

ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS NAS ROCHAS DA SUÍTE METAMÓRFICA VILA NOVA, NA SERRA DO IPITINGA (NW DO PARÁ)

M.T.L. Faraco¹, K. Fuzikawa², I. McReath³, M.A. Pimenta⁴

1. CPRM, Belém, PA
2. CDTN/CNEN, Belo Horizonte, MG
3. IG/USP, São Paulo, SP
4. Depto. de Física, UFMG, Belo Horizonte, MG

Recebido em: 03/95. Aprovado para publicação em: 03/96

ABSTRACT

The Vila Nova Metamorphic Suite in Serra do Ipitinga (NW Pará) is a supracrustal sequence of basal mafic and ultramafic metavolcanic, cordierite - anthophyllite and chlorite - quartz rocks underlying banded iron formations and clastic metasediments (Fig.1). Part of the basic lavas was hydrothermally altered at low temperature and pressure to form a stockwork of quartz - chlorite rocks, which served as channels for fluid flow responsible for the deposition of hydrothermal exhalative volcanogenic sulphide deposits. The sulphide association is formed by pyrrhotite, pyrite, chalcopyrite and sphalerite with associated Au and Ag. Traces of galena, molybdenite and a silver telluride (hessite?) were also identified by scanning electron microscopy. Significant contents of Pt were detected in BIFs silicate-type, cordierite-anthophyllite rocks and hydrothermally-altered amphibolites. Sulphide minerals are now recrystallized and show evidence of the both ductile and brittle deformations. There are transformations associated with magmas and related fluids, connected with the intrusion of granitic bodies into the sequence. Fluid inclusions studies indicated eight types of inclusions which pointed to heterogenous fluid consisting of a CH₄ - rich phase and an aqueous phase with salinities ranging from 30 wt % CaCl₂ equivalent to near pure water. These fluids are consistent with Hutchinson's (1982) model, where the fluids from ascending convective system are aqueous, highly saline and rich in CH₄ and C₂H₆. The final Th of aqueous inclusions in quartz (225°C) from mineralized samples is compatible with 250-400°C range postulated by Mottl (1983) for the temperature of origin of these rocks. The less saline aqueous fluids found in sheared quartz were trapped at lower temperatures and represent late stage fluids.

RESUMO

A Suíte Metamórfica Vila Nova, na serra do Ipitinga, é uma seqüência de rochas supracrustais, constituída por metavulcânicas máfico-ultramáficas, rochas a cordierita-antofilita e a quartzo-clorita na base, sobrepostas por BIFs e metassedimentos clásticos. Mineralização sulfetada (pirrotita, pirita, calcopirita e esfalerita) está associada às rochas ricas em quartzo-clorita (basaltos hidrotermalizados). Metamorfismo regional posterior transformou as vulcânicas máficas em anfibolitos, actinolita-xistos, etc, e parte das rochas a quartzo-clorita em rochas a cordierita-antofilita. Subseqüente deformação dúctil e rúptil originou a atual configuração estrutural da unidade em faixas alongadas de direção geral NW-SE, a recristalização dos sulfetos, a milonitização generalizada das rochas e a geração de anfibolitos polimetamórficos. São igualmente observadas transformações devidas às ações de fluidos relacionados às intrusões graníticas. O estudo das inclusões fluidas caracterizou oito tipos de inclusões, indicando a existência de fluidos heterogêneos, consistindo de uma fase rica em CH₄ e outra aquosa, com salinidades variando de 30% do equivalente em peso de NaCl até próximo da água pura. As temperaturas de homogeneização total das inclusões aquosas de amostras mineralizadas são de, aproximadamente, 225°C, compatíveis com o intervalo de temperatura de origem dessas rochas (250-400°C). As inclusões aquosas menos salinas, encontradas em veios de quartzo cisalhados, foram aprisionadas em baixas temperaturas e representam fluidos tardios.

INTRODUÇÃO

A Suíte Metamórfica Vila Nova, na Serra do Ipitinga, consiste de um pacote metavulcano-sedimentar, com vulcânicas máfico-ultramáficas na base e sedimentos químicos (BIFs) e clásticos no topo (Faraco, 1990). Parte das lavas básicas foi hidrotermalmente transformada, sob condições de baixa temperatura e pressão, em zonas submarinas de stockworks (Koistinen, 1981 e Mottl, 1983), condicionando a geração de rochas a quartzo-clorita, metamafitos e de mineralização sulfetada, constituída de pirrotita, pirita,

calcopirita, esfalerita, com Au e Ag associados, além de traços de galena, molibdenita e telureto de prata (hessita ?), estes detectados através de microscopia eletrônica de varredura (Fig. 2 - evento 1). Metamorfismo regional posterior, de fácies anfibolito, transformou as vulcânicas máficas em anfibolitos e parte das rochas a quartzo-clorita em rochas a cordierita-antofilita (Vallance, 1967; Chinner & Fox, 1974; Treloar et al., 1981; Treloar & Putnis, 1982). As BIFs tipo óxido (Trendall, 1983), constituídas essencialmente de quartzo, hematita e, subordinada-

