



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CÍCERO HENRIQUE MENDONÇA DE FREITAS

**ESTUDO DOS FLUIDOS HIDROTERMAIS
RESPONSÁVEIS PELA ESCAPOLITIZAÇÃO DE
GRANITÓIDES DE SERRA DOURADA, REGIÃO DE
CARAJÁS.**

**BELÉM – PARÁ
DEZEMBRO – 2009**

CÍCERO HENRIQUE MENDONÇA DE FREITAS

ESTUDO DOS FLUIDOS HIDROTERMAIS RESPONSÁVEIS PELA
ESCAPOLITIZAÇÃO DE GRANITÓIDES DE SERRA DOURADA,
REGIÃO DE CARAJÁS.

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. Dr. Raimundo Netuno Nobre
Villas.

BELÉM – PARÁ
DEZEMBRO – 2009

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geól. Rdº Montenegro G. de Montalvão

F866e Freitas, Cícero Henrique Mendonça de

Estudo dos fluidos hidrotermais responsáveis pela
escapolitização de granitóides de Serra Dourada, Região de
Carajás. / Cícero Henrique Mendonça de Freitas; orientador:
Raimundo Netuno Nobre Villas . – 2009

45 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em
Geologia) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Pará, Belém, Segundo Semestre de
2009.

1. Inclusões fluidas. 2. Serra Dourada. 3. Carajás (Pa). I.
Universidade Federal do Pará. II. Villas, Raimundo Netuno
Nobre, Orient. III. Título.

CDD 20º ed.: 558.115

*Aos meus pais,
com muito carinho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Graciete (Gracinha) e Raimundo, por toda dedicação e incentivo destinado a minha pessoa e por sempre estarem ao meu lado em todas as minhas decisões.

Ao meu orientador, Prof. Netuno Villas, por todo o conhecimento oferecido, pela paciência e disposição.

A Universidade Federal do Pará e Instituto de Geociências por toda infraestrutura disponibilizada em suas dependências.

Ao CNPq pela concessão de bolsa de iniciação científica.

A CVRD pelo apoio oferecido no estudo de campo deste trabalho e cessão de amostras para estudos mais específicos.

Ao PRONEX (MCT-FINEP) – “Magmatismo, Evolução Crustal e Metalogênese da Província Mineral de Carajás e Províncias adjacentes” – pelo apoio financeiro.

A Geóloga Ana Glória Noronha Rosa pela amizade e por toda ajuda e pedidos de socorro via internet quando eu me via cheio de dúvidas e não tinha ninguém para solucionar esses probleminhas, valeu minha irmã.

Ao Prof. Márcio Santos pela ajuda dada no laboratório de microtermometria e empréstimo de alguns livros.

A Cristiane (Kriss) por sua grande amizade e por ser psicóloga nos momentos em que mais me sentia fragilizado dentro da universidade.

Aos amigos que conquistei ao longo de toda a minha graduação, Alexandra, Dani (Chester), Márcia (Bila Bilú), Mavic, Makino, Darlly, Vanessa (Vá)... desculpa se esqueci alguém.

Aos grandes amigos do teatro, os Madalenas, onde comecei a formar grandes opiniões. Também aos poucos mais queridos amigos do peito que possuo e que posso contar a hora que se fizer necessário.

Aos professores do Instituto de Geociências por todo conhecimento oferecido e momentos de descontração nas viagens de campo. Desculpem-me a todos se em algum momento eu dormi nas suas aulas (desculpa Viseu), mas é um problema crônico que carrego desde a minha infância e tento de várias formas solucionar, mesmo dormindo 8h por dia.

Obrigado a todos que direta ou indiretamente ajudaram e auxiliaram na construção deste trabalho.

*“Esse é só o começo do fim da nossa vida
Deixa chegar o sonho, prepara uma avenida
Que a gente vai passar”*

Marcelo Camelo

RESUMO

A área da pesquisa está localizada em Serra Dourada, a leste do depósito cuproaurífero do Sossego, Província Mineral de Carajás. A escapolitização é um tipo de metassomatismo sódico comum nas rochas que compõem esta área, tendo se manifestado tanto na massa rochosa como em vênulas. Os procedimentos metodológicos envolveram campanha de campo, seleção de amostras, confecção de lâminas bipolidas, análise petrográfica das rochas alteradas, mapeamento de inclusões fluidas (IF) contidas em cristais de quartzo e análise microtermométrica. Foram reconhecidas IF bifásicas e trifásicas, estas últimas com mineral de saturação tentativamente identificado como halita. O grau de preenchimento variou de 0,7 a 0,9, enquanto a densidade dos fluidos cobriu a faixa de 0,87 a 1,20 g/cm³, com os valores mais altos correspondendo às IF trifásicas. Os fluidos hidrotermais responsáveis pela escapolitização foram ricos em sílica (denunciada pela formação de quartzo), sódio, cálcio e cloro, todos estes componentes essenciais, além do alumínio, na geração da escapolita. Devido a estabilidade deste aluminossilicato requerer alta atividade de NaCl, muito provavelmente ele precipitou dos fluidos de maior salinidade (42-45% em peso equiv. de NaCl) e temperatura (> 350°C) representados pelas IF trifásicas. As IF bifásicas revelaram moderadas salinidade (em geral, 20-25 % em peso equiv. de NaCl) e temperatura de homogeneização (em geral, 200-300°C), indicando, a primeira vista, que poderia ter havido diluição à medida que o sistema hidrotermal resfriava. Não se observou, contudo, diminuição gradativa da salinidade com a queda de temperatura. Pelo contrário, constatou-se a existência de uma lacuna entre 42% e 24% em peso equiv. de NaCl, o que fragiliza a hipótese de uma possível diluição e fortalece a idéia de um fluido independente, ainda que mesma composição. A fonte dos fluidos é assunto em aberto.

Palavras-chave: Inclusões fluidas. Serra Dourada. Carajás.

ABSTRACT

The research area is located in Serra Dourada, to east of the Sossego Cu-Au deposit, Carajás Mineral Province. The scapolitization is a kind of common sodic metasomatism in the rocks that compose this area, having manifested as in the rocky mass as in veinlets. The methodical procedures had involved field campaign, selected samples, smoothly blades confections, petrographic analysis of the altered rocks, fluid inclusions (FI) mapping contained in quartz crystals and microthermometric analysis. Two-phase and three-phase FI were recognized, these last one with saturation tentatively identified as halite. The fill degree had a variation from 0,7 to 0,9, while fluids density was from 0,87 to 1,20 g/cm³ band, with the highest values corresponding the three-phase FI. The hydrothermal fluids responsible for the scapolitization had a great amount of silica (denounced for the quartz formation), sodium, calcium and chlorine, all these as essencial components, beyond aluminum, in the scapolite generation. Because the aluminum-silicate stability to require NaCl high activity, is very probably that it precipitated of bigger salinity fluids (42-45% eq. weigth of NaCl) and temperature (>350 °C) represented for three-phase FI. The two-phase FI has disclosed moderate salinity (generally, 20-25% eq. weigth of NaCl) and homogenization temperature (generally, 200-300 °C) indicating, initially, that could have had dilution to the measure that hydrothermal system cooled. It was not observed, however, gradual reduction of the salinity with temperature fall. Otherwise, was evidenced existence of a gap between 42% and 24% in eq. weight of NaCl, what weaken hypothesis of a possible dilution and fortifies the idea of an independent fluid, even if they have the same composition. The source of fluids is an opened subject.

Key words: Fluid inclusions. Serra Dourada. Carajás.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Localização de Serra Dourada – quadrilátero laranja – na Província Mineral de Carajás (modificado de ROSA, 2006).....	13
Figura 2	Principais províncias geocronológicas do Cráton Amazônico (Fonte: TASSINARI; MACAMBIRA, 2004).....	17
Figura 3	Mapa Geológico do Domínio Carajás (Fonte: PINHEIRO, 1997; modificado).....	19
Figura 4	Mapa geológico de Serra Dourada (Modificado de SOARES, 2002).....	23
Figura 5A	Fotografias das amostras submetidas à laminação: granitóide escapolitizado com substituição do plagioclásio pela escapolita e veios de quartzo presentes.....	24
Figura 5B	Fotografias das amostras submetidas à laminação: rocha gabróica com fratura preenchida por quartzo + escapolita.....	24
Figura 6	Fotomicrografia de grupo de inclusões fluidas bifásicas primárias aprisionadas em quartzo (objetiva 50x).....	27
Figura 7	Fotomicrografia de inclusões fluidas bifásicas (retângulo vermelho) e trifásica (círculo vermelho) primárias hospedadas em quartzo (objetiva 50x).....	27
Figura 8	Fotomicrografia de inclusões fluidas bifásicas primárias em forma quadrada dentro dos círculos vermelhos (objetiva 50x).....	28
Figura 9	Fotomicrografia de inclusões fluidas bifásicas primárias apresentando sinais de estrangulamento, em elipses vermelhas (objetiva 50x).....	28
Figura 10	Fotomicrografia de trilha de inclusões fluidas pseudo-secundárias, em sua maioria com sinais de estrangulamento (objetiva 50x).....	29
Figura 11	Fotomicrografia de trilhas de inclusões fluidas aquosas, secundárias, em geral menores de 1 μm (objetiva 50x).....	29
Figura 12	Fotomicrografia de IF monofásicas do tipo (L) em trilhas, de origem secundária (elipse vermelha), e IF bifásicas do tipo (L+V), de origem primárias (elipse amarela) (objetiva 20x).....	30
Figura 13	Fotomicrografia das mesmas IF bifásicas primárias do tipo (L+V) na elipse amarela acima, em objetiva 50x.....	31
Figura 14	Fotomicrografia de IF trifásicas do tipo (L+V+S) com fase de saturação possivelmente representada por halita (objetiva 50x).....	31
Figura 15	Histograma de freqüência do grau de preenchimento das IF submetidas às análises microtermométricas. bif = bifásica; trif = trifásica; prim = primária; pseud = pseudoseundária; e sec = secundária.....	32
Figura 16	Histograma de freqüência das temperaturas do ponto do eutético referente às inclusões bifásicas e trifásicas hospedadas em quartzo. bif = bifásica; trif = trifásica; prim = primária; pseud = pseudoseundária; e sec = secundária.....	33
Figura 17	Histograma de freqüência das temperaturas do ponto de fusão do gelo referente às inclusões bifásicas hospedadas em quartzo. Onde: bif = bifásica; prim = primária; pseud = pseudoseundária; e sec = secundária.....	34
Figura 18	Histograma de freqüência das temperaturas de homogeneização referente às populações de inclusões bifásicas hospedadas em quartzo. bif = bifásica; prim = primária; pseud = pseudoseundária; e sec = secundária.....	35
Figura 19	Histograma de freqüência das temperaturas de homogeneização parcial (T_{hp}) e de dissolução da halita (T_{ht}) referente às populações de inclusões trifásicas hospedadas em quartzo. trif = trifásica; prim = primária; pseud = pseudo-secundária.....	35
Figura 20	Histograma de freqüência das densidades dos fluidos referente às inclusões bifásicas e trifásicas hospedadas em quartzo.....	36

Figura 21	Diagrama Te x salinidade destacando a concentração da maioria dos pontos próximos da linha que marca o ponto eutético do sistema NaCl-CaCl ₂ -H ₂ O. Pontos abaixo desta linha sugerem a mudança na composição do fluido com a entrada de outros componentes.....	38
Figura 22	Diagrama Th x salinidade mostrando a distribuição das IF trifásicas e bifásicas (primárias e pseudo-secundárias) e o vazio de medidas entre 42% e 24% em peso equiv. de NaCl (ver discussão no texto). Quadrados vazados vermelhos e azuis representam os mesmos pontos do gráfico da figura anterior.....	39

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	14
1.2	Metodologia	14
2	GEOLOGIA DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS	16
2.1	Domínio Carajás	18
2.1.1	LITOESTRATIGRAFIA	20
3	GEOLOGIA LOCAL DA REGIÃO DE SERRA DOURADA	22
4	ESTUDO PETROGRÁFICO PARA FINS MICROTERMOMÉTRICOS	24
4.1	Descrição Microscópica	24
5	ESTUDO DAS INCLUSÕES FLUIDAS	26
5.1	Petrografia das Inclusões Fluidas	26
5.1.1	ORIGEM E MORFOLOGIA	26
5.1.2	NÚMERO DE FASES	30
5.1.3	GRAU DE PREENCHIMENTO (F)	32
5.2	Microtermometria das Inclusões Fluidas	32
5.2.1	TEMPERATURAS EUTÉTICAS (T_e)	33
5.2.2	TEMPERATURAS DE FUSÃO DO GELO (T_{fg})	33
5.2.3	TEMPERATURA DE HOMOGENEIZAÇÃO (T_h)	34
5.2.4	DENSIDADE (d)	36
6	DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	37
	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

Na Província Mineral de Carajás – uma das mais ricas e exuberantes províncias minerais do planeta – jaz grande variedade de depósitos, dentre os quais sobressaem os depósitos Cu-Au da classe IOCG (da sigla em Inglês *Iron Oxide Copper Gold deposits*).

