

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

A cloritização na Mina Uruguai, Minas do Camaquã, RS, Brasil

Guilherme Troian, André Mexias, Márcia Gomes, Denise Canarim,

Patricia Patrier-Mas, Christophe Renac

Pesquisas em Geociências, 37 (3): 173-190, maio/ago., 2010.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/22658>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos

UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2010.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

A cloritização na Mina Uruguai, Minas do Camaquã, RS, Brasil

Guilherme C. TROIAN¹, André S. MEXIAS², Márcia E.B. GOMES², Denise CANARIM³,
Patricia PATRIER-MAS⁴ & Christophe RENAC⁵

1. CPRM, Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Recife. Avenida Sul, 2291, Afogados - Recife/Pernambuco, CEP: 50770-011. E-mail: guilhermetroian@gmail.com.

2. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Caixa Postal 15001, CEP 91501-970, Porto Alegre, RS. E-mail: andre.mexias@ufrgs.br

3. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Caixa Postal 15001, CEP: 91501-970, Porto Alegre, RS. E-mail: dedigeo@gmail.com

4. Université de Poitiers. 40, avenue du Recteur Pineau 86022, Poitiers Cedex, França. E-mail: patricia.patrier@univ-poitiers.fr

5. Université Jean Monnet. 34, rue Francis Baulier 42023, St-Etienne Cedex 2, França. E-mail: renac@univ-st-etienne.fr

Recebido em 09/2009. Aceito para publicação em 08/2010.

Versão online publicada em 09/05/2011 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - A região das Minas do Camaquã é parte constituinte da Bacia do Camaquã, a qual possui direção NE-NW e é preenchida por sedimentos siliciclásticos intercalados com rochas vulcânicas. A clorita é o argilomineral mais abundante na área, ocorrendo em grande quantidade nos halos de alteração hidrotermal presentes nas rochas encaixantes das mineralizações na Mina Uruguai. Este trabalho consiste na caracterização petrológica, química e estrutural das cloritas, que fornece importantes informações sobre diferentes processos e condições de formação do ambiente hidrotermal. Para isso se realizou petrografia óptica, difratometria de raios X, modelamento dos difratogramas através do programa Reynolds Newmod[®] e microscopia eletrônica de varredura (elétrons secundários e micro-análises por EDS) em amostras representativas de diferentes zonas de alteração hidrotermal identificadas. As cloritas se apresentam com três diferentes tendências: a Clorita I ocorre com aspecto pervasivo sobre a matriz das rochas localizadas próximo aos filões mineralizados; é classificada como Fe-clinocloro, apresenta na fração <1 µm predominância do politipo IIb e um enriquecimento em Mg²⁺ e na fração < 10µm predominância do politipo Ib (90^o) e enriquecimento em Fe_{total}. A Clorita II ocorre como veios preenchendo pequenas fraturas; é classificada como Chamosita e apresenta politipo estrutural IIb. A Clorita III ocorre alterando minerais detríticos sendo classificada como Mg-chamosita. A variação na quantidade de ferro das cloritas geradas por processos hidrotermais (Clorita I < 10 µm e Clorita II) fornece indícios da ocorrência de pelo menos dois pulsos no processo de alteração hidrotermal: um responsável pela intensa alteração da matriz e dos clastos das rochas e outro responsável pela geração dos veios tardios. A variação na quantidade de Fe_{total} dos dois diferentes fluidos responsáveis pela cristalização das cloritas fica evidenciada pela associação de co-geneticidade da Clorita II com a hematita, mostrando que o fluido final foi muito mais enriquecido em ferro que o fluido precoce que cristalizou a Clorita I < 10 µm.

Palavras-chave: clorita, alteração hidrotermal, Minas do Camaquã, Mina Uruguai, diagênese, difratometria de raios x.

Abstract - The chloritization in the Uruguai Mine, Camaquã Mines, RS - Brazil. The area of Camaquã Mines is part of the Camaquã Basin, which has NE-NW directions and is filled out by siliciclastics sediments interbedded with volcanic rocks. Chlorite is the most abundant clay mineral in the area and appears in high amount in the halos of hydrothermal alteration present in the host's mineralization rocks. This work consists on the chlorite's petrologic, chemical and structural characterization, supplying important information on different processes and formation conditions of the hydrothermal environment. The following procedures were made: optical petrography, X-ray diffraction, diffractograms modeling through the Reynolds Newmod[®] program, and scanning electron microscopy (secondary electrons and microanalysis - EDS) in representative samples of the different identified hydrothermal alteration zones. Chlorites are present under three different tendencies: Chlorite I takes place with a pervasive aspect over the matrix rocks located near the mineralized veins; it is classified as Fe-chlinoclore, presents fraction <1 µm predominance of polytype IIb and a Mg²⁺ enrichment in the fraction of < 10 µm predominance of polytype Ib (90^o) and Fe_{total} enrichment. Chlorite II occurs as veins filling out small fractures; it is classified as Chamosite and presents structural polytype IIb. Chlorite III occurs altering detrital minerals; it is classified as Mg-chamosite. The variation on the amount of Fe of the chlorites generated over the hydrothermal processes (Chlorite I < 10 µm and Chlorite II) indicates the occurrence of at least two pulses in the process of the hydrothermal alteration: one is responsible for the great matrix and clasts alteration and the other one for the generation of the late veins. The variation in the amount of Fe_{total} of the two different responsible fluids for the crystallization of the chlorites is evidenced by the association of co-geneticity of Chlorite II with the hematite, showing that the final fluid was quite more enriched in iron than the early fluid that crystallized Chlorite I < 10 µm.

Keywords: chlorite, hydrothermal alteration, Camaquã Mines; Uruguai Mine, diagenesis, x-ray diffraction.

1. Introdução

As Minas do Camaquã localizam-se no município de Caçapava do Sul, porção centro-sul do Estado do Rio Grande do Sul, distando aproximadamente 350 Km de Porto Alegre. No local ocorrem antigos prospectos minerais denominados de Mina Uruguai, Mina São Luiz e Jazida Santa Maria. A Mina Uruguai, objeto deste estudo, foi explorada através de galerias desde sua descoberta no ano de 1870 até 1979, quando sua exploração passou a se dar a céu aberto.

A mineralização de Cu (Au, Ag) na Mina Uruguai já foi motivo de diversos estudos, com destaque para os trabalhos de Leinz & Almeida (1941), Ribeiro *et al.* (1966), Teixeira & Gonzáles (1988), Bettencourt (1972), Veigel & Dardenne (1990), Laux & Lindenmayer (2000a) e Ronchi *et al.* (2000). Estes estudos objetivaram, principalmente, obter dados sobre o minério e sua origem, já que desde o início dos trabalhos na Mina Uruguai diferentes modelos genéticos e exploratórios foram propostos para gênese das mineralizações. Inicialmente se partiu de um modelo hidrotermal-magmático, passando a um modelo sedimentar-singênico e, por fim, o modelo hidrotermal do tipo epitermal, sendo esta a hipótese mais aceita atualmente. Contudo ainda não se tem um conhecimento detalhado das assembléias minerais de alteração hidrotermal, como argilominerais e filossilicatos, as quais estão presentes em grande quanti-

dade na área e que podem fornecer informações importantes com relação à proposição de um modelo metalogenético para a região.

O presente trabalho tem como objetivo a caracterização química e petrográfica das cloritas presentes na Mina Uruguai, incluindo: (i) aspectos petrográficos de diferentes ocorrências de cloritas; (ii) dados da estrutura cristalina através da difratometria de raios X; (iii) dados químicos e texturais das diferentes ocorrências obtidos através do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Isso se faz necessário para um maior detalhamento das fases de alteração hidrotermal e suas paragêneses, contribuindo assim para entendimento da gênese do minério presente na área. A clorita é um importante produto do processo de alteração hidrotermal e da diagênese na área, ocorrendo em grande quantidade nos halos de alteração hidrotermal presentes nos arenitos e conglomerados encaixantes das mineralizações.

2. Contexto Geológico

2.1. A Bacia do Camaquã

As Minas do Camaquã inserem-se no contexto evolutivo da Bacia do Camaquã (BC) que está situada no extremo sul do Brasil, na porção central do Escudo Sul-rio-grandense (ESRG) (Fig. 1).

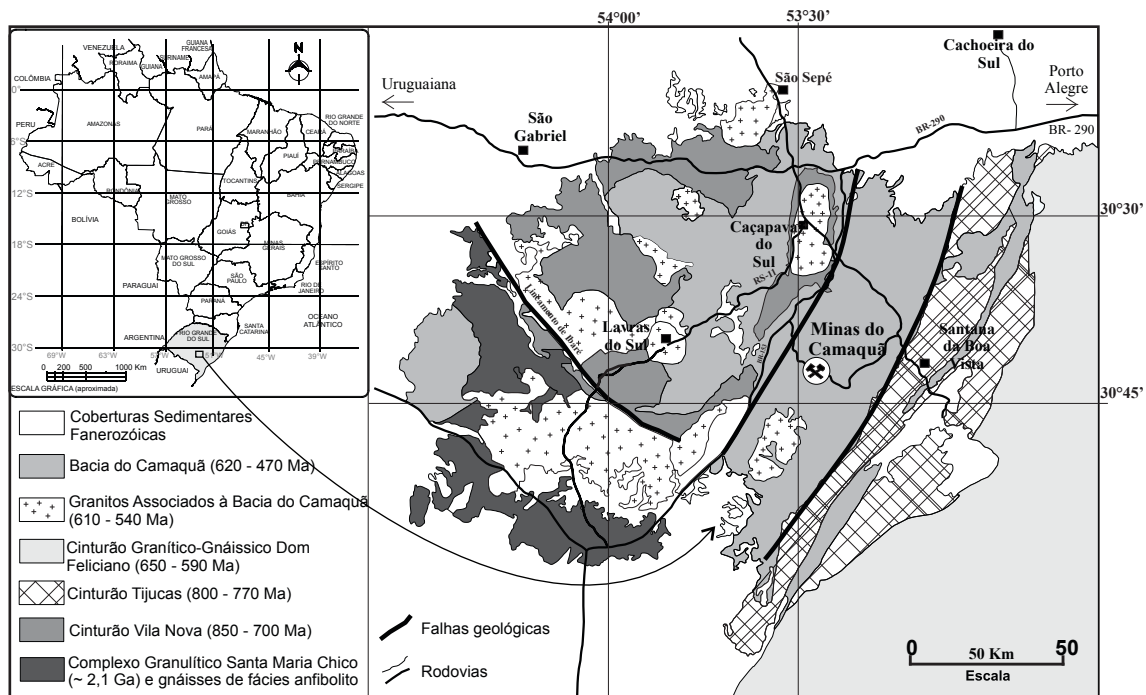


Figura 1. Compartimentação geológica simplificada do Escudo Sul-rio-grandense (modificado de Paim *et al.*, 2000).

A Bacia do Camaquã (Fig. 1) está geneticamente relacionada aos processos tectono-magmáticos tardios do Cinturão Granítico-Gnáissico Dom Feliciano. É entendida como um lócus deposicional onde foi preservado o registro da superposição de diversos tipos de bacias sedimentares (Paim *et al.*, 2000).

Existem diversas propostas de colunas estratigráficas para a BC. Neste trabalho foi adotada a de Paim *et al.* (2000) que apresenta da base para o topo a seguinte sequência: Alogrupos Maricá, Bom Jardim, Cerro do Bugio, Santa Bárbara e Guaritas com idades que vão de 620 a 470 Ma.

A sedimentação essencialmente clástica da Bacia do Camaquã foi contemporânea a uma importante atividade magmática, que acompanhou o desenvolvimento da bacia, e é registrada no seu interior por rochas vulcânicas a vulcano-clásticas de composição básica a ácida. Na base da sequência, associados ao Alogrupo Bom Jardim encontram-se as rochas vulcânicas básicas a intermediárias da Formação Hilário. No topo, dentro do Alogrupo Guaritas, ocorrem as rochas vulcânicas

de afinidade alcalina, também básicas a intermediárias, referidas como “Andesito Rodeio Velho” (Paim *et al.*, 2000).

2.2. Geologia local

As Minas do Camaquã localizam-se na parte central de um graben com direção geral nordeste. Dois sistemas de falhas principais ocorrem na área: um representado por falhas regionais com direção N20°-30°E, responsável pelos limites e pela compartimentação longitudinal do graben, e outro com direção N50°-70°W representado pelas principais estruturas mineralizadas.