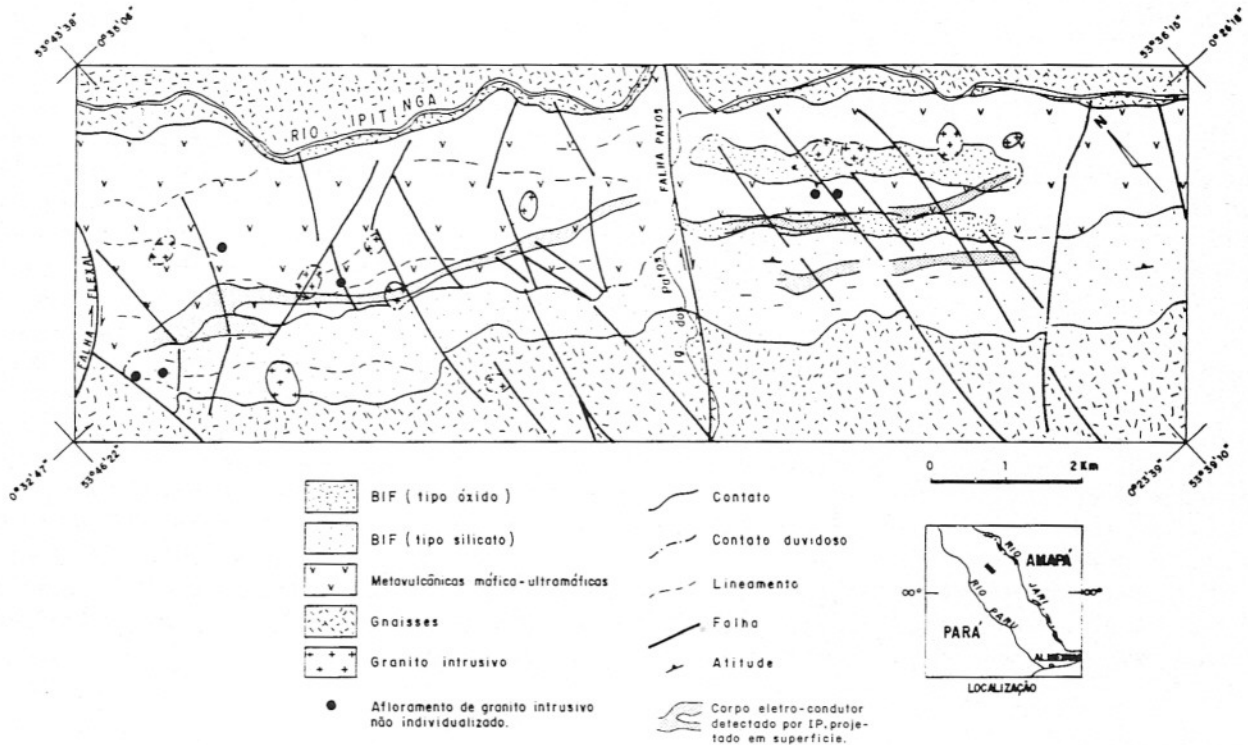


Figura 1 - Mapa geológico da área e mapa de localização.

mente, magnetita, foram recristalizadas a partir de BIFs com a mesma associação, cuja mineralogia se mantém, uma vez que o oxigênio se comporta como um elemento inerte (Klein Jr., 1973). Por outro lado, a associação granada-grunerita das BIFs tipo silicato resulta de reações metamórficas entre carbonato e silicato ($\text{ankerita} + \text{clorita} + \text{quartzo} = \text{grunerita} + \text{granada} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) e/ou silicato e silicato ($\text{clorita} + \text{hornblenda} + \text{quartzo} = \text{grunerita} + \text{granada} + \text{H}_2\text{O}$), indicando a presença de fluidos ricos em CO_2 e H_2O . Para Hasse (1982), essas reações metamórficas indicam a presença de fluidos ricos em CO_2 e H_2O e, segundo Klein (1983), processar-se-iam a partir de 400°C até, aproximadamente, 650°C . Este seria o segundo evento hidrotermal registrado na seqüência (Fig. 2 - evento 2).

Todo pacote foi deformado de maneira rúptil e dúctil, com geração de zonas e microzonas de cisalhamento, dobras e microdobras, microfraturas, além de brechas e microbrechas, quando da geração do Cinturão Jari (Hasui et al., 1984). Essa deformação condicionou um aporte considerável de voláteis (principalmente CO_2 , H_2O , F e B), com recristalização de carbonato, sericita, muscovita, clorita e turmalina tardios, havendo rochas intensamente deformadas, constituídas,

essencialmente, de quartzo e turmalina, rochas carbonatadas, sericitizadas, além de milonitos, cataclasitos e brechas. Tal ação de voláteis propiciou um processo retrogressivo das reações metamórficas, com desenvolvimento de associações e/ou minerais de fácies xisto verde, superimpostos às associações de fácies anfibolito. Epidotito e metavulcânicas metasomatizadas foram gerados durante esse evento. Nessa ocasião, houve a formação de meso e micro veios de quartzo, cujas inclusões registram a natureza do fluido a eles relacionados (Fig. 2 - evento 3).

Alterações hidrotermais e mudanças mineralógico-texturais resultantes da ação de fluidos e magmas relacionados às intrusões graníticas são observadas, tanto nos anfibolitos, como nos metassedimentos. Nos primeiros, pelo desenvolvimento de arranjos texturais granoblásticos poligonais e/ou poiquiloblásticos, superimpostos às texturas nematoblásticas pela cristalização de albita, epidoto, microclina, turmalina e scheelita tardios, além da elevação significativa de teores de molibdênio. Nos segundos, pela presença de texturas granoblásticas poligonais e/ou poiquiloblásticas e de cristais de turmalina pós-tectônicos. Todas as associações mineralógicas, originadas por metamorfismo termal, são da

EVENTO MINERAL	I	II	III	IV
QUARTZO				
CLORITA				
BIOTITA		?	- - ? - -	
ALBITA				
ACTINOLITA				
EPIDOTO		- - - -		
CORDIERITA				
CUMMINGTONITA				
ANTOFILITA			- - - -	
HORNBLENDA			- - - -	
PLAGIOCLÁSIO				
CLINOPIROXÊNIO				
ALMANDINA			- - - -	
TURMALINA				
MUSCOVITA				
CARBONATO				
MICROCLINA				
SCHEELITA				
SULFETOS				

Figura 2 - Seqüência de cristalização dos minerais pertencentes aos diversos litotipos, relacionados aos eventos hidrotermais atuantes na Suíte Vila Nova.

fácies hornblenda-hornfels (Fig. 2 - evento 4).

