



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia

Vitor Lamy Mesiano Savastano

Análise petrográfica de alvos identificados por sensoriamento remoto na Província Mineral de Carajás – PA, passíveis da presença de minerais típicos de alteração hidrotermais

Rio de Janeiro

2010

Vitor Lamy Mesiano Savastano

**Análise petrográfica de alvos identificados por sensoriamento remoto na
Província Mineral de Carajás – PA, passíveis da presença de minerais típicos
de alteração hidrotermais**

Trabalho apresentado, como requisito de término do curso de geologia, ao Departamento de Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane

Coorientador: Prof. Dr. Ciro Alexandre Ávila

Rio de Janeiro

2010

FICHA CATALOGRÁFICA

S266 Savastano, Vitor Lamy Mesiano.

Análise petrográfica de alvos identificados por sensoriamento remoto na Província Mineral de Carajás – PA, passíveis da presença de minerais típicos de alteração hidrotermais / Vitor Lamy Mesiano Savastano. – 2010.

xii, 42 f. : il.

Orientador: José Carlos Sícoli Seoane.

Coorientador: Ciro Alexandre Avila.

Monografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia.

1. Petrografia – Monografias. 2. Alterações hidrotermais – Monografias. 3. Geoprocessamento – Monografias. 4. Província Mineral de Carajás. I. Seoane, José Carlos Sícoli. II. Ávila, Ciro Alexandre. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia. IV. Título.

CDU 552

Vitor Lamy Mesiano Savastano

**Análise petrográfica de alvos identificados por sensoriamento remoto na
Província Mineral de Carajás – PA, passíveis da presença de minerais típicos
de alteração hidrotermais**

Trabalho apresentado, como requisito para a
conclusão do curso geologia, ao
Departamento de Geologia do Instituto de
Geociências, Universidade Federal do Rio

Aprovada em 25 de outubro de 2010.

Banca Examinadora: _____

Prof. Dr. José Carlos Sícoli Seoane (Orientador)

Prof. Dr. Ciro Alexandre Ávila (Coorientador)

MSc. Paulo Roberto Alves dos Santos

Rio de Janeiro

2010

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador José Carlos Sícoli Seoane e ao meu coorientador Ciro Alexandre Ávila por toda a paciência e pela confiança em mim depositada para realizar este trabalho de maneira tão breve devido a minha proposta de emprego. Mas principalmente, gostaria de agradecê-los por todo o conhecimento que me transmitiram ao longo da realização deste trabalho.

Ao doutorando Paulo Roberto Alves, agradeço pelo material bibliográfico, figuras e o tempo cedido.

Aos colegas Pedro Henrique Walter e Felipe Nepomuceno por toda a ajuda inicial na análise das lâminas.

Aos professores Júlio Mendes e Cícera Neisy por sempre me emprestarem a chave do laboratório de microscopia e pela bibliografia indicada.

Ao senhor Tarcísio por ter preparado as lâminas petrográficas rapidamente sendo sempre muito solícito.

Agradeço também a minha mãe e amiga Maria Luisa pela enorme ajuda na revisão de texto, formatação, elaboração dos pré-textuais e todo o “arremate” deste trabalho.

E gostaria de agradecer meu pai Jorge Savastano, meu irmão Flávio e meus amigos João Victor Ormonde, Ciro Luporini, Bernardo Mafra, Desirée Faria, Elisa Elena, Pedro Rossi, Pedro Fajardo, os professores Ismar Carvalho, José Mário Coelho e todos aqueles que me deram grande apoio moral para realizar este trabalho e finalmente me tornar um geólogo!

Stay hungry. Stay foolish.

Steve Jobs

RESUMO

SAVASTANO, Vitor Lamy Mesiano. **Análise petrográfica de alvos identificados por sensoriamento remoto na Província Mineral de Carajás – PA, passíveis da presença de minerais típicos de alteração hidrotermais.** 2010. 42 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

No mapeamento geológico de jazidas minerais, a integração de dados adquiridos por geoprocessamento com observações de campo e análise laboratorial são de suma importância para que se chegue à verdadeira natureza da geologia local e regional da área de interesse. O presente trabalho é parte de um estudo realizado na Província Mineral de Carajás, estado do Pará, Brasil. Neste estudo, delimitaram-se áreas de exploração mineral potenciais de Cu e Au, onde minerais indicativos de processos hidrotermais foram reconhecidos através de imagens ASTER e Ikonos. Cerca de 30 anomalias foram delimitadas e visitadas em campo, onde amostras foram coletadas. Destas amostras, nove foram selecionadas para análise petrográfica a fim confirmar a presença destes minerais indicativos, representativas de seis diferentes anomalias, sendo este o objeto de estudo deste trabalho. Os minerais indicativos são: marialita, uma Na-escapolita, e albita (alteração sódica), actinolita e epidoto (alteração sódico-cálcica), biotita (alteração potássica) e clorita (cloritização). Dentre eles estão a albita (alteração sódica) presente nas amostras da anomalia 50 e 83; epidoto (alteração sódico-cálcica) e biotita (alteração potássica) presentes nas amostras da anomalia 50 e 79, e clorita (cloritização) presente nas amostras das anomalias 38, 50, 79, 83 e 122.

Palavras-chaves: Petrografia. Alterações hidrotermais. Geoprocessamento. Província Mineral de Carajás.

ABSTRACT

In the geological mapping of mineral deposits, the integration between GIS data, field observations and laboratory analysis are paramount to reaching the true nature of the area of interest's local and regional geology. This work is part of a wide study of the Carajás Mineral Province, Pará state, Brazil. On this study, areas of mineral exploration potential of Cu and Au were delimited, where indicative minerals of hydrothermal processes were recognized by ASTER and Ikonos images. About 30 anomalies were outlined and visited on the field, where dozens of samples were collected. Of these samples, nine were selected for petrographic analysis in order to confirm the presence of these indicative minerals, representing six anomalies, which is the object of this study. The indicative minerals are: malachite, Na-scapolite and albite (sodic alteration), actinolite and epidote (sodic-calcic alteration), biotite (potassic alteration) and chlorite (chloritic). Among them are albite (sodic alteration) in the samples of the anomaly 50 and 83; epidote (sodic-calcic alteration) and biotite (potassic alteration) in the samples of the anomaly 50 and 79, and chlorite (chloritic) present in the samples of the anomalies 38, 50, 79, 83 and 122.

Keywords: Petrography. Hydrothermal alterations. Geoprocessing. Carajás Mineral Province

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localização da área de estudo (DNIT)	2
Figura 2	Principais províncias do Cráton Amazonas na América do Sul. Área de estudo em vermelho	4
Figura 3	- Mapa geológico-estrutural abrangendo porção oeste adjacente à área de estudo. Observar as subdivisões do Cinturão Cisalhamento Itacaiúnas: S.T Cinzento e S.T Carajás	5
Figura 4	Figura 4 - Mapa litoestrutural da PMC, com principais recursos minerais. Convenções litoestratigráficas (adaptado por Santos <i>et al</i> , 2010, de Rosière <i>et al</i> , 2006, baseado na interpretação de imagens Landsat ETM7 RGB 321, 752 e PC1-52)	7
Figura 5	Mapa geológico da área de estudo	8
Figura 6	Esquema geocronológico das principais unidades litoestratigráficas da Província Mineral Carajás	9
Figura 7 e 8	Imagens representativas dos satélites Terra (NASA), à esquerda e Ikonos à esquerda (Satimaging)	12
Figura 9	Minerais indicadores de mineralização.....	14
Figura 10	Respostas espectrais originais da biblioteca espectral do USGS e convolvidas para a resolução do sensor ASTER	14
Figura 11a	Mina do Sossego, da VALE, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos	16
Figura 11b	Contorno da anomalia sobre a mina	16

Figura 12	Amostra PA-122 RO-A.	18
Figura 13a	(PA-122 RO-A) Detalhe bandamento de hornblenda com dois grãos sendo separados por uma fratura, sendo o grão da esquerda pouco alterado e o da direita totalmente alterado para clorita (nicóis cruzados).....	18
Figura 13b	(PA-122 RO-A) Detalhe bandamento de hornblenda com dois grãos sendo separados por uma fratura, sendo o grão da esquerda pouco alterado e o da direita totalmente alterado para clorita (nicóis paralelos).....	19
Figura 14	Amostra PA-122 RO-B	20
Figura 15a	(PA-122 RO-B): grãos de quartzo e plagioclásio sendo os de plagioclásio fortemente alterados para sericita ou para clorita (nicóis cruzados).....	20
Figura 15b	(PA-122 RO-B): grãos de quartzo e plagioclásio sendo os de plagioclásio fortemente alterados para sericita ou para clorita (nicóis paralelos).....	20
Figura 16	Amostra PA-79 RO-07	21
Figura 17	(PA-79 RO-07) Fenocristal de plagioclásio zonado e sericitizado com aglomerados de epidoto nas bordas (nicóis cruzados).....	22
Figura 18a	(PA-79 RO-07) Fenocristal de plagioclásio sericitizado com acúmulo de grãos de epidoto na borda. Nas fraturas, recristalização de biotita (nicóis cruzados).....	22
Figura 18b	(PA-79 RO-07) Fenocristal de plagioclásio sericitizado com acúmulo de grãos de epidoto na borda. Nas fraturas, recristalização de biotita (nicóis paralelos).....	23
Figura 19	Amostra PA-38 RO-01	24
Figura 20a	(PA-38 RO-01) Hornblenda apresentando sobrecrecimento de provável ferro-actinolita envolta de grãos de clorita muito fina (nicóis cruzados).....	24
Figura 20b	(PA-38 RO-01) Hornblenda apresentando sobrecrecimento de provável ferro-actinolita envolta de grãos de clorita muito fina (nicóis paralelos).	25
Figura 21	Amostra PA-83 RO-06.....	26
Figura 22a	(PA-83 RO-06) Alteração de biotita para clorita (nicóis cruzados).	26

Figura 22b	(PA-83 RO-06) Alteração de biotita para clorita (nicóis paralelos).	27
Figura 23	Amostra PA-83 RO-06.....	28
Figura 24	(PA-83 ALT HIDRO) Plagioclásio sericitizado em contato com feldspato perítico formando <i>chess board albite</i>	28
Figura 25	Amostras PA-50 RO-A (esquerda) e PA-50 RO-B (direita).....	30
Figura 26a	(PA-50 RO-A) Grão hipidiomórfico de biotita e recristalizada ao longo de uma fratura. Além de fenocristais de plagioclásio apresentando sericitização (nicóis cruzados).....	30
Figura 26b	- (PA-50 RO-A) Grão de biotita e recristalizada ao longo de uma fratura. Além de fenocristais de plagioclásio apresentando sericitização (nicóis paralelos).....	31
Figura 27	(PA-50 RO-A) Plagioclásio com alto grau de sericitização associado a feldspato perítico, formando a feição conhecida como <i>chess board albite</i> (nicóis cruzados).....	31
Figura 28a	- (PA-50 RO-B) Biotita hipidiomórfica ao centro apresentando bordas de recristalização, marcada pelo sobrecrescimento de vários grãos submilimétricos de biotita (nicóis cruzados).....	32
Figura 28b	(PA-50 RO-B) Biotita hipidiomórfica ao centro apresentando bordas de recristalização (nicóis paralelos).....	32
Figura 29	(PA-138 RO-02) A direita um fenocristal de quartzo extremamente fraturado e preenchido por opacos ao lado de um aglomerado de um mineral fibroso amarronzado não identificado associado a muscovita (nicóis cruzados).....	33
Figura 30	- Anomalia 122 (Mina de Sossego), com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho	34
Figura 31	Anomalia 79, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho	35
Figura 32	Anomalia 38, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (modificado de Santos, 2010).....	36

Figura 33	Anomalia 83 (Cristalino), com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (modificado de Santos, 2010).....	37
Figura 34	Anomalia 50, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (Santos, 2010).....	38
Figura 35	Anomalia 138, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (modificado de Santos, 2010).....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo	1
1.2	Localização da área de estudo	1
2	CONTEXTO GEOLÓGICO	3
2.1	Geologia regional	3
2.2	Geologia local	6
3	MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1	Conceitos básicos sobre o uso das imagens ASTER e Ikonos	12
3.2	Geoprocessamento, campo e petrografia	13
4	RESULTADOS	17
4.1	Anomalia 38	17
4.1.1	<u>PA-122 RO-A</u>	17
4.1.2	<u>PA-122 RO-B</u>	19
4.2	Anomalia 79	21
4.3	Anomalia 38	23
4.4	Anomalia 83	25
4.4.1	<u>Amostra PA-83 RO-06</u>	25

4.4.2	<u>PA-83 ALT HIDRO</u>	27
4.5	Anomalia 50	28
4.6	Anomalia 138	33
5	DISCUSSÃO	34
5.1	Anomalia 122	34
5.2	Anomalia 79	35
5.3	Anomalia 38	36
5.4	Anomalia 83	37
5.5	Anomalia 50	37
5.6	Anomalia 138	38
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

No mapeamento geológico de jazidas minerais, a integração de dados adquiridos por geoprocessamento com observações de campo e análise laboratorial são de suma importância para que se chegue à verdadeira natureza da geologia local e regional da área de interesse.

O presente trabalho é parte de um estudo realizado na Província Mineral de Carajás, estado do Pará, Brasil. Neste estudo, delimitaram-se áreas de exploração mineral potenciais de Cu e Au, onde minerais indicativos de processos hidrotermais foram reconhecidos através de imagens ASTER e Ikonos. Cerca de 30 anomalias foram delimitadas e visitadas em campo, onde amostras foram coletadas. Destas amostras, nove foram selecionadas para análise petrográfica a fim confirmar a presença destes minerais indicativos, sendo este o objeto de estudo deste trabalho.

1.1 Objetivo

Este trabalho visa realizar um estudo petrográfico expedido em nove amostras de rocha coletadas em levantamento de campo feito no período de 4/8/2009 à 14/8/2009 na Província Mineral de Carajás, estado do Pará, Brasil; com o objetivo de verificar a presença ou não de feições petrográficas indicativas de processos hidrotermais geradores de depósitos tipo óxido de ferro-cobre-ouro (*iron oxide-copper-gold*, IOCG) reconhecidos através de estudos de sensoriamento remoto publicados por Santos *et al.* 2010.

1.2 Localização da Área de Estudo

A área de estudo está localizada na região sudeste do estado do Pará abrangendo parte dos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás, Curionópolis e com uma menor porção a norte no município de Marabá. As principais vias de acesso a área são as rodovias estaduais PA-275, PA-150 e a Ferrovia Carajás (fig.1.1).

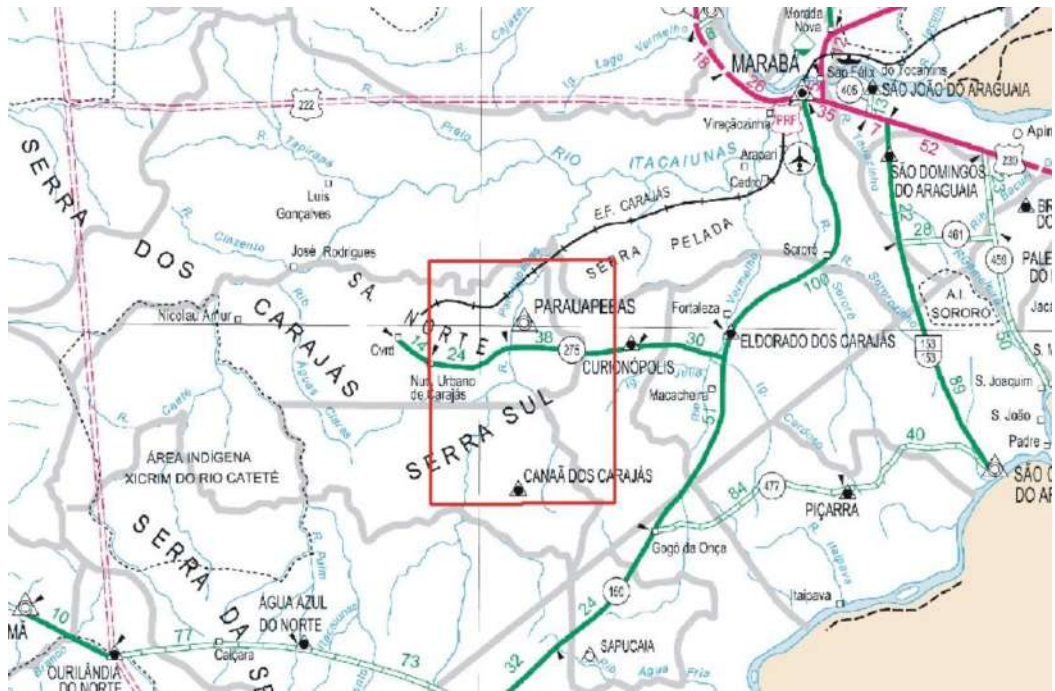


Figura 1- Mapa de localização da área (DNIT).

