

Caracterização da Alteração Hidrotermal Micácea do Tipo Greisen e dos Reequilíbrios de Baixa Temperatura em Áreas Graníticas: o Exemplo do Distrito Estanífero de Encruzilhada do Sul, RS

ROBERTO DOS SANTOS TEIXEIRA¹, JOSÉ CARLOS FRANTZ², ANDRÉ SAMPAIO MEXIAS², JULIANA CHARÃO MARQUES², JORGE ALBERTO COSTA²

1. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil.

2. Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001, CEP 91509-900, Porto Alegre, RS, Brasil.

(Recebido em 07/05. Aceito para publicação em 12/07)

Abstract - The hydrothermal alteration associated with the tin mineralization in the Encruzilhada do Sul Tin District is characterized by zones with different compositions. The most important of these hydrothermal zones are the phyllic and the argillic. The first one is composed mainly by white mica and quartz with tourmaline. The argillic alteration is composed by kaolinite. The phyllic zones represent associations with greisens and disseminated pervasive white mica on the granitic wall rocks. The argillic zones are constrained to the top zones of some granitic intrusions associated with greisens and quartz-veins in the stockworks. The hydrothermal fluids associated with the alteration show homogenization temperatures ranging from about 450°C to 120°C. The first temperature is the upper limit for the hydrothermal system, related with the white mica high temperature alteration. The second temperature is the lower limit of the argillic alteration under the hydrothermal conditions. The white mica related with the phyllic alteration range from phengite to muscovite. The argillic alteration has the presence of halloysite, probably as a weathering product.

Keywords - tin mineralization, hydrothermal alteration, tin-granites.

INTRODUÇÃO

A alteração hidrotermal que acompanha a mineralização de estanho existente no Distrito Estanífero de Encruzilhada do Sul (Leinz & Pinagel, 1945) tem na relação espacial com intrusões graníticas seu mais importante controle de ocorrência. A presença de zonas de alteração hidrotermal, contendo mica branca, caolinita, turmalina e cassiterita, com veios de quartzo e *greisen*, indica intensa circulação de fluidos em um intervalo de temperatura amplo.

A mineralogia dos depósitos é simples e está representada essencialmente por cassiterita em veios de quartzo e em corpos de *greisen*. Zonas contendo alteração a caolinita são, em geral, estéreis e podem representar alteração hidrotermal tardia de mais baixa temperatura ou mesmo alteração intempérica.

O detalhamento das zonas de alteração hidrotermal permite, separar duas associações diferentes quanto ao posicionamento espacial. A primeira ocor-

re no interior das zonas de milonitos gerados durante a deformação transcorrente que foi ativa durante o Ciclo Brasileiro e nos corpos graníticos da Suíte Intrusiva Cordilheira. Ela está representada por corpos de *greisen*, porções pegmatóides e veios de quartzo orientados, acompanhados por zonas com intensa muscovitização e desenvolvimento de turmalina e por turmalinitos bandados. A segunda associação ocorre nas zonas de cúpula dos corpos graníticos da Suíte Intrusiva Campinas e nas zonas de contatos com as rochas encaixantes. Essa associação está representada por corpos de *greisen* acompanhados por um reticulado de veios de quartzo, envolvidos por intensa argilização, com predomínio de caolinita, e por uma zona externa onde o granito está parcialmente preservado.

O detalhamento das zonas de alteração hidrotermal permite reconhecer a presença de parageneses de alta e de baixa temperatura. A primeira é constituída por zonas micáceas e zonas turmalinizadas, enquanto a segunda está representada por

uma alteração onde domina a presença das zonas argilizadas.

A alteração hidrotermal observada nas três minas mais importantes do Distrito Estanífero de Encruzilhada do Sul indica que na Mina Cerro Branco a associação melhor representada é a de mais alta temperatura. Na Mina Campinas e na Mina Tabuleiro a alteração hidrotermal presente indica a existência de paragêneses de alta e de baixa temperatura.

FLUIDOS HIDROTERMAIS

A análise de inclusões fluidas teve como base a relação espacial das inclusões no interior de grãos de quartzo, a origem das inclusões e o conteúdo fluido à temperatura ambiente. Com base nestes dados, foi estabelecida uma comparação das fases fluidas nas três principais minas do Distrito, Mina Cerro Branco, Mina Campinas e Mina Tabuleiro (Frantz *et al.* 1998). As inclusões fluidas analisadas indicam a presença de fluidos aquosos e fluidos aquo-carbônicos no processo gerador da alteração hidrotermal.

A análise microtermométrica das inclusões fluidas na Mina Cerro Branco (Frantz *et al.* 1998) permitiu definir que a homogeneização total das inclusões líquidas aquo-carbônicas ocorre de forma comum para o estado vapor com o intervalo de maior frequência de temperatura situado entre 200 e 220°C (Fig. 1A). As inclusões do tipo aquosas apresentam uma temperatura de homogeneização total, para o estado líquido, com picos entre 120 e 280°C, destacando-se os intervalos entre 200 e 220°C e entre 240 e 260°C (Fig. 1B).

Na Mina Campinas, a homogeneização total das inclusões aquo-carbônicas ocorre a temperaturas que variam entre 260 e 440°C. As inclusões com homogeneização para a fase líquida têm os valores de temperatura centrados entre 340 e 360°C, enquanto as que homogeneizam para a fase vapor têm temperaturas entre 360 e 400°C (Fig. 1C). As inclusões aquosas na Mina Campinas apresentam homogeneização total para a fase líquida entre 120 e 140°C e entre 180 e 200°C (Fig. 1D).

Na Mina Tabuleiro a homogeneização total das inclusões aquo-carbônicas ocorre em um intervalo de temperatura situado entre 280 e 380°C, com a maior frequência situando-se entre 320 e 340°C (Fig. 1E). As inclusões aquosas apresentam temperaturas de homogeneização total entre 120 e 140°C, 180 e 200°C e entre 320 e 340°C, este último com a

maior frequência (Fig. 1F).

Os fluidos aquo-carbônicos (Lwc) indicam semelhança, quanto à composição, entre as inclusões fluidas analisadas nas três minas (Frantz *et al.* 1998). A variação nas temperaturas de homogeneização total, para uma mesma gama de salinidade dos fluidos, pode estar indicando um resfriamento progressivo do sistema hidrotermal, com diminuição da temperatura dos fluidos em posições intracúpula e em depósitos distais. Ou ainda, poderia representar fluidos com estágios evolutivos comuns nas três minas mas atuando sob condições e temperaturas diferentes (Frantz *et al.* 1998).

As inclusões aquosas (Lw) estão distribuídas em quatro grupos de maior frequência, segundo as temperaturas de homogeneização total ao estado líquido. O primeiro e o segundo grupos situam-se em torno de 150°C e de 200°C, respectivamente. Ocorrem nas três minas e representam inclusões de zonas de borda de grãos de quartzo, de contatos intergranulares e de fraturas transgranulares. Representam fluidos tardios no sistema hidrotermal. O terceiro e quarto grupos, situados em torno de 250°C e 325°C, representam inclusões aquosas primárias e/ou pseudo-secundárias intragranulares que podem estar indicando os fluidos hidrotermais envolvidos na geração da mineralização. O terceiro grupo de inclusões encontra representação em zonas intermediárias e de borda de grãos de quartzo de veios da Mina Campinas e em zonas de núcleo de grãos de quartzo de veios da Mina Cerro Branco. O quarto grupo ocorre associado somente a zonas de núcleo de grãos de quartzo dos veios da Mina Tabuleiro.