A detecção de Pt nas BIFs, principalmente nas do tipo silicato (cujos teores atingem 0,54 ppm), metavulcânicas máficas, metassedimentos e rochas à cordierita-antofilita, todas com notáveis efeitos de hidrotermalismo e de metamorfismo termal, e sua não detecção nas rochas mineralizadas em sulfetos e nos próprios sulfetos permite sugerir a possibilidade de o elemento Pt ter sido transportado por soluções tardias, em processo distinto do gerador da mineralização sulfetada, inserida nas metavulcânicas basais.

Alterações supergênicas desenvolveram-se sobre anfíbolitos e BIFs tipo silicato. Nos primeiros, com a formação de plamas hematíticos, hematítico-goethíticos ou goethíticos envolvendo litorelictos. Nas segundas, com geração de goethita aluminosa, pseudomórfica a partir dos fenoblastos de granada almandínica. A constatação, através de análises petrográficas e difratométricas, de

associações mineralógicas à base de hematita e goethita, a quase ausência de gibbsita e a presença freqüente de estruturas reliquias, indicam que essas rochas podem ser lateritos imaturos ou mesmo integrantes de corpos de gossan (Faraco et al., 1992). Esta última possibilidade é condizente com a existência, em subsuperfície, de mineralização sulfetada.

A Figura 2 sintetiza a cristalização dos minerais, pertencentes aos diversos litotipos e relacionados aos eventos hidrotermais atuantes na Suíte Vila Nova.

O ESTUDO DAS INCLUSÕES FLUIDAS

Metodologia

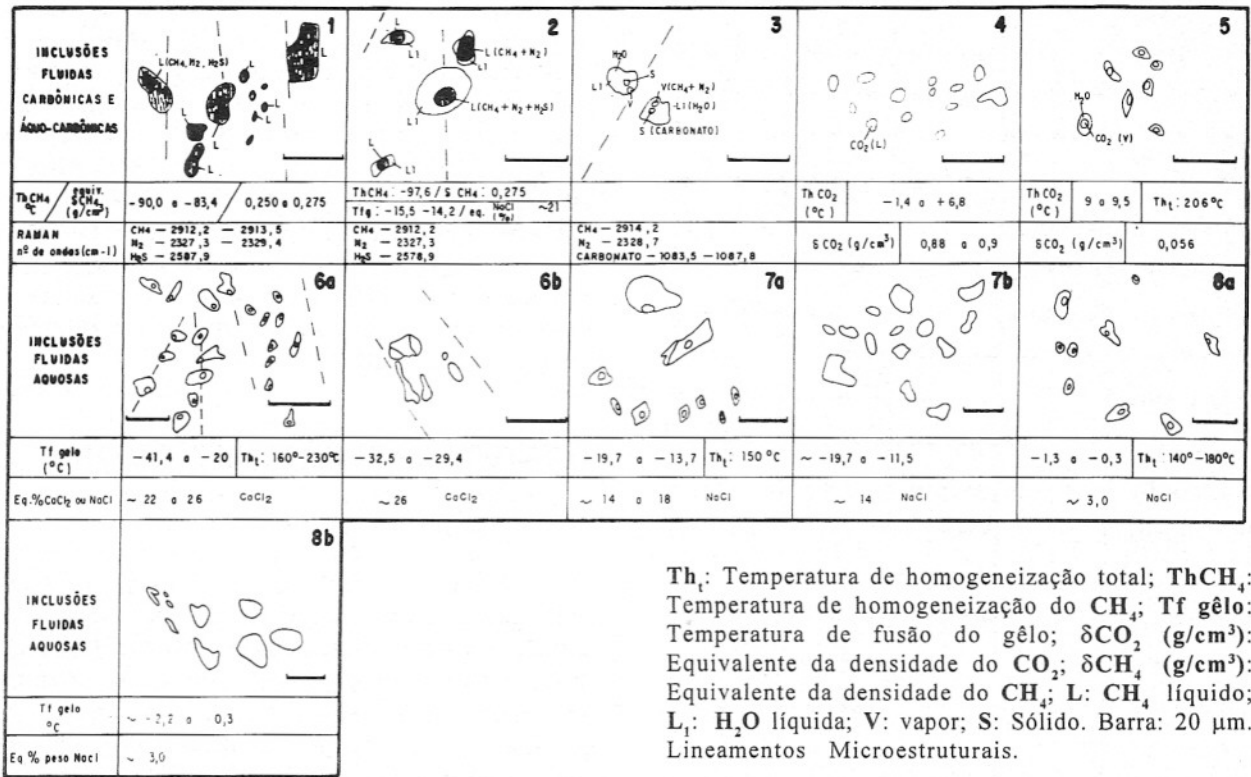
Ainda que a Suíte Vila Nova, na área estudada, provavelmente, tenha sido submetida a quatro eventos hidrotermais distintos (Faraco, 1990 e Faraco et al, 1991), o presente estudo foi realizado em inclusões fluidas nos quartzos das rochas ricas em quartzo-clorita (hospedeiras das mineralizações sulfetadas, com Au e Ag associados), representantes do primeiro evento hidrotermal (evento 1) de caráter vulcanogênico sin-deposicional (Hutchinson, 1982), e dos veios de quartzo cisalhados, quase sempre estéreis, que cortam as metavulcânicas máficas basais, originados durante o evento hidrotermal cisalhante (evento 3), quando da geração do Cinturão Jari (Hasui et al., 1984).

A referida pesquisa foi centrada na microtermometria, precedida de uma microscopia cuidadosa e detalhada, seguindo a seqüência amplamente divulgada na literatura (Hollister & Crawford, 1981; Crawford, 1981; Roedder, 1967, 1984; Fuzikawa, 1985; etc.). As análises foram feitas numa platina Chaixmeca do Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear, em Belo Horizonte. A composição das fases fluidas foram analisadas por espectroscopia Raman (Dubessy et al., 1984), num equipamento Dilor XY, do Departamento de Física da UFMG.