Villas et al. (2004, 2005) e Sousa & Villas (2006) ressaltam a associação desses depósitos cupro-auríferos com corpos de magnetito, ambos hospedados em rochas intensamente albitizadas e/ou escapolitizadas, o que está muito bem evidenciado no depósito arqueano do Sossego. Na região de Serra Dourada (Fig. 1), à medida que trabalhos exploratórios se intensificam, tem-se constatado cada vez mais ocorrência de sulfetos de cobre em rochas granitóides que mostram fortes evidências de metassomatismo sódico. Bons exemplos vêm da cava do Danilo, hoje desativada, de onde calcopirita foi lavrada de maneira rudimentar para fins agrícolas (SOUSA, 2007), e do Alvo Visconde, cujos testemunhos de furos de sondagem revelam terem sido as rochas albitizadas e/ou escapolitizadas, assim como mineralizadas a cobre.

Granitóides do tipo-A e de afinidade subalcalina a alcalina são encontrados em grande quantidade na região de Carajás (BARROS et al., 1997; DALL'AGNOL et al., 1994) e possivelmente são eles a fonte principal de Na. Todavia, os altos teores de Cl encontrados nas rochas metassomatizadas e em certos minerais, notadamente escapolita, levantam a possibilidade de leitos evaporíticos também serem fonte alternativa (FRIETSCH et al., 1997; HUNT et al., 2005; MORA; VALLEY, 1989; OEN; LUSTENHOVER, 1992; SERDYUCHENKO, 1975).

A escapolita $\{(Na,Ca,K)_4[Al_3(Al,Si)_3Si_6O_{24}](Cl,CO_3,SO_4,OH)\}$ é um mineral gerado em ambientes metamórficos e hidrotermais a partir de reações isoquímicas ou metassomáticas, que têm lugar, em geral, em seqüências carbonáticas e evaporíticas (FRIETSCH et al., 1997). Sua formação é influenciada por fluidos hidrotermais muito ricos em Cl e Na, como, por exemplo, os que circularam em terrenos que contêm aquelas seqüências e que foram submetidos a metamorfismo regional (OLIVER et al., 1992). O estudo deste mineral fornece subsídios para o conhecimento da natureza dos fluidos que provocaram o metassomatismo sódico

das rochas e, com isto, a geração de processo de desequilíbrio, ocasionando tipos de alteração dominados por albita e/ou escapolita, que se associam em muitas áreas com calcopirita precipitada a partir dos fluidos que, muito comumente, sucedem ao *front* sódico. Investigar os fluidos hidrotermais responsáveis pelo aporte do sódio é importante não só para compreender aquelas mudanças como também indicar sítios em que possa ter ocorrido mineralização cuprífera.

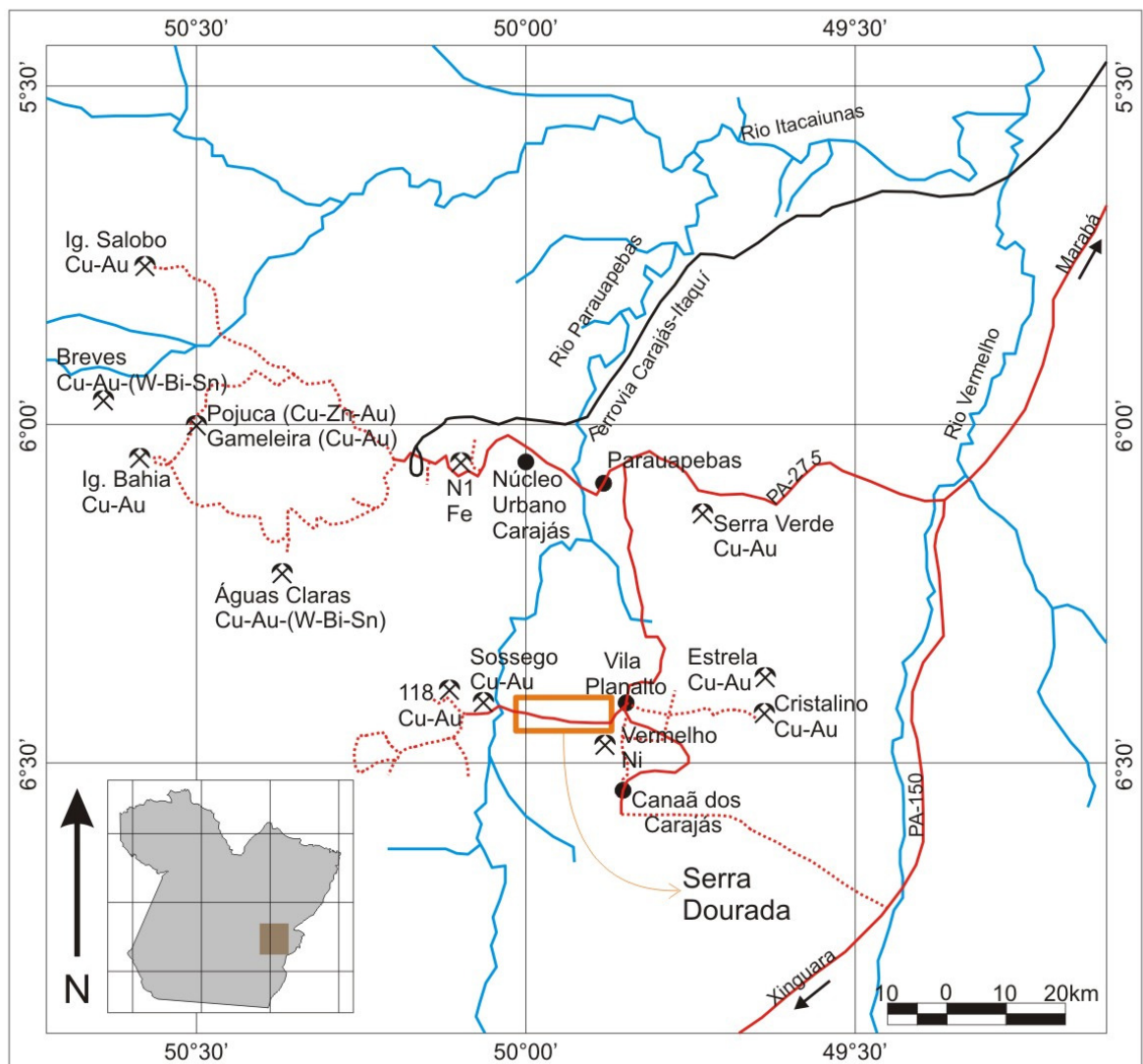


Figura 01: Localização de Serra Dourada – quadrilátero laranja – na Província Mineral de Carajás (modificado de ROSA, 2006).

1.1. Objetivos

Este trabalho teve por objetivo a caracterização dos fluidos hidrotermais que provocaram a escapolitização de granitóides aflorantes na área de Serra Dourada, em termos da salinidade, principais solutos, densidade e temperatura, com vista a contribuir com o entendimento do metassomatismo sódico que afetou aquelas rochas. Tentou-se, também, estabelecer a relação entre a evolução dos fluidos com a variação da abundância de escapolita presente nos apogranitóides.

1.2. Metodologia

Foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos para alcançar os objetivos propostos:

- Pesquisa bibliográfica sobre a geologia da região de Carajás, alteração hidrotermal e metassomatismo sódico em particular, além de inclusões fluidas;
- Campanha de campo com duração de 10 dias, quando foram coletadas e descritas amostras de campo;
- Participação nas aulas da disciplina sobre **Inclusões Fluidas**, que foi ofertada durante o segundo semestre de 2007, juntamente com alunos no programa de pós-graduação do PPGG-UFPA;
- Seleção de amostras para preparação de lâminas bipolidas;
- Análise petrográfica das rochas alteradas em microscópio de luz transmitida e refletida Zeiss modelo Axioplan 2;
- Mapeamento de inclusões fluidas contidas em cristais de quartzo (reconhecidamente coprecipitados com os de escapolita), com base em critérios genéticos, morfológicos, número de fases, cronologia relativa, relação dimensional entre fases e natureza dos fluidos (p. ex. VAN DEN KERKHOFF; HEIN, 2001). As inclusões hospedadas em cristais de escapolita não puderam ser estudadas, pois, além do número reduzido, suas dimensões (<4 μm) mostraram-se inadequadas para realização dos testes microtermométricos;
- Análise microtermométrica em platina Linkam THMSG 600 de resfriamento e aquecimento para determinação das temperaturas de mudanças de fase e, a partir

delas, estimar densidade, composição e salinidade, bem como as condições físicas de aprisionamento dos fluidos (p. ex. SHEPHERD et al. 1985; SAMSON et al. 2003);

- Tratamento e interpretação dos resultados; e
- Redação do trabalho de conclusão de curso.

2. GEOLOGIA DA PROVÍNCIA MINERAL DE CARAJÁS

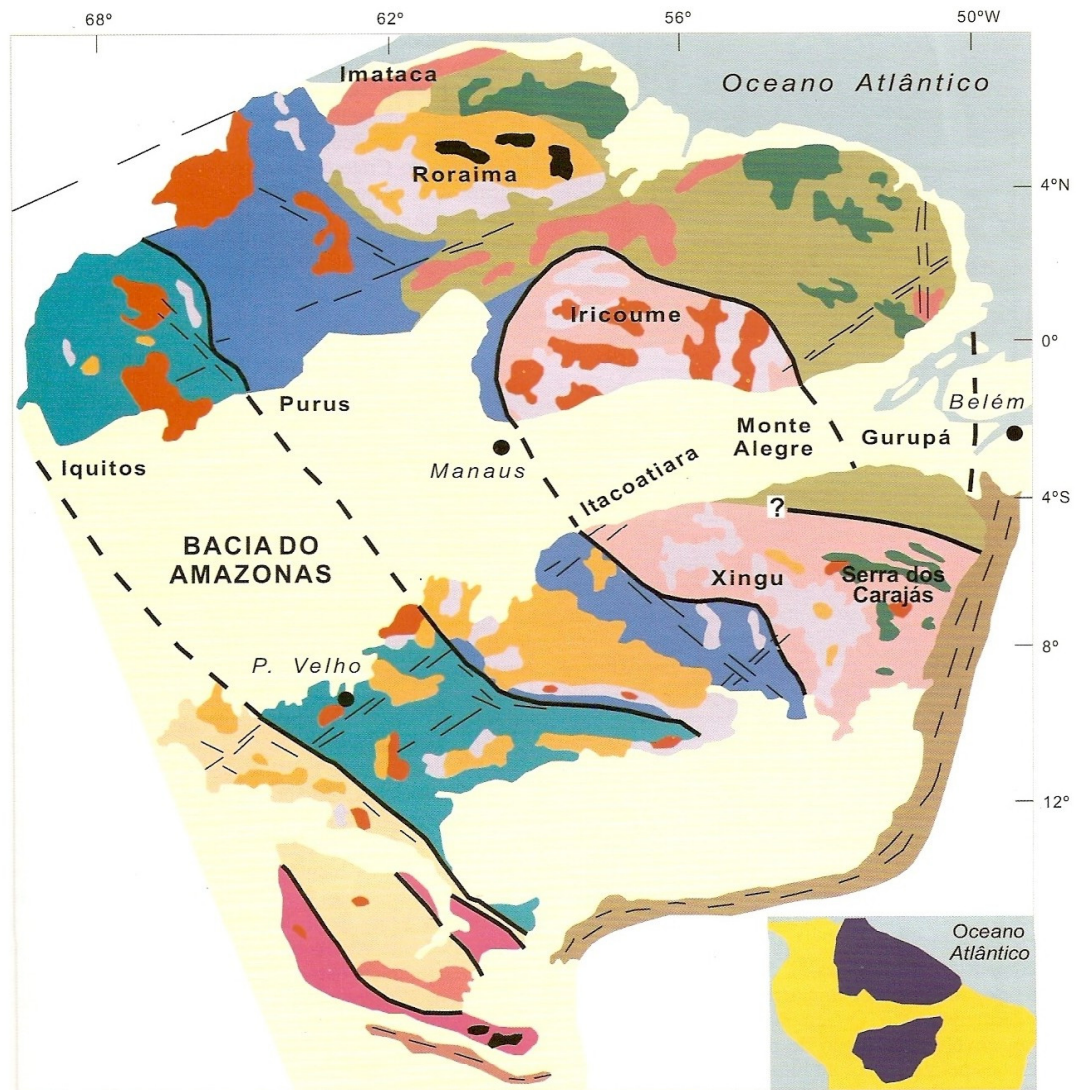
Vários modelos têm sido propostos para a compartimentação tectônica do Cráton Amazônico, os mais aceitos tendo sido concebidos por Santos et al. (2000), Santos (2003), e Tassinari & Macambira (1999, 2004), que, em linhas gerais, são similares. Neste trabalho foi adotada a proposta de Tassinari & Macambira (2004).

