteis não tinham relações de paralelismo entre si (FIGURA 8 e 9), exceto onde ocorrem feixes de zona de cisalhamento, como exemplificado na FOTO 10, onde o cisalhamento NW define um padrão de Riedel. Isto sugere, em princípio, que na área pode predominar um padrão radiado de fraturamento, que pode ser relacionado à pressão gerada por intrusões de magmas e alívio de tensões.

Nas galerias subterrâneas da Mina do Palito são comuns fraturas e brechamentos paralelas aos veios mineralizados de direção NW (FOTO 5), bem como falhas com indicação de estrias de atrito e indicadores cinemáticos dados por mineral formado concomitantemente ao falhamento ou *slickensides*, que não evidenciam tratar-se de falhamentos gerados num mesmo evento com uma mesma conformidade de tensões (FIGURA 6). Porém é nítido no estereograma abaixo o predomínio de falhamentos transcorrentes e, em segundo lugar movimentação inversa. Estes falhamentos afetam os minerais produzidos pela alteração hidrotermal e os veios

mineralizados, estirando-os e segmentando-os. Assim, à luz dos conhecimentos atuais, as alterações hidrotermais e as mineralizações não podem ser associadas ao desenvolvimento de zonas de cisalhamento, mas foram afetadas por cisalhamentos posteriores, provavelmente concentrando a deformação ao longo de veios pré-existentes, em função da presença de clorita e sericita. Por outro lado, o paralelismo das estruturas rúpteis que condicionam a mineralização é sugestivo de que as rochas sofreram algum tipo de deformação antes ou durante a mineralização, o que não é incomum em mineralizações do tipo pórfiro. Entretanto a típica estrutura das zonas mineralizadas são *stockworks*, tal qual observado na entrada da Mina do Palito (FOTO 11), onde as mineralizações são de baixo teor. Por fim, nota-se também um sistema de falhamentos NE-SW, que trunca os corpos mineralizados. Este mesmo sistema foi observado em afloramentos no Rio Novo truncando pequenas zonas de cisalhamento de direção NW-SE, semelhantes às observadas nos veios mineralizados.

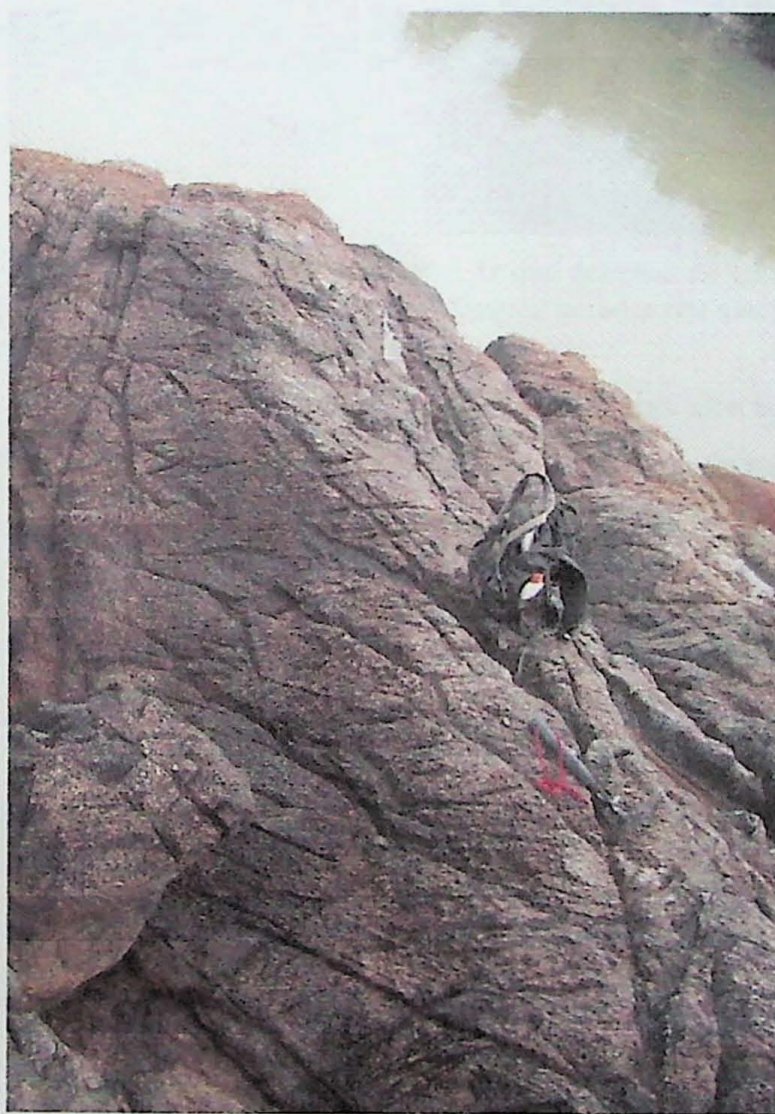


FOTO 10 - Afloramento do Granito Rio Novo em ilha no Rio Novo, evidenciando feixe de zona de cisalhamento com fraturamento segundo sistema de Riedel, mas sem alterações hidrotermais expressivas.



FOTO 11 – Aspecto dos *stockworks* que ocorrem na entrada da Minas do Palito, com vênulas ricas em argilo minerais e quartzo, provavelmente geradas por alteração hidrotermal argílica.

De modo geral, não foram observadas alterações hidrotermais expressivas em qualquer sistema de fraturamento, especialmente o metassomatismo potássico, a propilitização e a sericitização. Quando presente, nota-se predominantemente uma fraca cloritização, silicificação e sulfetização.

No afloramento 60 foi identificada uma dobra suave no ignimbrito, com eixo N88/10NE, cujo esterograma é mostrado na FIGURA 11.

As dezenas de indicadores cinemáticos do feixe de cisalhamento NW (pequenos rejeitos ou formas sigmoidais) encontrados nas galerias subterrâneas da mina indicam, em sua maioria, movimentação dextrógira (FOTO 12).

10.3 Petrografia

Para otimizar a organização das descrições petrográficas este tópico foi dividido em itens relativos aos principais litotipos encontrados na área. Na descrição dessas unidades tentou-se sempre descrever a amostra mais fresca, menos afetada pela alteração hidrotermal.

a) Granito Palito

Não foi possível encontrar-se, até o momento, afloramentos deste litotipo pouco ou não afetados pela alteração hidrotermal. A rocha hidrotermalizada apresenta, macroscopicamente, estrutura maciça, cor vermelha e textura fanerítica equigranular fina a média. Entretanto, ao microscópio, nota-se uma textura inequigranular seriada. Seu índice de cor (IC) situa-se ao redor de 5 e sua cor vermelha é devida ao metassomatismo potássico, responsável pela oxidação do Fe^{2+} presente nos feldspatos, resultando na cristalização de finíssimos cristais de hematita, tal como observado por Boone (1969) nos feldspatos hidrotermais em depósitos do tipo pórfiro nos EUA.

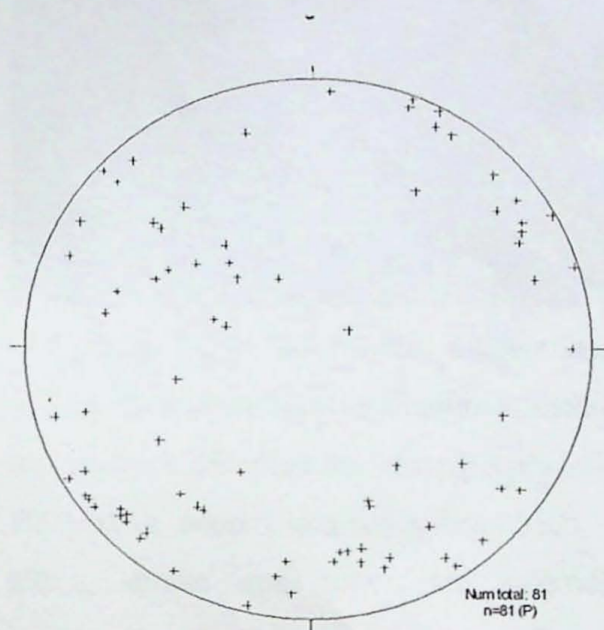


FIGURA 8 - Pólos de planos de fraturamento rúptil, mostrando grande dispersão dos pontos.

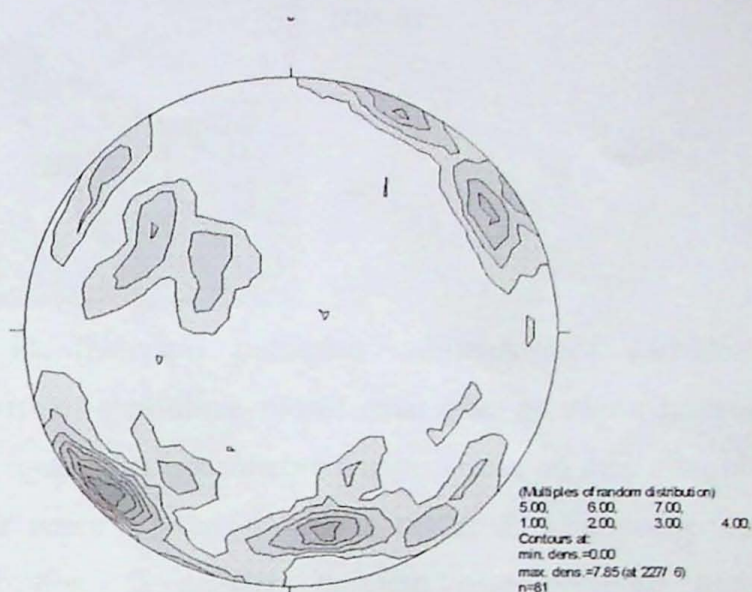


FIGURA 9 - Estereograma com linhas de isofrequência para pólos de planos de fraturamento rúptil.

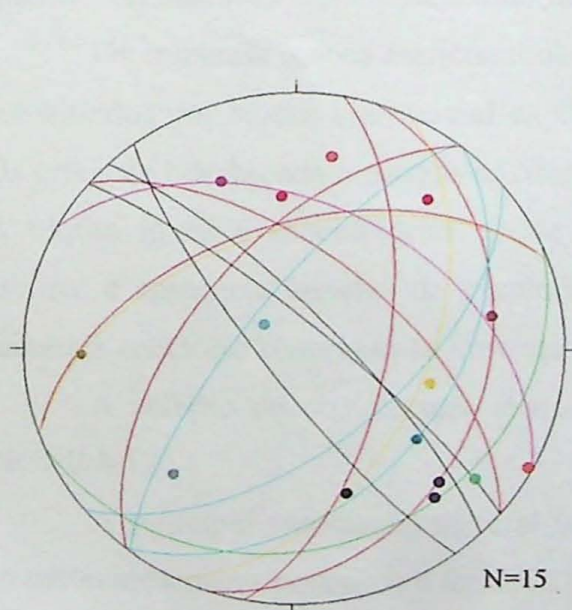


FIGURA 10 - Planos falhados e os suas respectivas estrias de atrito.

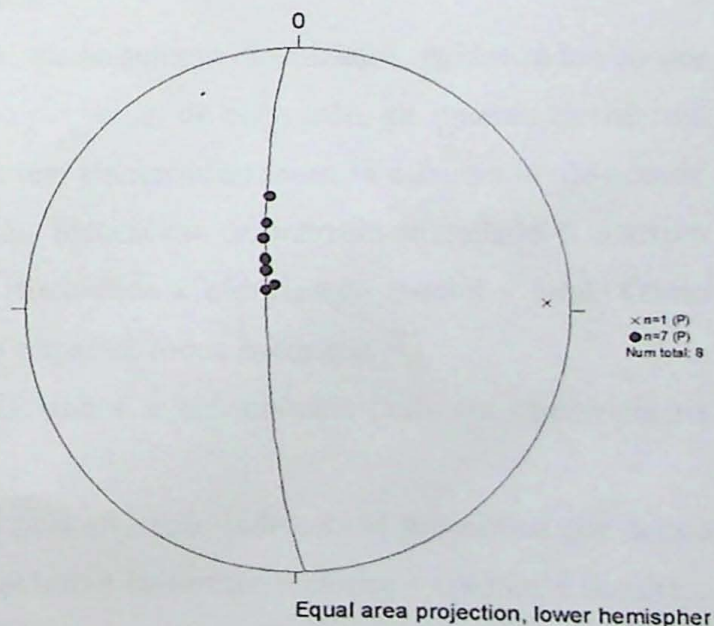


FIGURA 11 - Pólos dos planos de laminação

do ignimbrito do ponto 60 afetado por dobra suave de eixo orientado segundo N88/10NE.

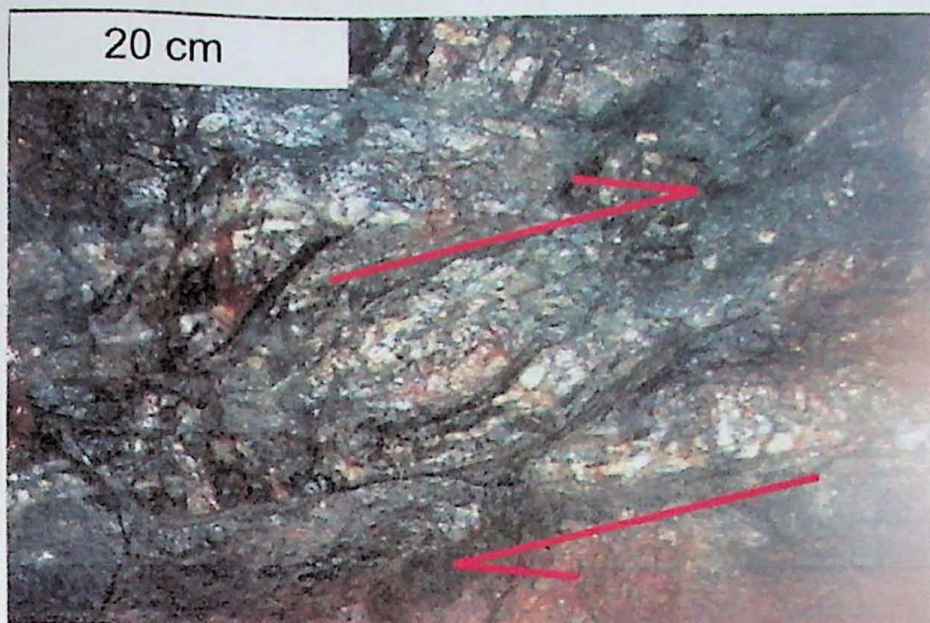


FIGURA 12 – Geometria dos sigmóides gerados por movimentação dextrógira na zona de cisalhamento que afeta o minério de ouro, de orientação NW-SE.

A rocha apresenta megacristais de feldspato potássico subheúdracos turbidos, geralmente quase que totalmente substituídos de microclínio hidrotermal mas, às vezes, restam nos núcleos relíquias do feldspato potássico ígneo que, usualmente é uma pertita ou mesopertita. Na matriz ocorre quartzo subeuédrico, por vezes bipiramidado e restos de oligoclásio ou albita, quase que totalmente microclinizados. O quartzo também está presente com intercrescimentos gráficos com feldspato potássico, resultando em textura granofírica mal desenvolvida, ou como grãos anédricos intersticiais, geralmente precipitados pelo hidrotermalismo. O plagioclásio mostra-se muitas vezes como pequenos cristais inclusos em quartzo, ou manteados por microclínio hidrotermal.

Os minerais ígneos máficos mostram-se, quase sempre cloritizados, epidotizados ou por substituídos por biotita hidrotermal da alteração potássica, de cor verde, geralmente cloritizada. Os grãos de hornblenda mostram-se euédricos e tem pelocroísmo marrom-escuro a verde-escuro. A biotita ígnea é subeuédrica, exibe variação pleocróica de marrom-amarelado a marrom escuro, e apresenta lamelas de exsolução de leucóxênio e cloritização parcial a total. Como minerais acessórios observam-se ilmenita, zircão e apatita, todos euédricos.

A relação de cristalização dos minerais ígneos e hidrotermais pode ser observada na FIGURA 12.

A principal associação mineral imposta pela alteração hidrotermal propilitica que segue ao metassomatismo potássico é formada por epidoto + carbonato + clorita + epidoto ± titanita..

Texturas bem desenvolvidas típicas de processos de alteração hidrotermal são bastante recorrentes neste granito, sendo texturas de microclinitização de plagioclásio ou do próprio feldspato potássico as mais importantes. Este processo evidencia-se em coronas de microclínio

envolvendo núcleos de plagioclásio ou feldspato potássico pertítico, ou em frentes infiltrativas, que alteram para microclínio a partir das bordas de outro feldspato.

As principais características petrográficas do Granito Palito são apresentadas na PRANCHA 1.

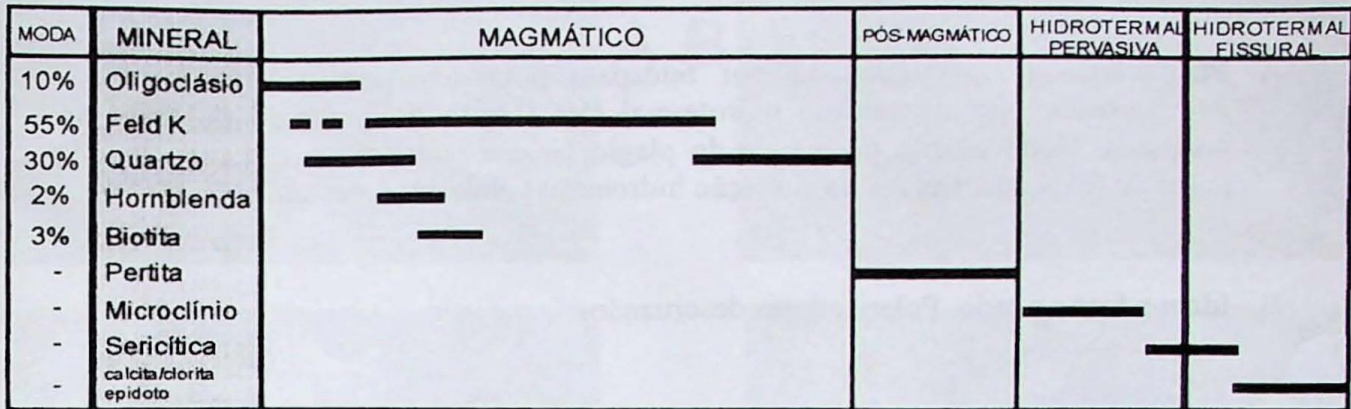


FIGURA 12 – Relação de cristalização dos minerais ígneos e hidrotermais do Granito Palito.

b) Granito Rio Novo

Sua textura é porfirítica, com matriz (65%) fanerítica inequigranular fina a média e megacristais (35%) de feldspato potássico pertítico com cerca de 0,5 cm de comprimento. O IC situa-se ao redor de 6 quando fresco, mas quando hidrotermalizado há destruição da biotita e da hornblenda, reduzindo o IC. São também comuns cavidades miarolíticas, representadas por aglomerados máficos e minerais hidrotermais.

