



ALTERAÇÃO DE ROCHAS VULCÂNICAS ÁCIDAS E FORMAÇÃO DE DEPÓSITOS DE CAOLIM NA BACIA DE CAMPO ALEGRE, SC, BRASIL – ESTUDO DA MINA CERAMARTE

M.T.G. de Oliveira¹; S.M. de A. Furtado²; M.L.L. Formoso; F. Schenato³

^{1,3}Instituto de Geociências, Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (CPGq) – UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15001, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS

²Curso de Pós-graduação Geografia – UFSC, Campus Universitário, Trindade, Caixa Posta 476, CEP 88010-970, Florianópolis, SC

Recebido em 02/00; aprovado para publicação em 07/00

RESUMO

A mina Ceramarte é uma ocorrência do caolim derivado da alteração in situ de rochas vulcânicas ácidas. A lavra de 17 metros de profundidade expõe horizontes de alteração de um riolito porfirítico e, localizadamente, foliado. Caolinitas, 10Å-haloisitas e 7Å-haloisitas, ainda quartzo, K-feldspato, hematita e anatásio compõem a fração argila das 15 amostras analisadas por DRX. A quantidade relativa de haloisita é maior na base e a caolinita concentra, progressivamente, em direção ao topo do perfil.

A espectroscopia de infravermelho mostra Fe³⁺ na estrutura dos minerais de caolim indicando uma provável origem intempérica para este depósito.

ABSTRACT

The Ceramarte mine is an occurrence of kaolin formed from volcanic acid rocks. The mine has 17 meters of depth and exposes levels of altered rhyolite. The rock is porphyritic and foliated. Kaolinite, 7Å and 10Å halloysite, quartz, K-feldspar, hematite and anatase are the components of the kaolin. Halloysite predominates at the base of the profile and kaolinite at the higher levels.

The infrared spectroscopy enhanced structural ferric iron in the analysed samples, which may indicate the weathering as the main process of formation of these kaolins.

INTRODUÇÃO

O depósito de caolim da mina Ceramarte ($26^{\circ}15' 21''$ de latitude e $49^{\circ} 12' 55''$ de longitude), situa-se na Bacia de Campo Alegre, estado de Santa Catarina (Fig.1) e constitui uma ocorrência representativa do caolim branco deste ambiente geológico (Wilson *et al.*, 1993) onde operam 22 minas de caolim e mais 30 depósitos foram reconhecidos e dimensionados.

A Bacia de Campo Alegre constitui, segundo Aumond & Scheibe (1995), a principal unidade geomorfológica geradora de caolim residual do Estado de Santa Catarina, embora Lopes & Chodur (1999) atribuem à atividade hidrotermal a formação dos espessos jazimentos de argila. Os depósitos desta região desenvolvem-se em seqüências vulcânicas ácidas da unidade vulcânica superior. Esta unidade da Formação Campo Alegre (Grupo Itajaí – Proterozóico médio a superior) é constituída por derrames riolíticos e, subordinadamente, traquíticos, que estão geralmente interdigitados com camadas de piroclastos de granulação fina a grossa (Ebert, 1971; Daitx & Carvalho, 1980).

O Estado de Santa Catarina detém o maior parque cerâmico da América Latina e é responsável pela maior parte da produção de pisos e revestimentos cerâmicos, louças e material elétrico destinados tanto ao mercado nacional quanto à exportação. Entretanto, os depósitos de caolim da Bacia de Campo Alegre ainda são pouco estudados.

Trabalhos anteriores realizados na área (Aumond, 1992; Teixeira, 1975) destacam a diversificação do caolim presente no distrito. Foram descritos

