

# INCLUSÕES FLUIDAS DO MACIÇO GRANÍTICO ANTÔNIO VICENTE, SUITE INTRUSIVA VELHO GUILHERME, PROVÍNCIA ESTANÍFERA DO SUL DO PARÁ.

NILSON PINTO TEIXEIRA<sup>1</sup>, ROSA MARIA DA SILVEIRA BELLO<sup>2</sup> & JORGE SILVA BETTENCOURT<sup>2</sup>

**ABSTRACT** FLUID INCLUSIONS OF THE ANTÔNIO VICENTE GRANITIC MASSIF, VELHO GUILHERME INTRUSIVE SUITE, SOUTH PARÁ TIN-PROVINCE Eight quartz aqueous saline fluid inclusion groups occur in granites rocks and greisens of the Antônio Vicente massif, Velho Guilherme Intrusive Suite (South Pará Tin Province - Brazil). They comprise: two-phase, three-phase and multi-phase aqueous inclusions, at room temperature, with occasional halite crystals and other solid phases. Ice melting temperatures of the inclusions vary from -2.2°C to -57.0°C, demonstrating the presence of diluted and highly saline fluids. The initial composition of Group 1 (Na+K+Fe+Cl, and Sn) hydrothermal fluid evolved towards Na + K + Ca + Al  $\pm$  Fe<sup>2+</sup> fluids (Groups 2 and 3), Na+Fe<sup>2+</sup>+Cl  $\pm$  K  $\pm$  Fe<sup>3+</sup> (Group 4), Li + K + Ca + Na + Cl (Groups 5 and 6), Na + K + Ca + Fe<sup>2+</sup> + Cl (Group 7), and Na + K + Ca + Cl  $\pm$  Al (Group 8). Fluorine is always present in all groups and the suggested fluid evolution is mainly ascribed to the late to post-magmatic hydrothermal alteration, and changes in chemical parameters that affected the granites. The observed low homogenization temperatures (Th<sub>total</sub>), from 396.6°C (Group 1) to 95.6°C and 123.8°C (Groups 7 and 8) reflect the greisenization and also the following phases of alteration culminating with an argillic stage. The compositional variation and the scattered nature of the Th<sub>total</sub> values are consequence of variations in the saline fluid compositions during the later to postmagmatic alterations stage, mainly of more low temperature, since oxygen isotope study discarded the hypothesis of mixing with fluids of out of the system. A alternative hypothesis to be considered are modifications of the fluid inclusions due to intra-crystalline quartz deformation.

**Keywords:** fluid inclusions, greisen, granites, Antônio Vicente.

**RESUMO** Oito grupos de inclusões fluidas aquossalinas ocorrem em quartzo de granitos e de greisen associado pertencentes ao maciço Antonio Vicente, Suite Intrusiva Velho Guilherme (Província Estanífera do Sul do Pará - Brasil). Trata-se de inclusões bifásicas, trifásicas a multifásicas, à temperatura ambiente, constituídas por soluções aquosas salinas, podendo conter cristais de halita e fases sólidas ocasionais.

As temperaturas de fusão do gelo (-2,2°C a -57,0°C) mostram, em intervalo contínuo, fluidos desde diluídos até altamente salinos, os últimos constatados pela presença da halita. A composição inicial dos fluidos hidrotermais (Na-K-Fe-Cl e, possivelmente Sn<sup>2+</sup> ou Sn<sup>4+</sup>), representada pelas inclusões do grupo 1, evoluiu para Na-K-Ca-Al-Cl  $\pm$  Fe<sup>2+</sup> (grupos 2 e 3), Na-Fe<sup>2+</sup>-Cl  $\pm$  K  $\pm$  Fe<sup>3+</sup> (grupo 4), Li-K-Ca-Na-Cl (grupos 5 e 6), Na-K-Ca-Fe<sup>2+</sup>-Cl (grupo 7) e Na-K-Ca-Cl  $\pm$  Al (grupo 8), em todos os casos possivelmente com fluor. A evolução sugerida deve-se, principalmente, a alterações tardi a pós-magmáticas das rochas do maciço. As baixas Th<sub>total</sub> de 396,6°C (grupo 1) a 95,6°C/123,8°C (grupos 7 e 8) refletem a greisenização e as fases de alteração posteriores que culminam com a argilização.

As variações composicionais e a dispersão de valores de Th<sub>total</sub> decorreram de variações na composição dos fluidos salinos durante os estágios de alterações tardi a pós-magmáticas, principalmente de mais baixa temperatura, já que estudos de isótopos de oxigênio descartaram a hipótese de mistura com fluidos externos ao sistema. Uma hipótese alternativa a ser considerada refere-se a modificações nas inclusões originais devido a deformações intracristalinas dos cristais de quartzo estudados.

**Palavras-chave:** inclusões fluidas, greisen, granito, Antônio Vicente, cassiterita.

**INTRODUÇÃO** O maciço granítico Antônio Vicente pertence à Suite Intrusiva Velho Guilherme (CPRM/DNPM 1991) e faz parte da Província Estanífera do Sul do Pará (Abreu e Ramos 1974). Aflora na região sul-sudeste do Estado do Pará (Fig. 1), na extremidade oeste da serra dos Carajás, aproximadamente 50 km a noroeste da Cidade de São Félix do Xingu. Apresenta forma amebóide e ocupa uma área eqüivalente a 600 km<sup>2</sup>. É intrusivo a norte em rochas do Complexo Xingu, do Grupo São Sebastião e da Formação Sobreiro (Grupo Uatumã), a nordeste em rochas do Grupo São Sebastião, a leste em rochas do Complexo Xingu, a sudeste e sul em rochas das Formações Sobreiro e Iriri (Grupo Uatumã) e a oeste e noroeste no Granito Parauari (Teixeira 1999). É anorogênico, tem caráter hololeucocrático a leucocrático, composição sienoa monzogranítica, com termos álcali-feldspato graníticos subordinados. Foi afetado, em diferentes graus, por alterações tardi a pós-magmáticas e hospeda mineralizações de Sn e outros metais (Ta, Nb, Zr, Y, etc). Tem natureza subalcalina, é peraluminoso

a metaluminoso, de afinidade tectonomagmática intra-placa e assemelha-se aos granitos do tipo-A, do sub-grupo-A<sub>2</sub> (Teixeira 1999).

Estudos, com diferentes enfoques, acerca do maciço têm sido realizados, destacando-se os de Dall'Agnol (1980), Teixeira e Dall'Agnol (1991), Teixeira et al. (1994), Teixeira et al. (1998) e Teixeira (1999). Neste trabalho apresenta-se o resultado do estudo das inclusões fluidas em quartzo da primeira fase de cristalização dos granitos (quartzo 1), presente em greisens a eles associados. O estudo é de caráter preliminar e representa um dos primeiros efetuados em granitos e fases minerais de sistemas mineralizados da Amazônia Oriental, antecipado apenas por Pinho (inédito) e Rios (1991, 1995). Neste trabalho são caracterizados os fluidos envolvidos (composições, salinidades e densidades), estabelecendo-se, ainda, sua história evolutiva preliminar.

**CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO** Teixeira (1999) in-

1 - Centro de Geociências - Universidade Federal do Pará, Caixa Postal 1.611, CEP 66075-110, Belém, PA, noslin@ufpa.br

2 - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, C. P. 11.348, CEP 05422-970, São Paulo, SP, rosabello@uol.com.br, jsbetten@usp.br



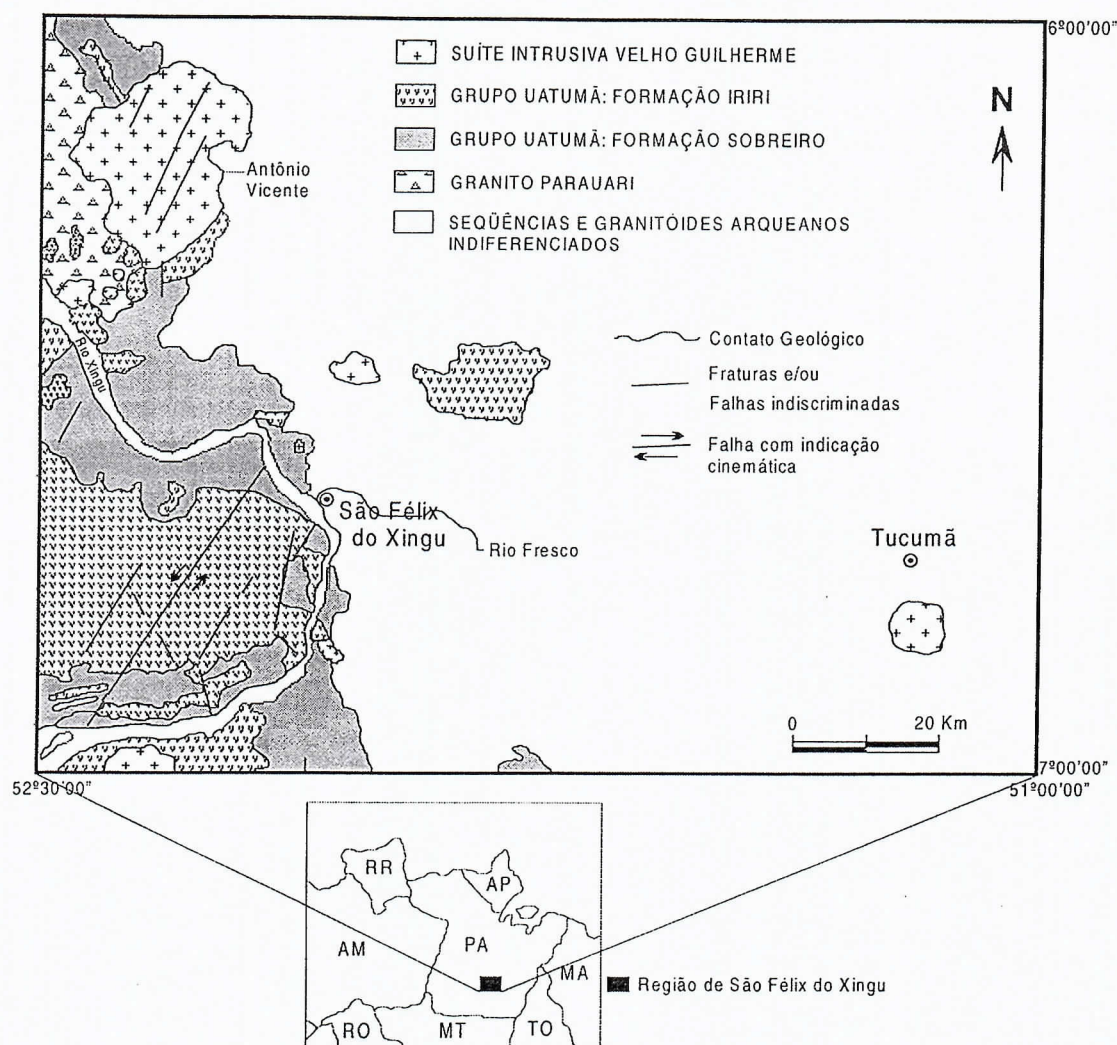


Figura 1 - Mapa geológico simplificado da região de São Félix do Xingu (Folha SB-22-Y-B, São Félix do Xingu) mostrando a localização do maciço granítico Antônio Vicente. Modificado de CPRM/DNPM, 1997.

