



**Universidade Federal do Pará  
Campus de Marabá**



**Faculdade de Geologia**

---

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Tatiane de Souza Nascimento**

### **TIPOS E ESTILOS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL DO VULCANO- PLUTONISMO PALEOPROTEROZÓICO DA REGIÃO DE VILA TANCREDO, N DE SÃO FÉLIX DO XINGÚ (PA)**

Marabá / PA  
Março – 2012

**TATIANE DE SOUZA NASCIMENTO**

**TIPOS E ESTILOS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL DO VULCANO-  
PLUTONISMO PALEOPROTEROZÓICO DA REGIÃO DE VILA  
TANCREDO, N DE SÃO FÉLIX DO XINGÚ (PA)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Geologia  
da Universidade Federal do Pará-  
UFPA, em cumprimento às exigências  
para obtenção do grau de Bacharel em  
Geologia.

Orientador: Prof. Carlos Marcello Dias  
Fernandes

Marabá / PA  
Março – 2012

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca II da UFPA. CAMAR, Marabá, PA**

---

Nascimento, Tatiane de Souza

Tipos e estilos de alteração hidrotermal do vulcano-plutonismo paleoproterozóico da região de Vila Tancredo, N de São Félix do Xingú (PA) / Tatiane de Souza Nascimento; orientador, Carlos Marcello Dias Fernandes. — 2012.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Marabá, Faculdade de Geologia, Marabá, 2012.

1. Geologia - São Félix do Xingú (PA). 2. Rochas - Análise. 3. Petrologia. 4. Microscopia. I. Fernandes, Carlos Marcello Dias, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 553.098115

---

TATIANE DE SOUZA NASCIMENTO

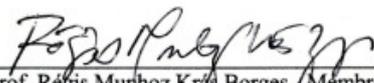
**TIPOS E ESTILOS DE ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL DO VULCANO-  
PLUTONISMO DA REGIÃO DE VILA TANCREDO, N DE SÃO FÉLIX DO  
XINGU (PA)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Geologia da  
Universidade Federal do Pará – UFPA, em  
cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de Bacharel em Geologia.



---

Carlos Marcello Dias Fernandes – Orientador  
Doutor em Mineralogia e Petrologia  
Universidade Federal do Pará



---

Prof. Régis Munhoz Krás Borges – Membro  
Doutor em Geologia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará



---

Carlos Mario Echeverri Misas – Membro  
Mestre em Mineralogia e Petrologia  
Universidade de São Paulo

**MARABÁ – PARÁ  
MARÇO – 2012**

*“Eu acredito demais na sorte.  
E tenho constatado que,  
quanto mais duro eu trabalho,  
mais sorte eu tenho”*

Thomas Jefferson

## AGRADECIMENTOS

Certamente, sem a contribuição de algumas pessoas e instituições, este trabalho não seria concluído. Em particular quero agradecer:

- A Deus por todo o apoio espiritual que precisei para chegar até aqui.
- Ao meu pai Nunes e minha mãe Marilana pela educação, apoio e suporte para que eu realizasse com sucesso o meu objetivo. Muito Obrigada!
- Aos meus irmãos Pablo e Thaíze que foram responsáveis por esta etapa da minha vida. Obrigada por acreditarem em mim!
- Aos meus cunhados, Osmarina e Diego, pelo incentivo.
- Às minhas amigas de todas as horas, Saara, Samille e Vannessa, sem o apoio de vocês seria impossível chegar até aqui. Obrigada!
- Ao amigo, irmão de fé e companheiro de todas as horas, por compartilhar esse sonho comigo e sempre se fazer presente durante minha caminhada no mundo da geologia. Muito Obrigada!
- Ao Marx, pela amizade, dedicação e cumplicidade durante várias etapas (difíceis) do curso e da vida. Muito obrigada!
- Ao Clesianu pela amizade e apoio nesses quase cinco anos de convivência. Ao Robertinho e Fernando pela amizade e companheirismo nos momentos que mais precisei. Obrigada!
- Ao professor e orientador Carlos Marcello pela oportunidade, dedicação e, principalmente, amizade nesses anos de aprendizado. Muito obrigada!
- A Raquel e Aguinaldo, companheiros de sempre em todas as etapas deste trabalho. Ao Carlos Mário que somou para o meu amadurecimento em campo e proporcionou muitos momentos de descontração. Ao Bruno Lagler por compartilhar experiências com as rochas da região, entre outros assuntos não menos interessantes.
- Ao Prof. Claudio Nery Lamarão do IG/UFGA pelo apoio na realização de algumas análises por microscopia eletrônica de varredura.
- À Universidade Federal do Pará, em particular a FAGEO, pela infra-estrutura.
- A todos os professores da Faculdade de Geologia que contribuíram para a minha formação.
- Por fim, a todos aqueles que não foram citados aqui, mas contribuíram de alguma maneira para o desenvolvimento deste trabalho. Obrigada!

## RESUMO

A região de São Félix do Xingú apresenta extensa cobertura de rochas vulcano-plutônicas paleoproterozóicas, incluídas nas formações Sobreiro e Santa Rosa. Estudos de petrografia e microscopia eletrônica de varredura revelaram importante hidrotermalismo associado, evidenciado por zonas superpostas de alteração potássica, propilítica e sericítica em diferentes estilos e intensidade. A Formação Sobreiro apresenta alteração propilítica nos estilos pervasivo, seletivamente pervasivo e fissural, identificada pela paragênese epidoto, clorita, clinozoisita, zoisita, pirita, calcopirita, galena, quartzo, carbonato e albita. Na Formação Santa Rosa há alteração sericítica nos riolitos e em algumas rochas vulcanoclásticas, desenvolvida nos estilos seletivamente pervasivo e pervasivo e caracterizada pela paragênese sericita, quartzo, monazita, rutilo e carbonato. Ocorre ainda nessa unidade importante metassomatismo potássico nos pórfiros graníticos no estilo seletivamente pervasivo, composto por biotita, feldspato potássico, clorita hidrotermal, óxido de ferro, allanita e zircão. A presença dessas zonas hidrotermalizadas constitui um indicador primordial para eventuais mineralizações epitermais e do tipo pórfiro de metais raros e de base.

## ABSTRACT

The São Félix do Xingú region has extensive paleoproterozoic volcano–plutonic rocks coverage included in the Sobreiro and Santa Rosa formations. Petrographic and SEM studies revealed hydrothermalized lithotypes associated, as evidenced by overlapping zones of potassic, propylitic, and sericitic alteration in several styles and intensity. The Sobreiro Formations shows propylitic alteration in pervasive, selectively pervasive, and fissure-controlled styles, identified by the paragenesis epidote, chlorite, clinozoisite, zoisite, pyrite, chalcopyrite, galena, quartz, carbonate, and albite. In the Santa Rosa Formation there is sericitic alteration in rhyolites and some volcanoclastic rocks, developed in styles selectively pervasive and pervasive and its paragenesis is sericite, quartz, monazite, rutile and carbonate. This unit has important selectively pervasive style potassic metasomatism in the granite porphyry, composed of biotite, K-feldspar, hydrothermal chlorite, iron oxide, allanite, and zircon. The presence of these zones is a pathfinder for eventual rare and base metals epithermal and porphyry-type mineralizations.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>I</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>III</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO DAS UNIDADES VULCÂNICAS .....</b>	<b>2</b>
<b>3. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO À ÁREA DO ESTUDO .....</b>	<b>3</b>
<b>4. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>3</b>
<b>5. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>6. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>5</b>
6.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	5
6.2 AMOSTRAGEM .....	5
6.3 PETROGRAFIA .....	5
6.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA .....	5
<b>7. PRODUTOS VULCÂNICOS: ASPECTOS CONCEITUAIS E CLASSIFICAÇÃO ...</b>	<b>6</b>
7.1. DEPÓSITOS VULCÂNICOS .....	6
7.2 ALTERAÇÃO HIDROTERMAL .....	8
<b>8. RESULTADOS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>13</b>
<b>9. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>37</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Cráton Amazônico (Almeida et al., 1981) é considerado uma das últimas fronteiras na busca de bens minerais essenciais para o desenvolvimento da humanidade, pois hospeda na região da Província Mineral de Carajás e adjacências enormes jazidas de ferro, ouro, cobre, manganês, etc. (Abreu & Ramos, 1974; Bettencourt & Dall’Agnol, 1987; DOCEGEO, 1988; Juliani et al., 2005; Teixeira et al., 2005). Tais características peculiares têm atraído e motivado pesquisadores do país e do mundo inteiro para o desenvolvimento de estudos na região junto aos órgãos de fomento do país e empresas privadas, contribuindo assim na elucidação dos processos mineralizantes e sua relação com o magmatismo, bem como o entendimento da evolução crustal da região como um todo.

Na região centro-sul do Estado do Pará, em área imediatamente a norte e oeste do município de São Félix do Xingú, encontra-se materializado extenso vulcano-plutonismo efusivo e explosivo paleoproterozóico representado pelas formações Sobreiro e Santa Rosa. A seqüência basal foi depositada em forma de fluxos de lavas com rochas vulcanoclásticas associadas, revelando composição predominantemente andesítica, assinatura cálcio-alcalina de alto potássio e afinidade magmática com granitóides de arco vulcânico. A unidade superior é exclusivamente félsica e assinatura de granitóides do tipo-A intraplaca, cuja efusão foi predominantemente controlada por grandes fissuras crustais orientadas segundo NE-SW, e subordinadamente NW-SE (Juliani & Fernandes, 2010).

Trabalhos de campo intensivos e sistemáticos recentemente desenvolvidos na região revelaram a presença de centros/halos de alteração hidrotermal, associadas a estas unidades. Contudo, apesar da evolução do conhecimento a respeito do quimismo e modelo geológico de erupção desses litotipos, a caracterização detalhada destas alterações ainda é incipiente (Lagler, 2011). Além disso, estas alterações hidrotermais são consideradas marcadores primordiais para a identificação de depósitos epitermais *low* e *high-sulfidation* de metais raros (ouro, prata nativa, cobre, etc.), a exemplo da ocorrência descrita na Província Aurífera do Tapajós (Juliani et al., 2005), a qual se encontra intimamente associada ao desenvolvimento de um conjunto de *ash-flow calderas* aninhadas (Lipman, 1984; Juliani et al., 2005).

O trabalho proposto visou à realização de um estudo mais detalhado acerca da caracterização dos diversos tipos e estilos de alteração hidrotermal identificados nas formações Sobreiro e Santa Rosa, ocorrentes na região de Vila Tancredo, N de São Félix do Xingú, com base em petrografia e microscopia eletrônica de varredura.

## 2. CONTEXTO GEOTECTÔNICO DAS UNIDADES VULCÂNICAS

O Cráton Amazônico representa uma das maiores áreas pré-cambrianas do mundo. Está situado na Plataforma Sul-Americana, na região norte do Brasil, constituído pelos escudos das Guianas e Brasil Central, separados pela faixa sedimentar das bacias do Amazonas e Solimões (Caputo et al., 1972). Diversos autores propuseram modelos geotectônicos para esta megaunidade, porém até o momento pouco se saiba a respeito da vergência das estruturas e polaridade do metamorfismo em função de sua complexa história geológica.

Este cráton foi considerado, com base em dados estruturais e geofísicos, como uma plataforma arqueana retrabalhada e reativada durante o Paleoproterozóico pelo evento Transamazônico, onde as orogêneses ensiálicas são consideradas o principal mecanismo da acreção crustal, sem papel significativo de rifteamento e subducção (Almeida et al., 1981; Costa & Hasui, 1997). No entanto, outros autores baseados principalmente em dados geocronológicos e isotópicos dividem o cráton em províncias geocronológicas, relacionando a eventos de acreção continental (Tassinari & Macambira, 1999; Santos et al., 2000). O arranjo proposto por Tassinari & Macambira (1999) divide o cráton em seis províncias geocronológicas, a saber: províncias Amazônia Central (> 2.2 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2.2–1.95 Ga), Ventuari-Tapajós (1.95 – 1.8 Ga), Rio Negro-Juruena (1.8 – 1.55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1.55 – 1.3 Ga) e Sunsás (1.3 – 1.0 Ga). Entretanto, Santos et al. (2000) subdividem o Cráton Amazônico em sete províncias geocronológicas, com limites consideravelmente distintos do anterior, cujas principais modificações são a adição da Província Carajás; a designação de Província Transamazônica para a Província Maroni-Itacaiúnas; redefinição da Província Tapajós-Parima (Ventuari-Tapajós); divisão da Província Rio Negro-Juruena nas províncias Rio Negro (englobando a região de Ventuari) e Rondônia-Juruena; e por fim, ampliação da Província Sunsás.