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

2.1 Geologia regional

A área de estudo situa-se na Província Mineral Carajás (PMC), que por sua vez é inserida na porção sudeste do Cráton Amazônico.

O Cráton Amazônico localiza-se ao norte do continente sul-americano estendendo-se sobre a Guiana Francesa, Guiana e Suriname, partes da Venezuela, Colômbia e Bolívia além da Região Norte e Centro-Oeste do Brasil (Fig. 2). Sua extensão total é de aproximadamente $5,6 \times 10^5 \text{ km}^2$, sendo que boa parte do cráton encontra-se recoberta por sedimentos fanerozóicos (Santos *et al.* 2003).

O cráton é dividido em dois escudos, o das Guianas ao norte e do Brasil-Central ao sul, sendo estes separados pelas rochas sedimentares da bacia paleozóica do Amazonas (Tassirani *et al.* 2000).

A Província de Carajás é a mais importante província mineral do Brasil, contendo depósitos minerais de ferro, cobre, ouro, manganês, níquel, etc. É devido a sua relevância econômica que Carajás é uma das mais bem estudadas áreas do Cráton Amazônico, muito embora ainda seja uma área onde descobertas de novas jazidas ocorrem regularmente. É, portanto fundamental que os estudos sobre a área tenham continuidade.

A região de Carajás foi formada e estabilizada tectonicamente no Arqueano, não tendo esta sido afetada pelo ciclo orogênico Transamazônico (Hurley *et al.* 1967), apresentando as sequências mais antigas e mais bem preservadas do Cráton Amazônico. A província é limitada a leste e a sul pelo cinturão neoproterozóico Araguaia, a norte pela província paleoproterozóica Maroni-Itacaiúnas e a oeste pela província paleoproterozóica da Amazônia Central. A província pode ser subdividida em dois domínios distintos: Rio Maria (Mesoarqueano) ao sul, e Carajás (Neoarqueano) ao norte (Santos *et al.* 2003).

O Domínio Rio Maria é constituído predominantemente por associações tipo granitóide-*greenstone*, com idades na faixa de 2,85–3,05 Ga. A associação mais antiga de tal domínio é o Supergrupo Andorinhas composto por faixas *greenstone* e granitóides do tipo TTG (tonalitos, trondjemitos e granodioritos) como os tonalitos Caracol e Arco Verde. A segunda associação reúne as sequências *greenstone* de

Tucumã, São Felix e Gradaús, com idade 2868 ± 8 Ma (Avelar *et al.* 1999) e granitóides TTG tipo Mogno, Parazônia e Água Fria além dos granitóides calcialcalinos Rio Maria, Xinguara, Mata-Surrão Guarantã. Os granitóides do Complexo Xingu reúnem as unidades litológicas com informações geológicas e isotópicas ainda inconsistentes (Santos *et al.* 2003).

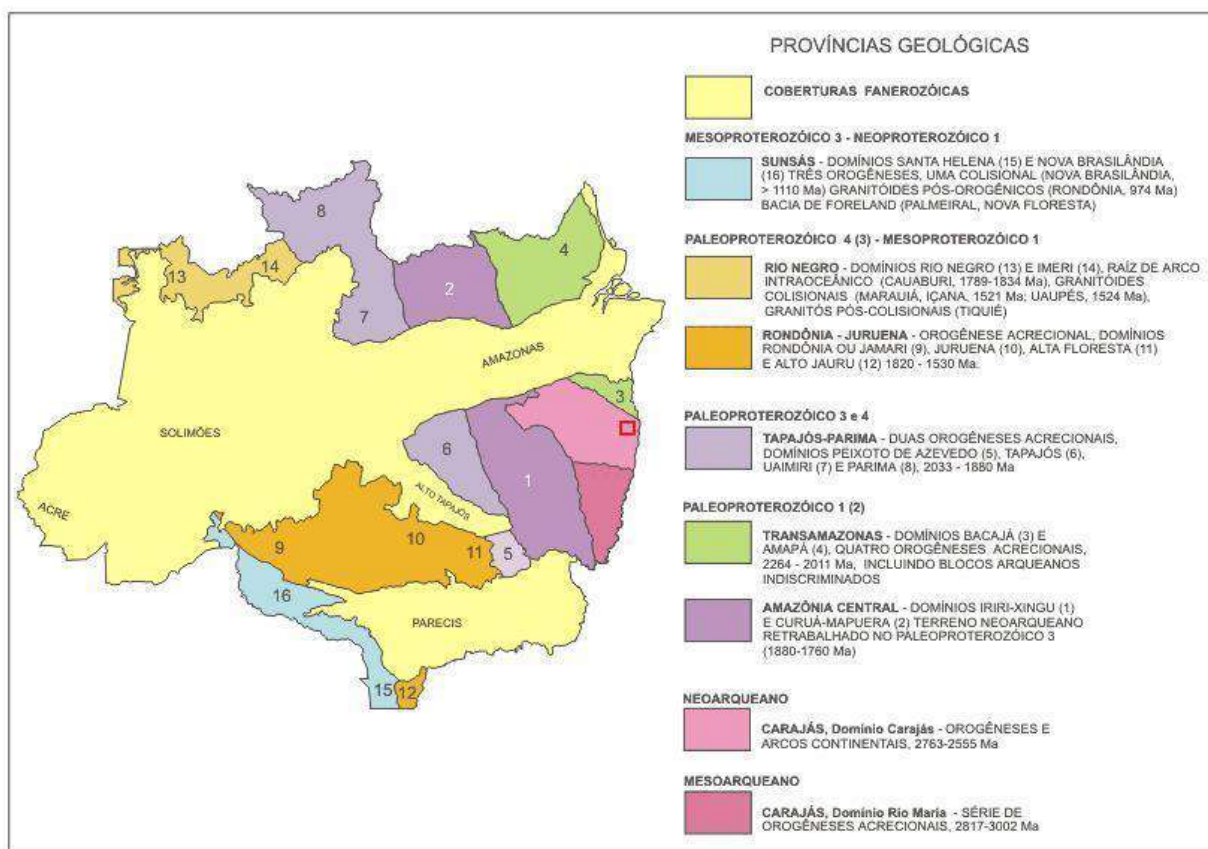
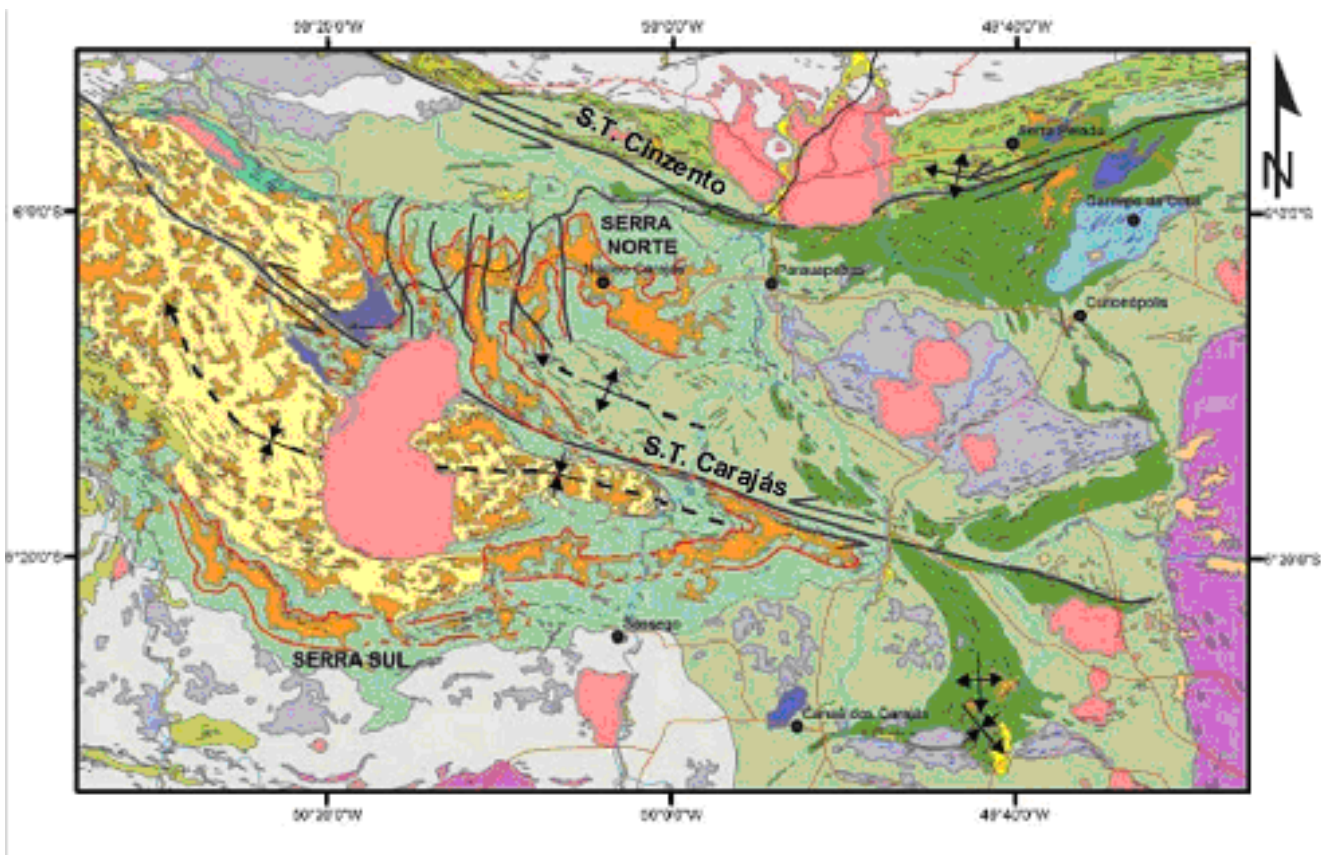


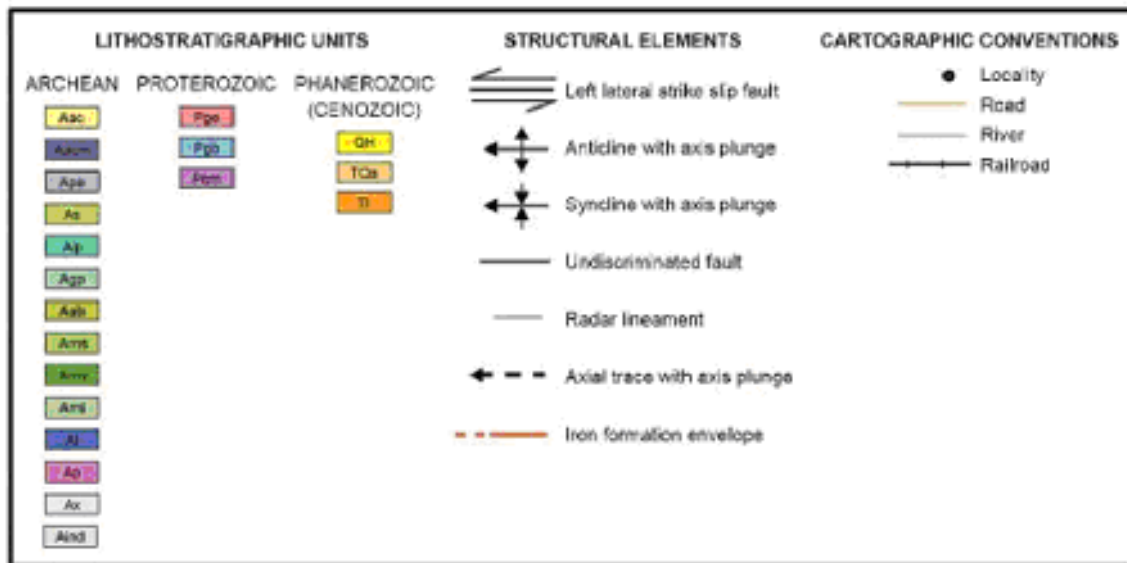
Figura 2 - Principais províncias do Cráton Amazonas na América do Sul. Área de estudo em vermelho. Modificado de Santos *et al.* (2003).

O Domínio Carajás, onde se insere a área de estudo, tem como mais antigas, as rochas do tipo gnaiss de fácies anfibolito e de composição granodiorítica e tonalítica atribuídos ao complexo Xingu e rochas de fácies granulito, correspondendo ao complexo Pium. Apesar dos Complexos Xingu e Pium serem mesoarqueanos o Domínio Carajás é predominantemente neoarqueano e caracterizado por seqüências vulcanossedimentares (Grupo Grão Pará) e granitóides.

Estruturalmente, o domínio engloba rochas inseridas no Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas. Tal domínio estrutural é constituído por dois subdomínios principais: Os Sistemas Transcorrentes do Cinzento e de Carajás (Fig. 3).

O Sistema Transcorrente do Cinzento mostra um movimento sinistral, orientado WNW–ESE (Araújo & Maia, 1991), enquanto que o Sistema Transcorrente de Carajás é representado pela Falha de Carajás, que possui a mesma direção geral de movimento sinistral e comprimento de aproximadamente 200 km, e é composto por feixes de traços descontínuos e curvos com seu término imbricado para sul.





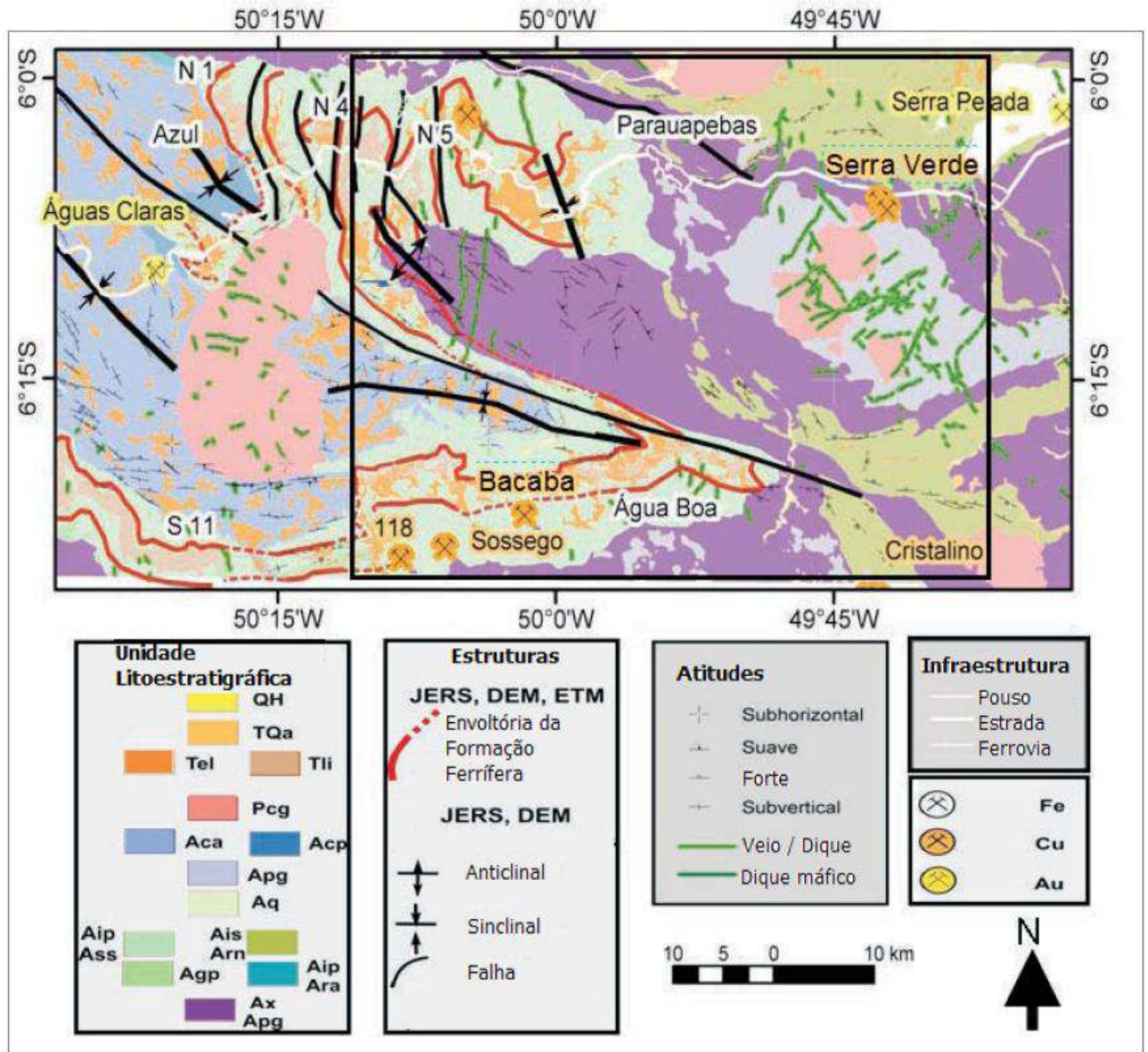
CENOZÓICO: QH – Quaternário-Holoceno: aluvião; TQa – Terciário-Quaternário: sedimentos e laterita; TI – Terceário: carapaças lateríticas; PROTEROZÓICO: Pcm – Supergrupo Araguáia; Pge – Granitos e Granitóides Palaeoproterozoicos; Pgb – Gabros Palaeoproterozoicos; ARQUEANO: Aac – Arenitos arcosianos Formação Águas Claras; Aacm – Pelitos Formação Águas Claras; Ape – Suite Plaqué Granito–Gneisse & Estrela; As – Grupo Sapucaia; Aip – Grupo Igarapé Pojuca; Aip – Grupo Grão Pará; Aab – Rio Bonito Group; Arn – Grupo Rio Novo (não dividido); Arns – Grupo Rio Novo: metasedimentos; Arnv – Grupo Rio Novo: rochas metavolcânicas, amfibolitos, BIFs; Al – Suite Luanga: corpos intrusivos básicos, ultrabásicos; Ap – Complexo Pium: granulitos; Ax – Complexo Xingu; Aind: Unidades Arqueanas não diferenciadas. ELEMENTOS ESTRUTURAIS (*STRUCTURAL ELEMENTS*): Falha transcorrente sinistral (*Left lateral strike-slip fault*); Dobra anticlinal com eixo plunjeante (*Anticline with axis plunge*); Dobra sinclinal com eixo plunjeante (*Syncline with axis plunge*); Falha indiscriminada (*Undiscriminated fault*); Lineamento de radar (*Radar lineament*); Traço axial com eixo plunjeante (*Axial trace with axis plunge*); Envoltória de formação ferrífera (*Iron Formation envelope*); CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS (*CARTOGRAPHIC CONVENTIONS*): Localidade (*Locality*); Estrada (*Road*); Rio (*River*); Estrada de Ferro (*Railroad*).