Tabela 1 - Principais características petrográficas das fácies graníticas e dos greisens estudados do maciço Antônio Vicente.

Fácies Graníticas	Minerais Essenciais (% modal)	Minerais Varietais (% modal)	Minerais Acessórios Primários	Minerais Secundários	Estilo de Mineralização	Associação Mineral Correlata
BASMG	*quartzo (22-38) *plagioclásio(Ab/Olig a And) (13-44) *feldspato potássico (microclina pertítica) (20-53)	*Al-hastingsítica a Fe-edenita (2-13) *biotita (<1-6)	*minerais opacos *apatita *titanita *zircão *allanita	sericita, muscovita, clorita, epidoto, fluorita, carbonato, feldspato potássico (microclina pertítica), albita, minerais opacos, quartzo, argilo-minerais	ausente	ausentes
BSG	*quartzo (21-51) *plagioclásio(Ab/Olig) (9-29) *feldspato potássico (microclina pertítica) (21-60)	*biotita (<1-12)	*minerais opacos *apatita *zircão	sericita, muscovita, clorita, epidoto, fluorita, feldspato potássico(microclina pertítica), albita, topázio, allanita, monazita, minerais opacos, quartzo, argilo-minerais	ausente	ausentes
BSGIA	*quartzo (25-44) *plagioclásio(Ab/Olig) (10-28) *feldspato potássico (microclina pertítica) (23-49)	*biotita (<1-2)	*minerais opacos *apatita *zircão	sericita, muscovita, clorita, epidoto, fluorita, feldspato potássico (microclina pertítica), albita, topázio, cassiterita, minerais opacos, quartzo, argilo-minerais	disseminada	cassiterita, fluorita e topázio
CSMQGs	*quartzo (56-62) *muscovita (13-17) *siderofilita (12-17) *clorita (3-12)		biotita, zircão, minerais opacos	monazita, fluorita, topázio, cassiterita	veios	fluorita
					disseminada	cassiterita, fluorita e topázio



dividualiza quatro domínios petrográficos principais no maciço Antônio Vicente (Fig. 2), tendo sido selecionadas para este estudo amostras do domínio 1, fácies biotita-anfibólio sieno a monzogranito (BASM), e do domínio 3, fácies biotita sienogranito (BSG), biotita sienogranito intensamente alterado (BSGIA) e clorita-siderofilita-muscovita-quartzo greisen (CMSQGs) associado. Na tabela 1, são resumidas as principais características petrográficas dessas fácies.

A fácies BASM é um diferenciado magmático relativamente menos evoluído e pouco afetado por alterações tardi a pós-magmáticas. A fácies BSG é mais evoluída e foi afetada, em diferentes graus, por alterações tardi a pós-magmáticas, mais expressivas na facie BSGIA; contém greisens associados.

As fácies BASM e BSG, embora pouco afetadas por alterações tardi a pós-magmáticas, apresentam algumas alterações importantes (Teixeira 1999). O plagioclásio, transformou-se em sericita  $\pm$  muscovita  $\pm$  clorita  $\pm$  fluorita  $\pm$  epidoto  $\pm$  carbonato  $\pm$  topázio, que predominam nas porções mais centrais dos cristais, com carbonato predominante na fácies menos diferenciada (BASM), e o topázio na fácies mais evoluída (BSG). Também são comuns a albitização parcial de feldspato potássico e, subordinadamente, de plagioclásio, e microclínização do último. O anfibólio (BASM) – Al-hastingsita a Al-ferro-

edenita (Teixeira 1999) – alterou-se para biotita  $\pm$  opacos  $\pm$  titanita  $\pm$  allanita  $\pm$  quartzo. A biotita está parcialmente cloritizada, e, sob alteração mais intensa, desenvolveram-se, ao longo de seus planos de clivagem, epidoto, quartzo, fluorita, muscovita e opacos (BASM) e epidoto, allanita, quartzo, opacos e fluorita (BSG). A biotita é relativamente rica em  $Al^{3+}$ , contendo  $Li^+$  e razões  $Fe/Fe+Mg = 0,85$  (Teixeira 1999).

Em geral, na fácies BSGIA ocorrem as mesmas alterações da fácies BSG, porém com maior intensidade. Assim, nas rochas mais intensamente alteradas são bastante elevadas as porcentagens modais de microclina, albita, sericita, muscovita, fluorita, topázio e cassiterita associada à muscovita, clorita e fluorita.

Em todas as fácies, nos estágios finais de alterações, formaram-se argilo-minerais (provavelmente caolinita) a partir dos feldspatos potássicos, como nuvens superpostas (Teixeira 1999).

Os greisens são corpos tabulares, alojados em fraturas ou falhas da fácies BSG, ou ocorrem como manchas formadas a partir da alteração de partes dessa fácies, onde podem representar estágios avançados da alteração da mesma. As amostras de CSMQGs, consistem de quartzo, muscovita, siderofilita, clorita e restos de biotita, subordinadamente zircão, opacos, cassite-

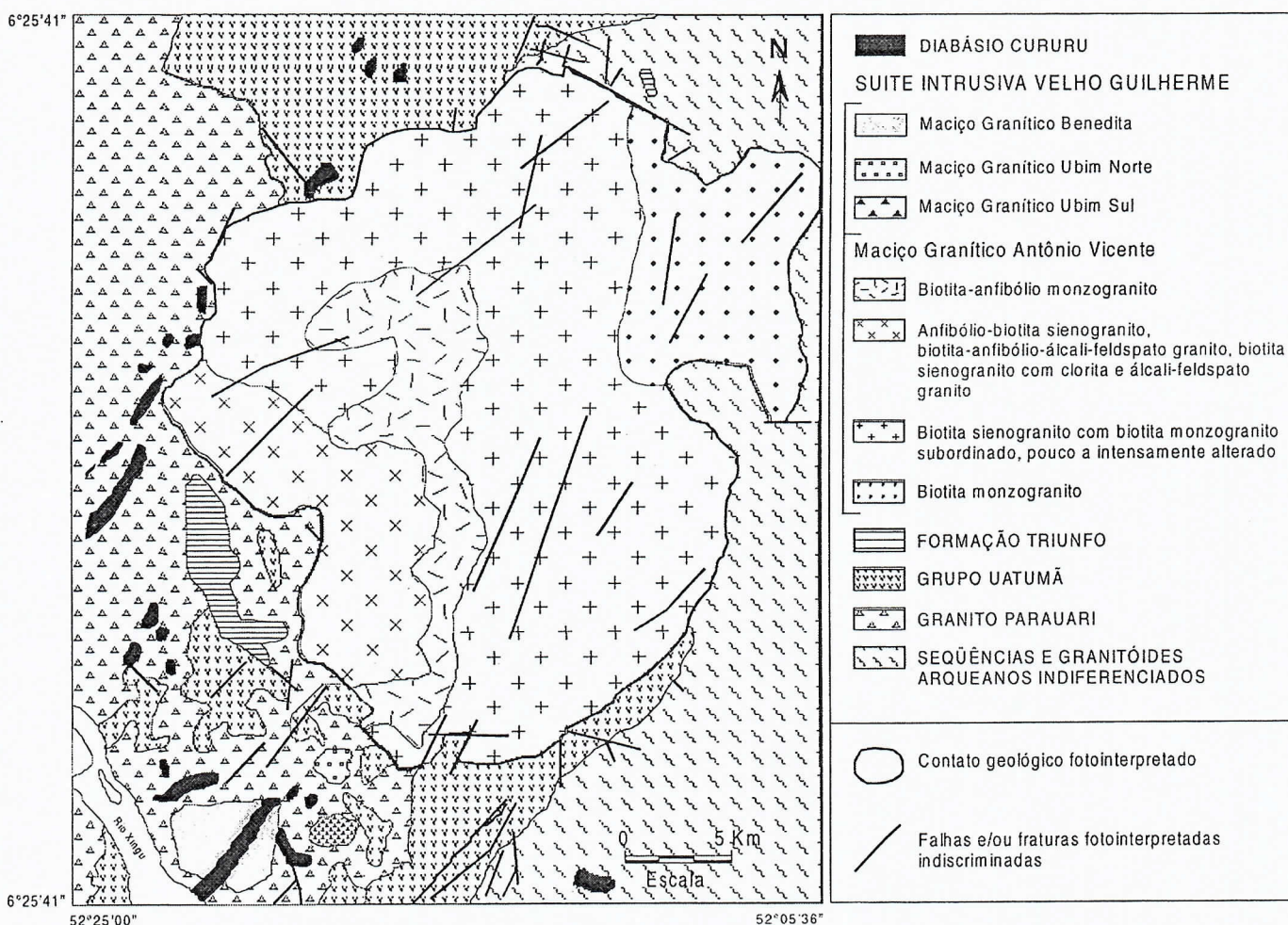


Figura 2 - Mapa geológico da área de ocorrência do maciço granítico Antônio Vicente, mostrando os principais domínios petrográficos e fácies (Teixeira & Dall'Agnol 1991)



rita, fluorita, monazita e topázio. A cassiterita alcança conteúdos relativamente significativos em certas amostras (até 1% modal) e associa-se à clorita.