Discussão dos Dados Obtidos

Rochas ricas em quartzo-clorita

Nessas rochas, foram individualizadas seis tipos de inclusões, sendo as mais características do tipo 1 (Fig. 3), que são inclusões monofásicas escuras, arredondadas, com tamanhos variando entre 10 e 30 µm. Via de regra, elas ocorrem alinhadas segundo



Th: Temperatura de homogeneização total; ThCH₄: Temperatura de homogeneização do CH₄; Tf gelo: Temperatura de fusão do gelo; δCO₂ (g/cm³): Equivalente da densidade do CO₂; δCH₄ (g/cm³): Equivalente da densidade do CH₄; L: CH₄ líquido; L₁: H₂O líquida; V: vapor; S: Sólido. Barra: 20 μm. Lineamentos Microestruturais.

Figura 3 - Tipos de inclusões fluidas nas rochas ricas em quartzo - clorita (hospedeiras das mineralizações sulfetadas) e em veios de quartzo estéreis e com sulfetos que cortam as metavulcânicas da Suíte Vila Nova na serra do Ipitinga.

planos preferenciais. Durante o resfriamento, essas inclusões nucleiam uma fase gasosa entre -95 a -90°C, e a homogeneização ocorre entre -93 e -83°C, sendo o intervalo -85 a -86°C (Fig. 4) a freqüência máxima das Th. Esse comportamento é característico de fluidos ricos em metano e as ThCH₄ indicam densidades de 0,250 a 0,275 g/cm³ (Zagoruchenko & Zhuravlev, 1970). As análises no espectrógrafo Raman confirmaram essa composição, mostrando, essencialmente, CH₄ (Fig. 5), com traços de N₂ e H₂S (Fig. 6).

Há igualmente inclusões de CH₄ menores, originadas a partir das monofásicas de CH₄ maiores, quando do cisalhamento da rocha, distinguindo-se destas pelos tamanhos menores (4 a 12μm). Também são escuras, arredondadas, monofásicas, segundo planos preferenciais. As análises espectrográficas por efeito Raman mostram que elas são compostas por CH₄, com quantidades subordinadas de N₂ dissolvidas. Elas nucleiam uma fase gasosa e homogeneizam-se nos mesmos intervalos de temperatura que as inclusões maiores, indicando que o fluido de CH₄ permaneceu constante por um longo período de tempo: desde as gerações das inclusões maiores

(primárias?), até as menores (secundárias ou pseudosecundárias).

São também registradas nessas rochas inclusões aquo-carbônicas, compostas por uma fase aquosa e outras de CH₄, N₂ e H₂S subordinadas (às vezes o H₂S não é detectado).

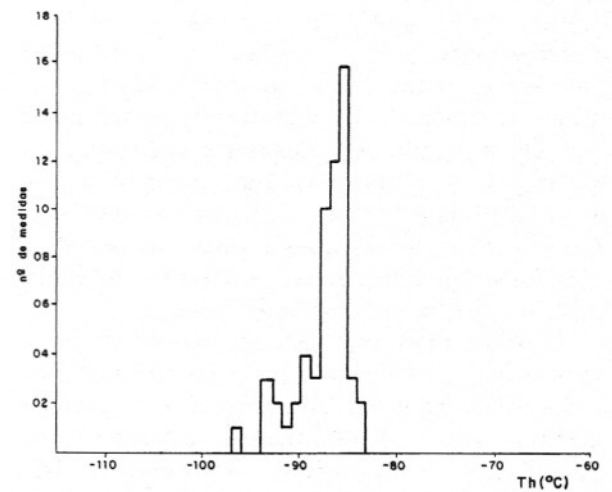


Figura 4 - Histograma de variação da Th das inclusões tipo 1 (CH₄).

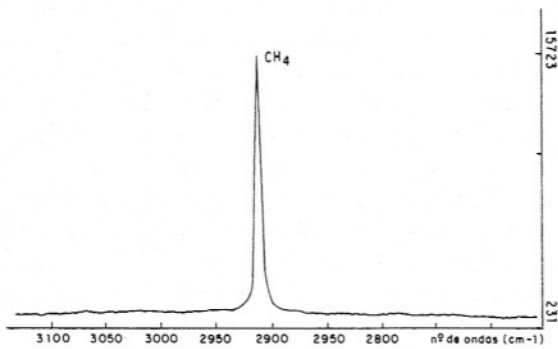


Figura 5 - Espectrograma RAMAN das inclusões tipo 1, com detecção de metano.

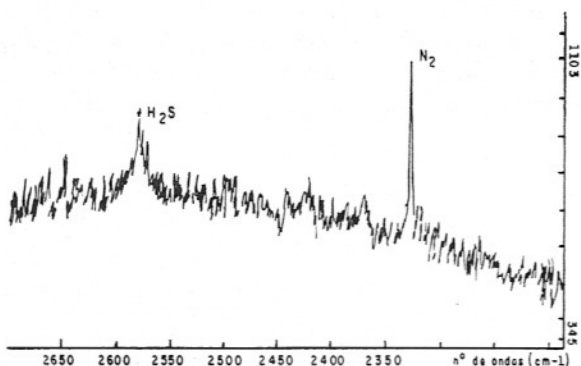


Figura 6 - Espectrograma RAMAN das inclusões tipo 1, onde H₂S e N₂ são detectados em quantidades subordinadas.

Exibem-se sob forma de cristais negativos subeudrais (11 a 15 μm), ou, mais raramente, elipsoidais, de tamanhos em torno de 40 μm . Via de regra, as inclusões subeudrais possuem a fase aquosa subordinada (L_1), com predominância da fase líquida escura de metano (L), de tal modo que as razões V_L/V_T variam de 0,85 a 0,55, havendo algumas em que a fase líquida aquosa é predominante, com razões V_L/V_T em torno de 0,4. Nas inclusões elipsoidais a fase aquosa clara (L_1) é predominante sobre a carbônica escura, com razão V_{L_1}/V_T em torno de 0,8 (Fig. 3 - tipo 2). Durante o resfriamento, a fase líquida carbônica nucleia uma fase gasosa a $-104,3^\circ\text{C}$, cuja homogeneização na fase líquida ocorre em torno de $-97,6^\circ\text{C}$, indicando uma densidade de $0,275 \text{ g/cm}^3$. A espectroscopia Raman confirmou ser um fluido de CH_4 , com traços de N_2 e às vezes H_2S . As T_f gelo medidas na fase aquosa das inclusões subeudrais situam-se em torno de -15°C , correspondendo a uma salinidade equivalente a, aproximadamente, 21% em peso de NaCl . Não foi notada a

formação de clatrato. A homogeneização total dessas inclusões ocorre a temperaturas entre 200 e 260°C .