Figura 3 - Mapa geológico-estrutural abrangendo porção oeste adjacente à área de estudo. Observar as subdivisões do Cinturão Cisalhamento Itacaiúnas: S.T Cinzento e S.T Carajás. Modificado de Rosière *et al.*(2006)

2.2 Geologia local

A área de estudo situa-se no Cráton Amazônico a leste do Escudo Brasil-Central, no Domínio Carajás da província estrutural de mesmo nome. O mapa geológico adotado para área de estudo é uma atualização do mapa de Bizzi *et al.* (2001) feita por Rosière (2006) onde estes apresentam um maior nível de detalhamento da área (Figs. 4). Lobato *et al.* (2002) apresentaram um esquema geocronológico das unidades lito-estratigráficas da Província Mineral Carajás (Fig.

6). Este esquema serve como modelo geocronológico para as unidades de mapeamento contidas na área de estudo.



QH – Quaternário–Holoceno: Fm Araguaia; TQa – Terciário-Quaternário: Fm Araguaia; Tel – Terciário: perfil laterítico erodido; Tli – Terciário: carapaça laterítica; Pcg – Palaeoproterozóico: Granito Central Carajás; Aca – Arqueano: Fm Águas Claras, arcósios-arenitos; Acp – Arqueano: Fm Águas Claras, pelitos; Apg – Arqueano: Suites Plaqué (granito-gnaiss) e Estrela; Aip/Ass – Arqueano: Grupos São Sebastião/Igarapé Pojuca; Ais/Arn – Arqueano: Grupo Igarapé Salobo/Rio Novo; Agp – Arqueano: Grupo Grão Pará; Ax/Apg – Arqueano: Cx Xingu e Suíte Plaqué. Topografia: SRTM 90 m com lineamentos interpretados de refletores de radar e elementos estruturais de campo.

Figura 4 - Mapa litoestrutural da PMC, com principais recursos minerais. Convenções litoestratigráficas (adaptado por Santos *et al*, 2010, de Rosière *et al*, 2006, baseado na interpretação de imagens Landsat ETM7 RGB 321, 752 e PC1-52)

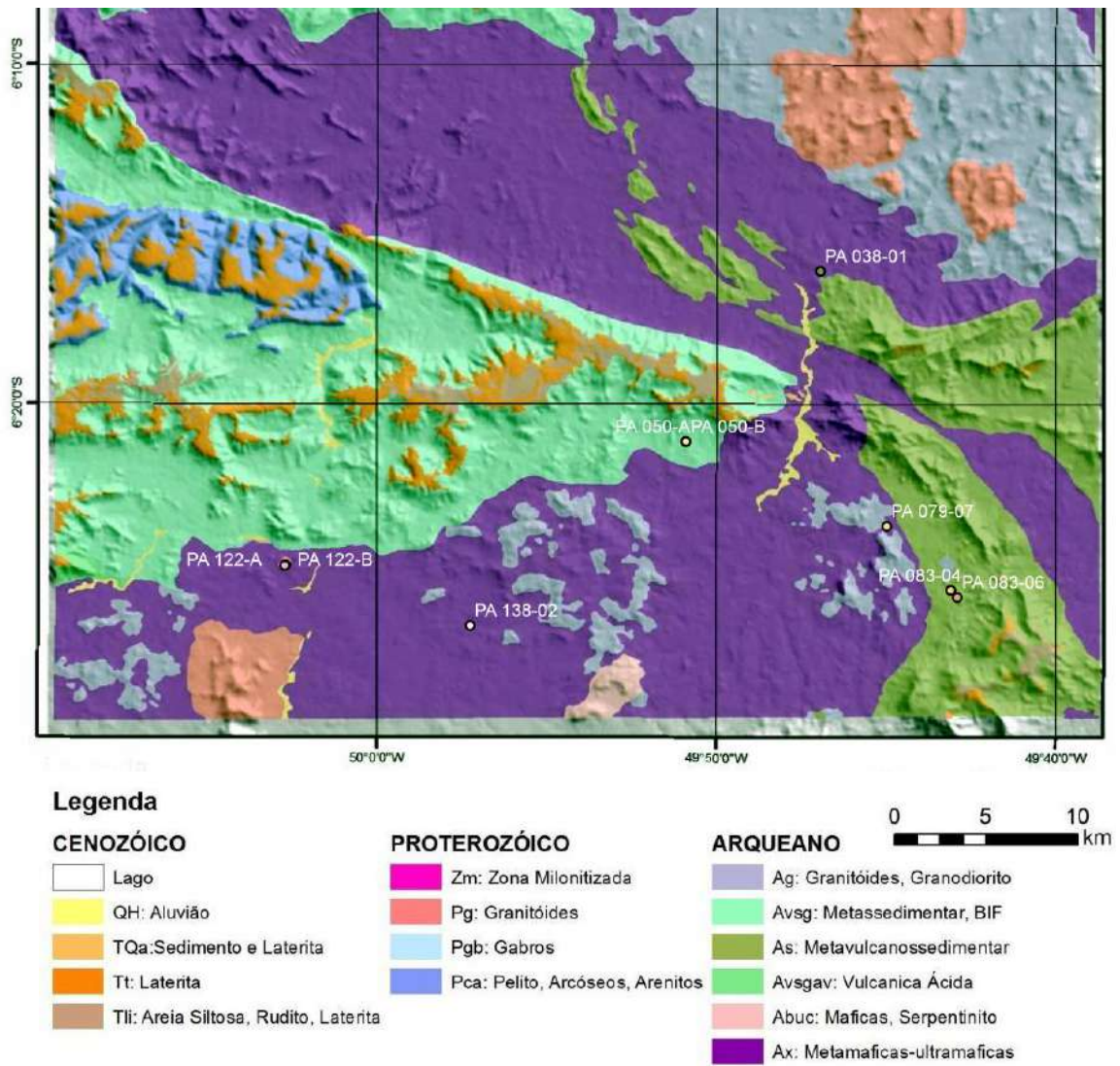


Figura 5 - Mapa geológico da área de estudo, adaptado do recorte de Oliveira (2008) do mapa produzido por Lobato *et al.* (2002).

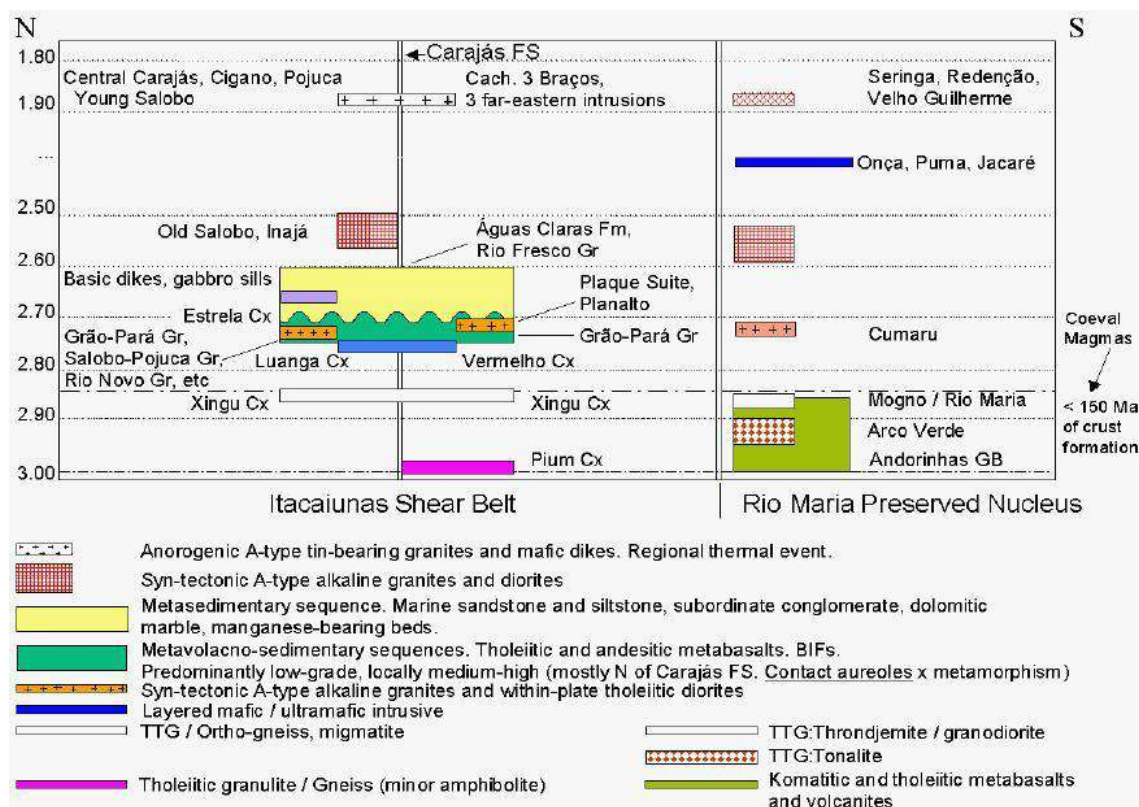


Figura 6 - Esquema geocronológico das principais unidades litoestratigráficas da Província Mineral Carajás (Lobato *et al.*, 2002)

Complexo Xingu: Silva *et al.* (1974) descreve este complexo como gnaisses de fácies anfíbolito de composição granodiorítica a tonalítica com idades atribuídas por Machado *et al.* (1991) de 2859 ± 2 Ma e 2851 ± 4 Ma, sendo considerado o embasamento do Domínio Carajás. No entanto, ao norte do domínio, rochas do mesmo complexo têm idades transamazônicas (Macambira *et al.* 2001). Santos *et al.* (2003) explicam que diversas unidades litológicas mapeadas ao longo do tempo, onde não se tivesse certeza de sua posição estratigráfica e não sendo de origem vulcanossedimentar, eram inseridas como parte do Complexo Xingu. À medida que o mapeamento do Cráton Amazônico se torna mais detalhado e com auxílio dos estudos geocronológicos, diversas unidades litológicas vem sendo diferenciadas deste complexo.

Granito Estrela: O Complexo Granítico Estrela é o mais antigo dos granitos sintectônicos (2763 ± 7 Ma; Barros *et al.* 2001) do Domínio Carajás. Tal complexo inclui

granitos, monzonitos, sienitos e dioritos (Barros, 1977), e possui relação intrusiva em relação às supracrustais Salobo, Pojuca e Grão Pará (Santos *et al.* 2003). Essa intrusão gerou uma espessa auréola de metamorfismo de contato. Esse metamorfismo produziu uma xistosidade com direção E-W e milonitização local nas margens do plúton e nas rochas encaixantes.

Suíte Plaqué: A suíte cálcio-alcalina Plaqué compreende corpos intrusivos graníticos do tipo I e de monzonitos alongados com orientação E-W (Lobato *et al.* 2005). A idade estimada para a intrusão da suíte é de 2,74 Ga (Avelar *et al.* 1999). Os granitos Planalto e Serra do Rabo, além do Diorito Cristalino são, juntamente com a Suíte Plaqué, sin-tectônicos, apresentando relações de campo semelhantes ao Granito Estrela. As diferenças de textura são interpretadas por Lobato *et al.* 2005 como variações de nível crustal e de erosão.

Grupo Grão Pará: O Grupo Grão Pará (Beisiegel *et al.* 1973) é uma sequência vulcano-sedimentar que compreende rochas vulcânicas máficas e félsicas associadas a sedimentos e lentes de FFB's (formações ferríferas bandadas) ou BIF's (termo consagrado do inglês: *banded iron formations*), incluindo jaspilitos, datadas de 2,76 Ga (Santos *et al.* 2003). Três formações são subdivididas do Grupo Grão Pará da base estratigráfica para o topo: a Formação Parauapebas, Formação Carajás e Formação Igarapé Cigarra.

A Formação Parauapebas é uma unidade vulcânica máfica, representada por rochas vulcânicas básicas apresentando predominância de metabasaltos e metadacitos (Araujo & Maia, 1991). A Formação Carajás é uma unidade de jaspilitos intermediária, composta por formações ferríferas bandadas e corpos de minérios de ferro associados. Os jaspilitos apresentam-se em camadas. A Formação Igarapé Cigarra foi descrita por Macambira *et al.* (1990) como sendo uma unidade superior aos jaspilitos formada por rochas metavulcânicas.

As rochas metavulcânicas de composição bimodal (basaltos tholeíticos e vulcânicas cálcio-alcalinhas) e a própria composição química dos basaltos (maiores teores de K, Rb, Ba e ETRL), levaram a Gibbs *et al.* (1986) distingui-los dos basaltos de faixas greenstone e de crosta oceânica. Assim, o Grupo Grão Pará não se encaixaria por completo no modelo clássico *greenstone belts* (Santos *et al.* 2003).

Ainda assim, há semelhanças no tocante à distribuição de basaltos e de formações ferríferas bandadas quando comparadas com a faixa *greenstone* Andorinhas. Posteriormente seria reconhecido que a composição original dos basaltos sofreu alteração hidrotermal, o que explicaria os teores anômalos de sua composição química (Lobato *et al.* 2005).

Lobato *et al.*(2002) propõem que os grupos Igarapé Salobo e Rio Novo, sejam integrados ao Grupo Grão Pará e tratados como uma só formação nomeada Formação Igarapé Salobo. A Formação Igarapé Salobo é constituída por uma sequência metavulcanosedimentar que recobre discordantemente os gnáisses trondjemíticos do embasamento (Complexo Xingu). A sequência é constituída por quartzitos, anfibolitos, metagrauvas, BIF's e magnetitos maciços ou foliados. Na área de estudo apresenta-se no extremo norte e é intrudida pelo granito Central Carajás.