A petrografia das inclusões fluidas e os dados de microtermometria indicaram que as inclusões aquosas com alto grau de preenchimento, posicionadas nas margens dos grãos de quartzo dos veios, são tardias e representam os fluidos de mais baixa temperatura que atuaram na alteração hidrotermal.

ZONAS DE ALTERAÇÃO HIDROTERMAL

As zonas de alteração hidrotermal que acompanham os corpos graníticos das suítes Cordilheira e Campinas apresentam características de distribuição e composições diferentes. As da Suíte Intrusiva Cordilheira tendem a apresentar uma distribuição pervasiva por centenas de metros onde predominam alterações contendo mica branca e turmalina, como na Mina Cerro Branco. Já as zonas de alteração hidrotermal associadas aos corpos da Suíte Intrusiva

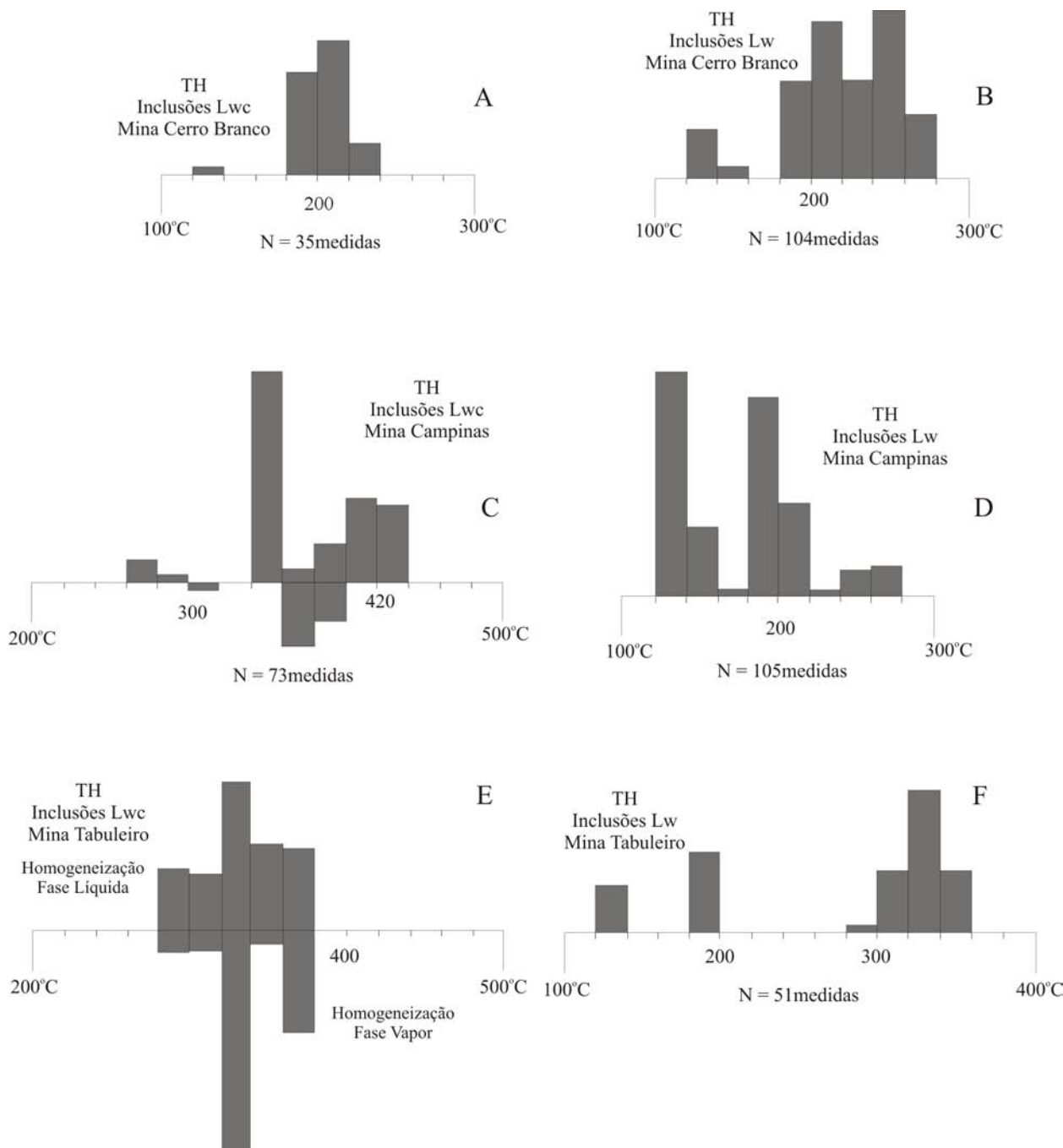


Figura 1 - Fluidos aquo-carbônicos (Lwc) e aquosos (Lw) das minas Cerro Branco (A e B), Campinas (C e D), e Tabuleiro (E e F), com histogramas de temperaturas de homogeneização (TH) em diferentes intervalos.

Campinas estão limitadas às cúpulas e zonas de contato das injeções graníticas e são representadas por alteração micácea, com veios de quartzo associados, e zonas argílicas subordinadas, como ocorre na Mina Campinas.

A alteração hidrotermal associada à Suíte Cordilheira é composta por *greisen* (Fig 2A e B) e turmalinitos distribuídos ao longo de todos os corpos e das encaixantes, sempre acompanhando as faixas miloníticas em zonas de mais alto *strain* e em zonas

de dilatação associadas. A presença de turmalina é indicadora de grande quantidade de boro no sistema hidrotermal desses granitos, com diminuição no grau de polimerização dos componentes (Bagdassarov *et al.*, 1993).

Os granitos da Suíte Intrusiva Cordilheira são acompanhados por inúmeros veios de composição quartzo-feldspática, com mica branca e turmalina, textura pegmatóide e aplítica, com espessuras variando de 5 a 120cm.

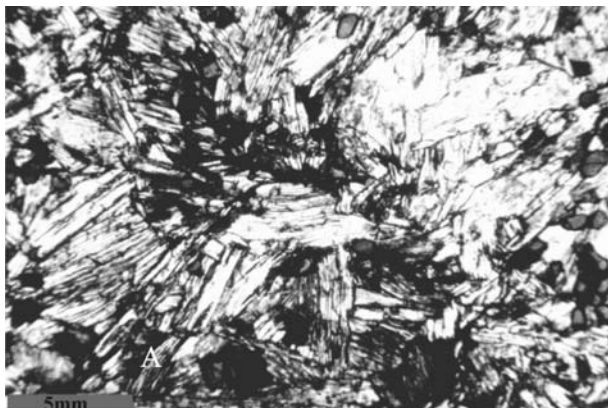


Figura 2 - *Greisen* com mica branca, turmalina e cassiterita (A) e *greisen* com mica branca e quartzo, com cassiterita (B), associados a granitos da Suíte Intrusiva Cordilheira.

Os veios de quartzo têm espessuras variando de 1 a 45cm, têm quantidades variadas de turmalina e mica branca e contêm cassiterita.

Os corpos de *greisen* da Suíte Intrusiva Cordilheira têm espessuras variando de 1 a 30cm, são constituídos por mica branca e quartzo, com quantidades variadas de turmalina e contêm cassiterita.