Nessas rochas, também existem inclusões trifásicas (Fig. 3 - tipo 3), de, aproximadamente, $11 \mu\text{m}$, sob forma de cristais negativos (formatos poliédricos), constituídas por uma fase líquida, eminentemente aquosa (Fig. 7), outra gasosa de CH_4 com traços de N_2 e uma terceira sólida de carbonato (Fig. 8). As razões $V_V + V_L / V_T$ são de, aproximadamente, 0,93. A 136°C , há a dissolução do carbonato e, a 157°C , a homogeneização total da inclusão.

Há, ainda, inclusões constituídas por CO_2 e por H_2O e CO_2 (tipos 4 e 5, respectivamente, na Fig. 3). Ambas são raras. As primeiras mostram-se arredondadas, monofásicas, sem orientação preferencial, claras e escuras, de 5 a 7 μm de tamanho, algumas atingindo 12 ou, até mesmo, 17 μm . As $T_f \text{ CO}_2$ variam de $-1,4$ até $6,8^\circ\text{C}$ (Fig. 9). As segundas são bifásicas, do tipo L+G, com relações V_V/V_T oscilando entre 0,2 e 0,4, angulosas, ocorrendo sob forma de cristais

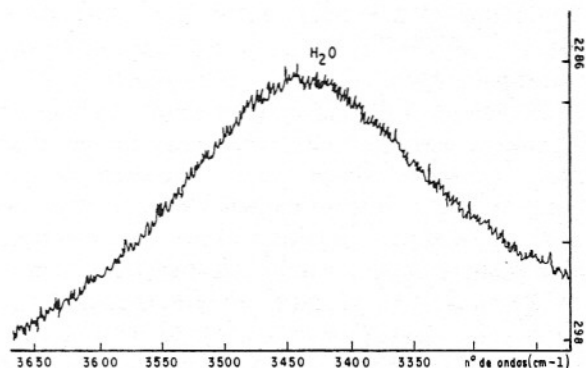


Figura 7 - Espectrograma RAMAN da fase líquida aquosa das inclusões.

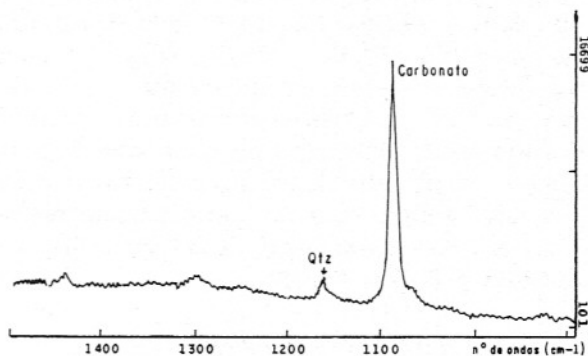


Figura 8 - Espectrograma RAMAN das inclusões tipo 3, com detecção de carbonato na fase líquida.

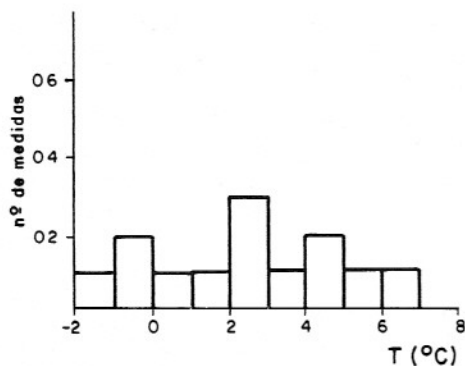


Figura 9 - Histograma de variação das Th CO₂ (líquido), nas inclusões tipo 4.

negativos de 6 a 13 µm. As Th CO₂ situam-se em torno de 9°C. Durante o aquecimento, elas sofrem crepitação após 206°C.

Inclusões bifásicas aquosas do tipo L+V (Fig. 3 - tipo 6a) são frequentes nessas rochas e, também, nos veios de quartzo cisalhados. Via de regra, estão alinhadas segundo fraturas cicatrizadas. As associadas às rochas ricas em quartzo-clorita são um pouco maiores (11 a 17 µm) que as relacionadas aos veios de quartzo cisalhados (5 a 9 µm). As Tf gelo variam de -41,4 a -20°C (Fig. 10), correspondendo a uma salinidade aproximada ao equivalente a 22 - 26 % em peso de CaCl₂ (Crawford, 1981). As Th totais das inclusões maiores, encontradas nas rochas ricas em quartzo-clorita, mineralizadas, compreendem o intervalo de 160 a 230°C, enquanto que as menores homogeneizam-se a temperaturas que variam de 100 a 150°C, estando relacionadas a veios de quartzo cisalhados (Fig. 11). Essas inclusões são contemporâneas ao cisalhamento regional e representam o registro desse evento nas rochas hospedeiras da mineralização.

As inclusões monofásicas aquosas do tipo 6b possuem formas irregulares, de 11 a 25 µm, geralmente estiradas, alinhadas segundo planos de cisalhamentos. As Tf gelo registradas variam entre -32,5 e -29,4°C (Fig. 3), com salinidade em torno ao equivalente a 26% em peso de CaCl₂. A coexistência, nessas rochas, das inclusões bifásicas tipo 6a e monofásicas tipo 6b, com salinidades equivalentes, indica que estas últimas ocorrem sob condições metaestáveis, de acordo com Roedder (1984) e Roedder e Belkin (1988).