O Cráton Amazônico é composto por seis províncias geocronológicas de idades arqueana a mesoproterozóica, a saber: Amazônia Central (> 2,5 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2,2 – 1,9 Ga), Ventuari-Tapajós (1,9 – 1,8 Ga), Rio Negro-Juruena (1,8 – 1,55 Ga), Rondoniana-San Ignacio (1,55 – 1,3 Ga) e Sunsás (1,25 – 1,0 Ga) (Fig. 2).

A Província Amazônia Central é dividida em dois blocos: 1. Carajás, localizado a sudeste do cratón, com embasamento francamente arqueano, sendo mais bem conhecido geologicamente e é nele que se encontra a Província Mineral de Carajás (PMC); e 2. Xingú-Iricoumé, composto por uma faixa de direção SE-NW que se estende da margem esquerda do rio Xingu até o sudeste do estado de Roraima.

O Bloco Carajás se confunde de certa forma com a Província Mineral de Carajás e mostra evolução essencialmente arqueana (MACHADO et al. 1991). Consiste de dois domínios tectônicos, de limites aparentemente transicionais (VILLAS; SANTOS, 2001): ao sul, ocorrem os terrenos granito-*greenstone* de Rio Maria (TGGRM) e, ao norte, o Domínio Carajás (DC), o qual corresponde aproximadamente ao Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas de Araújo et al. (1988). Para Souza et al. (1996), a região localizada entre Xinguara e o sul da Serra dos Carajás seria uma zona de transição entre os TGGRM e o DC, pois diversas unidades que lá afloram são similares àquelas que ocorrem na área tipo dos TGGRM. Muito provavelmente, esta região representaria um segmento dos TGGRM intensamente retrabalhado durante a fase compressiva da evolução tectônica do DC, sendo hoje conhecido como o Domínio de Transição (DALL'AGNOL et al. 1997).

Não serão apresentados dados geológicos dos TGGRM, porquanto, para o presente estudo, é de interesse mais direto somente a geologia do Domínio Carajás.


PROVÍNCIAS GEOCRONOLÓGICAS

- Amazônia Central
> 2,5 Ga
- Maroni - Itacaiúnas
2,2 - 1,9 Ga
- Ventuari - Tapajós
1,9 - 1,8 Ga
- Rio Negro - Juruena
1,8 - 1,55 Ga
- Rondoniana - San Ignácio
1,55 - 1,3 Ga
- Sunsás
1,25 - 1,0 Ga

UNIDADES GEOLÓGICAS

- Cobertura fanerozóica
- Granitóide
- Cobertura sedimentar pré-cambriana
- Vulcanismo ácido intermediário
- Vulcanismo máfico
- "Greenstone belt"
- Complexo granulítico
- Faixas neoproterozóicas
- Alto estrutural do embasamento

Figura 2: Principais províncias geocronológicas do Cráton Amazônico.

Fonte: (TASSINARI; MACAMBIRA, 2004).

2.1. Domínio Carajás

Macambira et al. (2003) sugerem que o limite do Domínio Carajás, ao norte, seja marcado por rochas granitóides sintectônicas do Cinturão Maroni-Itacaiúnas (Fig. 3).

Neste domínio são reconhecidos dois subdomínios tectônicos: ao norte o Sistema Transcorrente Cinzento, que consiste de um feixe de falhas curvas e anastomóticas, com direção WNW-ESE, e ao sul o Sistema Transcorrente Carajás, que é marcado pela estrutura sigmoidal de Carajás, a qual é atravessada longitudinalmente pela falha Carajás, que tem direção WNW-ESSE e é composta por feixes de traços descontínuos, curvos e anastomóticos, e representa a estrutura mais proeminente do Sistema Transcorrente Carajás (PINHEIRO, 1997). Estes sistemas transcorrentes constituem o Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas, de idade mesoarqueana. As seqüências de cobertura foram submetidas à subsidência em zonas de dilatação sob cinemática dextral. Os efeitos de episódios posteriores de deformação transpressiva sinistral estão registrados, localmente, nas adjacências de falhas maiores. As falhas atuaram como zonas de fraqueza, onde os processos de fraturamento causaram o aumento da permeabilidade das rochas favorecendo a migração de fluidos, alguns dos quais responsáveis por depósitos de cobre e ouro, dentre outros (PINHEIRO; HOLDSWORTH, 2000).

Na estruturação geral do DC, reativações regionais rúpteis no Neoarqueano foram responsáveis pelo desenvolvimento dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, que são caracterizados por feixes de estruturas E-W e WNW-ESE, respectivamente. Na porção sul, o controle foi exercido por um sistema compressivo, com leques imbricados de cavalgamento oblíquos dúcteis (ARAÚJO; MAIA, 1991; COSTA et al., 1995).

2.1.1. LITOESTRATIGRAFIA

O embasamento do BC é constituído pelos complexos Pium (granulitos) e Xingu (gnaisses, anfibolitos e migmatitos), ambos de idade arqueana. O Complexo Pium foi datado em 3050 Ma pelo método Pb-Pb em rocha total (RODRIGUES et al., 1992) e em 3002 Ma pelo método U-Pb/SHRIMP (PIDGEON et al., 1998). Por sua vez, gnaisses do Complexo Xingu foram datados pelo método Pb-Pb em zircão, acusando idade de 2,97 Ga (AVELAR et al., 1999).

O Grupo Rio Novo ocorre ao norte das cidades de Curionópolis e Parauapebas, e representa uma ampla faixa que se estende na direção WNW-ESE e vem sendo considerado um *greenstone belt* mais jovem do que os que ocorrem nos TGGRM. Este grupo é constituído por formações ferríferas do tipo silicático, komatiítos vulcânicos a subvulcânicos e rochas basálticas de afinidade toleítica (ARAÚJO et al., 1988).

Ainda sem datação e com relações espaciais ainda não definidas com o Supergrupo Itacaiúnas, sabe-se, entretanto, que ele é cortado pelos complexos granítico Estrela (2763±7 Ma, BARROS et al., 2004) e máfico-ultramáfico Luanga (2763±7 Ma, MACHADO et al., 1991).

Seqüências metavulcanossedimentares metamorfisadas e deformadas a graus variáveis, desde a fácies xisto verde até anfibolito, são hospedeiras das grandes reservas de Fe, Cu e Au, e compõem o Supergrupo Itacaiúnas (DOCEGEO, 1988). Esta unidade repousa discordantemente sobre o embasamento e é constituída pelos grupos Igarapé Salobo (2761±3 Ma, MACHADO et al., 1991), Grão Pará (2760±11 Ma, PIDGEON et al. 1998), Igarapé Bahia (2.747±2 Ma; GALARZA; MACAMBIRA, 2002), Igarapé Pojuca (2732±3 Ma, MACHADO et al., 1991) e Buritirama (ainda não datado). Estão mineralizados em Fe e Mn os grupos Grão Pará e Buritirama, respectivamente, enquanto que os demais grupos hospedam sulfetos de metais base e Au (ALMADA; VILLAS, 1999).

Os granitóides da Suíte Plaqué foram datados em 2729 ± 29 Ma e formam corpos granitóides metaluminosos a peraluminosos, deformados e alongados na direção E-W (AVELAR et al., 1999). Esta unidade, de ocorrência restrita ao Domínio Carajás, é representada por diversos corpos lenticulares, orientados

predominantemente segundo E-W, que mantêm relações de contato concordante com o Complexo Xingu (ARAÚJO; MAIA, 1991).

A Formação Águas Claras é formada por sucessões de rochas sedimentares siliciclásticas separadas em um membro inferior (pelitos, siltitos e arenitos) e outro superior (arenitos) (NOGUEIRA et al., 1995), antes consideradas como parte do Grupo Rio Fresco (ARAÚJO et al., 1988). Zircões de origem vulcânica sindeposicionais encontrados nesta formação, dão a entender que a idade, determinada pelo método U-Pb, é de 2681 ± 5 Ma (TRENDALL et al., 1998).

Durante quase todo o Paleoproterozóico, não há ocorrência de nenhum evento significativo, mantendo um hiato de pouco menos de 800 Ma sem registro de nenhum evento de formação de rochas.

No final do Paleoproterozóico, registra-se o alojamento de muitos *stocks* e batólitos graníticos alcalinos e subalcalinos anorogênicos na PMC com características química e tectônica de granitos tipo A (DALL'AGNOL et al., 1994). Dentre os corpos mais importantes, alojados já ao final do Paleoproterozóico, figuram as intrusões Cigano (1883 ± 2 Ma), Serra dos Carajás (1880 ± 2 Ma) e Pojuca (1874 ± 2 Ma), todos datados pelo método U-Pb em zircão (MACHADO et al., 1991).

A Formação Gorotire recobre todas as unidades mencionadas anteriormente de forma discordante e consiste de arenitos arcossianos imaturos e conglomerados polimíticos do Meso-Neoproterozóico, enquanto que o Grupo Serra Grande é formado por conglomerado com intercalação de arenitos do Siluro-Devoniano, pertencentes a bacia do Parnaíba (LIMA; PINHEIRO, 2001).

3. GEOLOGIA LOCAL DA REGIÃO DE SERRA DOURADA

Serra Dourada está situada a NW da sede municipal de Canaã dos Carajás e a leste do depósito Sossego. Sousa (2007) definiu as rochas constituintes de Serra Dourada como sendo granitóides, gabros/dioritos e diques de composição dacítica, muitos deles intensamente hidrotermalizados, destacando-se a produção de albitos e veios métricos de escapolita (Fig. 4).

Predominam rochas granitóides de composição sienogranítica, granodiorítica e tonalítica. Ocorrem também intrusões gabróicas/dioríticas que formam pequenos corpos alongados e se acham cortadas por microzonas de cisalhamento de N30°E. Os diques possuem espessuras métricas e cortam todas as rochas citadas anteriormente, preferencialmente nas direções ENE e NE (SOARES, 2002).

Este autor descreveu os granitóides como sendo rochas leucocráticas a mesocráticas, isótropas a levemente orientadas e de granulação fina a grossa, tendo como principais minerais constituintes quartzo, plagioclásio, K-feldspato, e ainda mostrando anfibólio e biotita como fases acessórias primárias, e escapolita, albita e biotita como os minerais de alteração mais comuns. Os gabros/dioritos mostram textura subofítica e constituem-se de anfibólio, escapolita, biotita, opacos, epidoto, apatita, clorita e titanita. Os diques são porfiríticos a glomero-porfiríticos, mostram granulação fina a média, e sua constituição mineralógica essencial é dada por quartzo, plagioclásio e microclina. Na matriz ocorrem esparsamente grãos submicroscópicos de calcopirita, além de fluorita, epidoto e clorita em amígdalas.

Ainda que não haja um estudo aprofundado relacionando especificamente as rochas da região de Serra Dourada com o contexto regional, dados bibliográficos permitem correlacionar essas rochas com o Complexo Xingu.

Sousa (2007), aprofundando o estudo com base em rochas fortemente alteradas, destaca variedades félsicas compostas principalmente por albita, além de quartzo e epidoto. Foram observados veios de dimensões métricas constituídos por escapolita e quartzo. Constatou, também, nas rochas máficas, a ocorrência de duas gerações de escapolita. A primeira sendo representada por agregados de cristais oriundos da substituição do plagioclásio primário e a outra por finas vênulas sinuosas de

escapolita + Mg-hornblenda, as quais marcam nestas rochas, os estágios mais tardios da alteração hidrotermal.