Os turmalinitos são rochas constituídas por turmalina e quartzo, contendo mica branca e biotita em proporções menores e variadas. A distribuição destas rochas varia de cerca de 5 a 10cm, ao redor de veios de quartzo e corpos de *greisen*, até centenas de metros ao redor dos corpos da suíte, como auréola mais externa de uma zona com intensa circulação de fluidos (Fig. 3).

Os granitóides da Suíte Intrusiva Campinas são acompanhados por zonas internas de alteração hidrotermal contendo um reticulado de veios de quartzo do tipo *stockwork* intracúpula, acompanhados por corpos de *greisen* com posição preferencial na margem dos veios, ou distribuídos como corpos lenticulares isolados intracúpula, no contato das intrusões com a encaixante, e projetados para o inte-

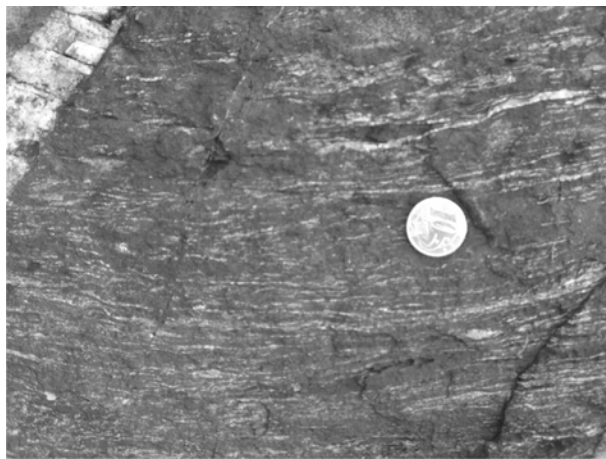


Figura 3 - Turmalinitos bandados associados a rochas miloníticas de zonas de cisalhamento transcorrente de idade brasileira, representando auréolas externas de zonas de alteração hidrotermal associadas a corpos graníticos da Suíte Intrusiva Cordilheira.

rior da encaixante por menos de uma centena de metros. Turmalinitos localizados representam o envelope mais externo de algumas zonas de alteração hidrotermal intracúpula e de contato com a encaixante, envolvendo veios e *greisen* (Fig. 4). Outras destas zonas de alteração, mais freqüentes, são envolvidas por um envelope de alteração argílica contendo mica branca muito fina e caolinita (Fig. 5).



Figura 4 - Veios de quartzo, em *stockwork* em zona de cúpula granítica de corpo da Suíte Intrusiva Campinas, com *greisen* na margem, contendo mica branca com textura grossa e cassiterita, na Mina Campinas.

Os veios de quartzo têm espessura variando de 5 a 50cm, são constituídos por quartzo, mica branca, contêm cassiterita, e têm K-feldspato pouco freqüente e rara turmalina.

Os corpos de *greisen* têm espessura variando de 1 a 40cm, são constituídos por mica branca e quartzo, com rara turmalina e contêm cassiterita.

As zonas de alteração argílica têm espessura

variando de 2 a 250cm e são constituídas por argila de cor branca do tipo caolinita.

Os minerais analisados e que foram objeto de estudo do presente trabalho são as micas brancas e os argilo-minerais do grupo das caolinitas e que participam como fases minerais maiores nas diversas zonas de alteração hidrotermal associadas aos corpos graníticos das suítes Cordilheira e Campinas. As micas brancas representam o principal componente em volume na formação de *greisens* e os argilo-minerais do grupo da caolinita representam o principal componente em volume na formação de zonas argilizadas.



Figura 5 - Zona de alteração hidrotermal associada à cúpula de intrusão granítica de corpo da Suíte Intrusiva Campinas, contendo alteração de baixa temperatura com mica branca fina e argila do tipo caolinita.

Alteração Micácea

As micas brancas associadas a *greisen* e a zonas de alteração micácea, geradas sobre os granitóides das suítes intrusivas Cordilheira e Campinas, variam entre muscovita e fengita, com predomínio do politipo 2M₁. O politipo 2M₁, mais comum, representa o maior volume de micas geradas durante a alteração hidrotermal (Fig. 6A). O politipo 3T é menos freqüente e representa a formação de micas sobre restos de biotita, reequilibrada durante o processo de formação de *greisen* (Fig. 6B).

Os dados existentes com relação aos politipos indicam a presença quase que constante de ambos em todas as zonas de alteração hidrotermal, embora sempre com a dominância do politipo 2M₁. A caolinita ocorre associada a várias destas zonas como um mineral de alteração tardia de baixa temperatura.

As duas fracas reflexões em 3,60Å e 3,11Å em difratogramas de Raios-X para detalhamento de

estrutura, observadas em quase todas as amostras, são diagnósticas da presença do politipo 3T e podem significar restos de biotita primária (magmática) (Bailey, 1984) não totalmente transformada em mica branca durante o processo de formação de *greisen*.

Em relação ao parâmetro “b” observou-se uma constância nos valores identificados para as micas de *greisen* em todas as zonas de alteração (Tab. 1).

A mica branca associada à alteração hidrotermal nas diferentes minas estudadas é marcada por aumento nos valores de Si e de Al que correspondem tanto a substituições tetraédricas quanto octaédricas. Em geral, os aumentos do número de cátions de Si por unidade de fórmula, no sítio IV, são acompanha-

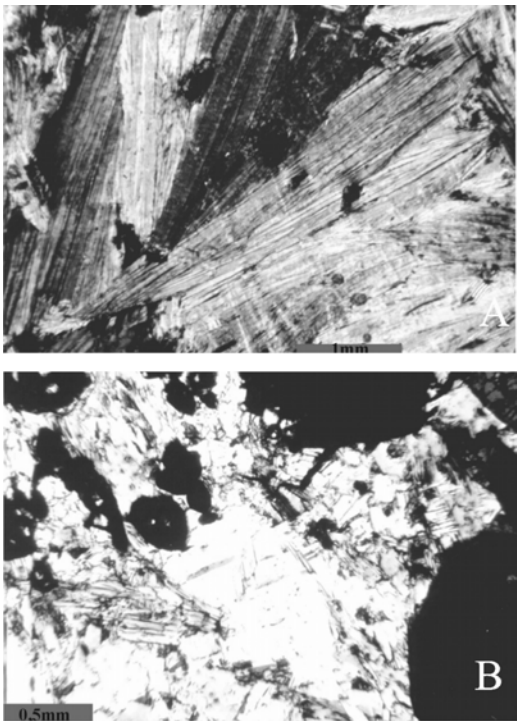


Figura 6 - Mica branca associada a zonas hidrotermais micáceas e a corpos de *greisen*, na forma de lamelas bem desenvolvidas, representando o politipo 2M₁ dominante na mica branca hidrotermal (A), e mica branca fina associada a restos de biotita representando a principal ocorrência do politipo 3T gerado durante a alteração hidrotermal (B).

Tabela 1 - Resultados de Difractometria de Raios-X para a reflexão 060 e parâmetro “b” de micas de *greisen* dos granitos Tabuleiro (HT) e Cerro Branco(HB) (valores em Å).