**INCLUSÕES FLUIDAS (IFs)** A importância do estudo das IFs, principalmente em relação à gênese de depósitos minerais, tem sido enfatizada pelo número cada vez mais expressivo de trabalhos publicados sobre o assunto. Esses trabalhos mostram que as IFs são importantes para o estabelecimento de modelos genéticos de muitos depósitos, pois permitem caracterizar os fluidos envolvidos nos processos formadores de rochas e minerais associados. Também auxiliam, muitas vezes, na determinação das condições de P e T durante a cristalização dos minerais hospedeiros e no estabelecimento da evolução das soluções.

**Métodos** Os estudos das IFs foram efetuados no Laboratório de Microtermometria do Departamento de Mineralogia e Geotectônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, iniciando-se com a petrografia, mapeamento e classificação dos diversos grupos de inclusões. Posteriormente, foram obtidos os dados microtermométricos utilizando-se a platina CHAIXMECA, modelo MTM-85, visando a caracterização dos fluidos, seus parâmetros físico-químicos e condições mínimas de aprisionamento (Roedder 1984, Shepherd *et al* 1985).

**Tipos, distribuição e natureza das inclusões fluidas** As análises microtermométricas envolveram um total de 257 IFs em 10 amostra de quartzo 1, presentes nos granitos (BASMG, BSG e BSGIA), e no greisen (CSMQGs). Neste último caso, a fase analisada corresponde ao quartzo 1 herdado do granito que originou o greisen (BSG). Selecionou-se o quartzo 1 em função

das dimensões e transparência dos cristais, das características óticas das IFs e por apresentar feições indicativas de conter registros de várias etapas de evolução das soluções. Os cristais são anédricos, de granulação grossa (> 5mm), geralmente fraturados, exibindo extinção ondulante moderada à forte e, também, sub-grãos de deformação (Teixeira 1999).

Foram investigadas principalmente as inclusões de distribuição aleatória, que ocorrem em agrupamentos ou isoladamente, com feições indicativas de origem primária, de acordo com os princípios de Roedder (1984), mas que podem ter sido reequilibradas durante os estágios de alteração. Em geral são inclusões bifásicas (L+V) e trifásicas a multifásicas (S+L+V), à temperatura ambiente, compostas por soluções aquosas salinas. Possuem morfologia variável, desde prismáticas (cristais negativos) até de contornos irregulares, em alguns casos com feições indicativas de *necking down*, e dimensões desde inferiores a 10µm até superiores a 30µm. Podem conter cristais de saturação de cor clara, com formas cúbicas (halita ou silvita) a alongadas (não identificados). Subordinadamente, ocorrem fases sólidas constituídas por minerais escuros, também não identificados devido às dimensões reduzidas.

Os dados microtermométricos revelaram a existência de oito grupos distintos de inclusões aquossalinas, com temperaturas eutéticas características, salinidade muito variável e temperatura de homogeneização, às vezes, com amplos intervalos (Tab.2). Para o cálculo da salinidade foi considerado o limite mínimo de  $T_{fg} = -20,8^{\circ}\text{C}$ , que representa a temperatura eutética do sistema puro  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  utilizado no programa FLINCOR (Brown 1989) que calcula esse parâmetro em equivalente à % em peso do NaCl. O limite superior da salinidade nem sempre pode ser determinado, pois nas inclusões mais salinas, com cristais de saturação, a determinação da

Amostras	Facies Graníticas	Grupos de IFs	Natureza	Sistemas Salinos	$\Delta T_E(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T_{fg}(^{\circ}\text{C})$	$\Delta T_{h_{total}}(^{\circ}\text{C})$	Salinidade (equivalente à % em peso do NaCl)	Densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
NN-AV-IN-5	CSMQGs	1	L + V L + V + S	**NaCl-KCl- H <sub>2</sub> O-(FeCl <sub>2</sub> )	-31,0 a -27,0	-23,6 a -11,3	179,8 a 396,6	>23,02-15,28	>1,07 - 0,75
IE-02 SL-7C-DT SL-2A-DT	BASMG BSG BSGIA	2	L + V L + V + S	*AlCl <sub>3</sub> -CaCl <sub>2</sub> - KCl-NaCl-H <sub>2</sub> O	-65,7 a -54,7	-43,2 a -2,9	98,6 a 250	>>23,02-4,70	>1,13 - 0,84
SL-2A-DT	BSGIA	3	L + V	***CaCl <sub>2</sub> -KCl- NaCl-H <sub>2</sub> O	-52,8 a -47,0	-21,9 a -6,9	98,6 a 220,3	≈23,02-9,45	≈1,13 - 0,90
SL-2A-DT	BSGIA	4	L + V	***FeCl <sub>2</sub> -NaCl- H <sub>2</sub> O	-37,6 a -34,1	-21,2 a -15,8	126,4 a 181,3	≈23,02-19,27	≈1,09 - 1,03
IE-02 SL-7C-DT	BASMG BSG	5	L + V L + V + S L	***LiCl-KCl- CaCl <sub>2</sub> -NaCl-H <sub>2</sub> O	-84,2 a -71,1	-46,7 a -13,2	119,0 a 192,1	>>23,02-17,08	>1,11 - 1,01
IE-02 SL-7C-DT NN-AV-IN-5	BASMG BSG CSMQGs	6	L + V + S	***LiCl-KCl- CaCl <sub>2</sub> -NaCl-?- H <sub>2</sub> O	-95,8 a -88,5	-57,0 a -27,3	116,3 a 147,0	>>>23,02	>1,12 - >1,09
SL-2A-DT	BSGIA	7	L + V	***FeCl <sub>2</sub> -NaCl- CaCl <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O	-46,4 a -39,1	-18,9 a -2,2	95,7 a 139,1	21,59-3,60	1,12 - 0,96
IE-02 SL-7C-DT	BASMG BSG	8	L + V L + V + S	*AlCl <sub>3</sub> -CaCl <sub>2</sub> - KCl-NaCl-LiCl- H <sub>2</sub> O	-69,9 a -66,1	-26,7 a -16,5	123,8 a 126,6	>23,02-19,82	>1,11 - 1,08

Tabela 2 - Resultados microtermométricos das inclusões fluidas em granitos e greisen do maciço Antônio Vicente. \*Linke (1958); \*\*Davis *et al.* (1990); \*\*\*Borisenko (1978).  $\Delta T_E(^{\circ}\text{C})$  = variação das temperaturas dos eutéticos;  $\Delta T_{fg}(^{\circ}\text{C})$  = variação das temperaturas de fusão do gelo;  $\Delta T_{h_{total}}(^{\circ}\text{C})$  = variação das temperaturas de homogeneização.



temperatura de dissolução desses sais foi dificultada pelas suas dimensões reduzidas.

**GRUPO 1** As IFs desse grupo são pouco frequentes ( $\approx 9,00\%$ ), tendo sido observadas apenas na amostra NN-AV-IN-5 do greisen (CSMQGs). À temperatura ambiente, são quase sempre bifásicas (L+V), e, subordinadamente trifásicas (L+V+S). A temperatura eutética (TE) varia de  $-31,0^{\circ}\text{C}$  a  $-27,0^{\circ}\text{C}$  e a de fusão do gelo (Tfg) de  $-23,6^{\circ}\text{C}$  a  $-11,3^{\circ}\text{C}$ , indicando salinidade intermediária a levemente elevada ( $>23,02-15,28$  equivalente à % em peso do NaCl, Tab. 2) e muito elevada (IFs com sólidos de saturação), e a temperatura de homogeneização total ( $Th_{total}$ ) para o líquido de  $179,8^{\circ}\text{C}$  a  $396,6^{\circ}\text{C}$  (Fig. 3a, b, c).

Existem na literatura valores de  $TE = -28,0^{\circ}\text{C}$ , nos sistemas NaCl-KCl- $H_2O$  (Davis et al. 1990) e NaCl- $H_2O$  (Davis et al. 1990 e Crawford 1981). Os valores não perfeitamente iguais aos referidos sugerem a presença de outros íons ( $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$  e  $Fe^{2+}$ ), que reduzem a TE (Borisenko 1978, Crawford 1981, Davis et al. 1990), ou mesmo de  $Sn^{2+}$  ou  $Sn^{4+}$ , uma vez que a cassiterita é relativamente abundante nessa rocha (até 1% modal), a qual também exibe os maiores teores de estanho (0,5% a 2,2%). No entanto, análises químicas de minerais e de rocha total (Teixeira 1999) mostram que o  $Mg^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  são muito reduzidos tanto nas fácies menos alteradas como nos greisens derivados e, por isso, esses elementos devem ter pouca influência na fase fluida. O intervalo de temperatura obtido é, portanto, indicativo de soluções compostas por NaCl-KCl- $H_2O$ , com a presença de  $Fe^{2+}$ ,  $Sn^{2+}/Sn^{4+}$  e, possivelmente, também do F<sup>-</sup>.

O  $Na^+$  e o  $K^+$  resultam da decomposição dos feldspatos pelas soluções ácidas durante a greisenização. A paragênese fluorita + topázio + muscovita + clorita + siderofilita, observada nas rochas mais alteradas e no greisen (Teixeira 1999), mostra a importância do fluor na mineralização de cassiterita e sugere a presença do mesmo na fase fluida. O  $Fe^{2+}$ , removido do granito pelas soluções ácidas responsáveis pela greisenização, teria sido, em parte, fixado no greisen, permanecendo o excesso junto a outros íons em solução. Isso é sugerido pela existência de um nítido *trend* de enriquecimento em  $FeO^*/FeO^*+MgO$  no sentido da fácies BSG, que originou o greisen, para mais intensamente alteradas (BSGIA), o qual é suavizado no sentido do CSQGs (Teixeira 1999).

**GRUPO 2** As IFs desse grupo são frequentes ( $\approx 24\%$ ) e ocorrem principalmente nas amostras IE-02 (BASM) e SL-2A-DT (BSGIA) e, localmente, na amostra SL-7C-DT (BSG). À temperatura ambiente são preferencialmente bifásicas (L+V) e, às vezes, trifásicas (L+V+S). A TE varia de  $-65,7^{\circ}\text{C}$  a  $-54,7^{\circ}\text{C}$ , Tfg de  $-43,2^{\circ}\text{C}$  a  $-2,9^{\circ}\text{C}$  (salinidades desde muito baixas até elevadas ( $>23,02-4,70$  equivalentes à % em peso de NaCl, Tab. 2), e  $Th_{total}$  para o estado líquido de  $98,6^{\circ}\text{C}$  a  $250,0^{\circ}\text{C}$  (Fig. 4a, b, c).