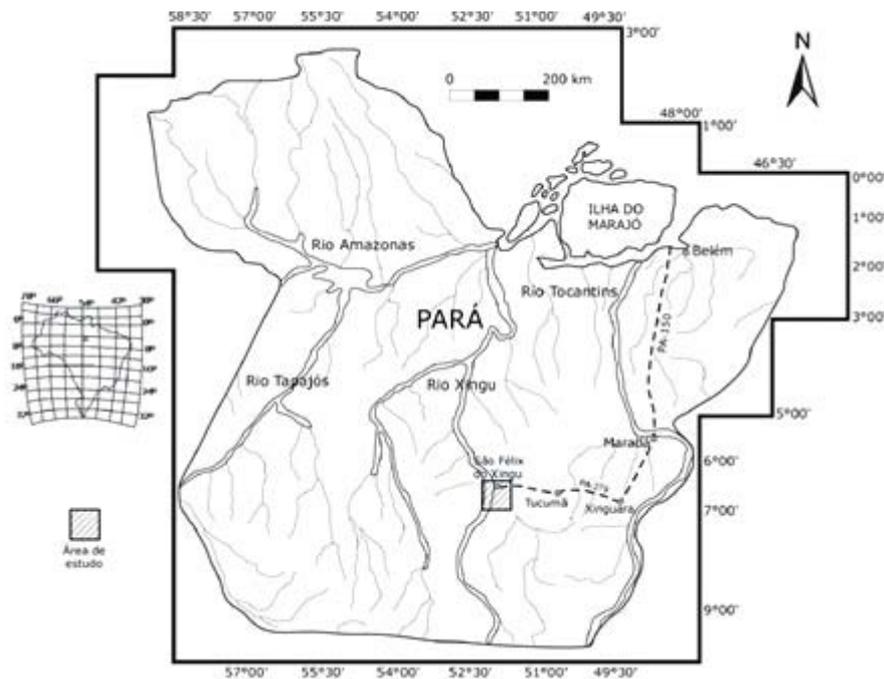
A integração dos dados geológicos, geocronológicos e metalogenéticos obtidos até então na porção sul do Cráton Amazônico, para as várias ocorrências de vulcanismo do tipo Uatumã, sugeriram a existência de um possível zonamento metalogenético formado entre ~ 2,0 – 1,88 Ga nesta unidade tectônica, na região compreendida entre o gráben da Serra do Cachimbo e São Félix do Xingú (PA) (Juliani et al., 2009; Fernandes et al., 2011). Este zonamento foi formado por uma orogênese oceano–continente orientada aproximadamente leste–oeste, e a ocorrência das associações mais jovens (1,88 Ga) pode ser explicada pela incomum mudança no ângulo da placa subductada conhecida como *flat subduction* (Sacks,

1983), como descrito no Cinturão Vulcânico Trans-Mexicano (Ferrari et al., 1999) e no Cinturão Andino (Kay et al., 2005).

### 3. LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO À ÁREA DO ESTUDO

A área do estudo localiza-se na porção centro-sul do Estado do Pará (Figura 1), nas vizinhanças de São Félix do Xingú (PA) (Folha SB.22-Y.B), compreendendo uma área total de 300km<sup>2</sup> (15km X 20 km) limitada pelos paralelos 6°30'00'' e 6°57'00'' de latitude sul e pelos meridianos 51°56'00'' e 52°30'00'' de longitude oeste, totalizando aproximadamente 2.630 km<sup>2</sup>.

As principais vias de acesso a área de estudo são as rodovias PA-150 (Marabá – Xinguara) e PA-279 (Xinguara – Tucumã – São Félix do Xingú). A partir das margens direita e esquerda desta última, segue-se por várias vicinais não pavimentadas, mais especificamente a Vila Tancredo estando este inserido na área de estudo.



**Figura 1:** Mapa do Estado do Pará com localização da área de estudo e principais vias de acesso. Extraído de Fernandes (2005).

### 4. JUSTIFICATIVA

A Província Mineral de Carajás tem um papel estratégico importante para o Estado do Pará e para o Brasil, pois hospeda em seu subsolo importantes depósitos minerais de ferro, cobre, zinco, alumínio, ouro, manganês, estanho, platinóides, entre outros. Na década de 50 houve as primeiras iniciativas de investigação geológica na região através do Projeto

Araguaia, cujo objetivo era um amplo recobrimento aerofotogramétrico a fim de avaliar o seu potencial mineral. Através do Projeto Radam, na década de 70, iniciou-se a utilização de imagens de radar, esse método possibilitou a descoberta de importantes jazidas de ferro e outros bens minerais.

Hoje, diversas áreas pertencentes à Província Mineral de Carajás ainda são mal conhecidas geologicamente e não dispõem de mapeamentos geológicos em escala adequada para o estudo da estratigrafia das unidades vulcânicas, definição precisa do ambiente tectônico de formação e aos trabalhos de prospecção mineral. Dentre essas, está a região de São Félix do Xingú, o que justifica:

- ✓ Refinamentos de estudos petrográficos de associações magmáticas, para a identificação e caracterização de zonas afetadas por alterações hidrotermais, por meio do estudo das assembléias minerais pós-magmáticas e da sua relação com diferentes tipos de sistemas hidrotermais, tendo em vista que as mesmas são indicadoras da existência de possíveis depósitos minerais.
- ✓ Caracterização das principais fases minerais, através dos estudos em microscópio eletrônico de varredura, aliados às observações por microscopia óptica convencional, por fornecerem importantes subsídios para a caracterização completa dos vulcanitos em tela.

## **5. OBJETIVOS**

Pretendeu-se com este trabalho aprofundar o conhecimento geológico da região de Vila Tancredo, NNE de São Félix do Xingú, centro-sul do Estado do Pará, especialmente em relação ao seu vulcanismo paleoproterozóico. Em razão disso, os objetivos específicos desta pesquisa foram:

- ✓ Realização de estudos petrográficos detalhados com vistas a melhor caracterizar os diversos tipos vulcânicos hidrotermais associados às formações Sobreiro e Santa Rosa;
- ✓ Caracterização através de microscopia eletrônica de varredura de fases acessórias de dimensões diminutas e minerais óxidos de Fe e Ti, por serem de difícil reconhecimento utilizando-se microscopia óptica convencional;
- ✓ Identificação e caracterização detalhada das zonas ou halos de alteração hidrotermal, que servem como indicadores de potenciais depósitos minerais.

## **6. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **6.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA**

Foram realizados levantamentos bibliográficos sobre a geologia da região proposta para os estudos, bem como em relação aos diversos temas a serem abordados durante o desenvolvimento do trabalho, através de consultas ao Portal de periódicos da CAPES e bibliotecas da UFPA.

### **6.2 AMOSTRAGEM**

Nesta etapa foram utilizadas as amostras coletadas para o doutoramento do orientador, além de amostras coletas pelo autor deste trabalho, durante o campo realizado em junho de 2011.

### **6.3 PETROGRAFIA**

O estudo de lâminas delgadas envolveu descrições mineralógicas detalhadas e análises texturais (cf. Williams et al., 1962; Mackenzie & Guilford, 1982; Fisher & Schmincke, 1984; McPhie et al., 1993). Objetivando-se: (a) o reconhecimento das fases minerais, suas relações de contato, formas e dimensões, presença de inclusões, intercrescimentos (exsolução e substituição); (b) caracterização de paragêneses (magmáticas e hidrotermais) de acordo com Gifkins (2005); (c) sequência de cristalização tanto magmático quanto pós-magmática, quando possível; (d) identificação de cristais, fragmentos de cristais e fragmentos líticos de origem vulcanoclástica.

### **6.4 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA**

Os estudos por microscópio eletrônico de varredura (MEV) com EDS (Energy Dispersive System) acoplado foram imprescindíveis para a caracterização das fases minerais diminutas. O primeiro proporciona imagens com aumento muito superiores aos microscópios óticos convencionais e o segundo permite a imediata identificação com análises qualitativas e semi-quantitativas de boa qualidade. As análises foram realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – LABMEV do Instituto de Geociências da UFPA. O equipamento utilizado foi um MEV modelo LEO-1430 e as lâminas foram metalizadas com carbono.

## 7. PRODUTOS VULCÂNICOS: ASPECTOS CONCEITUAIS E CLASSIFICAÇÃO

Este capítulo consiste de uma revisão sobre conceitos tratados na literatura sobre rochas vulcânicas e alterações hidrotermais, temas centrais ou relacionados a este trabalho.

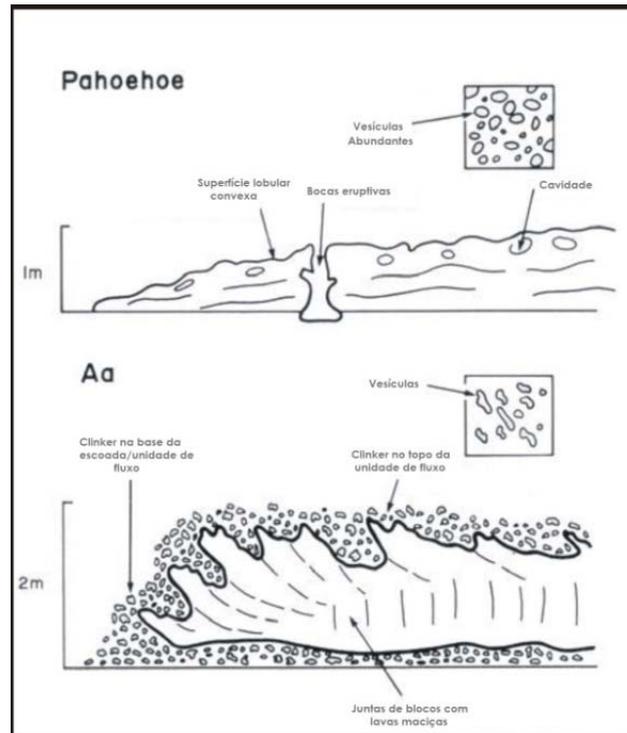
### 7.1. DEPÓSITOS VULCÂNICOS

Produtos vulcânicos gerados em um evento eruptivo podem ser classificados dentro de duas principais categorias: **fluxos de lavas** e **partículas piroclásticas (ou vulcanoclásticas)**. Fluxos de lava são magmas extravasados na superfície terrestre durante uma atividade vulcânica efusiva, de caráter essencialmente não-explosivo, devido ao baixo conteúdo de voláteis. As principais texturas formadas neste tipo de depósito são porfirítica, afanítica e totalmente vítrea (McPhie et al., 1993).

Segundo Gillespie & Styles (1999), fluxos de lava são subdivididos em duas categorias principais: *fluxos de lava* e *domos de lava*. Estas duas categorias representam diferenças na composição química e nas propriedades físicas do magma, principalmente a viscosidade.

Os depósitos de fluxo de lavas (*lava flows*) são divididos em três classes: lavas *Pahoehoe*, lavas *Aa* e lavas em blocos. As Lavas *Pahoehoe* e *Aa* são termos havaianos para descrever fluxos de lava, o primeiro apresenta superfícies lisas, contínuas formam-se em fluxos de baixa viscosidade, ao contrário das *Pahoehoe*, as lavas *Aa* apresentam uma superfície áspera, irregular, espinhosa e, muitas vezes fragmentada, formadas em fluxo de maior viscosidade (Figura 2). Já nas Lavas em blocos o fluxo de lava é caracterizado por superfícies altamente fraturadas que contém fragmentos de detritos (geralmente fragmentos de fluxo) até vários metros de diâmetro. O tamanho dos fragmentos de lavas em blocos é controlado pela reologia da lava no interior do fluxo (Killburn, 2000).

Os domos de lavas consistem em massas, com taludes íngremes, de lavas viscosas extrudidas a partir de um conduto vulcânico (muitas vezes circular). Eles podem possuir flancos íngremes ou serem tabulares em perfil, ou ainda possuir contornos circulares, elípticos ou irregulares. O diâmetro varia desde alguns metros até vários quilômetros, e a altura varia desde alguns metros até mais de 1 km (Fink, 2000).



**Figura 2** – Cortes longitudinais esquemáticos para os derrames dos tipos Pahoehoe e Aa (Cas & Wright, 1987).

Os depósitos piroclásticos são formados a partir da chuva de fragmentos na atmosfera oriundos de uma erupção explosiva, devido a elevada quantidade de voláteis/gases dissolvidos no magma (Houghton, 2000).

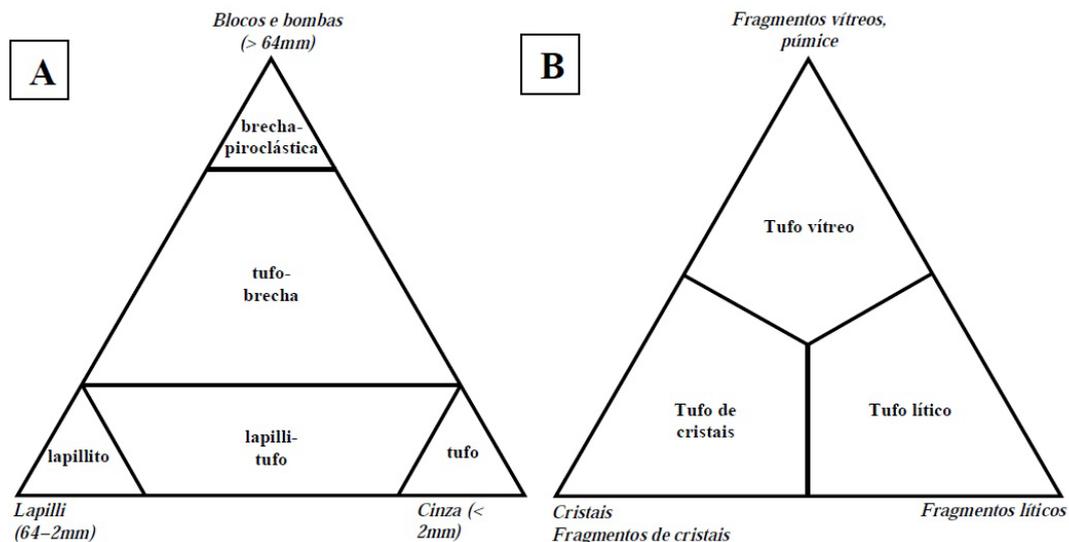
McPhie et al. (1993) classificam e dividem os depósitos piroclásticos (ou vulcanoclásticos) em três classes diferentes: 1) *Depósitos piroclásticos primários*: formados por fragmentos gerados diretamente pela atividade vulcânica, que não sofreram retrabalhamento significativo por processos sedimentares; 2) *Depósitos vulcanoclásticos ressedimentados*: formados por fragmentos gerados diretamente pela atividade vulcânica, mas que sofreram retrabalhamento por processos superficiais; 3) *Depósitos sedimentares vulcanogênicos*: composto por fragmentos gerados pelo intemperismo e erosão de rochas piroclásticas pré-existentes.