Formação Rio Fresco (Fm. Águas Claras): Recobrimo discordantemente a sequência metavulcânica do Grupo Grão Pará há ocorrência de rochas metassedimentares psamo-pelíticas da Formação Rio Fresco (metarenitos, metacalcarenitos, metassiltitos e metaconglomerados) (Silva *et al.* 1974). Araújo & Maia (1991) a renomearam Formação Águas Claras e a incluíram no Grupo Grão Pará.

Granito Central Carajás e Granito Cigano: Plutons de granito anorogênicos que ocorrem intrudidos tanto no embasamento quanto nas rochas supracrustais. Apresentam-se de forma disseminada ao longo de todo o Cráton Amazônico. São rochas do tipo alcali-granitos, granodioritos e dioritos, com presença característica de ortoclásio e textura rapakivi (Dall'Agnol *et al.* 1999). Não apresentam orientação preferencial ou qualquer traço de metamorfismo. Lobato *et al.* (2005) sugerem uma interpretação alternativa de que tais granitóides sejam as manifestações intracontinentais de colisão continental distal ao arco magmático propriamente dito, estes representados por ambiente crustal tectônico distensivo, com possível herança radiogênica da placa subductada rasa e da litosfera associada. Machado *et al.* 1991 estimam idades de 1883 ± 2 Ma para o Granito Cigano e 1880 ± 2 Ma para o Granito Carajás.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Conceitos básicos sobre o uso das imagens ASTER e Ikonos

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) é um sensor do satélite Terra que permite o imageamento do planeta Terra em imagens de alta resolução. O satélite Terra (EOS SER-2) (Fig. 7) é um projeto de pesquisa multinacional da NASA. O satélite está em órbita hélio-síncrona ao redor do planeta Terra. É a bandeira principal do Sistema de Observação da Terra (EOS, do inglês *Earth Observing System*).

As imagens ASTER possuem três bandas de 15 metros de resolução (0.55 à 0.80 μm), uma banda com também 15 metros de resolução para gerar estereoscopia, 6 bandas no infravermelho próximo (1.65 à 2.4 μm) e 5 bandas no infravermelho termal (8.3 à 11.32 μm). As imagens ASTER podem ser utilizadas eficientemente em mapeamento em escala 1:50000, assim como análises espectrais refinadas se for trabalhada com as bandas do infravermelho próximo e termal.

As imagens Ikonos provêm de um satélite de observação terrestre comercial de mesmo nome (Fig. 8). Foi o primeiro a obter imagens disponibilizadas ao público com resolução um a quatro metros por pixel. O Ikonos possui sensores que operam no visível e infravermelho próximo e obtém imagens pancromáticas e multiespectrais com resolução espacial de 1 metro e 4. As imagens do Ikonos começaram a ser vendidas em 1 de Janeiro de 2000 pela empresa GeoEye e disponibilizada ao trabalho de Santos *et al.* (2010) pela companhia VALE.



Figuras 7 e 8: Imagens representativas dos satélites Terra (NASA), à esquerda (Fig. 7) e Ikonos a esquerda (Satimaging) (Fig. 8).

3.2 Geoprocessamento, campo e petrografia

As amostras utilizadas pertencentes à Província Mineral Carajás, Cráton Amazônico, são o produto de parte de todo um estudo de sensoriamento remoto, realizado por Paulo Roberto Alves dos Santos em sua tese de doutorado cujo estudo busca delimitar áreas de exploração mineral potenciais de Cu e Au. Nesta região, minerais indicativos de processos hidrotermais foram reconhecidos através de imagens ASTER e as anomalias anotadas sobre imagens Ikonos. A partir daí, cerca de 30 anomalias foram visitadas em campo para verificação de resultados e coleta das amostras. Dentre as análises laboratoriais que estas amostras vêm sendo submetidas, está a microscopia petrográfica de luz transmitida, objeto de estudo do presente trabalho.

A pesquisa foi desenvolvida tomando como bibliografia base diversos estudos sobre os depósitos de minerais da Província Carajás, em especial o zoneamento de alterações hidrotermais realizado na mina de Sossego por Monteiro *et al.* (2008).

A imagem do sensor ASTER utilizada por Santos *et al.* (2010) foi adquirida em 17/10/2007 com nível 1B, corrigida para geometria e radiometria. As imagens Ikonos utilizadas foram adquiridas ao longo do ano de 2007, nas melhores condições atmosféricas possíveis. Foi utilizada a projeção Equi-Retangular Cilíndrica Normal (sistema de coordenadas geodésicas - latitude/longitude), datum WGS 84.

Os minerais escolhidos por Santos *et al.* (2010) como indicadores no processo de identificação de áreas prováveis para prospecção de Cu e Au baseados no estudo de Monteiro *et al.* (2008) foram: marialita, uma Na-escapolita, e albita (alteração sódica), actinolita e epidoto (alteração sódico-cálcica), biotita (alteração potássica) e clorita (cloritização) (Fig. 9).

Cada um destes minerais teve sua curva espectral identificada na biblioteca espectral de minerais do USGS a qual foi posteriormente reamostrada para o comprimento de onda das bandas do sensor ASTER, ou seja, nove bandas do SWIR e VNIR (Fig. 10). Estas respostas espectrais possibilitaram determinar os seis conjuntos de quatro bandas cada, que melhor caracterizassem os minerais indicadores. Os conjuntos de bandas foram definidos como marialita (bandas 3,5,6 e 7), actinolita (bandas 2,6,8 e 9), epidoto (bandas 2,5,8 e 9), clorita (bandas 2,4,6 e 8), biotita (bandas 4,7,8 e 9) e albita (2,4,6 e 7).

	Estruturas Dúcteis e Dúcteis-Rúpteis				Estruturas Rúpteis e Rúpteis-Dúcteis		
	Alteração Sódica	Silificação Epidotização	Alt. sódico -cálcica	Apatita-Ferro	Alteração Potássica	Clorificação / Carbonatação	Mineralização
Albita	■	■	■	■	■	■	■
Calcite	■		■			■	■
Tourmaline	■				■		
Marialita	■				■		
Quartz	■	■	■	■			■
Epidoto		■	■				■
Hastingsite		■					
Actinolita		■	■	■		■	
Magnetite		■	■	■	■	■	
Titanite			■				■
Allanite			■	■	■		■
Thorianite			■				■
K feldspar				■	■		
Biotita				■	■		
Apatite				■		■	■
Clorita					■	■	■

Figura 9 - Minerais indicadores de mineralização. (Santos *et al.* 2010, adaptado de Monteiro *et al.* 2008).

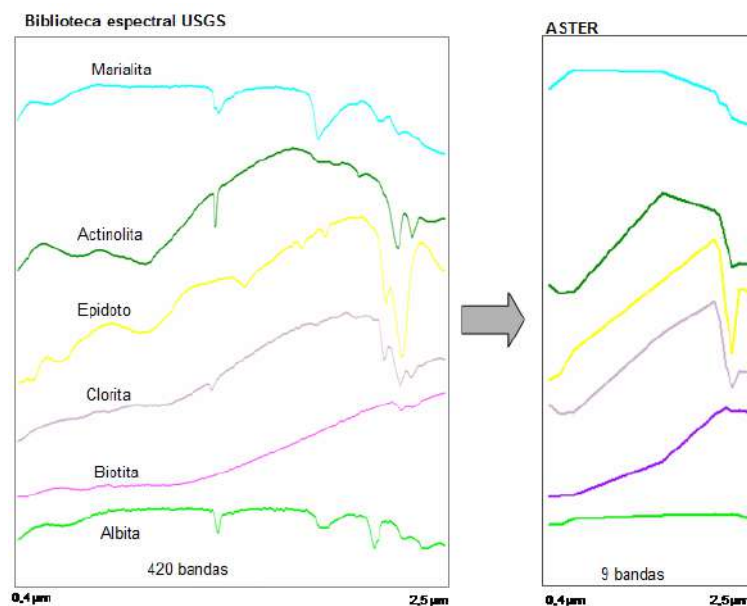


Figura 10 - Respostas espectrais originais da biblioteca espectral do USGS e convolidas para a resolução do sensor ASTER (Santos *et al.* 2010).

Após esta escolha, as bandas foram submetidas à análise de principais componentes (APC), conforme descrita por Crósta (1992). A análise dos conjuntos de quatro bandas PC's para cada mineral foi feita visando identificar a que contém as informações espectrais relacionadas ao mineral específico, com base nas estatísticas fornecidas. Esta informação normalmente representa, em termos quantitativos, uma fração muito pequena do total das informações contidas nas

quatro bandas originais, entretanto tem grande importância para a extração seletiva da resposta espectral do mineral procurado.

A partir das áreas identificadas como de provável presença dos minerais indicadores, foram delimitadas as anomalias com maiores indicativos da presença dos seis minerais classificados, que foram vetorizadas, delimitando os polígonos das anomalias da área. Para classificação das anomalias foi considerada a presença simultânea dos seis minerais indicadores e a respectiva área, com limiar de 0,75 km². A partir deste mapeamento realizado por Santos *et al.* (2010) foram selecionadas cerca de trinta anomalias que foram visitadas em campo, para verificação dos resultados da classificação e coleta de amostras, para posteriormente submetê-las às análises laboratoriais. Nas figuras 11a e 11b temos uma ilustração dos resultados do trabalho produzido por Santos *et al.* (2010), sobre a mina de Sossego.

Finalmente, das dezenas de amostras coletadas em campo, representativas da alteração hidrotermal progressiva a que foram submetidas às rochas mineralizadas, nove delas foram selecionadas para a análise microscópica de luz transmitida com o objetivo de realizar uma descrição mineralógica completa da rocha a fim de confirmar a presença dos minerais indicadores de mineralização hidrotermal de ouro (Au) e cobre (Cu). Na seleção das amostras para a análise microscópica, o critério de triagem de amostras foi o nível de conservação em relação ao intemperismo.

Buscou-se separar os minerais primários constituintes das rochas dos minerais acrescidos pela alteração hidrotermal que localmente substituem os minerais primários. Complementar a descrição mineralógica microscópica, também foi feita uma análise prévia megascópica utilizando-se apenas de régua e lupa de mão de 10 aumentos.

Lâminas delgadas de aproximadamente 0,03 mm de espessura foram preparadas no Laboratório de Laminação da UFRJ a partir de cada uma das amostras de rocha em seções orientadas de modo a destacar feições petrográficas de interesse. As lâminas foram descritas à luz do microscópio petrográfico de luz transmitida Carl Zeiss® Axioskop 40, identificando-se a mineralogia essencial, acessória e secundária, além de texturas e estruturas de interesse sob objetivas de 2.5, 5, 10, 20 e 40 aumentos.

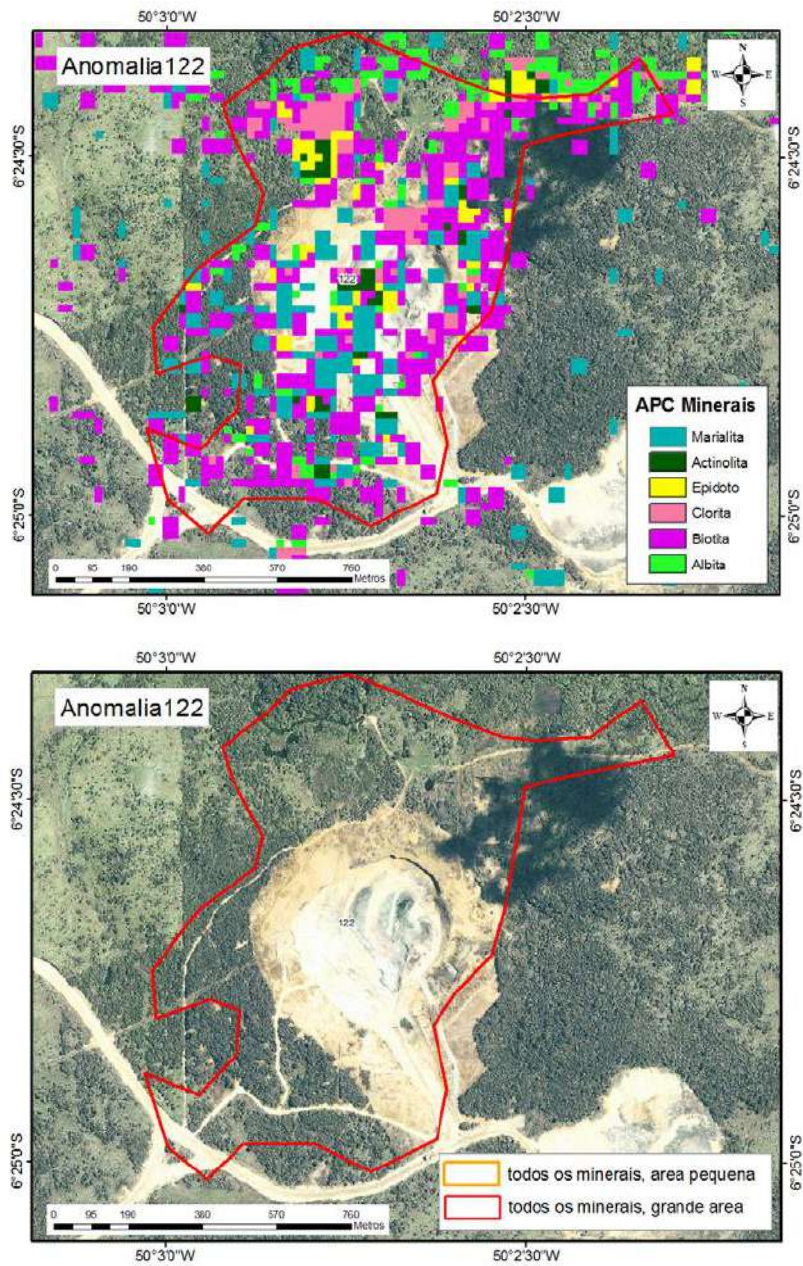


Figura 11a e 11b - Mina do Sossego, da VALE, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos (Fig. 6a) e o contorno da anomalia sobre a mina (Fig. 11b) (Santos *et al.* 2010).

4 RESULTADOS

Dentre as cerca de 30 anomalias definidas para visita em campo, seis tiveram amostras selecionadas para análise petrográfica: as anomalias 38, 50, 79, 83, 122 e 138, sendo duas amostras pertencentes à anomalia 50, duas à anomalia 83 e também duas à anomalia 122; e uma amostra para cada uma das anomalias restantes, totalizando nove amostras analisadas.

Tabela 01: Tabela de localização das amostras utilizadas (Coordenadas UTM, Datum WGS-84)

AMOSTRA	ROCHA	LATITUDE	LONGITUDE
PA-38 RO-01	metabasito	634704,590	9297767,878
PA-50 RO-A	granodiorito	627398,097	9297778,161
PA-50 RO-B	granodiorito	627408,043	9297754,182
PA-79 RO-07	andesito	638297,393	9293161,236
PA-83 RO-06	biotita-hornblenda gnaiss	642131,869	9289294,422
PA-83 ALT HIDRO	sericita gnaiss	641785,520	9289678,470
PA-122 RO-A	hornblenda gnaiss	605608,076	9291068,123
PA-122 RO-B	sericita gnaiss	605608,076	9291027,528
PA-138 RO-02	???	615681,461	9291027,528

4.1 Anomalia 122

Duas amostras coletadas sob a área da anomalia 122 foram analisadas petrograficamente. São elas a PA-122 RO-A e a PA-122 RO-B. Tais rochas foram coletadas de áreas mapeadas como pertencentes ao Complexo Xingu.

4.1.1 PA-122 RO-A

A amostra PA-122 RO-A possui granulação fina a média (de < 1 mm à 5 mm) e textura granomatoblástica com bandas de hornblenda com grãos de até 5 mm alternando com bandas composta por plagioclásio, quartzo, hornblenda e feldspato perítico com 1 mm ou menores.

Como minerais essenciais foram observados quartzo, plagioclásio, hornblenda, feldspato perítico. Como acessórios e traços, epidoto, titanita, minerais opacos, allanita, zircão e apatita. Como minerais secundários, sericita e clorita.

O quartzo ocorre na forma de grãos subédricos, submilimétricos até 1,5 mm com extinção ondulante. O plagioclásio é observado na forma de grãos subédricos, localmente seriticizados, com extinção ondulante e inclusões de anfibólio.

A hornblenda é observada na forma de grãos xenomórficos a hipidiomórficos, inclusões de plagioclásio, alterações para clorita (Fig. 13). Encontra-se associada a níveis aglomeradas formando um fino bandamento (até 2 mm de espessura) ou disperso na matriz na forma de grãos submilimétricos.