As TE para essas IFs indicam os sistemas  $AlCl_3-H_2O$  (Linke 1958, In Roedder 1984;  $TE = -55,0^{\circ}\text{C}$ ),

$CaCl_2-NaCl-H_2O$  (Borisenko 1978;  $TE = -55,0^{\circ}\text{C}$ ; Crawford 1981;  $TE = -52,0^{\circ}\text{C}$ ) e  $CaCl_2-KCl-NaCl-H_2O$  (Yanatieva 1946;  $TE = -55,0^{\circ}\text{C}$ ). Os valores de TE inferiores a  $-55,0^{\circ}\text{C}$  correspondem aos mesmos sistemas, porém com outros íons como  $Mg^{2+}$  e  $Mn^{2+}$  que rebaixam essas temperaturas (Crawford 1981). Assim, a composição mais aproximada deve corresponder a um sistema salino do tipo  $AlCl_3-CaCl_2-KCl-NaCl-H_2O$ , com

outros cátions.

O metassomatismo sódico e potássico explicariam a presença de  $K^+$  e  $Na^+$  nas soluções. As reações do anfibólio (fácies BASMG) ou descalcificação do plagioclásio teriam liberado o  $Ca^{2+}$ . O  $Al^{3+}$  poderia provir das alterações dos feldspatos e do anfibólio (fácies BASMG) e biotita (fácies BSG e BSGIA). Os

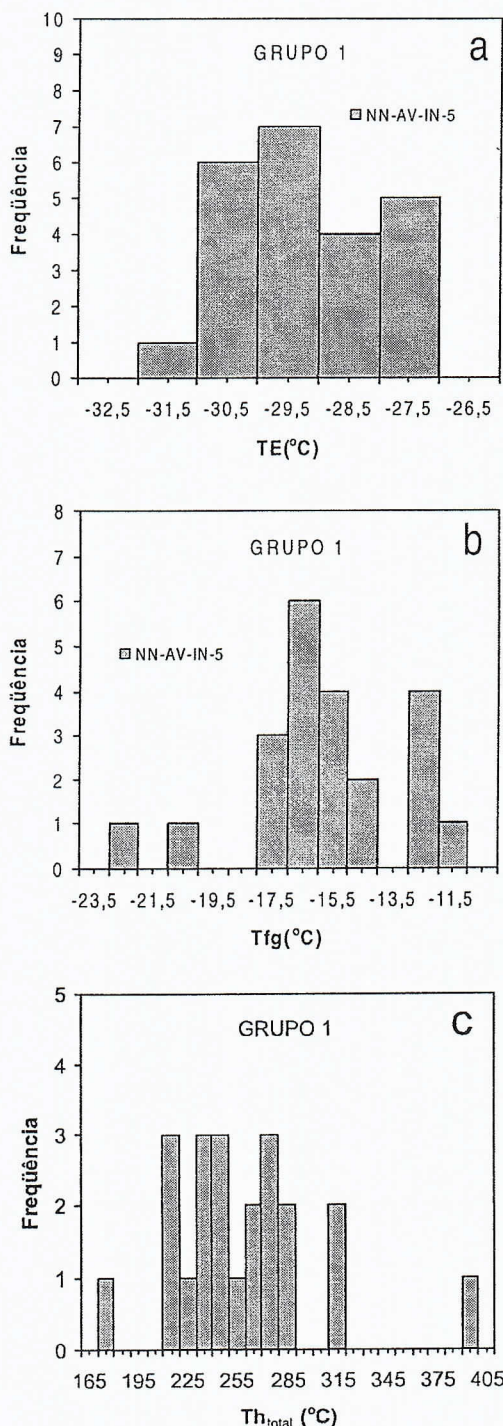


Figura 3 - Histogramas mostrando a variação de TE (a), Tfg (b) e  $Th_{total}$  (c) das IFs do Grupo 1 - amostra NN-AV-IN-5 (CSMQGs).



resultados das análises químicas (Teixeira 1999) mostram ainda a possibilidade da existência de  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{F}^-$  no fluido, derivados do anfibólio e da biotita, embora as TE relativas a sistemas com esses componentes não puderam ser detectadas, por terem sido rebaixadas devido à influência do  $\text{Al}^{3+}$  e do  $\text{Ca}^{2+}$ .

**GRUPO 3** As IFs desse grupo são pouco frequentes ( $\approx 6\%$ ), estando restritas à amostra SL-2A-DT (BSGIA). São essencialmente bifásicas (L+V), à temperatura ambiente. A TE varia

de  $-52,8^\circ\text{C}$  a  $-47,0^\circ\text{C}$ , Tfg de  $-21,9^\circ\text{C}$  a  $-6,9^\circ\text{C}$ , indicando salinidade baixa a levemente elevada ( $\approx 23,02$ -9,45 equivalentes à % em peso do NaCl, Tab. 2), e  $\text{Th}_{\text{total}}$  para o líquido, de  $98,6^\circ\text{C}$  a  $230,0^\circ\text{C}$  (Fig. 5a, b, c).

As TE indicam sistemas  $\text{CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  (Borisenko 1978; Crawford 1981; TE= $-49,8^\circ\text{C}$ ),  $\text{CaCl}_2\text{-KCl-H}_2\text{O}$  (Borisenko 1978; TE= $-50,5^\circ\text{C}$ ),  $\text{CaCl}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  (Crawford 1981; TE= $-52,0^\circ\text{C}$ ) ou, ainda,  $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$  (Linke 1965, In Roedder 1984; TE =  $-55,0^\circ\text{C}$ ), com outros cátions em solução (possivelmente o  $\text{Fe}^{2+}$ ), que poderiam ter modificado ligeiramente estas temperaturas. Portanto, o sistema correspondente seria constituído por  $\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$ , podendo conter  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  e, ainda,  $\text{F}^-$ . A presença desses íons é bastante provável por se tratarem de inclusões representativas de intensa alteração, com neoformação de quantidades importantes de minerais secundários ( $\approx 10\%$  modal). Assim,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{F}^-$  teriam sido liberados pela biotita, enquanto os íons  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  em solução derivariam de transformações do plagioclásio e feldspato potássico.

**GRUPO 4** Trata-se de IFs muito pouco frequentes ( $\approx 2,7\%$ ), restritas à amostra SL-2A-DT (BSGIA). São bifásicas (L+V) à temperatura ambiente. Suas TE variam de  $-37,6^\circ\text{C}$  a  $-34,1^\circ\text{C}$ , Tfg de  $-21,2^\circ\text{C}$  a  $-15,8^\circ\text{C}$ , indicativas de salinidades intermediárias a levemente elevadas ( $\approx 23,02$ -19,27 equivalentes à % em peso do NaCl, Tab. 2) e  $\text{Th}_{\text{total}}$  entre  $126,4^\circ\text{C}$  e  $181,3^\circ\text{C}$  (Fig. 6 a, b, c).

Os dados de TE são, segundo Borisenko (1978), compatíveis com os dos sistemas  $\text{NaCl-FeCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  (TE= $-37,0^\circ\text{C}$ ),  $\text{FeCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  (TE= $-35,0^\circ\text{C}$ ) e  $\text{FeCl}_3\text{-H}_2\text{O}$  (TE= $-36,5^\circ\text{C}$ ), especialmente os situados entre  $-37,0^\circ\text{C}$  e  $-35,0^\circ\text{C}$ . Esses resultados, aliados aos estudos petrográficos, indicam um sistema  $\text{NaCl-FeCl}_2\text{-FeCl}_3\text{(?)-H}_2\text{O}$ . A presença de  $\text{Fe}^{3+}$  no sistema, embora em quantidades reduzidas, é considerada pela ocorrência de biotita e clorita. A albitização mais intensa da fácies BSGIA, é coerente com a existência do  $\text{Na}^+$  em solução. A ausência de  $\text{Al}^{3+}$  pode ter resultado pelo seu consumo na formação do topázio e de outros minerais resultantes de alterações do plagioclásio (sericita, muscovita, clorita e epidoto) e da biotita (clorita, allanita e epidoto), os quais ocorrem em quantidade bastante superior ( $\approx 10\%$ ) em relação à fácies menos alterada ( $\approx 1\%$ , fácies BSG).

**GRUPO 5** São IFs frequentes ( $\approx 42\%$ ), porém restritas às amostras IE-02 (BASM) e SL-7C-DT (BSG). São bifásicas (L+V), à temperatura ambiente, embora IFs trifásicas (L+V+S) e monofásicas (L) ocorram, localmente. As TE variam de  $-84,2^\circ\text{C}$  a  $-71,1^\circ\text{C}$ , Tfg de  $-46,0^\circ\text{C}$  a  $-13,2^\circ\text{C}$ , evidenciando salinidades intermediárias a elevadas ( $> 23,02$ -17,08 equivalentes à % em peso do NaCl, Tab. 2), e as  $\text{Th}_{\text{total}}$  para o líquido, de  $119,0^\circ\text{C}$  a  $192,1^\circ\text{C}$  (Fig. 7 a, b, c).