Amostra	Reflexão 060	Parâmetro “b”
HT10 Mica 2M ₁	1,5007	9,004
HT10 Mica 3T	1,5012	9,007
HB01 Mica 2M ₁	1,5019	9,011
HB01 Mica 3T 0,6 Amper	1,5030	9,018
HB01 Mica 3T 1,0 Amper	1,5025	9,015
HB03 Mica 2M ₁	1,5026	9,016
HB03 Mica 3T 0,6 Amper	1,5035	9,021
HB03 Mica 3T 1,0 Amper	1,5022	9,013

dos por um pequeno aumento de Al^{VI} na mica de *greisen* das zonas de alteração hidrotermal sobre os granitos da Suíte Intrusiva Cordilheira, sem variação significativa do Al total, o que deve implicar em substituições do tipo $Al^{IV} + Al^{VI} \leftrightarrow Si^{IV} + Al^{VI}$. No caso da mica de *greisen* gerada com a participação dos granitóides da Suíte Intrusiva Campinas, os aumentos de Si são acompanhados por aumentos de Al_{tot} e de Al^{VI} com mesma magnitude. Isto pode estar implicando em substituições do tipo $(3M^{2+})^{VI} \leftrightarrow (Al^{3+} + M^{2+} + \square)^{VI}$ (Fig. 7 A e B).

A principal substituição no sítio octaédrico está representada pela diminuição de Fe e aumento de Al, que definem uma correlação da ordem de 1:1 com a participação secundária do Mg (Fig. 7 C e D) e do Ti.

O Fe tende a apresentar um comportamento homogêneo em todos os tipos de mica analisados, indicando uma diminuição progressiva da zona de

cúpula da Mina Campinas para a zona de contato desta mesma mina, seguida da zona de cúpula e da zona de contato da Mina Tabuleiro e, finalmente, da Mina Cerro Branco, com os valores médios de Fe mais baixos. De forma comparativa, o politipo 3T tem valores mais elevados de Fe por unidade de fórmula do que o politipo $2M_1$ para todas as zonas de alteração hidrotermal analisadas.

O Mg tem uma variação geral que indica uma diminuição progressiva similar a do Fe para as mesmas zonas de alteração hidrotermal. No caso do Mg, os valores observados são semelhantes entre os politipos $2M_1$ e 3T, mas para conteúdos de Al^{VI} pouco mais elevados no politipo $2M_1$ da zona de cúpula e parte da zona de contato da Mina Campinas.

Os valores de Na têm correlação positiva com os valores de Al^{VI} , evidenciando o caráter mais aluminoso e sódico de micas associadas a zonas de

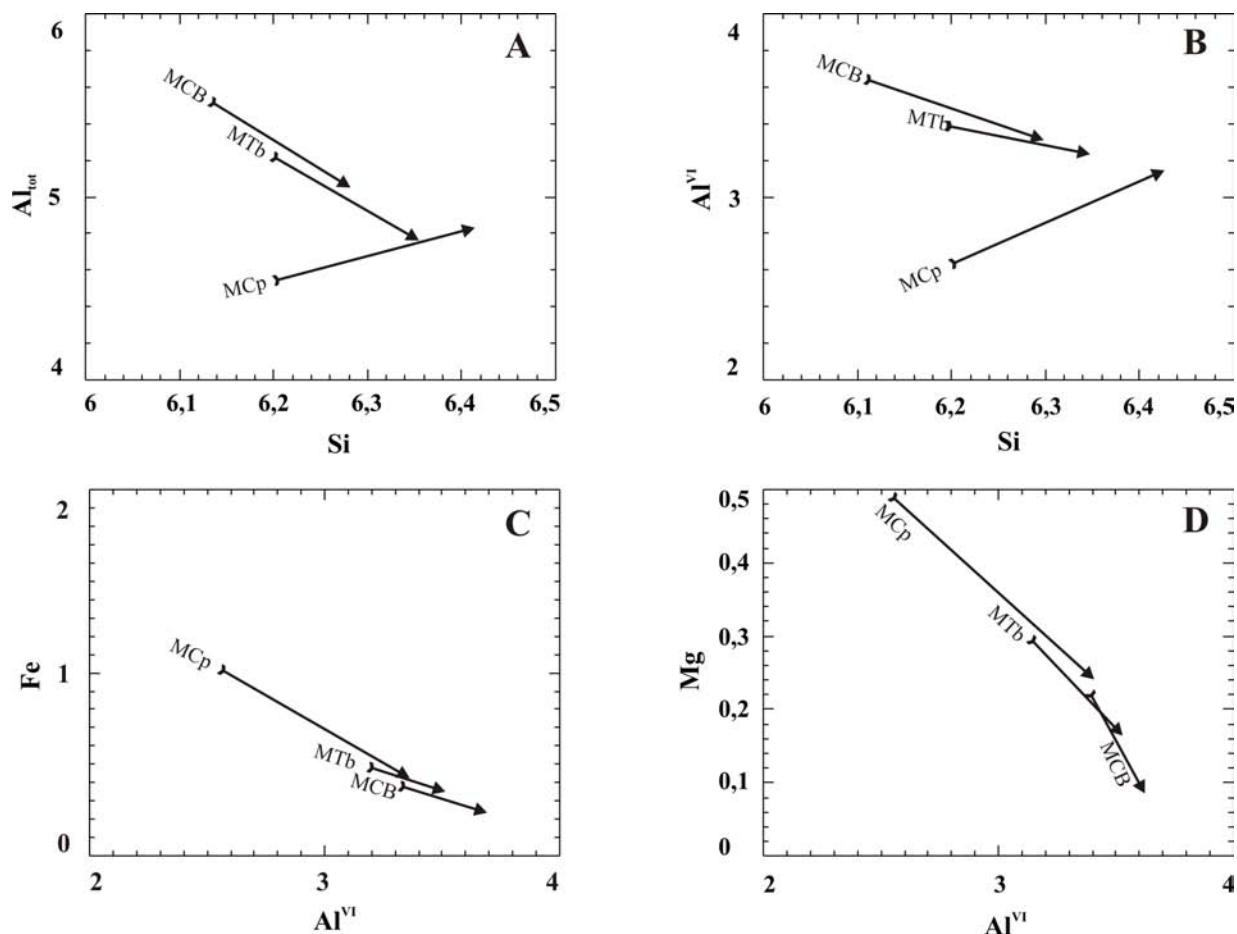


Figura 7 - Principais substituições observadas na composição de micas brancas de greisens das minas Cerro Branco (CB), Tabuleiro (Tb) e Campinas (Cp), indicando que para a Mina Campinas as substituições com Al são diferentes das observadas nas minas Cerro Branco e Tabuleiro. Os valores são de cátions por unidade de fórmula e o sentido da seta indica o sentido das reações, em correlação de núcleo para borda nos cristais analisados.

alteração hidrotermal geradas sobre protólitos graníticos da Suíte Intrusiva Cordilheira. Isso ocorre nas zonas de contato da Mina Campinas, zona de contato da Mina Tabuleiro e Mina Cerro Branco.

O K tem correlação inversa à observada para o Na, com os politipos 3T sendo mais alto K que os 2M₁ para cada associação e, em geral, com valores médios mais altos para micas de *greisen* na cúpula da Mina Campinas.

