



# INCLUSÕES FLUIDAS EM QUARTZO DA MINA SALAMANGONE, DISTRITO AURÍFERO DE LOURENÇO, AMAPÁ

S.A.A. Nogueira<sup>1</sup>, R.M.S. Bello<sup>2</sup>, J.S. Bettencourt<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Geológico - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Caixa Postal 2972, CEP 01060-970, São Paulo, SP

<sup>2</sup>Instituto de Geociências - USP, Caixa Postal 11.348, CEP 05422-970, São Paulo, SP

Recebido em 11/99; aprovado para publicação em 04/00

## ABSTRACT

*The Salamangone Au deposit is situated in the Lourenço region, Amapá, Brazil. It comprises an Au-As enriched quartz-vein system, hosted by granitoid rocks and controlled by a ductile-brittle shear zone.*

*Three aqueous saline systems (Li-Ca-K-Na-Cl), (Al-Ca-K-Na-Cl) and (Ca-K-Na-Cl) were characterized by: eutectic temperatures variable from -81° to -41°C, salinities ranging from 3,3 to 19,4 wt % NaCl equivalent and low homogenization temperatures at 80° to 250°C. They are associated with healed microfracture-bearing secondary inclusions related to the effects of vein deformations. The observed features are consistent with a late overprinted fluid-type system, long after the formation of the primary Au enriched fluids.*

## RESUMO

*Veios de quartzo, hospedados em granitóides, exibindo uma associação metálica enriquecida em Au e As, controlados por uma zona de cisalhamento díctil-rúptil, constituem o depósito de Salamangone, na região de Lourenço, Amapá.*

*Três sistemas aquossalinos (Li-Ca-K-Na-Cl), (Al-Ca-K-Na-Cl) e (Ca-K-Na-Cl) foram identificados (eutéticos de -81° a -41°C), com salinidades variáveis (3,3 a 19,4 eq% peso NaCl) e baixas temperaturas de homogeneização (80° a 250°C). Estão associados a microfraturas seladas, portadoras de inclusões secundárias, refletindo a deformação imposta aos veios. Sua caracterização sugere uma provável vinculação com fluidos tardios, posteriores àqueles responsáveis pela mineralização aurífera.*

## INTRODUÇÃO

A caracterização de sistemas fluidais por meio do estudo de inclusões fluidas, aprisionadas em minerais de minério ou de ganga, representa elemento importante na determinação das propriedades PVTX (pressão, volume/densidade, temperatura e composição) dos fluidos mineralizantes, assim como à compreensão dos processos responsáveis pela deposição do minério.

O trabalho de Roedder (1984) apresenta, ainda, o melhor sumário sobre os registros de inclusões fluidas em depósitos de ouro, embora os estudos venham se ampliando, rapidamente, nos últimos anos. Cristais de quartzo, de filões quartzosos auríferos, revelam um número muito grande de inclusões primárias, que, via de regra, estão relacionadas com os fluidos responsáveis pela mineralização. No entanto, em muitos

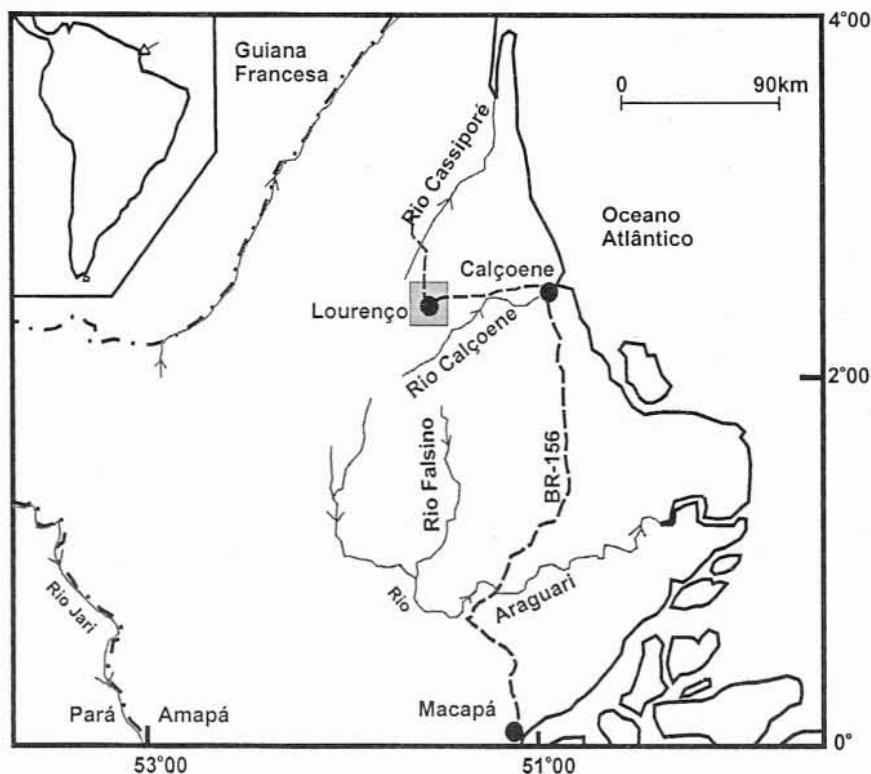
depósitos, esta correlação é complexa, pois esses fluidos introduziram-se em fases posteriores à cristalização inicial do quartzo, deixando registro em algumas gerações de inclusões secundárias, correspondentes a vários estádios de recristalização, associados a períodos de deformação e metamorfismo.

Para a compreensão dos processos de alteração hidrotermal, transporte e deposição do ouro, assim como para a definição de um modelo genético do depósito de Salamangone, Amapá, vem sendo utilizado, entre outras ferramentas, o estudo de inclusões fluidas em grãos de quartzo dos veios mineralizados e estéreis. Seu enfoque corresponde à caracterização dos parâmetros físico-químicos, tais como: densidade, salinidade, composição e temperaturas mínimas de aprisionamento dos sistemas salinos relacionados com o processo de formação dos veios de quartzo.