As TE são indicativas dos sistemas  $\text{LiCl-KCl-H}_2\text{O}$ ,  $\text{LiCl-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ ,  $\text{LiCl-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  e  $\text{LiCl-H}_2\text{O}$  (Borisenko 1978). Trata-se, portanto, de uma variação do sistema  $\text{LiCl-H}_2\text{O}$ , pela presença de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , que tendem a reduzir as TE para valores inferiores a  $-78,0^\circ\text{C}$  (Borisenko 1978). Também não pode ser descartada a existência de  $\text{F}^-$  nas soluções. Esses íons devem ter sido lixiviados pelas alterações tardi a pós-magmáticas, tendo sido incorporados à fase aquosa. Assim, os feldspatos forneceram os íons  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$  e o plagioclásio (BASM) e/ou o anfibólio (BASM) liberaram o  $\text{Ca}^{2+}$ . A alteração do anfibólio e biotita explicam a presença do  $\text{Li}^+$ ,

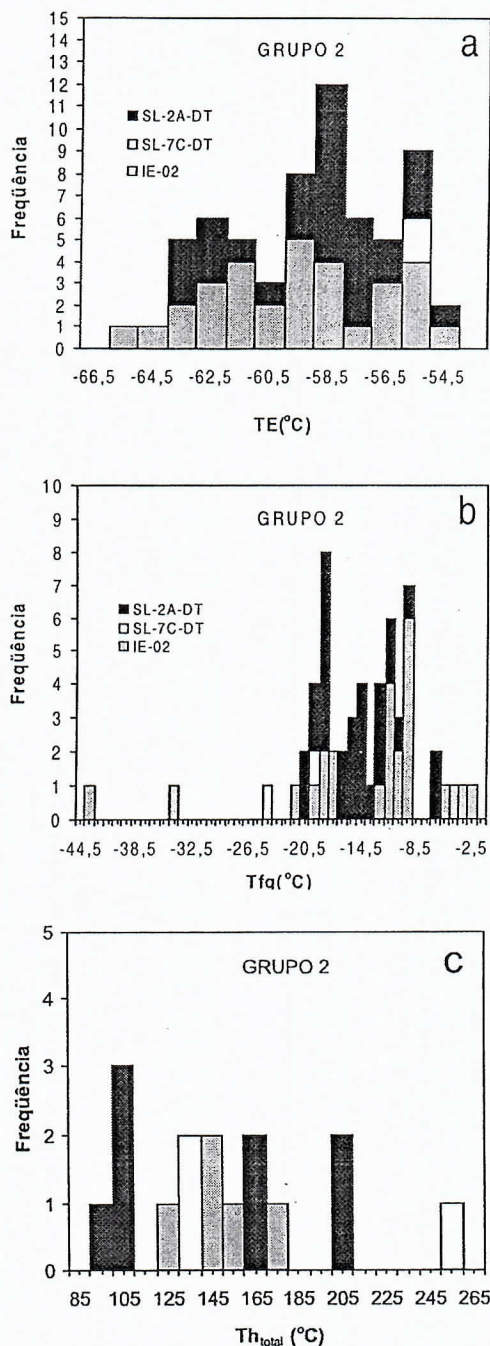


Figura 4 - Histogramas representativos da variação de TE (a), Tfg (b) e  $\text{Th}_{\text{total}}$  (c) das IFs do Grupo 2, das amostras IE-02 (BASM), SL-7C-DT (BSG) e SL-2A-DT (BSGIA).



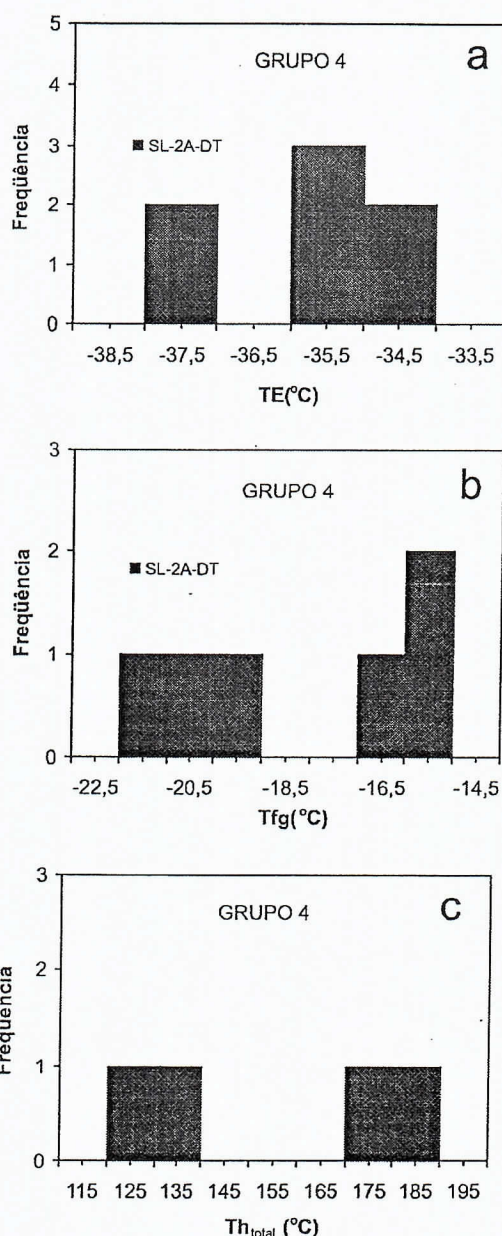
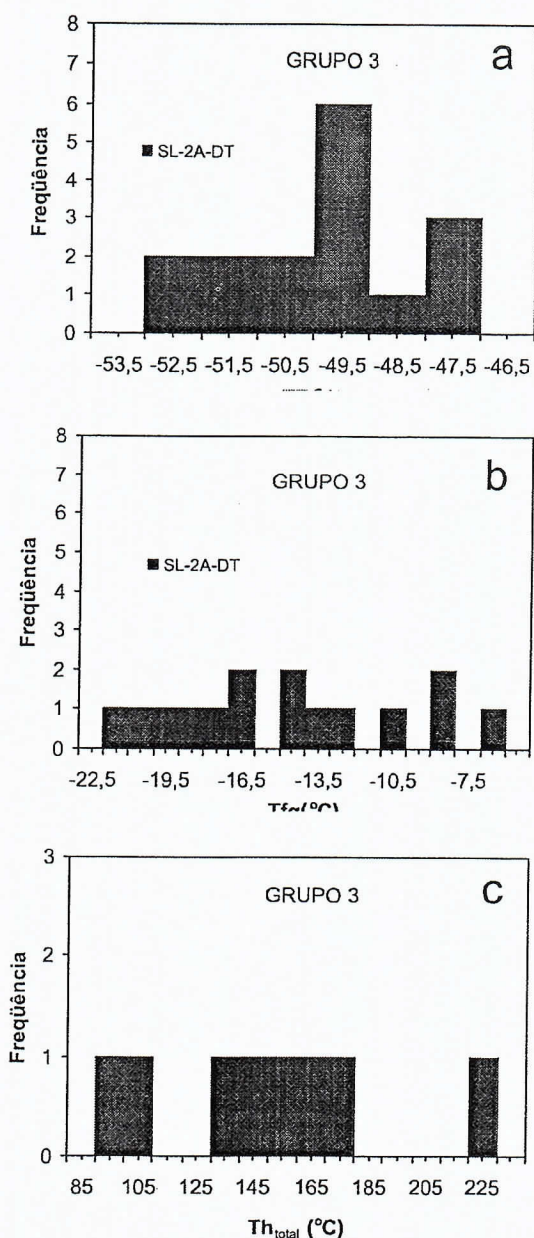


Figura 5 - Histogramas de variação de TE (a), Tfg (b) e  $Th_{total}$  (c), das IFs do grupo 3 - amostra SL-2A-DT (BSGIA).

Figura 6 - Histogramas mostrando os intervalos de variação de TE (a), Tfg (b) e  $Th_{total}$  (c), das IFs do grupo 4, da amostra SL-2A-DT (BSGIA).

o que é corroborado pelas concentrações de 0,23 a 0,63% de  $Li_2O$  na biotita (Teixeira 1999).

**GRUPO 6** São IFs pouco frequentes ( $\cong 3,5\%$ ) e ocorrem principalmente na fácies menos alterada BASMG (amostra IE-02), na fácies BSG (amostra SL-7C-DT) e no greisen (amostra NN-AV-IN-5). São comumente trifásicas, à temperatura ambiente, e constituídas por  $H_2O$  (L+V) e cristais de saturação, cujo comportamento durante a criometria (Roedder 1984) mostrou tratar-se de halita. Suas TE variam de  $-95,8^{\circ}C$  a  $-88,5^{\circ}C$ , as Tfg, de  $-57,0^{\circ}C$  a  $-27,3^{\circ}C$ , indicando salinidade elevada (Tab. 2), e as  $Th_{total}$ , para o líquido, de  $116,3^{\circ}C$  a  $147,0^{\circ}C$  (Fig. 8a, b, c).

De acordo com os dados experimentais apresentados por Borisenko (1978), valores de TE muito baixos ( $-78,0^{\circ}C$  e -

$74,8^{\circ}C$ ) indicam sistemas  $LiCl-KCl-H_2O$ ,  $LiCl-MgCl_2-H_2O$ ,  $LiCl-CaCl_2-H_2O$  e  $LiCl-H_2O$ . Os valores inferiores a  $-78,0^{\circ}C$ , que caracterizam esse grupo de IFs, evidenciam uma composição semelhante a qualquer um desses sistemas salinos, embora acompanhados de outros cátions que propiciaram um rebaixamento das TE.

Os baixos valores de TE também podem decorrer de metaestabilidade do sistema  $NaCl-CaCl_2-H_2O$ , com salinidade elevada (Goldstein e Reynolds 1994, Bakker 1997, Oakes 1997), ou mesmo de erros durante o monitoramento visual do processo, sendo o eutético confundido com a recristalização do gelo, principalmente em inclusões pequenas e de baixa salinidade (Burruss 1997, 1998, Bodnar 1998). Por outro lado, Roedder (1997), com base na observação de IFs com minerais de satu-



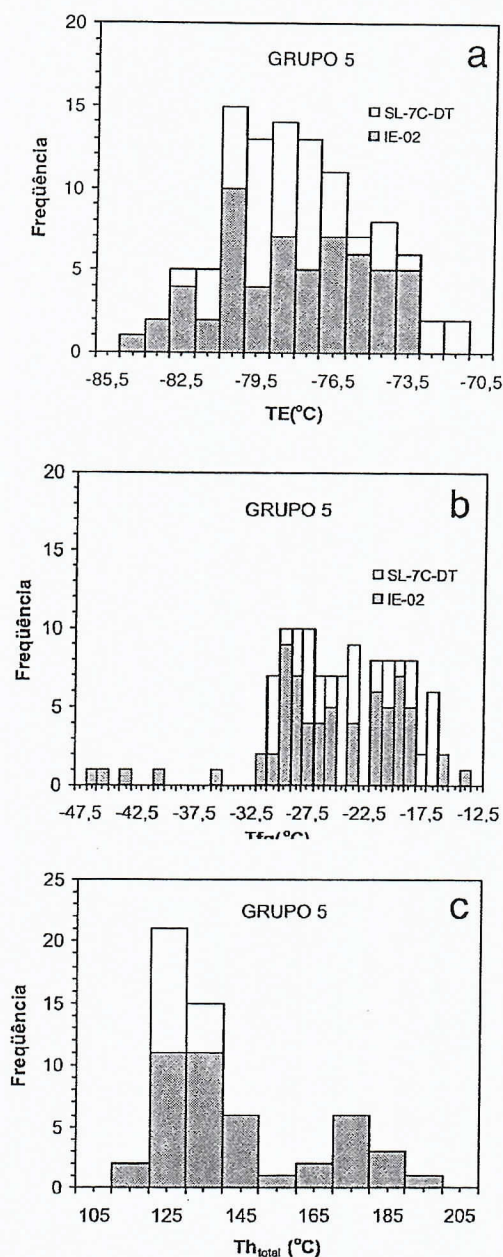


Figura 7 - Histogramas mostrando a variação de TE (a), Tfg (b) e Th<sub>total</sub> (c), das IFs do grupo 5, das amostras IE-02 (BASMG) e SL-7C-DT (BSG).

ração obscuros, considerou que não há razão para excluir qualquer elemento das soluções aprisionadas, e Burruss (1997) enfatizou que fluidos com essas características de TE podem exibir composições exóticas, experimentalmente ainda não bem documentadas.