O aumento de Al^{VI} com a diferenciação das micas das zonas de alteração hidrotermal, acompanhado de uma diminuição nos valores de Fe e Mg em número de cátions por unidade de fórmula, tende a gerar um aumento no grau de vacância no sítio octaédrico e uma diminuição no número total de cátions na estrutura das micas. Micas de *greisen* das Minas Cerro Branco, zona de *contato* Tabuleiro e parte da zona de contato da Mina Campinas têm uma tendência a variações mais acentuadas do grau de vacância do sítio VI e de diminuição do número total de cátions para intervalos menores de variação de Al^{VI}, de Fe e de Mg, além de já serem micas com caráter dioctaédrico mais acentuado que as micas das demais zonas. As micas de *greisen* da zona de cúpula e de parte da zona de contato da Mina Campinas e zona de cúpula da Mina Tabuleiro têm menor tendência de aumento na vacância octaédrica e na diminuição do número de cátions para intervalos maiores de variação nos valores de Al^{VI}, de Fe e de Mg. As micas de *greisen* destas zonas tendem a apresentar cerca de 0,3 cátions a mais por unidade de fórmula no sítio octaédrico e cerca de 0,5 a 1 cátion a mais no total. Em todas as zonas de alteração hidrotermal, o politipo 3T tem graus de ocupação octaédrica e número total de cátions maiores que o politipo 2M₁ correspondente, o que seria normal, considerando para o politipo 3T, uma origem a partir de biotita, com substituições tri-dioctaédricas. Situação pouco diferente é observada para a mica de *greisen* da Mina Cerro Branco e *contato* da Mina Tabuleiro, onde os dois politipos têm uma tendência ao mesmo grau de ocupação octaédrica e de número total de cátions.

A correlação existente entre Si-Fe+Mg-Al (Speer, 1984) sugere que as micas de *greisen* das diferentes zonas de alteração hidrotermal, assim como seus politipos, têm tendências diversas, possivelmente ligadas a composição do protólito sobre o qual foram geradas.

A composição média das micas brancas de *greisen* de cada uma das zonas de alteração hidrotermal, considerando a presença de politipos 3T e

2M₁, pode ser representada por:

Mina Cerro Branco

(K_{1,82}Na_{0,08})(Al_{3,50}Fe_{0,29}Mg_{0,15}Ti_{0,06})
(Si_{6,25}Al_{1,75})O₂₀(OH)_{3,87}F_{0,13} Politipo 3T
(K_{1,69}Na_{0,22})(Al_{3,65}Fe_{0,27}Mg_{0,10}Ti_{0,02})
(Si_{6,15}Al_{1,85})O₂₀(OH)_{3,93}F_{0,07} Politipo 2M₁

Mina Campinas - zona de cúpula

(K_{1,86}Na_{0,06})(Al_{2,95}Fe_{0,67}Mg_{0,38}Ti_{0,08})
(Si_{6,37}Al_{1,63})O₂₀(OH)_{3,67}F_{0,33} Politipo 3T
(K_{1,83}Na_{0,06})(Al_{3,24}Fe_{0,51}Mg_{0,33}Ti_{0,03})
(Si_{6,34}Al_{1,66})O₂₀(OH)_{3,80}F_{0,20} Politipo 2M₁

Mina Campinas - zona de contato

(K_{1,74}Na_{0,11})(Al_{3,28}Fe_{0,50}Mg_{0,24}Ti_{0,08})
(Si_{6,21}Al_{1,79})O₂₀(OH)_{3,75}F_{0,25} Politipo 3T
(K_{1,82}Na_{0,09})(Al_{3,37}Fe_{0,44}Mg_{0,24}Ti_{0,03})
(Si_{6,33}Al_{1,67})O₂₀(OH)_{3,85}F_{0,15} Politipo 2M₁

Mina Tabuleiro - zona de cúpula

(K_{1,87}Na_{0,07})(Al_{3,40}Fe_{0,37}Mg_{0,19}Ti_{0,07})
(Si_{6,28}Al_{1,72})O₂₀(OH)_{3,84}F_{0,16} Politipo 3T
(K_{1,69}Na_{0,06})(Al_{3,49}Fe_{0,35}Mg_{0,20}Ti_{0,05})
(Si_{6,24}Al_{1,76})O₂₀(OH)_{3,82}F_{0,18} Politipo 2M₁

Mina Tabuleiro - zona de cúpula

(K_{1,86}Na_{0,05})(Al_{3,24}Fe_{0,45}Mg_{0,33}Ti_{0,09})
(Si_{6,26}Al_{1,74})O₂₀(OH)_{3,87}F_{0,13} Politipo 3T
(K_{1,84}Na_{0,08})(Al_{3,35}Fe_{0,43}Mg_{0,21}Ti_{0,06})
(Si_{6,22}Al_{1,78})O₂₀(OH)_{3,76}F_{0,24} Politipo 2M₁

As variações observadas na composição de micas de *greisen* nas zonas de alteração hidrotermal das minas Cerro Branco, Tabuleiro e Campinas permitem concluir que há uma forte influência da composição do protólito sobre o sistema gerado.

A influência do politipismo sobre a composição parece, também, evidente. A presença do politipo 3T associado ao politipo 2M₁ parece indicar uma tendência ao desenvolvimento de zonas de alteração onde o processo hidrotermal atuou de forma diferente. O politipo 3T tem sempre valores de Fe e Ti mais altos para cada associação analisada. Isto sugere uma origem a partir de biotita, preservando algumas das características originais deste mineral, ou ainda, a geração de micas a temperaturas mais elevadas no sistema hidrotermal representando o registro do início da alteração.

Alteração Argílica

As zonas de alteração argílica estão presentes de forma importante apenas nas zonas de cúpula das intrusões graníticas. A associação mais comum é

a de zonas argílicas distribuídas ao longo das margens de veios de quartzo e de quartzo-*greisen*. Zonas argílicas mais pronunciadas estão presentes nas cúpulas das intrusões Tabuleiro e Campinas, nas minas de mesmo nome, onde ocorrem como um grande volume de material argilizado que envolve a principal zona mineralizada com veios de quartzo e bolsões de *greisen* em *stockwork*.

Os principais resultados apresentados e discutidos no presente trabalho referem-se, portanto, a zonas argílicas amostradas nas cúpulas graníticas das minas Campinas e Tabuleiro e nas zonas de contato dessas intrusões até um máximo de 100 metros das cúpulas argilizadas (Tab. 2).

Nas amostras submetidas a detalhamento por Difractometria de Raios-X constatou-se a presença de caolinitas, haloisita 7Å e haloisita 10Å na fração grossa, de 2 ou 5 até 20 µm, e na fração fina, <2 ou <5 µm (Tab.3). Nas amostras analisadas não foi identificada a presença de dickita.

Os padrões característicos de difratogramas de amostras orientadas destacam a presença de haloisita 7Å, haloisita 10Å e de caolinita, como evidenciado na amostra HC-16 fração <5 µm (Fig. 8).

A presença de haloisita 7Å foi identificada em cerca de 60% das amostras ou frações sub-

metidas a detalhamento por Difractometria de Raios-X. Já a caolinita na forma pura foi identificada em cerca de 40% das amostras ou frações detalhadas.

As amostras analisadas indicam que a caolinita apresenta um grau de desordem importante e que está presente nos difratogramas do pó (Fig. 9) pelas baixas intensidades das reflexões basais 001 e 002, e pela forma não bem definida dos picos nos intervalos entre 20°-33° (2θ) (reflexões 02l e 11l) e 35°-40° (2θ) (reflexões 13l, 20l e 003) (Bridley 1984).

As análises processadas ao microscópio eletrônico de varredura permitiram identificar a presença de haloisita, sempre na forma de tubos pequenos sobre a superfície de grãos de caolinita (Fig. 10 A e F). A caolinita ocorre na forma de livros (Fig. 10 B e D), de vermes (Fig. 10 E e F) e de gravata borboleta (Fig. 10 C, D, G e H), quando associada a alteração de mica brancas hidrotermais. A caolinita na forma de livros e de vermes está, de forma bastante provável, associada à alteração de feldspato.