Os minerais máficos ígneos são representados principalmente por hornblenda euédrica de cor verde escura a marrom e biotita euédrica mais fina, placóide, com pleocroísmo variando de marrom-claro a marrom-escuro.

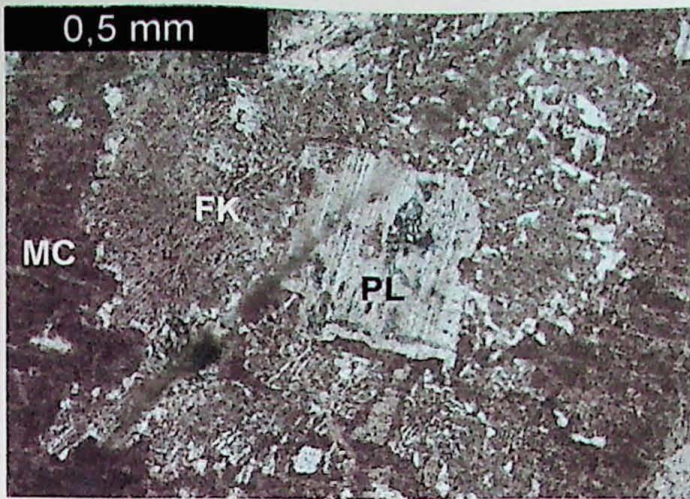
O plagioclásio tem composição de oligoclásio e mostra forte zonamento composicional, com núcleos mais cálcicos, comumente mais intensamente saussuritizados. Este mesmo mineral apresenta-se com bordas retas crescidas no entorno de grão arredondado, indicando tratar-se de grão dissolvido e posteriormente crescido em câmara magmática. Algumas poucas vezes, observaram-se borda albitica neste mineral, em processo francamente magmático e não hidrotermal. A albita cristalizada em volta do plagioclásio é limpa e bastante regular e aparece em litotipos isentos de alteração hidrotermal.

O quartzo nesta rocha mostra-se anédrico em granulação média. Em algumas amostras este mineral cristalizou-se em textura granofírica mal desenvolvida, evidenciando cristalização em ambiente raso.

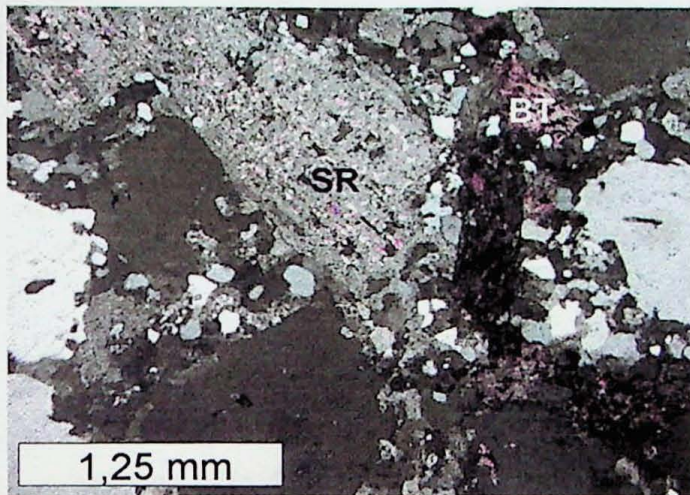
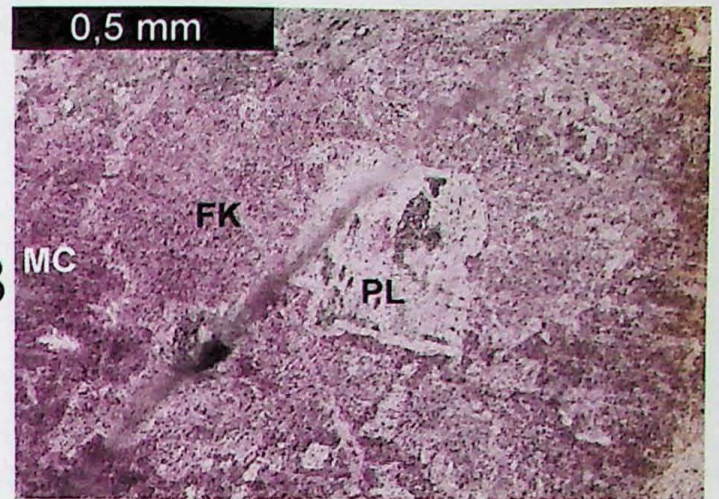
PRANCHA 1 - Granito Palito

- A. Plagioclásio (PL) circundado por feldspato potássico perítico (FK) e mais externamente por microclínio hidrotermal (MC) fruto de processo de alteração potássica. Notar clorita no núcleo do plagioclásio e contatos irregulares entre os grãos de feldspato, típicos da alteração hidrotermal. Polarizadores cruzados.
- B. Idem a foto ao lado. Polarizadores descruzados.
- C. Fraca alteração sericítica (SR) seletiva evidenciada pela presença de poucos cristais no grão de plagioclásio. Notar biotita ígnea euédrica, feição petrográfica típica do Granito Rio Novo. Polarizadores cruzados.
- D. Intensa sericitização (SR) obliterando toda mineralogia da rocha em texturas pseudomórficas. Grão euédrico de muscovita (MS) resultado de alteração hidrotermal sericítica sobre a biotita. Polarizadores cruzados.
- E. Brecha hidrotermal com grãos grandes e euédricos de pirita em matriz epidoto + clorita + quartzo. Polarizadores cruzados.
- F. Vênula de alteração hidrotermal propilítica com cristalização de carbonato (CA), Fe-clorita (CL), quartzo (QZ) e apofilita (AP). A rocha brechada é o Granito Palito, sendo evidente os grãos de feldspato turbidos devido à forte potassificação pretérita. Polarizadores descruzados.
- G. Brecha hidrotermal com cristalização de clorita e quartzo em caráter fissural. Notar feldspatos turbidos, provavelmente consequência de microinclusões de hematita fruto de potassificação. Polarizadores descruzados.
- H. Vênula carbonática brechando rocha de textura pseudomórfica formada por quartzo microcristalino (silicificação). Polarizadores cruzados.

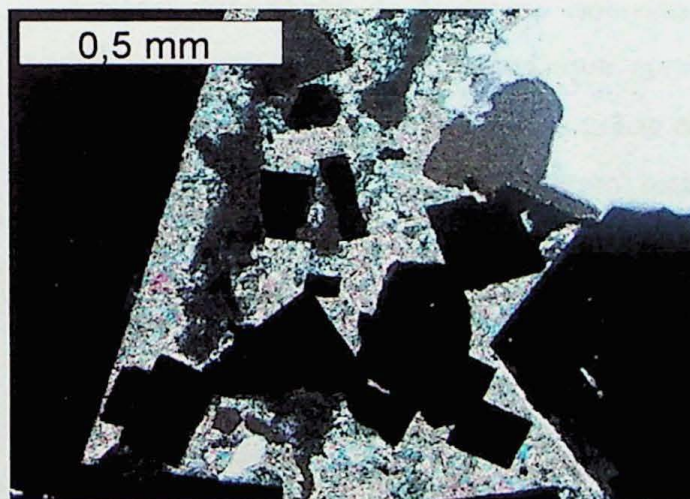
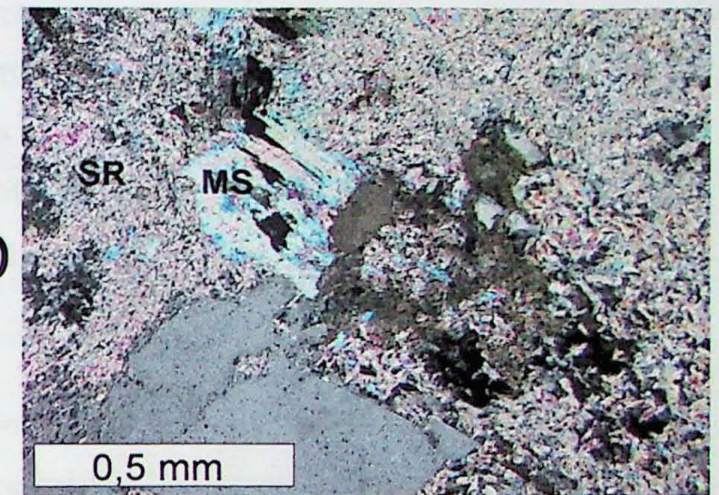
PRANCHA 1



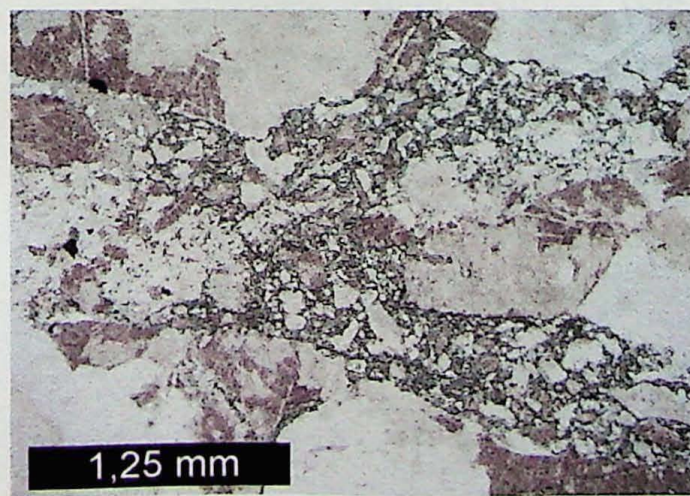
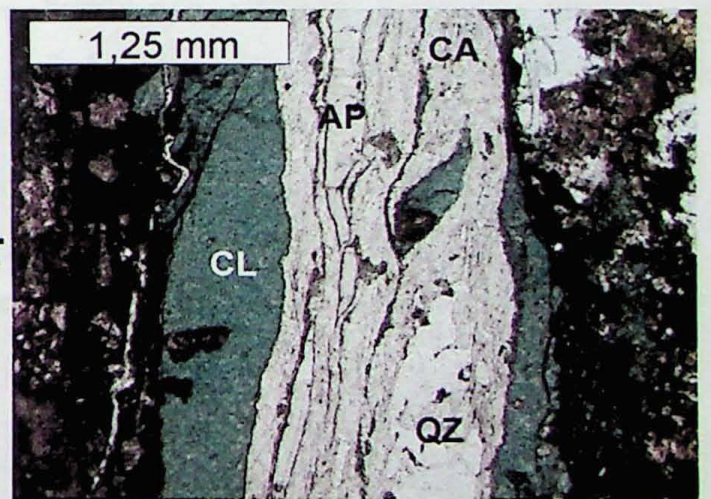
A B



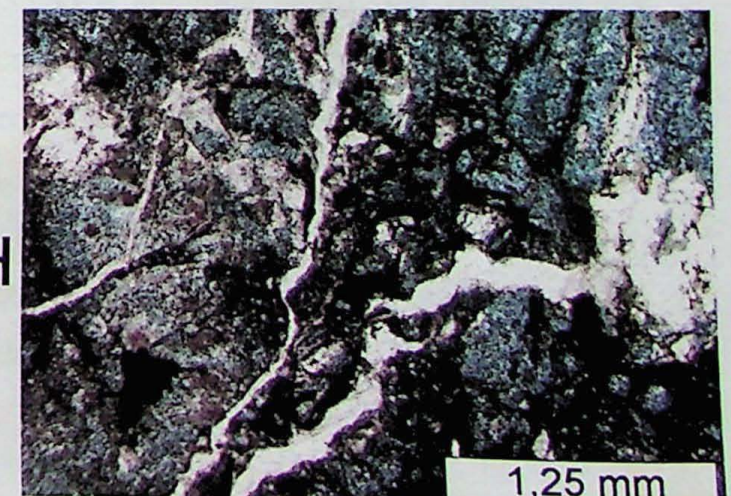
C D



E F



G H



Como minerais acessório foram identificados cristais euhédricos de zircão, por vezes formando prismas alongado, apatita fina euhédria e raros cristais da allanita, em geral inclusos ou associados à biotita ígnea.

As principais características petrográficas do Granito Rio Novo são apresentadas na PRANCHA 2.

c) Granodiorito

Esta rocha apresenta IC ~15 em textura fanerítica equigranular média. Sua composição mineralógica modal pode ser estimada em plagioclásio (45%), feldspato potássico (15%), quartzo (20%), minerais opacos (5%), hornblenda (7%) e biotita (3%). Sua alta susceptibilidade magnética sugere que opacos sejam, em essência, magnetita. Minerais acessórios e secundários, como epidoto, apatita e zircão foram também identificados. Os cristais de plagioclásio são, em geral, zonados concentricamente. Manchas negras que macroscopicamente assemelham-se a grãos máficos, mostraram-se microscopicamente tratar-se de aglomerados de biotita + opacos + hornblenda.

d) Pórfiro granítico

A rocha apresenta textura porfirítica a glomeroporfirítica, com matriz é afanítica e megacristais de granulação média. Os maiores “megacristais” aglomerados de quartzo, além de cristais euhédricos de feldspato potássico zonados, hornblenda e biotita. Estes dois últimos compõem os máficos da rocha, que apresenta IC ~ 3. Texturas pseudomórficas são bastante comuns nesta rocha, onde antigos grãos euhédricos de feldspato, foram totalmente substituídos por sericita hidrotermal. No contato matriz/megacristais de quartzo e feldspato é comum a presença de mirmequita e textura granofírica. Rutilo acessório foi também identificado.

As principais características petrográficas destas rochas são apresentadas na PRANCHA 3.

e) Pórfiro granodiorítico

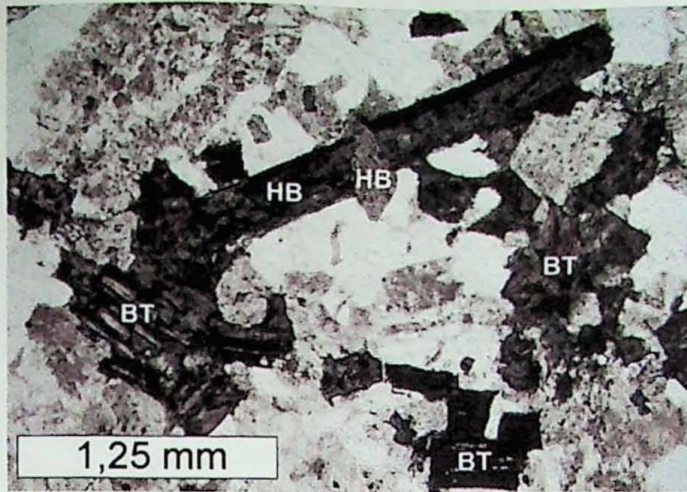
Apresenta textura porfirítica com matriz (35%) é afanítica muito fina composta por quartzo ± hornblenda ± biotita ± plagioclásio ± opacos. Os megacristais (65%) são formados por grãos euhédricos de andesina e feldspato potássico, subeuhédricos de biotita e hornblenda e cristais arredondados de quartzo. Este último mostra-se muitas vezes compondo aglomerados.

Como minerais acessórios ocorrem apatita euhédrica e titanita associada aos minerais máficos. Como minerais secundários ocorre epidoto, clinozoisita, sericita e clorita, além de titanita, formada a partir da cloritização da hornblenda.