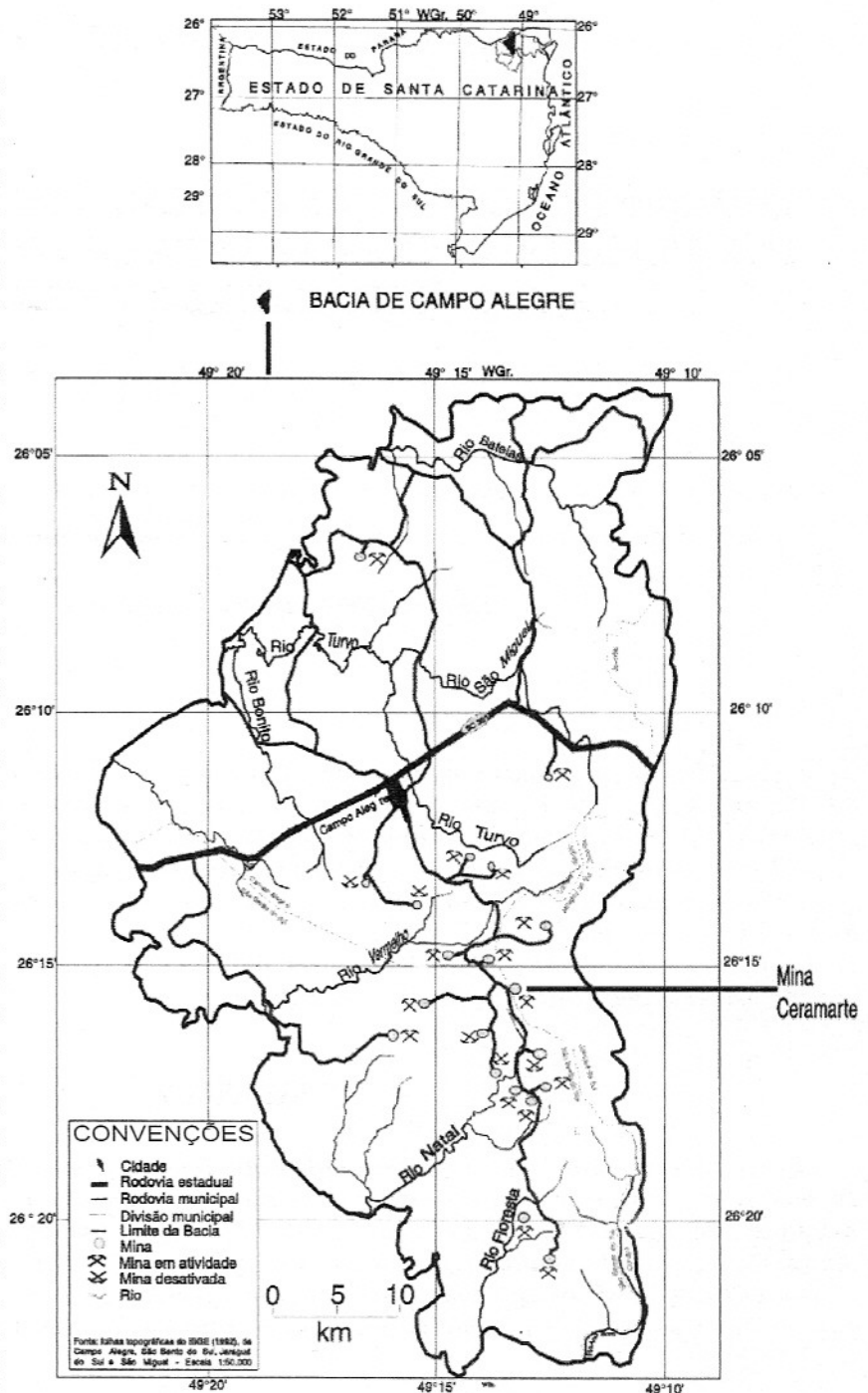


Figura 1 – Localização da Mina Ceramarte na Bacia de Campo Alegre, Santa Catarina, Brasil.

caolins brancos, verdes, argilas amarelas, cinzas e pretas, bem como caolins arenosos. As variedades mais abundantes na área são as tonalidades brancas, resultantes da alteração de riolito fluidal, e verdes, resul-

tantes, segundo Aumond (1992), da alteração de riolito pórfiro. Estudos granulométricos mostraram predomínio intenso (mais de 90%) da fração argila nos perfis minerados (Amaral & Furtado, 1996).

Os objetivos deste trabalho são: (i) caracterizar mineralogicamente o caolim da mina Ceramarte, relacionando a mineralogia de alteração com a mineralogia da rocha mãe, e (ii) explicar a possível gênese deste depósito, possibilitando futuros estudos comparativos com outras jazidas desta região.

O PERFIL DE ALTERAÇÃO

Na frente de lavra estudada (Fig. 2), situada em um modelado de vertente, o caolim ocorre a partir da alteração de rochas vulcânicas de composição riolítica. O perfil mostra nas zonas inferiores a rocha parcialmente alterada (entre 16,85m a 15,80 m de profundidade), com estruturas originais, "foliações de fluxo", preservadas (entre 15,80 m e 9,5m de profundidade) e a rocha totalmente alterada, sem estruturas preservadas, nas zonas superiores (entre 9,5m de profundidade e a base do solo). Dentro desta seqüência, da base para o topo, a rocha, um riolito vermelho, porfirítico e localizadamente foliado, evolui para uma alterita (de 5 metros de espessura) amarelo avermelhada a amarelo brunada com concentrações argilosas brancas; a matriz da alterita adquire cores rosadas e brancas, cortada por veios de argila branca, formando um horizonte mais pálido de 4 metros de espessura. Segue-se um nível vermelho, de 1 metro de espessura, em que os veios se tornam indistintos. Acima deste ocorre um nível rosado com numerosos veios multi-direcionais, que transiciona de forma horizontal ou plana para um solo coluvial com raízes pretas (Oliveira & Pereira, 1998), coberto por horizonte orgânico. Veios de material branco, finos, multi-

direcionais e argilosos, evidenciam-se em todo o perfil.

Materiais e Métodos

A mina Ceramarte foi amostrada segundo um perfil vertical, da base da lavra para a superfície, de onde foram retirados fragmentos da rocha, um riolito foliado e mais dezenove fragmentos de rocha alterada, alteritas e solo. O espaçamento entre as amostragens foi de aproximadamente 80cm, contemplando todas as mudanças macroscopicamente observadas.

As lâminas delgadas das amostras coletadas foram estudadas ao microscópio óptico (MO) e eletrônico de varredura (MEV). Foram efetuadas análises por difração de raios X (DRX), análises químicas dos elementos maiores por fluorescência de raios X (FRX) de todas as amostras coletadas e espectroscopia de infravermelho, técnica de absorção (KBr), de sete amostras selecionadas. Os procedimentos foram efetuados nos laboratórios do CPGq-IG-UFRGS (DRX, MO, FRX), no Centro de Microscopia Eletrônica - UFRGS (MEV) e no Laboratório de Altas Pressões e Materiais Duros - UFRGS (IVTF).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta algumas das características mineralógicas, químicas e físicas das amostras coletadas no perfil de alteração representativo da Mina Ceramarte e que foram analisadas neste trabalho.

Petrografia

Na base do perfil, a rocha apresenta textura porfirítica

com fenocristais de quartzo em bainha (10-20%), restos de feldspato potássico (5%) e biotitas (< 5%), dispostos em uma matriz formada por agregados de cristais radiais e aciculares de quartzo e feldspato, na forma de esferulitos, e microcristais de quartzo e K-feldspato. Os esferulitos constituem quase que inteiramente o volume da rocha (70-80%) formando um mosaico poliédrico na matriz (Fig. 3A e D). A textura apresentada pela rocha é típica de riolitos e constitui um produto da rápida cristalização de magmas que sofreram alto grau de resfriamento (Shelley, 1993).

Na base da alterita (rocha alterada), os fenocristais de feldspatos encontram-se parcialmente pseudomorfizados por haloisita e, em direção ao topo do perfil, estes fenocristais bem como os micro cristais de feldspato da matriz esferulítica, encontram-se totalmente alterados. A alterita apresenta ainda, nas observações feitas ao MEV, pseudomorfoses porosas de fenocristais de feldspatos potássicos (Fig. 3B) em que as fraturas e paredes do cristal primário são substituídas por haloisitas, sendo o feldspato quase totalmente dissolvido. Este tipo de feição é também chamada de "boxwork". Os feldspatos da matriz mostram dissolução diferencial em um mesmo grão mineral ou "etch-pit formation" (Fig. 3C). Os cristais aciculares de feldspato dos esferulitos encontram-se substituídos por minerais de caolim, principalmente haloisitas; finas agulhas de quartzo preservam os esferulitos da matriz totalmente alterada. (Fig. 3D).