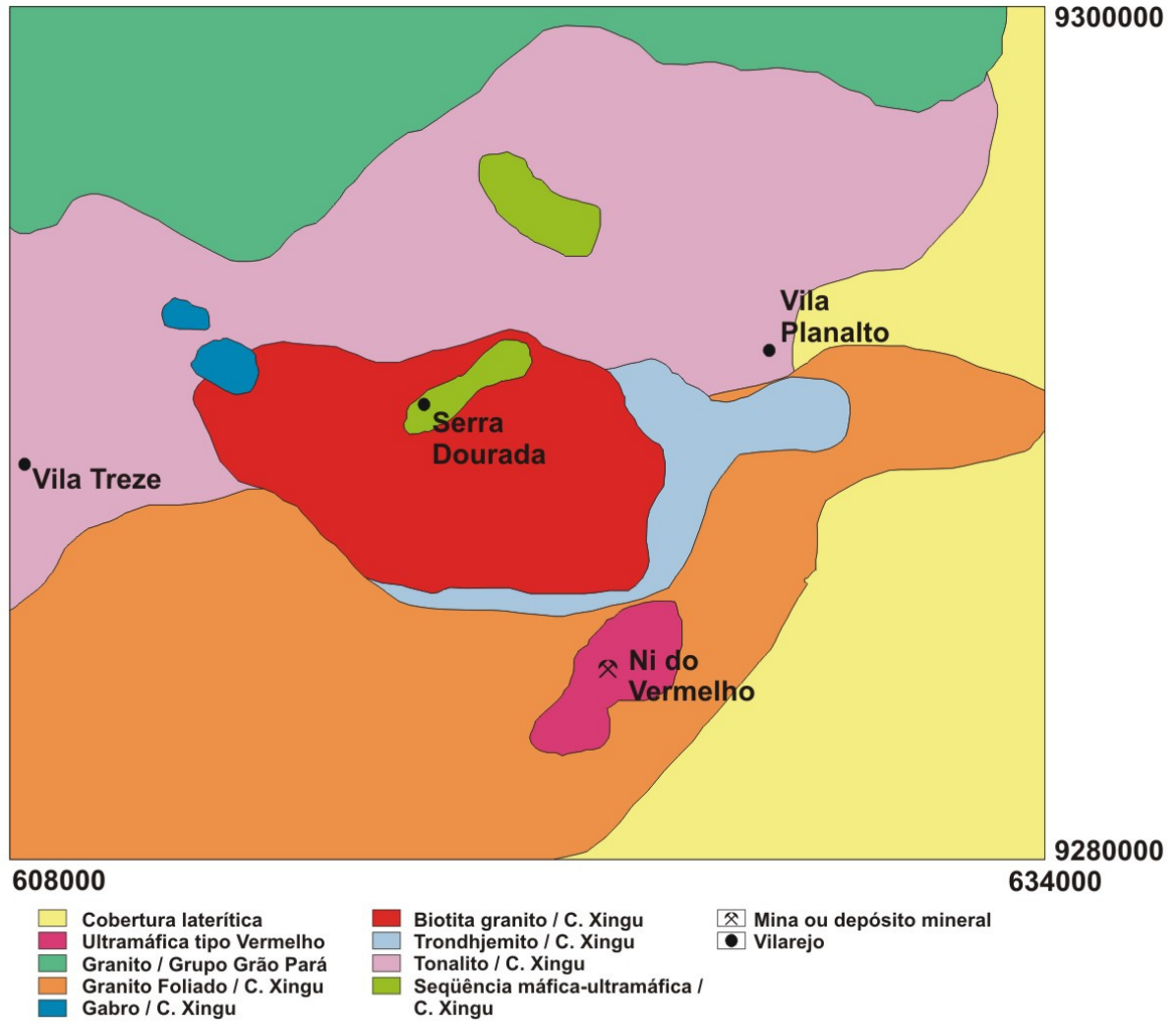


Figura 4: Mapa geológico de Serra Dourada (Modificado de SOARES, 2002).

4. ESTUDO PETROGRÁFICO PARA FINS MICROTERMOMÉTRICOS

Foram coletadas seis amostras, das quais apenas as amostras FD-19 e FD-27 apresentaram inclusões fluidas favoráveis para o estudo que foi proposto.

A amostra FD-19 representa rocha isotrópica, leucocrática a mesocrática, de coloração acinzentada e granulação média. É constituída mineralogicamente por escapolita, quartzo, plagioclásio, biotita, calcopirita e muscovita, tratando-se de veio escapolitizado em granitóide (Fig. 5A).

A amostra FD-27 também é isotrópica, equigranular, melanocrática (índice de cor igual a 60%) e de granulação média e textura fanerítica hipidiomórfica. Consiste de plagioclásio, piroxênio, olivina e quartzo, o que permite classificá-la como rocha gabróica. Esta amostra é cortada por fratura preenchida com quartzo e escapolita (Fig. 5B).

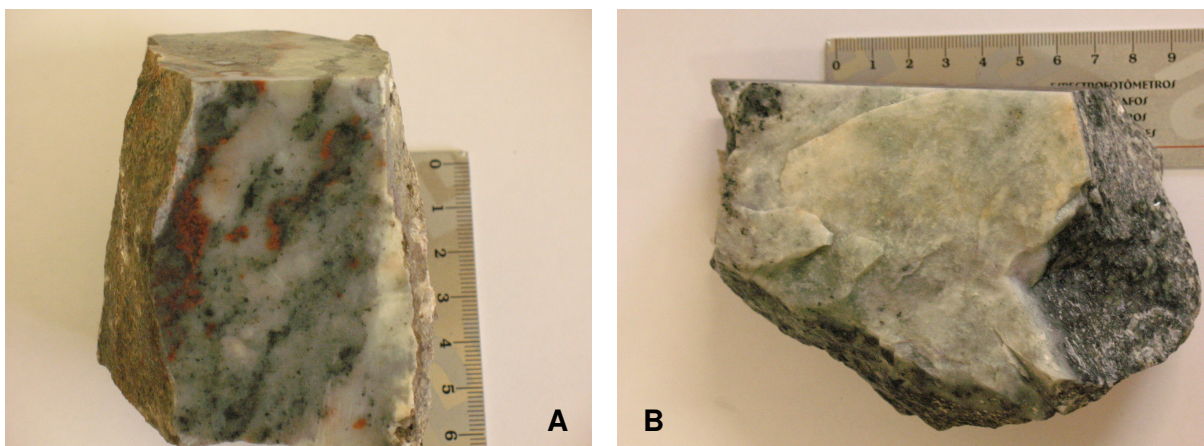


Figura 05: Fotografias das amostras submetidas à laminação: A) granitóide escapolitizado com substituição do plagioclásio pela escapolita e veios de quartzo presentes e; B) rocha gabróica com fratura preenchida por quartzo + escapolita.

4.1. Descrição Microscópica

O quartzo ocorre como mineral primário e hidrotermal. Em geral, quando primário, os cristais são anédricos e mostram extinção ondulante e bordas localmente recristalizadas ou corroídas por micas (lâmina FD-19). Outros cristais, de contornos euédricos, constituem uma geração de origem hidrotermal e ocorrem em

vênulas e foram coprecipitados com a escapolita e muscovita (lâmina FD-19 e FD-27). A escapolita forma cristais com textura fibrosa e contornos anédricos (FD-19), tendo sido formada a partir da substituição metassomática do plagioclásio, cujos cristais, localmente, também são substituídos por sericita. Na lâmina FD-27, a escapolita se apresenta em agregados e vênulas, sempre formando cristais com tamanhos que variam de 1 a 4 mm, nos quais observam-se inclusões subarredondadas de quartzo, bem como finas vênulas de micas, todos estes também coprecipitados com a escapolita. A muscovita é pouco abundante em ambas as lâminas FD-19 e FD-27, ocorre em palhetas de granulação fina esparsamente distribuídas, mesmo quando em vênulas, e revela incipiente substituição para clorita. Ainda foram identificados minerais opacos, os quais desenvolvem cristais anédricos e estão normalmente presentes na rocha em forma de inclusões, indicando que foram precipitados precocemente em relação aos cristais hospedeiros. O epidoto ocorre em pequenos cristais dispersos em ambas as lâminas.

5. ESTUDO DAS INCLUSÕES FLUIDAS

5.1. Petrografia das Inclusões Fluidas

Após um mapeamento preliminar das inclusões fluidas (IF), as lâminas bipolidas (FD-19 e FD-27) foram fragmentadas e cada fragmento foi analisado petrograficamente. Não foram reconhecidas, nestas lâminas, inclusões fluidas de tamanho superior a 4 μm nos cristais de escapolita, de forma que só foram analisadas aquelas contidas em quartzo reconhecidamente coprecipitado com escapolita. As IF são pouco abundantes, o que, de certa forma, acarretou dificuldades para o desenvolvimento do trabalho. Não obstante, foi possível identificar duas populações de IF, com base na origem, morfologia, número de fases e grau de preenchimento.

5.1.1. ORIGEM E MORFOLOGIA

Foram identificadas IF primárias (Fig. 6), pseudo-secundárias e secundárias, todas de natureza aquosas.

As IF primárias ocorrem como cavidades solitárias e apresentam-se com formas subarredondadas, alongadas com extremidades arredondadas (Fig. 7) e quadradas (Fig. 8), algumas com sinais de estrangulamento (Fig. 9). Os tamanhos variam de 5 a 14 μm . Quanto às IF pseudo-secundárias, elas ocorrem em pequenas trilhas, com características morfológicas bastante semelhantes às IF primárias, principalmente as que se mostram estranguladas (Fig. 10). As IF secundárias, em sua maioria, mostram dimensões em torno de 1 μm (Fig. 11) e ocorrem em trilhas intercristalinas. Algumas, porém, revelam dimensões entre 4 e 12 μm , sendo, em geral, alongadas.

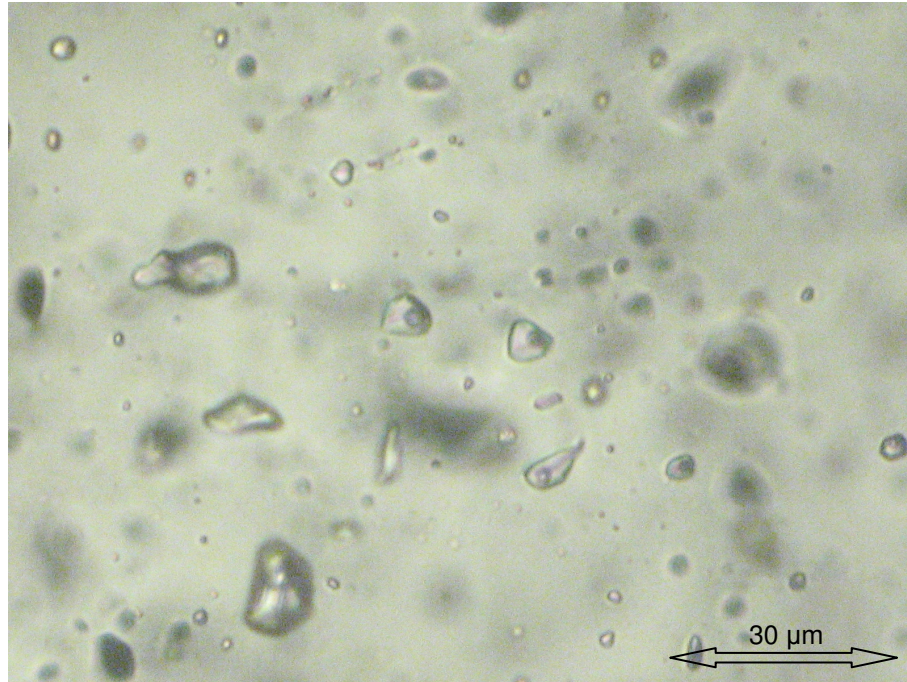


Figura 6: Fotomicrografia de grupo de inclusões fluidas bifásicas primárias aprisionadas em quartzo (objetiva 50x).