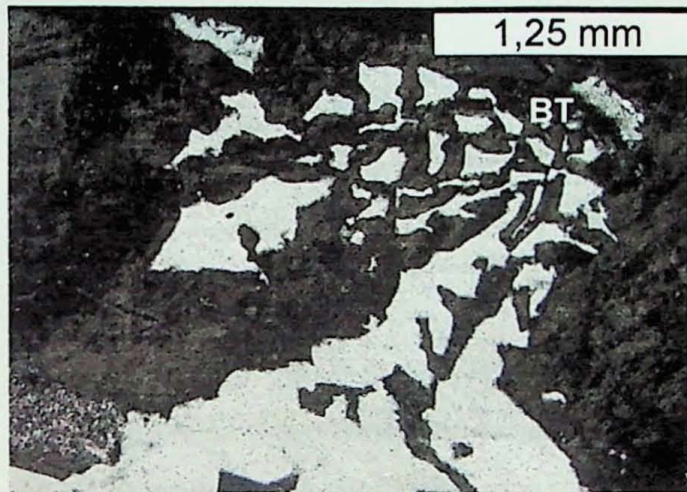
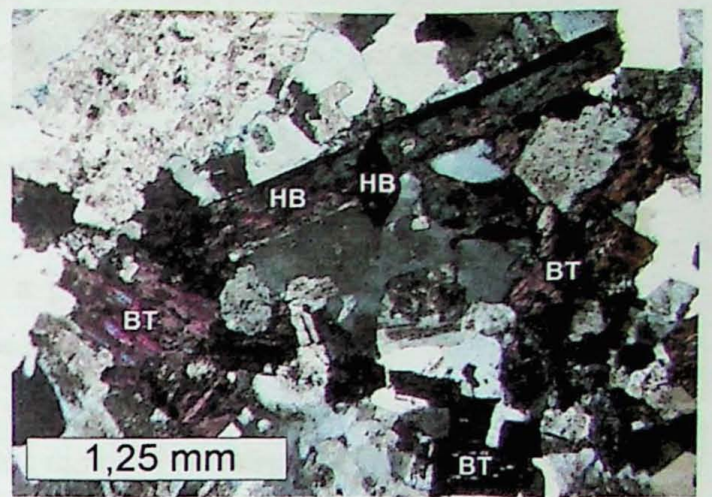
PRANCHA 2 - Granito Rio Novo

- A. Aglomerados de minerais máficos, bastante frequentes no Granito Rio Novo. Notar hornblenda euédrica (HB) e biotita euédrica (BT) sofrendo muscovitização. Polarizadores descruzados.
- B. Idem a foto ao lado. Polarizadores cruzados.
- C. Textura granofírica, evidenciando cristalização rasa no Granito "Rio Novo". Polarizadores cruzados.
- D. Textura granofírica. Polarizadores cruzados.
- E. Cristais radiados bem desenvolvidos de mineral identificado como flúor-apofilita na técnica de difratometria de raios X. Cristal relaciona-se com vênulas carbonáticas em brechas hidrotermais. Polarizadores cruzados.
- F. Cristais euédricos de biotita esverdeada, típicas do Granito Rio Novo. Polarizadores descruzados.
- G. Cristal de hornblenda euédrica. Polarizadores descruzados.
- H. Cristais euédricos de biotita que sofreram muscovitização fruto de alteração hidrotermal potássica. Polarizadores descruzados.

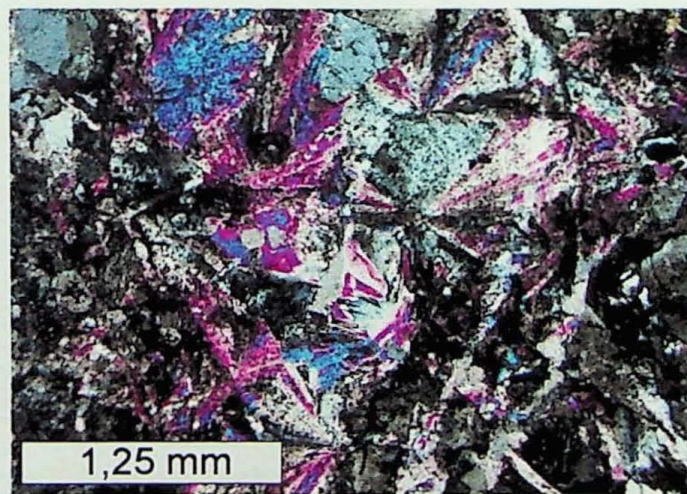
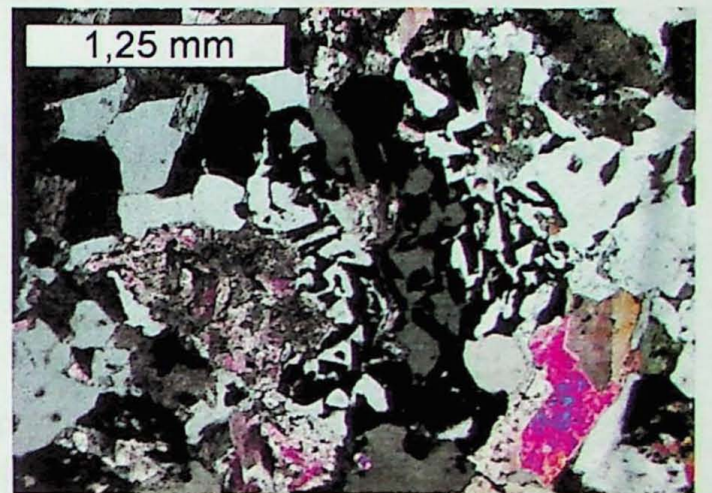
PRANCHA 2



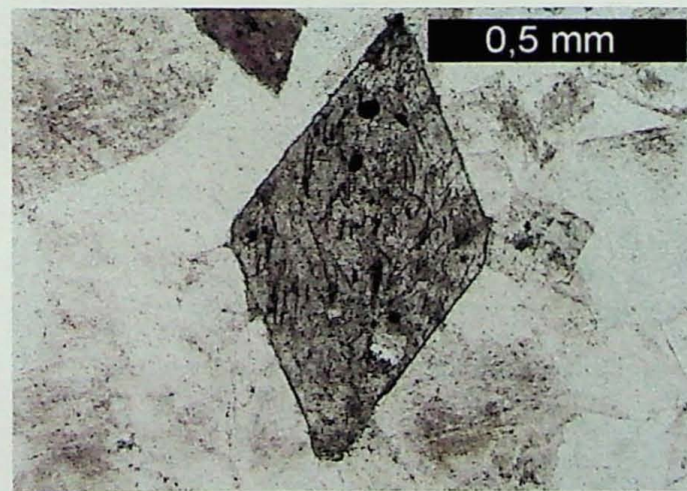
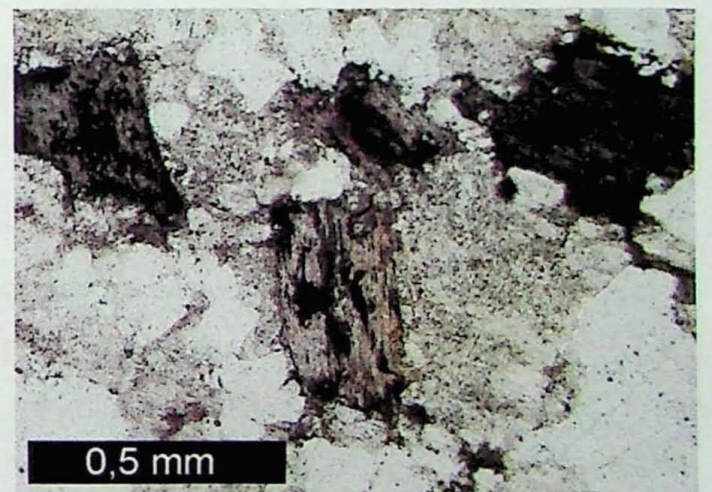
A B



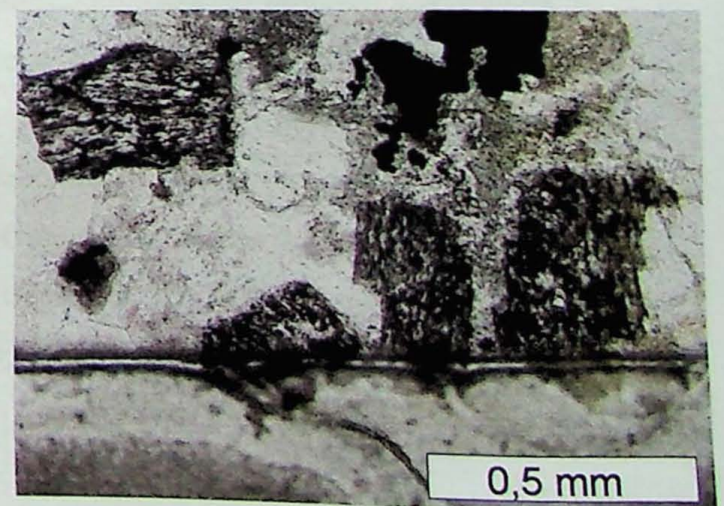
C D



E F



G H



e) Pórfiro Rio novo

A rocha tem composição riolítica, estrutura maciça e textura porfirítica, com ~ 70% de megacristais (~ 0,5 cm) e 30% de matriz (~ 0,2 mm). Ao microscópio pode-se notar que a matriz é basicamente formada por quartzo microcristalino, plagioclásio e feldspato potássico muito fino, além de zircão e pouca biotita. Seu IC é estimado em 4. Os megacristais são formados por cristais ehédricos de andesina (0,8 mm) e microclínio (4 mm), além de grãos arredondados de quartzo (1,2 mm). A biotita é geralmente euhédrica e possui cor marrom-claro. Entretanto, também ocorre biotita anhédrica de cor verde, cristalizada tardiamente em fraturas. Inclusões de sericita bem formadas são comuns, principalmente nos cristais de andesina, que por sua vez esta comumente inclusa em microclínio. Todos esses minerais também ocorrem inclusos em grãos de quartzo. Esporadicamente identifica-se mirmequita na matriz e na borda de megacristais.

g) Gabro

Esta rocha intrusiva básica, composta basicamente por piroxênio e plagioclásio, mostra textura fanerítica equigranular grossa. Encraves graníticos sugerem tratar-se de xenólitos do pórfiro granítico.

h) Ignimbrito

O ignimbrito apresenta laminação muito fina, provavelmente fruto da deposição cinzas vulcânicas em ambiente subaéreo. Porções milimétricas ou centimétricas de púmice podem dar indicações de taxa de compactação na rocha. Algumas estruturas de afundamento da laminação sugerem ter sua gênese no impacto de fragmentos vulcânicos.

10.4 Alteração hidrotermal

a) Granito Palito

Esta rocha mostra-se em todo material visto em campo ou amostrado em sondagens, forte cor vermelha, fruto de metassomatismo potássico. A potassificação precipitou microclínio na borda dos cristais ígneos, ou substituiu intensamente os minerais, como indicado por em frentes de alteração no formato de golfos em cristais ígneos. A substituição dos feldspatos ígneos foi muitas vezes total ou quase total. Durante esta fase de alteração, ocorreu também a cristalização de biotita hidrotermal como grãos finos de cor verde e pleocroísmo verde-claro, indicando composições mais magnesianas, típicas de alterações hidrotermais em pórfiros, com formas radiadas ou anédrica. Uma cloritização superpostas é bastante freqüente na rocha, sendo difícil restar biotita ou hornblenda preservada desta alteração. Uma segunda fase de clorita associa-se a fraturas tardias, provavelmente relacionadas a zonas de cisalhamento. Esta apresenta-se com cor verde intensa, indicando composição mais ricas em ferro, em relação à anterior.

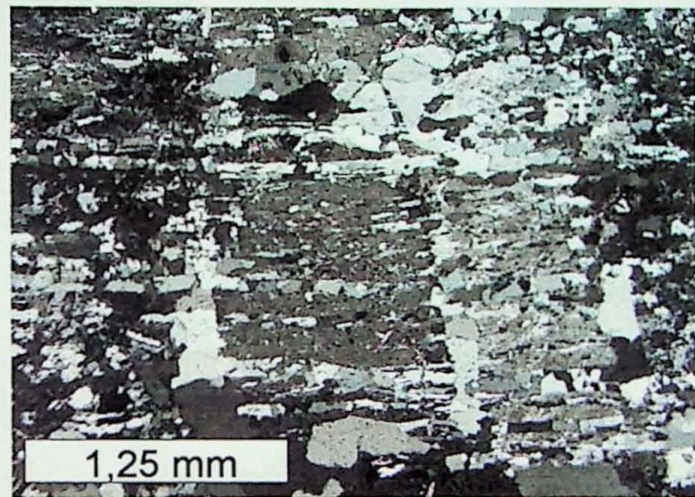
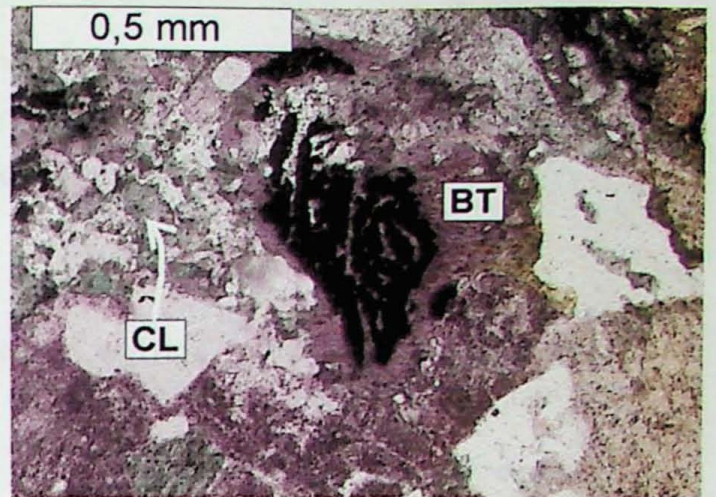
PRANCHA 3 – Pórfiro granítico

- A. Grão de feldspato potássico manteado por feldspato pertítico e, mais externamente, por microclínio, textura típica de alteração potássica. Polarizadores descruzados.
- B. Cristal marrom escuro de biotita ígnea com lamelas de exsolução de leucoxênio, com cloritização nas bordas. Polarizadores descruzados.
- C. Feixe de cisalhamento no Granito “Palito” registrado na micropetrografia através de microfalhas preenchidas por quartzo. Polarizadores cruzados.
- D. Grão de quartzo (QZ) rompido, com cristais de plagioclásio (PL) e clorita (CL) entre as partes. Notar cristal de biotita (BT) com lamelas de exsolução de leucoxênio. Polarizadores descruzados.
- E. Cristal bipiramidado de quartzo, deformado, em matriz granítica muito fina, levemente silicificada. Polarizadores cruzados.
- F. Megacristal de plagioclásio fortemente zonado, típico de magmas cálcio-alcalinos, em pórfiro granítico. O núcleo mais cálcico do cristal mostra-se sausseritizado. Polarizadores cruzados.
- G. Grãos arredondados e aglomerados de quartzo com estrutura de intercrescimento com feldspato da matriz nas bordas. Polarizadores cruzados.
- H. Pseudomorfo de megacristal de feldspato cloritizado (CL) no núcleo e sericitizado nas bordas (SR), com matriz silicificada (SI). Polarizadores cruzados.

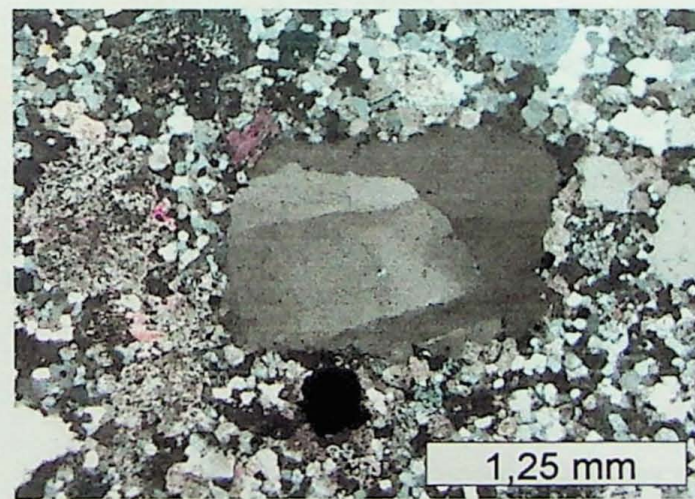
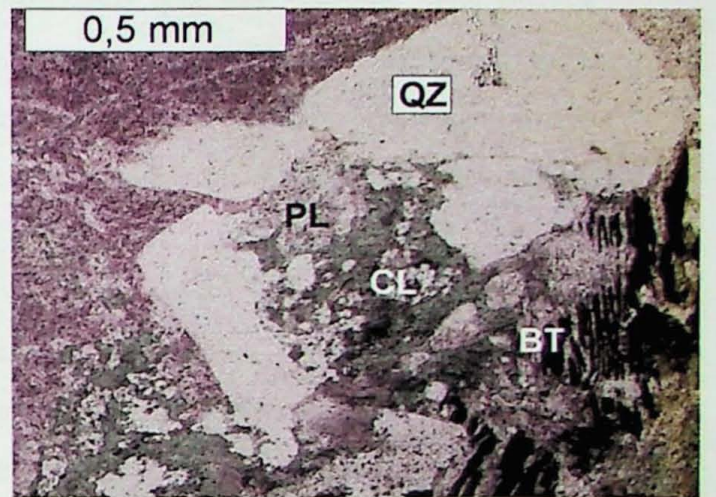
PRANCHA 3



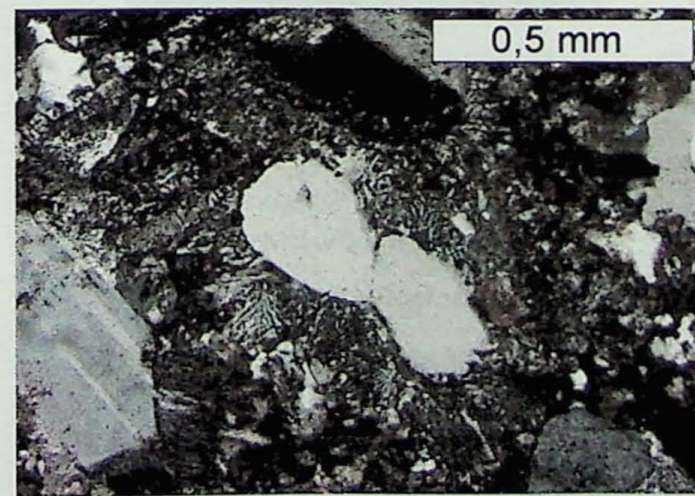
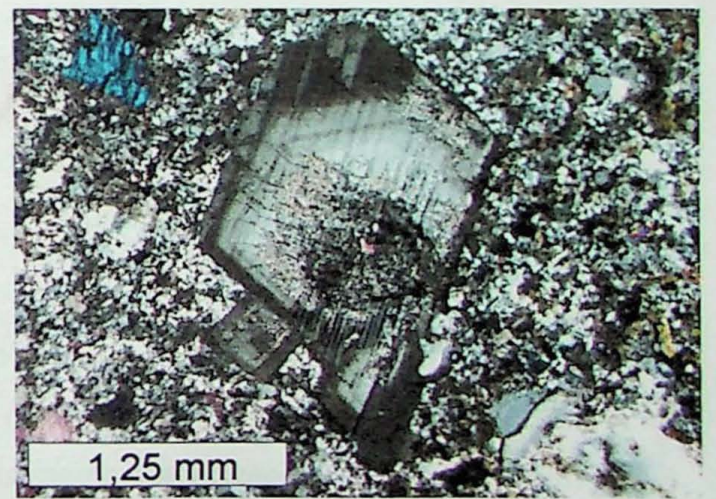
A B



C D



E F



G H



É também evidente que o evento de alteração hidrotermal sericítica seletiva é posterior ao evento do metassomatismo potássico, pois o microclíneo hidrotermal pode estar totalmente substituído por sericita, assim como os feldspatos e a biotita ígnea.