Na área das Minas do Camaquã, o Grupo Bom Jardim ocupa o núcleo da chamada “Janela Bom Jardim” (Teixeira & Gonzáles, 1988), constituindo uma estrutura com mergulho para noroeste, recoberta por rochas horizontalizadas da Formação Guaritas, pertencentes ao Grupo Camaquã. Na figura 2 é apresentado o mapa geológico da região das Minas do Camaquã.

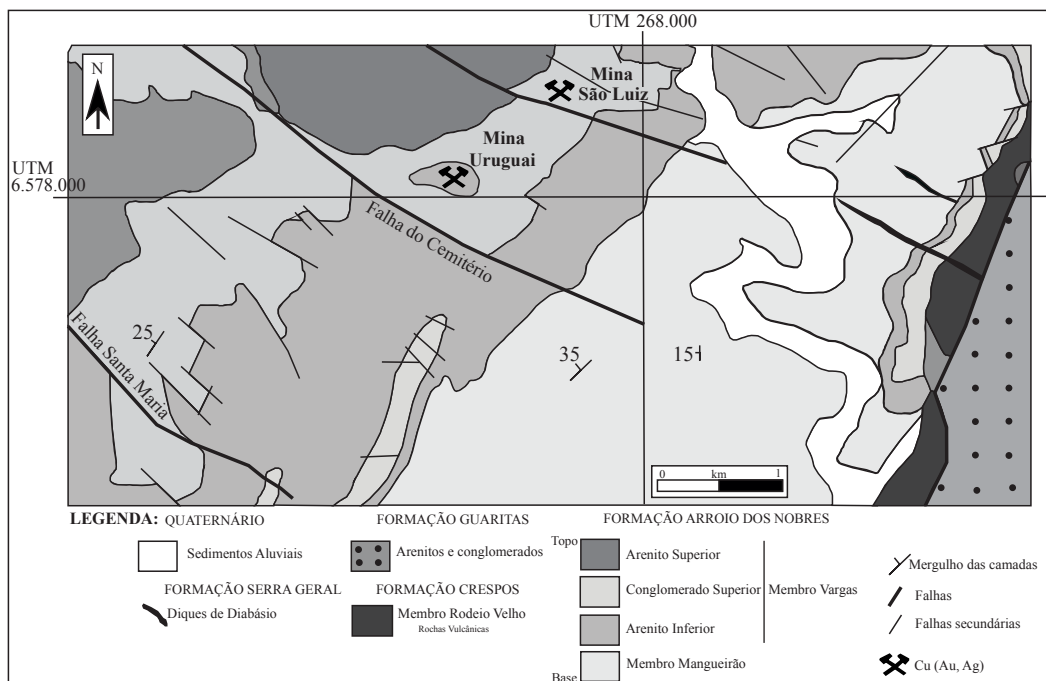


Figura 2. Mapa geológico da região das Minas do Camaquã mostrando a localização da Mina Uruguai (modificado de Remus *et al.*, 2000).

Na Mina Uruguai (MU) a exploração se deu através de galerias e a céu aberto. A cava principal a céu aberto apresentava, no fim das explorações, aproximadamente 250 m de profundidade, 450 m de largura e 700 m de comprimento segundo direção NW-SE. Na área da MU, as rochas aflorantes são representadas pela Formação Arroio dos Nobres, a

qual foi dividida em dois membros: Membro Mangueirão e Membro Vargas, sendo as rochas deste último hospedeiras das mineralizações de Cu-Pb-Zn (Au). Na figura 3 é apresentada a coluna estratigráfica proposta por Ribeiro *et al.* (1966) e modificada por Faccini *et al.* (1987).

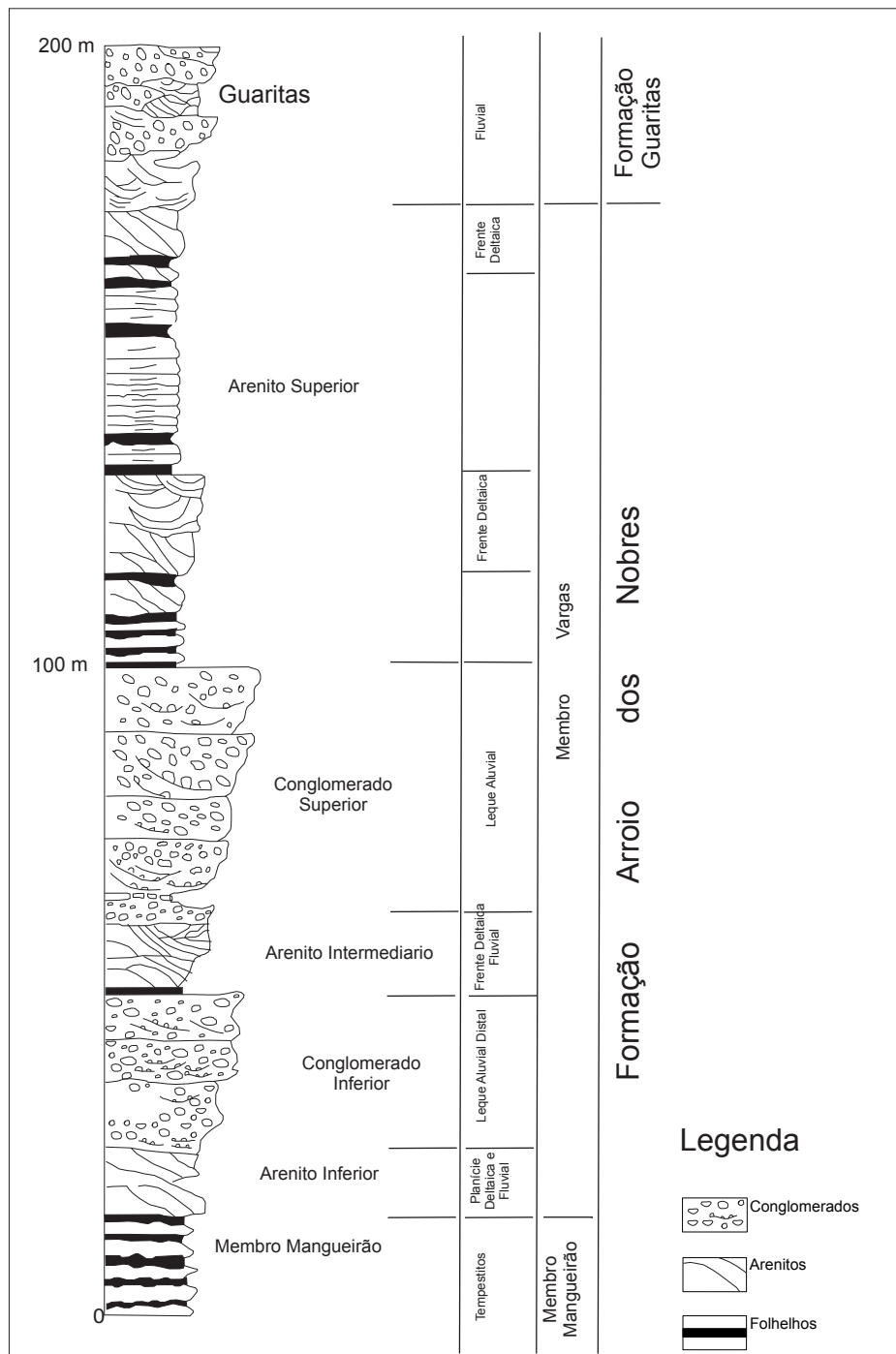


Figura 3. Coluna estratigráfica da Bacia do Camaquã na região das minas do Camaquã proposta por Ribeiro (1966) (modificada de Faccini *et al.*, 1987).

O Membro Mangueirão apresenta aproximadamente 200 m de espessura, sendo caracterizado pela intercalação de arenitos finos e siltitos micáceos marrom avermelhados. O Membro Vargas consiste de uma seqüência de conglomerados e arenitos imaturos. Teixeira & Gonzáles (1988) subdividiram o Membro Vargas na área da Mina Uruguai em cinco unidades litológicas, que são da base para o topo: (I) Arenito Inferior: arenitos finos a médios com intercalações centimétricas de siltitos e arenitos conglomeráticos; (II) Conglomerado

Inferior: composto por conglomerados finos a médios intercalados com arenitos médios a conglomeráticos; (III) Arenito Intermediário representado por arenitos finos a médios; (IV) Conglomerado Superior: conglomerados grossos a médios, muito mal selecionados com clastos de granitos, quartzitos, riolitos, piroclásticas, milonitos, feldspatos, quartzo mono e policristalino, xistos e fragmentos de rocha sedimentar; e (V) Arenito Superior: arenitos finos a médios com intercalações milimétricas siltico-argilosas de cor marrom.

2.3. Mineralizações

O minério de Cu (Au+Ag) na Mina Uruguai é encontrado disseminado nos arenitos e conglomerados, na forma de sulfetos maciços em filões e preenchendo pequenas fraturas (Teixeira & Gonzáles, 1988). Próximo à superfície há uma zona de oxidação, onde o minério contém pequenas quantidades de ouro e prata (Bettencourt, 1972).

O minério filoneano está condicionado por falhamentos que possuem direção variando entre N50°W e N80°W com mergulho tendendo a vertical. As falhas se prolongam para fora da zona mineralizada, sendo preenchidas por quartzo, hematita, barita e argilominerais (Bettencourt, 1972; Teixeira & Gonzáles, 1988; Ribeiro, 1991). As falhas formam zonas brechadas na parte central do corpo mineralizado (Bettencourt, 1972) com filões discordantes em relação às rochas sedimentares, cuja direção das camadas é N20°- 30°E com mergulhos médios de 30° para NW.

Segundo Laux & Lindenmayer (2000b), na zona mineralizada, a margem dos veios está marca-

da por intensa alteração hidrotermal representada por silicificação, cloritização, caulinição e sulfetação. A composição mineralógica dos veios consiste em quartzo, pirita, calcopirita, bornita, hematita e ouro. Calcita e barita representam as fases tardias, ocorrendo disseminadas e como veios com até 15 cm de espessura nos arenitos e conglomerados.

O minério disseminado é observado principalmente nos arenitos e conglomerados, predominando no topo do Conglomerado Inferior e no Arenito Intermediário. Esse tipo de minério predomina nos contatos litológicos e só não foi encontrado no Arenito Superior (Leinz & Almeida, 1941; Bettencourt, 1972; Teixeira & Gonzáles, 1988; Veigel & Dardenne, 1990; Ribeiro, 1991). Ele é interpretado por diversos autores como parte das zonas de alteração hidrotermal que se desenvolveram ao redor dos veios, representando a manifestação lateral do controle estrutural da mineralização, com os sulfetos ocupando a porosidade secundária da rocha encaixante (Leinz & Almeida, 1941; Bettencourt, 1972; Laux & Lindenmayer, 2000b; Ronchi *et al.*, 2000) (Fig. 4).

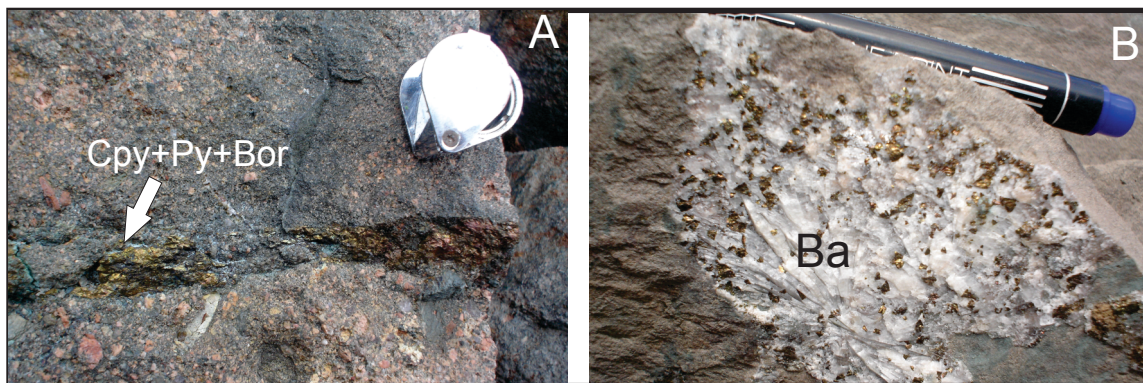


Figura 4. Minério preenchendo fratura centimétrica em conglomerado (A) e calcopirita (B) associada à barita, em arenito (Cpy- Calcopirita; Py- Pirita; Bor- Bornita e Ba- Barita).