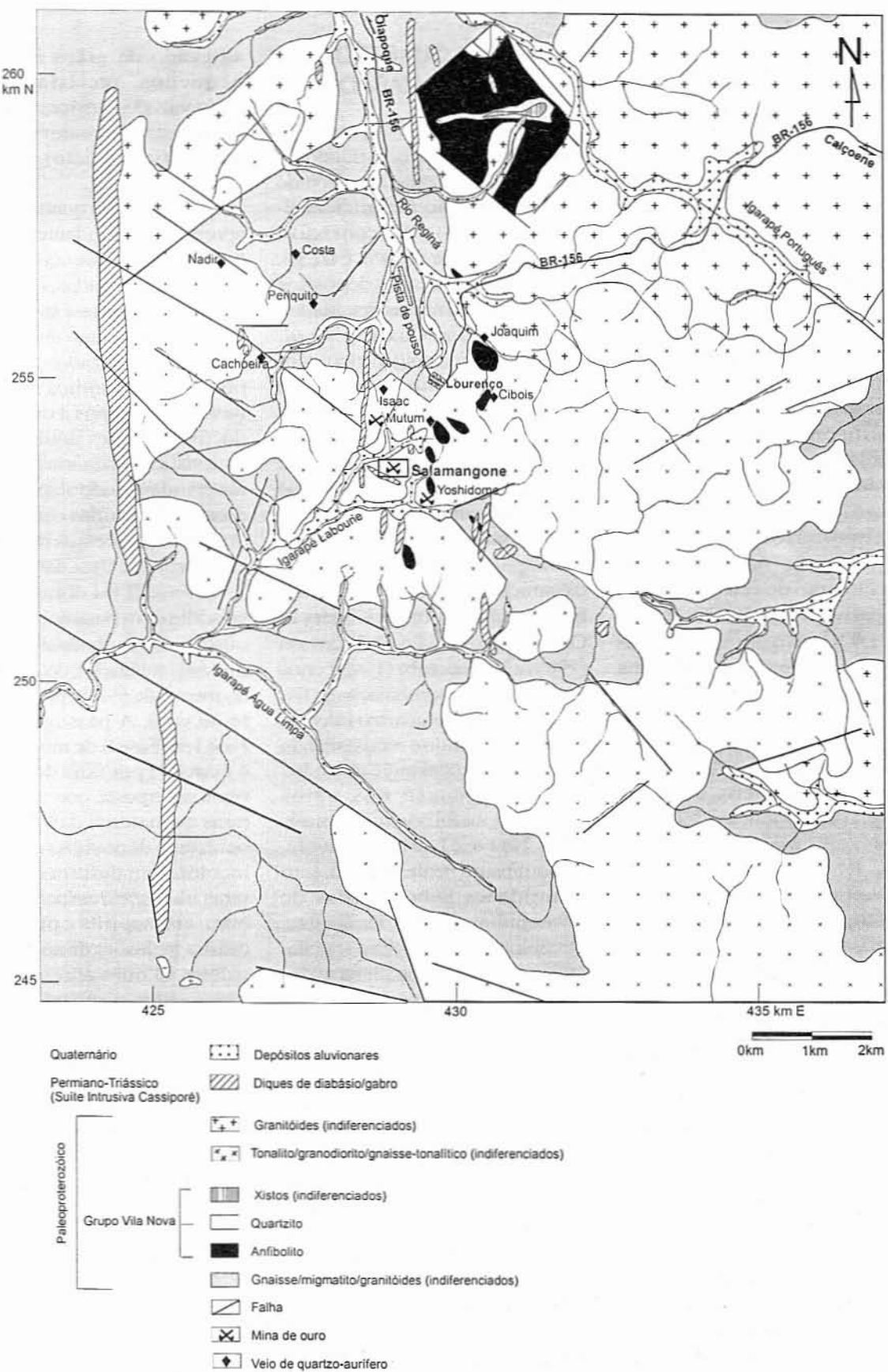
## O DISTRITO AURÍFERO DE LOURENÇO

A área do Distrito Aurífero de Lourenço localiza-se na parte central do Estado do Amapá (Fig. 1), no âmbito do Craton Amazônico (Almeida, 1978), dentro do Cinturão Móvel Maroni-Itacaiúnas estabelecido por Teixeira *et al.* (1989).

De acordo com trabalhos desenvolvidos por Terraconsult (1986) e da sistematização da geologia do Amapá, realizada por Lima *et al.* (1991), a região de Lourenço faria parte da Suíte Metamórfica Lourenço, constituída por um conjunto supra-crustal metamorificado em alto grau, parcialmente migmatizado, com direção NW-SE e por complexos cálcio-alcalinos, do tipo TTG (Fig. 2). Todas essas rochas foram cortadas por um cinturão de cisalhamento dúctil-ríptil (Caroni/Quatro Pancadas), ao qual estariam



**Figura 1-** Localização do Distrito Aurífero de Lourenço, na região centro-norte do Estado do Amapá.



**Figura 2 -** Mapa geológico simplificado do Distrito Aurífero de Lourenço, modificado e complementado de Terraconsult (1986).

associados os principais bens minerais da região, em especial o ouro. Esta suíte, junto com o Grupo Vila Nova (Lima *et al.*, 1974), definido, principalmente, na porção sul do Estado do Amapá, e o Grupo Paramaca (Série Paramaca de Choubert, 1974), na região limite entre Amapá e Guiana Francesa, representariam seqüências supracrustais do Paleoproterozóico.

No Distrito Aurífero de Lourenço, as rochas encaixantes da mineralização quartzo-aurífera constituem granítoides representados por tonalito e, subordinadamente, granodiorito, de composição cálculo-alcalina, metaluminosos a levemente peraluminosos. Apresentam enriquecimento dos elementos incompatíveis (Cs, K, Rb, Ba, U, Th e ETRL) e o comportamento geoquímico, em função dos elementos relativamente imóveis (Ti, Rb, Sr, Y, Nb), indica, de acordo com Pearce *et al.* (1984), que teriam sido gerados em arcos vulcânicos, com afinidade continental, evidenciada pelos teores mais elevados em K<sub>2</sub>O, Rb e Sr (Coleman & Peterman, 1975; Coleman & Donato, 1979). Todas essas características tornam essas rochas comparáveis às diversas suítes granítoides de composição cálculo-alcalina, geradas em arcos magmáticos de margem continental ativa, que, de acordo com Pitcher (1983 e 1995), enquadrar-se-iam no Grupo Orogênico, Tipo Andino, com granítoides do Tipo I de Chappel & White (1974).

O depósito de Salamangone, assim como mineralizações auríferas existentes na Guiana Francesa, está relacionado a complexos cálculo-alcalinos (TTG) e terrenos vulcanosedimentares gerados em ambiente tectônico de acreção, no Paleoproterozóico.

## VEIOS DE QUARTZO E A MINERALIZAÇÃO

A mineralização ocorre como um sistema filonar, constituído essencialmente de quartzo, exibindo uma associação metálica enriquecida em Au e As, com baixa concentração de Ag, Pb, Cu e Bi. A exemplo de outros depósitos hospedados em rochas granítoides, estudados por Cassidy *et al.* (1998), é do tipo epigenético, controlado por uma zona de cisalhamento de caráter dúctil-rúptil, que atravessa o corpo de tonalito hospedeiro, desenvolvida após a história da deformação que atuou nas rochas encaixantes e no terreno onde estão alojadas.

A aparência bandada dos veios caracteriza uma textura denominada *ribbon* por McKinstry & Ohle (1949), Dowling & Morrison (1989) e Vearncombe (1993), onde se observa uma combinação de faixas alongadas de quartzo intensamente deformado e recristalizado e de tonalito encaixante alterado.

A paragênese dos veios mineralizados foi originada em três fases. Na Fase I, foi precipitado, predominantemente, quartzo, com quantidades subordinadas de arsenopirita, pirrotita, loellengita, calcopirita, ouro, biotita e sericita. O ouro ocorre em pequena quantidade, sempre associado com a arsenopirita. O quartzo é maciço, apresentando grãos vítreos de cor cinza-azulada, de granulação média, envolvidos por grãos de quartzo branco, translúcidos, de granulação mais fina, que se acham firmemente entrelaçados e com grande variação de tamanho e orientação. O conjunto mostra texturas de deformação dúctil, tais como: extinção ondulante, desenvolvimento de subgrãos e novos grãos cristalizados, caracterizando uma estrutura conhecida como núcleo-borda (*core-mantle*), segundo Passchier & Trouw (1996), que representa um arranjo típico de um

agregado de grãos de quartzo pequenos, recristalizados e poligonizados, em torno de um núcleo cristalino maior de quartzo mais antigo (relicto), de mesma composição.

Os cristais de quartzo maiores apresentam abundantes microfissuras cicatrizadas, com inclusões fluidas aprisionadas, que, em sua maioria, atravessam os limites dos grãos e invadem o domínio dos grãos recristalizados, indicando prováveis episódios de fraturamento rúptil após a deformação dúctil. Inclusões fluidas com características primárias não foram observadas, tendo sido, provavelmente, destruídas ou alteradas, durante os processos de deformação (Drury & Urai, 1990).

A Fase II foi dominada pelo episódio de deposição principal do ouro, acompanhada de quartzo e minerais sulfetados, compreendendo menos de 5% do preenchimento do veio. A passagem entre a Fase I e a Fase II de mineralização é marcada por uma deformação rúptil superposta, que originou fissuras no material da Fase I, onde ocorreu a deposição de quartzo incolor, sem deformação e com raras inclusões, associado com o ouro, arsenopirita e pirita, a qual mostra inclusões de arsenopirita e galena. O ouro apresenta-se na forma nativa, como grãos isolados na ganga quartzosa ou junto com arsenopirita e pirita.

A Fase III restringe-se ao desenvolvimento de vénulas de quartzo, com carbonato e clorita subordinados, que atravessam os domínios de quartzo das Fases I e II.

## METODOLOGIA

O estudo das inclusões fluidas foi realizado em amostras de veios de quartzo mineralizados e estéreis, através da análise de seções delgadas, com polimento em ambas as faces. Seu desenvolvimento

consistiu de duas etapas: a primeira, de reconhecimento petrográfico, mapeamento e descrição das inclusões fluidas, e a segunda, onde foram efetuadas as medidas microtermométricas das temperaturas do ponto eutético ( $T_e$ ), da fusão do gelo ( $T_{fg}$ ) e de homogeneização ( $T_h$ ), visando a caracterização dos parâmetros fisicoquímicos (densidade, salinidade e composição) e a definição dos tipos de sistemas salinos.

Todos os trabalhos foram conduzidos no Laboratório de Inclusões Fluidas, Departamento de Mineralogia e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, utilizando-se uma platina de resfriamento e aquecimento, de marca CHAIXMECA, modelo MTM - 85.

## OCORRÊNCIA E NATUREZA DAS INCLUSÕES FLUIDAS

Para a caracterização das inclusões fluidas, foram utilizadas 4 amostras de veios de quartzo mineralizados e 1 amostra de veio estéril, selecionadas do sistema filonar do depósito de Salamangone. Este sistema apresenta feições de desenvolvimento dinâmico, impressas no quartzo na forma de deformações do tipo recristalização e fraturamentos, mostrando estruturas de núcleos e bordas recristalizadas (Fig. 9A). Essa deformação dificultou a preservação das inclusões primárias e até mesmo, das pseudosecondárias. As inclusões passíveis de serem estudadas restringiram-se aos núcleos (*core*) de cristais de quartzo menos afetados pela deformação dos veios, encontrando-se localizadas em microfraturas cicatrizadas (inclusões planares), mostrando várias orientações.