Os resultados obtidos indicam que dois processos de caolinização podem ter ocorrido. Um processo de caolinização associado à transformação do K-feldspato e outro à transformação da mica

Tabela 2 - Amostras selecionadas para detalhamento por Microscopia Eletrônica de Varredura-MEV (imagem de elétrons retroespalhados) e por Difractometria de Raios-X-DRX.

Amostra	Identificação	Descrição Resumida	Posição
HC-16	Hidrotermalito	Greisen muito fino no contato veio/granito	Intracúpula
HC-03	Hidrotermalito	Greisen em núcleo de veio e muito fino no contato	Intracúpula
HC-09	Hidrotermalito	Greisen muito fino no contato veio/granito (alteração)	Intracúpula
HT-03	Hidrotermalito	Greisen no contato veio/encaixante	Até 100m da Cúpula
HT-08	Hidrotermalito	Greisen em núcleo de veio e fino no contato veio/encaixante	Até 100m da Cúpula
HC-42	Hidrotermalito	Greisen zonado-contato granito/milonito (grosso a fino)	Até 100m da Cúpula
HT-06	Hidrotermalito	Greisen zonado no contato veio/encaixante (grosso a fino)	Até 100m da Cúpula
HC-48	Hidrotermalito	Greisen zonado-contato granito/milonito (grosso a fino)	Até 100m da Cúpula

Tabela 3 - Identificação dos argilo-minerais caoliníticos por Difractometria de Raios-X e por Microscopia Eletrônica de Varredura.

Amostra	Fração Analisada (DRX)	Argilo-mineral
HC-16	5 - 20 µm	Caolinita – Haloisita 7Å
HC-16	< 5 µm	Haloisita 7Å – Haloisita 10Å - Caolinita
HC-03	< 20 µm	Caolinita – Haloisita 7Å
HC-09	< 10 µm	Caolinita
HT-03	< 20 µm	Caolinita – Haloisita 7Å
HT-08	< 10 µm	Caolinita – Haloisita 7Å
HC-42	2 - 20 µm	Caolinita
HC-42	< 2 µm	Caolinita
HT-06	2-20 µm	Caolinita
HT-06	< 2 µm	Caolinita – Haloisita 7Å
HC-48	< 20 µm	Caolinita

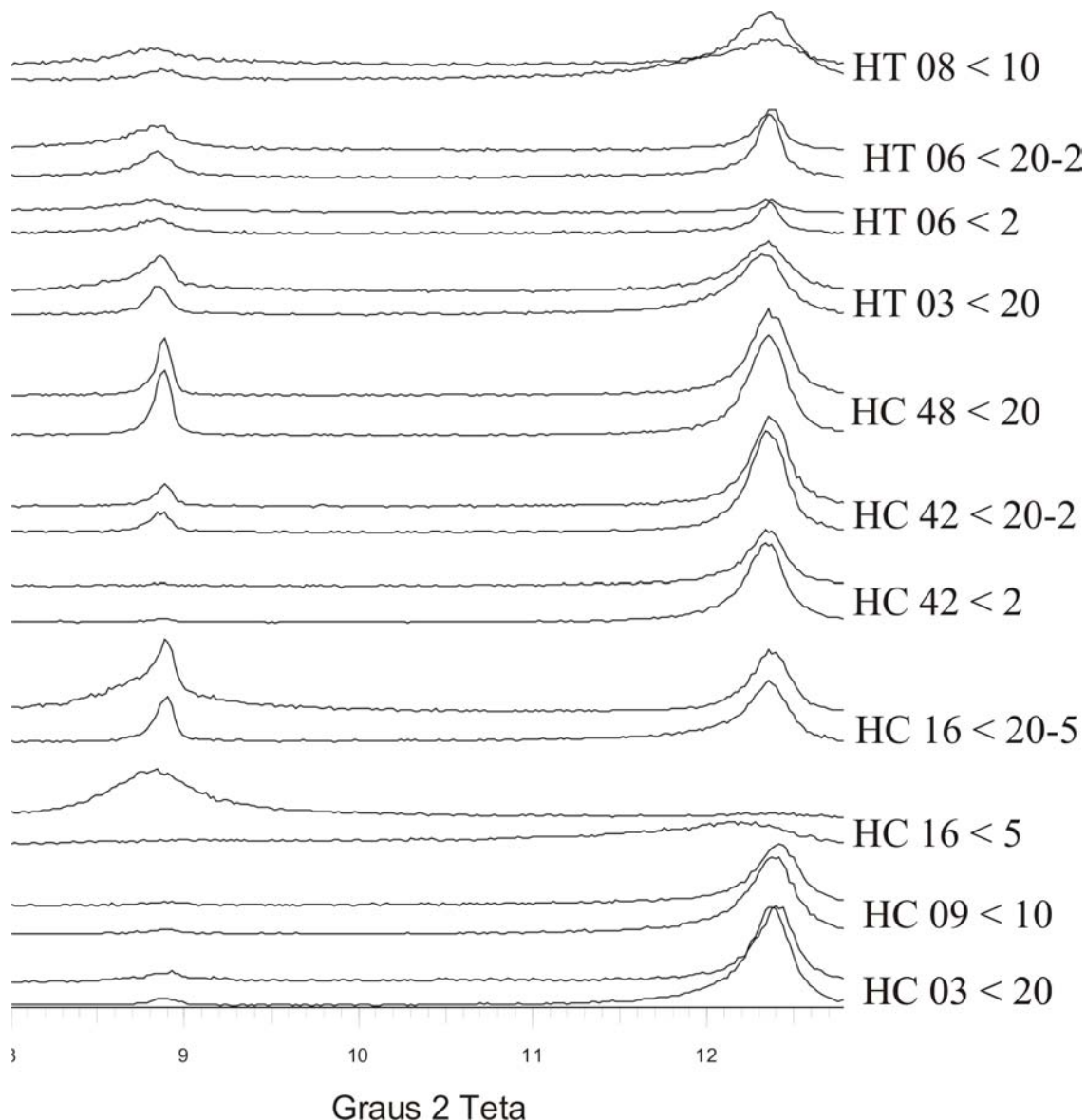
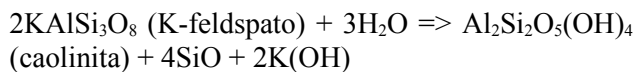
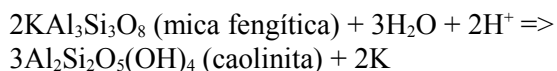


Figura 8 - Difratomogramas de amostras representativas de zonas argílicas orientadas destacando a presença das haloisitas 7Å e 10Å e caolinita.

branca fengítica. As reações apresentadas a seguir representam os processos de transformação de micas e de feldspato potássico em caolinita.



A reação da transformação de mica em caolinita é o inverso do que ocorre no processo de formação de ilitas (Lanson *et al.*, 2002). Na formação da caolinita ocorre a disponibilização de potássio em solução e a reação necessita de solução

com baixo pH. A reação da transformação de K-feldspato em caolinita representa a disponibilização de potássio em solução na forma de hidróxido e de sílica, que pode cristalizar como quartzo, calcedônia ou opala.

Os produtos e reagentes identificados a partir das reações apresentadas sugerem a participação de um fluido aquoso de baixo pH e, bastante provável, de origem meteórica. Isto parece corroborar com os dados obtidos através do estudo de inclusões fluidas (Frantz *et al.* 1998) que indicaram fluidos aquosos com temperaturas na faixa de 100 a 150°C em bordas de grãos e em fraturas transgranulares de cristais de quartzo de veios com halos de alteração argílica.