Brechações hidrotermais, através de fraturas irregulares com preenchimento de carbonato + clorita \pm epidoto \pm opacos \pm fluorita associam-se às pequenas zonas de cisalhamento.

b) Granito Rio Novo

As rochas desta unidade mostram grande variedade no tipo, estilo e intensidade das alterações hidrotermais potássica, propilítica, sericítica e silicificação.

Nas porções próximas a ocorrência do Granito Palito a alteração hidrotermal é a mais forte, sendo importante o metassomatismo potássico, enquanto que nas porções mais distais predomina a alteração propilítica. Na alteração propilítica praticamente toda biotita e hornblenda são substituídas por clorita, carbonato, epidoto e titanita subordinada. Percebe-se neste tipo de alteração um estilo inicialmente pervasivo e, posteriormente, fissural cortando toda a amostra por fraturas irregulares.

A alteração sericítica ocorre localizadamente e normalmente em baixa intensidade. Algumas amostras dos testemunhos mostraram intensa alteração sericítica, com obliteração total de grãos de hornblenda e feldspatos, que se tornam pseudomorfos. Nestas porções ocorrem sulfetização, representada principalmente por pirita e covelina, e a biotita foi totalmente substituída por muscovita.

Zonas de silicificação não são raras. São identificadas pela cristalização de quartzo microcristalino os espaços entre os cristais da matriz da rocha, que podem formar agregados mais grossos, muitas vezes gerando formas em cunha.

c) Granodiorito

Nesta rocha a alteração hidrotermal é significativamente menos expressiva. No campo nota-se apenas raros influxos de alteração potássica, que conferem à rocha uma coloração avermelhada. Nestas porções a rocha perde quase que totalmente sua susceptibilidade magnética, devido a destruição da magnetita.

Uma discreta alteração propilítica pervasiva pode ser identificada pela cristalização de clorita, epidoto e sulfetos em detrimento de biotita e anfibólio.

10.5 Difração de Raios X

Estes estudos serviram para identificação de fases minerais pouco comuns.

Apenas duas análises foram realizadas:

- Mineral placóide transparente de relevo alto e hábito radiado, semelhante a alunita, em paragênese com vênulas carbonáticas em amostra de forte alteração propilítica fissural do granito Palito. A análise acusou presença de flúor-apofilita associada a calcita.
- Porção fortemente sericitizada da amostra do Granito Rio Novo onde suspeitou-se da presença de pirofilita, que indicaria a presença de alteração argílica avançada. Porém a análise acusou somente presença de sericita.

Os difratogramas das análises efetuadas estão no ANEXO VII deste trabalho.

10.6 Microsonda eletrônica

Esta etapa de trabalho concentrou-se em análises pontuais sobre fases minerais presentes no Granito Palito. Os melhores resultados resumem-se às caracterizações das zonação ígnea e a hidrotermal dos feldspatos. A comparação entre as composições químicas da biotita ígnea e hidrotermal, bem como análises de hornblenda, foram bastante prejudicadas pela cloritização destes minerais.

Nos grãos de feldspato potássico do Granito Palito fica evidente a existência de uma dupla polaridade na zonação química do cristal. Mais próximo ao núcleo do grão existe a tendência de enriquecimento em sódio e cálcio e empobrecimento em potássio, do centro para as bordas. Porém quando aproxima-se da borda coronítica de microclínio hidrotermal a polaridade da zonação química se inverte. Entretanto, não pode ser descartada a hipótese de ser o enriquecimento em Na e Ca devido a pequenas inclusões de plagioclásio, ou até mesmo exsoluções no feldspato potássico. Este padrão está explicitado nas FIGURAS 13 e 14. A classificação dos feldspatos alcalinos é apresentada na FIGURA 15.

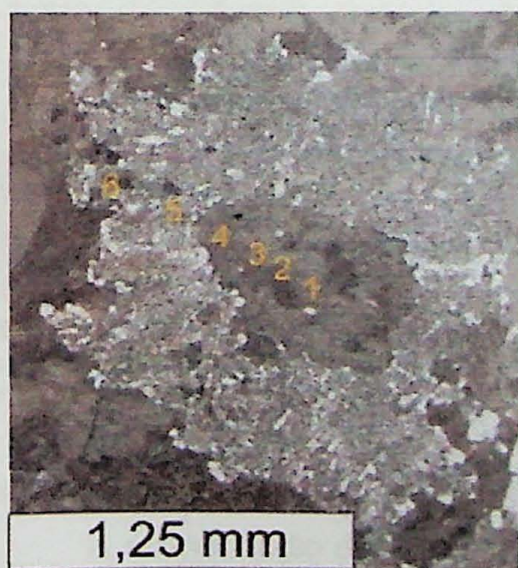


FIGURA 13 – Perfil de análises marcado desde o núcleo de feldspato potássico ígneo, até a borda de microclínio fruto de potassificação hidrotermal

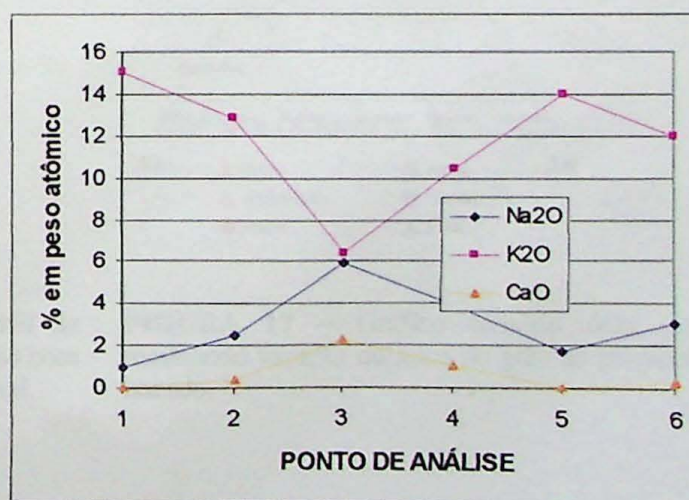


FIGURA 14 – Perfil composicional do Na₂O, K₂O e CaO dos feldspatos da foto à esquerda.

Os grãos de plagioclásio mostram intenso zonamento composicional, característico de cristais formados a partir de magmas cálcio-alcálinos. Nesta zonação, graficamente apresentada na FIGURA 16, evidencia a existência de um núcleo mais cálcico e bordas mais sódicas. Mas quando afetados pelo metassomatismo potássico adquirem uma borda de microclínio, ilustrados na FIGURA 17.

Apenas um grão de hornblenda não cloritizado pode ser analisado. Este cristal mostra uma composição de ferro-hornblenda na borda e de ferro-tshermakita no núcleo (FIGURA 18).

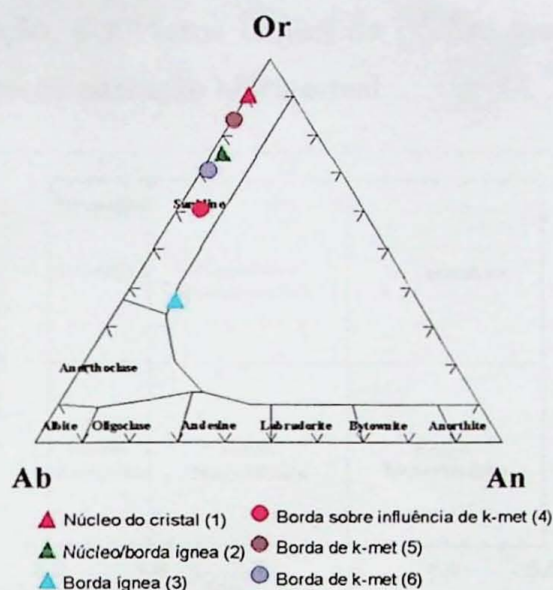


FIGURA 15 – Gráfico ternário com pontos do perfil ilustrado acima.

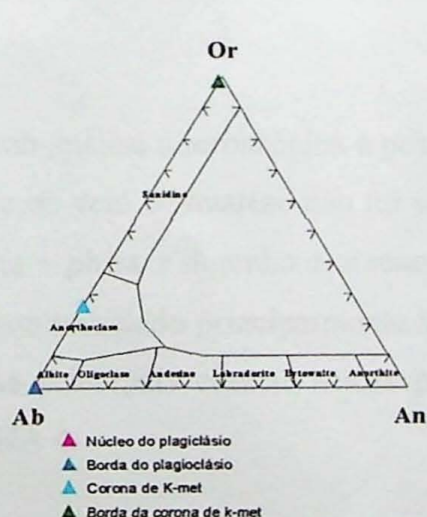


FIGURA 16 – Gráfico ternário evidenciando perfil de análise química executado em um grão de plagioclásio com borda de microclínio fruto de potassificação hidrotermal.

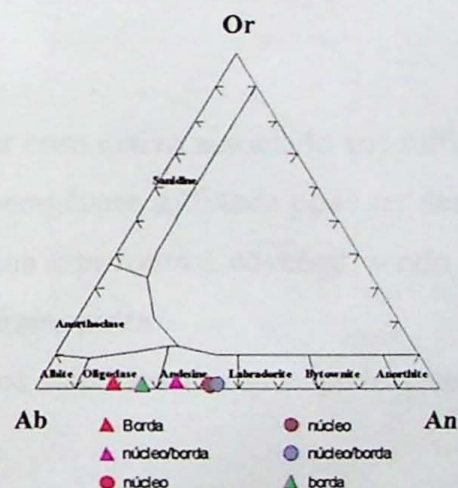


FIGURA 17 – Gráfico ternário com pontos mostrando variação química de grão de plagioclásio zonado.

10.7 Mineralização

A mineralização de Au-(Cu) do Palito é representada por veios de sulfetos e de quartzo sulfetado cisalhados, encaixados predominantemente no Granito Palito (FOTO 13), intrusivo no Granito Rio Novo. O granito que hospeda os principais veios mostra-se afetado por intenso

metassomatismo potássico e por propilitização, além de sericitização, argilização e sulfetação subordinados. As alterações hidrotermais diminuem de intensidade nas encaixantes, definindo um zonamento com halo externo predominantemente propilitico. Nestas encaixantes os veios mineralizados são menores e possuem teores menos significativos de Au e Cu. Em direção à cúpula do granito hospedeiro das mineralizações, são comuns feições de fluxo magmático, que sugerem ter o corpo uma forma de domo parcialmente erodido, e veios e/ou zonas de *stockwork*, com alteração sericítica e/ou argílica subordinada. Em profundidade, ocorrem zonas subordinadas de brechas hidrotermais com calcita placóide, características estas indicativas de ebulição, e diversos diques de pórfiro granítico, com os quais pode relacionar-se o principal evento de alteração hidrotermal.

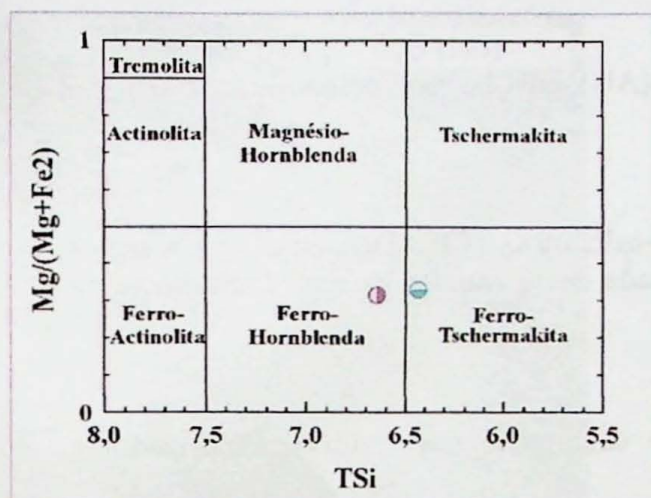


FIGURA 18 – Gráfico binário para classificação de anfibólios. Símbolo azul representa borda de cristal euédrico de hornblenda, enquanto que o azul o núcleo.

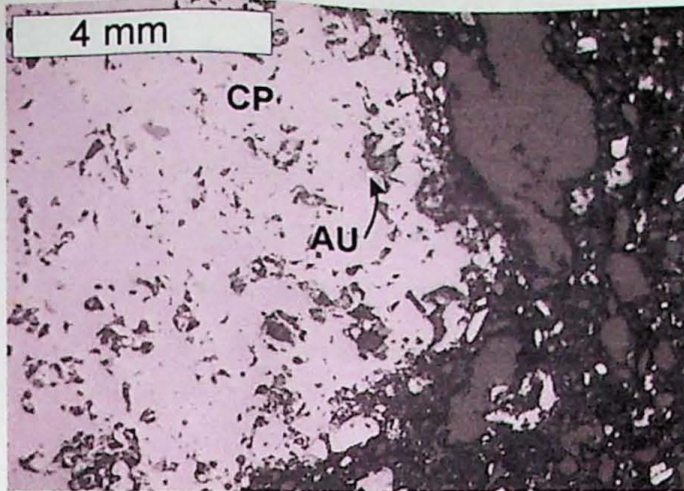
Sob análise microscópica é possível identificar ouro nativo associado aos sulfetos, porém ouro livre no veio de quartzo não foi encontrado. A paragénese sulfetada pode ser descrita como calcopirita + pirita ± digenita ± arsenopirita ± calcosina ± pirrotita ± covelina, sendo encontrado ouro nativo associado principalmente à calcopirita e arsenopirita.

As principais características petrográficas dos minérios de ouro podem ser vistas na PRANCHA 4.

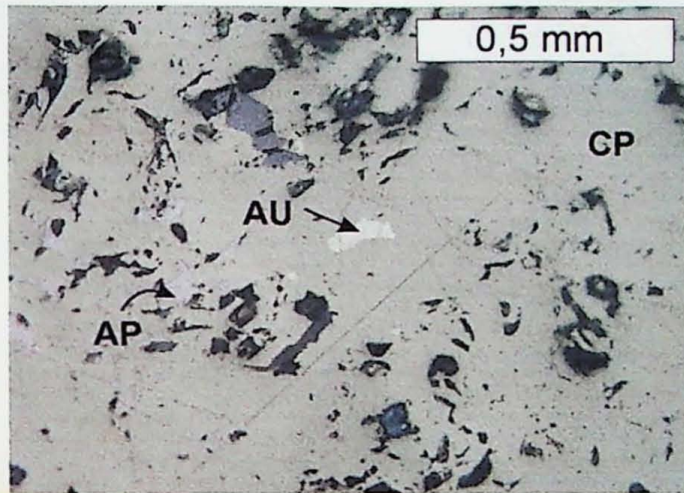
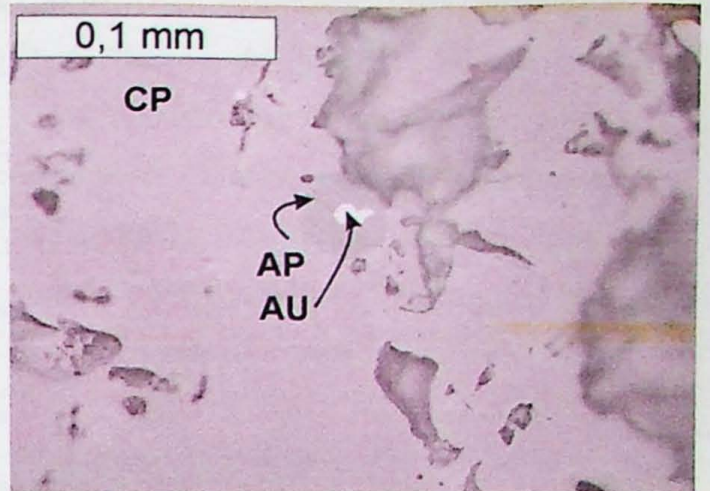
PRANCHA 4 – Minérios de ouro e cobre

- A. Brecha hidrotermal, com grande cristal de calcopirita (CP) com inclusões de arsenopirita (AP) e ouro nativo (AU). Polarizadores cruzados.
- B. Detalhe de micropepita de ouro nativo (AU) envolto por arsenopirita (AP) em calcopirita (CP). Polarizadores cruzados.
- C. Grãos de arsenopirita (AP) dispersos em calcopirita (CP). Destaque para a maior micropepita de ouro nativo (AU) encontrada neste estudo, incluída diretamente na calcopirita. Polarizadores descruzados.
- D. Cristal de pirita com preenchimento de calcopirita nas fraturas. Polarizadores cruzados.
- E. Calcopirita em com crescimento de bornita nas bordas. Polarizadores cruzados.
- F. Inclusa em calcopirita ocorrem arsenopirita e digenita.
- G. Digenita incluída na calcopirita e arsenopirita no entorno. Polarizadores cruzados.
- H. Aspecto típico das brechas hidrotermais com grãos de pirita menores e mais arredondados que os de calcopirita.