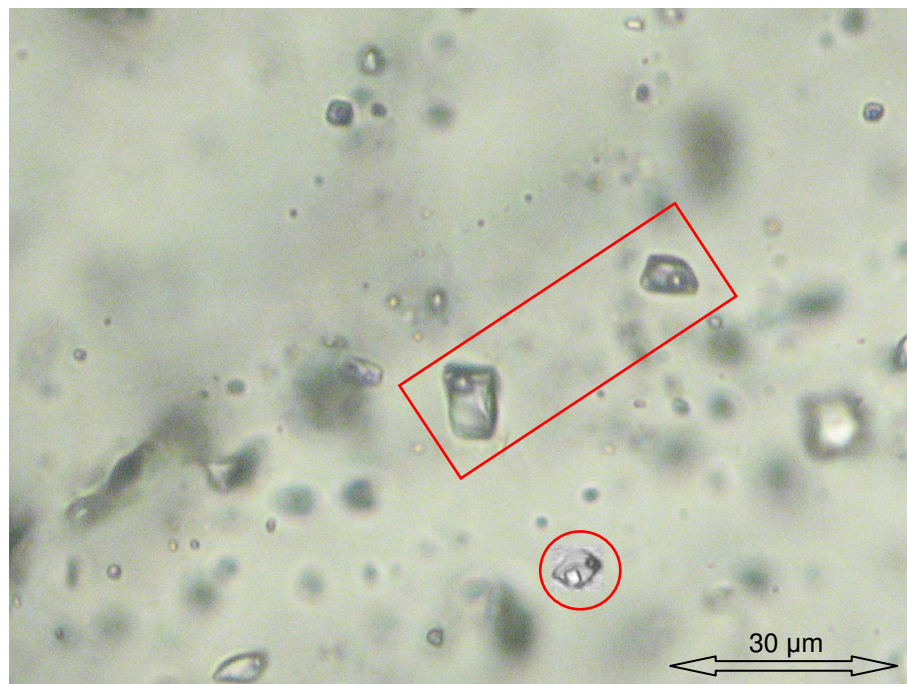


Figura 7: Fotomicrografia de inclusões fluidas bifásicas (retângulo vermelho) e trifásica (círculo vermelho) primárias hospedadas em quartzo (objetiva 50x).



Figura 8: Fotomicrografia de inclusões fluidas bifásicas primárias em forma quadrada dentro dos círculos vermelhos (objetiva 50x).



Figura 9: Fotomicrografia de inclusões fluidas bifásicas primárias apresentando sinais de estrangulamento, em elipses vermelhas (objetiva 50x).

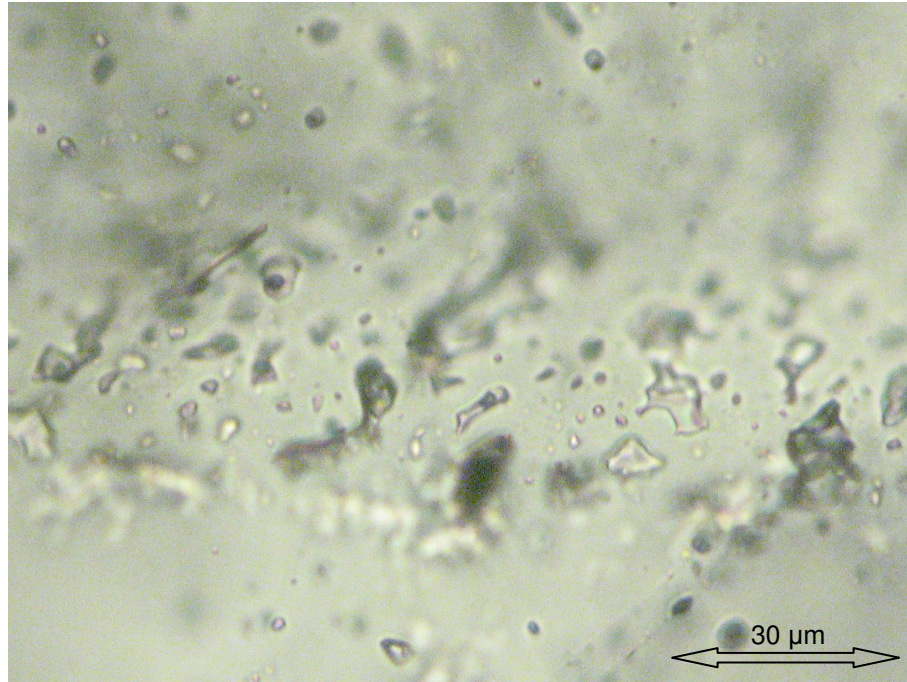


Figura 10: Fotomicrografia de trilha de inclusões fluidas pseudo-secundárias, em sua maioria com sinais de estrangulamento (objetiva 50x).

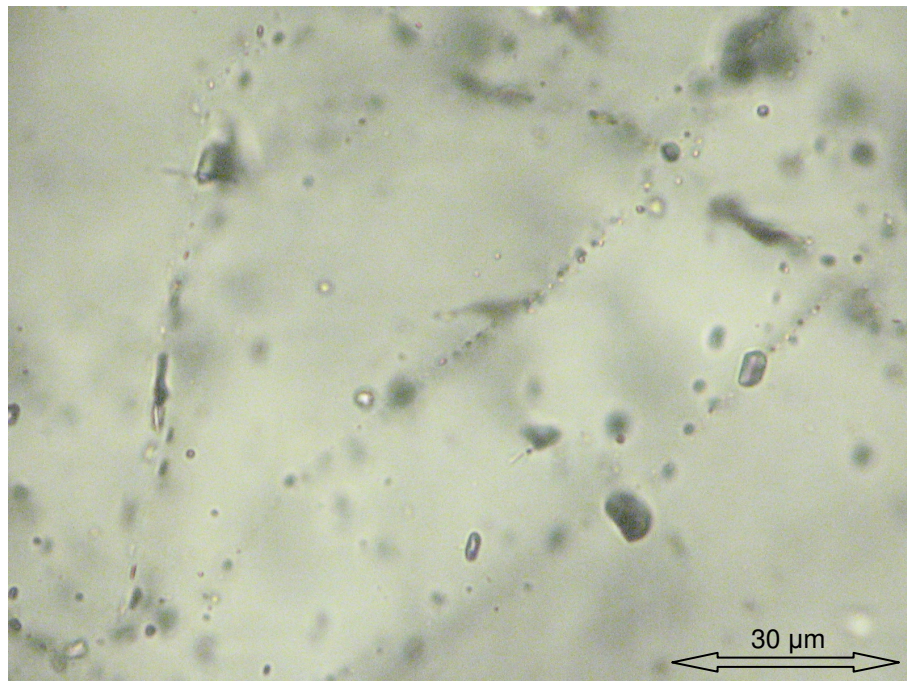


Figura 11: Fotomicrografia de trilhas de inclusões fluidas aquosas, secundárias, em geral menores de 1 μm (objetiva 50x).

5.1.2. NÚMERO DE FASES

Foram mapeadas inclusões aquosas monofásicas, bifásicas e trifásicas. As IF monofásicas, do tipo (L), são de origem secundária (Fig. 12). As IF bifásicas, do tipo (L+V), são as mais abundantes e mostram tipos primários (Fig. 12 e 13), pseudo-secundários e secundários. Foram ainda identificadas IF trifásicas (L+V+S), mas são relativamente raras. As dimensões variam entre 8 e 12 μm , sendo a fase sólida possivelmente o mineral de saturação halita, que ocorre em cubos com cerca de 2 μm de aresta (Fig. 14).

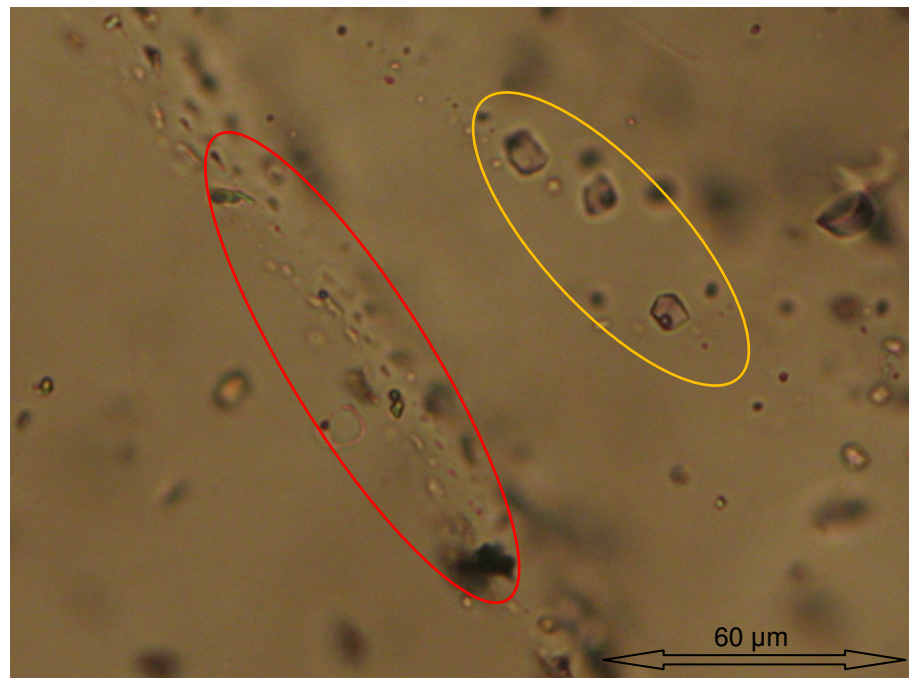


Figura 12: Fotomicrografia de IF monofásicas do tipo (L) em trilha, de origem secundária (elipse vermelha), e IF bifásicas do tipo (L+V), de origem primárias (elipse amarela) (objetiva 20x).

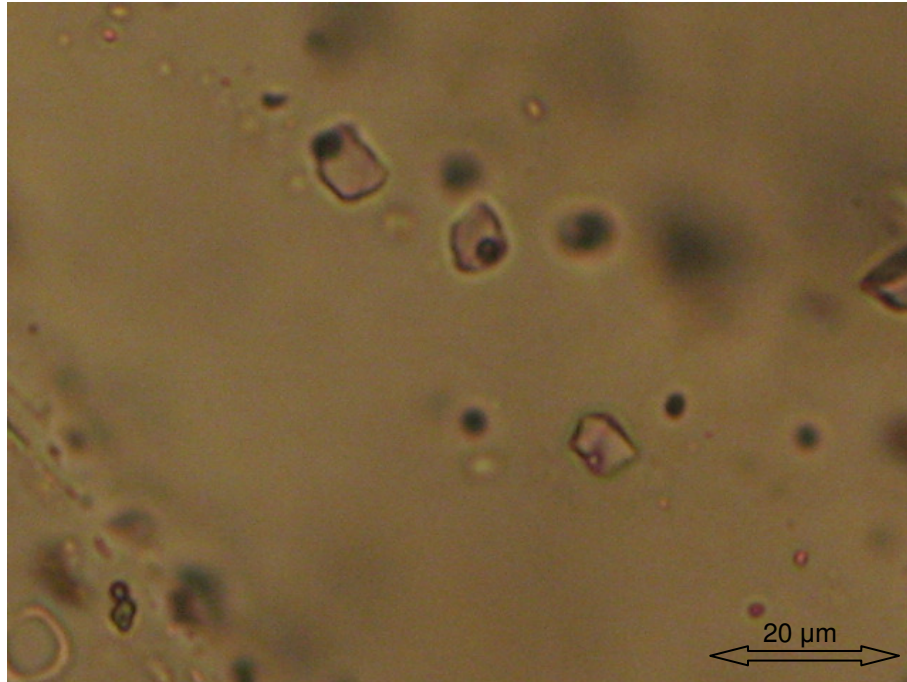


Figura 13: Fotomicrografia das mesmas IF bifásicas primárias do tipo (L+V) na elipse amarela acima, em objetiva 50x.