As microfraturas são, geralmente, intergranulares, cruzando os limites dos grãos (Fig. 9B) e as inclusões fluidas não mostram

modificações próximas à intersecção das bordas. Com base nos critérios de Roedder (1984), essas inclusões foram interpretadas como secundárias. Algumas vezes, essas microfraturas restringem-se a um grão (intragranular).

Inclusões fluidas, decorando as bordas de grãos recristalizados e, mais raramente, isoladas nos seus interiores, também são observadas, porém com tamanho inadequado para medição. Poderiam representar, segundo Kerrich (1976) e Wilkins & Barkas (1978), remanescentes de inclusões primárias que escaparam da eliminação durante o processo de recristalização, acompanhando a migração das bordas dos grãos recristalizados e tendo, na maioria das vezes, sofrido modificações.

Os trabalhos de Kerrich (1976), Wilkins & Barkas (1978) e Hollister (1990) alertam quanto aos cuidados na interpretação de dados obtidos em medidas microtermométricas de inclusões fluidas em quartzo de veios, que sofreram efeitos de deformação. Esses autores demonstram que, em inclusões compostas de água e dióxido de carbono, ocorre remoção de  $H_2O$  (*leakage*) e enriquecimento de  $CO_2$ , chegando, em casos extremos, a atingir composições essencialmente carbônicas, resultando em temperaturas de homogeneização anormalmente altas. No caso de inclusões aquosas, o escape de  $H_2O$  líquido causaria um aumento da fase vapor, refletindo em mudanças na densidade do fluido, assim como da temperatura de homogeneização.

Com relação à composição, todas as inclusões estudadas são do tipo aquossalinos, com tamanhos entre 10 e 15  $\mu m$ , formas irregulares, podendo exibir, também, padrões ovóides, alongados e de cristal negativo. Em temperatura ambiente, apresentam-se, normalmente, bifásicas ( $H_2O$  líquida +  $H_2O$  vapor). Algumas inclusões

fluidas exibem feições de estrangulamento, escape e crepitação, com formas regulares a irregulares e coloração escura.

## MICROTERMOMETRIA DAS INCLUSÕES FLUIDAS

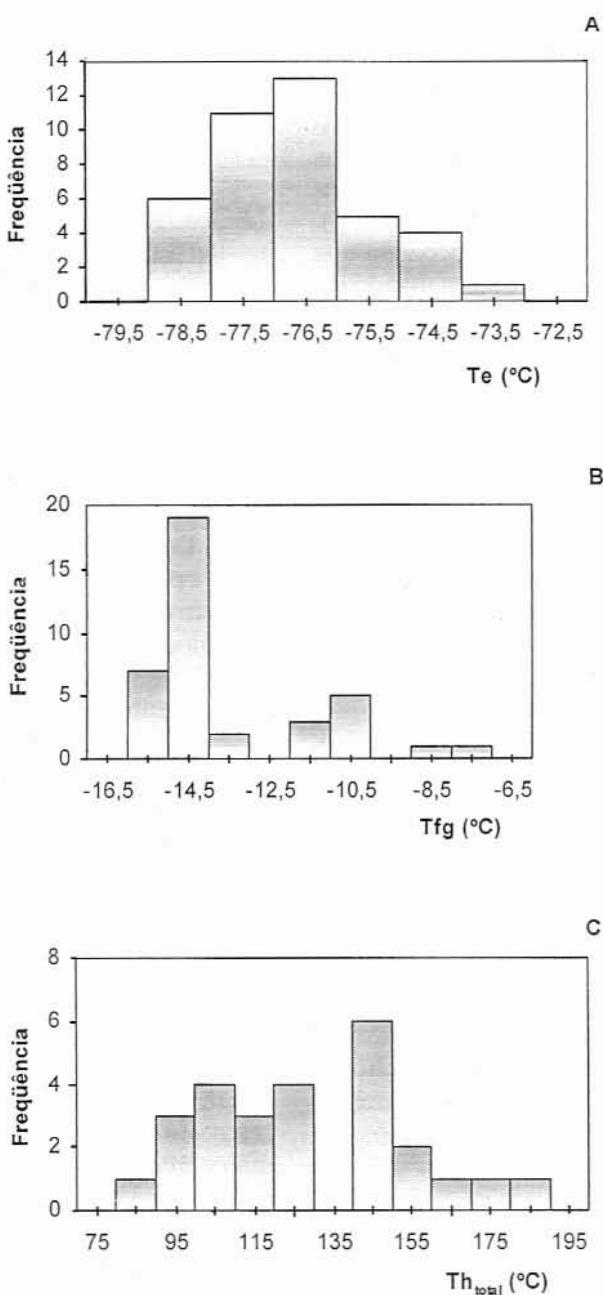
### Veios mineralizados

Os dados microtermométricos em amostras de quartzo de diferentes veios auríferos foram tomados nas inclusões bifásicas (fase aquosa líquida + fase aquosa gasosa). De acordo com os valores obtidos para a primeira fusão (temperatura do eutético), foram caracterizados, segundo sua composição, três sistemas aquossalinos distintos. A saber:

#### a) Sistema salino $LiCl-CaCl_2-KCl-MgCl_2-H_2O$

**Grupo 1** (Fig. 9C e 9D) – os valores obtidos para a temperatura do ponto eutético ( $T_e$ ), em 40 inclusões investigadas, variaram entre -79°C e -73°C, com maior freqüência entre -78°C e -76°C (Fig. 3A). Os valores da temperatura de fusão final do gelo ( $T_{fg}$ ), de um total de 38 inclusões, variaram entre -16°C e -7°C, com maior freqüência entre -16°C e -14°C (Fig. 3B). A temperatura de homogeneização total, para a fase líquida ( $T_h$ ), de 26 inclusões estudadas, distribuiu-se num intervalo muito espalhado entre 80°C e 190°C, com maiores freqüências entre os intervalos de 140°C a 150°C e 100°C a 130°C (Fig. 3C).

**Grupo 2** – os valores de  $T_e$ , medidos em 26 inclusões, variaram entre -81°C e -78°C, com maior freqüência entre -80°C e -79°C (Fig. 4A). A temperatura final do gelo ( $T_{fg}$ ), em 24 inclusões medidas, variou entre -39°C e -29°C, com tendência de concentração entre -39°C e -36°C (Fig. 4B). A temperatura de homogeneização



**Figuras 3A, B e C,** representando, respectivamente, os histogramas de freqüência das temperaturas do eutético (Te), da fusão do gelo (T<sub>f</sub>g) e de homogeneização total para o líquido (Th) de inclusões aquossalinas do sistema LiCl-KCl-CaCl<sub>2</sub>-MgCl-H<sub>2</sub>O, da amostra SL-04, em quartzo de veio mineralizado.

total, para a fase líquida (Th), em 20 inclusões, distribuiu-se entre 100°C e 150°C, com maior freqüência entre 120°C e 150°C (Fig. 4C).

Esses dois grupos de inclusões apresentaram valores de tempera-

tura de eutético fortemente negativos (-80°C a -73°C) que, segundo Borisenko (1978), seriam indicativas de sistemas salinos com participação de Li e outros cátions (Ca, K, Na, Mg), que contribuem para o abaixamento da Te. Alguns

autores, como Burruss (1997 e 1998) e Bodnar (1998) explicam os valores muito negativos da Te, através de um fenômeno de crescimento de cristais de gelo, a partir do seu pleno estado de congelamento. Representaria assim, um rearranjo dos cristais de gelo em crescimento.

Valores muito baixos de Te também são citados em Davis *et al.* (1990) e Goldstein & Reynolds (1994), como representantes de sistemas com MgCl<sub>2</sub> ou CaCl<sub>2</sub>. Os autores citam valores de Te de até -90°C, no sistema NaCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, e de até -80°C, no sistema NaCl-MgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O, decorrentes da formação de hidratos metaestáveis, durante o congelamento.

Por outro lado, Bodnar (1998) levanta a questão de que a quantidade de líquido, gerada nas temperaturas do eutético, está diretamente relacionada à salinidade. De forma que, em inclusões de salinidade muito baixa, a observação da Te seria muito difícil, pois pouco líquido seria formado no início da fusão, especialmente se forem pequenas. Nas inclusões estudadas dos Grupos 1 e 2, com salinidades média a alta, a Te pode ser facilmente observada, embora apresentem-se com dimensões entre 10 e 15 µm.