Concentrações brancas de minerais caoliníticos, evidenciam-se na rocha alterada da base do perfil, segundo a "foliação de fluxo" (Waichel et al., 1999) da

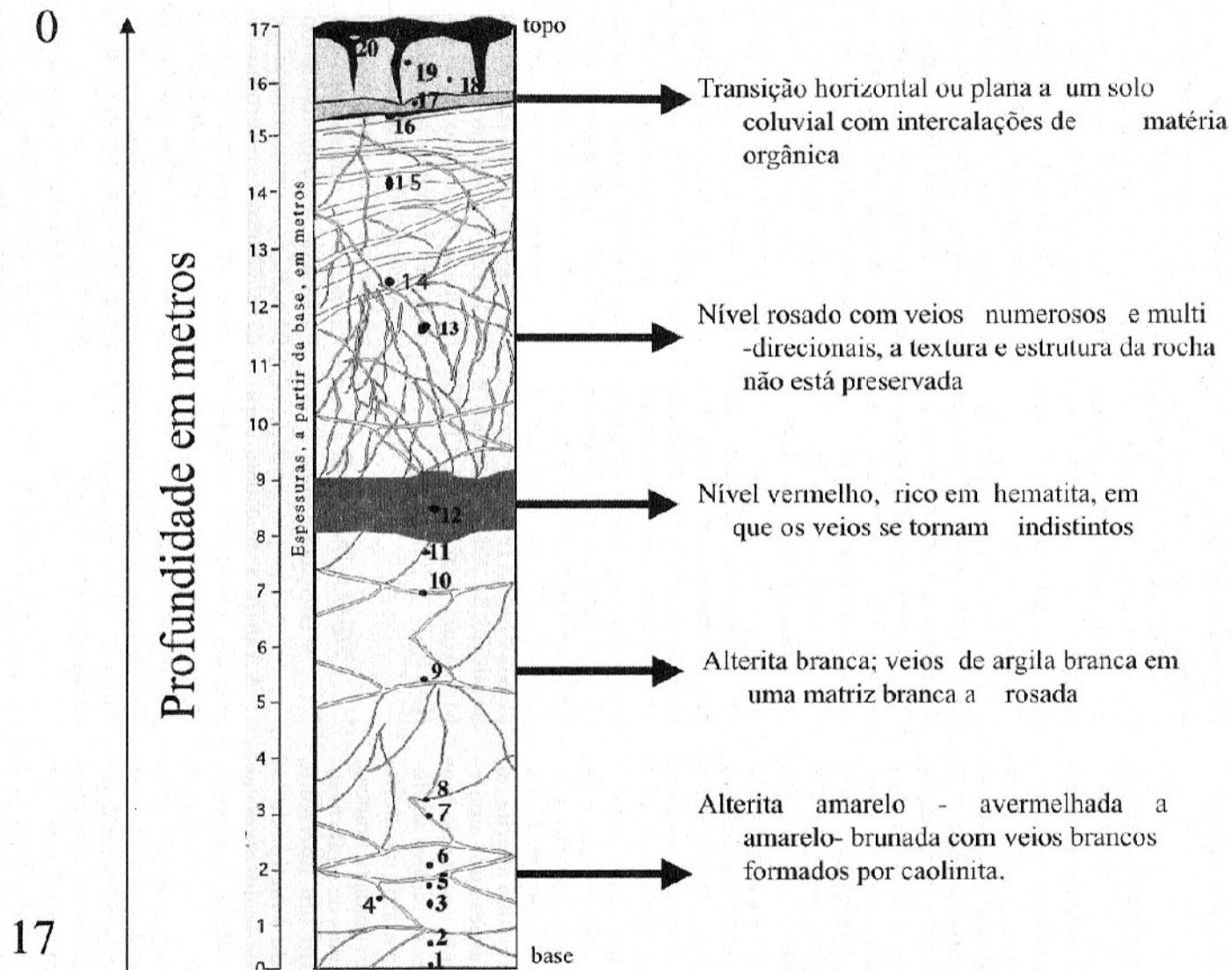


Figura 2 – Disposição das amostras no perfil da Lavra.