As IFs deste grupo tem (Tab. 2) salinidade elevada (>>> 23,02 equivalente à % em peso do NaCl, Tab. 2) e suas dimensões propiciaram a observação do eutético. Portanto, os valores representam um sistema com a presença de Li<sup>+</sup> e outros íons, ou a metaestabilidade. Considerando a paragênese principal dos granitos estudados (Tab. 1), especialmente na fácies BASMG (IE-02), onde esse grupo de inclusões é mais abun-

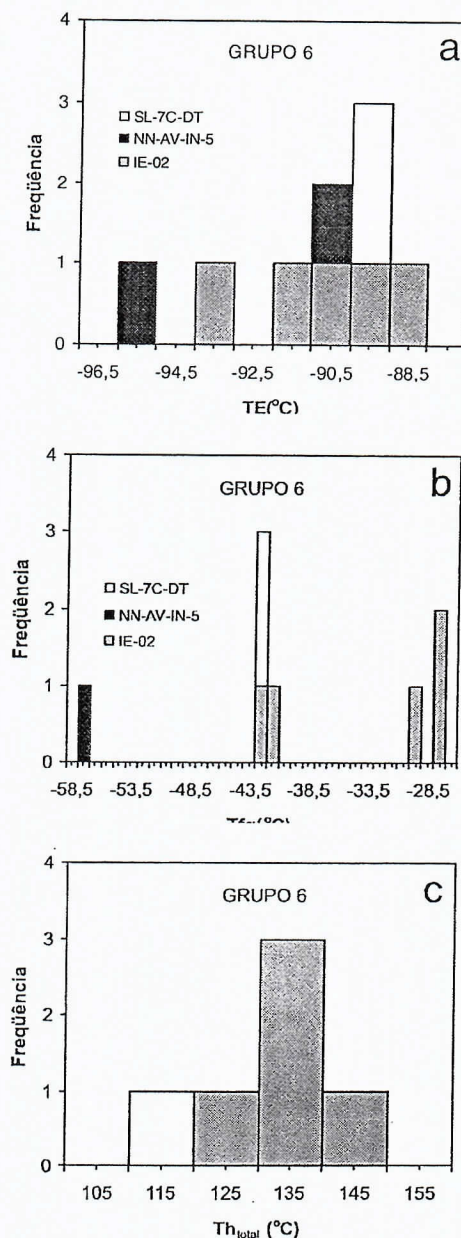


Figura 8 - Histogramas mostrando os intervalos de variação de TE (a), Tfg (b) e Th<sub>total</sub> (c), das IFs do grupo 6, das amostras IE-02 (BASMG), SL-7C-DT (BSG) e NN-AV-IN-5 (CSMQGs).

dante, o sistema salino LiCl-CaCl<sub>2</sub>-KCl-NaCl-H<sub>2</sub>O é o mais apropriado, não podendo ser descartada a existência de F<sup>-</sup> nas soluções.

**GRUPO 7** São Ifs pouco frequentes ( $\approx 10,5\%$ ) na amostra SL-2A-DT (fácies BSGIA). São predominantemente bifásicas (L+V), à temperatura ambiente. TE varia de -46,4°C até -39,1°C, Tfg de -18,9°C a -2,2°C, indicando salinidade baixa a intermediária (21,59-3,60 equivalente à % em peso do NaCl, Tab. 2) e Th<sub>total</sub>, para o líquido, de 95,7°C a 139,1°C (Fig. 9a,b,c).

Esses valores não tem correspondência na literatura, embo-



ra, por aproximação com dados experimentais, indiquem um sistema  $\text{NaCl-FeCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  ( $\text{TE} = -37,0^\circ\text{C}$ ) com outros cátions, como  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ , redutores de TE (Borisenko 1978). Nesse caso, a associação biotita, plagioclásio e feldspato potássico teria sido a principal fonte de íons lixiviados durante a alteração, muito intensa na amostra estudada, com o reequilíbrio do quartzo em condições de mais baixa temperatura.

**GRUPO 8** As IFs desse grupo são pouco frequentes ( $\cong 2,7\%$ ), tendo sido identificadas apenas nas amostras IE-02 (fácies BASMG) e SL-7C-DT (fácies BSG). São quase sempre bifásicas (L+V), à temperatura ambiente, e, subordinadamente trifásicas (L+V+S). As TE situam-se entre  $-69,9^\circ\text{C}$  e  $-66,1^\circ\text{C}$ , as Tfg variam de  $-26,7^\circ\text{C}$  e  $-16,5^\circ\text{C}$ , indicando salinidades intermediárias a pouco elevadas ( $> 23,02\text{-}19,82$  equivalentes à % em peso do NaCl, Tab. 2), as  $\text{Th}_{\text{total}}$  para o líquido, de  $123,8^\circ\text{C}$  a  $126,6^\circ\text{C}$ , representando as menores deste estudo (Fig. 10a, b, c).

As TE indicam a presença dos sistemas  $\text{AlCl}_3\text{-H}_2\text{O}$  (Linke 1958, in Roedder 1984;  $\text{TE} = -55,0^\circ\text{C}$ ) acompanhado de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ;  $\text{CaCl}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  (Borisenko 1978;  $\text{TE} = -55,0^\circ\text{C}$ ) possivelmente com  $\text{Li}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-H}_2\text{O}$  (Yanatieva 1946;  $\text{TE} = -55,0^\circ\text{C}$ ), com  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Li}^+$ . Como anfíbólio, biotita e feldspatos são as fases principais nas amostras estudadas, um sistema mais apropriado para este grupo de inclusões poderia ser  $\text{CaCl}_2\text{-KCl-NaCl-(AlCl}_3\text{-LiCl)-H}_2\text{O}$ , visto que aqueles minerais poderiam ter fornecido, por lixiviação, esses cátions para a solução aquosa.

Embora a quantidade de dados seja pequena, devido a escassez dessas inclusões, elas foram consideradas como um grupo distinto, uma vez que possuem eutéticos bem característicos e podem representar uma etapa significativa no processo de evolução dos fluidos.

**EVOLUÇÃO DOS FLUIDOS** Os baixos valores de  $\text{Th}_{\text{total}}$  obtidos em todos os grupos de IFs, mesmo representando temperaturas mínimas de aprisionamento, são interpretados como representativos das condições dos estágios de alterações tardia pós-magmáticas, que ocorreram a partir da greisenização até os processos finais de argilização. Os relativos ao estágio magmático são mais elevados e da ordem de  $600^\circ\text{C}$  (Teixeira 1999). Isso é corroborado pelos valores de temperatura de greisenização discutidos na literatura, situados entre  $330$  e  $470^\circ\text{C}$  (Scherba 1970). A evolução dos fluidos durante os estágios de alteração está registrada nas IFs do quartzo 1.

As Tabelas 2 e 3 mostram a gradativa variação composicional da fase aquosa das IFs, traduzida pelos distintos valores de TE situados entre  $-95,8^\circ\text{C}$  e  $-27,0^\circ\text{C}$ . A variação das TE dos distintos grupos de IFs decorrem de mudanças composicionais dos fluidos magmáticos originais, por reações com minerais pré-existent (Roedder 1984), durante os diversos estágios de alteração. Houve, assim, a desestabilização dos minerais primários, como anfíbólio (biotitização, cloritização), biotita (cloritização, muscovitização), feldspato potássico (albitização, muscovitização, argilização), plagioclásio (sericitização, muscovitização, microclinização, albitização), com lixiviação do  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  e, possivelmente, do  $\text{Sn}^{2+}$  e  $\text{Sn}^{4+}$ , entre outros, não podendo ser descartada a ocorrência do fluor.

A greisenização ocorre quando soluções ácidas, decorrentes de metassomatismo sódico e potássico precoces, com produção de HCl e/ou HF, interagem com rochas, removendo álcalis, Al

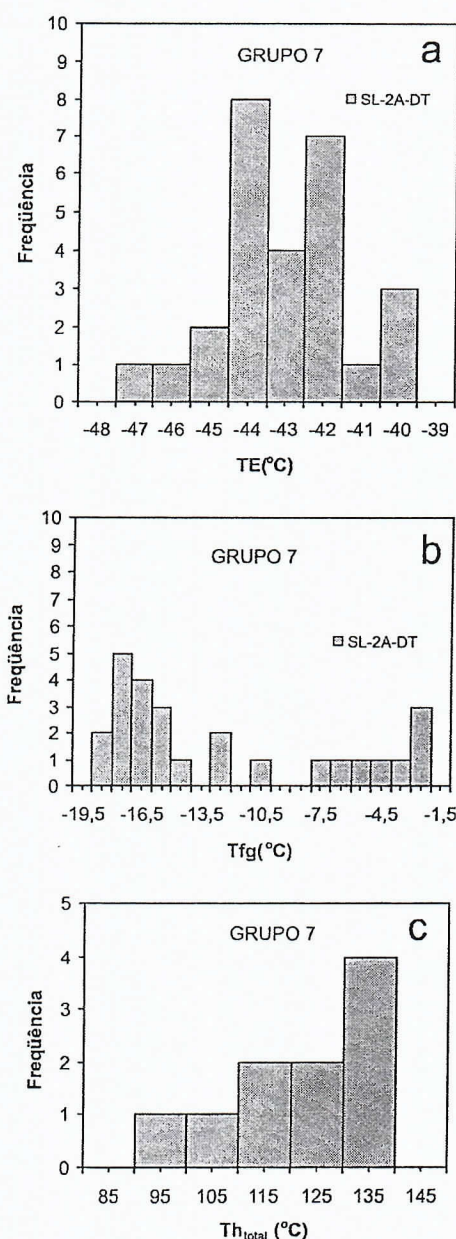


Figura 9 - Histogramas de variação de TE (a), Tfg (b) e  $\text{Th}_{\text{total}}$  (c), das IFs do Grupo 7 - amostra SL-2A-DT (BSGIA).

e elementos menores. Parte dos íons são fixados nos greisens (K, Al, Li, Be, Sn, B etc) e parte permanece na fase fluida que se torna sucessivamente mais alcalina (Smirnov 1976). No curso da greisenização ocorrem mudanças mineralógicas por sericitização de feldspatos, decomposição da biotita e outros minerais das rochas precursoras, bem como remobilização da sílica e alumina, com neoformação de quartzo, micas, topázio, fluorita e minerais de minério (cassiterita, xenotíma, columbita-tantalita, wolframita, calcopirita, etc). Os álcalis e demais íons em excesso permanecem na solução, causando, a temperaturas decrescentes, outras alterações, que conduzem a uma evolução dos fluidos (Smirnov 1976, Taylor 1979, Stemprok 1987).