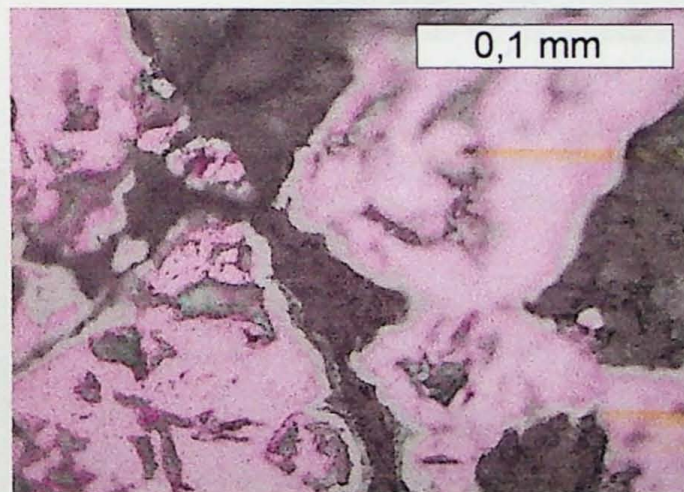
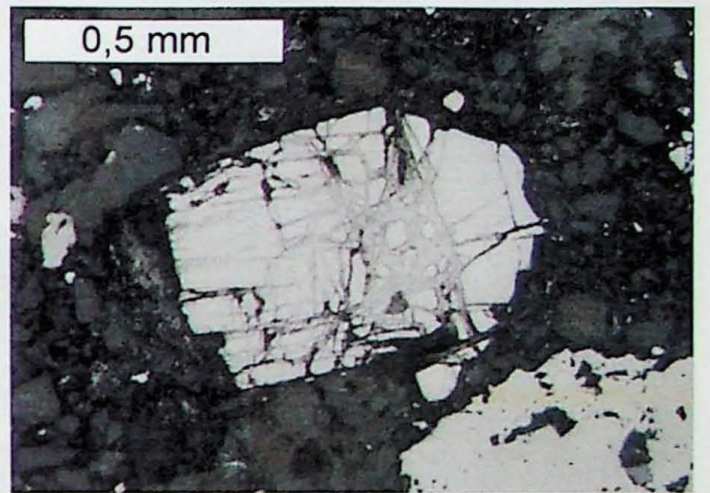
PRANCHA 4X



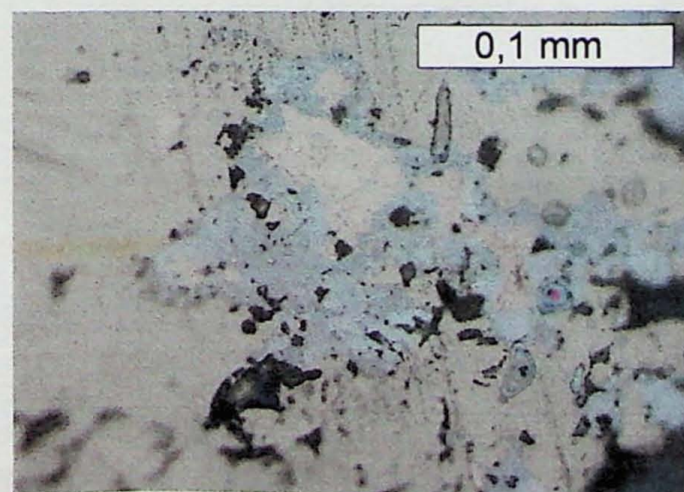
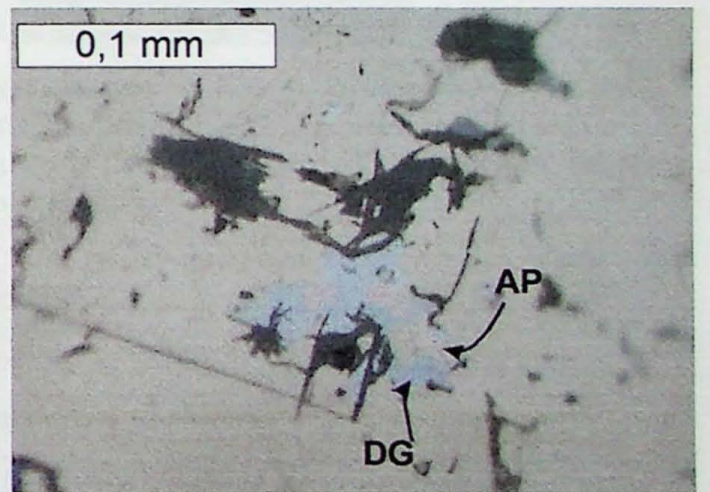
A B



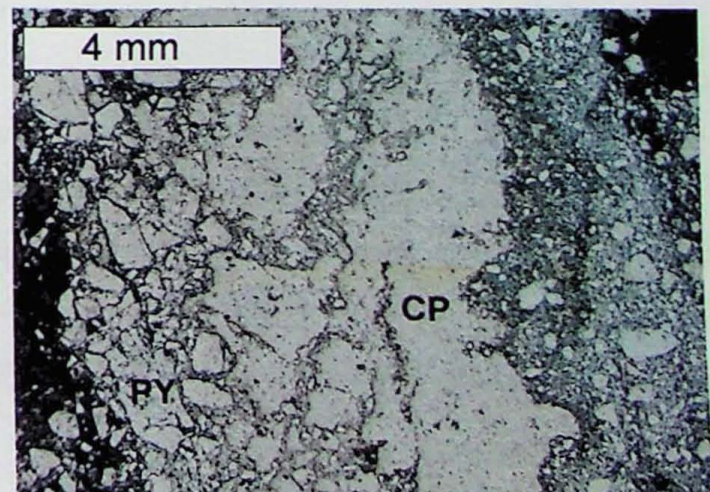
C D



E F



G H



11 CONCLUSÕES

A mineralização do Palito, hoje sob exploração da SERABI Mineração Ltda, apresenta veios de quartzo sulfetados e de sulfetos (FOTO 13) cisalhados, de direção predominante NW-SE, encaixados em um pequeno corpo granítico, aqui denominado Granito Palito, cujos dados petrográficos indicam uma colocação em nível crustal raso. Entretanto o padrão estrutural da área, a associação Au-Cu e sua ligação com os halos de alteração hidrotermal sugerem tratar-se de uma mineralização de filiação magmática, relacionada com a atividade hidrotermal em fases tardias da formação do plúton Palito e dos diques de pórfiro granítico nele intrusivos.



FOTO 13 – Detalhe de um veio de minério de ouro de alto teor, com calcopirita maciça (amarelo-dourado), com pirita (amarelo-latão) e calcocita (escuro na borda dos veios) associadas, em meio a uma zona de alteração propilitica fissural a pervasiva (cores escuras), com veios de quartzo (brancos), que afeta o granito fino potassificado (vermelho escuro).

Em direção à cúpula do Granito Palito, são comuns feições de fluxo magmático, que sugerem ter o corpo uma forma de domo parcialmente erodido (ANEXO II), e veios e/ou zonas de *stockwork* com alteração sericítica e/ou argílica subordinada (FOTO 11). Este plúton está encaixado entre um corpo de granodiorito e um outro granítico (Granito Rio Novo) que parece associar-se a estrutura circular regional, que pode representar as raízes de uma antiga caldeira vulcânica.

O granito hospedeiro da mineralização, bem como o pórfiro granítico, mostram cores vermelha que, semelhantemente ao descrito por Boone (1967), é devida a microinclusões de hematita nos feldspatos que sofreram metassomatismo potássico. Já a alteração propilitica relacionada aos halos mais externos da alteração hidrotermal em sistemas pórfiros ocorre fortemente nas rochas encaixantes do Granito Palito, tanto em estilos fissurais como pervasivos.

Os veios mineralizados apresentam uma borda de mais ou menos 20 cm de halo de alteração propilitica. Este tipo de alteração hidrotermal deve ter sido a responsável pela cristalização dos corpos sulfetados nos veios sendo portanto a fase responsável pela formação do ouro na estrutura dos sulfetos ou mesmo nativo.

Assim, pode-se preliminarmente concluir que a mineralização de ouro do Palito é, mais provavelmente, uma mineralização magmática hidrotermal do que gerada em uma zona de cisalhamento. A forma dos plútons graníticos Rio Novo e Palito, seus níveis de colocação relativamente raos, a gradação dos granitos Rio Novo para rochas subvulcânicas e a presença de riolitos e tufos finos nas proximidades são sugestivos de um ambiente de formação relacionado em um caldeira vulcânica. Neste contexto, sugere-se que a mineralização de ouro e cobre do Palito é, provavelmente, uma mineralização do tipo, ou relacionada com sistemas mineralizantes do tipo pórfiro, semelhantes aos encontrados em terrenos mesozóicos a recente que, muitas vezes hospedam grande depósitos de Au e de metais de base.

Assim, entende-se que o discreto feixe de cisalhamento dextrógiro que afeta a apenas deforma os corpos sulfetados e os veios de quartzo, sem possuírem um papel importante na formação da mineralização. A concentração da deformação nos veios hidrotermalizados deve-se, assim, à resposta dos materiais hidrotermais a um evento deformacional posterior, que aproveita-se dos planos de fraqueza previamente existentes.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C.A.S.; Collyer, T.A.; Pereira, J.A.L.; Seabra, A.S.; Furtado, A.M.M.; Soubés, L.F., 1977. *Relatório final de reconhecimento (1). Projeto Santarém-Cachimbo*. Pesquisa Mineral. Pólo Amazônia/Pólo Tapajós. Convênio SUDAM/IDESP.
- Almeida, F.F.M. de, 1978. A evolução dos Crátos Amazônico e São Francisco comparada com a de seus homólogos do Hemisfério Norte, Congresso Brasileiro de Geologia. Anais, Recife, p. 2393-2399.
- Almeida, M.E.; Brito, M.F.L.; Ferreira, A.L.; Monteiro, M.A.S.; Popini, M.V.F., 1998. Mineralizações auríferas associadas a vulcanismo ácido e intermediário na Folha Vila Mamãe Anã, Província Mineral do Tapajós. In: Congresso Brasileiro de Geologia. *Boletim de Resumos Expandidos...*, Belo Horizonte, p. 148.
- Almeida, M.E.; Brito, M.F.L.; Ferreira, A.L.; Monteiro, M.A.S., 2000. *Geologia e Recursos Minerais da Folha Mamãe Anã (SB-21-V-D). Estados do Amazonas e Pará. Escala 1:250.000*. Nota explicativa. Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. PROMIM Tapajós/CPRM, Brasília.
- Arif, J.; Baker, T., 2004. Gold paragenesis and chemistry at Batu Hijau, Indonesia: implications for gold-rich porphyry copper deposits. *Mineralium Deposita* 39: 523-535.
- Arribas A. Jr., 1995. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluid. In: Thompson, J.F.H. (Ed.), *Magmas, Fluids and Ore Deposits*. Mineral. Assoc. Can. Short Course Vol. 23, 419-454.
- Bahia, R.B.C. & Quadros, M.L.E.S., 2000. *Geologia e recursos minerais da Folha Caracol - (SB-21-X-C). Estado do Pará Escala 1:250.000*. Nota explicativa. Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. PROMIM Tapajós/CPRM, Brasília.
- Bard, J.P., 1986. *Microtextures of igneous and metamorphic rocks*. D. Reidel Publishing company, Dordrecht.
- Bettencourt, J.S. & Dall'Agnol, R., 1987. The Rondonian tin-bearing anorogenic granites and associated mineralization. In: *International Symposium on Granites and Associated Mineralizations. Excursion Guides...*, Salvador CBPM/Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, p. 49-87.

- Bettencourt, J.S.; Tosdal, R.M.; Leite Jr., W.B.; Payolla, B.L., 1995. Overview of the rapakivi granites of the Rondônia Tin Province (RTP). In: J.S. Bettencourt and R. Dall'Agnol (Eds.), Symposium on rapakivi granites and related rocks. *Excursion guide: The rapakivi granites of the Rondônia Tin Province and associated mineralization*. Center of Geosciences, Federal University of Pará, Brazil., Belém.
- Boone, G.M., 1969. Origin of clouded feldspars: petrologic contrasts in a granitic porphyry intrusion. *Am. J. Sci.* 267, 633-668.
- Brito, M.F.L.; Almeida, M.E.; Ferreira, A.L.; Monteiro, M.A.S.; Popini, M.V.F., 1997. Petrografia e litogeoquímica da Suíte Intrusiva Maloquinha - registro de magmatismo tipo A na Província do Tapajós. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica. *Anais...*, Salvador, p. 847-851.
- Corrêa-Silva, R.H., 2002. *Caracterização de um Sistema epitermal low-sulfidation (adulária-sericita) mineralizado em Au-Cu-Mo em vulcânicas paleoproterozóicas na Província Aurífera do Tapajós: Implicações metalogenéticas e tectônicas*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- Corrêa-Silva, R.H.; Juliani, C.; Bettencourt, J.S.; Nunes, C.M.D.; Almeida, T.I.R., 2001. Caracterização de um sistema epitermal low-sulfidation (ou adulária-sericita) hospedado em vulcânicas e vulcanoclásticas do Grupo Iriri na Província Aurífera do Tapajó, PA. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 7. *Resumos...*, Belém. [CD-ROM]
- Corrêa-Silva, R.H.; Juliani, C.; Nunes, C.M.D., 2000. Hydrothermal alteration associated to gold mineralization in rapakivi like granites from Garimpo do Batalha, Tapajós Province, Amazon Craton, Brazil. In: International Geological Congress, 31, *Abstracts...*, Rio de Janeiro, p. 242-245. [CD-ROM]
- Coutinho, M.G.; Dreher, A.M.; Marini, S., 1996. Controle das mineralizações de ouro da Província do Tapajós: resultados preliminares. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 39. *Anais...*, Salvador.
- Coutinho, M.G.; Robert, F.; Santos, R.A., 1998. Província Mineral do Tapajós: novo enfoque geológico das mineralizações de ouro. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40. *Anais...*, Belo Horizonte, p. 160.
- Dall'Agnol, R.; Lafon, J.M.; Macambira, M.J.B., 1994. Proterozoic anarogenic magmatism in the central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, geochemical aspects. *Mineralogy and Petrology*, 50: 113-138.
- Dall'Agnol, R.; Pichavant, M.; Champenois, M., 1997. Iron-titanium oxide minerals of the Jamon Granite, Eastern Amazonian region, Brazil: implications for the oxygen fugacity in Proterozoic A-Type granites. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 69: 325-347.
- Dall'Agnol, R.; Silva, C.M.G.; Scheller, T., 1999. Fayalite-hedbergite rhyolites of Iriri Formation, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton: implications for the Uatuma Volcanism. In: Simpósio sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, 1. *Boletim de Resumos...*, Gramado.
- Dall'Agnol, R.; Teixeira, N.P.; Rämö, T.O.; Moura, C.A.V.; Macambira, M.J.B.; Oliveira, D.C. de, 2004. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajá's metallogenic province, Brazil. *Lithos* (in press).
- Deer, W.A.; Howie, R.A.; Zussman, J., 1967. *Rock forming Minerals*. Longman, London.
- Eby, G.N., 1990. A-Type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, 26: 115-34.
- Faraco, M.T.L.; Carvalho, J.M.A.; Klein, E.L., 1996. Carta Metalogenética da Província Aurífera do Tapajós. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 5. *Anais...*, Belém, p. 156-160.
- Ferreira, A.L.; Almeida, M.E.; Brito, M.F.L.; Monteiro, M.A.S., 2000. *Geologia e recursos minerais da Folha Jacareacanga (SB.21-Y-B). Estados do Amazonas e Pará Escala 1: 250.000*. Nota explicativa. Projeto Especial Província Mineral Do Tapajós. PROMIM Tapajós/CPRM, Manaus. [CD-ROM].
- Forman, J.H.A.; Nardi, J.I.S.; Marques, J.P.M.; Lima, M.I.C., 1972. *Pesquisa mineral no Iriri/Curuá. SUDAM/GEOMINERAÇÃO*, Belém, 62 p.
- Hedenquist, J.W.; Arribas Jr., A.; Reynolds, T.J., 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines. *Econ. Geol.* 93, 373-404.
- Hibbard, M.J., 1995. *Petrography to petrogenesis*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Hutchinson, C.S., 1974. *Laboratory handbook of petrographic techniques*. Wiley-Interscience Publication, New York.
- Ixer, R.A., 1990. *Atlas of opaque and ore minerals in their associations*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Jacobi, P., 1999. The discovery of epithermal Au-Cu-Mo Proterozoic deposits in the Tapajós Province, Brazil. *Rev. Bras. Geoc.* 29, 277-279.
- Juliani, C., 2001. Metalogênese do ouro e metais de base associadas com o vulcano-plutonismo da porção