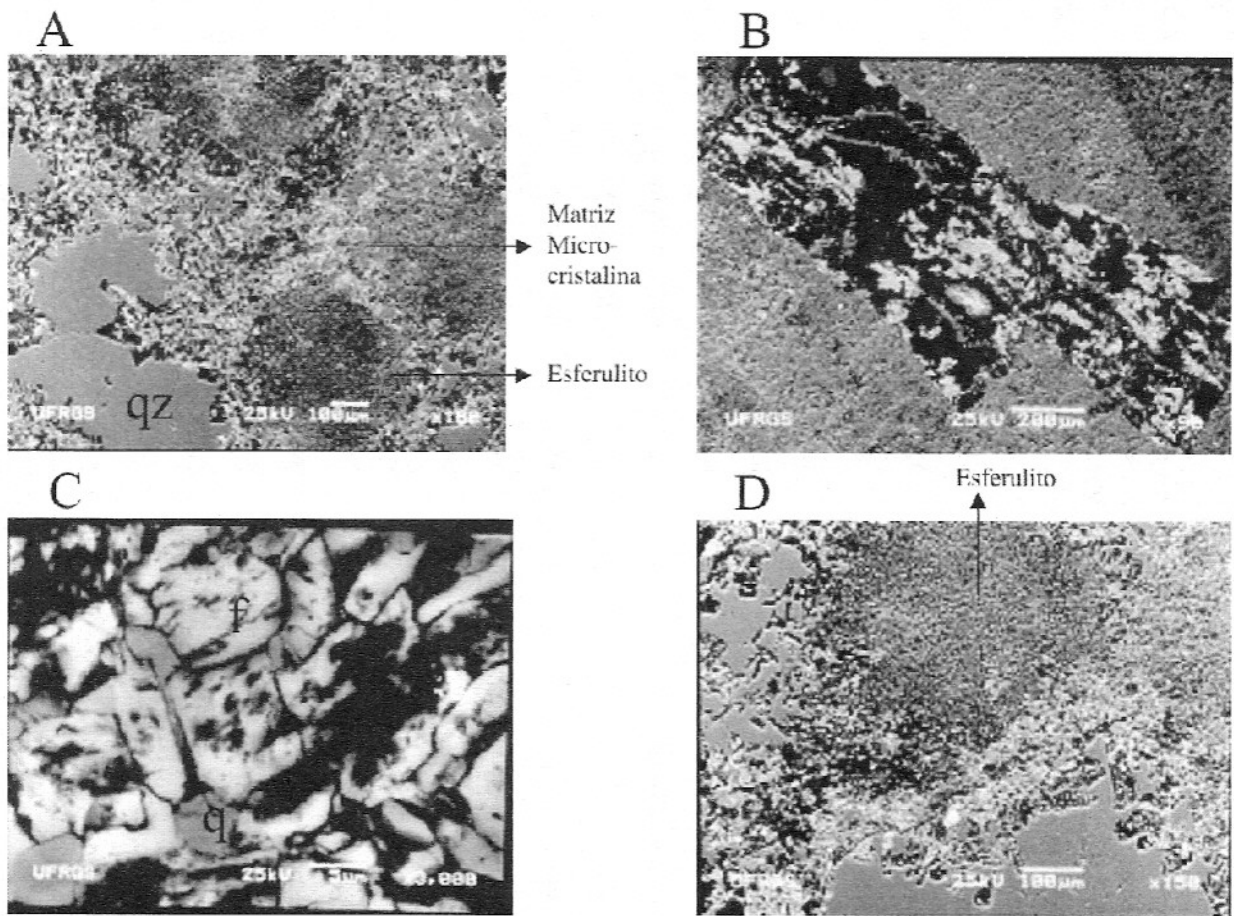


Figura 3 – (A) Rocha alterada com textura porfírica, fenocristais de quartzo (qz) em bainha. (B) Relictos de feldspato potássico euédrico. (C) Matriz de microcristais de quartzo (q) e feldspato alcalino (f) com feições de dissolução. (D) Esferulitos quartzo-feldspáticos.

rocha. Estas foliações são estruturas primárias, mas a caolinização diferencial, maior nas foliações do que no resto da rocha, resulta da alteração intempérica que preserva o volume e as estruturas, argilizando materiais mais susceptíveis e deixando outros inalterados. Com o avanço da alteração, ocorre a formação de fissuras nas partes que estão se alterando, ao longo das quais o material solubilizado é transportado e se deposita. Esta nova rede de fissuras preenchidas por material argiloso, visível em todo o perfil de alteração, apaga a foliação inicial observada na base do perfil.

As observações ao microscópio eletrônico de varredura MEV, com elétrons retro – espalhados mostraram, nas foliações da base do perfil, os agregados de partículas planares levemente destacados na forma de “acordeão” (Fig. 4A, B).

Morfologia Dos Cristais

As imagens ao MEV, feitas a partir de fragmentos das amostras (Fig.5), revelaram os agregados de partículas argilosas, as morfologias planares e tubulares destas partículas e, ainda, aspectos da dissolução do quartzo primário da rocha.

A rocha alterada apresenta cristais de quartzo parcialmente dissolvidos, guardando algumas partes euédricas (Fig. 5A).

Os minerais de argila presentes na matriz da rocha alterada, na base do perfil, apresentam-se em agregados de 2,5 μ m de espessura em média, constituídos por cristais planares de bordas irregulares e formatos anédricos, levemente destacados na forma de “acordeões” (Fig. 5B). Entre estes agregados, destacam-se finos tubos de haloisita de 5 μ m comprimento por 0,2 μ m de largura, em numerosos agregados esparsos (Fig 5C).

Tabela 1 – Características das Amostras coletadas na Lavra Ceramarte.

Profundidade (m)	Material amostrado	Nome da Amostra	Mineralogia	% Haloisita	% Fe ₂ O ₃	Cor
0,10	Solo orgânico	CE20	Caolinita, qz., goethita, vermiculita.	0	N.A.	preta
0,50	Solo	CE19	Caolinita, haloisita, qz., goethita	7,3	N.A.	amarela
1,40	Solo	CE18	Caolinita, haloisita, qz., goethita, hematita, anatásio.	32	N. A.	marrom avermelh.
2,00	Solo c/ raízes	CE17	Caolinita, haloisita, vermiculita, qz., goethita	6	N. A	cinza
2,60	Aloterita	CE15	Caolinita, haloisita,qz., K-feldspato.	19	5,27	amarela
4,60	Aloterita	CE14	Caolinita, haloisita, anatásio,qz.	27	1,18	vermelha clara
5,30	Aloterita	CE13	Caolinita, haloisita, anatásio, qz.	44	0,48	rosada
9,20	Nível Ferrug.	CE12	Caolinita, haloisita, anatásio, hematita, qz.	16	4,39	vermelha
9,50	Alterita	CE11	Haloisita, caolinita, qz., anatásio	60	0,52	rosada
9,85	Alterita	CE10	Haloisita, caolinita, qz., anatásio	55	0,50	branca
11,65	Alterita	CE09	Haloisita, caolinita, qz.	88	0,36	branca
13,65	Alterita	CE08	Haloisita, caolinita, qz.	95	2,03	amarelo avermelh.
14,00	Alterita	CE07	Haloisita, caolinita, K- feldspato, qz, anatásio	61	0,6	cinzento rosada
14,80	Alterita	CE06	Haloisita, caolinita, K-feldspato, qz	74	3,23	amarelo brunada
15,20	Alterita	CE05	Haloisita, caolinita, K- feldspato, qz	84	0,84	amarelo avermelh.
15,35	Alterita	CE04	Haloisita, caolinita, K- feldspato, qz	36	1,3	rosada
15,80	Alterita	CE03	Haloisita, caolinita, K- feldspato, qz	70	2,81	amarelo brunada
16,30	Rocha alterada	CE02	Haloisita, caolinita, K-feldspato, qz	74	0,92	rosada
16,85	Rocha alterada	CE01	Haloisita, caolinita, K-feldspato, qz, biotita	72	0,70	rosada