Em classe de depósitos há subdivisões considerando o tipo de transporte dos materiais (McPhie et al., 1993). No caso dos depósitos piroclásticos primários há uma subdivisão em:

- ✓ *Depósitos de fluxo piroclástico*, formados por correntes densas de particulados quentes e gases produzidos por atividade vulcânica. São de grande extensão, mal selecionados, geralmente maciços, mas podem apresentar gradação incipiente, acamamento ou mesmo imbricação de partículas orientadas. Seus principais componentes são cristais, fragmentos de cristais, *glassy shards*, fragmentos líticos e púmice.

- ✓ *Depósitos piroclásticos de queda*, formados por fragmentos piroclásticos que são introduzidos na atmosfera por meio de erupções explosivas e são transportados por turbulência e suspensão.
- ✓ *Depósitos piroclásticos do tipo “surge”*, que compreendem pacotes de rocha formadas por fragmentos bem selecionados, granulação mais fina comparada aos depósitos de fluxo piroclástico, pouco espessos e comumente acamadados, inclusive com desenvolvimento de estruturas como estratificação plano-paralela, cruzada e marcas onduladas.

A classificação de rochas piroclásticas é baseada principalmente na granulação dos fragmentos que compõem a rocha (Fig. 3a). A composição dos fragmentos que compõem as rochas piroclásticas também pode ser utilizada em sua classificação (Fig. 3b).



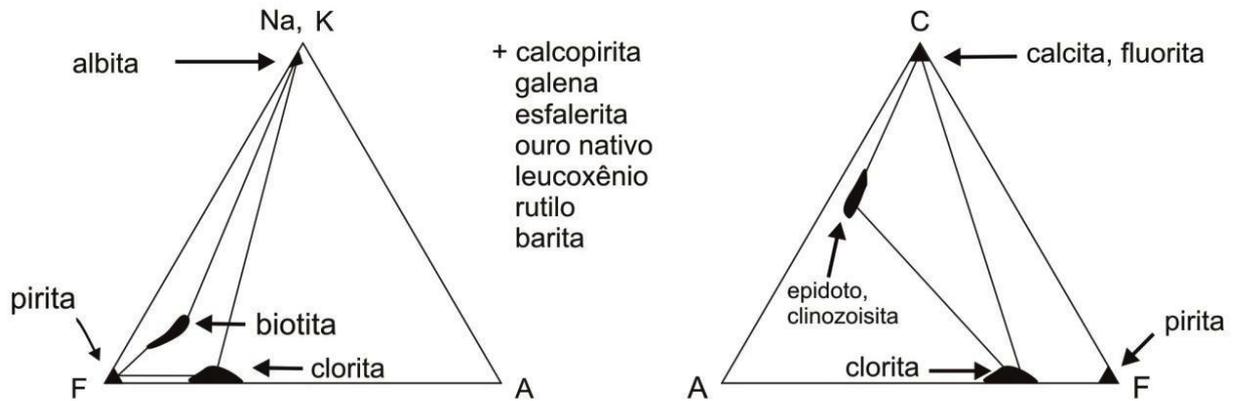
**Figura 3** – a) Diagrama de classificação para rochas piroclásticas e b) Classificação e nomenclatura de tufos com base na composição de seus fragmentos, segundo Fisher & Schmincke (1984).

## 7.2 ALTERAÇÃO HIDROTERMAL

Alteração hidrotermal é um termo que envolve qualquer mudança na composição mineralógica de uma rocha por meios físicos e/ou químicos, induzidas pela interação com soluções aquosas quentes, frias ou com gases. Nos processos hidrotermais, a alteração pode modificar a mineralogia de uma rocha, podendo dissolver, precipitar e recrystalizar novos minerais. Estas alterações ocorrem devido a mudanças físico-químicas induzidas pelo contato de fluidos ou soluções hidrotermais com a rocha por onde eles circulam. Estas mudanças ocorrem através do processo conhecido com metassomatismo, caracterizado por trocas químicas entre a fase fluida altamente reagente e os minerais das rochas circundantes e

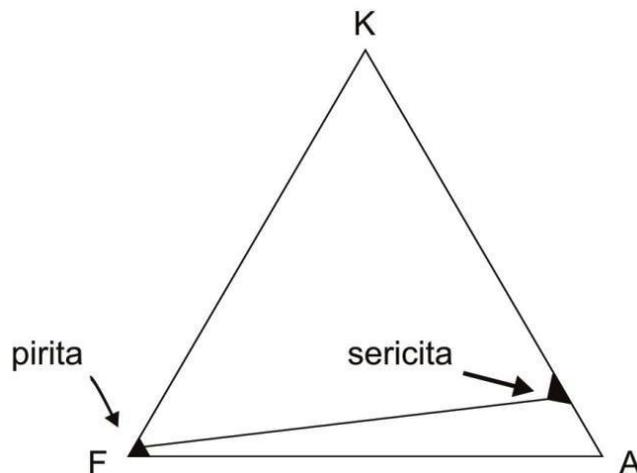


actinolita (Pirajno, 1992). A principal paragênese deste tipo de alteração encontra-se ilustrados na figura 5. Comumente esse tipo de alteração se desenvolve nas margens de depósitos de cobre do tipo pórfiro e epitermais (Sillitoe, 2010).



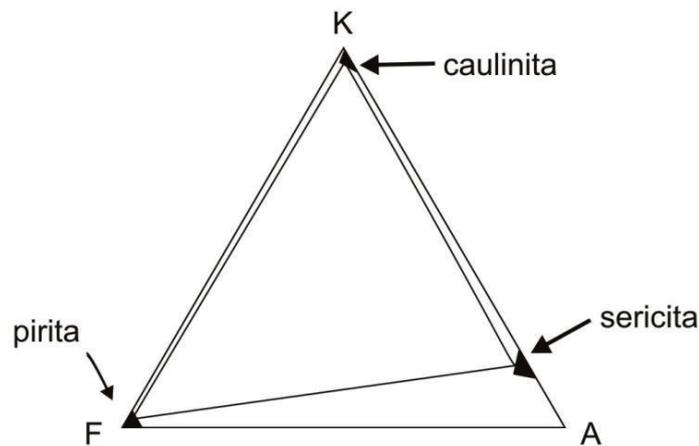
**Figura 5:** Diagramas AKF e ACF representando as paragêneses da alteração propilítica (Extraído de Misas, 2010).

A alteração sericítica ocorre quando há aumento do metassomatismo do íon  $H^+$  e diminuição da razão  $aK^+/aH^+$ . Este tipo de alteração está ligada essencialmente a desestabilização de feldspato devido à elevada quantidade de  $H^+$ ,  $OH^-$ , K e S, formando uma assembléia típica composta por quartzo, micas brancas e sulfetos, com feldspato potássico, caolinita, calcita, biotita, rutilo, anidrita e apatita subordinados e a paragênese típica deste tipo de alteração encontra-se na figura 6. A alteração sericítica manifesta-se através de reações químicas como hidrólise e hidratação (Pirajno, 2009).



**Figura 6:** Diagrama AKF representando a paragênese da alteração sericítica (Extraído de Misas, 2010).

A alteração argílica é caracterizada por intenso metassomatismo do íon  $H^+$  e lixiviação ácida em temperaturas entre 100 a 300 °C. Pode ser subdividida em argílica intermediária e argílica avançada, dependendo da intensidade e assembléia mineralógica desenvolvida durante a interação fluido-rocha (Pirajno, 2009). Esse tipo de alteração é formado pela decomposição dos feldspatos em argilominerais, como a caulinita, illita, montmorillonita, dickita, haloisita e allofana e sua paragênese principal encontra-se na figura 7.



**Figura 7:** Diagrama AKF representando a paragênese da alteração argílica. (Extraído de Misas, 2010).

Outra forma de se classificar os produtos da alteração hidrotermal é através do seu estilo, ou seja, utilizando características que refletem a intensidade da alteração, forma de ocorrência e caráter do processo hidrotermal de acordo com o estado de preservação da rocha original. Nesse sentido, Pirajno (2009) destaca os seguintes estilos de alteração hidrotermal:

- 1) **Pervasiva:** resulta em substituição total ou significativa da mineralogia da rocha, com desaparecimento total ou parcial das texturas pré-existentes.
- 2) **Seletiva:** é definida pela substituição de determinados minerais, como a saussuritização do plagioclásio ou a cloritização da biotita, preservando a textura original da rocha.
- 3) **Fissural:** geralmente ocorre em determinadas porções da rocha favoráveis à infiltração dos fluidos hidrotermais, tais como em veios e fissuras (alteração fissural).

Tipo de Alteração	Paragênese Mineral	Ambiente de Formação
<b>Argílica intermediária</b>	<b>Montmorillonita + illita + caolinita</b> ± <b>clorita</b> ± <b>sericita</b> ± esmectita ± calcita ± epidoto ± biotita ± pirita	Pórfiro de cobre e epitermal <i>high-sulfidation</i>
<b>Argílica avançada</b>	<b>Pirofilita + caolinita + quartzo</b> ± alunita ± diaspóro ± barita ± andaluzita ± sericita ± topázio ± enargita ± turmalina ± pirita ± calcopirita ± hematita	Pórfiro de cobre, epitermal <i>high-sulfidation</i> , epitermal <i>low-sulfidation</i> e geothermal
<b>Sericítica</b>	<b>Sericita + quartzo + pirita</b> ± biotita ± clorita ± rutilo ± leucoxênio ± illita ± calcopirita ± feldspato potássico	Pórfiro de cobre, epitermal <i>low-sulfidation</i> , VHMS e geothermal
<b>Propílica</b>	<b>Epidoto (zoisita ou clinozoisita) + clorita + albita + carbonato</b> ± sericita ± montmorillonita ± apatita ± anidrita ± ankerita ± hematita ± pirita ± calcopirita	Pórfiro, epitermal <i>high-sulfidation</i> , epitermal <i>low-sulfidation</i> e geothermal
<b>Greisen</b>	<b>Muscovita (ou sericita) + quartzo + topázio</b> ± turmalina ± fluorita ± rutilo ± cassiterita ± magnetita ± wolframita ± feldspato potássico	Pórfiros de cobre e de Sn
<b>Skarn cálcico</b>	<b>Piroxênio + granada + wollastonita</b> ± epidoto ± actinolita-tremolita ± pirita ± calcopirita ± esfalerita	Pórfiro e <i>skarn</i>
<b>Skarn magnésiano</b>	<b>Forsterita + diopsídio + serpentina + talco</b> ± actinolita-tremolita ± calcita ± magnetita ± hematita ± calcopirita ± pirita ± esfalerita	Pórfiro e <i>skarn</i>
<b>Skarn regressivo</b>	<b>Calcita + clorita</b> ± hematita ± pirita	Pórfiro e <i>skarn</i>

**Tabela 1:** Tipo de alteração hidrotermal, assembléias minerais constituintes e ambientes de formação. Minerais indicadores estão marcados em negrito. Modificado de Gifkins (2005).

## 8. RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho estão contidos no artigo intitulado “*Alterações hidrotermais e potencial metalogenético do vulcano–plutonismo paleopretorozóico da região de São Félix do Xingú (PA), N do Cráton Amazônico*”, a ser submetido ao periódico *Geologia USP (Série Científica)*.

**Alterações hidrotermais e potencial metalogenético do vulcano–plutonismo paleopretorozóico da região de São Félix do Xingú (PA), N do Cráton Amazônico**

Tatiane de Souza Nascimento<sup>1</sup>, Carlos Marcello Dias Fernandes<sup>2,\*</sup>, Aginaldo José Corrêa de Jesus<sup>1</sup>, Raquel Souza da Cruz<sup>1</sup>, Caetano Juliani<sup>3</sup>, Bruno Lagler<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Geologia de Marabá, Universidade Federal do Pará

<sup>2</sup>Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará

<sup>3</sup>Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo

10 Figuras

4378 Palavras

\* Autor correspondente:

Carlos Marcello Dias Fernandes. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. Campus Universitário do Guamá, Caixa Postal 1611 – CEP 66075-110, Belém-PA, Brasil. Fone.: (91) 3201-7404 – Fax (91) 3201-7609, e-mail: cmdf@ufpa.br

## RESUMO

A região de São Félix do Xingú apresenta extensa cobertura de rochas vulcano–plutônicas paleoproterozóicas, incluídas nas formações Sobreiro e Santa Rosa. Estudos de petrografia e microscopia eletrônica de varredura revelaram importante hidrotermalismo associado, evidenciado por zonas superpostas de alteração potássica, propilítica e sericítica em diferentes estilos e intensidade. A Formação Sobreiro apresenta alteração propilítica nos estilos pervasivo, seletivamente pervasivo e fissural, identificada pela paragênese epidoto, clorita, clinozoisita, zoisita, pirita, calcopirita, galena, quartzo, carbonato e albita. Na Formação Santa Rosa há alteração sericítica nos riolitos e em algumas rochas vulcanoclásticas, desenvolvida nos estilos seletivamente pervasivo e pervasivo e caracterizada pela paragênese sericita, quartzo, monazita, rutilo e carbonato. Ocorre ainda nessa unidade importante metassomatismo potássico nos pórfiros graníticos no estilo seletivamente pervasivo, composto por biotita, feldspato potássico, clorita hidrotermal, óxido de ferro, allanita e zircão. A presença dessas zonas hidrotermalizadas constitui um indicador primordial para eventuais mineralizações epitermais e do tipo pórfiro de metais raros e de base.