Dessa forma, essas inclusões podem representar uma variação do sistema salino puro LiCl-H<sub>2</sub>O (com Te=-74°C), de Borisenko (1978), causada pela presença de outros cátions, que podem ter sido liberados da rocha tonalítica encaixante (hornblenda, biotita e feldspatos), quando da percolação dos fluidos hidrotermais. Além disso, Yardley (1997) lembra que, ao se interpretar eutético, deve-se pensar, principalmente, na química dos fluidos e depois na química mineral ou da rocha. Como exemplo, merece ser levada em consideração a alta concentração de As, no depósito de Salamangone, que segundo Yardley (1997), po-

deria, também, ter influenciado nos valores muito negativos do eutético.

Esses dois grupos de inclusões têm composição semelhante, sendo distinguidos pela salinidade, bem mais elevada do Grupo 2 (Tabela 1). Deve ser observado, ainda, que apresentam as maiores salinidades, quando comparados com os demais grupos de inclusões identificados.

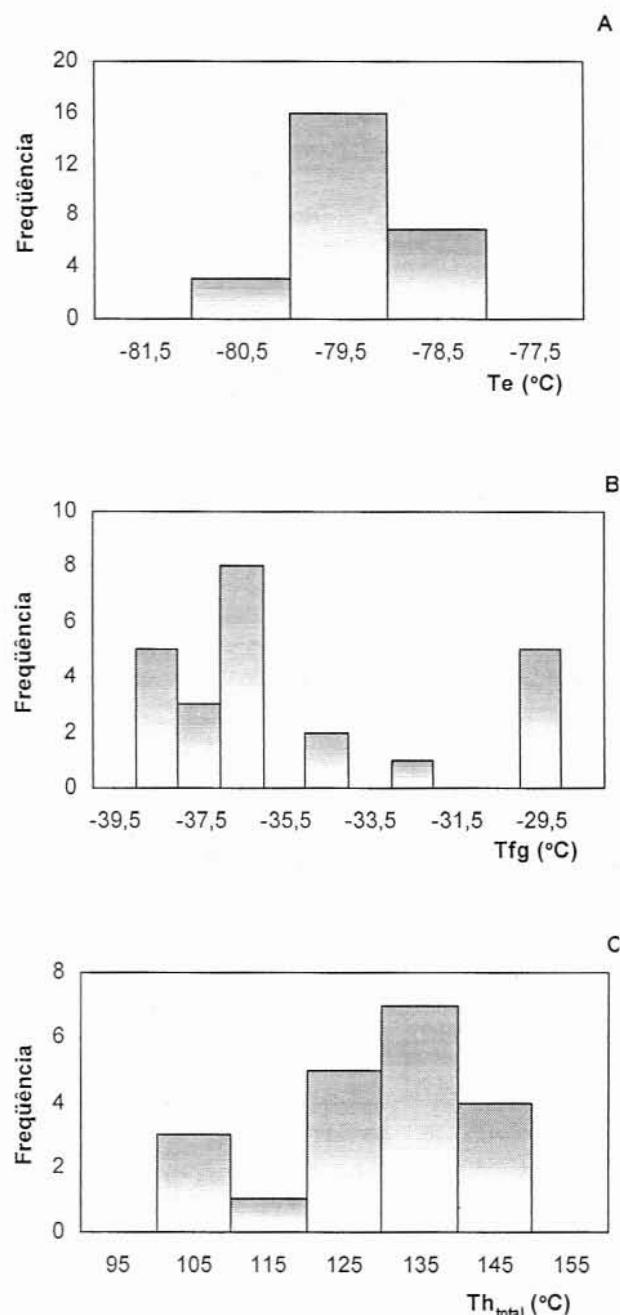
#### b) Sistema salino $\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$

**Grupo 3** (Fig. 9E) – constitui a grande maioria das inclusões fluidas estudadas, cujos valores de  $T_e$ , medidos em 88 inclusões, variaram entre  $-48^\circ\text{C}$  e  $-41^\circ\text{C}$ , com intervalos de maior freqüência entre  $-46^\circ\text{C}$  e  $-44^\circ\text{C}$  (Fig. 5A). A temperatura final do gelo ( $T_{fg}$ ), em 78 inclusões, variou entre  $-6^\circ\text{C}$  e  $-1^\circ\text{C}$ , com intervalo de maior concentração entre  $-5^\circ\text{C}$  e  $-3^\circ\text{C}$  (Fig. 5B). A temperatura de homogeneização total para a fase líquida ( $T_h$ ), de 89 inclusões, distribuiu-se entre  $120^\circ\text{C}$  e  $230^\circ\text{C}$ , com intervalo de maior freqüência entre  $140^\circ\text{C}$  e  $180^\circ\text{C}$  (Fig. 5C).

**Grupo 4** – representa uma população de inclusões fluidas que ocorre numa mesma trilha, junto com inclusões do Grupo 3. Em 14 inclusões investigadas, a  $T_e$  variou de  $-53^\circ\text{C}$  a  $-48^\circ\text{C}$  (Fig. 6A), com  $T_{fg}$ , medida em 13 inclusões, situando-se entre  $-9^\circ\text{C}$  e  $-7^\circ\text{C}$  (Fig. 6B). A temperatura de homogeneização final, para a fase líquida ( $T_h$ ), de 11 inclusões, distribuiu-se entre  $120^\circ\text{C}$  e  $160^\circ\text{C}$  (Fig. 6C).

Os resultados da  $T_e$  obtidos, por analogia com dados experimentais, indicam a presença de uma mistura dos sistemas salinos  $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  ( $T_e = -49,8^\circ\text{C}$  de Borisenko, 1978 e Crawford, 1981),  $\text{CaCl}_2\text{-KCl-H}_2\text{O}$  ( $T_e = -50,5^\circ\text{C}$  de Borisenko, 1978) e  $\text{CaCl}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  ( $T_e = -52,0^\circ\text{C}$  de Crawford, 1981).

O Grupo 4 constitui uma popu-



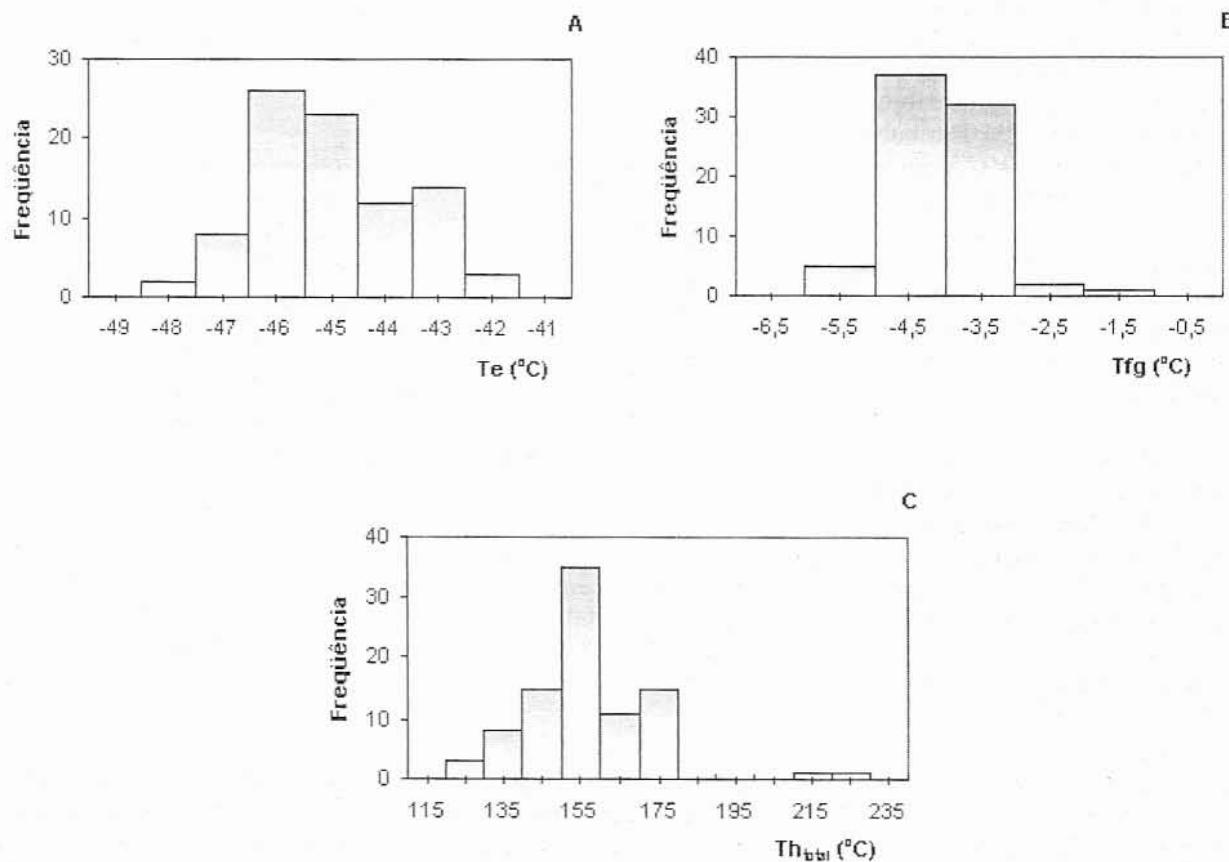
**Figuras 4A, B e C,** representando, respectivamente, os histogramas de freqüência das temperaturas do eutético ( $T_e$ ), da fusão do gelo ( $T_{fg}$ ) e de homogeneização total para o líquido ( $T_h$ ) de inclusões aquossalinas do sistema  $\text{LiCl-KCl-CaCl}_2\text{-MgCl-H}_2\text{O}$ , da amostra SL-09, em quartzo de veio mineralizado.