Veios de Quartzo Cisalhados

Esses veios representam o evento hidrotermal relacionado ao cisalhamento dúctil

(evento 3), posterior ao hidrotermalismo submarino vulcanogênico sin-deposicional, que transformou as lavas basálticas em rochas ricas em quartzo-clorita (Mottl, 1983). Eles ocorrem encaixados nos metabasaltos basais da Suíte Vila Nova, em escalas macro, mezo e microscópicas, via de regra, paralelos à foliação regional (NW - SE). Os megaveios são constituídos, essencialmente, de quartzo, podendo conter alguns cristais de epidoto, dispersos ou orientados, opacos e turmalina. Os mesoveios estão encaixados em anfibolitos ou actinolita - xistos retrometamorfizados (hidrotermalizados), constituídos por epidoto, quartzo e alguns relictos de anfibólio e opacos. Há veios que exibem grãos de quartzo deformados, com extinção ondulante, interpenetração e fragmentação de bordas, não sendo raro guardarem restos de rochas hospedeiras formando faixas irregulares,

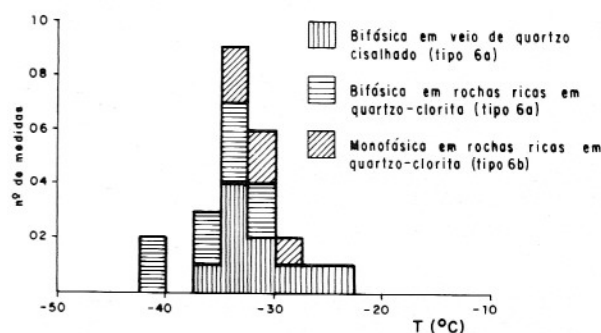


Figura 10 - Histograma de variação da Tf gelo nas inclusões bifásicas e monofásicas aquosas (6a e 6b) em quartzo das rochas hospedeiras das mineralizações sulfetadas e de veios de quartzo cisalhados.

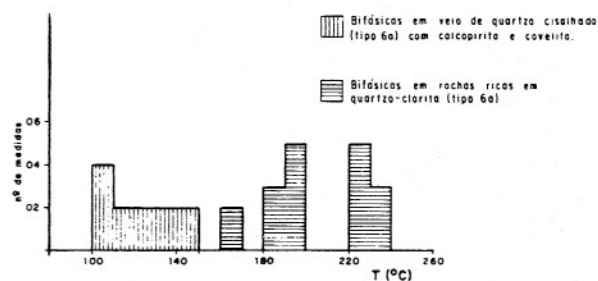


Figura 11 - Histograma de variação das Th(1) de inclusões aquosas tipo 6a em rochas a quartzo-clorita (hospedeiras das mineralizações) e em veios de quartzo cisalhados.

geralmente paralelas à foliação.

Três tipos distintos de inclusões foram registradas nesses veios (6a, 7a e b, 8a e b - Fig. 3). As inclusões do tipo 6a são as únicas que foram encontradas, tanto nos veios de quartzo estéreis, como nas hospedeiras da mineralização, representando, por conseguinte, os fluidos relacionados ao cisalhamento que atuaram igualmente nas rochas ricas em quartzo-clorita.

As do tipo 7a são bem menos freqüentes que as do tipo 6a, mas igualmente como aquelas, são bifásicas, aquosas, do tipo L + V, sob forma de cristais poligonais, angulosos. Os tamanhos variam de 25 a 29 μm , havendo menores com tamanhos entre 7 e 9 μm . As razões V_v/V_t são da ordem de 0,15. Elas distribuem-se segundo um plano paralelo ao que contém as inclusões do tipo 6a. No entanto, possuem Tf gelo superiores (-19,7 a -13,7°C - Fig. 12) e salinidade equivalente a 14 - 18% em peso de NaCl.

As inclusões do tipo 8a (Fig. 3) espalham-se segundo planos cisalhantes; são bifásicas, do tipo L + V, angulosas a subarredondadas. As Tf gelo variam entre -1,3 a -0,3°C (Fig. 13) e possuem salinidade equivalente de 3% em peso de NaCl. As $T_{h\text{total}}$ compreendem o intervalo de 159 a 206°C (Fig. 14). Este tipo de inclusão também ocorre em um veio de quartzo cisalhado mineralizado a pirita, calcopirita e covelita, cujas temperaturas de homogeneização variam de 140 a 180°C (Fig. 14).

As demais inclusões encontradas nesses veios são aquosas, monofásicas, dos tipos 7b e 8b (Fig. 3), irregulares, de 7 a 15 μm . As do tipo 8b ocorrem nos mesoveios com mineralização de pirita, calcopirita e covelita, possuindo Tf gelo entre -2,2 a -0,3°C (Fig. 13) e salinidade equivalente a 3% em peso de NaCl. Tais valores são bem contrastantes com os das

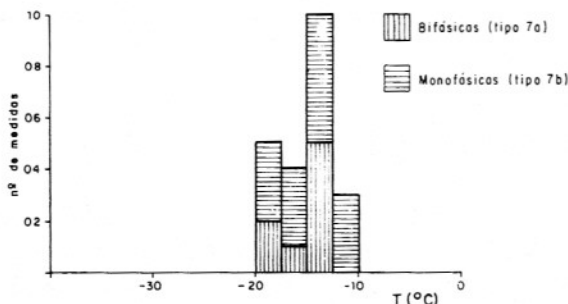


Figura 12 - Histograma de variação da Tf do gelo nas inclusões aquosas do tipo 7a e 7b.

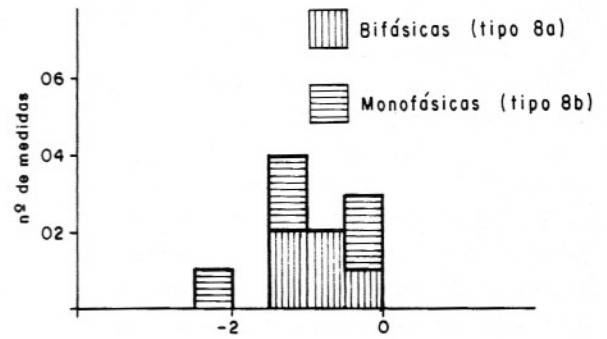


Figura 13 - Histograma de variação da Tf do gelo nas inclusões aquosas do tipo 8a e 8b.