**Palavras-chave:** Epitermal; Pórfiro; Petrografia; Metassomatismo

## ABSTRACT

The São Félix do Xingú region has extensive paleoproterozoic volcano–plutonic rocks coverage included in the Sobreiro and Santa Rosa formations. Petrographic and SEM studies revealed hydrothermalized lithotypes associated, as evidenced by overlapping zones of potassic, propylitic, and sericitic alteration in several styles and intensity. The Sobreiro Formations shows propylitic alteration in pervasive, selectively pervasive, and fissure-controlled styles, identified by the paragenesis epidote, chlorite, clinozoisite, zoisite, pyrite, chalcopyrite, galena, quartz, carbonate, and albite. In the Santa Rosa Formation there is sericitic alteration in rhyolites and some volcanoclastic rocks, developed in styles selectively pervasive and pervasive and its paragenesis is sericite, quartz, monazite, rutile and carbonate. This unit has important selectively pervasive style potassic metasomatism in the granite porphyry, composed of biotite, K-feldspar, hydrothermal chlorite, iron oxide, allanite, and zircon. The presence of these zones is a pathfinder for eventual rare and base metals epithermal and porphyry-type mineralizations.

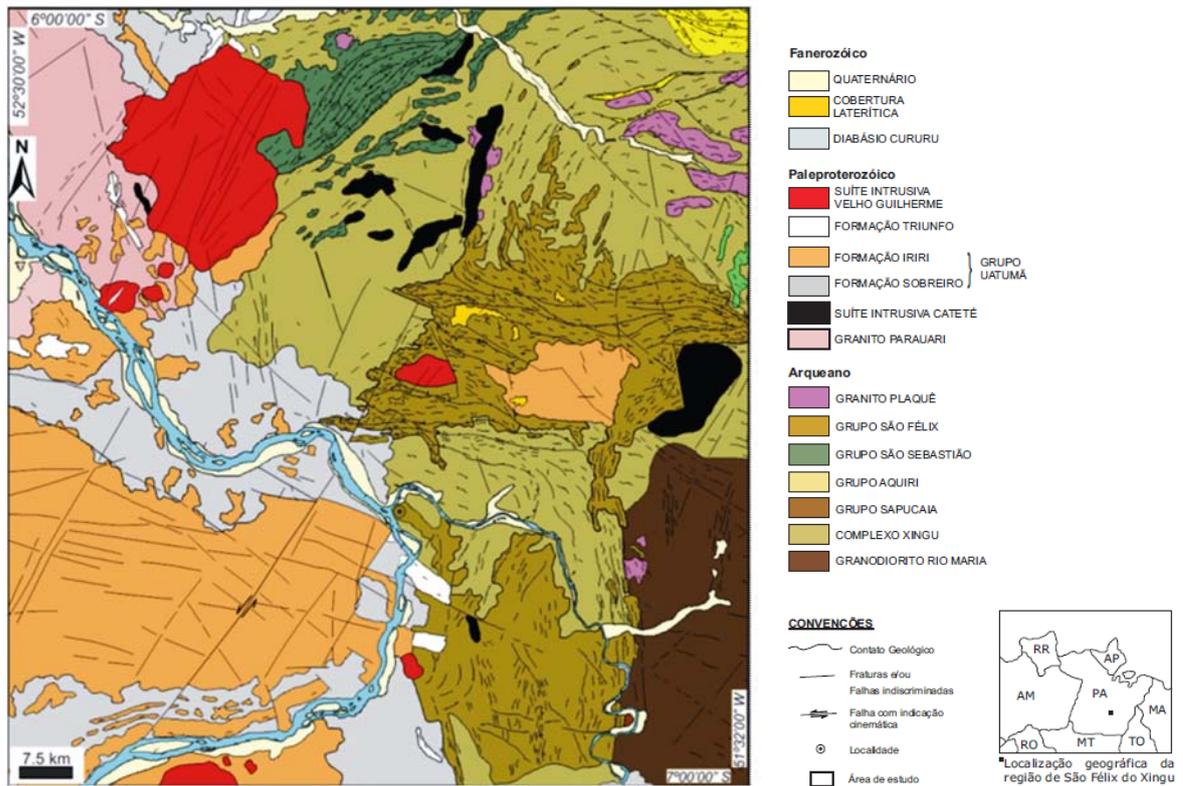
**Keywords:** Epithermal; Porphyry; Petrography; Metasomatism

## INTRODUÇÃO

O Cráton Amazônico (Almeida et al., 1981) tem merecido destaque científico nas últimas décadas em virtude de seu enorme potencial metalogenético e da consolidação e exploração de importantes jazidas de Fe, Au, Mn, Ni, Cu e outros metais de base na Província Mineral de Carajás e adjacências (Santos, 1986; DOCEGEO, 1988).

Na região centro-sul do Estado do Pará, nas adjacências do município de São Félix do Xingú (Figura 1), encontra-se materializado extenso vulcano-plutonismo efusivo e explosivo paleoproterozóico representado pelas formações Sobreiro e Santa Rosa, além de diversos centros/halos de alteração hidrotermal associados (Juliani e Fernandes, 2010; Fernandes et al., 2011). Contudo, apesar da evolução do conhecimento a respeito do quimismo, petrogênese e modelo geológico de erupção desses litotipos nos últimos anos, a caracterização e sistematização detalhadas destas alterações ainda são raras (Lagler, 2011).

Pretende-se com este trabalho apresentar um detalhamento dos diversos tipos e estilos de alteração hidrotermal já identificados nas formações Sobreiro e Santa Rosa; com base em geologia, petrografia e microscopia eletrônica de varredura. Na Amazônia essas rochas metassomatizadas são normalmente ignoradas em grande parte dos estudos sistemáticos, já que são consideradas erroneamente produtos do intenso intemperismo químico que vigora nessa região.



**Figura 1.** Mapa geológico da região de São Félix do Xingú, mostrando a distribuição original das formações Sobreiro e Iriri (renomeada para Santa Rosa), além das unidades do embasamento arqueano. Simplificado de Macambira e Vale (1997).

## CONTEXTO GEOTECTÔNICO

O Cráton Amazônico representa uma das maiores áreas pré-cambrianas do mundo. Está situado na Plataforma Sul-Americana, na região norte do Brasil, constituído pelos escudos das Guianas e Brasil Central, separados pela faixa sedimentar das bacias do Amazonas e Solimões (Caputo, Rodrigues, Vasconcelos, 1972). Alguns autores propuseram modelos geotectônicos para a sua evolução, porém até o momento pouco se sabe a respeito da vergência das estruturas e polaridade do metamorfismo ocorrido.

Esta megaunidade tectônica foi inicialmente considerada, com base em dados estruturais e geofísicos, uma grande plataforma arqueana retrabalhada e reativada durante o Paleoproterozóico pelo evento Transamazônico (Almeida et al., 1981; Costa e Hasui, 1997). Com o avanço tecnológico e a obtenção de dados geocronológicos e isotópicos outros autores a dividiram em províncias geocronológicas, relacionando a eventos de acreção continental (Tassinari e Macambira, 1999; Santos et al., 2000). O arranjo proposto por Tassinari e Macambira (1999) divide o cráton em seis províncias geocronológicas; ao passo que Santos et al. (2000) o subdividem em sete, com limites consideravelmente distintos entre eles.

Estudos recentes, envolvendo a integração dos dados geológicos, geocronológicos e metalogenéticos obtidos até então na porção sul do Cráton Amazônico, para as várias ocorrências de vulcanismo do tipo Uatumã, sugeriram a existência de um possível zonamento metalogenético formado entre ~ 2,0 – 1,88 Ga na região compreendida entre o gráben da Serra do Cachimbo e São Félix do Xingú (PA) (Juliani et al., 2009; Fernandes et al., 2011). Este zonamento pode ter sido formado por uma orogênese oceano–continente contínua orientada aproximadamente leste–oeste, onde a ocorrência de associações vulcano-plutônicas mais jovens (1,88 Ga) pode ser explicada pela incomum mudança no ângulo da placa subductada conhecida como *flat subduction* (Sacks, 1983), descrito no Cinturão Vulcânico Trans-Mexicano (Ferrari et al., 1999) e no Cinturão Andino (Kay, Godoy, Kurtz, 2005).

## **GEOLOGIA REGIONAL**

A área estudada está inserida na Folha São Félix do Xingú (SB.22-Y-B), elaborada a partir de mapeamento básico regional na escala de 1:250.000. O embasamento arqueano de São Félix do Xingú aflora quase que exclusivamente na porção leste do Rio Xingú. É formado por unidades que fazem parte do Terreno Granito-*Greenstone* do Sul do Pará e do Supergrupo Itacaiúnas (Araújo et al., 1988; Macambira e Vale, 1997).

Nas regiões imediatamente a oeste e norte de São Félix do Xingú ocorre extenso vulcano–plutonismo efusivo e explosivo paleoproterozóico. Nesse local, a seqüência basal foi depositada em forma de fluxos de lavas com rochas vulcanoclásticas associadas, revelando composição predominantemente andesítica, assinatura cálcio-alcálica de alto potássio e afinidade magmática com granitóides de arco vulcânico. A unidade superior é exclusivamente félsica e assinatura de granitóides do tipo-A intraplaca, cuja efusão foi predominantemente controlada por grandes fissuras crustais orientadas segundo NE–SW, e subordinadamente NW–SE. Encontram-se reunidas, respectivamente, nas formações Sobreiro e Santa Rosa (Juliani e Fernandes, 2010; Fernandes et al., 2011). Ocorrem ainda no paleoproterozóico da Suíte Intrusiva Cateté (Macambira e Ferreira Filho, 2002); do Granito Parauari (Macambira e Vale, 1997) e dos maciços estaníferos da Suíte Velho Guilherme (Teixeira et al., 2002).

As unidades mais jovens da região, têm idade mesozóica e representados pelos diques máficos denominados Diabásio Cururu (Macambira e Vale, 1997). Por fim, o Cenozóico é marcado pelas coberturas lateríticas e depósitos sedimentares.

## **MÉTODOS**

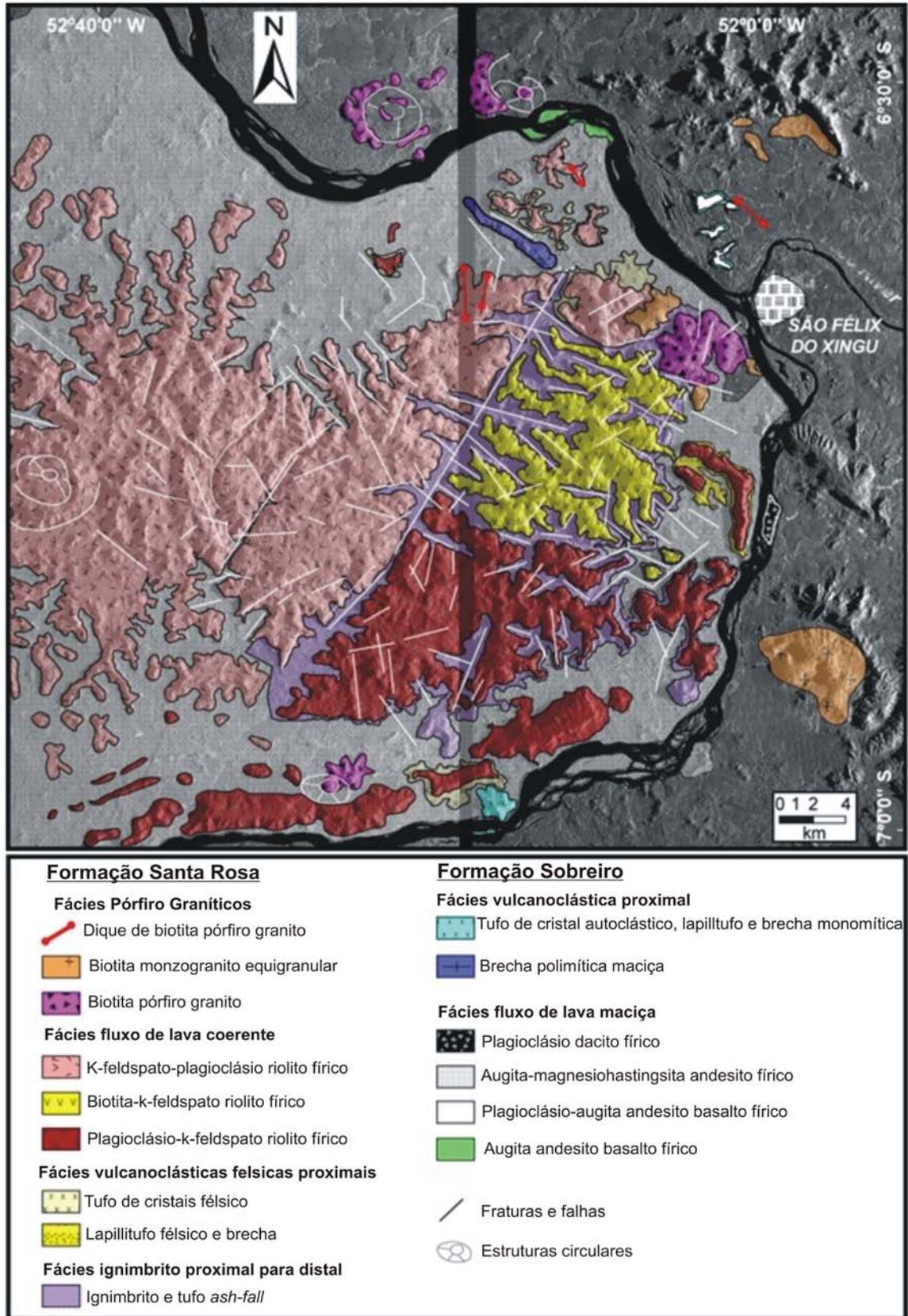
Objetivando-se a caracterização e classificação dos litotipos estudados foram desenvolvidas análises petrográficas, texturais e mineralógicas, realizadas sob luz transmitida

e refletida (cf. Schmid, 1981; Fisher e Schmincke, 1984; McPhie, Allen, Doyle, 1993; Le Maitre, 2002). A individualização do tipo e estilo das alterações hidrotermais foi baseada em Gifkins (2005). A fim de complementar a petrografia convencional, foram realizadas análises em microscópio eletrônico de varredura, realizadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura – LABMEV do Instituto de Geociências da UFPA. As lâminas foram metalizadas com carbono e o equipamento utilizado foi um MEV modelo LEO-1430. As condições de análises para as imagens de elétrons retroespalhados foram: corrente do feixe de elétrons = 90  $\mu$ A, voltagem de aceleração constante = 20 kv, distância de trabalho = 15 mm e tempo de contagem para análise dos elementos = 30 s.