lação levemente distinta das inclusões do Grupo 3, situando-se mais próximas do sistema salino puro  $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  ( $T_e = -49,8^\circ\text{C}$ ) de Borisenko (1978) e com salinidades ligeiramente mais elevadas (Tabela 1). A situação de ocorrê-

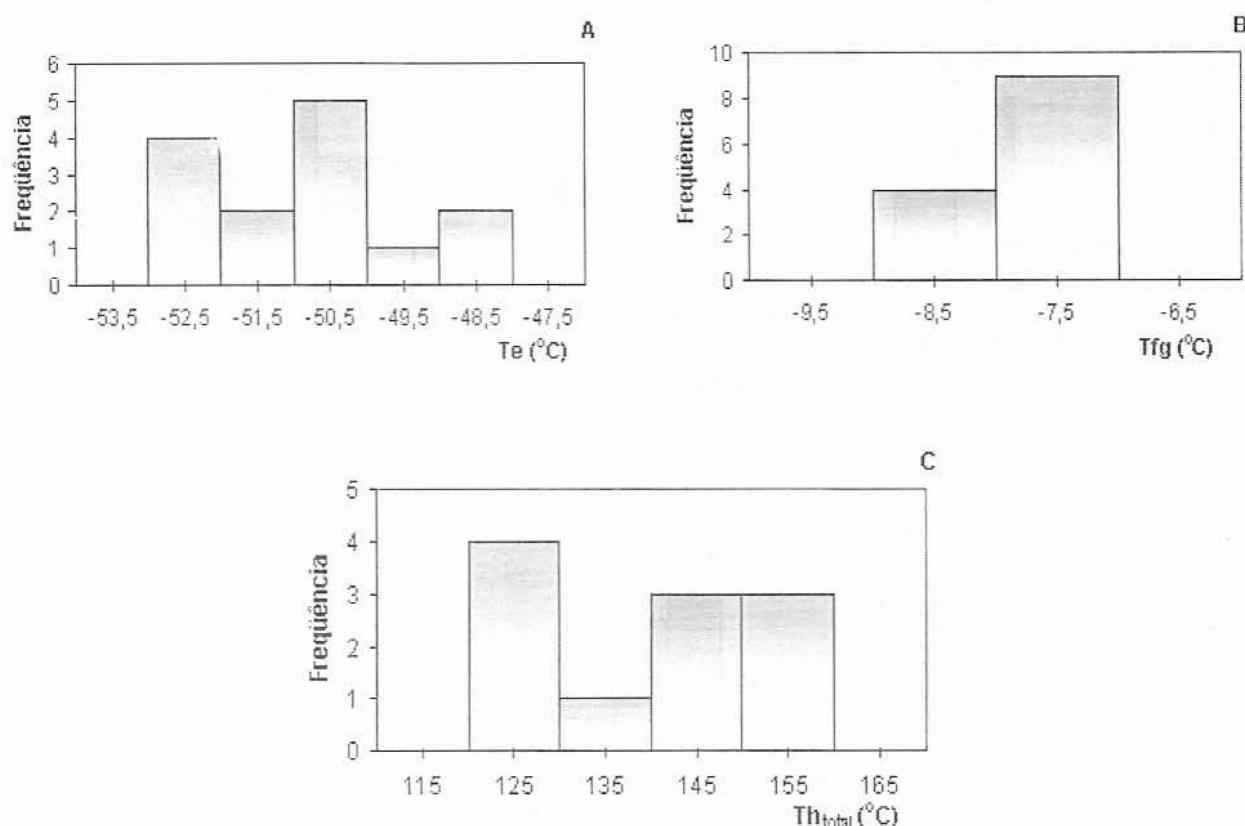
cia conjunta dos dois tipos de inclusões, Grupos 3 e 4, poderia ser preliminarmente interpretada como uma evolução do fluido de termos mais salinos e de composição mais pura, com relação ao sistema  $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ , para fluidos

**Tabela 1** - Resultados microtermométricos obtidos dos estudos de inclusões fluidas em veios de quartzo mineralizados (\*) e estéril (\*\*) do depósito de Salamangone. (1)- Borisenko (1978), (2)- Linke (1958). Te = temperatura do eutético, Tfg = temperatura final do gelo, Th = temperatura de homogeneização total para a fase líquida.

Sistemas Salinos	Amostra	$\Delta Te$ °C	$\Delta T_{fg}$ °C	$\Delta Th$ °C	Salinidade (equivalente em % em peso NaCl)	Densidade (g/cm³)
$\text{LiCl-KCl-CaCl}_2\text{-MgCl-H}_2\text{O}^{(1)}$	SL-09*	-81 a -78	-39 a -29	100 a 150	-	-
	SL-04*	-79 a -73	-16 a -13	90 a 150	13,9 a 19,4	1,02 a 1,11
$\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}^{(1)}$	SL-04*/ SL-09*/SLP-17*	-48 a -41	-6 a -1	120 a 230	4,8 a 9,2	0,92 a 0,99
	SLP-17*	-53 a -48	-9 a -7	120 a 160	10,5 a 12,8	0,98 a 1,03
	SHN-06**	-49 a -42	-6 a -3	110 a 180	4,8 a 9,2	0,95 a 1,00
	SL-04*	-62 a -58	-2 a -3	-	3,3 a 4,8	-
$\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}^{(2)}$	SHN-06**	-65 a -58	-16 a -11	140 a 250	13,9-19,4	0,99 a 1,07



**Figuras 5A, B e C.** representando, respectivamente, os histogramas de freqüência das temperaturas do eutético (Te), da fusão do gelo (Tfg) e de homogeneização total para o líquido (Th) de inclusões aquossalinas do sistema  $\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$ , das amostras SL-04, SL-09 e SLP-17, em quartzo de veios mineralizados.



**Figuras 6A, B e C.** representando, respectivamente, os histogramas de freqüência das temperaturas do eutético ( $T_e$ ), da fusão do gelo ( $T_{fg}$ ) e de homogeneização total para o líquido ( $T_h$ ) de inclusões aquossalinas do sistema  $\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$ , da amostra SLP-17, em quartzo de veio mineralizado.

mais impuros e de mais baixa salinidade, com maior quantidade de cátions do tipo Fe, Mg, Na, que aumentam a temperatura do eutético, deixando-a menos negativa. A fonte destes cátions seria, como já citado, o tonalito hospedeiro da mineralização.

Deve ser observado que Goldstein & Reynolds (1994) mencionam eutéticos mais elevados para sistemas compostos por  $\text{NaCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  puros.

De maneira geral, esses dois grupos de inclusões apresentam salinidades baixas, mostradas na Tabela 1.

#### c) Sistema salino $\text{AlCl}_3\text{-CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$

**Grupo 5** - aparecem com menor freqüência e, em 9 inclusões nas quais foi possível realizar medidas, a  $T_e$  situou-se entre -68°C

e -58°C, com a  $T_{fg}$  variando entre -3°C e -2°C. A temperatura de homogeneização ( $T_h$ ) não pôde ser medida. Tomando-se por base dados experimentais de  $T_e$  existentes, os resultados obtidos poderiam indicar a existência de sistemas salinos do tipo  $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$  ( $T_e=-55^\circ\text{C}$  de Linke, 1958 *in* Roedder, 1984; Borisenko, 1978). A presença de outros cátions (Fe, Ca, Mg), que deixariam o valor da  $T_e$  mais negativo, estaria relacionada com a alteração de plagioclásio, hornblenda e biotita do tonalito encaixante. Nesse grupo, foram registradas as salinidades mais baixas (Tabela 1).