Os minerais opacos ocorrem na forma de grãos subédricos, submilimétricos, dispersos na matriz ou associados à titanita.

A esta amostra de rocha foi atribuído o nome de hornblenda gnaiss.



Figura 12 – Amostra PA-122 RO-A.

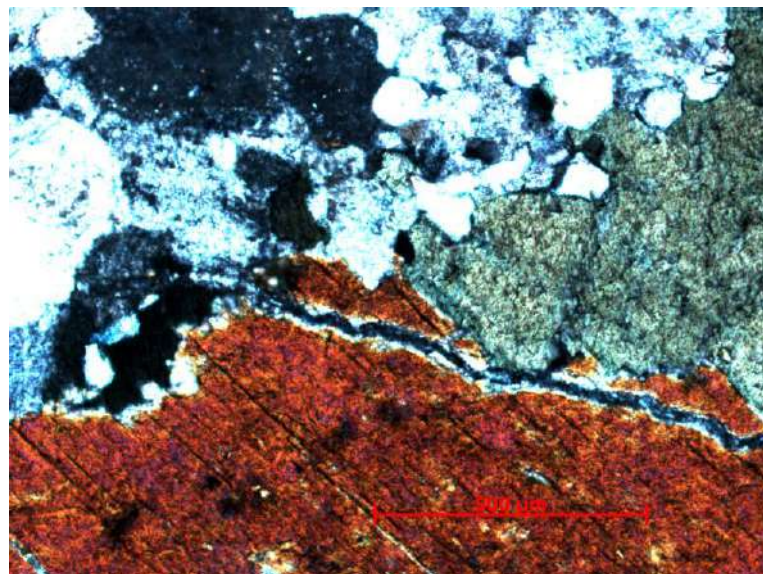


Figura 13a - (PA-122 RO-A) Detalhe bandamento de hornblenda com dois grãos sendo separados por uma fratura, sendo o grão da esquerda pouco alterado e o da direita totalmente alterado para clorita (níveis cruzados).

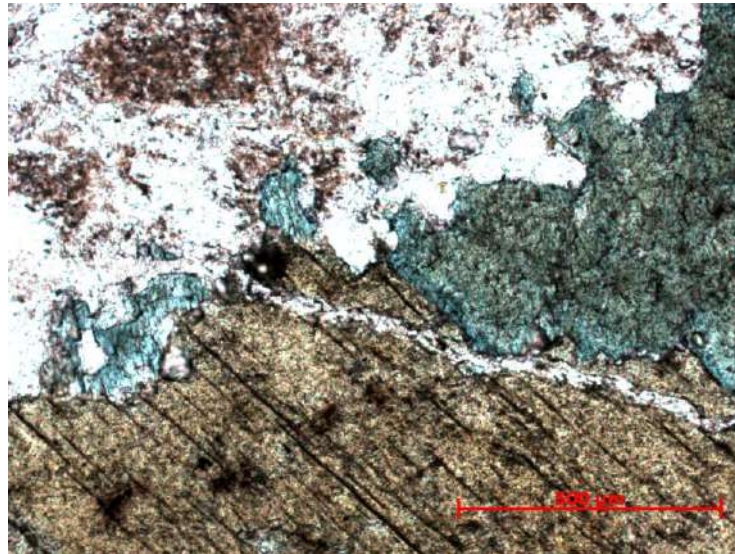


Figura 13b - (PA-122 RO-A) Detalhe bandamento de horblenda com dois grãos sendo separados por uma fratura, sendo o grão da esquerda pouco alterado e o da direita totalmente alterado para clorita (nicóis paralelos).

4.1.2 PA-122 RO-B

A amostra PA-122 RO-B é uma rocha metamórfica de granulação fina (<1 mm) e textura granoblástica isogranular composta essencialmente de quartzo e plagioclásio.

A mineralogia essencial é composta de quartzo, plagioclásio. Como acessórios e traços foi observado epidoto, titanita, zircão, piedmontita e opacos. Como minerais secundários observam-se sericita e clorita.

O quartzo ocorre na forma de grãos subédricos, de tamanho submilimétrico até 1,5 mm, apresentando extinção ondulante. O plagioclásio encontra-se na forma de grãos localmente sericitizados anédricos a subédricos ou com bordas de alteração para clorita (Fig. 13).

A esta amostra de rocha foi atribuído o nome de sericita gnaisse.



Figura 14 – Amostra PA-122 RO-B.

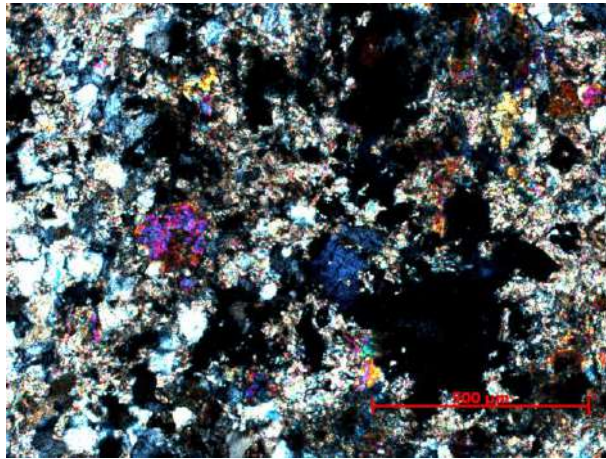


Figura 15a - (PA-122 RO-B): grãos de quartzo e plagioclásio sendo os de plagioclásio fortemente alterados para sericita ou para clorita (nicóis cruzados).

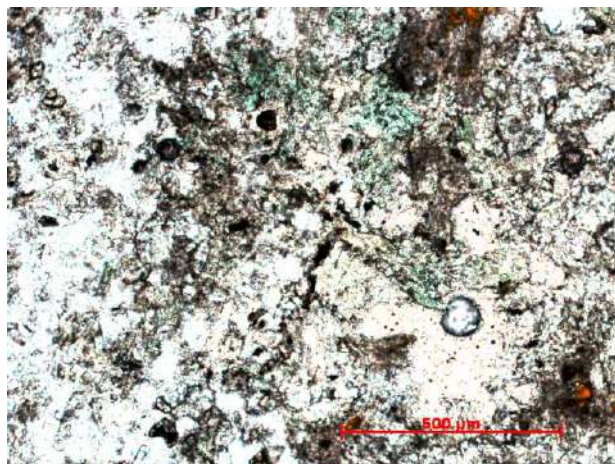


Figura 15b - (PA-122 RO-B): grãos de quartzo e plagioclásio sendo os de plagioclásio fortemente alterados para sericita ou para clorita (nicóis paralelos).

4.2 Anomalia 79

A amostra representativa da anomalia 79 é enumerada PA-79 RO-07. É uma rocha vulcânica ou metavulcânica com baixo nível de deformação. Tal amostra foi coletada de área mapeada como Complexo Xingu. Possui granulação predominantemente fina (<1 mm) e textura fanerítica porfirítica com fenocristais de plagioclásio de granulação média a grossa (até 6,5 mm).

Como minerais essenciais foram observados plagioclásio, quartzo e biotita além de minerais opacos acessórios e de sericita, clorita, biotita e epidoto como secundários.

O plagioclásio é encontrado na forma de fenocristais euédricos seriticizados, zonados e com bordas arredondadas pela corrosão do magma. Nas bordas, encontram-se aglomerados de alteração do epidoto (Fig. 17). Além disso, tal mineral é encontrado na matriz na forma de cristais subédricos e submilimétricos.

A biotita é observada na forma de cristais primários xenomórficos com bordas cloritizadas. Quando secundária, apresenta-se preenchendo fraturas associada a percolação de fluidos (Fig. 18). O quartzo é observado na forma de grãos xenomórficos a hipidiomórficos e hábito granular.

A classificação da amostra de rocha, segundo Best (1982), é andesito.



Figura 16 – Amostra PA-79 RO-07

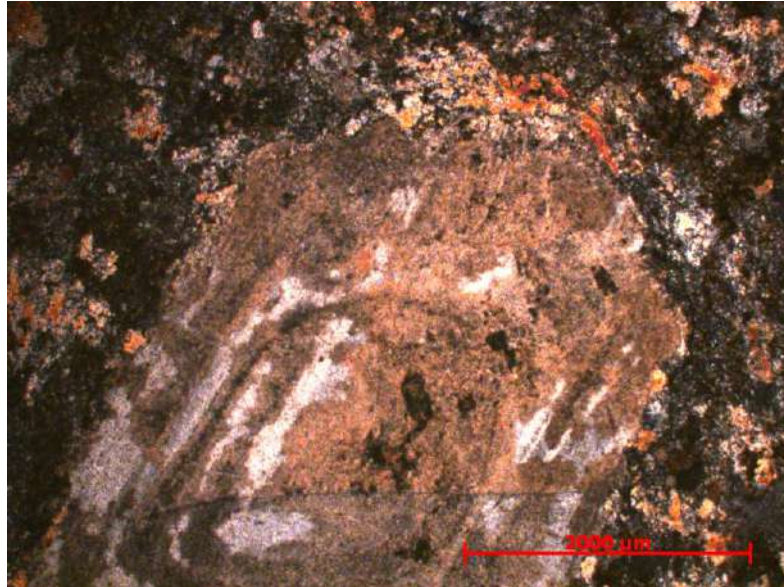


Figura 17 - (PA-79 RO-07) Fenocristal de plagioclásio zonado e sericitizado com aglomerados de epidoto nas bordas (nicóis cruzados).

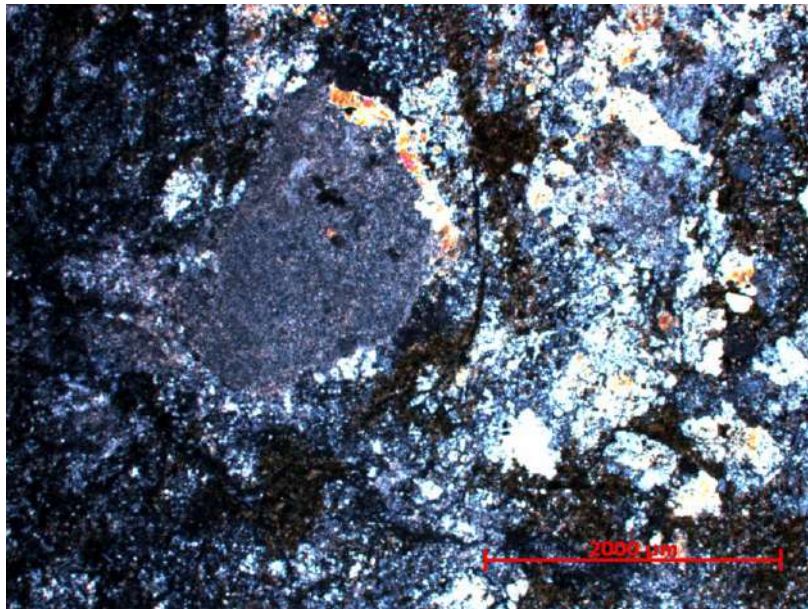


Figura 18a - (PA-79 RO-07) Fenocristal de plagioclásio sericitizado com acúmulo de grãos de epidoto na borda. Nas fraturas, recristalização de biotita (nicóis cruzados).

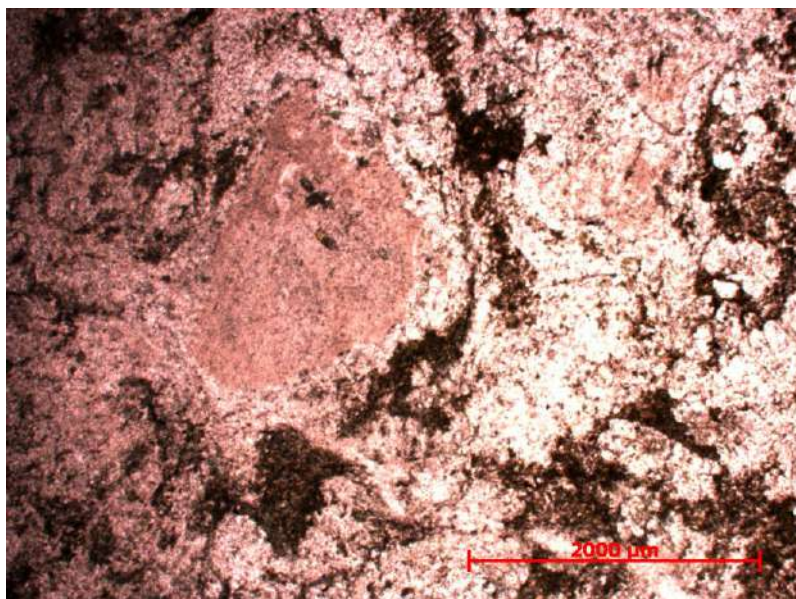


Figura 18b - (PA-79 RO-07) Fenocristal de plagioclásio sericitizado com acúmulo de grãos de epidoto na borda. Nas fraturas, recristalização de biotita (nicóis paralelos).

4.3 Anomalia 38

A anomalia 38 foi analisada através da amostra PA-38 RO-01. Tal amostra é de uma rocha meta(sub)vulcânica e foi coletada de área mapeada como Complexo Xingu.

A rocha é de granulação fina (grãos de até 2 mm) e textura fanerítica, equigranular com cristais de anfibólio e plagioclásio de até 2 mm e localmente apresentando cristais com granulação inferior a 1mm, representados por quartzo e feldspato e também por aglomerados de clorita.

A mineralogia essencial é composta por hornblenda e plagioclásio e como acessórios tem-se quartzo e minerais opacos. Já como minerais secundários, foram identificados a clorita, veios de quartzo e carbonatos, opacos de granulação fina e uma 2ª geração de anfibólios.

O plagioclásio foi verificado em de grãos xenomórficos a hipidiomórficos, inclusões de opacos e hornblenda e por vezes com o anfibólio parcialmente incluso. Já o anfibólio apresenta-se como cristais hipidiomórficos, clivagens bem marcadas e com inclusões de minerais opacos. Envoltos parcial ou totalmente por massas de agregados finos de clorita encontram-se alguns cristais de hornblenda com sobrecrescimento de uma segunda geração de anfibólio tabular alongado e de cor verde mais escura, provavelmente ferro-actinolita (Fig. 20).

A esta amostra de rocha foi atribuído o nome de metabasito.

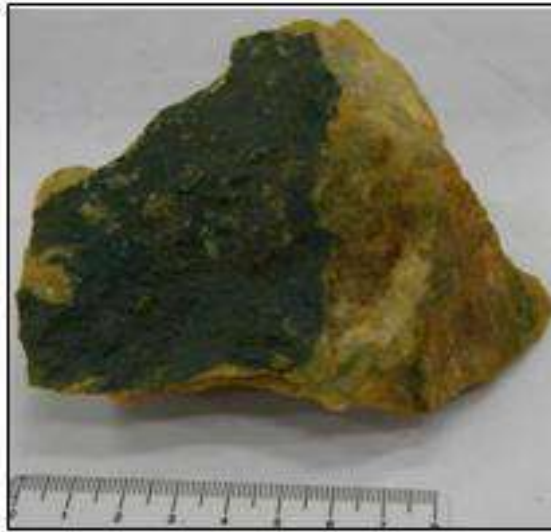


Figura 19: Amostra PA-38 RO-01

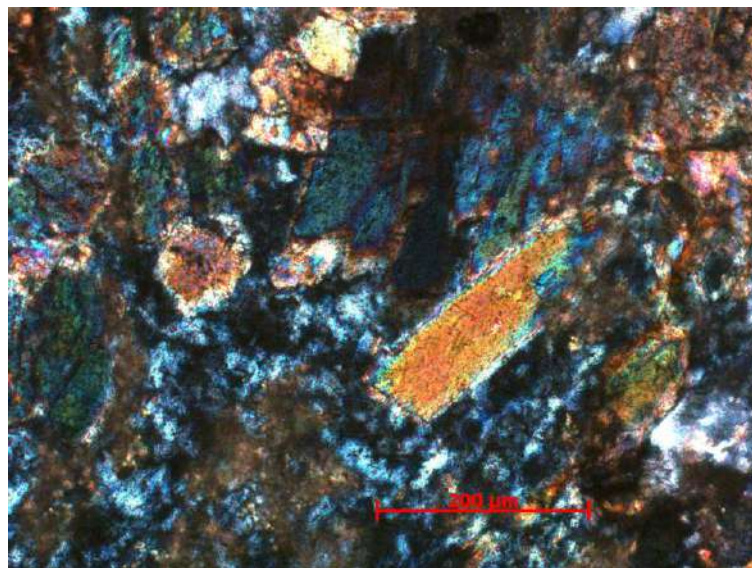


Figura 20a - (PA-38 RO-01) Hornblenda apresentando sobre crescimento de provável ferro-actinolita envolta de grãos de clorita muito fina (nicóis cruzados).