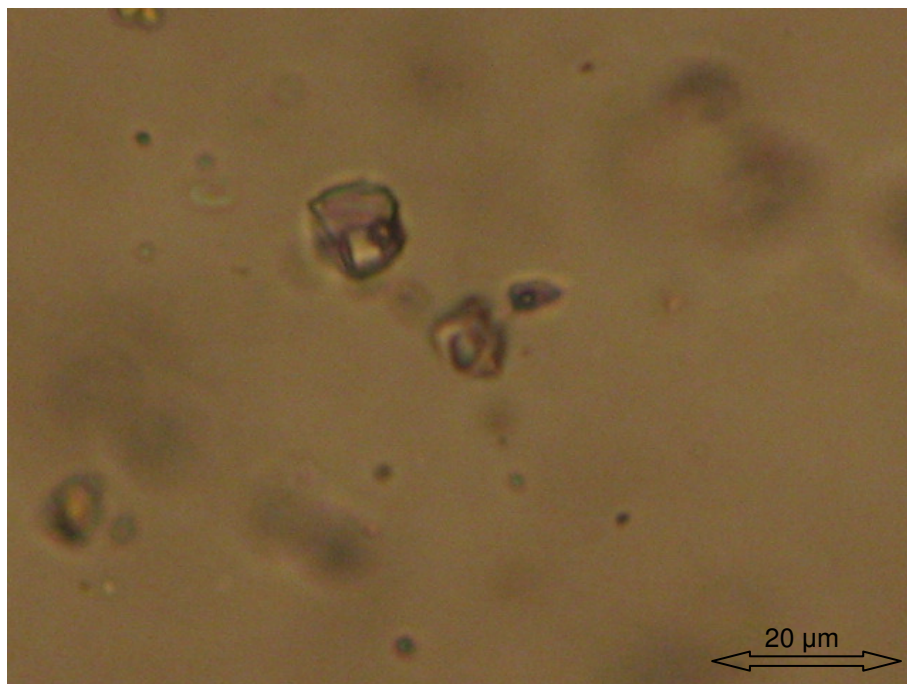


Figura 14: Fotomicrografia de IF trifásicas do tipo (L+V+S) com fase de saturação possivelmente representada por halita (objetiva 50x).

5.1.3. GRAU DE PREENCHIMENTO (F)

Os valores obtidos para o grau de preenchimento, tanto nas IF primárias quanto nas pseudo-secundárias, varia de 0,7 a 0,9 (Fig. 15). Nas IF secundárias bifásicas, o valor médio de 0,85 foi obtido em poucas inclusões, devido ao pequeno tamanho.

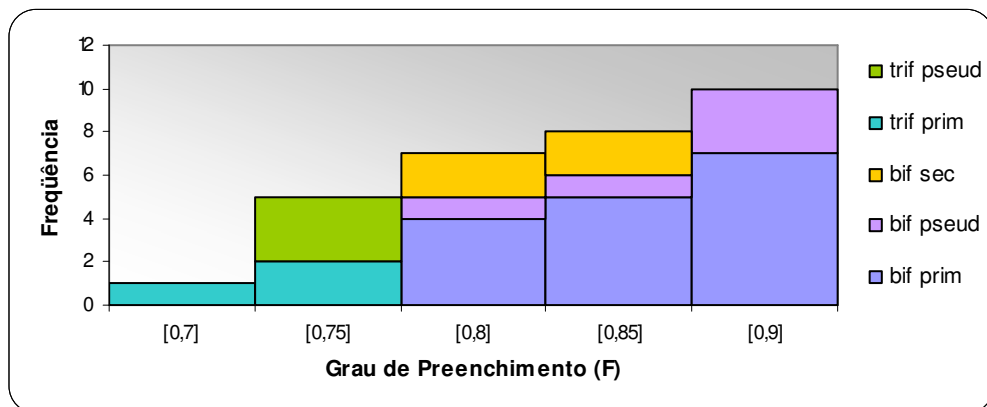


Figura 15: Histograma de frequência do grau de preenchimento das IF submetidas às análises microtermométricas. bif = bifásica; trif = trifásica; prim = primária; pseud = pseudoseundária; e sec = secundária.

5.2. Microtermometria das Inclusões Fluidas

O estudo microtermométrico foi realizado em 31 IF, correspondendo a pouco mais de 55% do total descrito e mapeado petrograficamente, todas, como já mencionado, hospedadas em cristais de quartzo. Foram executados testes em IF primárias (bifásica e trifásica), pseudo-secundárias (bifásica e trifásica) e secundárias (bifásica). Os resultados obtidos dizem respeito às temperaturas dos pontos eutético, de fusão do gelo e de homogeneização, além da densidade. Registra-se ainda que algumas IF não responderam aos testes de resfriamento, enquanto outras crepitaram durante o teste de aquecimento, impossibilitando a medição de sua temperatura de homogeneização.

5.2.1. TEMPERATURAS EUTÉTICAS (T_e)

As temperaturas do ponto eutético cobrem o intervalo de $-58,5^{\circ}\text{C}$ a $-45,7^{\circ}\text{C}$, com maior freqüência entre $-54,3$ e $-50,1^{\circ}\text{C}$ (Fig. 16), que pode ser correspondida à T_e do sistema $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ fixada em -52°C (BORISENKO, 1977). Os valores abaixo de -52°C podem ser devidos à metaestabilidade, que é comum nos sistemas que contêm CaCl_2 (DAVIS et al., 1990).

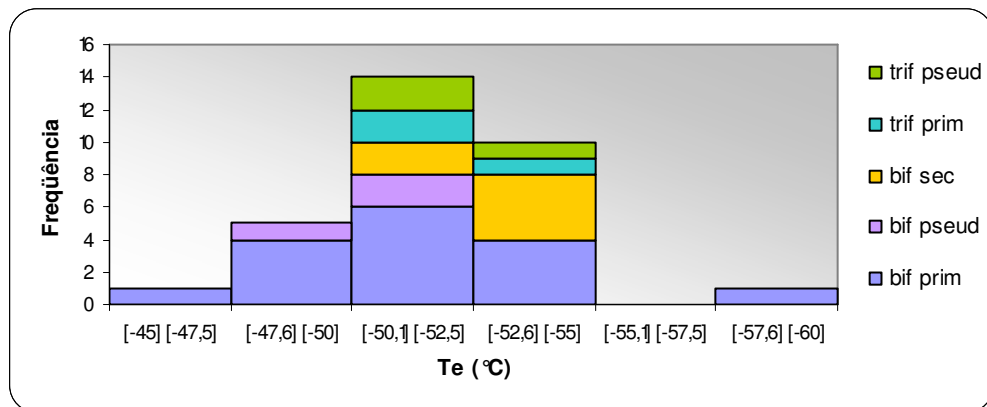


Figura 16: Histograma de freqüência das temperaturas do ponto do eutético referente às inclusões bifásicas e trifásicas hospedadas em quartzo. bif = bifásica; trif = trifásica; prim = primária; pseud = pseudoseundária; e sec = secundária.

5.2.2. TEMPERATURAS DE FUSÃO DO GELO (T_{fg})

Com relação às temperaturas de fusão do gelo (Fig. 17), observa-se que as medidas em IF primárias estão distribuídas no intervalo de $-20,9^{\circ}\text{C}$ a $-13,3^{\circ}\text{C}$, com faixa mais freqüente entre -18°C e -17°C . As salinidades correspondentes variam de 23 a 17,2% em peso equiv. de NaCl (BODNAR, 1993), embora se concentrem no intervalo de 21 – 20,2% em peso equiv. de NaCl . Apesar da ampla superposição, as T_{fg} das IF pseudo-secundárias tendem a ser mais altas, cobrindo o intervalo entre $-17,6$ e $-10,4^{\circ}\text{C}$ (salinidades de 20,7 a 14,4% em peso equiv. de NaCl), com maior freqüência entre $-17,6$ e $-15,9^{\circ}\text{C}$ (salinidades entre 20,7 e 19,4% em peso equiv. de NaCl). No que tange às IF secundárias, as T_{fg} registram valores muito similares aos das IF primárias ($-21,1^{\circ}$ a $-16,8^{\circ}\text{C}$), mas com maior freqüência entre $-21,1^{\circ}\text{C}$ e $-20,7^{\circ}\text{C}$.

As salinidades dos fluidos correspondentes a este intervalo foram estimadas entre 23,1 e 22,8% em peso equiv. de NaCl.

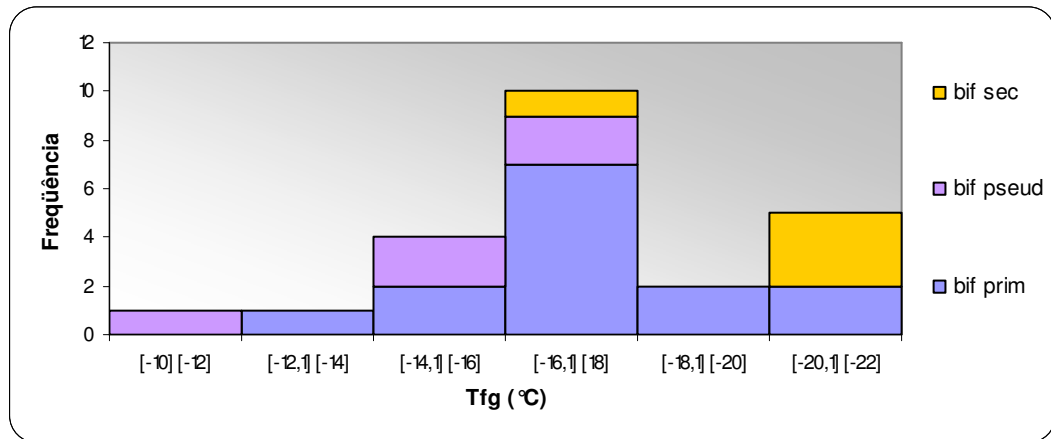


Figura 17: Histograma de frequência das temperaturas do ponto de fusão do gelo referente às inclusões bifásicas hospedadas em quartzo. Onde: bif = bifásica; prim = primária; pseud = pseudoseundária; e sec = secundária.

5.2.3. TEMPERATURA DE HOMOGENEIZAÇÃO (T_h)

Todas as IF bifásicas se homogeneízam no estado líquido e observa-se uma ampla superposição das medidas de T_h , independentemente da natureza da IF. À parte um único valor (354°C), as IF bifásicas primárias revelam T_h entre 185,3° e 296,8°C, com moda (53,33%) correspondendo ao intervalo de 257,4° – 296,8°C. Por seu turno, as IF bifásicas pseudo-secundárias se homogeneízam na faixa de 222,8° a 310°C. São as T_h das IF bifásicas secundárias, dentre todas, as que estão distribuídas em um intervalo mais estreito, de 200,6° a 267,5°C (Fig. 18).

Nas IF trifásicas, as temperaturas de homogeneização foram obtidas em duas etapas. A primeira refere-se à homogeneização parcial (T_{hp}), dada pelo desaparecimento da fase vapor, e a outra à homogeneização total (T_{ht}), marcada pela dissolução do cristal de saturação, interpretado com halita. As T_{hp} das IF trifásicas primárias cobrem um intervalo entre 243,4° e 277,8°C, enquanto que nas IF trifásicas pseudo-secundárias elas ocorrem na faixa de 271,2° – 294,6°C. Por sua vez, a dissolução da halita nas IF trifásicas primárias e pseudo-secundárias registra temperaturas (T_{ht}) entre 356,5° e 404,2°C (Fig. 19). Nenhuma das IF trifásicas crepitou durante as análises microtermométricas.

As salinidades das IF trifásicas foram obtidas a partir da equação proposta por Sterner et al. (1988), que tem por base o sistema NaCl-H₂O e utiliza a T_{ht} , fornecendo a salinidade em % em peso equiv. de NaCl. Os resultados das salinidades caem no intervalo de 43,0 – 47,9% equiv. em peso de NaCl.

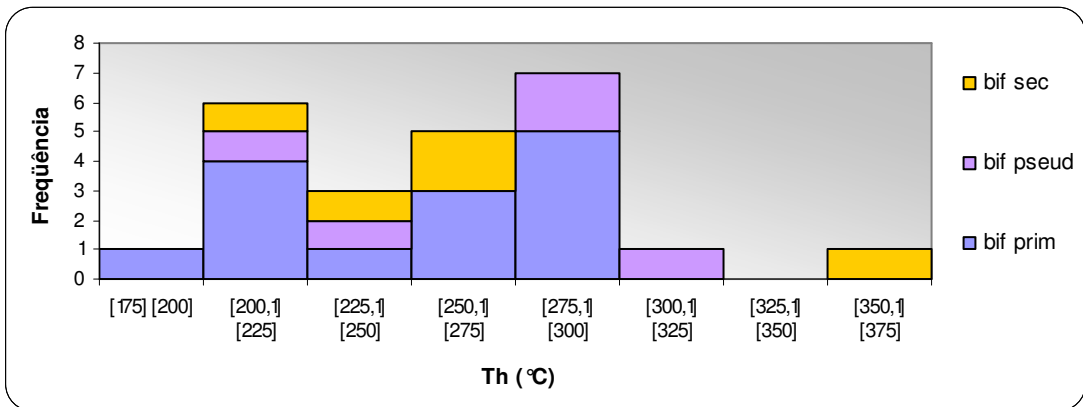


Figura 18: Histograma de freqüência das temperaturas de homogeneização referente às populações de inclusões bifásicas hospedadas em quartzo. bif = bifásica; prim = primária; pseud = pseudo-seundária; e sec = secundária.