- W da Província Aurífera do Tapajós. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 7. *Resumos...*, Belém. [CD-ROM]
- Juliani, C., 2002. *Alteração hidrotermal e metalogênese em sistemas vulcano-plutônicos paleoproterozóicos na Província Aurífera do Tapajós, Cráton Sul Amazônico, Pará*. Tese de Livre-docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Juliani, C.; Corrêa-Silva, R.H.; Monteiro, L.V.S.; Bettencourt, J.S.; Nunes, C.M.D., 2001. Gênese e evolução da alteração hidrotermal no Granito Batalha, Província Aurífera do Tapajós (PA). Simpósio de Geologia da Amazônia, 7. *Boletim de Resumos...*, Belém. [CD-ROM]
- Juliani, C.; Corrêa-Silva, R.H.; Monteiro, L.V.S.; Bettencourt, J.S.; Nunes, C.M.D., 2002. The Batalha Au-Granite system - Tapajós Province, Amazonian Craton, Brazil: Hydrothermal alteration and regional implication. *Precambrian Research*, 119: 225–256.
- Juliani, C.; Rye, R.O.; Nunes, C.M.D.; Snee, L.W.; Corrêa-Silva, R.H.; Monteiro, L.V.S.; Bettencourt, J.S.; Neumann, R.; Alcover Neto, A., No prelo. Paleoproterozoic volcanic-hosted quartz-alunite epithermal deposits in the Tapajós Gold Province, Amazonian Craton, Brazil. *Chemical Geology*.
- Klein, C. & Hurlbut, C.S.J., 1993. *Manual of Mineralogy (After J. D. Dana)*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Juliani, C.; Monteiro, L.V.S.; Bettencourt, J.S.; Corrêa-Silva, R.H., 2004a. Paleoproterozoic epithermal high- and low-sulfidation and porphyry-related Au mineralizations in the Tapajós Gold Province, Brazil: exploration prospectives. In: Simpósio Brasileiro de Exploração Mineral. ADIMB/DNPM/SBGf/SBG. *Memória... Ouro Preto* [CD-ROM].
- Juliani, C.; Bettencourt, J.S.; Monteiro, L.V.S., 2004b. Modelos conceituais de depósitos paleoproterozóicos *high- e low-sulfidation* (Au; Cu-Mo±Au) e do tipo pórfiro (Au-Cu; Cu-Mo) na Província Aurífera do Tapajós (PA). In: Congresso Brasileiro de Geologia, 42. *Anais...*, Araxá [CD-ROM].
- Kesler, S.E.; Cryssoulis, S.L.; Simon, G., 2002. Gold in porphyry copper deposits: its abundance and fate. *Economic Geology* 21: 103–124.
- Klein, E.L. & Vasquez, M.L., 2000. *Geologia e recursos minerais da Folha Vila Riozinho - SB.21-Z-A. Estado do Pará Escala 1:250.000*. Nota explicativa. In: E.L. Klein (Ed.), Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. PROMIM Tapajós/CPRM, Brasília. [CD-ROM]
- Lamarão, C.N.; Dall'Agnol, R.; Lafon, J.M.; Lima, E.F., 2002. Geology, geochemistry and Pb-Pb zircon geochronology of the paleoproterozoic magmatism of Vila Riozinho, Tapajós Gold Province, Amazonian Craton, Brazil. *Precambrian Research*, 119: 189–223.
- Lamarão, C.N.; Lafon, J.M.; Lima, E.F., 1999. As associações vulcânicas e plutônicas de Vila Riozinho e Morais Almeida, Província Aurífera do Tapajós, SW do Estado do Pará. Simpósio Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados, 1. *Boletim de Resumos...*, Gramado, p. 93.
- Leake, B.E. et al. Nomenclature of amphiboles: Report of subcommittee of amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and minerals names. *American Mineralogist*, 82, 1019–1037.
- MacKenzie, W.S. & Adams, A.E., 1994. *A color atlas of rocks and minerals in thin section*. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Melgarejo, J.C., 1997. *Atlas de asociaciones minerales en lámina delgada*. Edicions de La Universitat de Barcelona, Barcelona.
- Nunes, C.M.D., 2001. *Caracterização de um sistema epitermal high-sulfidation paleoproterozóico na Província Aurífera do Tapajós, Pará*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Nunes, C.M.D.; Juliani, C.; Corrêa-Silva, R.H.; Bettencourt, J.S.; Jacobi, P., 2000. Paleoproterozoic quartz-alunite epithermal gold mineralization from Tapajós (Brazil), In: International Geological Congress, 31. *Abstracts...*, Rio de Janeiro, Brazil. [CD-ROM]
- Nunes, C.M.D.; Juliani, C.; Corrêa-Silva, R.H.; Monteiro, L.V.S.; Bettencourt, J.S.; Neumann, R.; Alcover Neto, A.; Rye, R.O., 2001. Caracterização de um sistema epitermal *high-sulfidation* vulcânico paleoproterozóico da Província Aurífera do Tapajós, Pará. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 7. *Resumos...*, Belém. [CD-ROM]
- Pessoa, M.R.; Santiago, A.F.; Andrade, A.; Nascimento, J.O.; Santos, J.O.; Oliveira, J.R.; Lopes, R.C.; Prazeres, W.V., 1977. *Projeto Jamaxim. Relatório Final*. 1(A), DNPM/CPRM.
- Porter, T.M., 2001. An overview of the world's porphyry and other hydrothermal copper & gold deposits and their distribution. http://www.portergeo.com.au/conferences/porph_hyd_cu_au/abstracts/porphpref.pdf.
- Rambrag, G.E. & Santos, J.O.S., 1974. O Grupo Uatumã. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 28,

- Anais..., Porto Alegre, p. 87–94.
- Ricci, P.S.F., Santos, A., Klein, E.L., Jorge-João, X.S., Martins, R.C., 1999. Suíte Intrusiva Creporizão - Província Tapajós: proposta e critérios de definição. In: S.N. Norte (Editor), Simpósio de Geologia da Amazônia, 6. *Anais...*, Manaus, p. 519–522.
- Rowins, S.M., 2000. Reduced porphyry copper-gold deposits: a new variation on an old theme. *Geology* 28, 491–494.
- Santos, D.B.; Fernandes, P.E.C.A.; Dreher, A.M.; Cunha, F.B.; Basei, M.A.S.; Teixeira, J.B.G., 1975. *Geologia - Folha SB.21 Tapajós*, Projeto RADAM, Levantamento de recursos naturais 7, DNPM, Rio de Janeiro, p. 15–99.
- Santos, J.O.S.; Groves, D.I.; Hartmann, L.A.; Moura, M.A.; McNaughton, N.J., 2001. Gold deposits of the Tapajós and Alta Floresta Domains, Tapajós–Parima orogenic belt, Amazon Craton, Brazil. *Mineralium Deposita*, 36: 453–488.
- Santos, J.O.S., Hartmann, L.A.; Gaudette, H.E., 1997. Reconnaissance U/Pb in zircon; Pb/Pb in sulfides and review of Rb/Sr geochronology in the Tapajós Gold Province; Pará/Amazonas States, Brazil. South American Symposium on Isotope Geology. *Extended abstracts...*, Campos de Jordão, p. 280–282.
- Santos, J.O.S.; Hartmann, L.A.; Gaudette, H.E.; Groves, D.I.; MacNaughton, N.; Fletcher, I.R., 2000. A new understanding of the Provinces of the Amazon Craton based on integration of field mapping and U–Pb and Sm–Nd geochronology. *Gondwana Research*, 3: 453–488.
- Santos, J.O.S. & Loguércio, S.O.C., 1984. A parte meridional do Cráton Amazônico (Escudo Brasil Central) e as bacias do Alto Tapajós e Parecis-Alto Xingu. In: C.C. Schobbenhaus, D. A.; Derze, G. R.; Asmus, H. E. (Eds.), *Geologia do Brasil: Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Adjacente Incluindo Depósitos Minerais, Escala 1:2.500.000*. DNPM/MME, Brasília, p. 93–127.
- Sillitoe, R.H., 1973. The tops and bottoms of porphyry copper deposits. *Econ. Geol.* 68, 799–815.
- Silva, A.R.B. da, 1984. Províncias auríferas do Estado do Pará e Território Federal do Amapá. Congresso Brasileiro de Geologia, 33, SBG, Rio de Janeiro, p. 3945–3948.
- Silva, G.G.; Lima, M.I.L.; Andrade, A., F.; Issler, R.S.; Guimarães, G., 1974. *Geologia - Folha SB.22 Araguaia e parte da SC.22 Tocantins*. Projeto Radam, Levantamentos de recursos minerais 4, Rio de Janeiro, p. 1–60.
- Tröger, W.E., 1979. *Optical determination of rock-forming minerals*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Vasquez, M.L. & Klein, E.L., 2000. *Geologia e recursos minerais da Folha Rio Novo - SB.21 - Z- C. Estado do Pará Escala 1:250.000*. Nota explicativa. Projeto Especial Província Mineral do Tapajós. PROMIM Tapajós/ CPRM, Brasília. [CD-ROM]

De acordo:

Jonas Mota e Silva

Caetano Juliani

ANEXO I

Listagem dos pontos de afloramentos visitados durante o trabalho de campo

ANEXO 1

Pon. º	UTM		Localização	Litotipo	Estruturas	Demais obs.
	UTM_x	UTM_y				
01	634162	9301140	Mina Subterrânea	Granito Palito	-	Mineralização de ouro associado a sulfetos em veios de quartzo. Alteração hidrotermal sericitica, propilitica e potássica nas bordas.
02	635718	9301115	Lajedo de rocha entre Serabi e Rio Novo	Granito Rio Novo	J ₁ 354 68 346 65 184 85 352 65 342 74 J ₂ 47 80 40 78 33 79	Rocha sob alteração potássica.
03	635727	9300488	Afloramento entre Serabi e Rio Novo	Granito Rio Novo	J ₁ 340 50 (40 25)	Rocha sob alteração potássica.
04	636228	9300326	Blocos rolados entre Serabi e Rio Novo	Granito Rio Novo	-	Ponto de controle litológico. Rocha sob alteração potássica.
05	630465	9300195	Afloramento na beira do Rio Novo	Granito Rio Novo	J ₃ 240 75 232 72 J ₄ 290 62 319 83 J ₅ 135 30	Forte estruturação rúptil sub-horizontal. Rocha com pouca alteração potássica. Primeira vez em que aparece horblenda nesta rocha. Anteriormente só como pseudomorfo.
06	-	-	Afloramento à NW da Serabi. Região do acampamento Explorer.	Granodiorito	-	Rocha mostra alteração potássica em pequenos influxos localizados. Presença de plag. esverdeado (sauceritização).
07	-	-	Afloramento em peq. drenagem. Região do acampamento Explorer	Pórfiro riódacítico / Granodiorito	-	Duas rochas em contato (visto em planta) irregular ao longo da drenagem N-S, falhado por estruturas NEE-SWW.
08	632982	9301751	Afloramento em região do acampamento Explorer	Granodiorito	J ₁ 350 65 J ₂ 55 85	-
09	633556	9301275	Grande afloramento contínuo em trincheira dentro da Serabi.	Granito Palito	J ₁ 340 52 (268 22) J ₂ 40 81 (138 23)	Forte presença de descontinuidades sub-horizontais. Fraturamento singular, ou, pequenos sistemas para diversas direções. Veio de quartzo com potassificação, sulfetização, cloritização e seritização
10	219634174	9301469	Garimpo do Chico da Santa	Granito Rio Novo	-	Blocos retirados de poço. Rocha alterada, bastante caulizada.
11	634126	9301517	Garimpo do Chico da Santa	Granito Rio Novo	-	Textura xenomórfica, aglomerados máficos e qtz com borda de corrosão.
12	634226	9301752	Garimpo do Chico da Santa	Granito Rio Novo	-	Poucos blocos no chão de estrada.
13	634418	9302312	Garimpo do Pelé	Riolito	-	Rocha porfírica com megacristais de qtz (arredondado e bi-piramidal) e feld euhédrico. Matriz muito fina / vítrea.
14	-	-	Encosta de morro íngreme, entre Pelé e Serabi	Granito Rio Novo	-	Pequeno bloco de rocha alterada em colúvio.
15	-	-	Estrada entre Pelé e Serabi	Granito Rio Novo	-	Peq. bloco em estrada.
16	634335	9301215	Topo de encosta N da Serabi (antena)	Granito Rio Novo	-	Alteração potássica esporadicamente presente.
17	634837	9301901	Picadas ao N da Serabi	Granito Rio Novo	-	-
18	634414	9302250	Picadas ao N da Serabi	Granito Rio Novo	J ₂ 40 78 veio // J ₁ 340 71	Granito com anf + bio, cortado por veio de qtz (~1cm)
19	634770	9302595	Estradas por divisas de terra da Serabi	Granito Rio Novo	-	Bloco na estrada
-	634296	9302013	Estradas por divisas de terra da	-	-	Ponto de controle de caminhamento

			Serabi			
20	634061	9301544	Garimpo do Chico da Santa	Granito	-	Blocos em rejeito de extração de ouro em poço.
21	-	-	Cooper Hill, perto do acampamento Explorer	Granodiorito magnético	-	Blocos em drenagem entalhada
22	631992	9302110	Cooper Hill, perto do acampamento Explorer	Pórfiro granodiorítico o muito magnético	-	Linha 11080 a 300m para SW
-	632931	9300409	Estradas de madeiros à W da Serabi	-	-	Ponto de controle de caminhamento
-	632610	9301001	Estradas de madeiros à W da Serabi	-	-	Ponto de controle de caminhamento
-	632693	9301313	Estradas de madeiros à W da Serabi	-	-	Ponto de controle de caminhamento
-	632082	9301387	Estradas de madeiros à W da Serabi	-	-	Ponto de controle de caminhamento
23	631996	9301450	Estradas de madeiros à W da Serabi	Granitóide porfiritico magnético	-	Magacristais de feldspato, biotita e anfibólio cloritizado. Enclaves ansíticos (Fm. Bom Jardim?) arredondados com borda de reação.
-	631799	9301462	Estradas de madeiros à W da Serabi	-	-	Ponto de controle de caminhamento
24	631840	9301691	Estradas de madeiros à W da Serabi	Granodiorito magnético / Pórfiro magnético	-	-
-	631928	9302101	Estradas de madeiros à W da Serabi	-	-	Ponto de controle de caminhamento
25	631829	9302021	Drenagem na região da linha 11110 (560m para SW)	Granito porfiritico / Granodiorito / Aplito	-	Matações dispersos.
26	-	-	Drenagem na região da linha 11110 (620m para SW)	Gabro / Pórfiro riolítico	-	Matações dispersos. Brecha hidrotermal corta tudo. Xenólito de granito no gabro.
27	634163	9301162	Ao lado do escritório central na Serabi	Granito Palito	J6 100 62 (100 25) 130 58 J7 243 12	Alteração argílica.
28	634098	9301312	Planta da Serabi	Granito Rio Novo	-	-
29	633854	9301399	Planta da Serabi	Granito Palito ?	J8 252 72 J9 142 40 veio // J9 144 75 (70 57)	<ul style="list-style-type: none"> Alteração argílica. Bandas horizontais cauliníticas (~ 2cm)
30	633832	9301416	Planta da Serabi	Granito Palito ?	-	<ul style="list-style-type: none"> Alteração argílica.
31	633772	9301412	Planta da Serabi	Granito Palito	J1 327 85 J9 138 35 115 50 105 47 140 58 (222 34)	<ul style="list-style-type: none"> Indicadores inversos rúpteis (Riedel) Indicadores normais mais discretos nos feldspatos
32	634066	9304008	Estrada Serabi-Jardim do Ouro	Gabro	-	<ul style="list-style-type: none"> Solo evidencia começo de corpo gabróide
33	634193	9304765	Estrada Serabi-Jardim do Ouro	Gabro	-	<ul style="list-style-type: none"> Rejeito de garimpo
34	634193	9304765	Rio Jamanxim	Gabro	ZC1 74 82 52 85 54 85 112 80 233 80 (161 40) ZC2 307 74 (s)	<ul style="list-style-type: none"> Juntas esparsas em 2 direções principais (ZCs?)

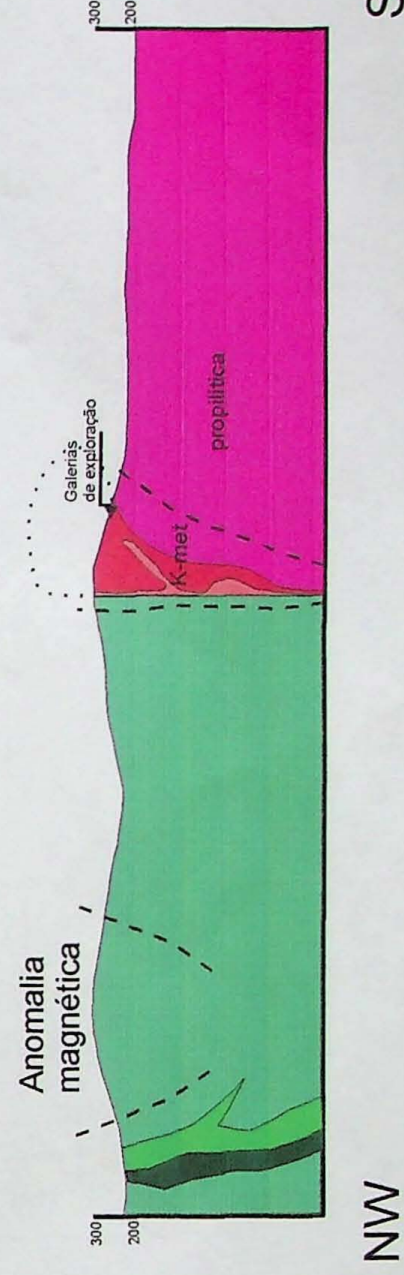
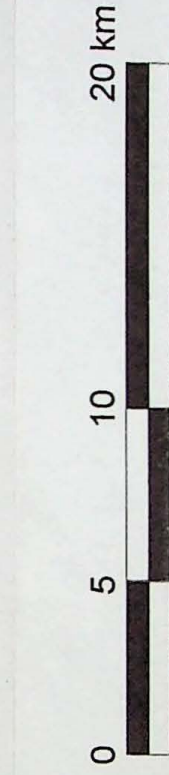
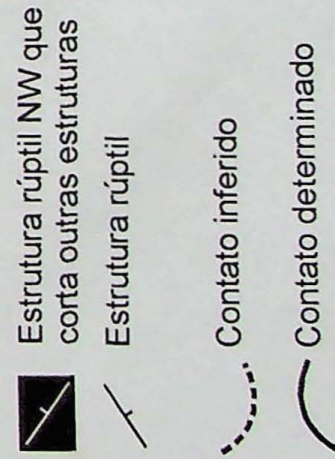
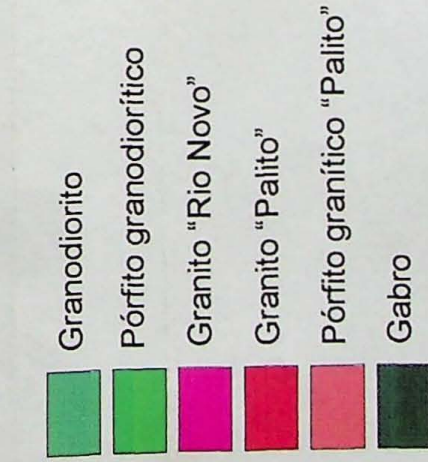
					310 78 (s)	
35	636893	9305005	Rio Jamanxim	Granito Rio Novo	-	-
36	636681	9304704	Rio Jamanxim / Rio Novo	Granito Rio Novo	ZC1 60 87 ZC2 120 82 132 87 outras 105 25 107 29 (80 27) 13 87	• ZC1 falha ZC2
37	637086	9304120	Rio Jamanxim / Rio Novo	Granito Rio Novo	ZC2 308 58 (355 40) ZC1 40 60 (118 02) outras 164 72	• ZC1 falha ZC2 • Forte potassificação • ZC2 sinistrógira
38	638166	9303004	Rio Novo	Granodiorito magnético	ZC1 30 84 ZC2 130 61 outras 212 82 76 40 325 44	• Magnetismo pode estar comprometendo medidas
39	638885	9301970	Rio Novo	Granodiorito magnético	ZC1 138 82 ZC2 327 67	• Magnetismo pode estar comprometendo medidas • Rocha bastante cisalhada em N60 e N305
40	-	-	Rio Novo	Granodiorito magnético	-	• Rocha com alta porcentagem de máficos ~ 30% • Cisalhamento ~ N45
41	639311	9301009	Rio Novo	Gabro	-	• Porções afaníticas e arredondadas (pillow? Ultramáfica?) • Intenso sistema de venulação em complexo trama estrutural
42	639277	9300846	Rio Novo	Granito Palito	-	• Bastante potassificado
43	639038	9300450	Rio Novo	Granito Palito	F1 73 71 57 53 F2 06 68 F3 132 80	• F1 falha F2 e F3
44	638517	9300057	Rio Novo	Granito Palito	Fa 347 70 Fba 242 72 Fbb 34 60	• Fb corta Fa em movimento dextral • Presença de qtz prismático (bipiramidal?)
45	637898	9299165	Garimpo do Cícero	Granito Rio Novo	-	-
46	638023	9300191	Rio Novo	Granito Rio Novo	-	-
47	631949	9307937	Estrada Trans-garimpeira	Pórfiro granodiorítico?	-	• Megacristais de epidoto • Vênulas de clorita
48	628867	9398119	Estrada Trans-garimpeira	Cascalho laterita	-	-
49	622113	9298211	Estrada Trans-garimpeira	Tufo de cristais	S0? 03 33 347 63 06 38	• Grãos de qtz arredondados e bipiramidados
50	-	-	Estrada Trans-garimpeira	Granito?	-	• Alt. Hidrotermal clorítica, aumentando o IC~4 para IC~10
51	619069	9295086	Estrada Trans-garimpeira	Granito Maloquinha?	-	• Intensa potassificação • Plag. zonado • Máficos anédricos concentrados em aglomerados
52	618531	9294452	Estrada Trans-garimpeira	Granito?	-	• Xenólito de rocha básica / intermediária
53	818202	9293733	Estrada Trans-garimpeira	Granito?	-	• Dique (~20cm) em contato irregular de rocha granodiorítica
54	618381	9291584	Estrada Trans-garimpeira	Granitoi?	-	-