N. A. = não analisado

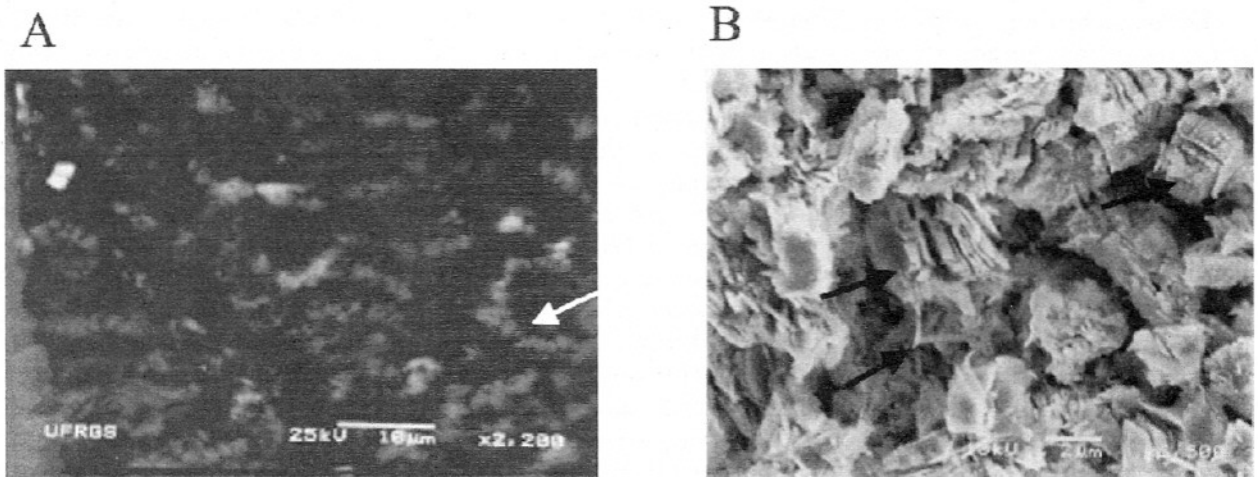


Figura 4 – (A) Os veios da base do perfil observados em lâmina delgada ao MEV apresentam agregados de partículas planares levemente destacadas. (B) Fragmento do mesmo material observado ao MEV mostra agregados de cristais planares de bordas irregulares.

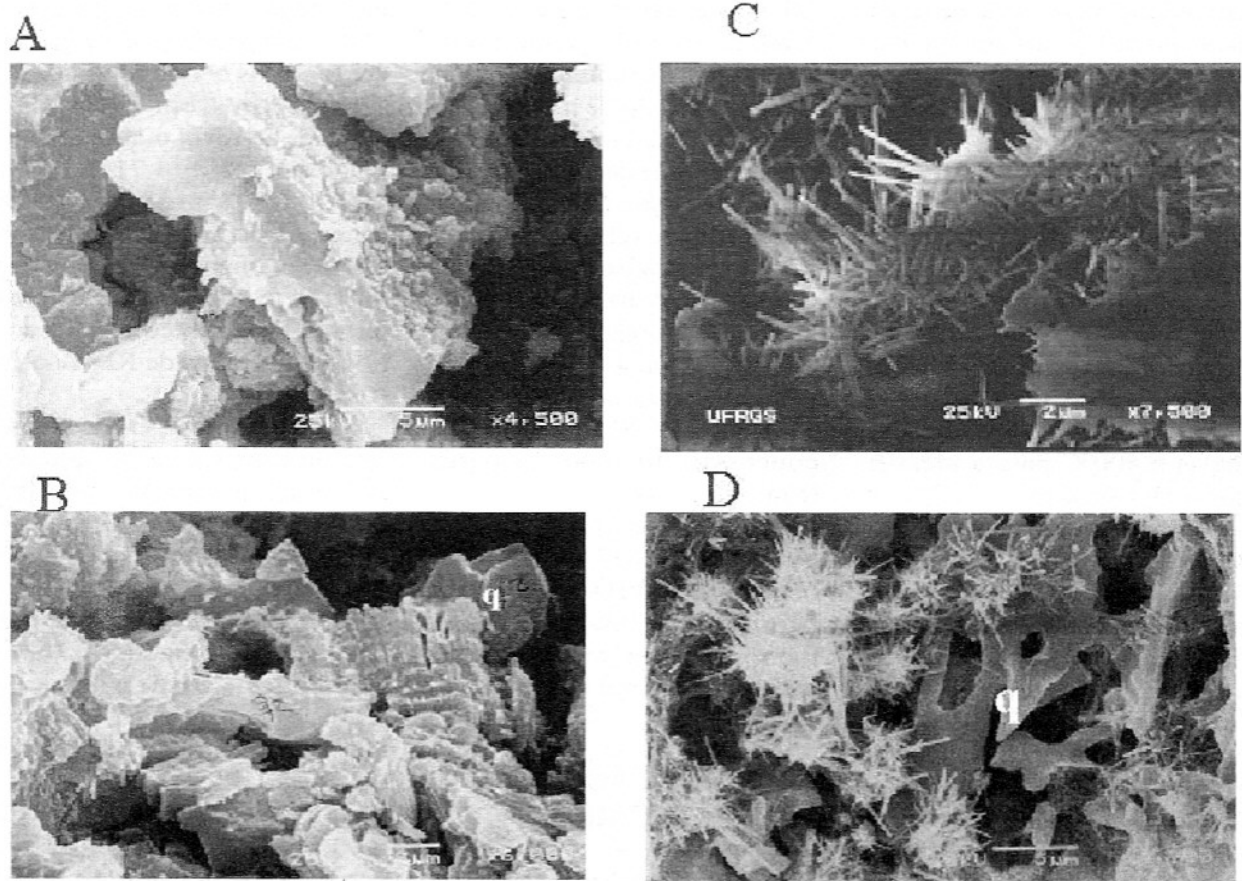


Figura 5 – (A) Dissolução do quartzo. (B) Cristais tubulares de haloisita na matriz. (C) Cristais de quartzo e de caolinita. (D) Formas lanceolares de quartzo constituem os esferulitos associados a agregados de haloisita.