3. Materiais e métodos

Estudos petrográficos de detalhe foram realizados em amostras coletadas em superfície na cava da mina e amostras de três furos de sondagem realizados pela Companhia Brasileira do Cobre (CBC), sendo dois superficiais (PSU 45 e U 72) e um em sub-superfície (U180/94-30). O objetivo foi de caracterizar a ocorrência de argilominerais e suas relações texturais procurando determinar a cronologia dos eventos diagenéticos e/ou hidrotermais. A análise petrográfica das amostras foi realizada por microscopia óptica, utilizando o Microscópio Zeiss-Axiolab (Carl Zeiss, Axiolab pol.), do Labora-

tório de Microscopia do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CPGq/UFRGS).

A análise mineralógica e determinação de espécies de argilominerais e seus politipo, em cada um dos ambientes selecionados a partir da petrografia, foi feita por difratometria de raios X (DRX), no Laboratório de Difratometria de Raios X do CPGq/UFRGS, utilizando-se um difratômetro SIEMENS BRUKER-AXS Modelo D5000, com goniômetro θ - θ . As condições analíticas foram de 40 kV e 25 mA e radiação $\text{CuK}\alpha$. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro para cada tipo de aná-

lise foram as seguintes. Amostra em Pó: 1 segundo para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 2° a $72^\circ 2\theta$; Amostra Orientada Natural: 2 segundos para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 2° a $28^\circ 2\theta$; Amostra Orientada Glicolada: 3 segundos para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 2° a $28^\circ 2\theta$; a para Politipos: 5 segundos para $0,02^\circ$ de degrau do goniômetro de 31° a $53^\circ 2\theta$. Utilizou-se fendas de 1° tanto a divergente como a de anti-espalhamento. Baseado na intensa presença de clorita, assim como em suas diferentes formas de ocorrência, foram escolhidas 32 amostras para análise mineralógica total (amostra em pó) e 21 para análise das frações (<10 , <5 e $<1\mu\text{m}$) dos argilominerais (amostra orientada natural).

As composições das cloritas foram obtidas utilizando-se um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) (JEOL 5600 LV) com EDS acoplado, do Laboratório Hydrasa da Universidade de Poitiers, França. As condições analíticas foram de 15kV e 0,6-0,7 nA. As análises morfológicas foram feitas no modo de elétrons secundários no microscópio eletrônico de varredura (Jeol JSM-5800) do Centro de Microscopia Eletrônica da UFRGS.

Para o cálculo estrutural das cloritas analisadas, o Fe^{2+} presente foi considerado como sendo Fe_{total} , não distinguindo Fe^{2+} e Fe^{3+} . Para classificação das cloritas foram gerados gráficos binários e ternários a partir da comparação entre elementos e combinações de elementos.

Com o uso do programa Reynolds Newmod[®] (Reynolds, 1996), foi feita a modelagem por simulação de 20 diferentes difratogramas que indicam diferentes composições de cloritas. Neste tipo de modelagem, a composição da clorita é expressa através da proporção de Ferro no octaedro 1 (2:1) e no octaedro 2 (hidroxilado). Isso fica evidenciado pela maior intensidade do pico 002 em relação ao pico 001, sendo que quanto maior a diferença entre os dois picos mais rica em Ferro é a clorita. A partir do programa foram gerados difratogramas padrões, os quais foram comparados aos difratogramas obtidos através da análise por difratometria de raios X de 28 amostras de argilominerais em diferentes frações (<10 , <5 e $<1\mu\text{m}$), e que representam os diferentes tipos de clorita identificados na petrografia. Cabe ressaltar que a comparação foi feita apenas utilizando-se os difratogramas das frações <10 e $<1\mu\text{m}$, pelo fato de não ter havido diferença significativa entre as análises das frações <10 e $<5\mu\text{m}$.

4. Resultados

4.1. Petrografia

Na análise petrográfica foram identificadas zonas de brecha que ocorrem principalmente nos arenitos (Fig. 5). São formadas por fragmentos angulares de arenitos e cimentadas por hematita, carbonatos, quartzo, barita e sulfetos. Ainda ocorrem pequenas quantidades de clorita e illita nas bordas dos sulfetos. Essas brechas ocorrem associadas a grandes estruturas de direção NW, geralmente junto a veios de hematita, barita e quartzo.

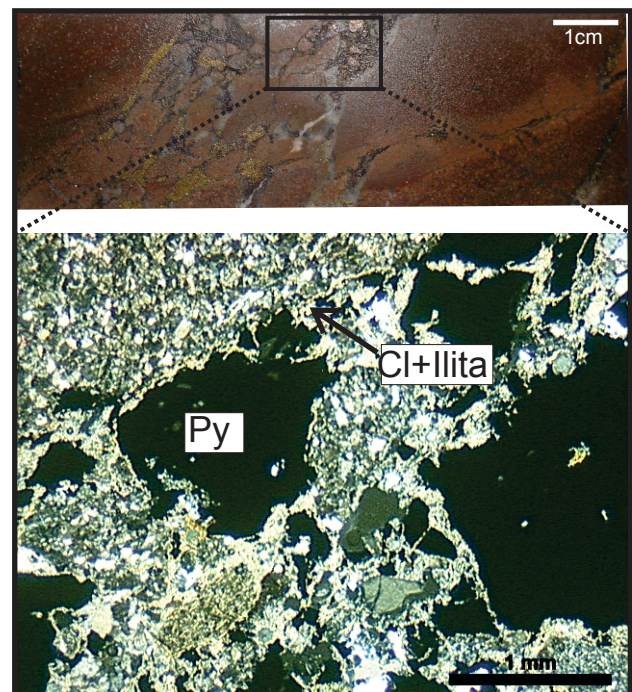


Figura 5. Imagem macro e microscópica mostrando zona de brecha em arenito (Py-Pirita, Cl-Clorita).

A clorita é o argilomineral mais abundante nas rochas afetadas pela alteração hidrotermal na Mina Uruguaí. Através de estudos petrográficos foi possível identificar três diferentes tipos desse mineral (Fig 6).

A clorita tipo I ocorre como alteração do cimento diagenético e ocupando os espaços vazios de forma pervasiva. Esta alteração faz com que a clorita chegue a substituir até 60% das rochas de granulometria mais fina (arenitos e siltitos), conferindo tons esverdeados às mesmas. Quando se observa a morfologia da clorita I no MEV se percebe a ocorrência de diferentes frações granulométricas de clorita, podendo as maiores alcançar a aproximadamente $10\mu\text{m}$ (Fig. 7).

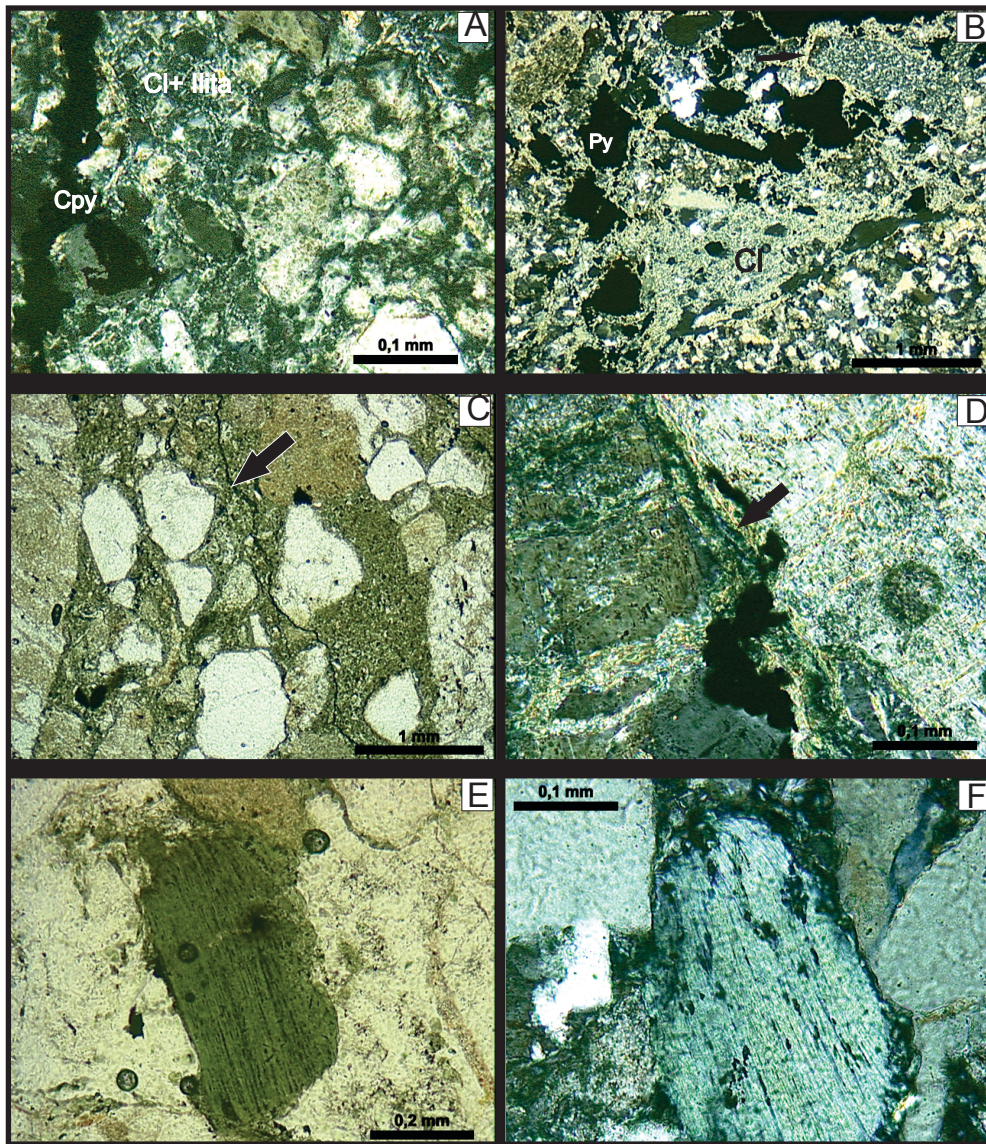


Figura 6. Fotomicrografias mostrando as diferentes ocorrências de clorita presentes na MU. Clorita I, A: Formação na matriz de clorita próxima a microveio de calcopirita em arenito (nicóis cruzados); B: Clorita como produto da alteração de cimento diagenético em zona de microbrecha em arenito; notar a presença de cristais de illita - mica branca - ao redor de fragmentos do arenito (seta) (nicóis cruzados); Clorita II, C: Microveio de clorita (seta) cortando matriz cloritizada de uma microbrecha em conglomerado (nicóis paralelos); D: Veio de clorita (seta) cortando veio de illita (mica branca) em borda de grão de feldspato; notar a presença de sulfetos junto ao veio de clorita (nicóis cruzados); Clorita III, E: Cristal detrítico de biotita levemente alterado a clorita em conglomerado distante da zona mineralizada (nicóis paralelos); F: Biotita detrítica totalmente alterada para clorita, formando pseudomorfo (nicóis cruzados). (Cl-Clorita. Cpy-Calcopirita. Py-Pirita).

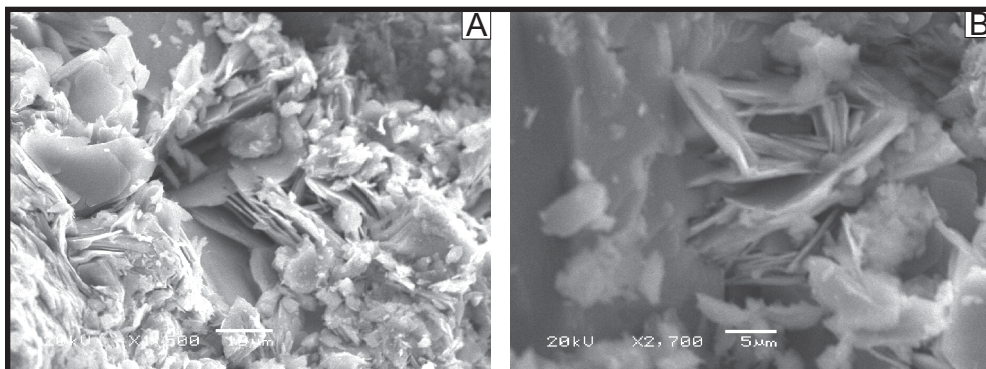


Figura 7. Feições morfológicas das cloritas presentes na matriz dos conglomerados da UM (clorita I). Em (A) as lamelas de clorita apresentam 5-10 μm . Em (B) as lamelas podem alcançar até 20 μm . Apresentam-se bem formadas e são melhores observadas na matriz arenosa dos conglomerados.