#### Veios estéreis

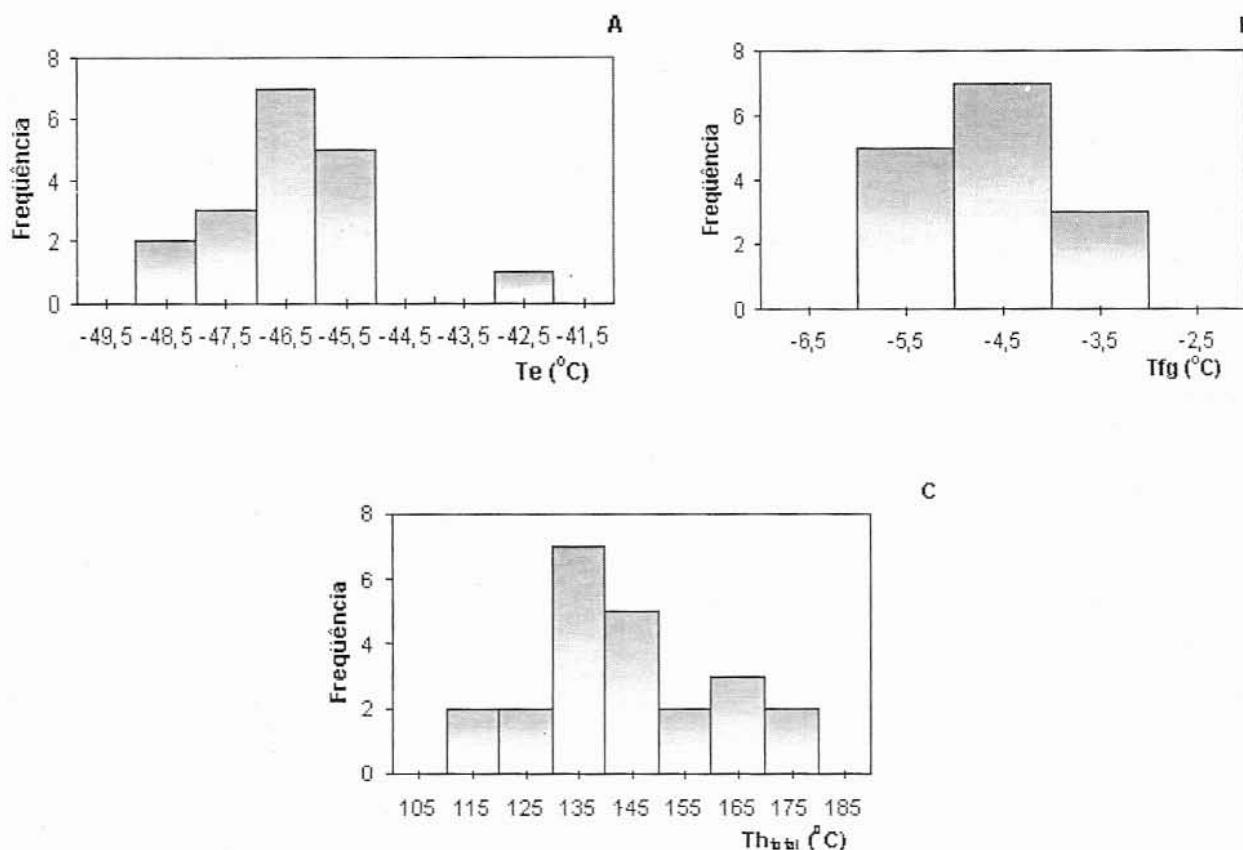
Além das amostras de veios de quartzo mineralizados, foi investigada, também, uma amos-

tra de veio de quartzo estéril, que apresentou, de acordo com a temperatura do eutético, dois sistemas de inclusões fluidas:

#### a) Sistema salino $\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$

**Grupo 1** (Fig. 9F) - cujos valores de  $T_e$ , medidos em 16 inclusões, variaram de -49°C a -42°C, com intervalo de maior freqüência entre -47°C e -45°C (Fig. 7A). A temperatura de fusão final do gelo ( $T_{fg}$ ), em 15 inclusões, ficou entre -6°C e -3°C e a temperatura de homogeneização total para a fase líquida ( $T_h$ ), de 23 inclusões, situou-se entre 110°C e 180°C, com maior freqüência entre 130°C e 150°C, (Fig. 7B e 7C).

Os dados microtermométricos deste grupo de inclusões apresentam grande semelhança quanto à composição e salinidade, com os



**Figuras 7A, B e C,** representando, respectivamente, os histogramas de freqüência das temperaturas do eutético ( $T_e$ ), da fusão do gelo ( $T_{fg}$ ) e de homogeneização total para o líquido ( $T_h$ ) de inclusões aquossalinas do sistema  $\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$ , da amostra SHN-06, em quartzo de veio estéril.

do Grupo 3 dos veios mineralizados (Tabela 1) e os resultados da  $T_e$  obtidos poderiam indicar a presença de uma mistura dos sistemas salinos  $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  ( $T_e= -49,8^{\circ}\text{C}$  de Borisenko, 1978 e Crawford, 1981),  $\text{CaCl}_2\text{-KCl-H}_2\text{O}$  ( $T_e= -50,5^{\circ}\text{C}$  de Borisenko, 1978) e  $\text{CaCl}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  ( $T_e= -52,0^{\circ}\text{C}$  de Crawford, 1981).

#### b) Sistema salino $\text{AlCl}_3\text{-CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$

**Grupo 2** – apresentaram  $T_e$ , em 30 inclusões, variando entre  $-65^{\circ}\text{C}$  e  $-58^{\circ}\text{C}$ , com intervalo de maior freqüência entre  $-61^{\circ}\text{C}$  e  $-69^{\circ}\text{C}$  (Fig. 8A). A temperatura final do gelo ( $T_{fg}$ ), de 28 inclusões, situou-se entre  $-16^{\circ}\text{C}$  e  $-11^{\circ}\text{C}$ , com pico de maior freqüência entre  $-13^{\circ}\text{C}$  e  $-12^{\circ}\text{C}$ , (Fig. 8B). A

temperatura de homogeneização total para a fase líquida ( $T_h$ ), de 29 inclusões, ficou entre  $140^{\circ}\text{C}$  e  $250^{\circ}\text{C}$ , com maior freqüência entre  $140^{\circ}\text{C}$  e  $170^{\circ}\text{C}$ , (Fig. 8C).

Essas inclusões, embora relacionem-se ao mesmo tipo do sistema  $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$  ( $T_e= -55^{\circ}\text{C}$  de Linke, 1958 *in* Roedder, 1984; Borisenko, 1978) com a entrada de outros cátions, diferem do Grupo 5 de inclusões dos veios de quartzo mineralizados, pois mostram-se com uma salinidade mais elevada (Tabela 1). As temperaturas de homogeneização não puderam ser comparadas, porque não foi possível efetuar medidas no Grupo 5.

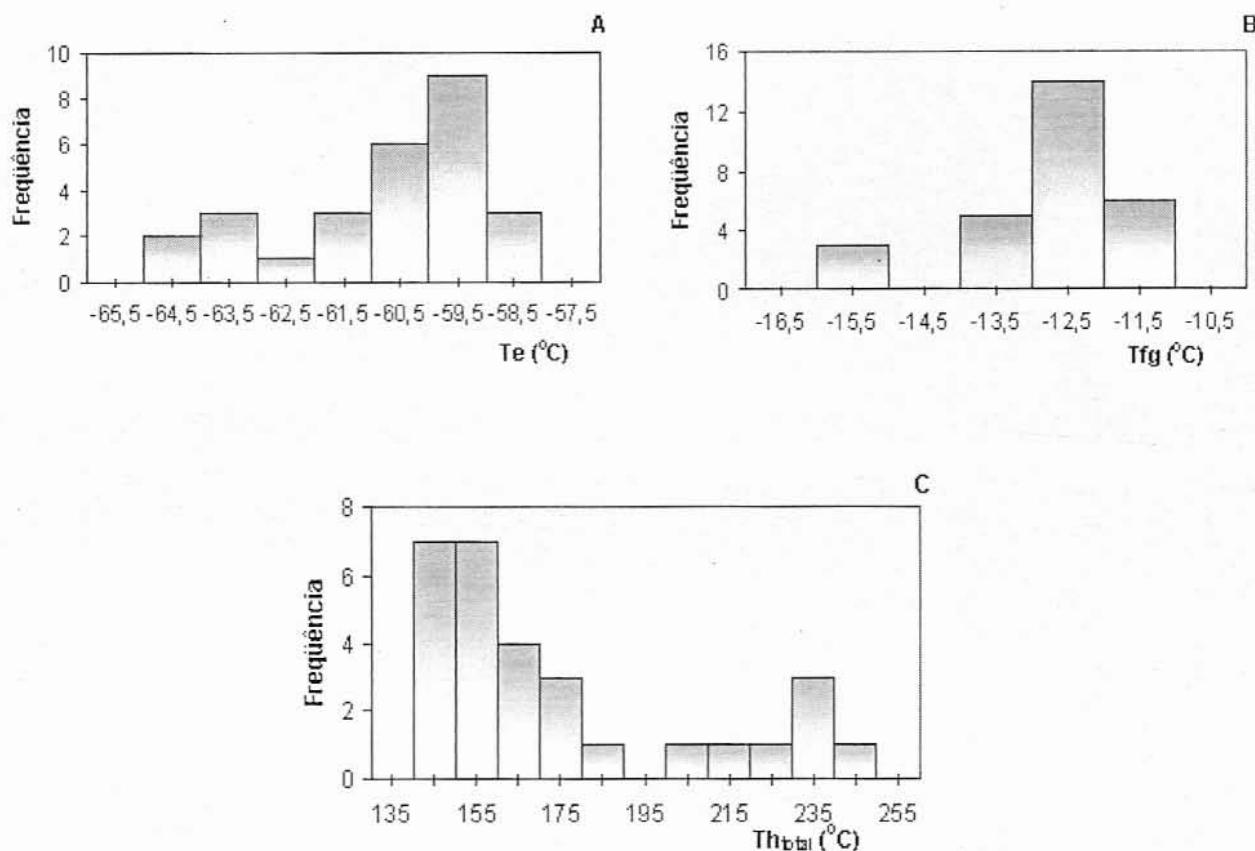
A Tabela 1 reúne os dados microtermométricos obtidos nos estudos dos veios de quartzo