Figura 20b - (PA-38 RO-01) Hornblenda apresentando sobrecrecimento de provável ferro-actinolita envolta de grãos de clorita muito fina (nicóis paralelos).

4.4 Anomalia 83

Duas amostras coletadas sob a área da anomalia 83 foram analisadas petrograficamente. São elas a PA-83 RO-06 e a PA-83 ALT HIDRO. Tais amostras foram coletadas de área mapeada como Grupo Grão Pará.

4.4.1 Amostra PA-83 RO-06

A amostra PA-83 RO-06 é uma rocha metamórfica de granulação fina à média (0,1 a 3 mm) e textura granoblástica heterogranular com porfiroclastos de microclina e plagioclásio com até 4,5 mm e matriz fina composta principalmente de microclina e quartzo entre 0,2 e 0,5 mm.

Os minerais essenciais são o quartzo, plagioclásio, microclina, hornblenda e biotita. Como acessórios, temos opacos, rutilo, zircão, turmalina, allanita, titanita, limonita e epidoto. Os acessórios são clorita e sericita.

A microclina é caracterizada por grãos xenomórficos ricos em pertitas, epidoto inclusos. Já o plagioclásio é observado na forma de fenocristais hipidiomórficos,

extremamente deformado, extinção ondulante, inclusões de biotita e apresentando seritização.

O quartzo apresenta grãos subédricos com, extinção ondulante e recristalização em subgrãos. A biotita foi observada na forma de grãos xenomórficos a hipidiomórficos, apresentando exsolução de opacos ao longo das clivagens e processo de cloritização (Fig. 22), A hornblenda encontra-se hipidiomórfica a xenomórfica, ocorrendo em aglomerados de grãos.

A allanita apresenta-se na forma de grãos euédricos, textura “ovo frito”, incluso no quartzo formando fraturas radiais. A turmalina foi reconhecida pelo pleocroísmo azulado escuro, extinção reta e figura de interferência uniaxial.

A esta amostra de rocha foi atribuído o nome de biotita-hornblenda gnaiss.



Figura 21: Amostra PA-83 RO-06.

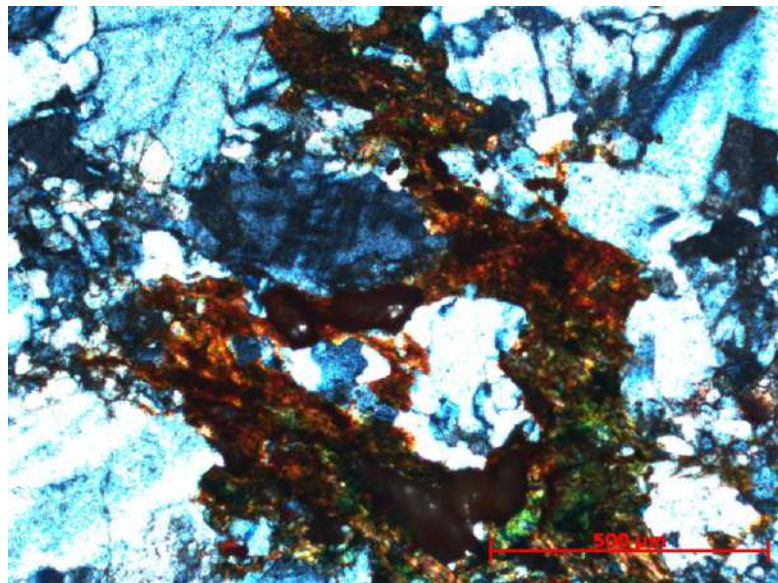


Figura 22a - (PA-83 RO-06) Alteração de biotita para clorita (nicóis cruzados).

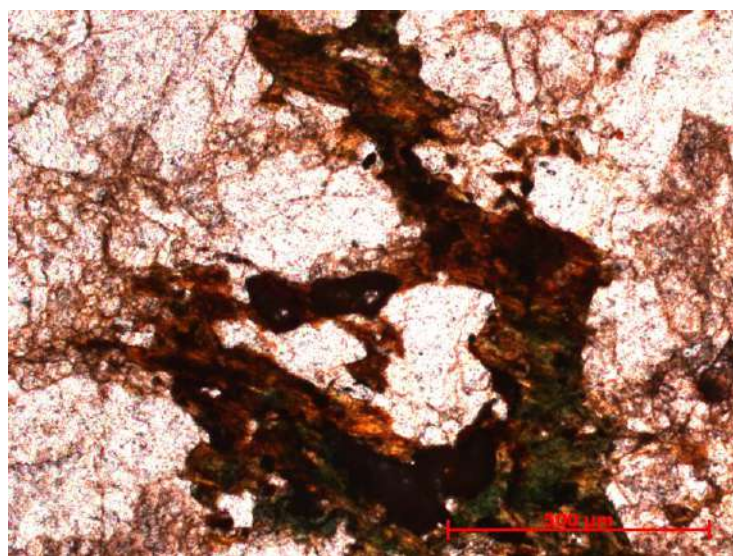


Figura 22b - (PA-83 RO-06) Alteração de biotita para clorita (nicóis paralelos).

4.4.2 PA-83 ALT HIDRO

A amostra PA-83 ALT HIDRO é uma rocha metamórfica de granulação fina à média (0,1 a 3 mm) e textura granoblástica heterogranular com porfiroclastos de microclina e plagioclásio com até 4,5 mm e matriz fina composta principalmente de microclina e quartzo entre 0,2 e 0,5 mm.

A mineralogia essencial é composta por quartzo, microclina e alcalifeldspato. Os acessórios encontrados foram opacos, allanita, epidoto e zircão. Já os secundários observados foram clorita, sericita e muscovita.

O quartzo é encontrado na forma de grãos xenomórficos, extremamente abundante na lâmina, de granulação seriada chegando a medir 4,5 mm até tamanhos submilimétricos por recristalização em subgrãos.

O alcalifeldspato apresenta-se xenomórfico, muito alterado por sericita, apresentando a feição de *chess board albite* (Fig. 24). Muscovita associada também é observada como forma de alteração. A microclina apresenta-se na forma de diminutos grãos xenomórficos a hipidiomórficos, apresentando extinção ondulante.

A esta amostra de rocha foi atribuído o nome de sericita gnaisse.



Figura 23 - Amostra PA-83 RO-06.

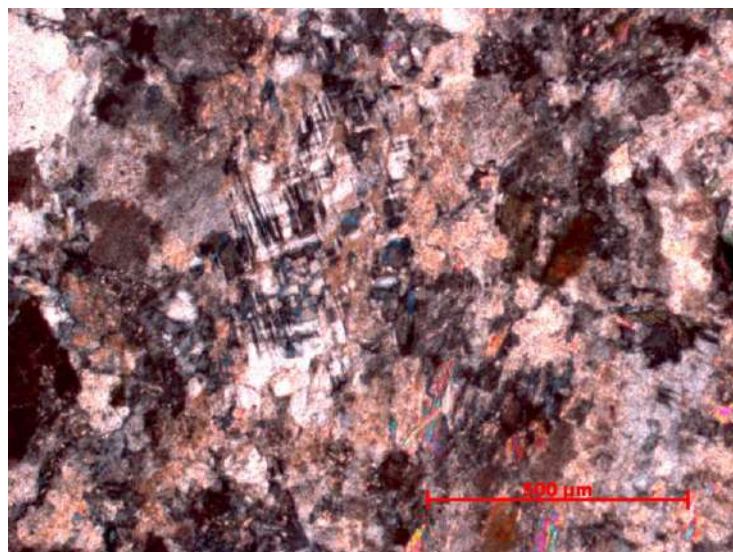


Figura 24 - (PA-83 ALT HIDRO) Plagioclásio sericitizado em contato com feldspato pertítico formando *chess board albite*.

4.5 Anomalia 50

As rochas analisadas referentes à anomalia 50 são as amostras PA-50 RO-A e PA-50 RO-B, onde ambas são rochas plutônicas félsicas (granitóides), pela localização no mapa, informações de relações de campo e pela semelhança mineralógica e textural de tais amostras, provavelmente as mesmas estariam associadas ao mesmo corpo intrusivo, sendo pertencentes a unidade litológica denominada Granito Cigano.

A granulação das rochas varia de média a grossa e de textura inequigranular seriada. A mineralogia essencial é de plagioclásio, quartzo, feldspato pertítico,

microclina e biotita. Como minerais acessórios, temos opacos (pirita), zircão, allanita, rutilo. E como minerais secundários, clorita, sericita e epidoto.

No caso do plagioclásio, a maior parte dos fenocristais apresenta grande quantidade de sericita por alteração. Ocorre em grãos hipidiomórficos com dimensões predominando entre 1 e 2,5 mm. Apresenta inclusões de diminutos cristais de minerais opacos, rutilo e zircão. Além disso, apresenta processo de epidotização e associação com álcali-feldspato resultando em uma feição conhecida como *chess board albite* (Fig 27) e por vezes sofrendo recristalização.

O feldspato pertítico apresenta-se em cristais de relevo baixo, mostra cor de interferência cinza a amarelo de 1ª ordem e incolor. Apresenta lamelas de exsolução claras e escuras (pertitas e anti-pertitas). Ocorre na forma de cristais xenomórficos a hipidiomórficos com dimensões entre 1,5 a 3,0 mm. Possui inclusões de opacos, biotita. Sericita é observada em grande quantidade como diminutos minerais de alteração.

A biotita é verificada como grãos hipidiomórficos, com inclusões zircão e exsolução de opacos ao longo das clivagens. A biotita secundária é xenomórfica e ocorre nas bordas da biotita hipidiomórfica formando aglomerados de pequenos grãos (Fig. 28) ou recristalizado ao longo de fraturas (Fig. 26).

O quartzo ocorre na forma de cristais xenomórficos, com dimensões submilimétricas a aproximadamente 2,5 mm. Alguns se encontram levemente fraturados e a maioria apresenta extinção ondulante além de observar-se recristalização em subgrãos. É rico em diminutas inclusões de opacos e zircão.

O Zircão ocorre idiomórfico, submilimétrico, incluso na biotita e no plagioclásio. Opacos ocorrem como minerais primários sob a forma de diminutos grãos euédricos a subédricos, equidimensionais, inclusos no quartzo, plagioclásio e na biotita. Já como minerais secundários, ocorrem como cristais xenomórficos especialmente como produto de alteração da biotita.

Ambas as amostras de rocha são classificadas, segundo Streckeisen (1976), como granodioritos.



Figura 25 - Amostras PA-50 RO-A (esquerda) e PA-50 RO-B (direita).

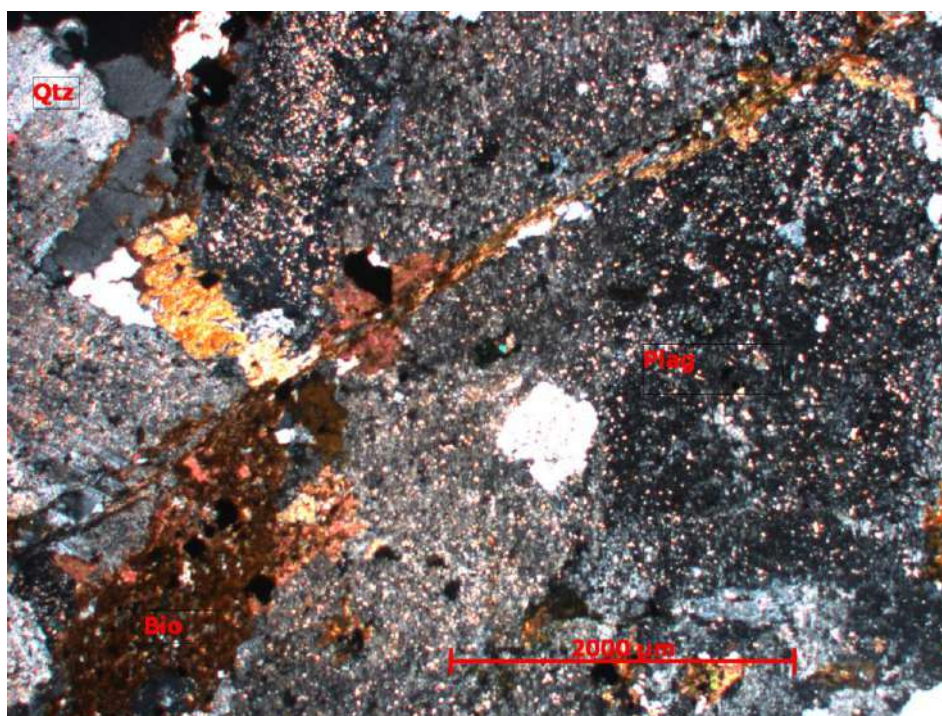


Figura 26a - (PA-50 RO-A) Grão hipidiomórfico de biotita e recristalizada ao longo de uma fratura. Além de fenocristais de plagioclásio apresentando sericitização (nicóis cruzados).

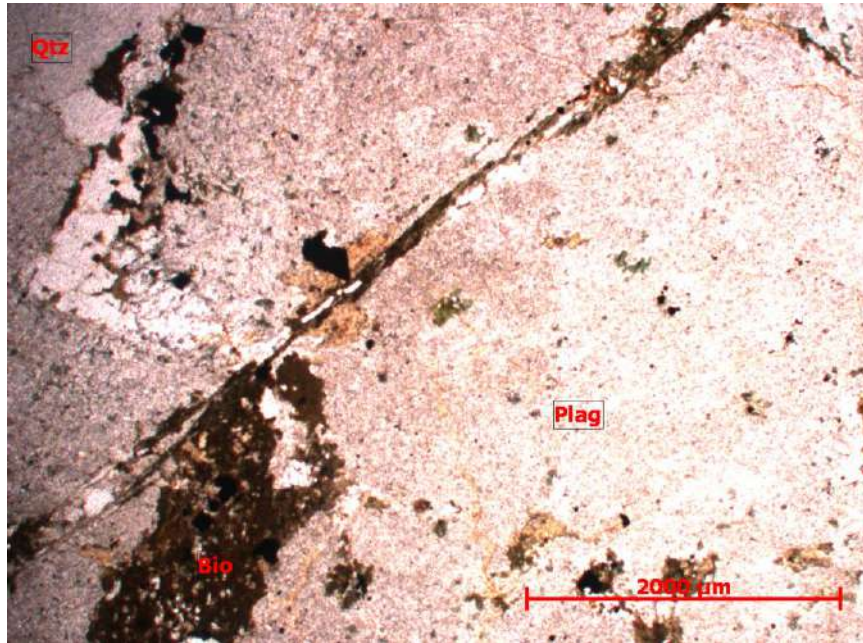


Figura 26b - (PA-50 RO-A) Grão de biotita e recristalizada ao longo de uma fratura. Além de fenocristais de plagioclásio apresentando sericitização (nicóis paralelos).

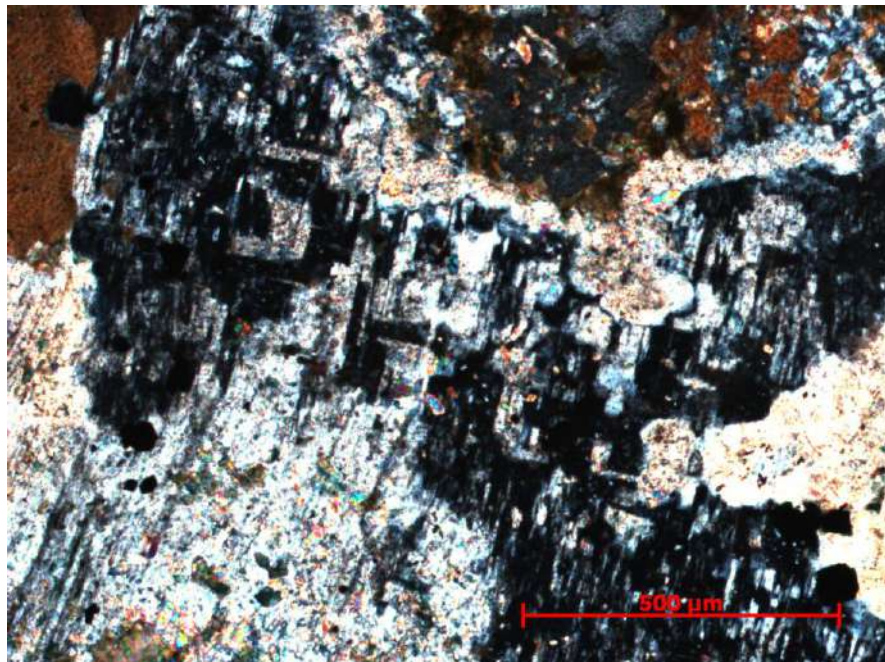


Figura 27 - (PA-50 RO-A) Plagioclásio com alto grau de sericitização associado a feldspato perítico, formando a feição conhecida como *chess board albite* (nicóis cruzados).