A clorita tipo II se apresenta como veios preenchendo fraturas milimétricas discordantes com a estratificação sedimentar. Esses veios ocorrem localizadamente e geralmente apresentam illita e sulfetos (pirita e calcopirita) associados com a clorita. A clorita II é freqüentemente observada em associação com hematita venular. Conforme observado por Bettencourt (1972) a transição minério-rocha encaixante nos veios é feita diretamente pela clorita.

A clorita III é produto da alteração de minerais detríticos e diagenéticos como biotita, muscovita e illita. Na maioria dos casos a alteração é total, formando pseudomorfos, sendo que quanto mais se afasta da zona mineralizada esta alteração ocorre em menor grau.

4.2. Difração de Raios X (DRX)

Através do programa Reynolds Newmod[®] (Reynolds, 1996), foram modelados difratogramas objetivando identificar variações na composição das cloritas. A comparação entre os padrões mode-

lados e os difratogramas obtidos pela DRX resultou na identificação de variações nos padrões para cada tipo de clorita. Ressalta-se que pela impossibilidade de separar a clorita III da rocha a mesma não foi analisada por este método.

A clorita I, que ocorre na matriz das rochas, apresenta diferença quando comparada as diferentes frações, sendo as cloritas < 1 µm enriquecidas em Mg²⁺ e as < 10 µm com leve tendência de enriquecimento em Fe, conforme se observa na figura 8. Essa diferença não se confirma nas cloritas localizadas na matriz das rochas distantes da “zona mineralizada”, onde ambas as frações apresentam enriquecimento em Mg²⁺.

Já a clorita II, que ocorre em veios e nos filões junto com hematita, apresentou uma tendência a ser rica em Fe, não havendo diferença significativa entre as diferentes frações analisadas. Pode-se notar na figura 9 o alto grau de “cristalinidade” destas cloritas evidenciado pelos pequenos valores de FWHM, ou seja, pelo alargamento dos picos 001 (d=14,25 Å) e 002 (d=7,10 Å) no difratograma.

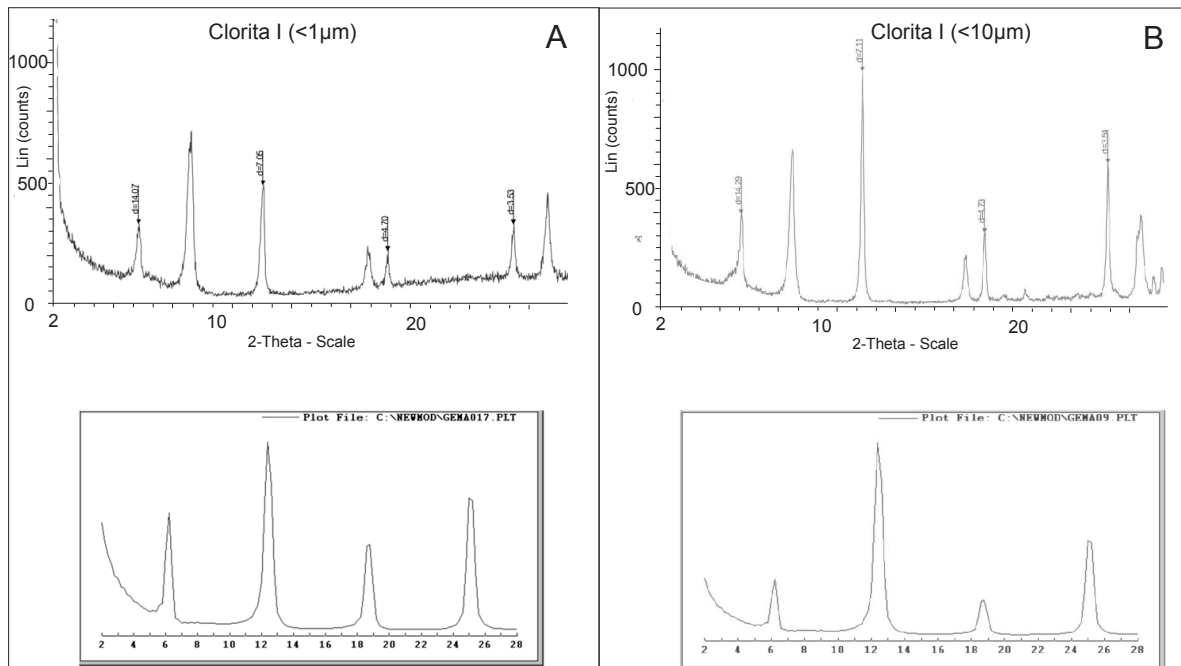


Figura 8. A: Clorita I fração <1µm: difratograma e modelo gerado por simulação onde a proporção de ferro é 0,75 no octaédrico (2:1) e 0,75 no octaédrico (hidroxilado). B: Clorita I fração < 10 µm: difratograma e modelo gerado por simulação onde a proporção de ferro é 2 no octaédrico (2:1) e 2 no octaédrico (hidroxilado). A maior diferença de intensidade dos picos (002) e (001) nas frações maiores indica o enriquecimento em Fe²⁺ da camada octaédrica 2:1.

A análise dos politipos realizada através da DRX indicou variações para as diferentes ocorrências de cloritas, sendo o resultado das análises apresentado na figura 10. A clorita II que ocorre em veios e com frações de aproximadamente 10 µm indicaram politipo IIb (Fig. 10 A). A clorita I apre-

sentou variação nos resultados quando analisada em diferentes frações granulométricas. O difratograma mostra que ambas as frações tem os mesmos politipos - IIb e Ib (90°) - com destaque do politipo Ib (90°) na fração < 10µm (Fig. 10B).

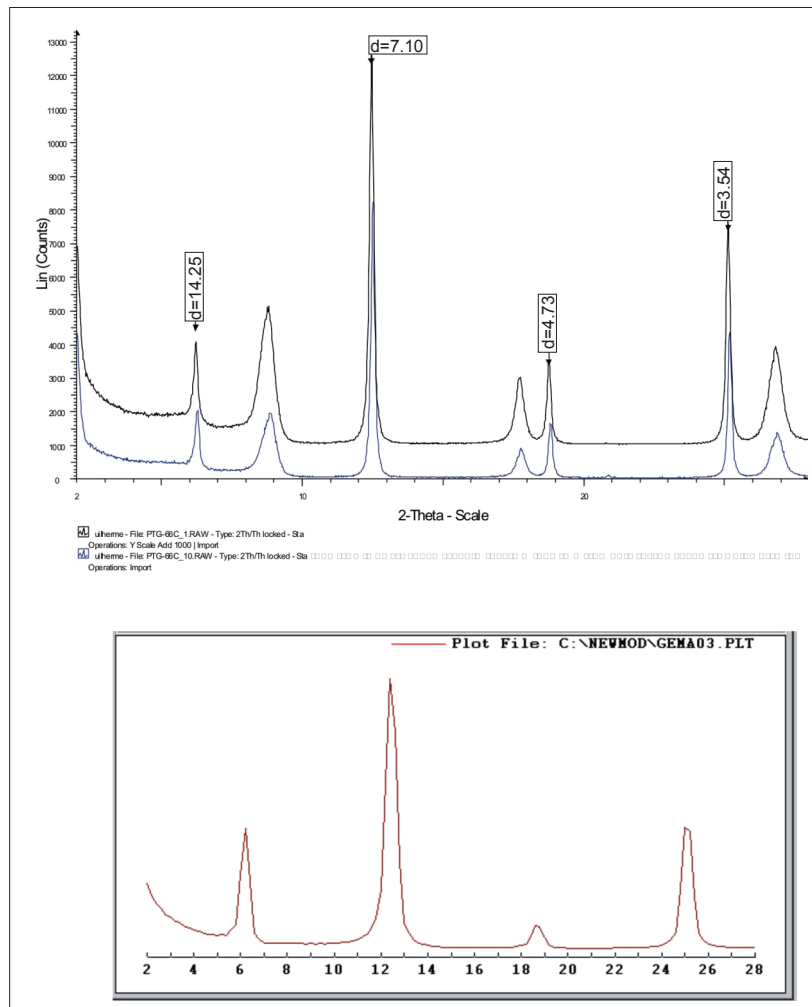


Figura 9. Difratoograma resultante da análise por difratometria de raios X da clorita II nas frações < 1 e < 10 μm ; e modelo gerado por simulação onde a proporção de ferro é 2,5 no octaedro (2:1) e 2,5 no octaedro (hidroxilado). Notar a grande diferença de intensidade entre os picos 001 ($d=14,25 \text{ \AA}$) e 002 ($d=7,10 \text{ \AA}$).

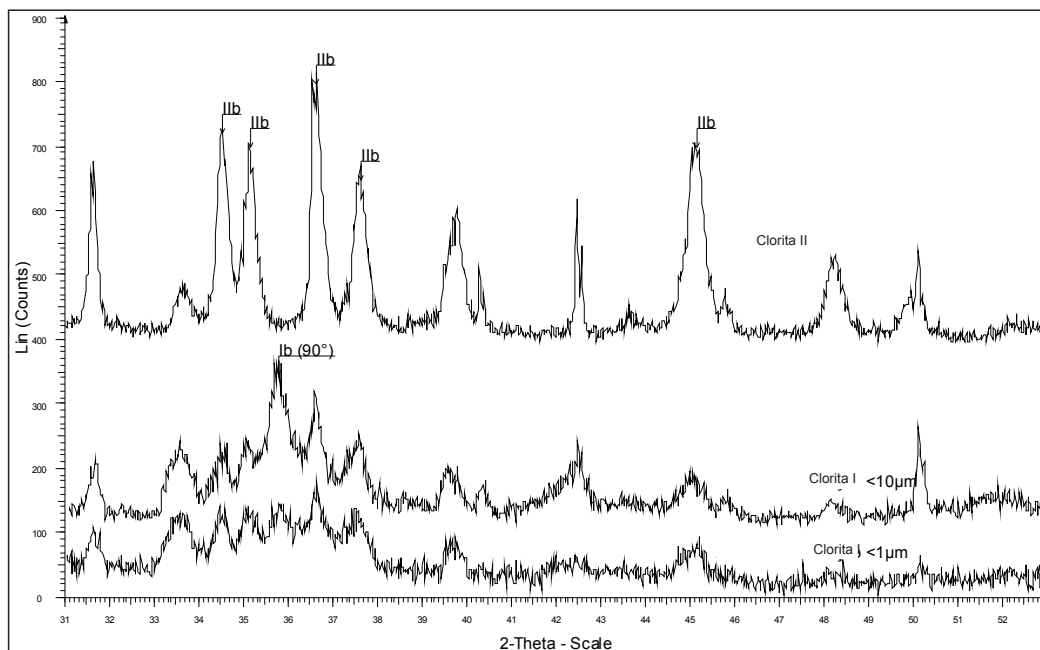


Figura 10. Difratoograma dos politipos das cloritas. A: Clorita II (politipo IIb); B: clorita I <10 μm (politipo IIb e Ib 90°); C: Clorita I <1 μm (IIb - predominante - e Ib 90°).

4.3. Química Mineral

Microanálises químicas por EDS em Microscópio Eletrônico de Varredura foram realizadas nas diferentes ocorrências de clorita identificadas na petrografia (cloritas I, II e III) (Apêndices 1, 2 e 3). Estas análises tiveram como objetivo a caracterização química dos diferentes tipos de clorita a fim de auxiliar no reconhecimento da sua origem e no estabelecimento de relações com as condições de deposição dos minerais de minério.

Utilizando-se a classificação de Foster

(1962) (Fig. 11), observa-se que a grande maioria das cloritas analisadas caem no campo da Brunsvigita, como também observado por Lima (1998). Porém, fica clara a tendência a composição rica em Fe^{2+} da clorita II e em Mg^{2+} da clorita I, sendo a clorita III de composição intermediária. Essa diferenciação pode ser facilmente observada quando utilizada a classificação proposta por Bayliss (1975) e adotada pelo Comitê de Nomenclatura da AIPEA (Fig. 12). Assim, pode-se classificar a clorita I como Fe-clinoclоро, a clorita II como chamosita e a clorita III como Mg-chamosita.