### **ASPECTOS DE CAMPO**

A região de São Félix do Xingú abriga um dos registros mais completos e bem preservado vulcano-plutonismo ocorrido durante o Paleoproterozóico no Cráton Amazônico (Figura 2), exibindo feições e texturas comparáveis aquelas descritas em campos vulcânicos do Cenozóico e Recente ocorrentes pelo mundo. Mostra-se muito pouco intemperizado e livre de qualquer tipo de evento termo-tectônico. Na área de estudo, as unidades vulcânicas afloram sobre sequências arqueanas, na forma de diques e *stocks* e parte de derrames preservados.

A Formação Sobreiro aflora em forma de blocos e lajedos, caracterizada por rochas de composição intermediária. A geomorfologia característica da área aflorante desta unidade são amplas planícies, caracterizadas por solos avermelhados, e raras elevações. Já as rochas da Formação Santa Rosa afloram em morfologias de serras, devido ao caráter extremamente silicoso e viscoso do seu magma gerador. Os litotipos formados por fluxos de lava mostram estruturas de fluxo vertical; ao passo que ignimbritos, tufos e derrames riolíticos mostram bandamento, laminação plano-paralela e dobras convolutas .



**Figura 2.** Mapa geológico das formações Sobreiro e Santa Rosa na região de São Félix do Xingú (Juliani e Fernandes, 2010).

## PETROGRAFIA

### Formação Sobreiro

Esta formação é composta por rochas de coloração negra; texturas porfirítica a glomeroporfirítica; holocristalina e marcante foliação de fluxo magmático em alguns derrames, dentre estas, rochas andesíticas (Figura 3a) com variações para dacitos, além de rochas vulcanoclásticas associadas. Como fenocristais figuram anfibólio, clinopiroxênio, plagioclásio e, subordinadamente, feldspato potássico. Minerais secundários comuns são epidoto, clorita, muscovita, sericita, quartzo, carbonato e opacos.

Nos andesitos os cristais de plagioclásio apresentam-se euhédricos, tabulares, fortemente orientados, e localmente saussuritizados. Os cristais de clinopiroxênio apresentam hábito prismático subeuhédrico com feições de arredondamento (Figura 3d), característico do Plagioclásio-clinopiroxênio-anfibólio andesito fírico. Os anfibólios são euhédricos com hábito prismático a subeuhédricos com bordas arredondadas, por vezes zonadas, podem apresentar pseudomorfos (Figura 3b) compostos por clorita, epidoto, opacos e quartzo, predominante na unidade anfibólio andesito fírico. A matriz é constituída por micrólitos de plagioclásio, anfibólio e clorita e textura subofítica, localmente exibindo alteração sericítica incipiente (Figura 3c).

A alteração hidrotermal nessa unidade varia de incipiente e seletivamente pervasiva a intensa e pervasiva, com ocorrência de alterações do tipo fissural.

Os dacitos, individualizado como Feldspato potássico-plagioclásio dacito fírico, apresentam fenocristais de feldspato potássico subeuhédricos a anhédricos, que ocorrem substituídos por sericita, clorita e epidoto; e plagioclásio euhédricos de hábito tabular a subeuhédricos, apresentando bordas levemente arredondadas de composição Andesina ( $An_{32}$ ). A matriz é composta por finos cristais de feldspatos euhédricos a tabulares (Figura 3d). Ocorrem ainda veios e amígdalas preenchidos por clorita, carbonato e epidoto. A alteração é seletivamente pervasiva, com saussuritização de plagioclásio, bem como sericitização e cloritização de feldspato potássico.

As rochas vulcanoclásticas são representadas por tufo de cristais máficos hipocristalinas; inequigranulares; formadas por fragmentos mal selecionados, angulosos e texturalmente pouco maduros. Os principais constituintes são cristais e fragmentos de cristais de clinopiroxênio, plagioclásio e anfibólio; fragmentos líticos de composição intermediária, comumente anfibólio andesito fírico (Figura 3e); bem como fragmentos vítreos (*glassy shards*) subordinados. Predominam clastos na granulação cinza (< 2 mm), embora ocorram fragmentos em granulação lapilli (2 a 64 mm). A matriz é predominantemente vítrea, com

subordinados micrólitos de plagioclásio, minerais opacos e esferulitos. Os minerais secundários comuns são epídoto, clorita, sericita e carbonato.

### **Formação Santa Rosa**

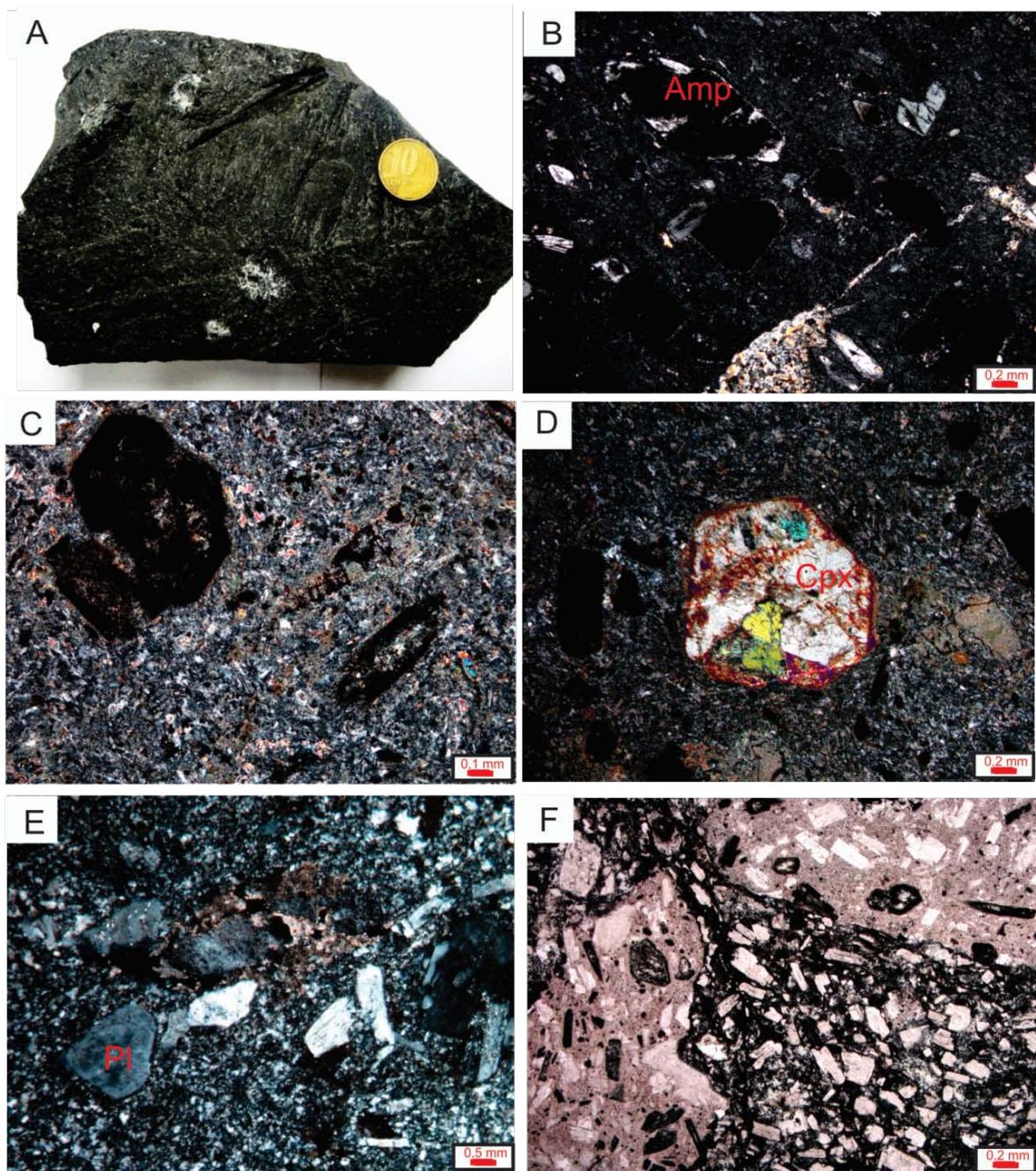
É formada por riolitos (Figura 4a); álcali riolitos; pórfiros graníticos (Figura 4b) e rochas vulcanoclásticas associadas. Estas rochas apresentam textura porfirítica a glomeroporfirítica, além de matriz esferulítica de coloração variando de cinza-claro, rosa-claro a marrom-avermelhado. As rochas vulcanoclásticas são texturalmente e composicionalmente diversificadas e exibem diferentes graus de soldagem.

Os riolitos são representados por Plagioclásio-quartzo-feldspato potássico riolito fírico, que apresentam cristais de quartzo subeuhédricos, podendo ocorrer feições de reabsorção magmática (Figura 4c) e contatos interlobados, além de textura glomeroporfirítica, comumente associados à esferulitos (Figura 4e). Os cristais de plagioclásio são euhédricos tabulares a subeuhédricos, por vezes saussuritizados, com formação de clinzoisita, clorita, quartzo e sericita. O feldspato potássico ocorre em maior quantidade e apresenta granulação mais grossa, seu hábito é tabular, formas euhédricas a subeuhédricas e podem apresentar sericitização. A matriz é composta de cristais de plagioclásio, quartzo e feldspato potássico; juntamente com minerais opacos, biotita, zircão e apatita, caracterizando os minerais acessórios primários.

Os pórfiros graníticos apresentam cristais de quartzo, com marcante feição de reabsorção magmática. Os fenocristais de anfibólios euhédricos, podem apresentar zonamento composicional e alteração para clorita. Os feldspatos potássico são euhédricos, apresentando pertitas, porém grande parte encontra-se alterada para sericita, argilominerais e clorita (Figura 4d). O contato entre os fenocristais são em geral retilíneos, porém em alguns casos são irregulares. Os cristais de plagioclásio são euhédricos tabulares, estão geralmente alterados para sericita e/ou feldspato potássico, característico da potassificação. A matriz é formada por finos cristais de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, caracterizada como uma matriz microlítica felsófica.

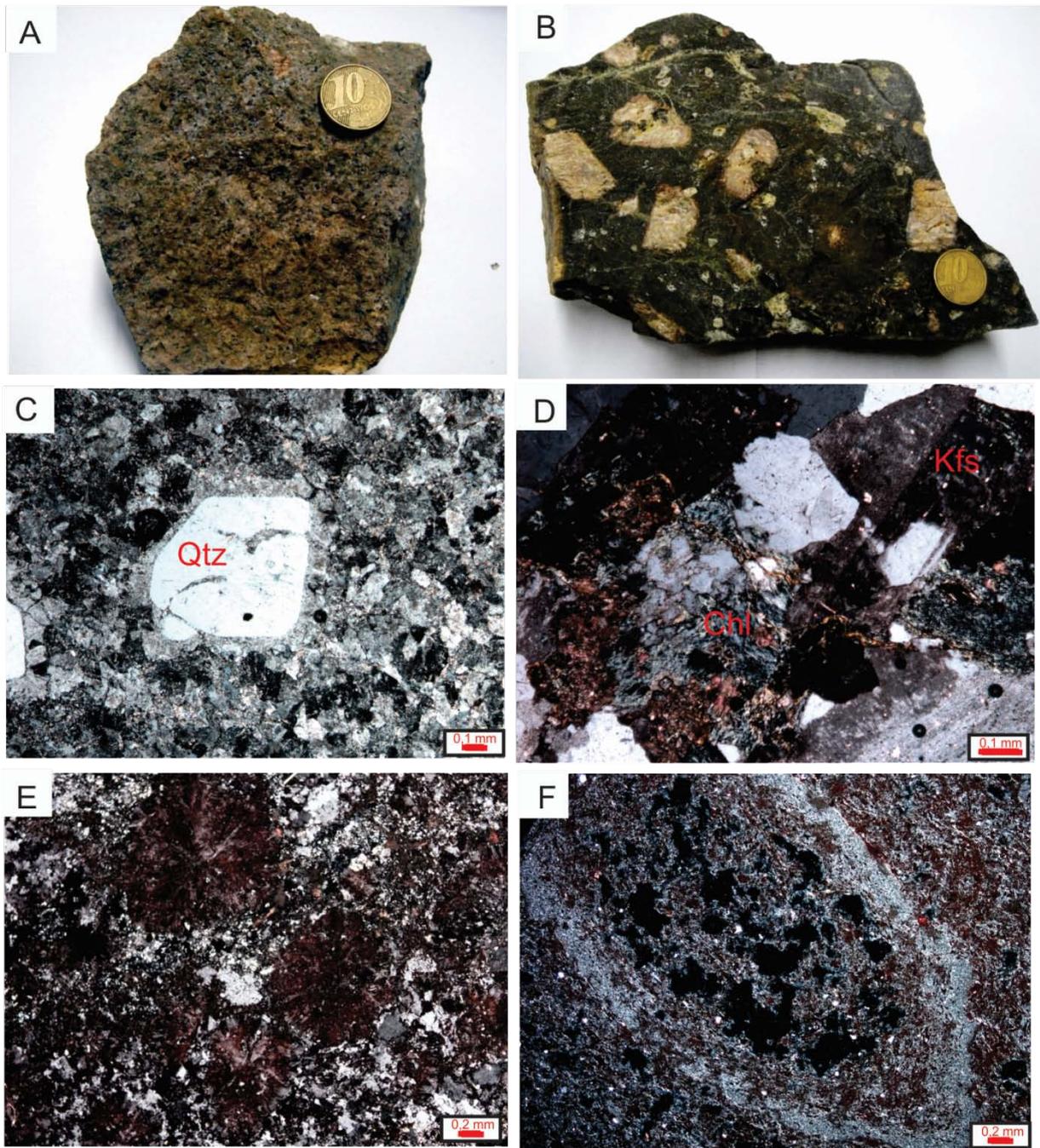
As rochas vulcanoclásticas são maciças; hipocristalinas e inequigranulares, bem como exibem coloração rosa-claro a cinza-esverdeado. O arcabouço desses vulcanitos é composto por cristais e fragmentos de cristais de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. Os tufos contém cristais de quartzo subeuhédricos a anhédricos, com bordas arredondadas. O feldspato potássico ocorre como cristais subeuhédricos de hábito tabular a anhédricos alongados. O plagioclásio varia de subeuhédrico tabular a anhédrico. A maior parte da matriz dessa unidade

é formada por fragmentos vítreos provenientes da fragmentação desses púmices. Por fim, os lapilli-tufos acrescionário (Figura 4f), apresentam matriz de granulação fina e cor cinza, formada principalmente por fragmentos vítreos bastante alongados e levemente arqueados; *glassy shards* em formato de X e Y; e por cristais subeuhédricos a anhédracos de quartzo e minerais opacos de granulação fina.