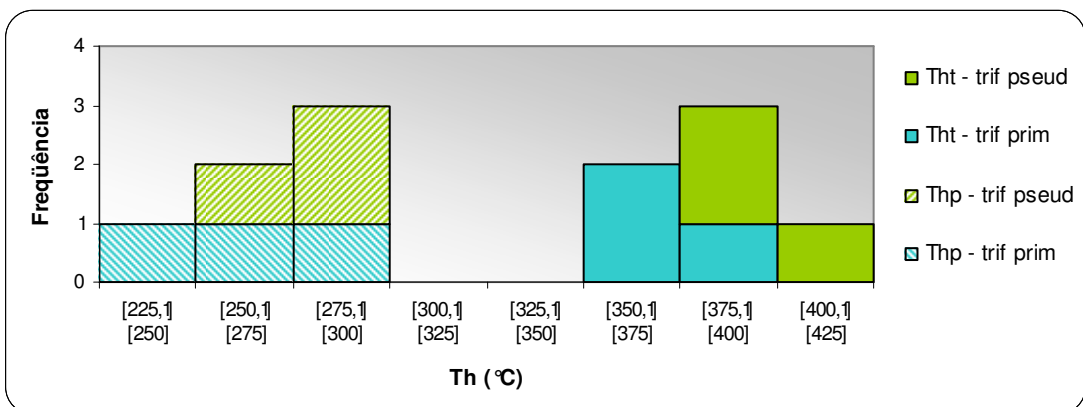


Figura 19: Histograma de freqüência das temperaturas de homogeneização parcial (T_{hp}) e de dissolução da halita (T_{hd}) referente às populações de inclusões trifásicas hospedadas em quartzo. trif = trifásica; prim = primária; pseud = pseudo-seundária.

5.2.4. DENSIDADE (d)

As densidades dos fluidos contidos nas IF foram calculadas com o auxílio do programa Flincor, versão 1.4 (BROWN; LAMB, 1989), em que são utilizadas as temperaturas T_{fg} e T_h para as IF bifásicas, e T_{ht} para as IF trifásicas. Os valores calculados mostram variação entre 0,87 e 1,2 g/cm³ (Fig. 20).

As densidades das IF bifásicas primárias, pseudo-secundárias e secundárias estão distribuídas no intervalo de 0,87-1,05 g/cm³, e cobrem faixa mais marcante no intervalo de 0,86-1,02 g/cm³. As densidades das IF trifásicas mostram distribuição relativamente estreita, variando de 1,18 a 1,20 g/cm³.

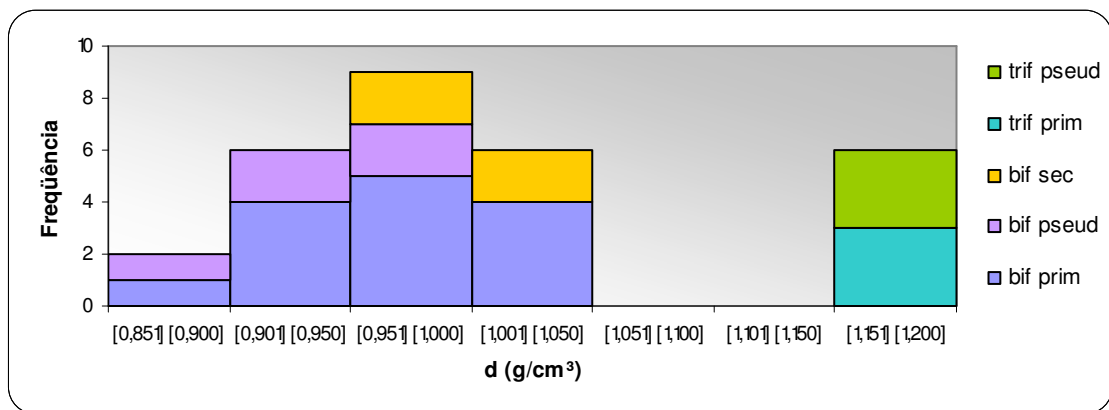


Figura 20: Histograma de frequência das densidades dos fluidos referente às inclusões bifásicas e trifásicas hospedadas em quartzo.

6. DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Idealmente, a composição dos fluidos, a partir dos quais um mineral hidrotermal precipita, deve ser determinada ou estimada com base em IF aprisionadas no próprio mineral. À falta destas IF, uma alternativa é obter aquela composição recorrendo-se a IF contidas em minerais que foram coprecipitados com a fase de interesse.

No presente caso, os cristais de escapolita não apresentaram IF em condições de serem analisadas microtermometricamente, porém a composição do fluido pôde ser avaliada valendo-se do estudo das IF aprisionadas em quartzo que se formou concomitantemente com a escapolita. As temperaturas eutéticas registraram valores predominantemente na faixa de -54 a -50°C, o que permitiu inferir que nesse fluido os principais solutos foram CaCl_2 e NaCl , essenciais à formação da escapolita, que é um aluminossilicato de sódio e cálcio, normalmente rico em cloro. Análises químicas de escapolita de Serra Dourada revelam variação no teor de meionita $[\text{Ca}/(\text{Ca}+\text{Na}+\text{K})]$ de 0,21 a 0,38 e no teor de Cl de 3 a 4% em peso (Souza 2007). Ademais, dados na literatura mostram que a estabilidade da escapolita requer fluidos com alta atividade de NaCl (p. ex. Orville 1975; Ellis 1978; Vanko & Bishop 1982), do que se deduz que a escapolita de Serra Dourada deve ter se formado preferencialmente no estágio em que o fluido possuía elevada salinidade (43 a 48% em peso equiv. de NaCl) e alta temperatura (>350°C).

Os dados de temperatura eutética também mostram que, com a evolução do paleossistema hidrotermal, o fluido tendeu a incorporar outros componentes, notadamente Fe (Fig. 21).

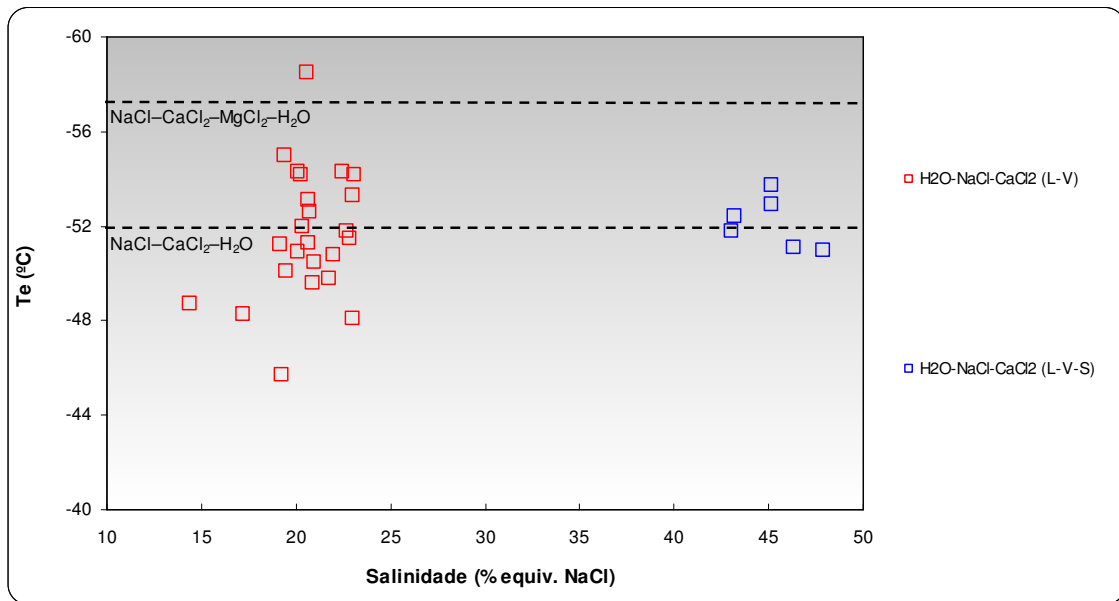


Figura 21: Diagrama Te x salinidade destacando a concentração da maioria dos pontos próximos da linha que marca o ponto eutético do sistema NaCl-CaCl₂-H₂O. Pontos abaixo desta linha sugerem a mudança na composição do fluido com a entrada de outros componentes.

No diagrama temperatura de homogeneização x salinidade (Fig. 22), as IF bifásicas se situam num campo distinto das IF trifásicas e se agrupam, majoritariamente, na faixa de salinidade de 20-25 % em peso equiv. de NaCl e entre 300° e 200°C. Os dados sugerem que poderia ter havido uma diluição do fluido à medida que ele se resfriava. Contudo, como não há uma gradação na diminuição da salinidade e sim uma lacuna entre 42% e 24% em peso equiv. de NaCl, muito provavelmente as IF bifásicas representam um fluido independente, menos quente, ainda que de composição similar. Por outro lado, não se pode descartar a possibilidade de essa lacuna ser devida ao pequeno número de IF analisadas. Somente um maior número de medidas poderá dar maior suporte a uma ou a outra hipótese.

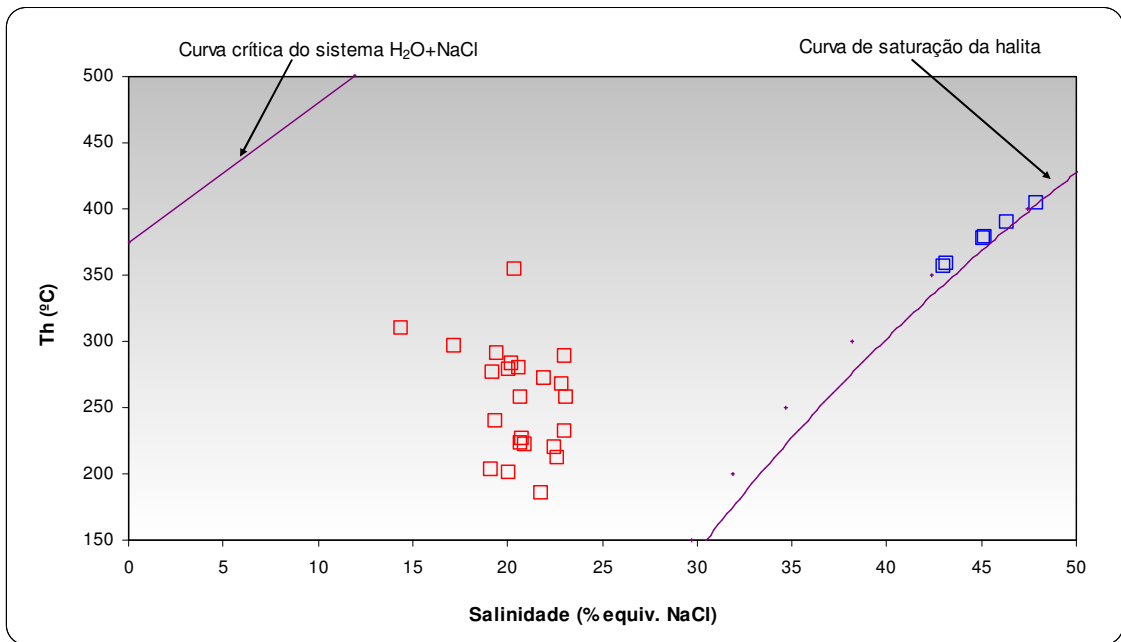


Figura 22: Diagrama Th x salinidade mostrando a distribuição das IF trifásicas e bifásicas (primárias e pseudo-secundárias) e o vazio de medidas entre 42% e 24% em peso equiv. de NaCl (ver discussão no texto). Quadrados vazados vermelhos e azuis representam os mesmos pontos do gráfico da figura anterior.