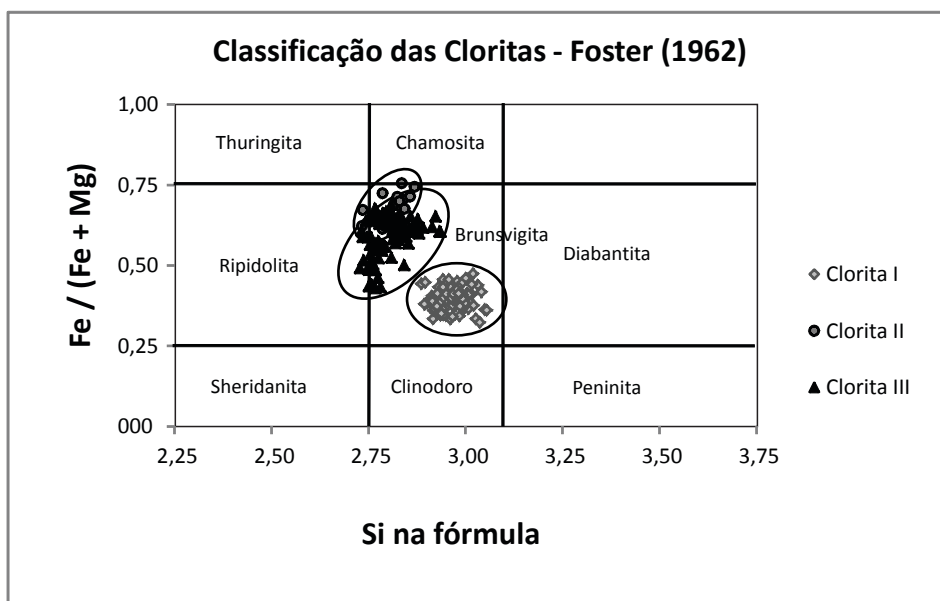


Figura 11. Diagrama Si x $Fe/(Fe+Mg)$ mostrando as cloritas analisadas segundo a classificação proposta por Foster (1962).

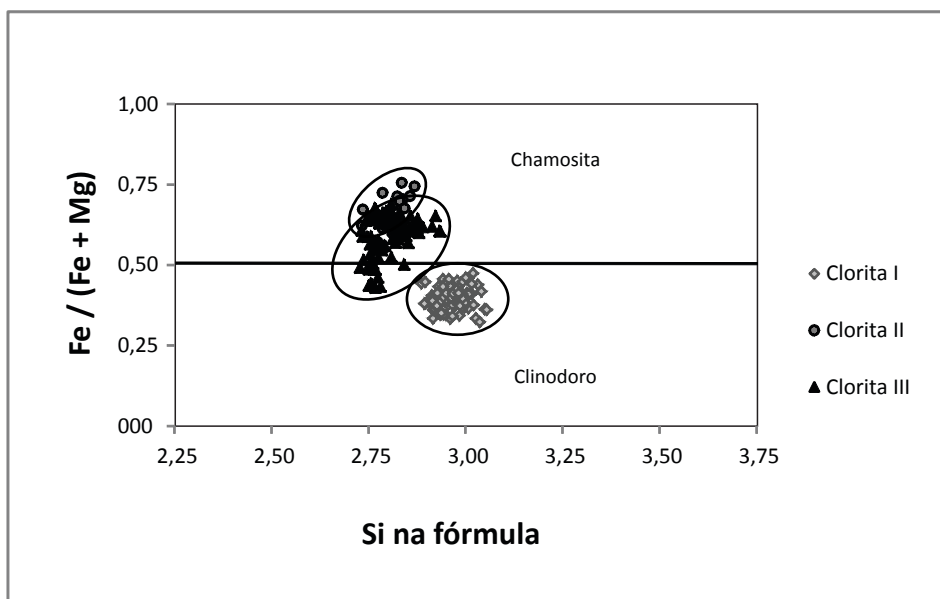


Figura 12. Classificação das cloritas proposta por Bayliss (1975) e adotada pelo Comitê de Nomenclatura da AIPEA. A diferença composicional permite classificar a clorita I como Fe-clinoclоро, a clorita II como Chamosita e a clorita III como Mg-chamosita. Notar que a clorita I se destaca da II e III que apresentam uma superposição parcial.

As substituições de Si^{4+} - Al nos tetraedros e Fe^{2+} - Mg^{2+} nos octaedros representam as principais diferenças que ocorrem nas cloritas. A correlação Fe^{2+} - Mg^{2+} é apresentada na figura 13. Pode-se

observar a variação dos diferentes tipos de cloritas analisadas mostrando três diferentes tendências químicas.

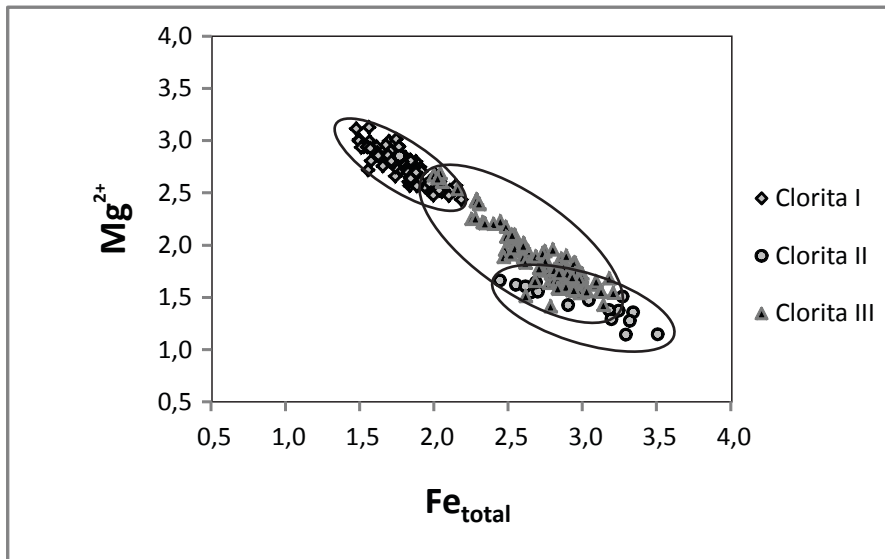


Figura 13. Gráfico representando a variação nas concentrações de Fe^{2+} e Mg^{2+} nas cloritas analisadas na MU.

Na figura 14 é representada a variação do Al^{IV} em função dos diferentes valores da razão $Fe/(Fe+Mg)$. As cloritas apresentam, no geral, proporção direta na razão $Fe/(Fe+Mg)$ e Al^{IV} sendo esta variação consistente com a concomitante substituição de $Fe + Al$ por $Mg + Si$ (Teagle & Alt, 2004). As cloritas analisadas contêm Al^{IV} variando entre 0,9-1,3 enquanto Al^{VI} varia de 1,1 a 1,5, apresentando

um aumento de Al^{IV} à medida que há aumento nas razões $Fe/(Fe+Mg)$ (clorita I), feição também observada por Kranidiotis & MacLean (1987) e Zang & Fyfe (1995). Um comportamento inverso é observado quando analisados os tipos II e III separadamente, com estes apresentando relação inversa na relação $Fe/(Fe+Mg)$ e Al^{IV} .

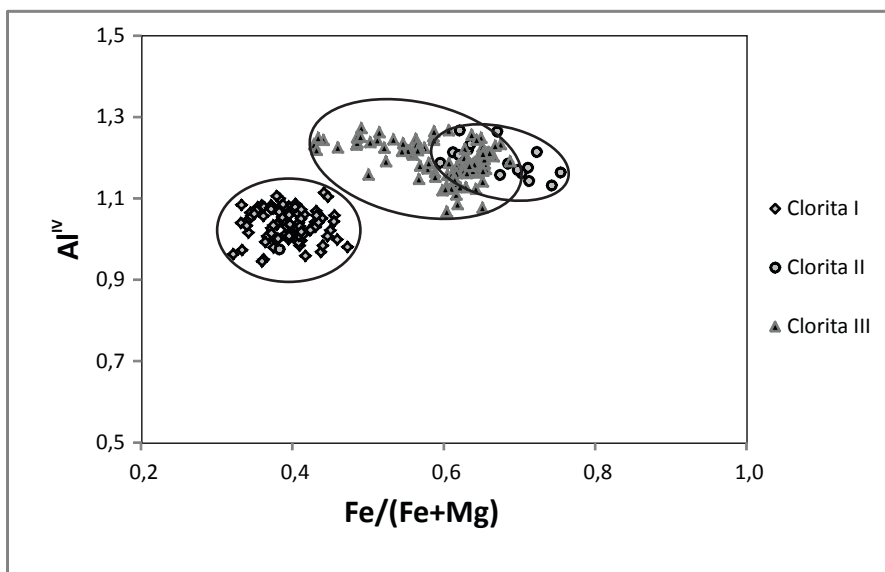


Figura 14. Gráfico mostrando a relação inversa entre Al^{IV} e a razão $Fe/(Fe+Mg)$ para as cloritas analisadas. Notar que esta tendência entre os 3 tipos de cloritas é levemente inversa quando analisada dentro dos campos das cloritas II e III.

Na figura 15 as composições das cloritas analisadas estão representadas no diagrama proposto por Wiewiora & Weiss (1990). O diagrama mostra a relação entre Si^{4+} , R^{2+} (que representa os cátions octaédricos de valência 2, Fe+Mg+Mn), Al^{3+}

e ocupação octaédrica, onde Si^{4+} e R^{2+} são apresentados nos eixos ortogonais e Al_{total} e ocupação octaédrica são representados pelas isolinhas. Nota-se a pequena deficiência de carga no octaedro apresentado pelos tipos de clorita.

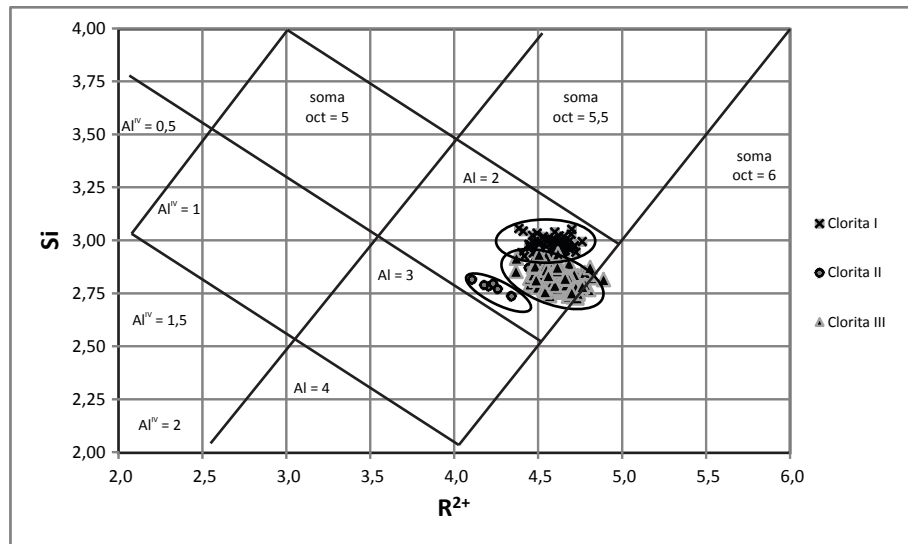


Figura 15. Composição das cloritas segundo diagrama de Wiewiora & Weiss (1990) e utilizado por Hillier & Velde (1990), onde R^{2+} representa a soma dos cátions bivalentes (Mg+Fe+Mn).

5. Discussão dos resultados

Os estudos químicos e petrográficos permitiram a identificação de três diferentes tipos de cloritas, sendo (i) a clorita I que ocorre alterando a matriz da rocha encaixante das mineralizações; (ii) a clorita II que ocorre como veios/vênulas, e (iii) a clorita III, como produto da alteração dos minerais detríticos, principalmente biotita, secundariamente muscovita.