Evidenciam-se, ainda, na matriz da rocha alterada, formas lanceolares de quartzo (Fig. 5D), resultantes da dissolução dos esferulitos da rocha, ocupando cavidades associadas a agregados com forma de ouriços, constituídos por cristais tubulares de haloisita. Esta associação, agregados de haloisita em esferulitos de quartzo, constitui uma fácies de alta porosidade.

A amostra do nível vermelho apresenta predomínio dos agregados de caolinitas entre cristais de quartzo dissolvidos. Uma fina película de óxido de ferro, sem nenhuma estrutura cristalina visível, recobre os agregados de caolinita, mascarando o empilhamento planar e conferindo um aspecto mamelonar de superfície muito lisa aos agregados.

Análises por Difração de Raios X

A fração < 2µm de 15 amostras do perfil foi analisada por difração de raios X, seguindo tratamento com formamida (Churchmann *et al.*, 1984) e aquecimento a 110°C. A amostra do nível vermelho (CE12) e a do solo (CE 19) foram calcinadas a 500°C para a identificação dos óxidos.

Os difratogramas das preparações orientadas, secas ao ar, mostraram caolinita e haloisita, predominantemente, e ainda quartzo, feldspato potássico e anatásio (Fig. 6). O quartzo (com reflexões a 4,26 Å e 3,34Å) ocorre em todo o perfil, enquanto o feldspato potássico (reflexão mais intensa a 3,31Å) aparece apenas nas amostras da base. Uma fraca reflexão a 3,52Å, do anatásio, aparece nos difratogramas das amostras do topo (acima dos 7,5 m da base). Os difratogramas ainda apresentam reflexões fracas e abauladas a 10Å, características das

haloisitas hidratadas, e reflexões mais intensas a 7Å, que correspondem a uma mistura de 7Å-haloisitas e caolinitas; após o tratamento com formamida houve expansão das reflexões a 7Å para 10Å caracterizando a presença de 7Å haloisita, enquanto que aquelas reflexões remanescentes a 7Å, correspondem à caolinita.

As reflexões a 10Å, das amostras tratadas com formamida, desapareceram com o aquecimento a 110°C, confirmando a presença da haloisita. Na amostra CE01M, da matriz da alterita na base do perfil, restou uma fraca reflexão a 10Å atribuída à biotita, observada também ao microscópio óptico; a DRX dos veios desta alterita mostrou que eles apresentam predomínio da caolinita. (Fig. 7).

A proporção de haloisita relativamente à caolinita foi calculada a partir das intensidades a 7Å e 10Å nos difratogramas. A quantidade relativa de haloisita é maior na base, entre 16,85 e 9,5 m de profundidade, chegando a valores de 95%. Acima dos 9,5 m, a quantidade de haloisita decresce para proporções de 60 a 20%. A caolinita concentra no topo do perfil (Fig. 8).

As preparações calcinadas evidenciaram a presença de hematita no nível vermelho, que ocorre aproximadamente a 8 metros da base da lavra, e de goethita, na amostra de solo.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS CAOLINS

A composição química das amostras coletadas apresentada na Tabela 2 revela teores de SiO₂ entre 81,80 % no riolito foliado a 53,20 % nas segregações de argila branca. O valor médio de SiO₂ é de 65,39%, comparável

com os teores médios de SiO₂ de alguns caolins amazônicos (Costa & Moraes, 1998), sendo esse teor atribuído à abundância de quartzo.

Os valores de perda ao fogo variam entre 10,98 % (nas amostras da base) e 6,74 % (próximo ao nível vermelho, a 7 metros da base), podendo ser atribuídos à concentração de haloisita, mais hidratada, na base e ao predomínio da caolinita em direção ao topo.

Os mais baixos teores de Al₂O₃ ocorrem na rocha mãe (10,00 %), enquanto os mais elevados, de até 29,50%, são referentes aos níveis de concentração de argila branca. O teor médio de Al₂O₃ de 21,23 % é relativamente baixo, sendo explicável pela presença do quartzo, em todos os níveis estudados.

Os teores em Fe₂O₃ são maiores no nível mais avermelhado do perfil (4,71 %) e no solo (5,27 %), devido à presença da hematita e goethita respectivamente. O teor médio de 1,74 % é elevado, se comparado com a média dos caolins amazônicos de Rio Capim (0,82 %).

Os teores em K₂O nas amostras da base (até 5,10 %), são atribuídos ao feldspato potássico que se dissolve e desaparece nas amostras acima de 3 metros da base da lavra.

Os teores de Na₂O, que nas amostras da base atinge 0,16 %, e diminuem acima de 3 metros da base, podem estar associados à dissolução do feldspato e da biotita.

O TiO₂ apresenta valores de 0,18 a 0,57% que são maiores nas partes superiores do perfil e menores nas segregações de argilas originadas na foliação da rocha. O teor médio de TiO₂ pode ser atribuído à presença de anatásio e é mais baixo que nos caolins amazônicos.