**Figura 3.** (A) Andesito porfirítico composto por anfibólio euhédrico a subeuhédrico e plagioclásio subeuhédrico imersos em matriz afanítica; (B) Pseudomorfos de anfibólio substituídos por minerais opacos. PC; (C) Matriz formada por micrólitos de plagioclásio, anfibólio e clorita, apresentando

textura subofítica. PC; (D) Cristais de clinopiroxênio com feições de arredondamento imerso em matriz microlítica. PC; (E) Dacito fírico exibindo fenocristais de plagioclásio imersos em matriz criptocrystalina. PC, e (F) Cristais e fragmentos de cristais de plagioclásio euhédricos a subeuhédricos e fragmentos líticos de andesito fírico. PC=Polarizadores cruzados.



**Figura 4.** (A) Aspecto mesoscópico de riolito; (B) Aspecto mesoscópico de pórfiro granítico; (C) Cristal de quartzo com feições características de reabsorção magmática. PC; (D) Fenocristal de feldspato potássico com aspecto túrbido apresentando sericitização, bem como clorita e minerais opacos associados. PC; (E) Esferulitos imersos na matriz, típicos dos riolitos e (F) Lapilli tufo

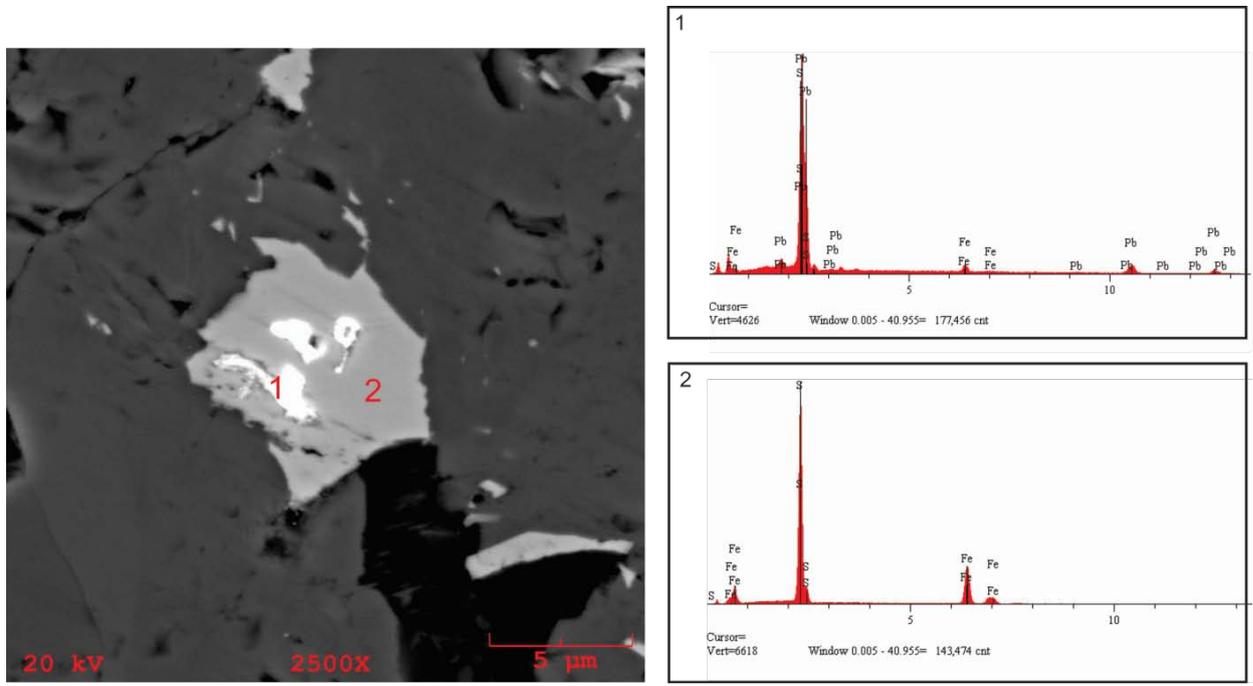
acrescionário apresentando fragmentos vítreos (*glassy shards*) em formato de X, Y e alongados, levemente arqueados. PC=Polarizadores cruzados.

### **MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA**

As análises por meio de microscopia eletrônica de varredura visaram caracterizar minerais opacos e fases diminutas provenientes das alterações sericítica, potássica e propilítica das rochas das formações Sobreiro e Santa Rosa. As análises químicas semi-quantitativas foram realizadas com EDS (*Energy Dispersive System*) acoplado ao microscópio eletrônico de varredura (MEV).

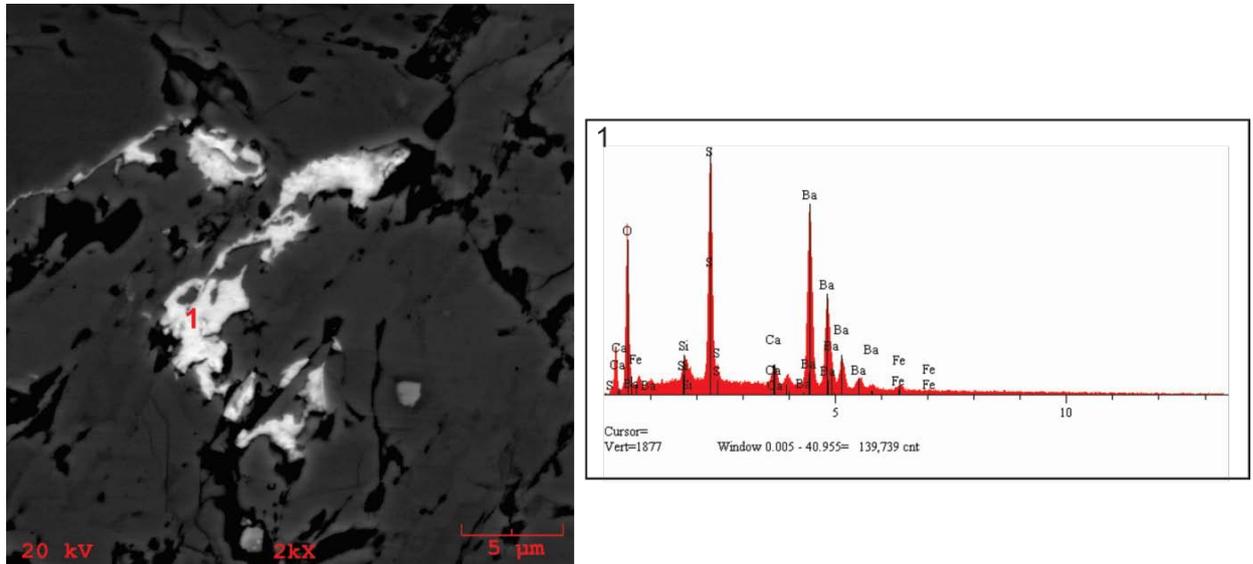
Nos andesitos foram observados a presença de cristais de zircão com formas variadas, geralmente inclusos nos cristais de quartzo em contato com anortita, além de sulfetos, como mineral de pirita envolvendo epidoto, em contato com a albita, associações como calcopirita e pirita com galena inclusa (Figura 5). Ocorre também um mineral com composição que se aproxima do sulfato de bário (barita), muito fino e com forma lenticular (Figura 6), o que explicaria a presença de outros elementos em menores quantidades, associados aos elementos do mineral adjacente.

A análise dos pórfiros graníticos indicaram a dominância de clorita hidrotermal, óxido de ferro, allanita e zircão este predomina as fases diminutas (Figura 7). Já os riolitos apresentam grande quantidade de fosfatos, provavelmente, monazita (monazita-Ce?) com formas variadas, por vezes em contato com rutilo associados à sericita e quartzo, cristais de zircão apresentam diferentes formas e encontram-se dispersos na rocha (Figura 8).



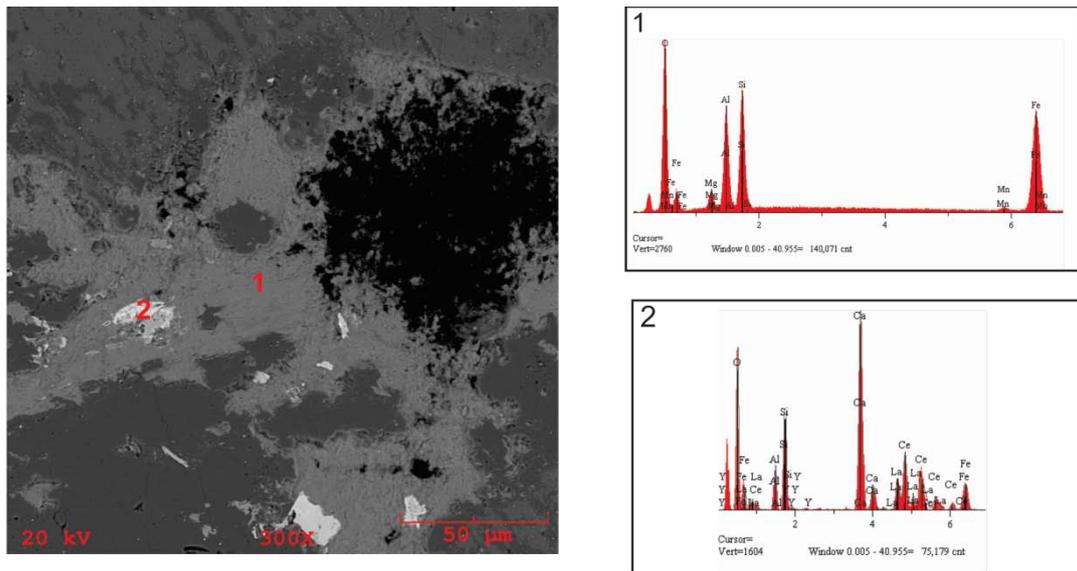
Análise	Mineral	% Elementos				
		S	Fe	Cu	Pb	Se
1	Galena	13,74	5,06	—	81,20	—
2	Pirita	57,97	42,03	—	—	—

**Figura 5.** Imagem de elétrons retroespalhados, mostrando a associação da pirita e galena (galena inclusa na pirita). Ao lado mostra-se o espectro obtido e abaixo a tabela com os valores normalizados.



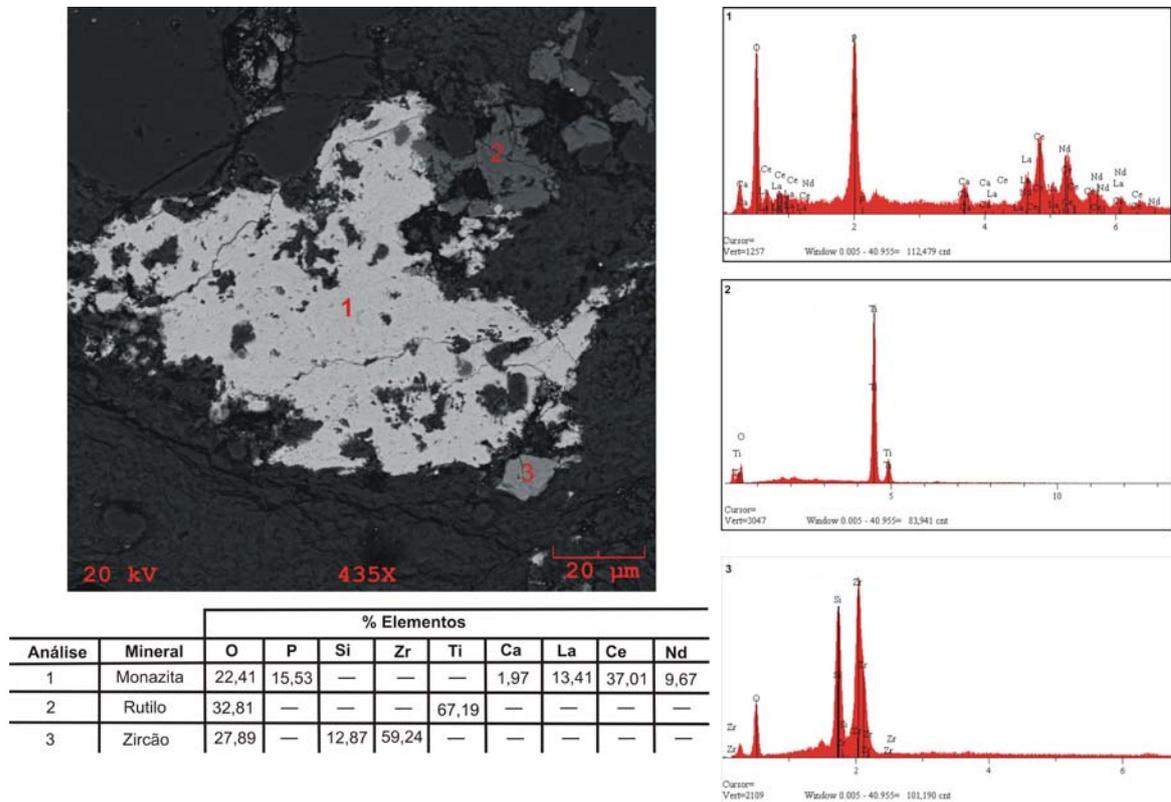
Análise	Mineral	% Elementos					
		Si	O	Ba	Ca	S	Cu
1	Barita?	1,45	16,05	66,97	1,30	13,23	—

**Figura 6.** Imagem de elétron retroespalhados mostrando possível cristal de sulfato de bário, com seus respectivos espectros. Abaixo se encontra a tabela com os valores normalizados.