A clorita I, classificada como Fe-clinocloro, ocorre com aspecto pervasivo sobre a matriz das rochas localizadas próximo aos filões mineralizados. Esta intensa alteração dificulta o reconhecimento da mineralogia e das texturas originais das rochas, fato comum quando se trata de rochas encaixantes de filões em ambientes hidrotermais. Através da DRX e da modelagem por simulação no programa Reynolds Newmod©, se pode observar variações entre as diferentes frações granulométricas da clorita I. A fração <10 μm apresenta predominantemente politipo estrutural Ib (90°) e uma tendência a serem enriquecidas em Fe. Já a fração <1 μm apresenta predominantemente politipo IIb e uma tendência a composição mais magnesiânica. As análises químicas ao MEV confirmaram a tendên-

cia observada na DRX mostrando a composição predominantemente magnesiânica da clorita I.

Com esse trabalho se pode evidenciar que as frações mais finas (< 1 μm) presentes na matriz das rochas são produto da diagênese atuante na área. Já as frações maiores (<10 μm) ocorrem sobre a fração mais fina e provavelmente apresentam origem hidrotermal.

A clorita III, classificada como Mg-chamosita, é produto da alteração dos clastos de minerais ferro-magnesianos presentes na matriz dos conglomerados e apresenta composição química intermediária entre a clorita I e a clorita II. Devido à dificuldade de desagregação e separação deste tipo de clorita, não foram realizadas análises de seus politipos. As análises morfológicas e químicas indicam que estas cloritas são de origem hidrotermal e que se formaram no mesmo evento de geração das granulometrias maiores presentes na matriz.

A clorita II, classificada como chamosita, ocorre em veios milimétricos cortando a rocha previamente cloritizada (cloritas I e III). Tanto a análise por DRX quanto a microanálise no MEV mostraram a composição predominantemente ferrosa destas cloritas, que estruturalmente apresentam politipos IIb.

A variação na quantidade de ferro das cloritas geradas por processos hidrotermais (clorita I <10 µm e clorita II) constitui indícios da ocorrência de pelo menos dois pulsos no processo de alteração hidrotermal. Um teria sido responsável pela intensa alteração da matriz e dos clastos das rochas e outro pela geração dos veios e vênulos tardios da clorita II que cortam a clorita I <10 µm. A variação na quantidade de Fe dos dois diferentes fluidos responsáveis pela cristalização das cloritas fica evidenciada pela associação de co-geneticidade da clorita II com a hematita, mostrando que o fluido final foi muito mais enriquecido em ferro que o fluido precoce que cristalizou a clorita I <10 µm. A composição intermediária (entre clorita I e II) da clorita III sugere ser esta influenciada pela composição química do mineral detrítico que está sendo transformado.

No geral, as cloritas apresentam proporção direta na razão Fe/(Fe+Mg) e Al^{iv}, sendo esta variação consistente com a concomitante substituição de Fe + Al por Mg + Si (Teagle & Alt, 2004). As cloritas analisadas apresentam Al^{iv} variando entre 0,9-1,3 enquanto Al^{vi} varia de 1,1 a 1,5, com um aumento de Al^{iv} à medida que há aumento nas razões Fe/Fe+Mg (clorita I), feição também observada por Kranidiotis & MacLean (1987) e Zang & Fyfe (1995). Este aumento pode ser relacionado à substituição de Si⁴⁺ por Al^{iv} que gera deficiência de carga que é suprida, pelo menos em parte, pela entrada de Fe²⁺ + Mg²⁺ na camada octaédrica. As razões Al^{iv}/Al^{vi} apresentam valor médio de 0,88, sugerindo que há um desequilíbrio de carga gerado pela substituição Al^{iv}/Si⁴⁺ no tetraedro, sendo esta diferença de carga não compensada pela presença de Fe²⁺ ou Mg²⁺ na camada octaédrica.

O fato de que tanto a clorita I <1µm (diagenética rica em magnésio) quanto a clorita II (hidrotermal rica em ferro) apresentarem politipo IIB é explicado por este ser o politipo mais estável, podendo terem sido formadas em ambientes com grande variação de temperatura (50 - 300 °C) (Walker & Thompson, 1990). Em Hayes (1970) o politipo IIB é considerado como característico de cloritas geradas a partir de metamorfismo de alta temperatura. Contudo, Walker (1993) estudando cloritas autigênicas formadas a partir de metamorfismo de muito baixo grau em pelitos e rochas vulcânicas verificou que são exclusivamente IIB. Este estudo sugere que para se analisar politipos de cloritas como geotermômetros, devem se levar em consideração além da temperatura, parâmetros

como pressão litostática, fugacidade de oxigênio e composição química da clorita (incluindo determinação de Fe³⁺). Ainda segundo o autor, a transformação do politipo I para o politipo II envolve dissolução e recristalização em razão de rotações e/ou translações dos elementos estruturais e necessita de um grande acréscimo de temperatura no sistema.

Com o objetivo de se obter resultados mais conclusivos com relação às características físico-químicas do fluido hidrotermal atuante na área, se sugere, em trabalhos futuros, a realização de estudo dos isótopos estáveis de oxigênio e hidrogênio, e a determinação do estado de oxidação através da quantidade de Fe³⁺ presente nas cloritas.

Agradecimentos - Projeto foi financiado pelo CNPq processo 4845522/2007-8 Edital MCT/CNPq 15/2007-Universal e pelo projeto CAPES/COFECUB 619/08. Os autores agradecem a Companhia Brasileira do Cobre (CBC), na pessoa do seu Presidente Eng. Paulo Régis Mônico pelo apoio irrestrito, permitindo acesso à área de estudo e as amostras de sondagem. Também agradecemos a Vera Troian pela revisão dos textos.

Referências

- Bayliss, P. 1975. Nomenclature of the trioctahedral chlorite. *Canadian Mineralogist*, 13: 178-180.
- Bettencourt, J.S. 1972. *A Mina de cobre de Camaquã, Rio Grande do Sul*. São Paulo. 175 p. Tese de Doutorado em Geociências, Programa de Pós graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Faccini, U.F., Paim, P.S.G. & Fragoso-César, A.R.S. 1987. Análise faciológica das molassas brasileiras na Região das Minas do Camaquã, RS. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3, Atas, Curitiba, SBG, v.1, p.75-91.
- Foster, M.D. 1962. Interpretation of the composition and a classification of the chlorites. *U.S. Geological Survey*. Prof. Paper 414-A:1-33.
- Hayes, J.B. 1970. Polytypism of chlorite in sedimentary rocks. *Clays and Clay Minerals*, 18:285-306.
- Hillier, S.J. & Velde, B. 1990. Octahedral occupancy and the chemical composition of the diagenetic (low-temperature) chlorites. *Clays and Clays Minerals*, 26:149-168.
- Kranidiotis, P. & MacLean, W.H. 1987. Systematics of chlorite alteration at the Phelps Dodge massive sulfide deposit, Matagami, Quebec. *Economic Geology*,

- 82:1898-1911.
- Laux, J.H. & Lindenmayer, Z.G. 2000a. As Minas do Camaquã: um século de evolução de hipóteses genéticas. In: Ronchi, L.H. & Lobato, A.O.C. (Cord.), *Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar*. São Leopoldo. p. 133-164.
- Laux, J.H. & Lindenmayer, Z.G. 2000b. Caracterização do minério filoneano de um setor da Mina Uruguai, Minas do Camaquã. In: Ronchi, L.H. & Lobato, A.O.C. (Cord.), *Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar*. São Leopoldo. p. 191-210.
- Leinz, V. & Almeida, S. C. 1941. *Gênese da jazida de cobre "Camaquam", Município de Caçapava do Sul - Rio Grande do Sul*. Secretaria dos negócios de agricultura, indústria e Comércio do Estado do Rio Grande do Sul. DNPM. Boletim nº 88, 56p.
- Lima, L. 1998. *A Mina Uruguai e Jazida Santa Maria-Distrito Mineiro de Camaquã (RS): Um Estudo Petroológico, Geoquímico e Geotermométrico*. São Leopoldo. 109p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Instituto de Geologia, Universidade do Vale do Rio dos Sinos.
- Paim, P.S.G., Chemale Jr, F. & Lopes, R.C. 2000. A Bacia do Camaquã. In: Holz, M. & De Ros, L.F. (Eds.) *Geologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre. p. 231-274.
- Remus, M.V.D., Hartmann, L.A., McNaughton, N.J., Groves, D.I. & Reischl, J.L. 2000. Distal magmatic-hydrothermal origin for the Camaquã Cu (Au-Ag) and Santa Maria Pb, Zn (Cu-Ag) deposits, Southern Brazil. *Gondwana Research*, 3:155-174.
- Reynolds, R.C. Jr. 1996. *NEWMOD® a computer program for the calculation of the one-dimensional diffraction patterns of mixed layered Clays*. 8 book Dr. Hanover, New Hampshire, USA.
- Ribeiro, M.J. 1991. *Sulfetos em sedimentos detríticos Cambrianos do Rio Grande do Sul, Brasil*. Porto Alegre. 416p. Tese de doutorado. Programa de Pós graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Ribeiro, M., Bocchi, P.R., Figueiredo Filho, P.M. & Tessari, R.I. 1966. *Geologia da Quadrícula de Caçapava do Sul, RS, Brasil*. Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia, DNPM, v.127, 232p.
- Ronchi, L.H., Lindenmayer, Z.G., Bastos Neto, A. & Murta, C.R. 2000. O stockwork e a zona do minério sulfetado no arenito inferior da Mina Uruguai, RS. In: Ronchi, L.H. & Lobato, A.O.C. (Cord.), *Minas do Camaquã, um estudo multidisciplinar*. São Leopoldo. p. 165-190.
- Teixeira, G. & Gonzáles, A.P. 1988. *Minas do Camaquã, município de Caçapava do Sul, RS*. In: Schobbenhaus & Coelho (Eds.). Principais depósitos minerais do Brasil. DNPM, v.III. p. 33-41.
- Teagle, D.A.H. & Alt, J.C. 2004. Hydrothermal alteration of basalts beneath the Bent Hill Massive Sulfide Deposit, Middle Valley, Juan de Fuca Ridge. *Economic Geology*, 99: 561-584.
- Veigel, R. & Dardenne, M. A.1990. Paragênese e sucessão mineral nas diferentes etapas da evolução da mineralização Cu-Pb-Zn do Distrito de Camaquã, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, 20(1-4): 55-67.
- Velde, B. 1985. Clay Minerals: a Physico-Chemical Explanation of their Occurrence. *Developments in Sedimentology*, vol. 40. Amsterdam, Elsevier, 425p.
- Walker, J.R. 1993. Chlorite polytype geothermometry. *Clays and Clay Minerals*, 41: 260-267.
- Walker, J.R. & Thompson G.R. 1990. Structural variations in chlorite and illite in a diagenetic sequence from the Imperial Valley, California. *Clays and Clay Minerals*, 38: 315-321.
- Wiewiora, A. & Weiss, Z. 1990. Crystallochemical classification of phyllosilicates based on the unified system of projection of chemical composition: II The Chlorite Group. *Clays Minerals*, 25: 83-92.
- Zang, W. & Fyfe, W.S. 1995. Chloritization of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahia gold deposits, Carajas, Brazil. *Mineralium Deposita*, 30: 30-38.

Apêndice 1. Fórmulas químicas da clorita I. Base 14 Oxigênios.