mineralizado e estéril. Para os cálculos de salinidade e densidade, foi utilizado o software Flincor, de Brown (1989).

Deve ser ressaltado o fato de que, como não ocorreu o desaparecimento da fase vapor durante o resfriamento das inclusões estudadas, a pressão interna desenvolvida não interferiu na determinação do ponto eutético. De acordo com Goldstein & Reynolds (1994), nesta situação, os valores da  $T_e$  apresentados podem, realmente, refletir as composições dos sistemas salinos identificados.

## CONCLUSÕES

As inclusões aquosas ao longo de microfraturas que atravessam



**Figuras 8A, B e C,** representando, respectivamente, os histogramas de freqüência das temperaturas do eutético (Te), da fusão do gelo (Tfg) e de homogeneização total para o líquido (Th) de inclusões aquossalinas do sistema  $\text{AlCl}_3\text{-CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$ , da amostra SHN-06, em quartzo de veio estéril.

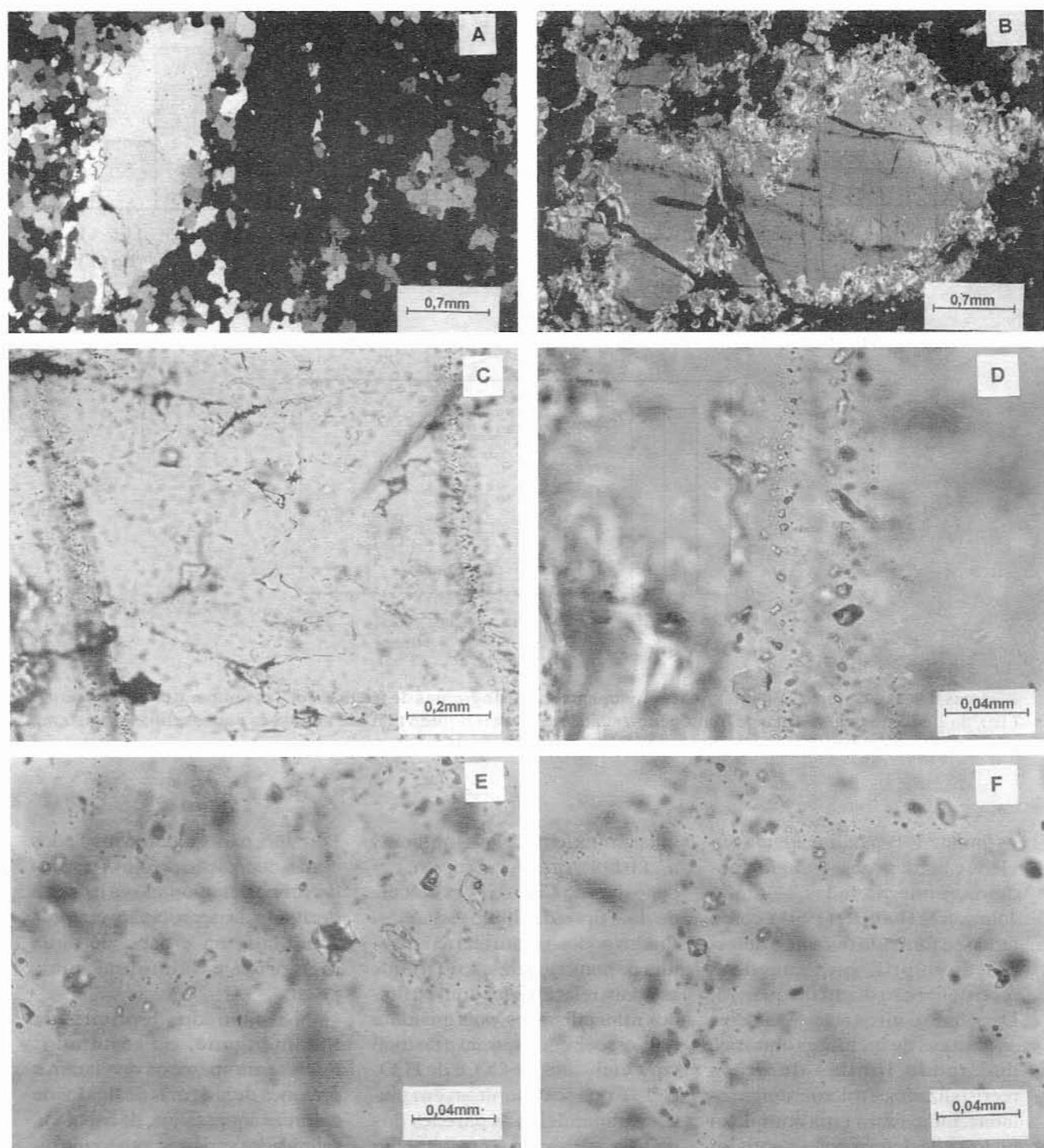
os limites dos grãos, invadindo núcleos e bordas (*core-mantle*), podem ser interpretadas, segundo Johnson & Hollister (1995), como tendo se formado durante a deformação rúptil, que sucede a recristalização dúctil do quartzo. De acordo com os autores citados, as texturas de inclusões aquosas, decorando limites de grãos recristalizados e microfraturas seladas, indicariam uma complexa história de deformação e aprisionamento de fluidos. Envolveriam a migração dos limites dos grãos num processo contínuo de deformação dúctil, acompanhada por microfraturamento rúptil.

A significação de inclusões fluidas aquosas em depósitos de veios de quartzo-auríferos vem sendo estudada por diversos pes-

quisadores, entre eles Boullier *et al.* (1998), que verificaram, em depósitos no Canadá, a existência de dois tipos de fluidos aquosos: fluidos aquosos com alta temperatura de homogeneização (Th), que estariam relacionados com os fluidos mineralizantes, pois guardam uma associação espacial e textural com inclusões de  $\text{CO}_2$  e de  $\text{H}_2\text{O-CO}_2$ , e que se encontram em planos subparalelos às paredes dos veios, registrando o crescimento destes; e fluido aquoso, de baixa temperatura de homogeneização (Th), temperatura de eutético (Te) bastante negativa e salinidade variável. Segundo os autores, os planos aos quais se associam as inclusões portadoras desses fluidos seriam tardios, formando altos ângulos com as paredes dos veios.

Portanto, não estariam vinculados com a deposição do ouro, podendo ser correlacionados à mistura derivada da percolação, em profundidade na crosta, de água meteórica e salmouras mais jovens.