55	616258	9290740	Estrada Trans-garimpeira	Granodiorito	-	<ul style="list-style-type: none"> Semelhante à rocha do dique do pto 53
56	-	-	São Jorge (cuurutela)	Monzo-granito	-	<ul style="list-style-type: none"> Rocha isenta ou com pouca alt. Hidrotermal Veios de qtz associam-se à potassificação, epidotização e sulfetização
57	613286	9289803	Estrada Trans-garimpeira	Granito?	-	<ul style="list-style-type: none"> Xenólito de rocha básica / intermediária
58	613158	9289139	Estrada Trans-garimpeira	Granito?	-	-
59	613282	9287741	Estrada Trans-garimpeira	Granito?	-	-
60	610328	9282527	Estrada Trans-garimpeira	Tufo vulcânico	S0 (dobra aberta) 166 37 160 29 147 19 141 16 137 11 122 12 S0 154 25 ZC 146 66 171 60	<ul style="list-style-type: none"> Cristais com estruturas de impacto Estruturas invertidas, flanco invertido? Plano ZC preenchido por material porcelânico (sílica amorfa?)
61	633531	9301608	Serabi	Granito Palito	-	<ul style="list-style-type: none"> Veios preferenciais de alt. Hidrotermal com potassificação, propilitização, sericitica e argílica Fraturamento caótico, para todas direções imagináveis ZC tardia superpondo tudo?
62	639133	9299375	Garimpo do Pingo	Granodiorito magnético	-	-
63	639228	9298850	Garimpo do Pingo	Granito Rio Novo	Fx 212 85 201 88 207 88 201 85 Fy 252 88 240 88	<ul style="list-style-type: none"> Potassificado
64	639025	9298736	Garimpo do Pingo – Galeria do Romildo	Granito Rio Novo	-	<ul style="list-style-type: none"> Veio de quartzo em rocha alterada com alteração hidrotermal associada.
65	639025	9298711	Garimpo do Pingo – Poço do Uziel	Granito Rio Novo	-	<ul style="list-style-type: none"> Veio de quartzo em rocha alterada com alteração hidrotermal associada.
66	637435	9300599	Rio Novo	Granito Rio Novo	ZCx 04 80 Fz 32 60	<ul style="list-style-type: none"> Modelo de fraturamento de Riedel associado à ZC
67	636577	9299736	Rio Novo	Granito Rio Novo	J1 328 80 J2 48 78	<ul style="list-style-type: none"> J2 falha em mov. Dextral a J1 J2 é o cisalhamento principal, em feixes de 2m até 20cm, espessados por 5m um do outro
68	636094	9298384	Rio Novo	Pórfiro granítico? Riólito?	ZC4 270 82 ZC5 08 74	-
69	635701	9298006	Rio Novo	Pórfiro granítico? Riólito?	-	-
70	633812	9301206	Serabi	Granito Palito	-	<ul style="list-style-type: none"> Potassificação e propilitização
71	634100	9300776	Serabi	Granito Rio Novo	-	<ul style="list-style-type: none"> Propilitizado 2 diques de 1m cada (hoje faixa de solo avermelhado) cortam a rocha
72	634734	9300902	Serabi	Granito Rio Novo	-	<ul style="list-style-type: none"> Propilitização de potassificação

ANEXO II

Mapa geológico

ANEXO II



ANEXO III

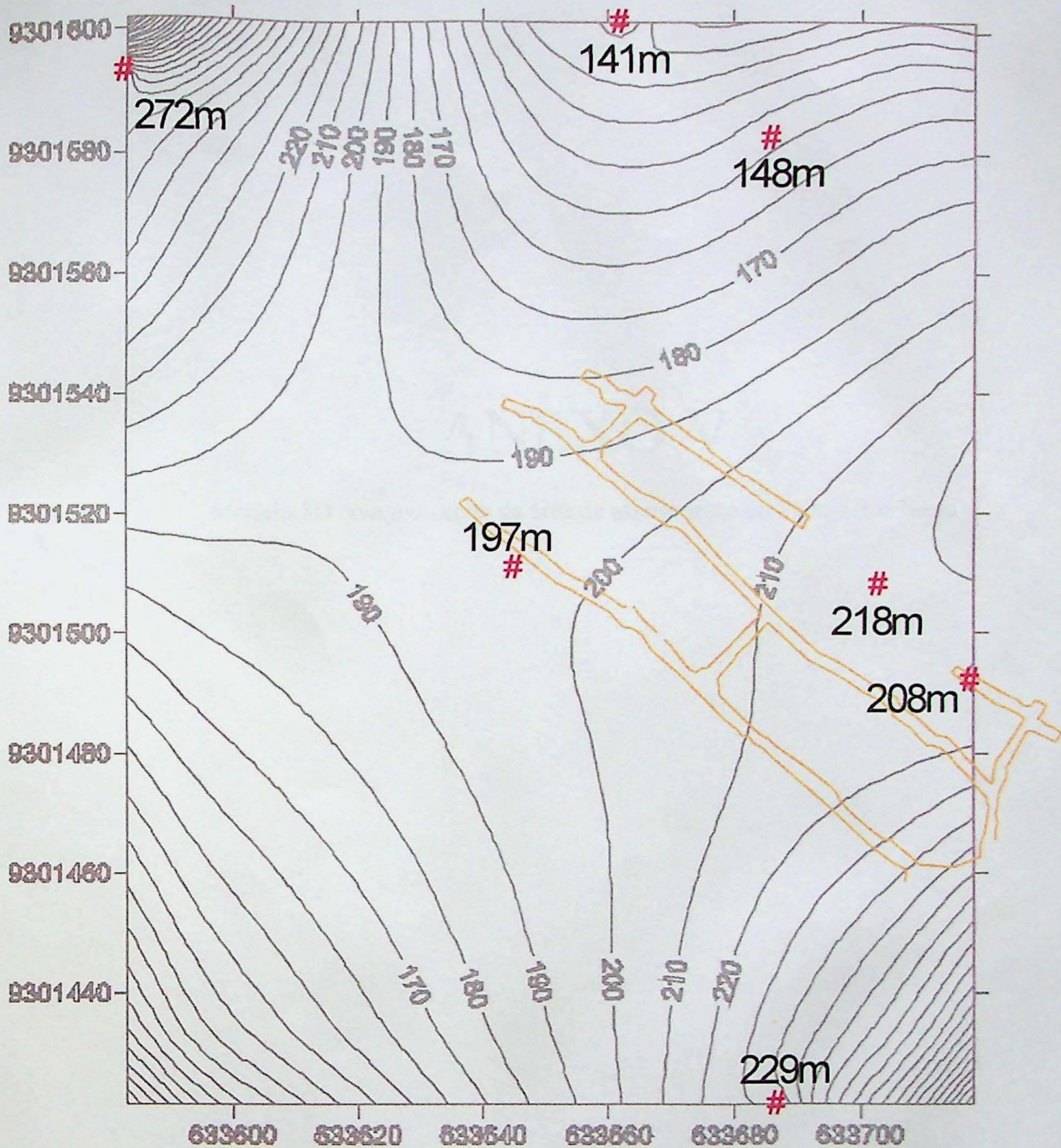
Mapa dos pontos de afloramentos visitados

ANEXO IV


ANEXO IV

Mapa com superfície gerada de contato entre os corpos ígneos

ANEXO IV



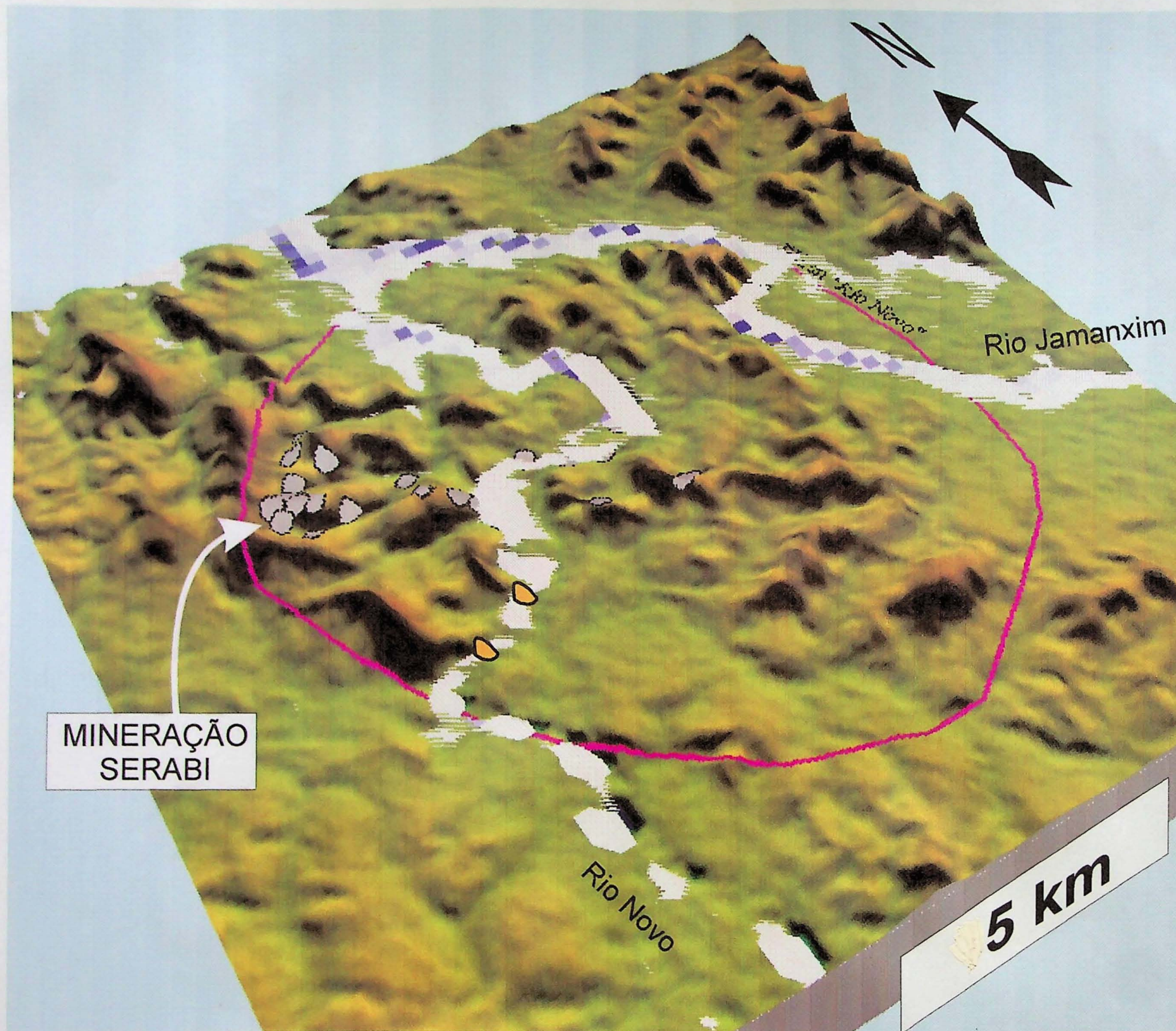
localização das sondagens (X e Y) no ponto de intersecção com o contato entre os corpos ígneos;
ao lado vê-se informação sobre a cota (Z) do contato

 galerias subterrâneas

ANEXO V

Modelo 3D com indicação da área de afloramento do Plúton Rio Novo

ANEXO V



MINERAÇÃO
SERABI

Rio Novo

5 km

Rio Jamanxim

exagero vertical = 5x

área aproximada de
afloramento do Plúton Rio Novo

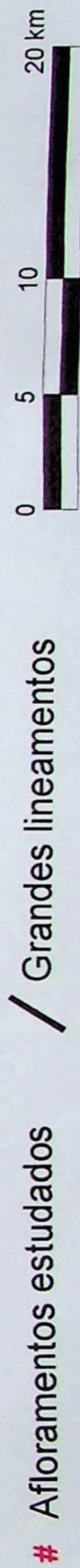
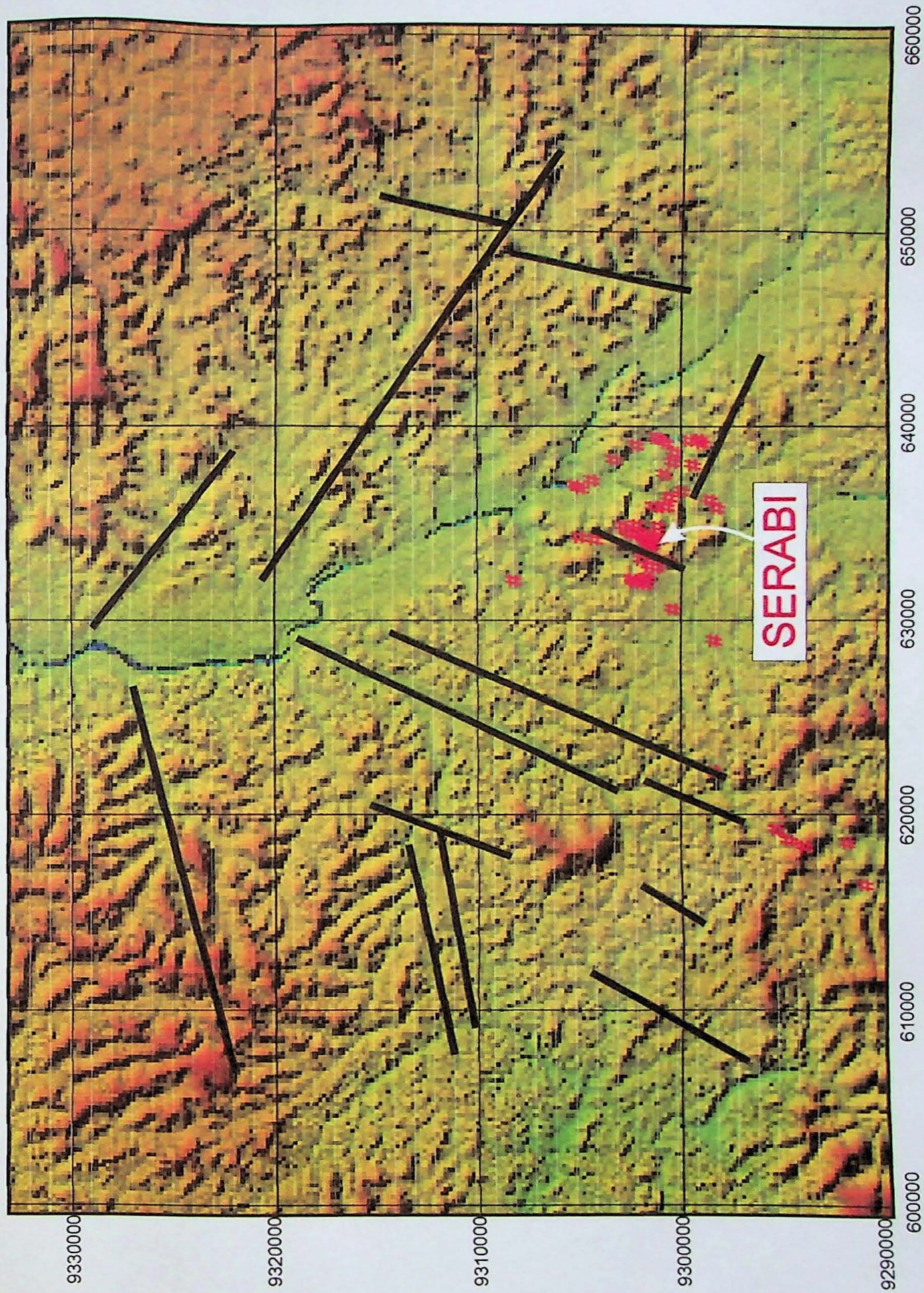
Afloramentos visitados do
Granito Rio Novo