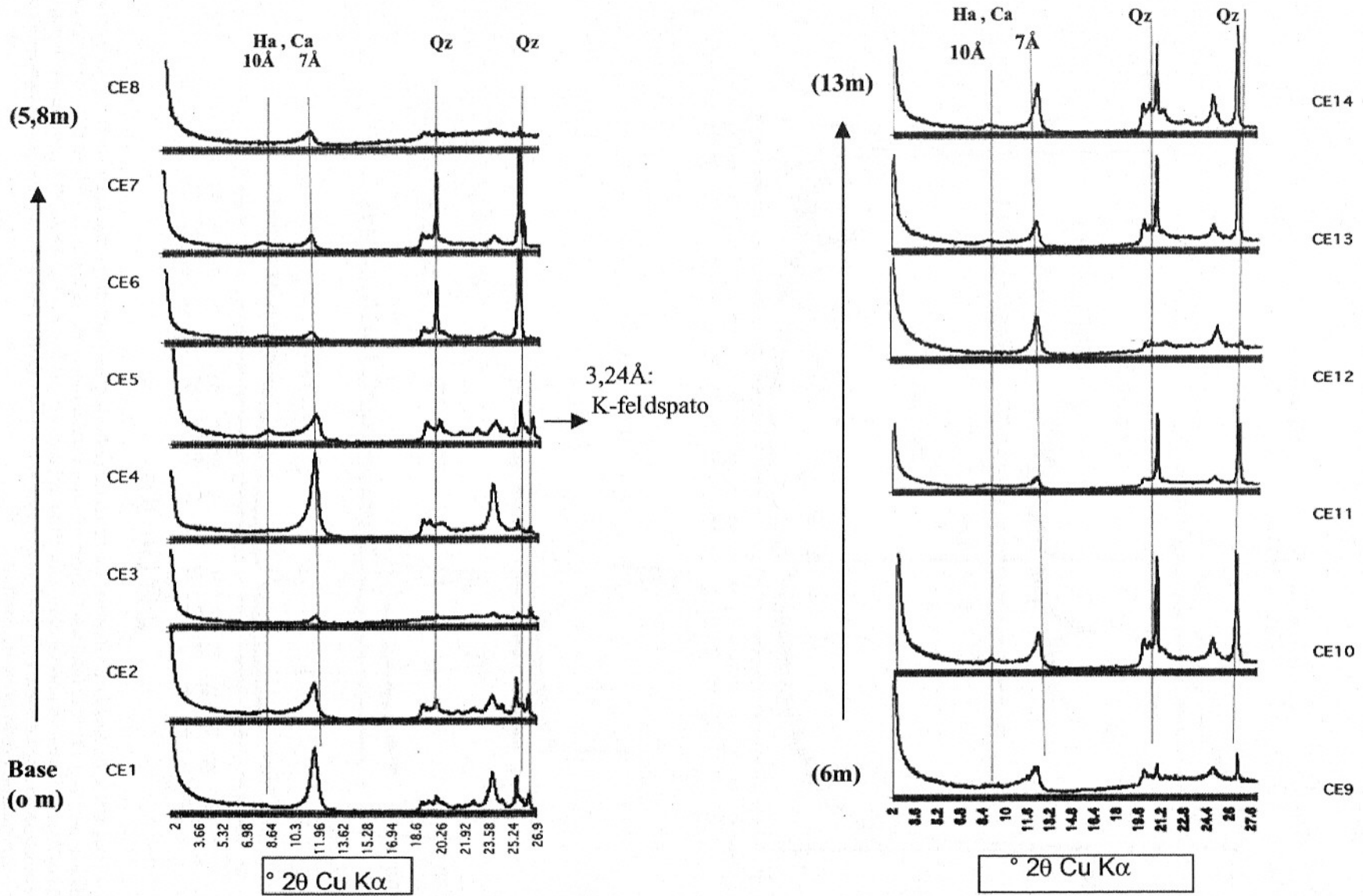


Figura 6 – Difrações de Raios X das preparações orientadas, secas ao ar, da fração menos de $2\mu\text{m}$ das amostras do perfil da mina Ceramarte; Qz (quartzo), Hz (haloisita), Ca (caolinita).