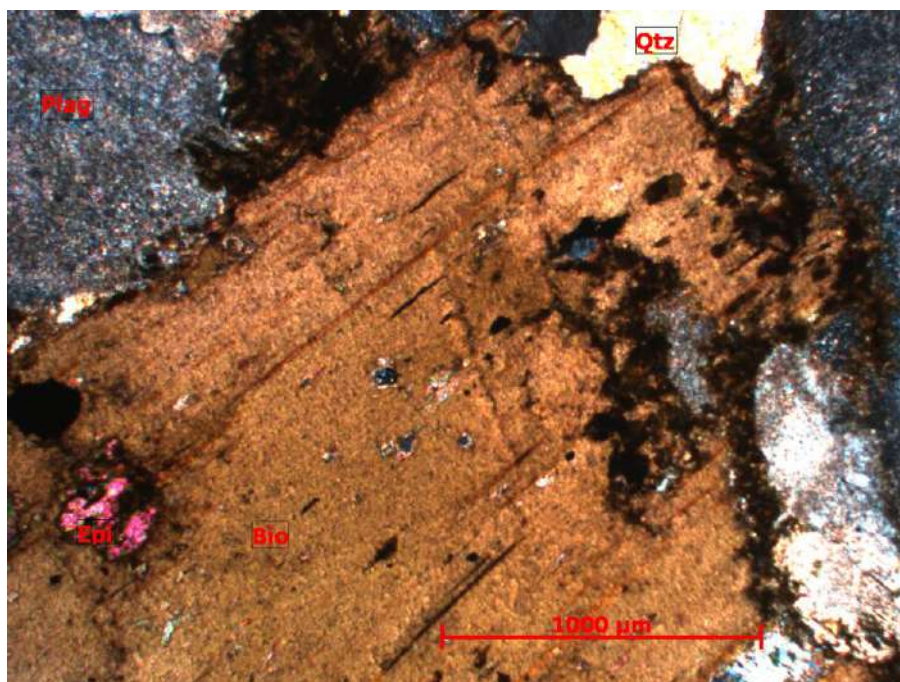


Figura 28a - (PA-50 RO-B) Biotita hipidiomórfica ao centro apresentando bordas de recristalização, marcada pelo sobrecrescimento de vários grãos submilimétricos de biotita (nicóis cruzados).

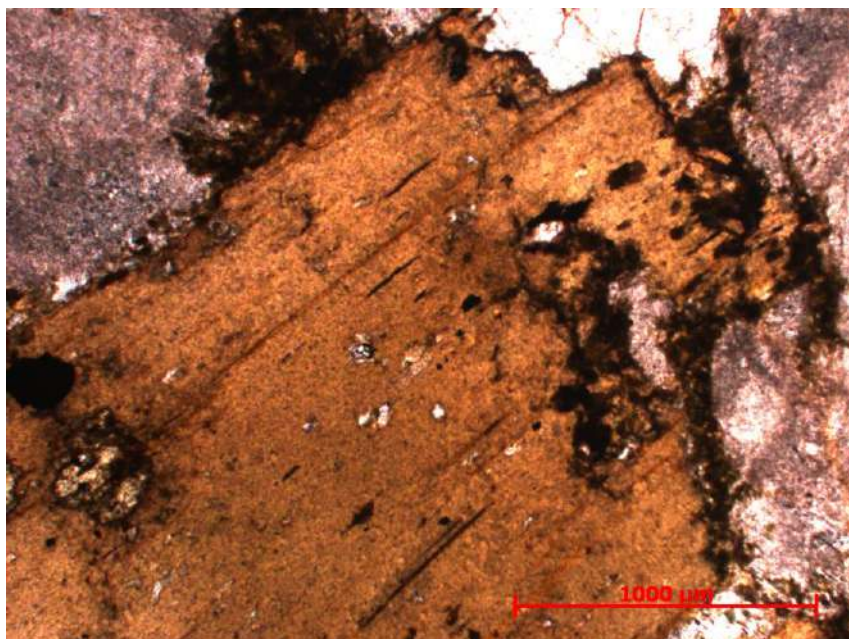


Figura 28b - (PA-50 RO-B) Biotita hipidiomórfica ao centro apresentando bordas de recristalização (nicóis paralelos).

4.6 Anomalia 138

Da anomalia 138, foi selecionada a amostra PA-138 RO-02. Tal amostra possui forte mineralização de calcopirita, a nível econômico. Devido a alto nível de alteração hidrotermal, pouco pode se concluir, possuindo uma mineralogia exótica.

Dos minerais reconhecidos foi observado o quartzo na forma de fenocristais xenomórficos a hipidiomórficos, corroídos e com preenchimento de fraturas por opacos e inclusões de rutilo.

Além disso, foi observado um mineral fibroso, cor amarronzada, de extinção reta, associado a muscovita também envolto de opacos (Fig. 29).

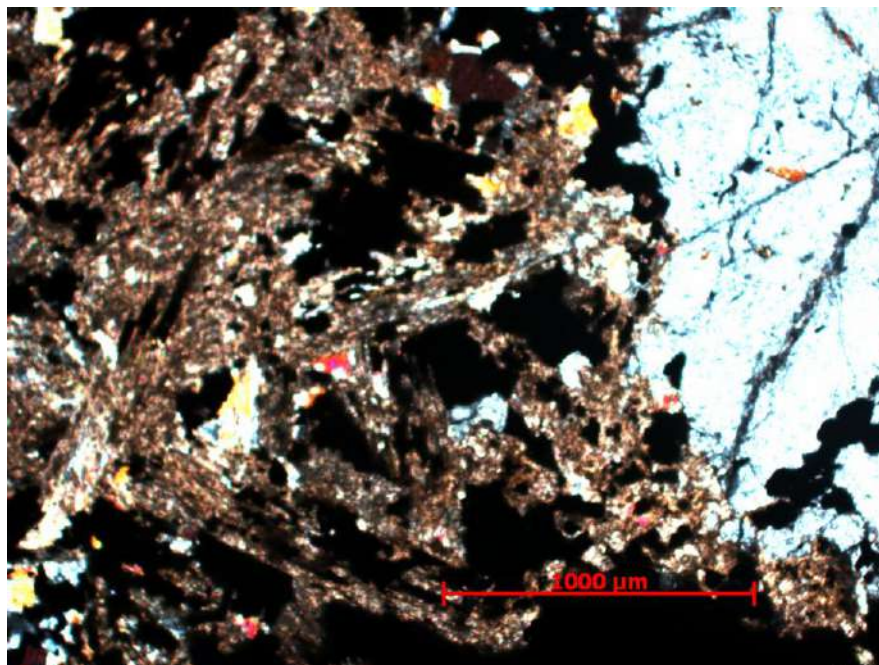


Figura 29 - (PA-138 RO-02) A direita um fenocristal de quartzo extremamente fraturado e preenchido por opacos ao lado de um aglomerado de um mineral fibroso amarronzado não identificado associado a muscovita (nicóis cruzados).

5 DISCUSSÃO

Todas as amostras analisadas e descritas no capítulo anterior apresentam uma série de feições e minerais que podem ser considerados fortes indícios da ação de hidrotermalismo. Os principais indícios seriam alteração de determinados minerais primários para minerais secundários; recristalização e sobrecrescimento de determinados minerais e o preenchimento de fraturas por processos de percolação de fluidos.

Os minerais indicadores das anomalias encontrados foram marialita, uma Na-escapolita, e albita (alteração sódica), actinolita e epidoto (alteração sódico-cálcica), biotita (alteração potássica) e clorita (cloritização).

5.1 Anomalia 122

Na anomalia 122 (Mina do Sossego), também foi identificada a forte presença de seritização. Além disso, há um evidente processo de cloritização do plagioclásio, o único mineral reconhecido dentre os indicativos da anomalia.

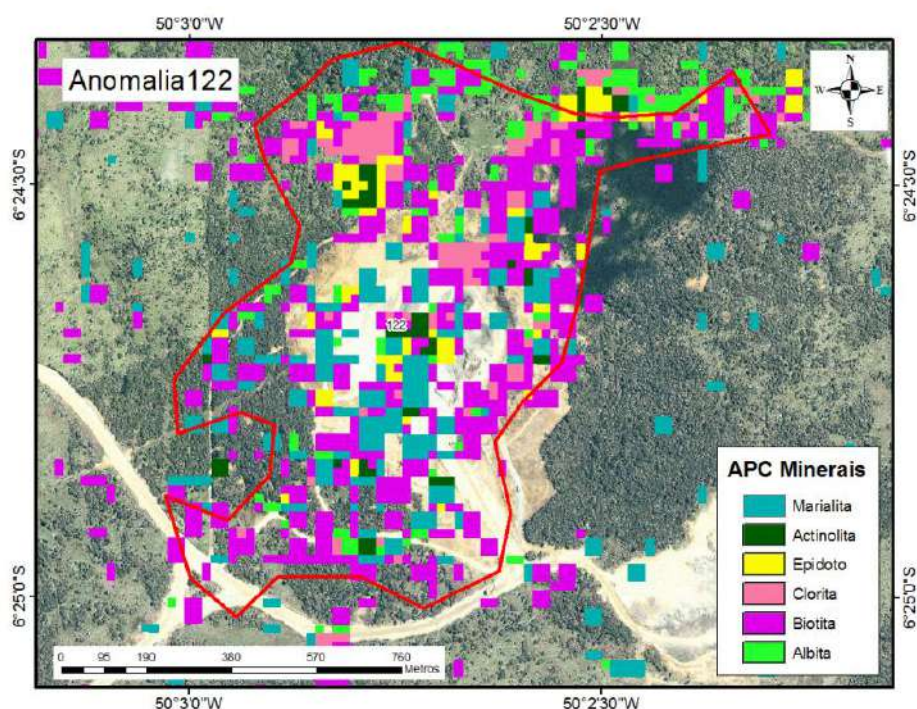


Figura 30 - Anomalia 122 (Mina de Sossego), com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (Santos, 2010).

5.2 Anomalia 79

Mais uma vez, a sericita foi um dos mais evidentes processos de alteração formando grandes aglomerados principalmente sobre os fenocristais de plagioclásio desta rocha. Além disso, aglomerados de epidoto secundário nas bordas do fenocristais, além de cristais de biotita primária alterada em suas bordas para clorita. A biotita também apresentou recristalização ao longo de fraturas, evidenciando mais uma vez a percolação dos fluidos.

Portanto, clorita (cloritização), epidoto (alteração sódico-cálcica) e biotita (alteração potássica) foram os minerais indicativos da anomalia a terem sido identificados.

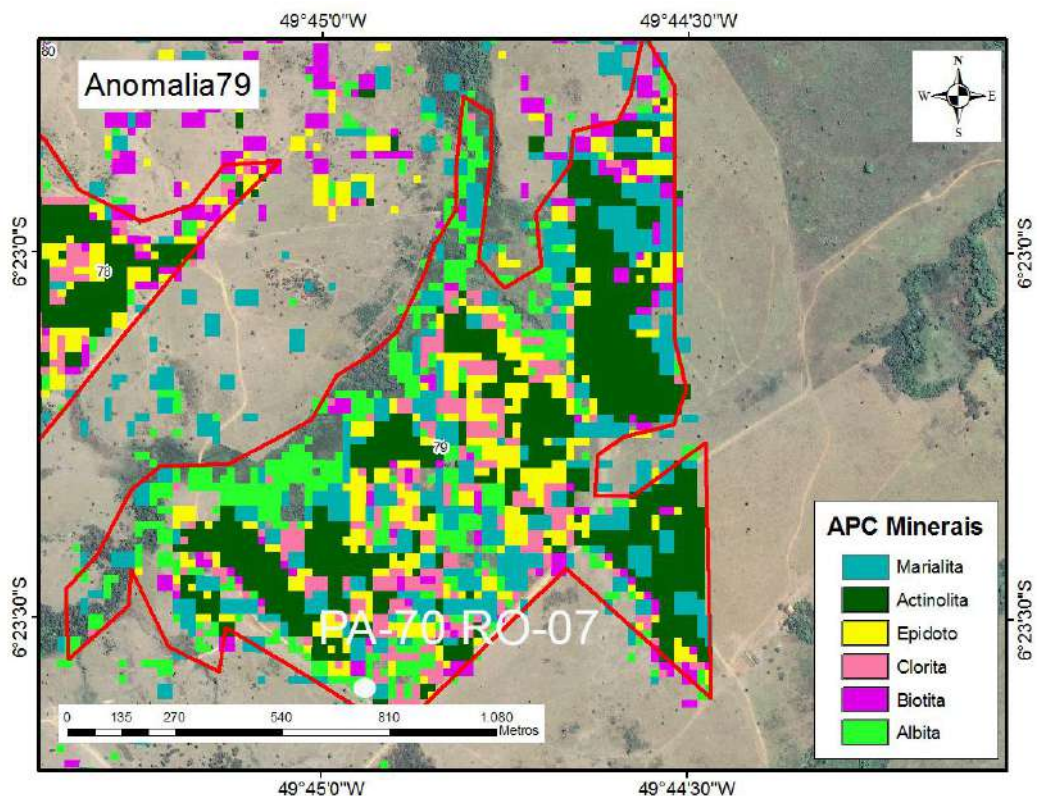


Figura 31 - Anomalia 79, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (modificado de Santos, 2010).

5.3 Anomalia 38

Fraturas com preenchimento de veios de quartzo e carbonatos indicam a percolação de fluidos hidrotermais. Além disso, foi observada a presença de sobrecrescimento de anfibólio secundário (provável ferro-actinolita) a partir de cristais de anfibólio primário (hornblenda). Tal sobrecrescimento apresenta associação com as massas de agregados de clorita fina, que apesar de secundária, foi impossível identificar que mineral que a originou. Um dado a ser observado é que de todas as nove amostras estudadas a lâmina PA-38 RO-01 foi a única que não evidenciou seritização.

Dos minerais indicativos da anomalia, a clorita (cloritização) e provavelmente a (ferro-)actinolita (alteração sódico-cálcica) foram identificadas.

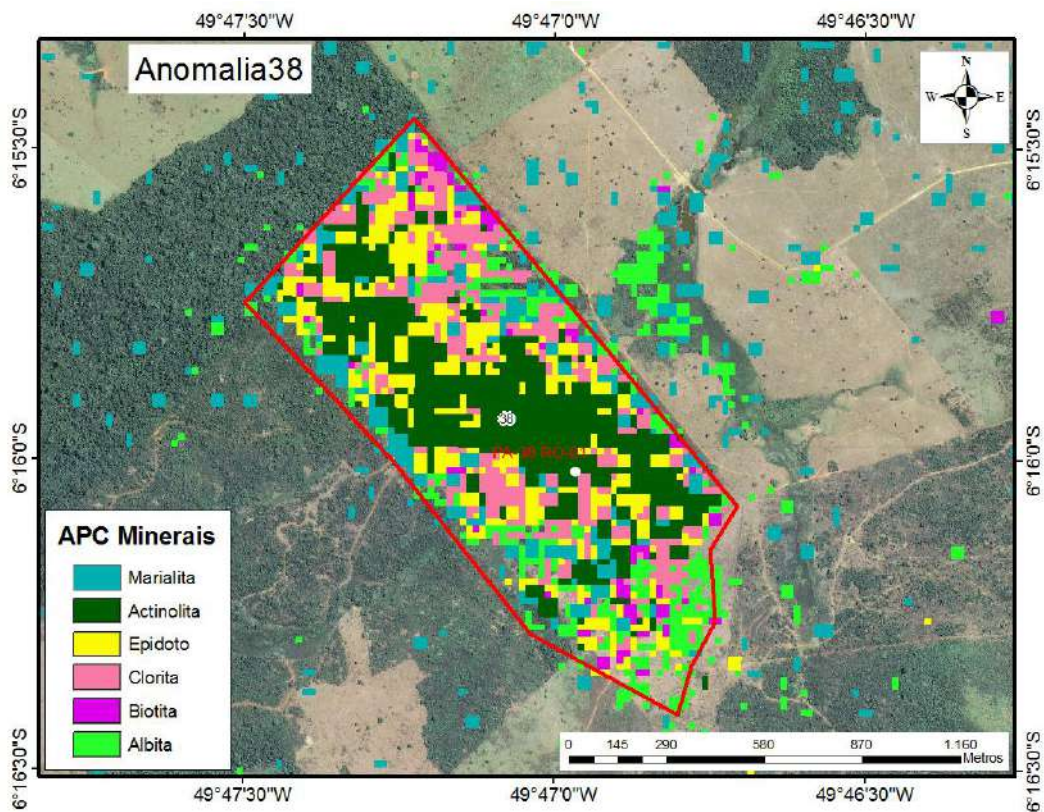


Figura 32 - Anomalia 38, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (modificado de Santos, 2010).