CLORITA I	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7	I_8	I_9	I_10	I_11	I_12
Si	3,03	3,05	3,02	3,04	2,96	2,94	2,97	3,02	2,97	3,00	3,00	2,96
Fe2+	1,97	1,70	1,91	1,84	1,81	1,77	1,76	1,99	1,88	1,73	1,87	2,02
Mg	2,52	2,99	2,75	2,57	2,84	2,83	2,96	2,53	2,80	2,96	2,67	2,67
Fe/Fe+Mg	0,44	0,36	0,41	0,42	0,39	0,39	0,37	0,44	0,40	0,37	0,41	0,43
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,49	4,70	4,65	4,41	4,66	4,62	4,72	4,53	4,68	4,69	4,54	4,69
Al IV	0,97	0,95	0,98	0,96	1,04	1,06	1,03	0,98	1,03	1,00	1,00	1,04
Altotal	2,26	2,11	2,19	2,29	2,26	2,32	2,21	2,26	2,22	2,19	2,27	2,25
AIVI	1,30	1,16	1,21	1,33	1,22	1,25	1,18	1,28	1,20	1,19	1,27	1,20
Al + Vacancia	1,51	1,30	1,35	1,59	1,34	1,38	1,28	1,47	1,32	1,31	1,46	1,31
vacancia	0,21	0,13	0,14	0,25	0,13	0,13	0,10	0,19	0,12	0,12	0,19	0,11

Apêndice 1.Continuação

Cl I -Cont.	I_13	I_14	I_15	I_16	I_17	I_18	I_19	I_20	I_21	I_22	I_23	I_24
Si	3,01	2,99	3,03	3,00	2,98	2,99	3,01	2,94	2,94	2,96	2,97	3,04
Fe2+	1,86	1,75	1,57	1,83	1,84	1,82	1,56	1,68	1,87	1,75	1,77	1,48
Mg	2,69	3,01	3,12	2,79	2,78	2,82	2,71	2,96	2,73	2,86	2,94	3,11
Fe/Fe+Mg	0,41	0,37	0,33	0,40	0,40	0,39	0,36	0,36	0,41	0,38	0,38	0,32
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,56	4,76	4,70	4,63	4,62	4,65		4,64	4,60	4,61	4,71	4,60
Al IV	0,99	1,01	0,97	1,00	1,02	1,01	0,99	1,06	1,06	1,04	1,03	0,96
Alttotal	2,25	2,15	2,15	2,23	2,25	2,23	2,43	2,30	2,33	2,28	2,22	2,20
AIVI	1,26	1,15	1,18	1,23	1,23	1,22	1,44	1,24	1,27	1,25	1,19	1,23
Al + Vacancia	1,44	1,24	1,30	1,37	1,38	1,35	6,00	1,36	1,40	1,39	1,29	1,40
vacancia	0,18	0,09	0,13	0,14	0,14	0,13	4,56	0,12	0,13	0,14	0,10	0,17
Cl I -Cont.	I_25	I_26	I_27	I_28	I_29	I_30	I_31	I_32	I_33	I_34	I_35	I_36
Si	2,92	2,98	2,97	2,91	2,97	3,00	2,99	2,97	3,02	2,99	2,94	2,99
Fe2+	1,84	1,85	1,80	1,84	1,85	1,74	1,89	1,99	1,68	1,84	2,15	1,78
Mg	2,81	2,81	2,78	2,71	2,78	2,82	2,73	2,63	2,79	2,75	2,57	2,72
Fe/Fe+Mg	0,40	0,40	0,39	0,40	0,40	0,38	0,41	0,43	0,38	0,40	0,46	0,40
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,66	4,65	4,58	4,57	4,63	4,56	4,62	4,63	4,47	4,60	4,73	4,50
Al IV	1,08	1,02	1,03	1,09	1,03	1,00	1,01	1,03	0,98	1,01	1,06	1,01
Alttotal	2,31	2,24	2,30	2,38	2,26	2,26	2,24	2,25	2,30	2,25	2,23	2,31
AIVI	1,24	1,22	1,27	1,30	1,23	1,26	1,23	1,22	1,32	1,25	1,17	1,31
Al + Vacancia	1,34	1,35	1,42	1,43	1,37	1,44	1,38	1,37	1,53	1,40	1,27	1,50
vacancia	0,10	0,13	0,15	0,14	0,14	0,18	0,15	0,14	0,22	0,15	0,10	0,19
Cl I -Cont.	I_37	I_38	I_39	I_40	I_41	I_42	I_43	I_44	I_45	I_46	I_47	I_48
Si	2,98	3,06	3,02	2,96	2,99	2,98	2,98	2,96	2,95	2,99	2,96	2,95
Fe2+	1,53	1,58	2,19	1,50	1,92	1,91	2,06	1,85	2,04	1,71	1,85	1,80
Mg	2,94	2,80	2,43	3,01	2,70	2,61	2,51	2,67	2,60	2,88	2,80	2,85
Fe/Fe+Mg	0,34	0,36	0,47	0,33	0,42	0,42	0,45	0,41	0,44	0,37	0,40	0,39
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,48	4,39	4,63	4,52	4,63	4,53	4,57	4,53	4,66	4,59	4,66	4,65
Al IV	1,02	0,94	0,98	1,04	1,01	1,02	1,02	1,04	1,05	1,01	1,04	1,05
Alttotal	2,34	2,30	2,18	2,35	2,23	2,30	2,29	2,34	2,28	2,27	2,26	2,28
AIVI	1,33	1,35	1,20	1,31	1,22	1,28	1,27	1,30	1,23	1,25	1,22	1,23
Al + Vacancia	1,52	1,61	1,37	1,48	1,37	1,47	1,43	1,47	1,34	1,41	1,34	1,35
vacancia	0,19	0,26	0,18	0,17	0,15	0,19	0,16	0,16	0,11	0,15	0,12	0,12
Cl I -Cont.	I_49	I_50	I_51	I_52	I_53	I_54	I_55	I_56	I_57	I_58	I_59	I_60
Si	2,93	2,89	2,92	2,96	2,93	2,99	2,92	2,92	2,90	2,98	2,94	2,92
Fe2+	1,79	1,98	1,62	1,97	1,94	2,00	1,79	1,50	2,04	1,83	1,57	1,69
Mg	2,77	2,50	2,94	2,55	2,56	2,48	2,80	2,99	2,52	2,60	2,99	2,85
Fe/Fe+Mg	0,39	0,44	0,35	0,43	0,43	0,45	0,39	0,33	0,45	0,41	0,34	0,37
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,56	4,49	4,57	4,53	4,51	4,48	4,59	4,51	4,57	4,45	4,57	4,55
Al IV	1,07	1,11	1,08	1,04	1,07	1,01	1,08	1,08	1,10	1,02	1,06	1,08
Alttotal	2,37	2,46	2,38	2,35	2,40	2,32	2,36	2,43	2,41	2,38	2,36	2,40
AIVI	1,30	1,35	1,30	1,31	1,33	1,32	1,29	1,34	1,30	1,36	1,30	1,32
Al + Vacancia	1,44	1,51	1,43	1,47	1,49	1,52	1,41	1,49	1,43	1,55	1,43	1,45
vacancia	0,14	0,15	0,13	0,16	0,16	0,20	0,12	0,15	0,13	0,20	0,13	0,14
Cl I -Cont.	I_61	I_62	I_63	I_64	I_65	I_66	I_67	I_68	I_69	I_70	I_71	I_72
Si	2,92	2,94	2,95	2,92	2,92	2,98	2,97	2,90	2,94	2,93	2,93	2,92
Fe2+	1,62	1,86	1,57	1,83	1,66	1,89	1,51	1,75	1,74	1,86	1,59	1,63
Mg	2,88	2,60	2,99	2,69	2,75	2,56	2,93	2,81	2,66	2,65	2,91	2,85
Fe/Fe+Mg	0,36	0,42	0,34	0,40	0,38	0,42	0,34	0,38	0,40	0,41	0,35	0,36
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,51	4,47	4,57	4,52	4,42	4,45	4,45	4,57	4,40	4,51	4,51	4,49
Al IV	1,08	1,06	1,05	1,08	1,08	1,02	1,03	1,10	1,06	1,07	1,07	1,08
Alttotal	2,42	2,41	2,34	2,37	2,46	2,37	2,38	2,40	2,40	2,41	2,40	2,43
AIVI	1,34	1,35	1,29	1,29	1,38	1,35	1,34	1,30	1,34	1,34	1,33	1,35
Al + Vacancia	1,49	1,53	1,43	1,48	1,58	1,55	1,55	1,43	1,60	1,49	1,49	1,51
vacancia	0,15	0,18	0,14	0,18	0,20	0,20	0,20	0,13	0,26	0,15	0,17	0,16

Apêndice 1.Continuação

Cl I -Cont.	I_73	I_74	I_75	I_76	I_77	I_78	I_79	I_80	I_81	I_82	I_83	I_84
Si	2,92	2,96	2,94	2,92	2,92	2,93	2,95	3,00	2,97	2,93	2,89	2,94
Fe2+	1,71	2,11	1,55	1,76	1,74	1,73	1,88	2,10	1,84	1,69	1,72	1,97
Mg	2,90	2,53	2,94	2,80	2,75	2,79	2,69	2,47	2,65	2,86	2,80	2,59
Fe/Fe+Mg	0,37	0,46	0,35	0,39	0,39	0,38	0,41	0,46	0,41	0,37	0,38	0,43
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,62	4,65	4,50	4,57	4,50	4,52	4,58	4,58	4,49	4,56	4,52	4,57
Al IV	1,08	1,04	1,06	1,08	1,08	1,07	1,05	1,00	1,03	1,07	1,11	1,06
Altotal	2,34	2,28	2,40	2,38	2,43	2,38	2,32	2,26	2,36	2,37	2,44	2,34
AIVI	1,27	1,24	1,34	1,30	1,35	1,32	1,27	1,26	1,33	1,30	1,34	1,28
Al + Vacancia	1,38	1,35	1,50	1,43	1,50	1,48	1,42	1,42	1,51	1,44	1,48	1,43
vacancia	0,12	0,12	0,16	0,13	0,15	0,16	0,15	0,16	0,18	0,14	0,14	0,15
Cl I -Cont.	I_85	I_86										
Si	2,98	2,94										
Fe2+	1,85	1,58										
Mg	2,64	2,92										
Fe/Fe+Mg	0,41	0,35										
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,49	4,50										
Al IV	1,02	1,06										
Altotal	2,35	2,40										
AIVI	1,33	1,34										
Al + Vacancia	1,51	1,50										
vacancia	0,18	0,17										

Apêndice 2. Fórmulas químicas da clorita II. Base 14 Oxigênios.

CLORITA II	II_1	II_2	II_3	II_4	II_5	II_6	II_7	II_8	II_9	II_10	II_11	II_12
Si	2,78		2,79	2,81	2,79	2,77	2,74	2,73	2,82	2,83	2,84	2,83
Fe2+	2,66	1,77	2,56	2,45	2,62	2,71	2,91	2,69	3,28	3,35	3,25	3,18
Mg	1,54	2,85	1,62	1,66	1,60	1,55	1,42	1,64	1,50	1,35	1,37	1,38
Fe/Fe+Mg	0,63	0,38	0,61	0,60	0,62	0,64	0,67	0,62	0,69	0,71	0,70	0,70
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,21	4,63	4,18	4,11	4,23	4,26	4,34	4,34	4,79	4,71	4,62	4,58
Al IV	1,22	0,97	1,21	1,19	1,21	1,23	1,26	1,27	1,18	1,17	1,16	1,17
Altotal	2,81	2,19	2,81	2,83	2,77	2,78	2,77	2,77	2,36	2,42	2,44	2,48
AIVI	1,59	1,22	1,60	1,64	1,56	1,55	1,51	1,51	1,18	1,24	1,28	1,31
Al + Vacancia	0,21	0,15	0,22	0,25	0,20	0,19	0,15	0,15	0,03	0,05	0,09	0,11
vacancia	1,79	1,37	1,82	1,89	1,77	1,74	1,66	1,66	1,21	1,29	1,38	1,42
Cl II -Cont.	II_13	II_14	II_15	II_16	II_17							
Si	2,79	2,87	2,84	2,84	2,86							
Fe2+	3,32	3,30	3,51	3,05	3,20							
Mg	1,27	1,14	1,14	1,47	1,29							
Fe/Fe+Mg	0,72	0,74	0,75	0,67	0,71							
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,61	4,44	4,66	4,52	4,49							
Al IV	1,21	1,13	1,16	1,16	1,14							
Altotal	2,54	2,52	2,43	2,50	2,51							
AIVI	1,32	1,39	1,27	1,35	1,37							
Al + Vacancia	0,07	0,17	0,07	0,13	0,14							
vacancia	1,39	1,56	1,34	1,48	1,51							

Apêndice 3. Fórmulas químicas da clorita III. Base 14 Oxigênios.