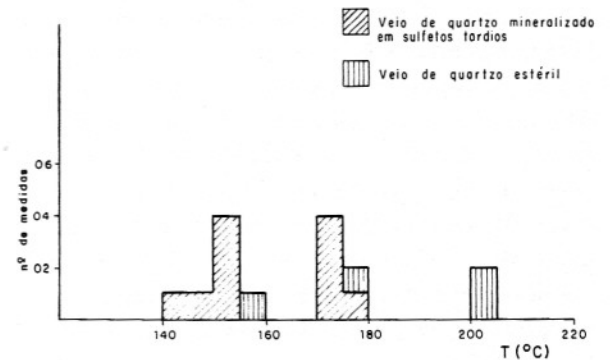


Figura 14 - Histograma de variação da Tht de inclusões aquosas tipo 8a em veio de quartzo mineralizado e estéril.

inclusões do tipo 7b (Tf gelo de -19,7 a -11,5°C e salinidade equivalente a 14% em peso de NaCl). Esse fato é relevante na medida em que é observada uma aparente relação entre a geração de sulfetos nesses veios e os fluidos de salinidades e temperaturas de homogeneização mais baixas. Vale igualmente ressaltar que a covelita foi detectada apenas nos veios de quartzo que cortam as metavulcânicas, não ocorrendo na associação sulfetada das rochas hospedeiras da mineralização.

CONCLUSÕES

1 - Os estudos das inclusões fluidas nas rochas da Suite Metamórfica Vila Nova levaram à caracterização de dois sistemas distintos de fluidos, relacionados, respectivamente, a dois eventos hidrotermais peculiares.

2 - As rochas ricas em quartzo e clorita (basaltos hidrotermalizados), hospedeiras das mineralizações sulfetadas, contêm seis tipos de inclusões dos oito observados, sendo as inclusões tipo 1, 2, 3, 4, 5 e 6b exclusivas dessas

rochas. Este fato permite considerar tais rochas como resultantes da primeira ação de fluido, relacionada ao primeiro evento hidrotermal atuante na Suíte Vila Nova.

3 - As inclusões do tipo 1 são constituídas, essencialmente, de CH_4 e quantidades subordinadas de N_2 e H_2S . O caráter primário dessas inclusões e sua composição são condizentes com o modelo mostrado por Hutchinson (1982), segundo o qual, em um ambiente submarino exalativo, a água do mar ou conata salina circula primeiramente de maneira descendente, de tal modo que, em um nível mais raso, haveria redução de sulfato através de um silicato ferroso para produzir pirita e magnetita, passando para um estágio posterior, durante o qual os metais das estruturas dos silicatos seriam lixiviados e transportados como complexos de cloretos. Em um nível mais profundo, a água seria reduzida, reagindo com os silicatos ferrosos para produzir magnetita + H_2 e, na última etapa do processo convectivo descendente, o CO_2 reagiria com os silicatos ferrosos, resultando em magnetita e carbonato, com geração de fluido crescentemente salino, rico em H_2 e carbono. O início da circulação ascendente dar-se-ia pelas combinações entre C e H_2 , produzindo fluidos reduzidos, altamente salinos e ricos em CH_4 e C_2H_6 , para, finalmente, acontecer, em um nível mais raso, o processo exalativo no fundo do mar, iniciando-se um sistema de abertura abaixo da interface água do mar - soalho oceânico, onde seriam precipitados os cordões de sulfetos. Assim, como as rochas ricas em quartzo e clorita resultam das transformações mineralógicas ocorrentes quando a água do mar reage com basaltos ao longo das dorsais meso-oceânicas (Mottl, 1983), em uma razão água do mar/rocha acima de 50 e a intervalos de temperatura entre 250 - 450°C, é possível que o quartzo, criado durante esse processo, aprisione parte de fluidos ricos em CH_4 gerados no estágio precedente à deposição dos sulfetos.

4 - A quase ausência do CO_2 nas fases carbônicas pode ser explicada pela precipitação da calcita nas inclusões tipo 3. Quando não havia Ca^{++} disponível ou quando ele era insuficiente em relação ao CO_2 , aparecem as inclusões com CO_2 (tipos 4 e 5 - Fig. 3). Além do mais, a presença das inclusões de CO_2 do tipo 4 (monofásicas) e do tipo 5 (bifásicas) demonstra que aquelas são anteriores a estas,

mais densas e geradas em um ambiente onde havia mais CO_2 puro. Posteriormente, haveria uma mistura de CO_2 e H_2 , com geração das do tipo 5.

5 - A presença de inclusões do tipo 6a nas rochas hospedeiras da mineralização e nos veios de quartzo cisalhados comprova que aquelas foram atingidas pelos fluidos originados quando da deformação dúctil regional, geradora do cinturão de cisalhamento Jari.

6- Nas rochas portadoras da mineralização sulfetada e nos veios de quartzo cisalhados, há coexistência de inclusões de salinidade equivalentes e de diferentes densidades, respectivamente os tipos 6a e 6b e 7a e 7b. Isto indica que as inclusões monofásicas (6b e 7b) ocorrem sob condições metaestáveis nos sistemas de fluidos que atuaram nesses dois litotipos.

7 - As rochas a quartzo-clorita foram afetadas por um sistema de fluidos, aquo-carbônico heterogêneo, constituído, principalmente, por CH_4 e H_2O e quantidades subordinadas de N_2 e H_2S , enquanto que o sistema de fluidos relacionado ao cisalhamento é aquoso salino, com salinidades diferentes e temperaturas decrescentes.