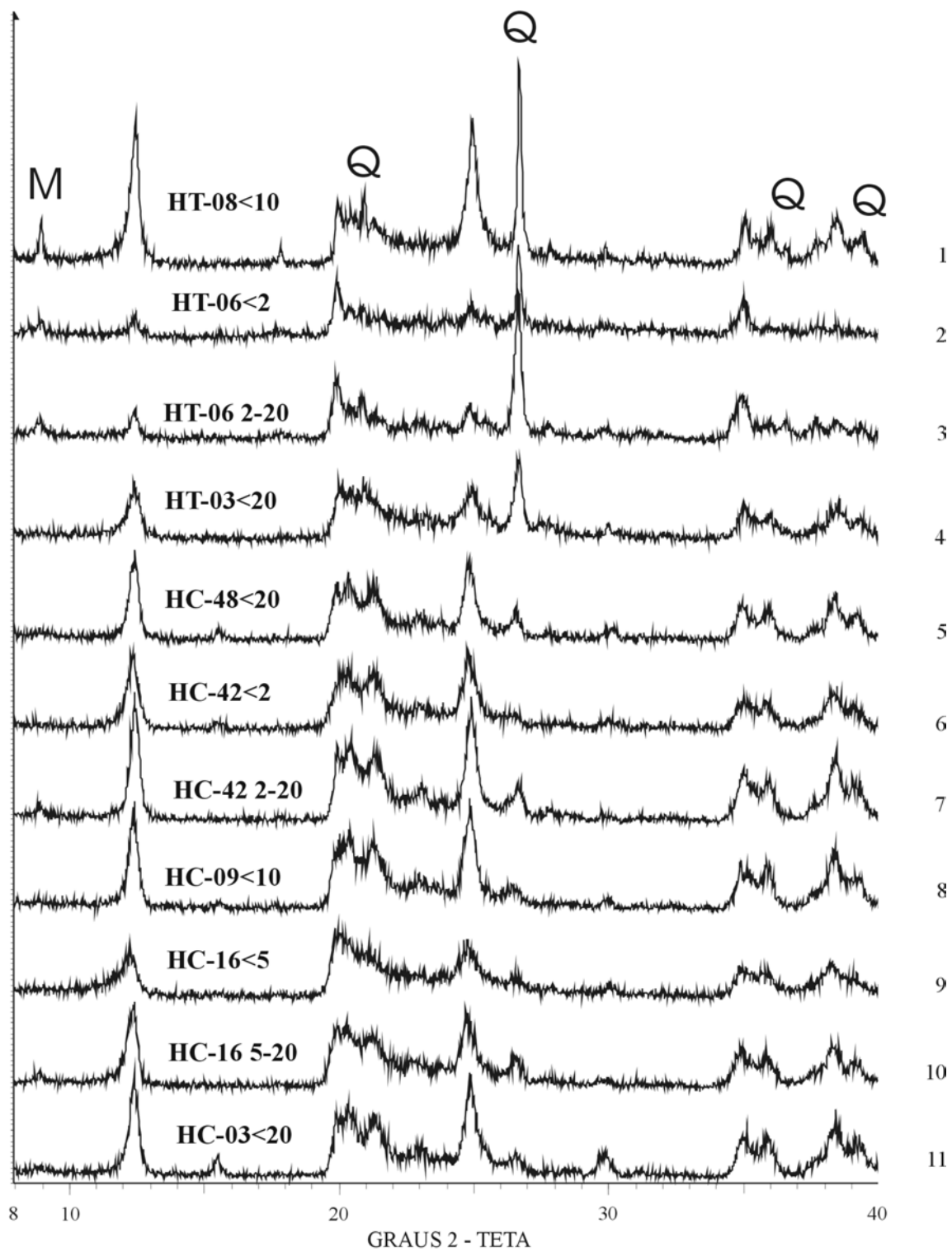


Figura 9 - Difrátogramas de amostras de zonas argílicas na forma de pó submetidas a Difractometria de Raios-X e fração granulométrica analisada em μm .