Os resultados microtermométricos obtidos neste estudo su-



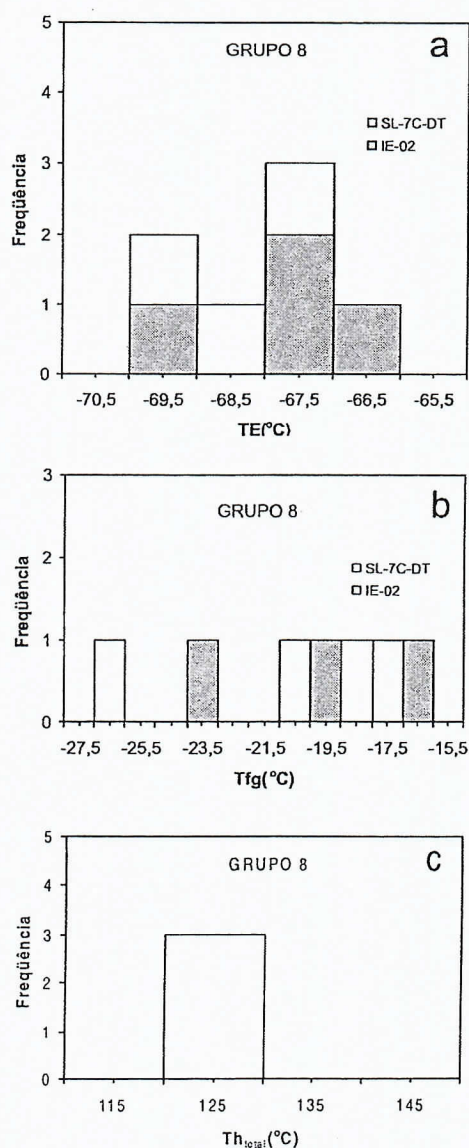


Figura 10 - Histogramas de variação de TE (a), Tfg (b) e Th total (c), das IFs do grupo 8, - amostras IE-02 (BASMG) e SL-7C-DT (BSG).

gerem que as soluções refletem apenas estágios de alteração mais tardios, a partir da greisenização, representados pelas IFs do **grupo 1**, que possuem as mais elevadas Th<sub>total</sub> (Tab. 2, Fig. 3c) e que ocorrem apenas nos cristais de quartzo do greisen (CSMQGs). A ação das soluções ácidas sobre minerais primários dos granitos resultou na cloritização da biotita e na muscovitização/sericitização dos feldspatos, com liberação de Fe<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e Cl<sup>-</sup>. Esses íons predominam nas IFs do grupo 1, representativas da fase fluida em equilíbrio com os minerais formados durante a greisenização, sendo ainda provável a presença de Sn<sup>2+</sup>, Sn<sup>4+</sup> e F<sup>-</sup>. Os elementos não fixados nos minerais formados nesse estágio permaneceram na fase fluida que, com o decréscimo da temperatura e aumento da alcalinidade, foi responsável pelas demais alterações observadas.

A próxima etapa de evolução das soluções é representada pelas IFs do **grupo 2** (BASMG, BSG e, principalmente, BSGIA) e do **grupo 3** (BSGIA), que possuem Th<sub>total</sub> inferiores (valores máximos de 250°C e 230°C, respectivamente). Nessas IFs predominam soluções com Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, e Cl<sup>-</sup> e, possivelmente, Fe<sup>2+</sup> e F<sup>-</sup>, provenientes da descalcificação do plagioclásio, da sericitização parcial dos feldspatos, das reações de potassificação e albitização tardias e das alterações da biotita. O Al<sup>3+</sup> ocorre na fase fluida, provavelmente por não ter sido totalmente consumido durante a sericitização e cloritização. A presença do ferro é patente em IFs da fácies BSGIA e individualizadas como **grupo 4** pela TE distinta. Neste caso, as Th<sub>total</sub> (120°C a 190°C), embora pouco representativas pela ocorrência restrita dessas inclusões, situam-se numa faixa superposta ao intervalo mais freqüente do **grupo 3**. Podem, portanto, representar fluidos localizados pertencentes ao mesmo estágio de evolução.

Na sequência, ocorrem as IFs do **grupo 5**, observadas apenas nas amostras menos alteradas (BASMG e BSG), com Th<sub>total</sub> de 119°C a 192°C, semelhante à anterior, porém com maior freqüência entre 119°C a 150°C. Nessas soluções, além do K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup>, comuns nas fácies mais alteradas, também ocorre o Li<sup>+</sup> e, provavelmente, o F<sup>-</sup>, resultantes das alterações de anfibólio e biotita.

Posteriormente, ocorrem os fluidos relativos às IFs do **grupo 6**, com Th<sub>total</sub> inferiores (116°C a 147°C). Estes possuem a mesma composição dos anteriores (Li<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> e Ca<sup>2+</sup>,  $\pm$  F<sup>-</sup>), embora os valores menores de TE sugiram a influência de íons adicionais e/ou metaestabilidade. Foram observadas principalmente nas fácies menos alteradas, embora sua presença no greisen (CSMQGs), mesmo que rara, possa indicar a ocorrência

Tabela 3 - Evolução dos sistemas salinos segundo o "trend" CSQMGS (greisen) ao BASMG (fácies menos evoluída) do maciço granítico Antônio Vicente. (xxxxx = muito freqüentes; xxx = freqüentes; x = pouco freqüentes).

Sistemas Salinos	(NaCl-KCl-H <sub>2</sub> O)-FeCl <sub>2</sub>	AlCl <sub>3</sub> -CaCl <sub>2</sub> -KCl-NaCl-H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub> -KCl-NaCl-H <sub>2</sub> O	FeCl <sub>2</sub> -NaCl-H <sub>2</sub> O	LiCl-KCl-CaCl <sub>2</sub> -NaCl-H <sub>2</sub> O	LiCl-KCl-CaCl <sub>2</sub> -NaCl-??-H <sub>2</sub> O	FeCl <sub>2</sub> -NaCl-CaCl <sub>2</sub> -KCl-H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub> -KCl-NaCl-(AlCl <sub>3</sub> -LiCl)-H <sub>2</sub> O
$\Delta$ TE	-31,0 a -27,0	-65,7 a -54,7	-52,8 a -47,0	-37,6 a -34,1	-84,2 a -71,1	-95,8 a -88,5	-46,4 a -39,1	-69,9 a -66,1
Th <sub>total</sub> max.	396,6	250,0	220,3	181,3	192,1	147,0	139,1	126,6
Th <sub>total</sub> > freq.	210 a 320	120 a 180	130 a 180	dispersa	120 a 150	110-150	110 a 140	120 a 130
Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8
Amostras/Fácies								
NN-AV-IN-5 / CSQMGS	xxx					x		
SL-2A-DT/BSGIA		xxxxx	xxx	x			xxx	
SL-7C-DT/BSG		x			xxxxx	x		x
IE-02/BASMG		xxxxx			xxxxx	x		x



cia de alterações adicionais mais tardias. Como são relativamente escassas, é possível que representem inclusões metaestáveis do grupo anterior.

As fases finais de evolução dos fluidos na fácies mais alterada, BSGIA, são evidenciadas pelas IFs do grupo 7, cujas  $Th_{total}$  variam de 95,7°C a 139,1°C e que contém soluções com  $Na^+$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  e  $K^+$ . Já no caso das fácies menos alteradas BASMG e BSG, as menores temperaturas observadas foram aquelas relativas às inclusões do grupo 8 ( $Th_{total}$  de 123 a 126°C) que, apesar de escassas, registram eutéticos que denotam variações composicionais significativas dadas por  $Al^{3+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  e  $Ca^{2+}$ . Nessas etapas finais, passaram a ser importantes as reações de argilização que retiveram o  $Li^+$  em argilo-minerais, retirando-os das soluções. Além disso, o  $Al^{3+}$  registrado nas soluções finais das inclusões das fácies BASMG e BSG (Grupo 8), poderia ter resultado do menor grau de alterações destas fácies em relação à BSGIA.

Os estudos realizados mostraram ausência de  $Li^+$  nas IFs das amostras da fácies granítica mais alterada (BSGIA) e no greisen (CSMQGs), o que pode ser explicado pela formação de minerais ricos nesse elemento, como a muscovita e argilo-minerais (Tardy et al. 1972).

O ferro é geralmente mais importante nas IFs da fácies BSGIA e do greisen (CSMQGs). Esse comportamento deve-se, provavelmente, às intensas alterações que essas rochas foram submetidas. Nesse caso o Fe não foi totalmente consumido na formação de clorita e outros acessórios, permanecendo na solução. O desaparecimento e a posterior recorrência de certos cátions em grupos distintos de IFs aprisionadas em temperaturas sucessivamente decrescentes, pode refletir variações locais na mineralogia ou na intensidade das alterações, durante o curso de evolução dos fluidos.