Afloramentos visitados do
Pórfito granítico Rio Novo

ANEXO VI

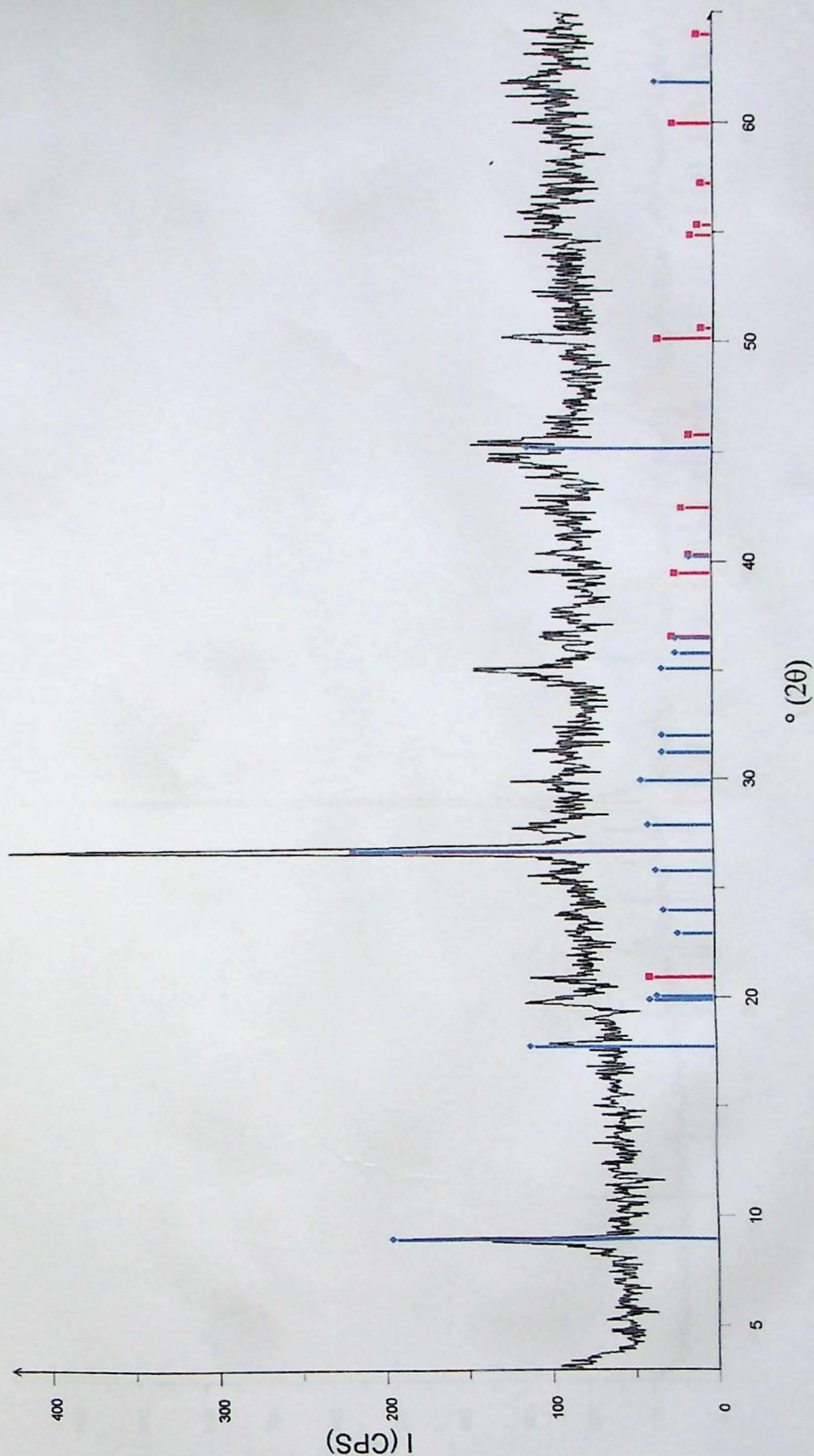
Mapa com indicação dos principais lineamentos presentes na região

ANEXO VI

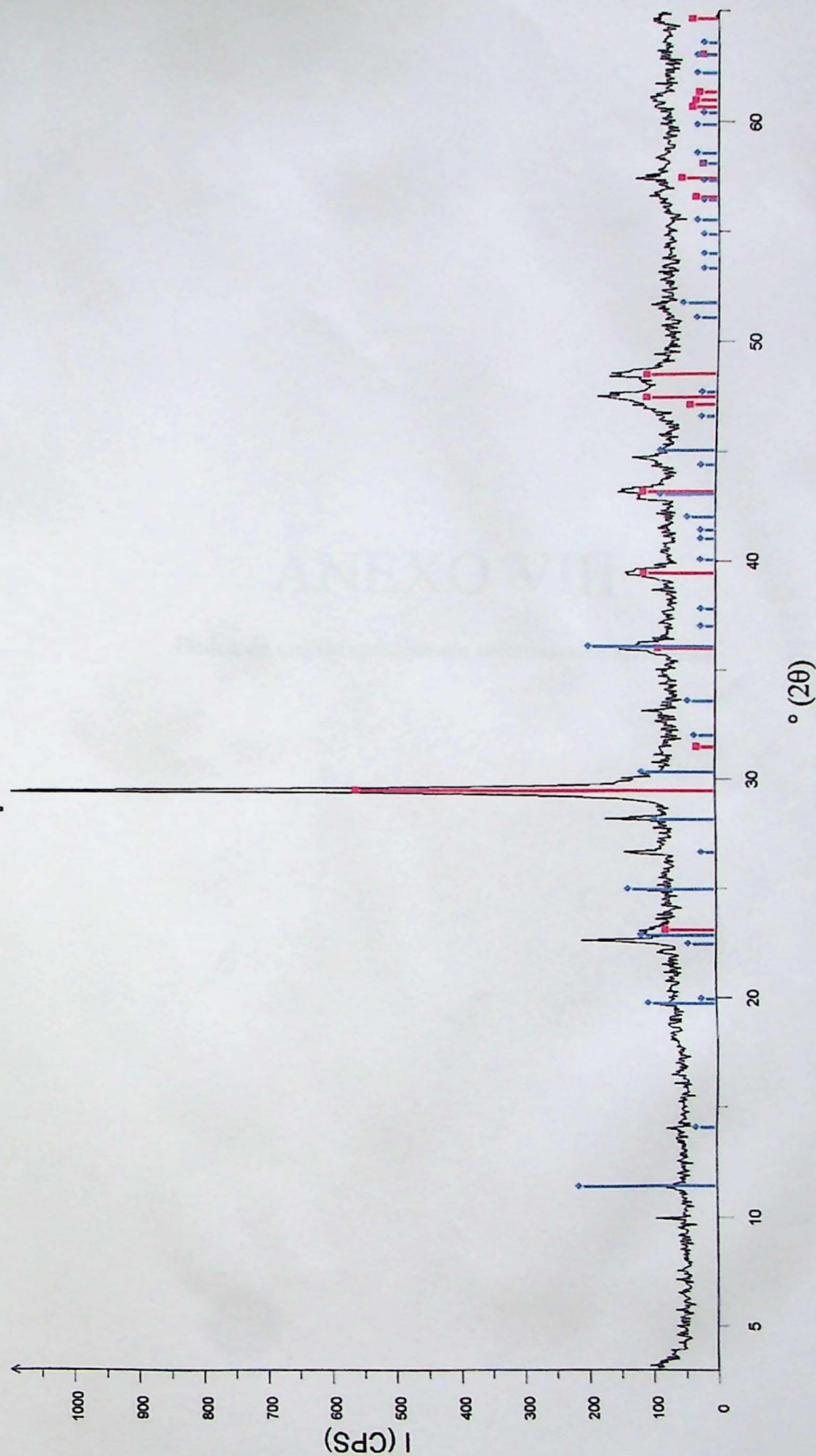


ANEXO VII

Difratogramas de raios X



C:\data\caetano1\RAW - File: 1.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.00 ° - End: 65.00 ° - Step: 0.05 ° - Step time: 1. s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 3.00 ° - Theta: 1.50 ° - Phi: 0.00
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - 0 - I/Ic PDF 3.4 - S-Q 22.7 % -
 26-0911 (I) - Illite-2M1 [NR] - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂ - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - 0 - I/Ic PDF 1. - S-Q 77.3 % -



C:\data\caetano\alunit.RAW - File: alunit.RAW - Type: 2Th/Th locked - Start: 3.00° - End: 65.00° - Step: 0.05° - Step time: 1. s - Temp.: 25°C (Room) - Time Started: 18 s - 2-Theta: 3.00° - Theta: 1.50° -
 05-0586 (*) - Calcite, syn - CaCO_3 - Y: 50.00 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - 0 - J/c PDF 2. - S-Q 57.1 % -
 19-0082 (I) - Fluorapophyllite - $\text{KCa}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}\text{F}_8\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ - Y: 18.75 % - d x by: 1. - WL: 1.54056 - 0 - J/c PDF 1. - S-Q 42.9 % -

ANEXO VIII

Dados de análise química em microsonda eletrônica

Sample Analysis Location Mineral	CJ-73 AMPH BORDA AMP	CJ-73 AMPH NUCLEO AMP
SiO2	41.672	42.383
TiO2	1.18	1.89
Al2O3	9.196	8.647
FeO	26.983	25.162
Cr2O3	-	-
MnO	0.623	0.441
MgO	5.54	5.591
CaO	10.917	10.239
Na2O	1.617	1.625
K2O	-	-
F	0.434	0.817
Cl	0.522	0.172
Total	-	-
O_F_Cl	0.30	0.38
O_F	0.18	0.34
O_Cl	0.12	0.04
H2O	-	-
CTotal	-	-
TSi	6.437	6.646
TAl	1.563	1.354
TFe3	0.000	0.000
TTi	0.000	0.000
Sum_T	8.000	8.000
CAI	0.110	0.243
CCr	0.000	0.000
CFe3	0.900	0.468
CTi	0.137	0.223
CMg	1.276	1.307
CFe2	2.537	2.730
CMn	0.040	0.029
CCa	0.000	0.000
Sum_C	5.000	5.000
BMg	0.000	0.000
BFe2	0.049	0.102
BMn	0.041	0.030
BCa	1.807	1.720
BNa	0.103	0.148
Sum_B	2.000	2.000
ACa	0.000	0.000
ANa	0.382	0.346
AK	0.000	0.000
Sum_A	0.382	0.346
Sum_cat	15.382	15.346
CCl	0.137	0.046
CF	0.212	0.405
OH	-	-
Sum_oxy	23.000	23.000

Sample Analysis Location Mineral	CJ-83 FKA-1 NUCLEO FK	CJ-83 FKA-2 BORDA_IG FK	CJ-83 FKA-3 BORDA_IG FK	CJ-83 FKA-4 BORDA_HT FK
SiO2	65.037	64.748	63.974	64.312
TiO2	0.071	0.01	0	0.117
Al2O3	18.591	18.731	21.082	19.734
Fe2O3	0.115	0.036	0.058	0.104
FeO	0	0	0	0
MnO	0.019	0.009	0.034	0.023
MgO	0	0	0	0
BaO	0.584	0.501	0.163	0.289
CaO	0.036	0.397	2.333	1.015
Na2O	0.975	2.504	5.908	3.919
K2O	15.040	12.884	6.388	10.469
Total	100.47	99.82	99.94	99.98
Si	11.960	11.911	11.521	11.726
Al	4.026	4.058	4.471	4.237
Fe3	0.016	0.005	0.008	0.014
Ti	0.010	0.001	0.000	0.016
Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.003	0.001	0.005	0.004
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000
Ba	0.042	0.036	0.012	0.021
Ca	0.007	0.078	0.450	0.198
Na	0.348	0.893	2.063	1.385
K	3.529	3.024	1.468	2.435
Cations	19.983	20.043	20.010	20.057
X	16.012	15.975	16.000	15.993
Z	3.929	4.032	3.998	4.043
Ab	9.0	22.4	51.8	34.5
An	0.2	2.0	11.3	4.9
Or	90.9	75.7	36.9	60.6

Sample Analysis Location Mineral	CJ-83 FKA-5 KMET FK	CJ-83 FKA-6 KMET FK	CJ-83 FKA-6 KMET FK
SiO2	65.058	64.557	64.557
TiO2	0	0.02	0.02
Al2O3	18.753	18.395	18.395
Fe2O3	0.109	0.496	0.496
FeO	0	0	0
MnO	0	0	0
MgO	0.004	0.058	0.058
BaO	0.367	0.325	0.325
CaO	0.046	0.295	0.295
Na2O	1.704	3.073	3.073
K2O	13.961	11.942	11.942
Total	100.00	99.16	99.16
Si	11.954	11.917	11.917
Al	4.058	3.999	3.999
Fe3	0.015	0.069	0.069
Ti	0.000	0.003	0.003
Fe2	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000
Mg	0.001	0.016	0.016
Ba	0.026	0.024	0.024
Ca	0.009	0.058	0.058
Na	0.607	1.100	1.100
K	3.273	2.812	2.812
Cations	19.969	20.022	20.022
X	16.027	15.988	15.988
Z	3.916	4.010	4.010
Ab	15.6	27.7	27.7
An	0.2	1.5	1.5
Or	84.2	70.8	70.8

Sample Analysis Location Mineral	CJ-73 PLG-B-1 BORDA PLG	CJ-73 PLG-B-2 BOR_NUC PLG	CJ-73 PLG-B-3 NUCLEO PLG	CJ-73 PLG-B-4 NUCLEO PLG
SiO2	63.114	58.99	57.858	57.469
TiO2	0	0.025	0.091	0.051
Al2O3	22.76	25.184	26.687	27.418
Fe2O3	0.428	0.515	0.07	0.139
FeO	0	0	0	0
MnO	0.002	0.03	0	0.012
MgO	0.026	0.043	0.011	0
BaO	0	0	0	0.212
CaO	4.009	7.017	8.604	8.893
Na2O	9.407	7.367	6.356	6.536
K2O	0.314	0.345	0.220	0.2
Total	100.06	99.52	99.90	100.93
Si	11.182	10.599	10.363	10.232
Al	4.749	5.329	5.629	5.749
Fe3	0.057	0.070	0.009	0.019
Ti	0.000	0.003	0.012	0.007
Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.005	0.000	0.002
Mg	0.007	0.012	0.003	0.000
Ba	0.000	0.000	0.000	0.015
Ca	0.761	1.351	1.651	1.696
Na	3.232	2.567	2.207	2.256
K	0.071	0.079	0.050	0.045
Cations	20.059	20.015	19.924	20.036
X	15.988	16.001	16.013	16.007
Z	4.071	4.014	3.911	4.014
Ab	79.5	64.2	56.5	56.4
An	18.7	33.8	42.2	42.4
Or	1.7	2.0	1.3	1.1

Sample Analysis Location Mineral	CJ-73 PLG-B-5 NUCLEO PLG	CJ-73 PLG-B-6 BORDA PLG
SiO ₂	57.069	62.408
TiO ₂	0.127	0.035
Al ₂ O ₃	27.377	24.451
Fe ₂ O ₃	0.075	0.135
FeO	0	0
MnO	0	0
MgO	0	0.007
BaO	0.210	0.078
CaO	9.079	5.323
Na ₂ O	6.164	8.381
K ₂ O	0.203	0.253
Total	100.30	101.07
Si	10.217	10.956
Al	5.772	5.055
Fe ₃	0.010	0.018
Ti	0.017	0.005
Fe ₂	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000
Mg	0.000	0.002
Ba	0.015	0.005
Ca	1.742	1.001
Na	2.140	2.853
K	0.046	0.057
Cations	19.974	19.957
X	16.016	16.034
Z	3.943	3.918
Ab	54.5	72.9
An	44.3	25.6
Or	1.2	1.5

Sample Analysis Location Mineral	CJ-83 PLG-E-1 NUCLEO PLG	CJ-83 PLG-E-2 NUC_BORD PLG	CJ-83 PLG-E-3 KMET PLG	CJ-83 PLG-E-4 KMET PLG
SiO2	68.321	67.509	66.926	61.508
TiO2	0	0.035	0.01	0
Al2O3	19.709	19.543	19.08	19.169
Fe2O3	0.123	0.096	0.347	0.182
FeO	0	0	0	0
MnO	0.036	0.017	0.009	0
MgO	0.004	0.01	0.005	0.008
BaO	0	0.008	0.054	0.314
CaO	0.184	0.111	0.098	0
Na2O	11.231	11.284	8.258	0.155
K2O	0.025	0.032	4.5	15.610
Total	99.63	98.65	99.29	96.95
Si	11.962	11.945	11.963	11.761
Al	4.064	4.072	4.017	4.316
Fe3	0.016	0.013	0.047	0.026
Ti	0.000	0.005	0.001	0.000
Fe2	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.005	0.003	0.001	0.000
Mg	0.001	0.003	0.001	0.002
Ba	0.000	0.001	0.004	0.024
Ca	0.035	0.021	0.019	0.000
Na	3.813	3.872	2.862	0.057
K	0.006	0.007	1.026	3.808
Cations	19.902	19.943	19.945	20.018
X	16.042	16.035	16.028	16.103
Z	3.860	3.907	3.913	3.891
Ab	98.9	99.3	73.3	1.5
An	0.9	0.5	0.5	0.0
Or	0.2	0.2	26.3	98.5