8 - As inclusões aquosas do tipo 8b são encontradas em veio de quartzo cisalhado com pirita, calcopirita e covelita, cujas salinidades (equivalentes a 0 a 4% em peso de NaCl) e temperaturas de fusão do gelo (~ - 2,2 a -0,3°C) são as mais baixas registradas em todas as inclusões estudadas. Esse fato sugere que a formação de sulfetos nesses veios (quase sempre estéreis) está limitada às condições de baixas salinidades e temperaturas, podendo ser utilizado como um parâmetro determinante da deposição dos sulfetos, principalmente, de covelita (desconhecida na associação sulfetada das rochas mineralizadas), bem como na sua prospecção.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CPRM e ao CDTN, pelo apoio à realização deste trabalho, que constitui parte da Tese de Doutorado, ora em execução pela primeira autora. Kazuo Fuzikawa à bolsa do CNPq (Processo 350860/94-7).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHINNER, G.A. & FOX, J.S. (1974) The origin of cordierite-anthophyllite rocks in the Land's End aureole. *Geological Magazine*, **3**:397-408.
- CRAWFORD, M.L. (1981) Phase equilibria in aqueous fluid inclusions. In: Holister, H. & Crawford, M.L. (eds.) *Fluid Inclusions: Applications to petrology*. Calgary: p. 75 - 97.
- DUBESSY, J.; BENY, C.; GUILHAUMOU, N.; DHAMELINCOURT, P.; POTY, B. (1984) Applications of Mole Raman Microprobe to the study of fluid inclusions in minerals. *Jour. de Physique, Colloque c2, c2811 - c2814*.
- FARACO, M.T.L. (1990) Evolução petrológico-geoquímica das rochas da suíte metamórfica Vila Nova na Serra do Ipitinga (NW do Pará). Inédito. Tese de mestrado. UFPA., 346 p.
- FARACO, M.T.L.; McREATH, I.; COSTA, M.L. da (1991) Hidrotermalismo e mineralização sulfetada da Suíte Metamórfica Vila Nova na Serra do Ipitinga (NW do Pará). *Anais do III Simpósio de Geologia da Amazônia*. Belém, SBG, p. 291-306.
- FARACO, M.T.L.; McREATH, I.; COSTA, M.L. da (1992) Índícios de gossans na serra do Ipitinga (NW do Pará): Notícias preliminares. *Anais do 37º Congresso Brasileiro de Geologia*, São Paulo, **1**: 592-593.
- FUZIKAWA, K., (1985) Induções Fluidas: Métodos Usuais de Estudo e Aplicações. *Contrib. à Geol. e à Petrol. Núcleo de Minas Gerais*, p. 29-44.
- HASSE, C.S. (1982) Phase equilibria in metamorphosed iron-formations: quantitative - X(CO₂) petrogenetic grids. *Am. J. Sci.*, **282**: 1623-1655.
- HASUI, Y; HARALYI, N.I.E.; SCHOBENHAUS, C. (1984) Elementos geofísicos e geológicos na região Amazônica: subsídio para o modelo geotectônico. In: SIMP. Amazônico, *Anais... Manaus, MME/DNPM*, p. 129-148.
- HOLLISTER, L.S. & CRAWFORD, M.F. (1981) *Short Course Handbook. Fluid Inclusions: Applications to Petrology*. Min. Assoc. Canadá. Calgary, **6**: 305p.
- HUTCHINSON, R.W. (1982) Syn-deposition hydrothermal process and precambrian sulphide deposits. In: Hutchinson, R.W.; Franklin, J.M.; Spence, C.D. (eds.). *Precambrian sulphide deposits*. Ottawa, Geological Association of Canada. Special Paper, 25p.
- KLEIN, C. (1973) Changes in mineral assemblages with metamorphism of some Precambrian banded iron-formations. *Econ. Geol.*, **68**(7):1075 - 1088.
- KLEIN, C. (1983) Diagenesis and metamorphism of Precambrian banded iron-formation. In: Trendall, A.F. & Morris, R.C. (eds). *Iron-formations: Facts and problems*. Amsterdam, Elsevier, p. 417-465.
- KOISTINEN, T.J. (1981) Structural evolution of an early Proterozoic stratabound Cu-Co-Zn deposit, Outokumpu, Finland. *Trans. R. Soc. Edinburgh Earth Sci.*, **72**:115-158.
- MOTTL, M. J. (1983) Metabasalts, axial hot springs, and the structure of hydrothermal systems at mid-ocean ridges. *Geological Society of America Bulletin*. **94**:161-180.
- ROEDDER, E. (1967) Fluid inclusions as samples of ore fluids. Chapter 12 In: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits.*, H.L. Barnes (Ed.) New York, Holt Rinehart and Winston, p. 515-574.
- ROEDDER, E. (1984) Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy. Mineral. Soc. America*, **12**: 644p.
- ROEDDER, E. & BELKIN, H.E. (1988) Significance of monophase fluid inclusion in mineral. *Compte Rendu Acad. Sci. Paris*, **306**, Série II: 283-287.
- TRELOAR, P.J. & PUTNIS, A. (1982) Chemistry and microstructure of orthoamphiboles from cordierite - amphibole rocks at Outokumpu, North Karelia, Finland. *Mineralogical Magazine*, **45**:55-62.
- TRELOAR, P. J.; BOWES, D.R.; KOISTINEN, T.J. (1981) Metamorphic development of cordierite-amphibole rocks and mica schist in the vicinity of the Outokumpu ore deposits. *Finland. Trans. R. Soc. Edimburgh. earth Sci.*, **72**:201-215.
- TRENDALL, A.F. (1983) Introduction. In: TRENDALL, A.F. & MORRIS, R.C. (eds.). *Iron-formation: Facts and problems*. Amsterdam, Elsevier, p. 11-12.
- VALLANCE, T.G. (1967) Mafic rock alteration and isochemical development of some cordierite-anthophyllite rocks. *Journal of Petrology*, **8**:84-96.
- ZAGORUCHENKO, V.A. & ZHURAVLEV, A.M. (1970) Thermophysical properties of gaseous and liquid methane. *Israel. Progr. Sci. Transl. Jerusalem, Russ. Izd. Stadartou, Moscou*, 243p. Sadartov, Moscou, 243p.