CLORITA III	III_1	III_2	III_3	III_4	III_5	III_6	III_7	III_8	III_9	III_10	III_11	III_12
Si	2,82	2,83	2,79	2,78	2,85	2,81	2,73	2,75	2,75	2,78	2,78	2,76
Fe2+	2,87	2,62	2,48	2,63	2,47	2,45	2,85	2,75	2,61	2,55	2,40	2,69
Mg	1,75	1,91	1,95	1,95	1,88	2,22	1,84	1,94	2,02	2,03	2,20	1,89
Fe/Fe+Mg	0,62	0,58	0,56	0,57	0,57	0,52	0,61	0,59	0,56	0,56	0,52	0,59
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,66	4,55	4,45	4,60	4,37	4,69	4,71	4,71	4,64	4,60	4,62	4,60
Al IV	1,18	1,17	1,21	1,22	1,15	1,19	1,27	1,25	1,25	1,22	1,22	1,24
Alttotal	2,42	2,50	2,60	2,52	2,57	2,43	2,50	2,49	2,55	2,53	2,52	2,56
AIVI	1,24	1,32	1,39	1,30	1,42	1,24	1,24	1,24	1,30	1,31	1,30	1,32
Al + Vacancia	0,10	0,13	0,15	0,10	0,21	0,07	0,05	0,05	0,06	0,09	0,08	0,08
vacancia	1,34	1,45	1,55	1,40	1,63	1,31	1,29	1,29	1,36	1,40	1,38	1,40
Cl III -Cont.	III_13	III_14	III_15	III_16	III_17	III_18	III_19	III_20	III_21	III_22	III_23	III_24
Si	2,81	2,78	2,77	2,79	2,78	2,76	2,78	2,78	2,84	2,74	2,82	2,84
Fe2+	2,60	2,53	2,58	2,56	2,55	2,49	2,54	2,49	2,25	2,73	2,52	2,62
Mg	1,88	1,95	1,97	2,02	2,10	2,17	2,05	2,08	2,25	1,92	1,91	1,83
Fe/Fe+Mg	0,58	0,57	0,57	0,56	0,55	0,53	0,55	0,55	0,50	0,59	0,57	0,59
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,50	4,50	4,58	4,60	4,67	4,68	4,61	4,59	4,52	4,68	4,45	4,47
Al IV	1,19	1,22	1,23	1,21	1,22	1,24	1,22	1,22	1,16	1,26	1,18	1,16
Alttotal	2,53	2,59	2,56	2,52	2,49	2,52	2,52	2,53	2,51	2,53	2,54	2,52
AIVI	1,35	1,37	1,33	1,31	1,27	1,27	1,30	1,31	1,35	1,26	1,36	1,36
Al + Vacancia	0,15	0,13	0,09	0,09	0,06	0,05	0,09	0,10	0,13	0,06	0,18	0,17
vacancia	1,50	1,50	1,42	1,40	1,33	1,32	1,39	1,41	1,48	1,32	1,55	1,53
Cl III -Cont.	III_25	III_26	III_27	III_28	III_29	III_30	III_31	III_32	III_33	III_34	III_35	III_36
Si	2,77	2,78	2,81	2,77	2,76	2,76	2,74	2,94	2,74	2,87	2,81	2,84
Fe2+	2,55	2,60	2,74	2,53	2,33	2,28	2,35	2,77	2,97	2,78	2,93	2,86
Mg	1,97	2,00	1,77	2,10	2,22	2,25	2,21	1,82	1,69	1,64	1,58	1,87
Fe/Fe+Mg	0,56	0,57	0,61	0,55	0,51	0,50	0,52	0,60	0,64	0,63	0,65	0,61
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,54	4,62	4,56	4,64	4,57	4,55	4,57	4,62	4,74	4,47	4,58	4,76
Al IV	1,23	1,22	1,19	1,23	1,24	1,24	1,26	1,06	1,26	1,13	1,19	1,16
Alttotal	2,57	2,51	2,51	2,53	2,55	2,50	2,51	2,33	2,50	2,48	2,51	2,35
AIVI	1,34	1,30	1,33	1,30	1,31	1,27	1,25	1,26	1,24	1,35	1,32	1,19
Al + Vacancia	0,13	0,08	0,12	0,06	0,13	0,19	0,18	0,12	0,02	0,17	0,10	0,05
vacancia	1,46	1,38	1,44	1,36	1,43	1,45	1,43	1,38	1,26	1,53	1,42	1,24
Cl III -Cont.	III_37	III_38	III_39	III_40	III_41	III_42	III_43	III_44	III_45	III_46	III_47	III_48
Si	2,75	2,83	2,80	2,78	2,89	2,84	2,83	2,81	2,83	2,82	2,82	2,81
Fe2+	3,01	2,89	2,89	2,86	2,87	2,89	2,84	3,14	3,09	2,95	2,89	2,90
Mg	1,62	1,69	1,70	1,70	1,79	1,59	1,71	1,42	1,62	1,83	1,61	1,69
Fe/Fe+Mg	0,65	0,63	0,63	0,63	0,62	0,65	0,62	0,69	0,66	0,62	0,64	0,63
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,70	4,62	4,63	4,62	4,69	4,53	4,60	4,61	4,73	4,82	4,56	4,65
Al IV	1,25	1,17	1,20	1,22	1,11	1,16	1,17	1,19	1,17	1,18	1,18	1,19
Alttotal	2,52	2,45	2,50	2,48	2,33	2,52	2,47	2,49	2,38	2,34	2,50	2,46
AIVI	1,27	1,28	1,29	1,26	1,22	1,36	1,30	1,30	1,21	1,16	1,32	1,27
Al + Vacancia	0,04	0,10	0,08	0,12	0,09	0,11	0,11	0,09	0,05	0,02	0,12	0,08
vacancia	1,30	1,38	1,37	1,38	1,31	1,47	1,40	1,39	1,27	1,18	1,44	1,35
Cl III -Cont.	III_49	III_50	III_51	III_52	III_53	III_54	III_55	III_56	III_57	III_58	III_59	III_60
Si	2,77	2,79	2,80	2,81	2,81	2,80	2,83	2,88	2,83	2,78	2,77	2,79
Fe2+	3,21	3,01	2,81	2,95	3,00	3,12	2,87	2,84	3,00	2,98	2,95	3,00
Mg	1,54	1,63	1,67	1,64	1,73	1,57	1,67	1,58	1,70	1,59	1,58	1,55
Fe/Fe+Mg	0,68	0,65	0,63	0,64	0,63	0,67	0,63	0,64	0,64	0,65	0,65	0,66
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,80	4,71	4,57	4,64	4,76	4,74	4,58	4,48	4,74	4,66	4,62	4,65
Al IV	1,23	1,21	1,20	1,19	1,19	1,20	1,17	1,12	1,17	1,22	1,23	1,21
Alttotal	2,42	2,45	2,53	2,47	2,38	2,42	2,48	2,49	2,38	2,49	2,53	2,49
AIVI	1,19	1,24	1,33	1,28	1,20	1,22	1,31	1,36	1,21	1,27	1,30	1,28
Al + Vacancia	0,01	0,05	0,11	0,08	0,05	0,05	0,11	0,15	0,05	0,07	0,08	0,07
vacancia	1,20	1,29	1,43	1,36	1,24	1,26	1,42	1,52	1,26	1,34	1,38	1,35

Apêndice 3.Continuação

Cl III -Cont.	III_61	III_62	III_63	III_64	III_65	III_66	III_67	III_68	III_69	III_70	III_71	III_72
Si	2,81	2,83	2,80	2,82	2,87	2,86	2,84	2,83	2,84	2,84	2,76	2,79
Fe2+	3,18	2,87	3,00	2,92	2,85	2,79	2,83	2,90	2,75	2,95	2,89	3,00
Mg	1,68	1,70	1,60	1,72	1,76	1,73	1,66	1,72	1,76	1,83	1,60	1,56
Fe/Fe+Mg	0,65	0,63	0,65	0,63	0,62	0,62	0,63	0,63	0,61	0,62	0,64	0,66
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,89	4,62	4,67	4,69	4,64	4,58	4,57	4,67	4,59	4,80	4,54	4,63
Al IV	1,19	1,17	1,20	1,18	1,13	1,14	1,16	1,17	1,16	1,16	1,24	1,21
Alttotal	2,30	2,45	2,46	2,40	2,38	2,40	2,46	2,41	2,44	2,34	2,61	2,50
AIVI	1,11	1,29	1,26	1,22	1,25	1,26	1,29	1,24	1,29	1,18	1,37	1,29
Al + Vacancia	0,00	0,09	0,07	0,09	0,11	0,16	0,13	0,08	0,12	0,03	0,09	0,07
vacancia	1,11	1,38	1,33	1,31	1,36	1,42	1,43	1,33	1,41	1,20	1,46	1,37
Cl III -Cont.	III_73	III_74	III_75	III_76	III_77	III_78	III_79	III_80	III_81	III_82	III_83	III_84
Si	2,79	2,85	2,87	2,88	2,79	2,80	2,77	2,81	2,79	2,88	2,92	2,79
Fe2+	2,96	2,80	2,89	2,76	3,02	2,95	3,13	2,84	2,99	2,75	2,94	3,03
Mg	1,57	1,96	1,90	1,76	1,59	1,56	1,55	1,59	1,54	1,85	1,57	1,56
Fe/Fe+Mg	0,65	0,59	0,60	0,61	0,66	0,65	0,67	0,64	0,66	0,60	0,65	0,66
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,60	4,78	4,81	4,54	4,65	4,59	4,74	4,49	4,60	4,63	4,55	4,67
Al IV	1,21	1,15	1,13	1,12	1,21	1,20	1,23	1,19	1,21	1,12	1,08	1,21
Alttotal	2,52	2,34	2,28	2,45	2,50	2,52	2,45	2,57	2,52	2,39	2,36	2,47
AIVI	1,32	1,19	1,15	1,33	1,29	1,32	1,22	1,38	1,31	1,27	1,29	1,26
Al + Vacancia	0,09	0,03	0,04	0,13	0,06	0,09	0,04	0,13	0,09	0,11	0,16	0,07
vacancia	1,40	1,22	1,19	1,46	1,35	1,41	1,26	1,51	1,40	1,37	1,45	1,33
Cl III -Cont.	III_85	III_86	III_87	III_88	III_89	III_90	III_91	III_92	III_93	III_94	III_95	III_96
Si	2,88	2,86	2,84	2,85	2,79	2,82	2,82	2,91	2,87	2,77	2,76	2,73
Fe2+	2,72	2,93	2,96	2,81	3,09	2,97	2,98	2,68	2,85	2,29	2,29	2,31
Mg	1,80	1,57	1,73	1,76	1,65	1,68	1,67	1,65	1,73	2,44	2,42	2,39
Fe/Fe+Mg	0,60	0,65	0,63	0,62	0,65	0,64	0,64	0,62	0,62	0,48	0,49	0,49
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,54	4,55	4,72	4,62	4,78	4,70	4,68	4,37	4,62	4,75	4,73	4,73
Al IV	1,12	1,14	1,16	1,15	1,21	1,18	1,18	1,09	1,13	1,23	1,24	1,27
Alttotal	2,44	2,44	2,38	2,43	2,40	2,43	2,43	2,48	2,37	2,46	2,47	2,53
AIVI	1,32	1,30	1,22	1,29	1,19	1,25	1,25	1,40	1,24	1,22	1,24	1,26
Al + Vacancia	0,14	0,15	0,06	0,10	0,03	0,06	0,07	0,23	0,14	0,02	0,03	0,01
vacancia	1,46	1,45	1,28	1,38	1,22	1,30	1,32	1,63	1,38	1,25	1,27	1,27
Cl III -Cont.	III_97	III_98	III_99	III100	III101	III102	III103	III104	III105	III106		
Si	2,75	2,75	2,77	2,76	2,78	2,78	2,75	2,82	2,83	2,93		
Fe2+	2,29	2,31	2,00	2,06	2,16	2,05	2,03	2,93	2,94	2,71		
Mg	2,42	2,40	2,66	2,60	2,53	2,69	2,64	1,69	1,57	1,78		
Fe/Fe+Mg	0,49	0,49	0,43	0,44	0,46	0,43	0,43	0,63	0,65	0,60		
R2 (Fe+Mg+Mn)	4,74	4,74	4,70	4,69	4,73	4,76	4,70	4,66	4,56	4,51		
Al IV	1,25	1,25	1,23	1,24	1,22	1,22	1,25	1,18	1,17	1,07		
Alttotal	2,49	2,49	2,49	2,51	2,46	2,43	2,52	2,43	2,49	2,38		
AIVI	1,24	1,24	1,25	1,27	1,23	1,21	1,27	1,25	1,33	1,31		
Al + Vacancia	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,02	0,03	0,08	0,11	0,18		
vacancia	1,26	1,26	1,30	1,31	1,27	1,24	1,30	1,34	1,44	1,49		