No caso do depósito de Salamangone, os resultados microtermométricos revelaram a presença de sistemas de fluidos de natureza aquossalina, de baixa Th, salinidades variáveis, predominantemente baixas, e Te muito negativa. Não se verificou a associação com inclusões fluidas do tipo carbônica e aquocarbônica. Encontram-se sempre condicionados a microfraturas seladas, refletindo os processos de deformação, que atuaram nos veios de quartzo. Os parâmetros caracterizados, até o



**Figura 9** - A) Estrutura do tipo núcleo-borda (*core-mantle*), observando-se relictos de quartzo com extinção ondulante, entremeados com grãos de quartzo recristalizados; B) Microfraturas transgranulares, que atravessam os limites dos grãos de quartzo, invadindo núcleos e zonas recristalizadas; C) Inclusões fluidas aquossalinas, do sistema  $\text{LiCl}-\text{CaCl}_2-\text{KCl}-\text{MgCl}_2-\text{H}_2\text{O}$  (Grupo 1, amostra SL-04), ao longo de microfratura selada de veio de quartzo mineralizado; D) Detalhe de trilha de inclusões fluidas da fotomicrografia C; E) Inclusões fluidas aquossalinas, do sistema  $\text{CaCl}_2-\text{KCl}-\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  (Grupo 3, amostra SLP-17), ao longo de microfratura selada de veio de quartzo mineralizado. Destacam-se suas características bifásicas ( $\text{H}_2\text{O}$  líquido +  $\text{H}_2\text{O}$  vapor) e formas irregulares; F) Inclusões fluidas aquossalinas, do sistema  $\text{CaCl}_2-\text{KCl}-\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  (Grupo 1, amostra SHN-06), ao longo de microfratura selada de quartzo estéril.

momento, sugerem uma provável relação destes sistemas com fluidos tardios, desvinculados daqueles responsáveis pela mineralização, que não foram preservados.

A definição das orientações dos microfraturamentos aos quais se associam as inclusões fluidas e a tentativa de relação com os processos de deformações, que incidiram nos veios de quartzo, que tornam complexa a interpretação dos resultados obtidos, fazem parte de uma segunda fase de estudos. Para tanto, serão utilizadas seções orientadas, fato fundamen-

tal à definição da direção dos planos de inclusões fluidas, identificação dos sistemas de microfraturamentos e do seu relacionamento com o cisalhamento regional. Além disso, a geração de mais dados microtermométricos deverá auxiliar na melhor caracterização dos diferentes sistemas aquossalinos investigados e no provável reconhecimento de inclusões de  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ , até o momento não identificadas. Todos esses fatores serão de grande importância na compreensão da natureza dos fluidos mineralizantes e das condi-

ções de deposição do ouro, no depósito de Salamangone.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP, pelo subsídio dado para o desenvolvimento dos estudos laboratoriais, através do Projeto de auxílio à pesquisa, Processo nº 96/3942-0. Rosa M.S. Bello agradece, também, ao CNPq, pelo auxílio prestado através de Bolsa de Pesquisa, Processo nº 303872/85-3 (NV).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M. (1978) Evolução dos Cratons Amazônico e do São Francisco comparada com a de seus homólogos do hemisfério norte. In: Congr. Bras. Geol., 30, Recife. SBG, Anais, 6:2393-2407.
- BODNAR, R. (1998) Additional discussion of apparent low temperature observations that was held in February 1998. <http://www.geology.wisc.edu/~pbrown/loweutec2.html>.
- BORISENKO, A.S. (1978) Study of the salt composition of solutions of gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method. Soviet Geology and Geophysics, 18:11-19.
- BOULLIER, A.M.; FIRDAOUS, K.; ROBERT, F. (1998) On the significance of aqueous fluid inclusions in gold-bearing quartz veins deposits from the southeastern Abitibi subprovince (Quebec, Canada). Econ. Geol., 93:216-223.
- BROWN, P.E. (1989) FLINCOR. A fluid inclusion data reduction and exploration program (abstr.). In: Second Biennial Pan-American conference on research on fluid inclusions. Program with Abstracts, 14.
- BURRUSS, R. (1997) Short discussion of apparent low eutetic temperature observations that was held during June 1997. <http://www.geology.wisc.edu/~pbrown/loweutec.html>
- BURRUSS, R. (1998) Additional discussion of apparent low temperature observations that was held in February 1998. <http://www.geology.wisc.edu/~pbrown/loweutec2.html>
- CASSIDY, K.F.; GROVES, D.I.; MCNAUGHATON, N.J. (1998) Late archean granitoid-hosted lode-gold deposits, Yilgarn craton, Western Australia: Deposits characteristics, crustal architecture and implication for ore genesis. Ore Geol. Reviews, 13:65-102.
- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J.R. (1974) Two Contrasting Granite Type. Pacific Geology, 8:173-174.
- CHOUBERT, B. (1974) Le precambrian de guyenes. Memoire du BRGM. Paris, II:81-211.
- COLEMAN, R.G. & PETERMAN, Z.E. (1975) Oceanic plagiogranite. J. Geophys. Res., 80(8):1099-1108.
- COLEMAN, R.G. & DONATO, M.M. (1979) Oceanic plagiogranite revisited. In: F. BARKER (Ed.). Trondhjemites, dacites and related rocks (Developments in Petrology 6) p.149-168.
- CRAWFORD, M.L. (1981) Phase equilibria in aqueous fluid. In: L.S. HOLLISTER & M.L. CRAWFORD (Eds.) Fluid Inclusions: applications to petrology. Calgary, Miner. Assoc. Canada, Short Course, Handbook, 6:75-100.
- DAVIS, D.W.; LOWENSTEIN, T.K.; SPENCER, R.J. (1990) Melting behavior of fluid inclusions in laboratory – grown halite crystals in the systems  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NaCl}-\text{MgCl}_2-\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{NaCl}-\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ . Geoch. Cosmoch. Acta, 54(3):591-602.
- DOWLING, K. & MORRISON, G. (1989) Application of quartz textures to the classification of gold deposits using North Queensland examples. Econ. Geol. Monograph, 6:342-355.
- DRURY, M. & URAI, J.L. (1990) Deformation-related recrystallization processes. Tectonophysics, 172:235-253.
- GOLDSTEIN, R.H. & REYNOLDS, T.J. (1994) Systematic of fluid inclusions in diagenetic minerals. Short course 31. SEPM (Soc. Sedim. Geol.). 199p.

- HOLLISTER, L.S. (1990) Enrichment of CO<sub>2</sub> in fluid inclusions in quartz by removal of H<sub>2</sub>O during crystal-plastic deformation. *J. Struct. Geol.*, **12**(7):895-901.
- JOHNSON, E.L. & HOLLISTER, L.S. (1995) Syndeformational fluid trapping in quartz: determining from fluid inclusions and the formation of pure CO<sub>2</sub> fluid inclusions during grain-boundary migration. *J. Metam. Geol.*, **13**:239-249.
- KERRICH, R. (1976) Some effects of tectonic recrystallization on fluid inclusions in vein quartz. *Contr. Mineral. Petrol.*, **59**(2):195-202.
- LIMA, M.I.C.; ISSLER, R.S.; ANDRADE, A.R.F.; MONTALVÃO, R.M.G.; GUIMARÃES, G.; SILVA G.G.; (1974) Geologia da Folha SA-22 Belém. In: Brasil, DNPM, Projeto RADAM. Rio de Janeiro (Levantamento de Recursos Naturais, 5).
- LIMA, M.I.C.; BEZERRA, P.E.L.; ARAÚJO, H.J.T. (1991) Sistematização da geologia do Amapá. In: Simp. Geol. Amaz., 3, Belém. SBG, Anais, p.322-335.
- MCKINSTRY, H.E. & OHLE, E.L. (1949) Ribbon structure in gold quartz veins. *Econ. Geol.*, **44**:87-109.
- PASSCHIER, C.W. & TROUW, R.A.J. (1996) Microtectonics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 289p.
- PEARCE, J.A.; HARRIS, N.B.W; TINDLE, A.C. (1984) Trace Elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, **25**:956-983.
- PITCHER, W.S. (1983) Granite type and tectonic environment. In: K. HUS (Ed.) Mountain Building Process. London, Academic Press, p.19-40.
- PITCHER, W.S. (1995) The Nature and Origin of Granite. Blackie Academic & Professional, New York, 321p.
- ROEDDER, E. (1984) Fluid Inclusions. Mineralogical Society of America. Reviews in Mineralogy 12, 644 p.
- TEIXEIRA, W.; TASSINARI, C.C.G.; CORDANI, U.G.; KAWASHITA, K. (1989) A review of the geochronology of the Amazonian Craton: tectonic implication. *Prec. Res.*, **42**:213-227.
- TERRACONSULT, A.G. (1986) Mineração Novo Astro S.A., Amapá Exploration Project. Final Report.
- VEARNCOMBE, J.R. (1993) Quartz vein morphology and implications for formation depth and classification of Archaean gold-vein deposits. *Ore Geol. Reviews*, **8**:407-424.
- WILKINS, R.W.T. & BARKAS, J.P. (1978) Fluid inclusions, deformation and recrystallization in granite tectonites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **65**:293-299.
- YARDLEY, B. (1997) Short discussion of apparent low eutectic temperature observations that was held during June 1997. <http://www.geology.wisc.edu/~pbrown/loweutec.html>