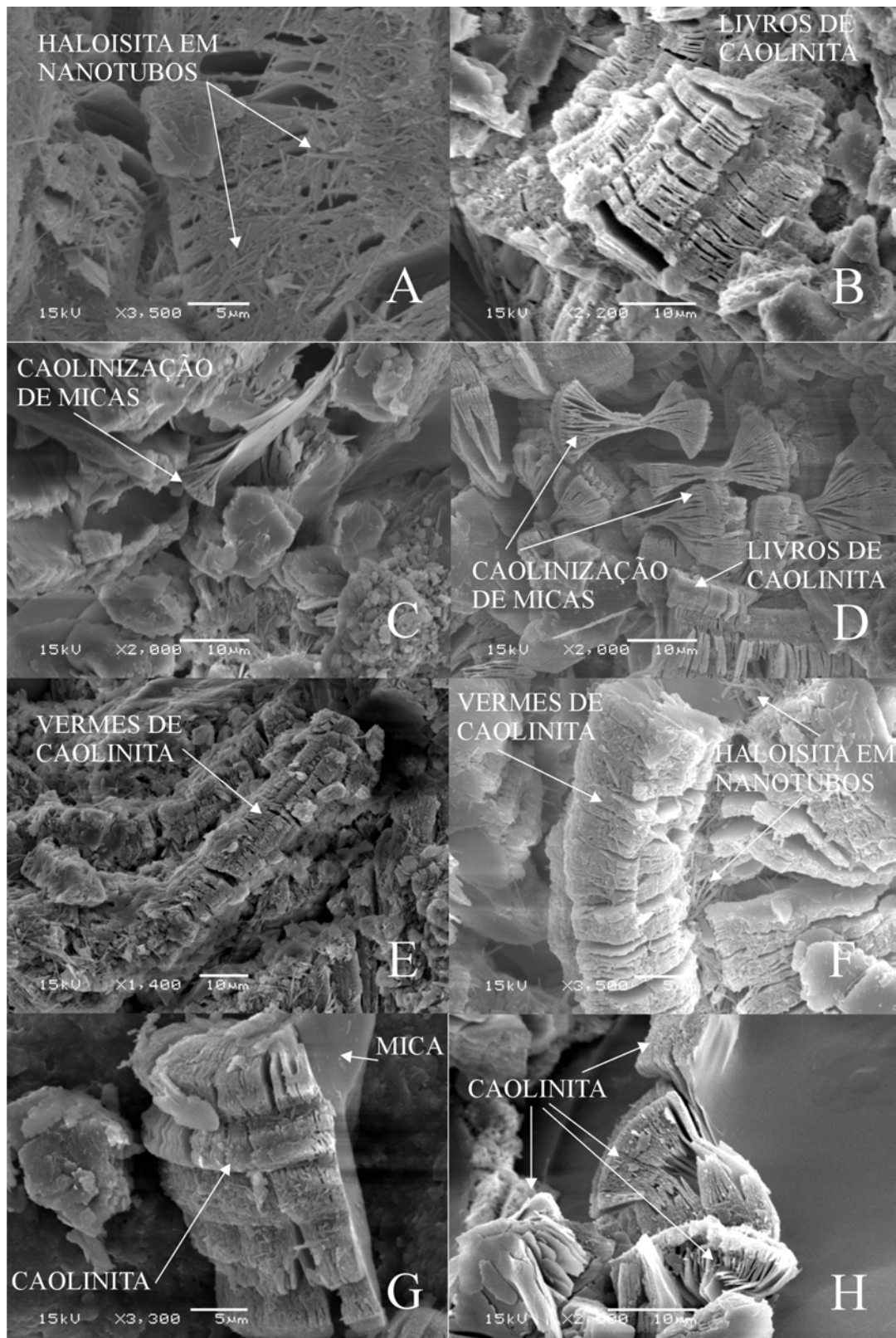


Figura 10 - Imagens de elétrons retroespalhados por Microscopia Eletrônica de Varredura: amostra HC-16 com haloisita em tubos crescendo sobre caolinita (A); amostra HC-03 com caolinita em livro e tubos de haloisita (B); amostra HC-09 com formação de caolinita nas bordas de folhas de mica (C); amostra HC-42 com caolinitização de micas como gravata borboleta (D); amostra HT-08 com caolinita vermiforme (E); amostra HT-03 com caolinita vermiforme e tubos de haloisita (F); amostra HT-06C com caolinitização de bordas de folhas de mica e tubos de haloisita na superfície caolinitizada (G); amostra HC-48 com caolinita nas bordas de grão de mica (H).

A grande quantidade de haloisita 7Å e um grau de desordem importante nas caolinitas como um todo, sugerem, no entanto, uma origem intempérica como processo dominante formador dos argilo-minerais. Esta interpretação é consistente com os dados obtidos por Difractometria de Raios-X.

A exemplo do que ocorre e está descrito para a formação de *china clays* associadas aos depósitos de estanho e estanho-tungtênio e a cúpulas graníticas hidrotermalizadas do sudoeste da Inglaterra (Bristow 1990; Psyrrillos *et al.*, 1998), sugerimos que a caolinização que ocorre nas áreas das minas de estanho do Distrito Estanífero de Encruzilhada do Sul pode estar associada a mais de um processo de formação.

Os processos envolvidos teriam seu ordenamento iniciado através da circulação de um fluido aquoso hidrotermal/meteorítico, de baixo pH (ácido), com temperaturas situadas entre 100 e 150°C. Esse fluido aquoso atuou formando caolinita a partir da alteração de micas e de K-feldspato.

O seguimento do processo implicaria na ação de um fluido aquoso intempérico/meteorítico que atuou provocando o desordenamento estrutural da caolinita primária hidrotermal e na formação, a partir desta, da haloisita cuja ocorrência está sempre ligada a caolinita.

CONCLUSÕES

Os dados existentes sobre a composição de minerais formados durante as fases de alteração hidrotermal indicam uma forte interação entre a composição dos protólitos e os produtos gerados. Feições deste tipo são observadas nas micas brancas que resultaram da instabilização de biotita pré-existente e de forma geral nas micas associadas a *greisen*.

A dominância absoluta do politipo 2M₁ indica que as micas brancas presentes em *greisen* das zonas hidrotermalizadas foram formadas a temperatura alta (Velde, 1965), possivelmente em uma faixa de temperatura entre 450 e 500°C.

Os processos hidrotermais que atuaram associados aos granitóides da Suíte Intrusiva Cordilheira, foram responsáveis por amplas zonas de alteração hidrotermal, geradas através da circulação de fluidos aquosos de origem magmática e magmático-meteorítica. A injeção dos granitóides da Suíte Intrusiva Campinas, resultou na ação mais focada de fases fluidas aquo-carbônicas e aquosas, gerando alteração

hidrotermal restrita a cúpulas e zonas de contato das intrusões.

As inclusões fluidas aquosas tardias, em zonas de contatos intergranulares de cristais de quartzo dos veios mineralizados, indicam fluidos hidrotermais com origem a partir de influxos meteoríticos no sistema hidrotermal. A alteração argílica, com caolinita dominando, foi possivelmente iniciada sob a ação dessa fase de fluidos, com temperaturas da ordem de 150°C. A intensidade e o volume final da alteração argílica identificada nas três minas são consequência da ação de fluidos intempéricos que agiram sobre zonas de alteração argílica hidrotermal.

A caracterização mineralógica e de distribuição das zonas de alteração hidrotermal identificadas no Distrito Estanífero de Encruzilhada do Sul pode representar um modelo importante na identificação de sistemas hidrotermais para a geologia de exploração mineral em áreas graníticas.

REFERÊNCIAS

- Bagdassarov, N.S.; Dingwell, D.B.; Webb, S.L. 1993. Effect of boron, phosphorus and fluorine on shear stress relaxation in haplogranite melts. **European Journal of Mineralogy**, 5(3): 409-425.
- Bailey, S.W. 1984. Classification and structures of the micas. In: Bailey, S.W. (ed.). **Micas**. Chelsea, Mineral. Soc. Am., p. 1-12. (série Reviews in Mineralogy 13).
- Brindley, G.W. & Brown, G. 1984. Crystal Structure of Clay Minerals and Their X-ray Identification. **Mineralogical Society of London**. 495p.
- Chi, G.; Guha, J.; Zhang Lu, H. 1993. Separation mechanism in the formation of proximal and distal tin polymetallic deposits, Xinlu Ore Field, Southern China- Evidence from fluid inclusion data. **Economic Geology**, 88(4): 916-933.
- Dempster, T.J.; Tanner, P.W.G.; Ainsworth, P. 1994. Chemical zoning of white micas: A record of fluid infiltration in the Oughterard granite, western Ireland. **American Mineralogist**, 79 (5/6): 536-544.
- Frantz, J.C.; Coelho, N.F.; Botelho, N.F. 1998. Gênese e evolução dos fluidos envolvidos na alteração hidrotermal e na mineralização de estanho dos granitos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geociências**, 28(3): 301-306.
- Lanson, B.; Beaufort, D.; Berger, G.; Bauer, A.; Cassagabere, A.; Meunier, A. 2002. Links between authigenic kaolin-group minerals and illitic minerals in diagenetically altered sandstone reservoirs. **Clay Minerals**, 37(1): 1-22.
- Leinz, V. & Pinagel, H. 1945. **Estanho e Tungstênio no Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. 90 p. (Boletim 70).
- Monier, G. & Robert, J.L. 1986. Muscovite solid solutions in the system K₂O-MgO-FeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O: an experimental study at 2 kbar PH₂O and comparison with natural Li-free white micas. **Mineralogical Magazine**, 50: 257-266.
- Pollard, P.J.; Andrew, A.S.; Taylor, R.G. 1991. Fluid inclusion and stable isotope evidence for interaction between granites and magmatic hydrothermal fluids during formation of disseminated and pipe-style mineralization at the Zaaipiaats Tin Mine. **Economic Geology**, 86(1): 121-141.
- Psyrrillos, A.; Manning, D.A.C.; Burley, S.D. 1998. Geochemical constraints on kaolinization in the St Austell Granite, Cornwall, England. **Journal of the Geological Society**, 155(5): 829-840.

- Samson, I.M. 1990. Fluid evolution and mineralization in a subvolcanic granite stock: The Mount Pleasant W-Mo-Sn Deposits, New Brunswick, Canada. **Economic Geology**, **85**(1): 145-163.
- Speer, J.A. 1984. Micas in igneous rocks. In: Bailey, S.W. (ed.). **Micas**. Chelsea, Mineral. Soc. Am. p. 299-356. (série Reviews in Mineralogy 13).
- Velde, B. 1965. Phengite micas: synthesis, stability, and natural occurrence. **American Journal of Science**, **263**: 886-913.