5.4 Anomalia 83

Nas amostras referentes à anomalia 83 (Cristalino) mostra forte processo de sericitização do plagioclásio, além de processos de cloritização, além associação entre plagioclásio e feldspato perítico resultando na feição de *chess board albite*.

Além disso, abundancia de quartzo na lâmina PA-83 ALT HIDRO em detrimento de outros minerais indica uma lavagem destes por fluidos hidrotermais, confirmados por observação de campo.

Portanto, clorita (cloritização), epidoto e albita (alteração sódica) foram os minerais indicativos da anomalia a terem sido identificados.

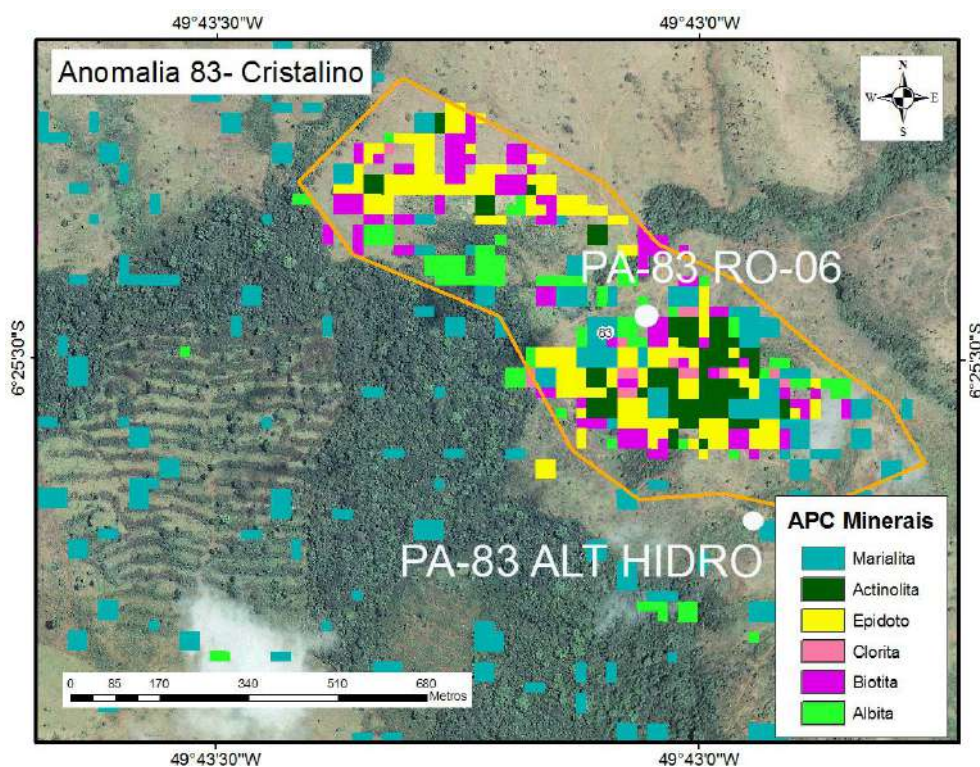


Figura 33 - Anomalia 83 (Cristalino), com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (modificado de Santos, 2010).

5.2 Anomalia 50

Nas amostras estudadas referentes a esta anomalia, a sericitização do plagioclásio é um dos aspectos mais evidentes de alteração hidrotermal. Além disso, o plagioclásio sofreu também processos de cloritização e epidotização. Outro indício importante é a associação do plagioclásio com o feldspato perítico evidenciado

pelas feições conhecidas como *chess board albite*. Tal albite seria de natureza secundária. Outro mineral que indica processos hidrotermais é a biotita, encontrada recristalizada ao longo de fraturas.

Portanto, dos minerais indicativos da anomalia, foram identificados clorita (cloritização), albite (alteração sódica), biotita (alteração potássica) e epidoto (alteração sódico-cálcica).

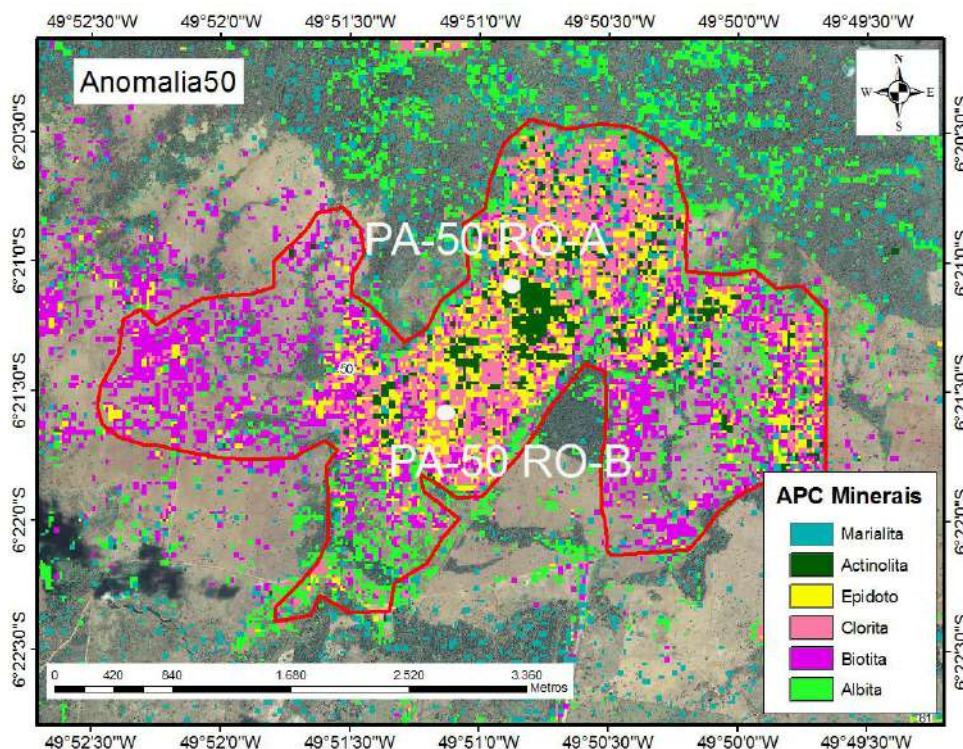


Figura 34 - Anomalia 50, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (Santos, 2010).

5.6 Anomalia 138

A amostra referente à anomalia 138 mostra claros indícios de passagem de fluido hidrotermal, sendo principal a própria mineralização de calcopirita observável a vista desarmada. No entanto, não foram identificados na amostra os minerais indicadores da própria anomalia. Devido ao altíssimo nível de alteração hidrotermal progressiva, existe a possibilidade de ao entrarem nestas condições físico-químicas que permitem a intensa mineralização, mesmo os minerais indicativos antes presentes na rocha, não encontrem condições ideais para cristalização.

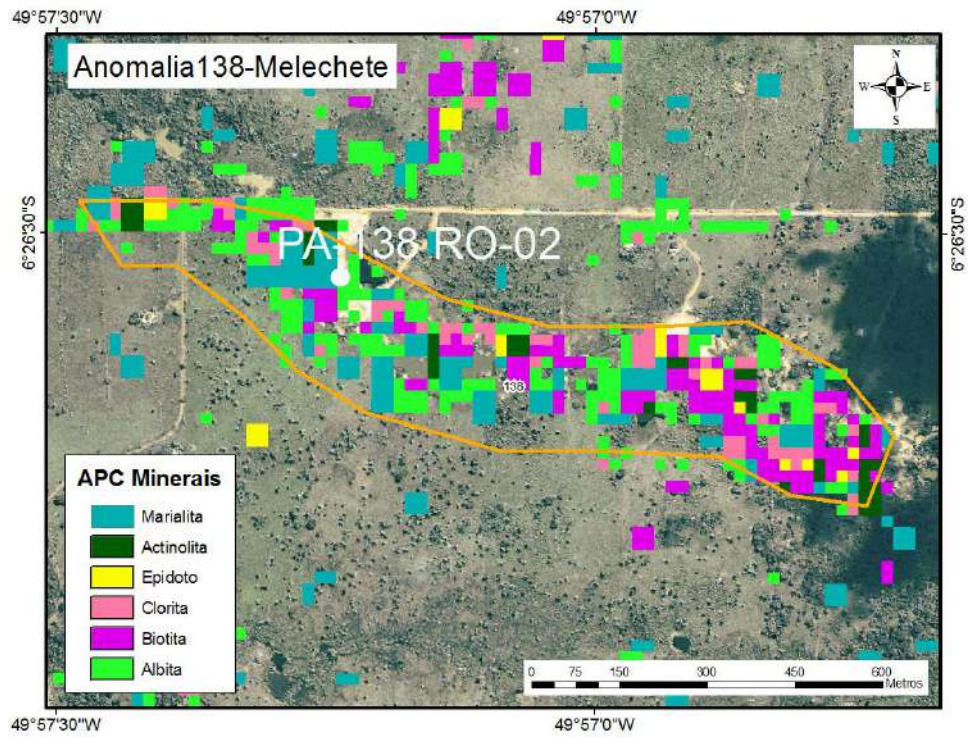


Figura 35 - Anomalia 138, com a classificação da Análise de Principais Componentes sobre imagens Ikonos e o contorno da anomalia em vermelho (modificado de Santos, 2010).

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho reconheceu em lâmina petrográfica alguns dos minerais indicativos de processos hidrotermais geradores de depósitos tipo óxido de ferro-cobre-ouro (*iron oxide-copper-gold*, IOCG) reconhecidos através de estudos de sensoriamento remoto publicados por Santos *et al.* 2010.

Dentre eles estão a albita (alteração sódica) presente nas amostras da anomalia 50 e 83; epidoto (alteração sódico-cálcica) e biotita (alteração potássica) presentes nas amostras da anomalia 50 e 79, e clorita (cloritização) presente nas amostras das anomalias 38, 50, 79, 83 e 122. A presença de actinolita é possível, mas não de toda certeza confirmada na lâmina PA-38 RO-01 da referente a anomalia 38.

A marialita (escapolita sódica) não foi reconhecida em nenhuma das lâminas. E nenhum dos minerais indicativos está presente na amostra PA-138 RO-02, única amostra representativa da anomalia 138, ainda que a própria mineralização de calcopirita tenha sido identificada.

Para futuros trabalhos, são recomendáveis novas visitas de campo, com o objetivo de colher mais amostras e produzir um estudo petrográfico mais amplo e representativo das regiões das anomalias.

Um mapeamento mais detalhado pode revelar que determinadas amostras não pertençam as unidades litológicas evidenciadas pela plotagem dos pontos de localização das amostras no mapa de Oliveira (2009).

Para a amostra PA-138 RO-02, como os estudos petrográficos foram apenas parcialmente conclusivos, é recomendável uma análise de difratometria para o reconhecimento do mineral fibroso não identificado, já que este pode fornecer importantes informações em relação à natureza das alterações hidrotermais que ocorrem junto à mineralização propriamente dita da calcopirita.

REFERÊNCIAS

- 1 AVELAR, V. G. *et al.* O magmatismo arqueano da região de Tucumã, Província Mineral de Carajás: Novos dados geocronológicos. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasília, v. 4, n. 29, p.453-460, 1999.
- 2 ARAÚJO, O. J. B. , MAIA, R. G. N. **Projeto Grande Carajás, folha SB.22-Z-A-Serra dos Carajás**. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Belém: CPRM, 1991. 1 mapa, color. Escala: 1:250.000.
- 3 BARROS, C.E.M., et al. Geologia e geocronologia Rb-Sr do Gnaiss estrela, Curionópolis, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. v. 4, p. 83-102. 1997.
- 4 BARROS, C.E.M., MACAMBIRA, M.J.B., BARBEY, P. Idade de zircão do Complexo Granítico Estrela: relações entre magmatismo, deformação e metamorfismo na Província Metalogenética Carajás. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7, p. 17-20. 2001. *CD-ROM*
- 5 BEISIEGEL, V.R. *et al.* Geomorfologia/Geologia e recursos minerais da Serra dos Carajás. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 3, p. 215-242. 1973.
- 6 BEST, Myron G. **Igneous and metamorphic petrology**. San Francisco : W. H. Freeman, c1982. 630p.
- 7 BIZZI, L. *et al.* **Mapa geológico do Brasil. Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: sistemas de informações geográficas – SIG**. Brasília: CPRM, 2001– Mapas, Escala 1:2.500.000. 4 CD-Rom.
- 8 BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Mapas**. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/>>. Acesso em 01 de jul.2009.
- 9 DALL'AGNOL, R. *et al.* Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. **Precambrian Research**. v. 95, p.9-39. 1999.
- 10 ESTADOS Unidos da América. Administração Nacional do Espaço e da Aeronáutica. Disponível em: <<http://www.nasa.gov>>. Acesso em 25 de jul. 2010.
- 11 GIBBS, A.K. *et al.* Age and composition of the Grão-Pará Group volcanics, Serra dos Carajás, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v.16, n 2, p.201-211. 1986.
- 12 LOBATO, L. M. *et al.* **Geologia da Província Mineral Carajás & Geologia dos Depósitos de Ferro**. Belo Horizonte: Dept. Geologia-IGC-UFMG, 2002.
- 13 LOBATO, L. M. *et al.* A mineralização hidrotermal de ferro da província mineral de Carajás: controle estrutural e contexto na evolução metalogenética da

- provincia. In: (ORG.), Waldir Benecdito Ramos. *et al.* **Caracterização de distritos mineiros da Amazônia**. Brasília: Fundep, 2005. Cap. 2, p. 25-92.
- 14 MACAMBIRA, M.J. B. *et al.* **Novos dados geológicos e geocronológicos para a região ao norte da Província Carajás**: evidências para o estabelecimento do limite Arqueano-paleoproterozóico no sudeste do Cráton Amazônico. In: SBG, SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7, Belém, Workshop 1, *CD-ROM*, 68-71. 2001.
 - 15 OLIVEIRA, Daniel Bruno. Interpretação Radargráfica Aplicada a Modelo SRTM Sombreado: Mapa Lito-Textural de uma Área em Carajás. 2009. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
 - 16 ROSIÈRE, C. A. *et al.* Structure and iron mineralization of the Carajás Province. **Applied Earth Science**, v. 115, n. 4: p126-133. 2006.
 - 17 SANTOS, João Orestes Schneider. Geotectônica dos estudos das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, Luiz Augusto *et al.* **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: textos, mapas & SIG. Brasília: CPRM, 2003. Cap. 2, p. 166-363.
 - 18 SANTOS, Paulo Roberto Alves dos *et al.* Integração e análise de imagens Aster e Ikonos para identificação de sítios de exploração mineral com características de alterações hidrotermais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 62, p. 345-362, fev. 2010.
 - 19 SATTELLITE Imaging Corporation. Disponível em :
<<http://www.satimagingcorp.com/sitemap.html>>. Acesso em 25 de jul.2010.
 - 20 SILVA, G.G. *et al.* Geologia das Folhas SB.22-Araguaia e parte da Folha SC.22- Tocantins. In: **Projeto RADAMBRASIL. Folhas SB.22 – Araguaia e parte da Folha SC.22 – Tocantins**, DNPM Rio de Janeiro, (Levantamento de Recursos Naturais, 4). 1974.
 - 21 STRECKEISEN, A. To each plutonic rocks its proper name. **Earth-Sciences Reviews**. v. 12, p. 1-33, 1976.
 - 22 TASSIRANI, C. C. G. *et al.* The Amazonian Cráton. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: CPRM, 2003. p. 41 - 95.