A interpretação da evolução dos fluidos sugerida pelo decréscimo das maiores  $Th_{total}$  deve ser cautelosa, pois muitas vezes, essas temperaturas apresentem amplos intervalos de variação. As IFs do grupo 1 são as que possuem  $Th_{total}$  mais elevadas, refletindo as características do fluido durante a greisenização. Nas IFs representativas de fluidos mais tardios (grupos 2 a 8), apesar da dispersão observada, os valores de  $Th_{total}$  se superpõem no intervalo de 120°C a 150°C, o que pode ser interpretado como uma etapa importante de alteração das rochas estudadas, em condições mais ou menos semelhantes.

As variações de  $Th_{total}$  e de salinidade das soluções decorreram de variações na composição dos fluidos salinos durante os estágios de alterações tardi a pós-magmáticas de mais baixas temperaturas, pois estudos de isótopos de oxigênio realizados por Teixeira (1999) em grãos de quartzo, da mesma geração, descartaram a hipótese de mistura com fluidos externos ao sistema. Uma hipótese alternativa a ser considerada, refere-se a modificações nas inclusões originais devido a deformações intracristalinas observadas nos cristais de quartzo estudados. O espalhamento dos valores de  $Th_{total}$  e da densidade do fluido

(Tab. 2) também poderia ter sido, em parte, decorrente de modificações das inclusões originais por deformações intracristalinas (Kerrick 1976, Wilkins e Barkas 1978, Hollister 1990, Bakker 1992, entre outros), uma vez que os grãos de quartzo estudados exibem extinção ondulante e, localmente, subgrãos. A ausência de correlação entre  $Th_{total}$  e Tfg evidenciam a influência dessas modificações nas medidas microtermométricas.

**CONCLUSÕES** A mineralização estanífera do maciço Antônio Vicente associa-se às fácies graníticas mais evoluídas e mais afetadas por alterações tardi a pós-magmáticas e aos greisens (BSGIA e CSMQGs). Estudos petrográficos mostram que a cassiterita ocorre apenas na fácies BSGIA e, principalmente, em clorita-siderofilita-muscovita-quartzo greisen (CSMQGs). Assim fluidos residuais ricos em voláteis que interagiram com as rochas do maciço, lixiviam diversos cátions, entre eles o  $Sn^{2+}$  e  $Sn^{4+}$ , resultando na formação de cassiterita durante a greisenização.

Os dados petrográficos, aliados ao estudo microtermométrico, sugerem que a lixiviação do Sn e a subsequente formação de cassiterita ocorreu a partir de soluções aquosas representadas pelas IFs do grupo 1, presentes apenas em CSMQGs, tornando-se sistematicamente menos intensa nas dos grupos 2 e 3 de BSGIA. Essa hipótese baseia-se: (1) na presença de cassiterita restrita à fácies BSGIA e ao CSMQGs; (2) nas IFs do grupo 1, com maiores  $Th_{total}$ , que ocorrem apenas no greisen; (3) nas IFs dos grupos 2 e 3 e que ocorrem em amostras da fácies BSGIA e cujas temperaturas mínimas de aprisionamento ( $Th_{total}$ ) são coerentes com a formação mais tardia de cassiterita. Considerando-se a presença de cassiterita no BSGIA, bem como a semelhança nas composições das IFs dos grupos 2 e 3, é razoável supor que a formação do mineral também se vincule a esses sistemas, mesmo que as TE não possibilitem detectar Sn por falta de dados experimentais.

Considerando que nos demais grupos de IFs (grupos 4, 5, 6, 7, 8), as  $Th_{total}$  são inferiores e que nas amostras das fácies BASMG e BSG a cassiterita não foi identificada, supõe-se que as soluções a estas correspondentes ou não continham estanho ou, se presente, as temperaturas não foram suficientes para a formar esse mineral.

**Agradecimentos** À FAPESP (Processo nº 96/3942-0), pelo apoio ao desenvolvimento do projeto, à geóloga Sonia A. A. Nogueira, pelo auxílio e sugestões no decorrer do trabalho, ao estudante do Curso de Graduação em Geologia Carlos Marcello Dias Fernandes pelo auxílio na confecção das figuras. R. M. S. Bello agradece ao CNPq, pela Bolsa de Pesquisa (Processo nº 303872/85-3) e Jorge S. Bettencourt agradece à FAPESP pelo auxílio à pesquisa (Processo nº 1996/3942-0). Aos revisores anônimos da RBG pela análise crítica do original. Este trabalho é uma contribuição ao IGCP-426 e ao PRONEX (103-98/MCT/CNPq - Proc. 66.2103/98-0).

## Referências

- Abreu F.A.M. & Ramos C.R. 1974. Estanho do Sul do Pará. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 28. Porto Alegre, *Anais*, 5:11-23.
- Bakker R.J. 1992. On modification of fluid inclusions in quartz. *Geol. Ultraiectina*, 94:1-85.
- Bakker R.J. 1997. Short discussion of apparent low eutetic temperature observations that was held during June 1997. <http://www.geology.wisc.edu/~pbrown/loweutec.html>.
- 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. *Sov. Geol. Geophys.*, 18:11-19.
- Brown P.E. 1989. FLINCOR: a computer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *Amer. Mineral.*, 74:1390-1393.
- Burruss R. 1997. Short discussion of apparent low eutectic 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>.
- CPRM/DNPM. 1997. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Félix do Xingu, Folha SB-22-Y-B, Programa Grande Carajás, MME/SMM, Brasília-DF, Brasil.
- Crawford M.L. 1981. Phase equilibria in aqueous fluid. In: L.S. Hollister & M.L. Crawford (Eds.) *Fluids Inclusions: Applications to Petrology*. Calgary, Mineralogy Association of Canada, Short Course, handbook, 6:75-100.
- Dall'Agnol R. 1980. *Etudes sur des granites du type "Rondonian" en Amazonie Orientale et leurs transformations tardi-magmatiques*. Laboratoire de Geologie - Petrologie de L'Université. Paul Sabatier, Toulouse. Tese de Doutorado, 348p.
- Davis D.W., Lowenstein T.K., Spencer R.J. 1990. Melting behaviour of fluid inclusions in laboratory - grown halite crystals in the systems NaCl-H<sub>2</sub>O, NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O, NaCl-MgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O and NaCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54:591-601.
- Goldstein, R. H. & Reynolds, T. J. Systematic of fluid inclusions in diagenetic minerals. Tulsa, Society for Sedimentary Geology, SEPM-Short Course 31, 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.
- Kerrick R. 1976. Some effects of tectonic recrystallization on fluid inclusions in vein quartz. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 59:195-202.
- Linke, W. F. 1958. *Solubilities Inorganic and Metal - Organic Compounds*. 4 ed. Princeton, NJ, D. Van Nostrand Co. V.1, 1487p.
- Oakes C. 1997. Short discussion of apparent low eutectic temperature observations that was held during June 1997. <http://www.geology.wisc.edu/~pbrown/loweutec.html>.
- Pinho O. (inédito). *Geologia e Mineralizações de Sn no maciço Caritianas, Rondônia*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Texto preliminar de Dissertação de Mestrado, 248p.
- Rios F.J. 1991. *O Granito Central da Serra dos Carajás: Fácies petrográficas e alteração hidrotermal do setor norte*. Universidade Federal do Pará, Belém, Dissertação de Mestrado, 124p.
- Rios F.J. 1995. *A Jazida de Wolframita de Pedra Preta, Granito Musa, Amazônia Oriental (PA): Estudo dos fluidos mineralizantes e Isótopos Estáveis de Oxigênio em veios hidrotermais*. Universidade Federal do Pará, Belém, Tese de Doutorado, 215p.
- Roedder E. 1984. Fluid Inclusions. P.H. Ribbe (ed), *Mineral. Soc. Am. Reviews in Mineralogy*, 12:1-641.
- Roedder E. 1997. Short discussion of apparent low eutectic temperature observations that was held during June 1997. <http://www.geology.wisc.edu/~pbrown/loweutec.html>.
- Scherba, G. N. 1970. Greisens. *Int. Geol. Rev.*, 12:114-150 and 239-255.
- Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.H. 1985. *A practical guide to fluid inclusions studies*. New York, Blackie and Son Ltda, 239p.
- Smirnov, V. I. 1976. *Geology of mineral deposits*: Moscow, MIR Publishers, 3:229-294
- Stemprok M. 1987. Greisenization (a review). *Geol. Rund.*, 76:169-175.
- Tardy Y., Krempf G., Trauth N. 1972. Le lithium dans les minéraux argileux des sédiments et des sols. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 36:397-412.
- Tassinari C.C.G. & Macambira, M. J. B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, 22:174-182.
- Taylor, R. G. 1979. *Geology of tin deposits*. Amsterdam, Elsevier, 543p.
- Teixeira N.P. 1999. *Contribuição ao estudo das rochas granitoides e mineralizações associadas da Suite Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Doutorado, 508p.
- Teixeira N.P. & Dall'Agnol R. 1991. Geologia e petrografia do Maciço Granítico Antônio Vicente. Região de São Félix do Xingu/PA. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Ciências da Terra, CNPq, 3:45-73.
- Teixeira N.P., Dall'Agnol R., Magalhães M.S. 1994. Complexo granítico Antônio Vicente: Feições características de um granito especializado a estanho. In: SBG, Simp. Geol. Amaz., IV, Belém, *Boletim de Resumos*:391-393.
- Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Moura C.A.V., Dall'Agnol, R. 1998. Pb-Pb and Sm-Nd constraints of the Velho Guilherme Intrusive Suite and volcanic rocks of the Uatumã Group. South-Southeast Pará-Brazil. In: Granite Systems and Proterozoic Lithospheric Processes. Wisconsin (EUA), Inter. Geol. Corr. Project 426:III, p. 178-180.
- Wilkins R.W.T. & Barkas J.P. 1978. Fluid inclusions, deformation and recrystallization in granite tectonites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 65:293-299.
- Yanatieva O.K. 1946. Solubility polytherms in the systems CaCl<sub>2</sub>-MgCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O and CaCl<sub>2</sub>-NaCl-H<sub>2</sub>O. *Zh. Prikl. Khim.*, 19:709-722 (in Russian).

Manuscrito A-1270

Recebido em 03 de novembro de 2001

Revisão dos autores em 20 de fevereiro de 2002

Revisão aceita em 21 de fevereiro de 2002