CONCLUSÃO

A escapolitização é um tipo de metassomatismo sódico comum nas rochas que compõem a área de Serra Dourada, tendo se manifestado tanto na massa rochosa como em vênulas. Os fluidos hidrotermais responsáveis pela escapolitização foram ricos em sílica (denunciada pela formação de quartzo), sódio, cálcio e cloro, todos estes componentes essenciais, além do alumínio, na geração da escapolita. Devido a estabilidade deste aluminossilicato requerer alta atividade de NaCl, muito provavelmente ele precipitou de fluidos de altas salinidade (42-45% em peso equiv. de NaCl) e temperatura ($> 350^{\circ}\text{C}$). As IF bifásicas revelam salinidade (em geral, 20-25 % em peso equiv. de NaCl) e temperatura de homogeneização (em geral, $200-300^{\circ}\text{C}$), mostrando que entre os fluidos contidos nas IF trifásicas e nelas a salinidade não diminuiu gradativamente com a queda de temperatura. Destaca-se, pelo contrário, a existência de uma lacuna entre 42% e 24% em peso equiv. de NaCl, o que fragiliza a hipótese de uma possível diluição e fortalece a idéias de um fluido independente, ainda que de mesma composição.

REFERÊNCIAS

- ALMADA, M.C.O. ; VILLAS, R.N. O depósito Bahia: um possível exemplo de depósito de sulfeto vulcanogênico tipo Besshi arqueano em Carajás. **Rev. Bras. Geoc.**, v. 29, n. 4, p. 579-592. 1999.
- ARAÚJO, O.L. et al. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: CONG. LAT. AMER. GEOL., 7., 1988, Belém. **Anais...** Belém, SBG. 1988. p. 324-338.
- ARAUJO, O. J. B. ; MAIA, R. G. N. **Serra dos Carajás Folha SB.22-Z-A - Estado do Pará**. 136p. (Programa Levantamento Geológicos Básicos do Brasil, Projeto especial mapas de recursos minerais, de solos e de vegetação para a área do Programa Grande Carajás). 1991.
- AVELAR, V.G. et al. O magmatismo arqueano da região de Tucumã, Província Mineral de Carajás, Amazônia Oriental, Brasil: novos dados geocronológicos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 29, p. 453-460. 1999.
- BARROS, C.E.M. et al. Geochemistry of the Estrela Complex, Carajás region, Brazil: an example of an Archean A-type granite. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 10. p. 321-330. 1997.
- BARROS, C.E.M. et al. Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: implicações petrológicas e tectônicas. **Rev. Bras. Geoc.**, v.34, n. 4, p. 531-537. 2004.
- BODNAR, R.J. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. **Geoch. Cosmoch. Acta**, v. 57. p. 683-684. 1993.
- BORISENKO, A.S. Study of the salt composition of solutions in gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method. **Soviet Geol. & Geophys**, v. 18. p. 11-19. 1977.
- BROWN, P.E ; LAMB, W.N. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. **Amer.Mineral**. v. 74. p. 1390-1393. 1989.
- COSTA, J.B.S. et al. A província mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. **Bol. Par. Emílio Goeldi**, v. 7. p. 199-235. 1995.

DALL'AGNOL, R. ; LAFON, J.M. ; MACAMBIRA, M.J.B. Proterozoic anorogenic magmatism in the Central Amazonian Province, Amazonian Craton: geochronological, petrological and geochemical aspects. **Min. Petrol.** v. 50 p. 113-138. 1994.

DALL'AGNOL, R. et al. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. In: International Symposium on Granites and Associated Mineralizations 2, Salvador (BA). 1997. **Excursion Guide...** 1997. p. 135-161.

DAVIS, D.W. ; LOWENSTEIN, T.K. ; SPENCER, R.J. Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems NaCl-H₂O, NaCl-KCl-H₂O, NaCl-MgCl₂-H₂O and NaCl-CaCl₂-H₂O. **Geoch. Cosmoch. Acta** v. 54 p. 591-601. 1990.

DOCEGEO. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anexo aos anais...** Belém: CVRD/SBG, 1988. p. 11-59.

ELLIS, D.M. Stability and phase equilibria of chloride - and carbonate - bearing scapolites at 750°C and 4000bar. **Geoch. Cosmoch. Acta** v. 42 p. 1271-1281. 1978.

FRIETSCH, R. et al. Early Proterozoic Cu (Au) and Fe ore deposits associated with regional Na-Cl metasomatism in northern Fennoscandia. **Ore Geology Reviews.** v. 12. p. 1-34. 1997.

GALARZA, M.A.T. ; MACAMBIRA, M.J.B. Petrologia e geocronologia das rochas encaixantes do depósito de Cu-Au Igarapé Bahia, Província Mineral de Carajás, Pará, Brasil. In: KLEIN, E.L. ; VASQUEZ, M.L. ; ROSA-COSTA, L.T. (Eds.). **Contribuições à geologia da Amazônia**, Manaus, SBG NO. v. 3. p. 153-168. 2002.

HUNT, J. ; BAKER, T. ; THORKEKELSON, D. Regional-scale Proterozoic IOCG-mineralized breccia systems: examples from the Wernecke Mountains, Yukon, Canada. **Mineralium Deposita.** v. 40. p. 492-514. 2005.

MACAMBIRA, M.J.B. et al. New isotope evidences confirming the existence of a Paleoproterozoic terrain in the region at the north of the Carajas Mineral Province. 2003. In: SIMP. SUL-AMER. GEOL. ISOTÓPICA, 4., 2003, Salvador. **Resumos...** Salvador, SBG. CD-ROM.

MACHADO, N. et al. U-Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás area, Amazon shield, **Brazil. Prec. Research.** v. 49. p. 329-354. 1991.

MORA, C.I. ; VALLEY, J.W. Halogen-rich scapolite and biotite: Implications for metamorphic fluid-rock interaction. **American Mineralogist.** v. 74. p. 721-737. 1989.

NOGUEIRA, A.C.R. ; TRUCKENBROD, W. ; PINHEIRO, R.V.L. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescricao e redefinição litostratigráfica. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi,** v. 7. p. 177-277. 1995.

OEN, I.S. ; LUSTENHOUWER, W.J. Cl-rich biotite, Cl-K-hornblende, and Cl-rich scapolite in meta-exalites: Nora, Bergslagen, Sweden. **Economic Geology.** v.87. p. 1638-1648. 1992.

OLIVER, N.H.S. ; WALL, V.J. ; CARTWRIGHT, I. Internal control of fluid compositions in amphibolite-facies scapolitic calc-silicates, Mary Kathleen, Australia. **Contributions to Mineralogy and Petrology.** v. 111. p. 94-112. 1992.

ORVILLE, P.M. Stability of scapolite in the system Ab-An-NaCl-CaCO₃ at 4 kbar and 750°C. **Geoch. Cosmoch. Acta.** v. 39. p. 1091-1105. 1975.

PIDGEON, R.T. ; MACAMBIRA, M.J.B. Datação U-Pb de estruturas primárias e secundárias de zircões de granulitos do Complexo Pium, Província Carajás, Pará. 1998. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 40., 1998, Belo Horizonte (MG). **Anais,** SBG, p. 40.

PIDGEON, R.T. ; MACAMBIRA, M.J.B. ; LAFON, J.M. Datação U-Pb de estruturas primárias e secundárias de zircões de granulitos do Complexo Pium, Província de Carajás, Pará. 1998. In: CONG. BRAS. GEOL., 40., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, SBG. p. 56.

PINHEIRO, R.V.L. **Reactivation history of the Carajás and Cinzento strike-slip systems, Amazon, Brazil.** 1997. 408p. Tese (Doutorado). University of Durham. Durham, Inglaterra. 1997.

PINHEIRO, R.V.L. ; HOLDSWORTH, R.E. Evolução tectonoestratigráfica dos sistemas transcorrentes Carajás e Cinzento, Cinturão Itacaiúnas, na borda leste do Craton Amazônico, Pará. **Rev. Bras. Geol.** v. 30. n. 4. p. 597-606. 2000.

RODRIGUES, E.M.S. ; LAFON, J.M. ; SCHELLER, T. Geocronologia Pb-Pb em rochas totais da Província Mineral de Carajás: primeiros resultados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: SBG, v. 2, p. 183-184. 1992.

ROSA, A.G.N. **Rochas hospedeiras, alteração hidrotermal e caracterização dos fluidos associados ao corpo Sequeirinho do depósito do Sossego**. 2006. 121f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2006.

SAMSON, L. ; ANDERSON, A. ; MARSHALL, D. (Ed.). Fluid inclusions: analysis and interpretation. **Vancouver: Mineralogical Association of Canada**. 374p. (short course, 32). 2003.

SANTOS, J.O.S. et al. New understanding of the Amazon Craton provinces, based on field work and radiogenic isotope data. **Gondwana Research**, v. 3, n. 4, p. 453-488, 2000.

SANTOS, J.O.S. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM-Serviço Geológico do Brasil, 2003. p. 169-226, il.

SERDYUCHENKO, D.P. Some Precambrian scapolite-bearing rocks evolved from evaporites. **Lithos**. v. 8: p. 1-7. 1975.

SHEPHERD, T.J. ; RANKIN, A. H. ; ALDERTON, D.H.M. A practical guide to fluid inclusion studies. London, **Blackie** , 239p. 1985.

SOARES, J.E.B. **Geologia, petrografia e geoquímica das rochas granitóides arqueanas da região de Serra Dourada, Canaã dos Carajás-PA**. 2002. 47p. Exame (Qualificação). PPGG - Universidade Federal do Pará. Belém. 2002.

SOUZA, S.R.B. ; MACAMBIRA, M.J.B. ; SCHELLER, T. Novos dados geocronológicos para os granitos deformados do rio Itacaiúnas (Serra dos Carajás, Pará): implicações estratigráficas. 1996. In: SIMP. GEOL. AMAZ. 5., 1996, Belém. **Resumos Expandidos...** Belém, SBG, p. 380-383.

SOUSA, F.D.S. ; VILLAS, R.N. Granitóides e biotita xistos do depósito Sossego, Carajás: petrografia, composição química e química mineral. 2006. In: Congresso Brasileiro de Geologia 43, 2006, Aracaju. **Boletim de Resumos Simples**, SBG, p. 85.

SOUSA, F.D.S. **Estudo da alteração hidrotermal, com ênfase no metassomatismo sódico, de rochas granitóides e máficas da região de Canaã de Carajás, Província Mineral de Carajás**. 2007. 170p. Dissertação (Mestrado). Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. Belém. 2007.

STERNER, S.M. ; HALL, D.L. ; BODNAR, R.J. Synthetic fluid inclusions. V. Solubility relations in the system NaCl-KCl-H₂O under vapor-saturated conditions. **Geochim. Cosmochim. Acta.** v. 52. p. 989-1006. 1988.

TASSINARI, C.C.G. ; MACAMBIRA, M.J.B. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. **Episodes.** v. 22. p. 174-182. 1999.

TASSINARI, C.C.G. ; MACAMBIRA, M.J.B. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. In: MANTESSO-NETO, V. et al. (Ed.). **Geologia do continente Sul-americano**: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca, 2004. p. 471-485.

TRENDALL, A.F. et al. SHRIMP zircon U-Pb constraints on the age of the Carajás formation, Grão Pará Group, Amazon Craton. **J. of South Amer. Earth Sciences.** v. 11. p. 265-277. 1998.

VAN DEN KERKHOFF, A. M. ; HEIN, U.F. Fluid inclusion petrography. **Lithos.** v. 55. p. 27-47. 2001.

VANKO D.A. ; BISHOP F.C. Occurrence and origin of marialitic scapolite in the Humboldt Lopolith, NW Nevada. **Cont. Mineral. Petrol.** v. 81. p. 277-289. 1982.

VILLAS, R.N. et al. Rochas hospedeiras e alteração hidrotermal do depósito Sossego, Província Mineral de Carajás. 2004. In: CONGRESSOS BRASILEIROS DE GEOLOGIA, 42., 2004, Araxá (MG). **Resumos.** Araxá (MG): SBG, 2004. 1CD-ROM,

VILLAS, R. N. et al. Relações entre deformação, alteração hidrotermal e mineralização no depósito Cu-Au do Sossego, Província Mineral de Carajás. 2005. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METALOGENIA, 1., 2005, Gramado (RS). **Resumos.** Gramado: SBMETAL, 2005. 1 CD-ROM.

VILLAS, R.N. ; SANTOS, M.D. Gold deposits of the Carajás Mineral Province: deposit types and metallogenesis. **Mineral. Deposita**, n. 36, p. 300-331. 2001.