		% Elementos									
Análise	Mineral	O	Al	Si	Mg	Mn	Ca	Fe	Ce	La	Y
1	Clorita	33,06	11,27	13,97	2,16	0,92	—	38,62	—	—	—
2	Allanita	25,46	3,03	6,87	—	—	15,7	5,50	30,27	12,60	0,57

**Figura 7.** Imagem de elétrons retroespehados de clorita e allanita, com seus espectros e valores normalizados descritos na tabela.



**Figura 8.** Imagens de elétrons retroespalhados de provável monazita em contato com o rutilo e zircão. Os espectros destes minerais encontram-se à direita e a tabela com seus valores normalizados encontram-se abaixo.

## **ALTERAÇÃO HIDROTHERMAL**

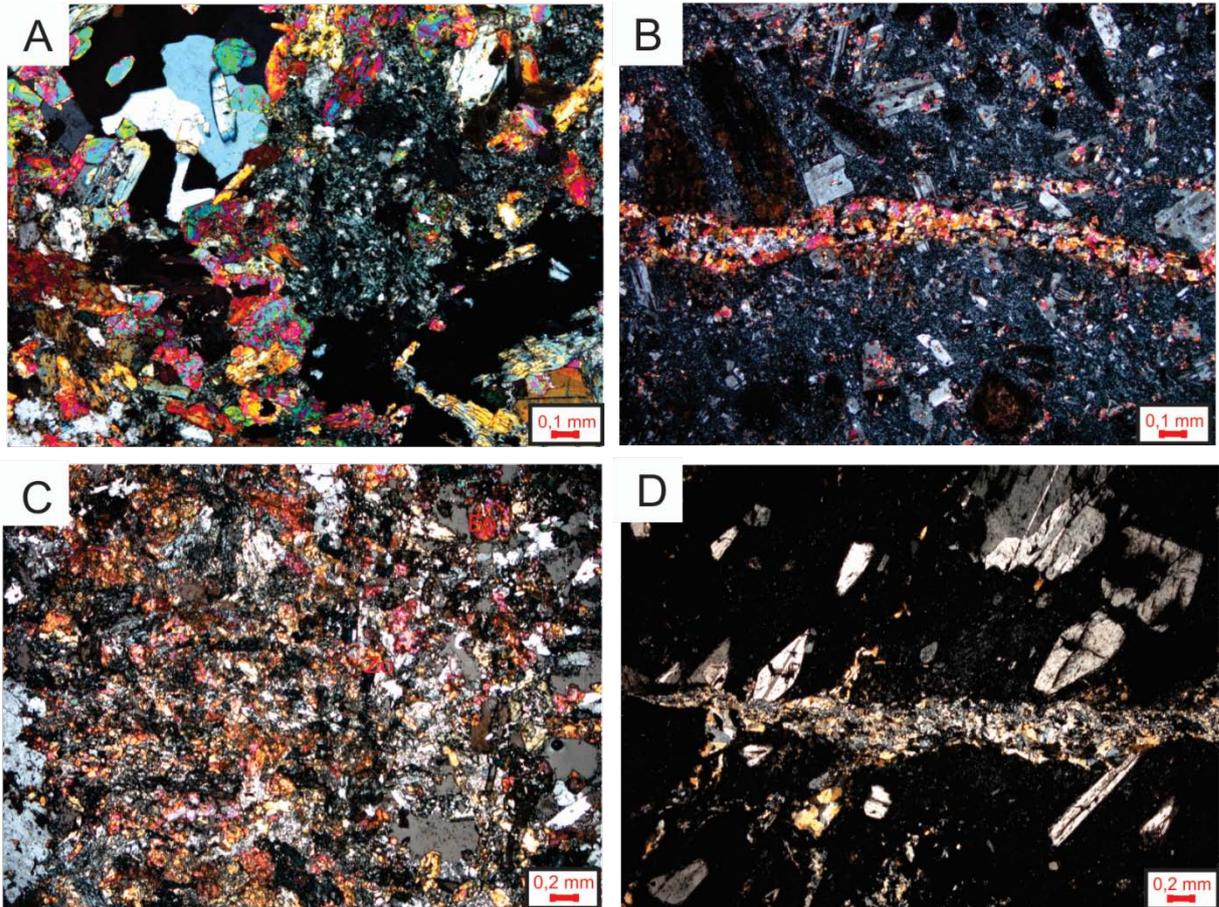
As alterações hidrotermais que afetaram as rochas das formações Sobreiro e Santa Rosa são variáveis em relação ao tipo, estilo e intensidade (Figuras 9 e 10). Na Formação Sobreiro predomina a alteração propilítica, embora ocorra subordinadamente a sericítica. A primeira ocorre nos estilos seletivamente pervasivo, pervasivo e fissural. Por sua vez, na Formação Santa Rosa ocorrem sericitização, epidotização e importante metassomatismo potássico nos estilos seletivo, pervasivo e fissural.

### **Formação Sobreiro**

A alteração propilítica ocorre no estilo predominantemente fissural, podendo evoluir para seletivamente pervasiva (Figura 9c) em locais com maior quantidade de veios e vênulas. O estilo fissural caracteriza-se pelo preenchimento de fraturas irregulares com epidoto, carbonato, minerais opacos, além de clorita (Figura 9b). As rochas propilitizadas apresentam tons esverdeados, produto da alteração dos minerais ferromagnesianos. Em termos gerais, este tipo de alteração apresenta uma paragênese característica de clorita, clinzoisita, epidoto, titanita, carbonato e albita; além de sulfetos como pirita, calcopirita e galena.

As principais substituições ocorrem em estágios mais intensos de alteração onde os fenocristais são completamente substituídos, resultando em pseudomorfos compostos por clorita, epidoto, opacos e quartzo (Figura 9a). A alteração de clinopiroxênio e anfibólio é marcada pelo surgimento de quartzo, clorita, epidoto e opacos; ao passo que os fenocristais de plagioclásio comumente apresentam saussuritização. Contudo, é comum a ocorrência de pseudomorfos de anfibólio completamente substituídos por minerais opacos, sugerindo processo de desidratação e oxidação durante a ascensão do seu magma gerador (Buckley, Sparks, Wood, 2006).

A alteração sericítica ocorre localizadamente e com intensidade relativamente mais fraca. Está presente nos finos cristais de plagioclásio que formam a matriz do plagioclásio-clinopiroxênio-anfibólio andesito fírico, com alteração de baixa intensidade; bem como do feldspato potássico-plagioclásio dacito fírico, seletivamente pervasiva. É relacionada a veios de quartzo e à alteração propilítica fissural (Figura 9d).

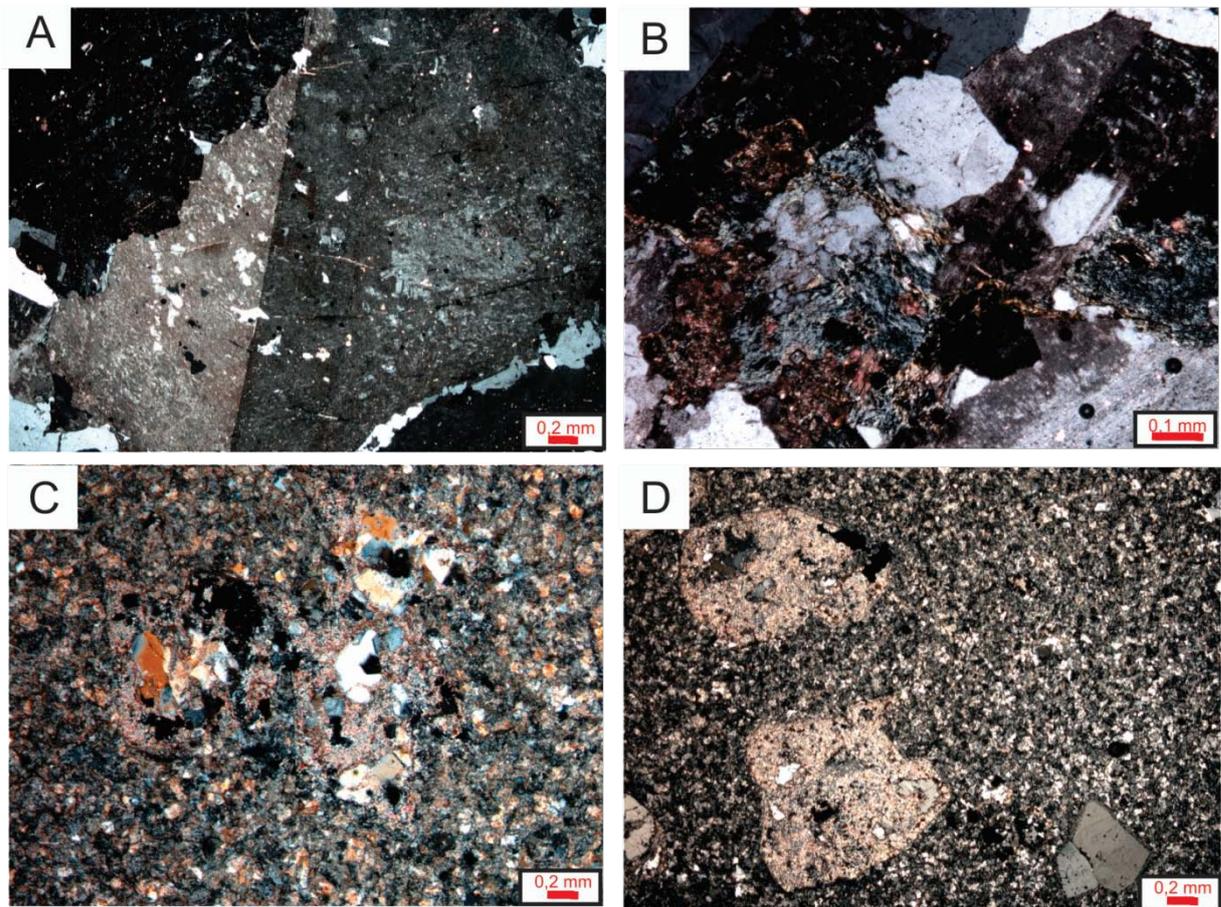


**Figura 9.** (A) Alteração propilítica em anfibólio andesito fírico. Polarizadores cruzados; (B) Alteração propilítica no estilo fissural, nota-se também a presença de alteração nos cristais de anfibólio. Polarizadores cruzados; (C) Alteração propilítica seletivamente pervasiva marcada pela abundância de cristais de epidoto. Polarizadores cruzados e (D) Alteração sericítica fissural em andesito. Polarizadores cruzados.

### Formação Santa Rosa

A alteração sericítica seletivamente pervasiva ocorre no plagioclásio-quartzo-feldspato potássico riolito fírico, afetando os fenocristais de feldspato potássico e plagioclásio. Pode ocorrer também a formação de pseudomorfos de plagioclásio totalmente substituídos por epidoto ou carbonato em paragênese com outros minerais comuns nesse tipo de alteração (Figura 10a). Já o estilo pervasivo desta alteração ocorre nos tufos de cristais félsicos e nos feldspato potássico-quartzo álcali-riolito fírico (Figura 10c), onde há obliteração das texturas originais e substituição por sericita, minerais opacos e quartzo (Figura 10d). Neste estilo, há importante presença de monazita. A alteração fissural é representada por veios de quartzo e minerais opacos, formados em diferentes estágios, como pode ser observado nas relações de intersecção entre os veios.

Nos pórfiros graníticos, o metassomatismo potássico varia de fissural a seletivamente pervasivo. O primeiro é caracterizado pela substituição de plagioclásio e feldspato potássico por cristais de microclínio, sendo este seccionado pela alteração sericítica. Este tipo de alteração também é responsável por cristalização de finos cristais de biotita, que posteriormente são substituídos por clorita (Figura 10b).



**Figura 10.** (A) Cristal de feldspato potássico com aspecto túrbido podendo indicar a presença de metassomatismo potássico; (B) Cloritização associada ao metassomatismo potássico, onde os cristais são substituídos por clorita; (C) Alteração sericítica pervasiva, marcada principalmente pela substituição da matriz e (D) Substituição pervasiva dos cristais de feldspato potássico, em consequência da alteração sericítica. Polarizadores cruzados.

## CONCLUSÕES

As unidades vulcano–plutônicas aqui estudadas revelaram um potencial para ocorrência de eventuais depósitos minerais, haja vista que abrigam litotipos hidrotermalmente alterados. Através das estruturas originais presentes nestas rochas podem ter percolado fluidos hidrotermais com apreciável conteúdo metalífero associado. Apesar de ainda incipiente,

observou-se um zonamento e superposição das alterações potássica, propilítica, sericítica e, subordinadamente, argílica.

A alteração potássica, formada em alta temperatura, é encontrada principalmente em pórfiros graníticos da Formação Santa Rosa, ao passo que ocorre de modo muito incipiente nas rochas da Formação Sobreiro. Estas rochas apresentam uma cor avermelhada, muito característica, resultante da troca entre o  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  na estrutura cristalográfica do plagioclásio; bem como da formação de óxidos e hidróxidos de Fe no feldspato potássico, gerando um feldspato hidrotermal com aspecto túrbido, típico dos sistemas mineralizantes porfiríticos de Au e Cu. Com a evolução do sistema hidrotermal, e a conseqüente diminuição da temperatura fluidal, pode ocorrer a alteração propilítica, esta de caráter pervasivo e fissural, caracterizados pela substituição de cristais de plagioclásio e biotita por clorita epídoto, carbonato e sulfetos como pirita, calcopirita e galena. A alteração sericítica, de menor temperatura, podem apresentar implicações de mistura de fluidos hidrotermais com componentes magmáticos e meteóricos, podendo ocorrer presença significativa de fosfatos, no caso a monazita.

Os resultados deste trabalho mostram que novas pesquisas sistemáticas devem ser realizadas em rochas hidrotermalmente alteradas da região Amazônica, buscando a separação precisa dos litotipos vulcano-plutônicos verdadeiramente afetados pelo intemperismo, daqueles que experimentaram a circulação de grande quantidade de fluidos hidrotermais nos estágios pós-magmáticos.

Diante desse quadro, as empresas de mineração que venham desenvolver pesquisas exploratórias focadas em tais unidades vulcânicas devem considerar que estas alterações podem gerar e hospedar depósitos epitermais de metais raros e de base; mineralizações do tipo pórfiro de Cu e Au; bem como intrusões graníticas com mineralizações de ouro (*Intrusion Related Gold Systems*); exemplificadas pelas ocorrências descritas recentemente na Província Aurífera do Tapajós (Juliani et al., 2005; Misas, 2010).

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores deste trabalho agradecem: à CAPES (Processo 0096/05-9) e CNPq (Processos 555066/2006-1 e 306130/2007-6) pelo apoio financeiro; à UFPA pela concessão de bolsa de iniciação científica para a primeira autora. Este trabalho é uma contribuição ao projeto INCT Geociências da Amazônia (Processo CNPq/MCT/FAPESPA 573733/2008-2).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Science Reviews*, v. 17(1-2), p. 1–29, 1981.
- ARAÚJO, O.J.B.; MAIA, R.G.N.; JORGE JOÃO, X.S.; COSTA, J.B.S. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latinoamericano de Geologia. 7, 1988. Belém. 1. Belém: SBG. p. 324–333.
- BUCKLEY, V.; SPARKS, R.; WOOD, B. Hornblende dehydration reactions during magma ascent at Soufrière Hills Volcano, Montserrat. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 151(2), p. 121–140, 2006.
- CAPUTO, M.V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D.N.N. Nomenclatura Estratigráfica da Bacia do Amazonas: História e Atualização. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 26, 1972. Belém. Belém: SBG. p. 35–46.
- COSTA, J.B.S.; HASUI, Y. Evolução geológica da Amazônia. In: M.L. Costa and R.S. Angélica (Editors). *Contribuições à Geologia da Amazônia*, 1997. p. 16–90.
- DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. In: Congresso Brasileiro de Geologia. 35, 1988. Belém. Província Mineral de Carajás-Litoestratigrafia e Principais Depósitos Mineraiis. Belém: SBG. p. 11–54.
- FERNANDES, C.M.D.; JULIANI, C.; MONTEIRO, L.V.S.; LAGLER, B.; ECHEVERRI MISAS, C.M. High-K calc-alkaline to A-type fissure-controlled volcano-plutonism of the São Félix do Xingú region, Amazonian craton, Brazil: Exclusively crustal sources or only mixed Nd model ages? *Journal of South American Earth Sciences*, v. 32(4), p. 351-368, 2011.
- FERRARI, L.; ROSAS-ELGUERA, J.; MARQUEZ, A.; OYARZUN, R.; DOBLAS, M.; VERMA, S.P. Alkalic (OIB type) and calc-alkalic volcanism in the Mexican Volcanic Belt: a case for plume-related magmatism and propagating rifting at an active margin? *Geology*, v. 27, p. 1055–1056, 1999.
- FISHER, R.V.; SCHMINCKE, H.U. *Pyroclastic rocks*. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 472 p.
- GIFKINS, C. *Altered volcanic rocks : a guide to description and interpretation* Centre for Ore Deposit Research, 2005. 275 p.
- JULIANI, C.; FERNANDES, C.M.D. Well-preserved Late Paleoproterozoic volcanic centers in the São Félix do Xingú region, Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 191(3-4), p. 167–179, 2010.

- JULIANI, C.; FERNANDES, C.M.D.; MONTEIRO, L.V.S.; MISAS, C.M.E.; LAGLER, B. Possível zonamento metalogenético associado ao evento vulcano-plutônico de ~2,0 a 1,88 Ga na parte sul do Cráton Amazônico. In: Simpósio Brasileiro de Metalogenia. 2, 2009. Gramado. Gramado: UFRGS. p. CD-ROM.
- JULIANI, C.; RYE, R.O.; NUNES, C.M.D.; SNEE, L.W.; CORREA SILVA, R.H.; MONTEIRO, L.V.S.; BETTENCOURT, J.S.; NEUMANN, R.; NETO, A.A. Paleoproterozoic high-sulfidation mineralization in the Tapajós gold province, Amazonian Craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age, and stable-isotope constraints. *Chemical Geology*, v. 215(1-4), p. 95–125, 2005.
- KAY, S.M.; GODOY, E.; KURTZ, A. Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society of America Bulletin*, v. 117(1-2), p. 67–88, 2005.
- LAGLER, B. Estudo do vulcano-plutonismo paleoproterozóico e da metalogênese na região de São Félix do Xingú, porção sul do Cráton Amazônico. 2011. Tese (Dissertação de Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- LE MAITRE, R.W. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. London, 2002. 193 p.
- MACAMBIRA, E.M.B.; FERREIRA FILHO, C.F. Fracionamento magmático dos corpos máficos-ultramáficos da Suíte Intrusiva Cateté. In: E.L. Klein, M.L. Vasquez and L.T. Rosa-Costa (Editors). *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Belém: SBG, 2002. p. 318.
- MACAMBIRA, E.M.B.; VALE, A.G. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Félix do Xingú. Folha SB-22-Y-B. Estado do Pará*. Brasília: CPRM, 1997. 384 p.
- MCPHIE, J.; ALLEN, R.; DOYLE, M. *Volcanic textures : a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. Hobart: Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania, 1993. 198 p.
- MISAS, C.M.E. Evolução magmática, alteração hidrotermal e gênese da mineralização de ouro e cobre do Palito, Província Aurífera do Tapajós (PA). 2010. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo,
- SACKS, I.S. The subduction of young lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, v. 88(B4), p. 3355-3366, 1983.
- SANTOS, B.A. *Carajás: desafio político, ecológico e desenvolvimento*. In: Brasiliense-CNPq (Editor). São Paulo, 1986. p. 295–361.

- SANTOS, J.O.S.; HARTMANN, L.A.; GAUDETTE, H.E.; GROVES, D.I.; MCNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 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*, v. 3(4), p. 453–488, 2000.
- SCHMID, R. Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology*, v. 9(1), p. 41-43, 1981.
- TASSINARI, C.C.G.; MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, v. 22, p. 174–182, 1999.
- TEIXEIRA, N.P.; BETTENCOURT, J.S.; MOURA, C.A.V.; DALL'AGNOL, R.; MACAMBIRA, E.M.B. Archean crustal sources for Paleoproterozoic tin-mineralized granites in the Carajas Province, SSE Para, Brazil: Pb-Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. *Precambrian Research*, v. 119(1-4), p. 257–275, 2002.

## 9. REFERÊNCIAS

- Abreu, F.A.M. and Ramos, C.R., 1974. Estanho do Sul do Pará. In: SBG (Editor), Congresso Brasileiro de Geologia. *Anais*, Porto Alegre, pp. 11–23.
- Almeida, F.F.M., Hasui, Y., Brito Neves, B.B. and Fuck, R.A., 1981. Brazilian structural provinces: An introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2): 1–29.
- Arribas Jr., A., 1995. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluids. In: J.F.H. Thompson (Editor), *Magma, Fluids, and Ore Deposits*. Mineralogical Association of Canada Short Course, pp. 419-454.
- Bettencourt, J.S. and Dall'Agnol, R., 1987. The Rondonian tin-bearing anorogenic granites and associated mineralization. In: SGRM (Editor), *International Symposium on Granites and Associated Mineralizations*. Excursion Guides, Salvador, pp. 49–87.
- Caputo, M.V., Rodrigues, R. and Vasconcelos, D.N.N., 1972. Nomenclatura Estratigráfica da Bacia do Amazonas: História e Atualização. In: SBG (Editor), Congresso Brasileiro de Geologia. *Anais*, Belém, pp. 35–46.
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V., 1987. *Volcanoclastic Successions: modern and ancient: an approach to processes, products and successions*. Allen and Unwin, London, 525 pp.
- Costa, J.B.S. and Hasui, Y., 1997. Evolução geológica da Amazônia. In: M.L. Costa and R.S. Angélica (Editors), *Contribuições à Geologia da Amazônia*, pp. 16–90.
- DOCEGEO, 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás, Pará. In: SBG (Editor), Congresso Brasileiro de Geologia. *Anexos*. SBG, Belém, pp. 11–54.
- Fernandes, C.M.D., 2005. Geologia, Geoquímica e Geocronologia das vulcânicas do Grupo Uatumã, região de São Félix do Xingú (PA), Província Mineral de Carajás. Dissertação de Mestrado Thesis, Universidade Federal do Pará, Belém, 136 pp.
- Fernandes, C.M.D., Juliani, C., Monteiro, L.V.S., Lagler, B. and Echeverri Misas, C.M., 2011. High-K calc-alkaline to A-type fissure-controlled volcano-plutonism of the São Félix do Xingú region, Amazonian craton, Brazil: Exclusively crustal sources or only mixed Nd model ages? *Journal of South American Earth Sciences*, 32(4): 351-368.
- Ferrari, L., Rosas-Elguera, J., Marquez, A., Oyarzun, R., Doblaz, M. and Verma, S.P., 1999. Alkalic (OIB type) and calc-alkalic volcanism in the Mexican Volcanic Belt: a case for plume-related magmatism and propagating rifting at an active margin? *Geology*, 27: 1055–1056.
- Fink, J.H.A., S.W., 2000. Lava Domes and Coulees. In: H. Sigurdsson (Editor), *Encyclopedia of Volcanoes*, San Diego, California., pp. 307 - 319.
- Fisher, R.V. and Schmincke, H.U., 1984. *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag, Berlin, 472 pp.
- Gifkins, C., 2005. *Altered volcanic rocks : a guide to description and interpretation*. Centre for Ore Deposit Research, 275 pp.
- Gillespie, M.R. and Styles, M.T., 1999. BGS Rock Classification Scheme. Volume 1. Classification of igneous rocks. RR 99-06, British Geological Survey, Nottingham.
- Houghton, B.F., Wilson, C. J. N., Smith, R. T., and Gilbert, J. S., 2000. Phreatoplinean Eruptions. In: H. Sigurdsson (Editor), *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, California.
- Juliani, C. and Fernandes, C.M.D., 2010. Well-preserved Late Paleoproterozoic volcanic centers in the São Félix do Xingú region, Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 191(3-4): 167–179.
- Juliani, C., Fernandes, C.M.D., Monteiro, L.V.S., Misas, C.M.E. and Lagler, B., 2009. Possível zonamento metalogenético associado ao evento vulcano-plutônico de ~2,0 a 1,88 Ga na parte sul do Cráton Amazônico. In: UFRGS (Editor), *Simpósio Brasileiro de Metalogenia*, Gramado, pp. CD-ROM.
- Juliani, C., Rye, R.O., Nunes, C.M.D., Snee, L.W., Correa Silva, R.H., Monteiro, L.V.S., Bettencourt, J.S., Neumann, R. and Neto, A.A., 2005. Paleoproterozoic high-

- sulfidation mineralization in the Tapajós gold province, Amazonian Craton, Brazil: geology, mineralogy, alunite argon age, and stable-isotope constraints. *Chemical Geology*, 215(1-4): 95–125.
- Kay, S.M., Godoy, E. and Kurtz, A., 2005. Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society of America Bulletin*, 117(1-2): 67–88.
- Killburn, R.J., 2000. Lava Flows and Lava Fields. In: H. Sigurdsson (Editor), *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, California, pp. 291-305.
- Lagler, B., 2011. Estudo do vulcano-plutonismo paleoproterozóico e da metalogênese na região de São Félix do Xingú, porção sul do Cráton Amazônico. Dissertação de Mestrado Thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Lipman, P.W., 1984. The roots of ash flow calderas in western North America Windows into the tops of granitic batholiths. *Journal of Geophysical Research*, 89: 8801-8841.
- Mackenzie, W. and Guilford, C., 1982. *Atlas of Igneous Rocks and Their Textures*. Halsted, 148 pp.
- McPhie, J., Allen, R. and Doyle, M., 1993. *Volcanic textures : a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania, Hobart, 198 pp.
- Pirajno, F., 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer, 1250 pp.
- Sacks, I.S., 1983. The subduction of young lithosphere. *Journal of Geophysical Research*, 88(B4): 3355-3366.
- Santos, J.O.S., Hartmann, L.A., Gaudette, H.E., Groves, D.I., McNaughton, N.J. and 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(4): 453–488.
- Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105(1): 3-41.
- Tassinari, C.C.G. and Macambira, M.J.B., 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22: 174–182.
- Teixeira, N.P., Bettencourt, J.S., Dall’Agnol, R., Moura, C.A.V., Fernandes, C.M.D. and Pinho, S.C.C., 2005. Geoquímica de granitos Paleoproterozóicos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, 35(2): 217–226.
- Williams, H., Turner, F.J. and Gilbert, C.H., 1962. *Petrography. An introduction to the study of rocks in thin section*. Freeman and Company, San Francisco, 406 pp.