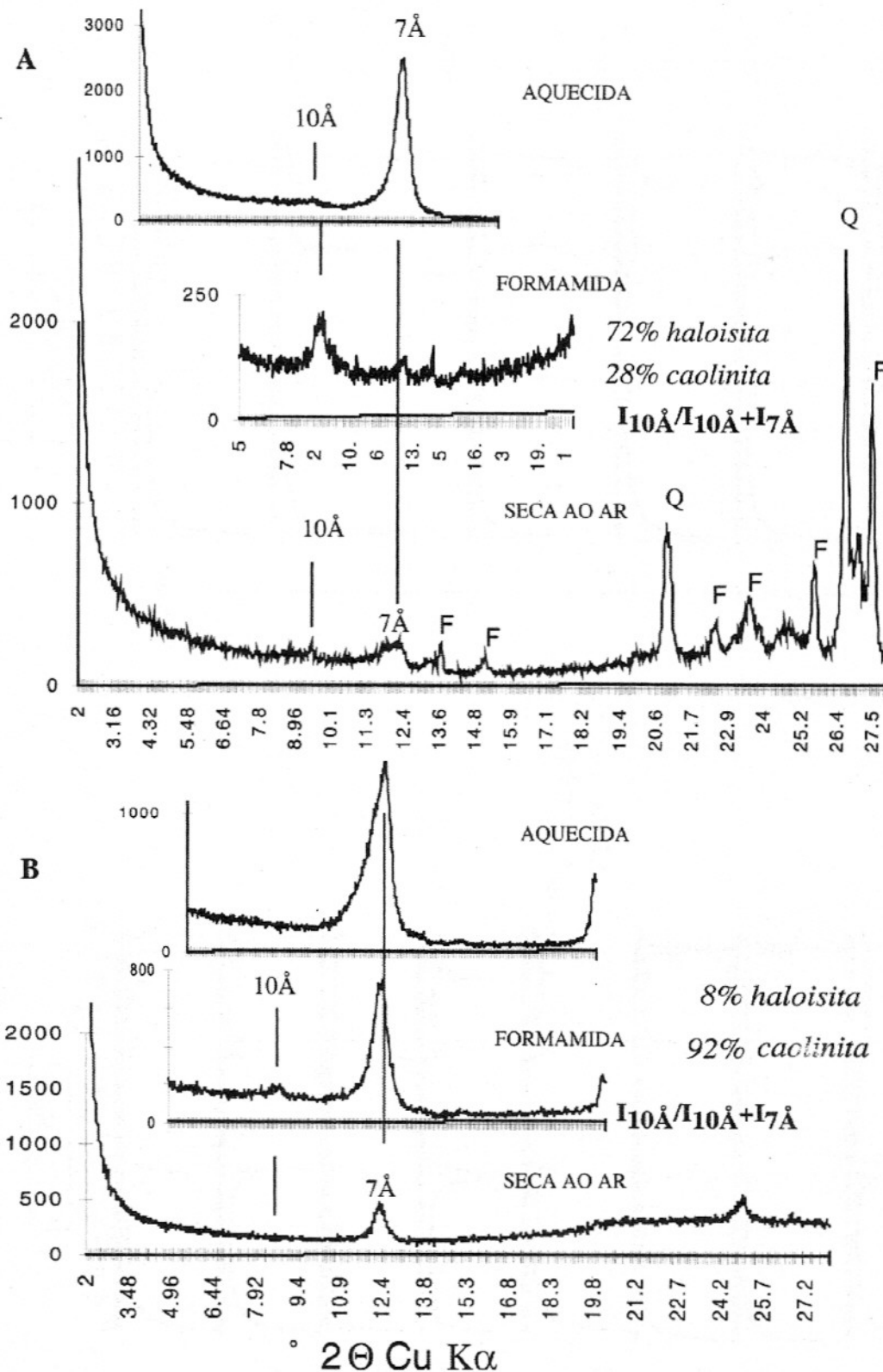


Figura 7 – (A) DRX da amostra CE01M, da matriz da alterita, na base do perfil, seca ao ar, tratada com formamida e aquecida a 110°C. Haloisita foi identificada pelo aumento da reflexão de 10Å no tratamento com formamida e desaparecimento parcial com aquecimento; restou uma fraca reflexão de 10Å atribuída à biotita, observada também ao microscópio óptico. (B) DRX dos veios desta alterita, submetida aos mesmos tratamentos da anterior, apresentou predomínio de caolinita.

Tabela 2 – Análises, por Fluorescência de Raios X, dos elementos maiores das amostras da Lavra Ceramarte, Santa Catarina, Brasil

Perfil de alteração	Profundidade (m)	Amostra	Fe ₂ O ₃ T.v												
			H ₂ O+	LOI	SiO ₂	Al ₂ O ₃	úmida	MnO	MgO	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	TOTAL
Aloterita	2,6	CE15	1,31	8,21	63,5	20,7	5,54	0,036	0,08	0,12	0,022	0,10	0,53	0,02	100,12
Aloterita	4,6	CE14	1,75	9,45	62,1	25,3	1,21	0,003	0,04	0,04	0,020	0	0,41	0,02	100,3
Aloterita	5,3	CE13	2,06	8,68	66,1	21,7	0,48	0,004	0,03	0,06	0,022	0	0,51	0,02	99,7
Nível ferruginoso	9,2	CE12	1,7	9,36	61,8	22,4	4,71	0,003	0,07	0,02	0,017	0	0,35	0,02	100,5
Alterita	9,5	CE11	1,68	6,74	73,8	16,90	0,53	0,005	0,07	0,05	0,018	0,10	0,57	0,03	100,5
Alterita	9,85	CE10	2,02	8,47	66,5	22,3	0,49	0,003	0,06	0,04	0,022	0,10	0,39	0,03	100,4
Alterita	11,65	CE09	2,1	8,5	67	22,2	0,35	0,00	0,05	0,16	0,020	0	0,46	0,03	100,9
Alterita	13,65	CE08	2,22	7,92	67,8	19,70	2,11	0,003	0,03	0,07	0,018	0	0,38	0,06	100,30
Alterita	14,00	CE07	2,33	7,07	70	19,30	0,61	0,002	0,06	0,05	0,022	0	0,36	0,02	99,80
Alterita	14,80	CE06	1,91	6,83	72	15,6	3,41	0,005	0,11	0,04	0,026	0,3	0,43	0,03	100,7
Alterita	15,20	CE05	2,16	7,26	63,00	22,4	0,83	0,031	0,05	0,12	0,015	3,3	0,31	0,03	99,50
Alterita	15,35	CE04	1,88	10,98	53,5	29,7	1,36	0,007	0,07	0,08	0,022	2,4	0,18	0,02	100,20
Alterita	15,80	CE03	1,67	7,36	58,8	23,7	2,74	0,006	0,1	0,15	0,010	5,1	0,29	0,04	100,00
Veio	16,30	CE02	3,16	10,43	53,2	29,5	1,04	0,006	0,04	0,09	0,021	1,9	0,25	0,02	99,60
Rocha alterada	16,85	CE01	0,97	1,64	81,8	10,0	0,71	0,006	0,08	0,11	0,007	4,3	0,40	0,03	100,10
média			1,93	7,93	65,39	21,23	1,74	0,006	0,57	0,08	0,017	1,17	0,39	0,03	

Finalmente, P_2O_5 e CaO ocorrem em baixos teores em todas as amostras (de 0,02 a 0,06 % e 0,007 a 0,026%, respectivamente).

Os valores médios foram calculados com o objetivo de fazer comparações com os valores médios apresentados por Costa & Moraes (1998), para os caolins amazônicos.

Análises por Espectroscopia Infravermelho

Os espectros gerados pela espectroscopia Infravermelho

(técnica de absorção, com KBr) de sete amostras do perfil (Fig. 9) apresentam as bandas de absorção das hidroxilas externas a 3697cm^{-1} , 3670cm^{-1} , 3653cm^{-1} e a banda de absorção das hidroxilas internas a 3620cm^{-1} , mostrando a mistura de caolinitas em todas as amostras analisadas e mascarando, assim, a presença das haloisitas identificadas pela DRX.

Na banda de absorção a 3620cm^{-1} , de cinco amostras, foi identificado um fraco abaulamento a 3600cm^{-1} , comumente observado em es-

pectros infravermelhos de caolinitas e haloisitas de solos e atribuído ao ferro estrutural (Delineau *et al.*, 1994). As amostras da base do perfil, das concentrações brancas e do nível vermelho, com hematita abundante, não apresentaram a reflexão atribuída ao ferro estrutural.

A quantificação de haloisita e caolinita a partir dos espectros infravermelhos em função da razão A_{3697}/A_{3620} (Delvaux *et al.*, 1992) não apresentou resultados que confirmassem os obtidos pela difração de raios x.

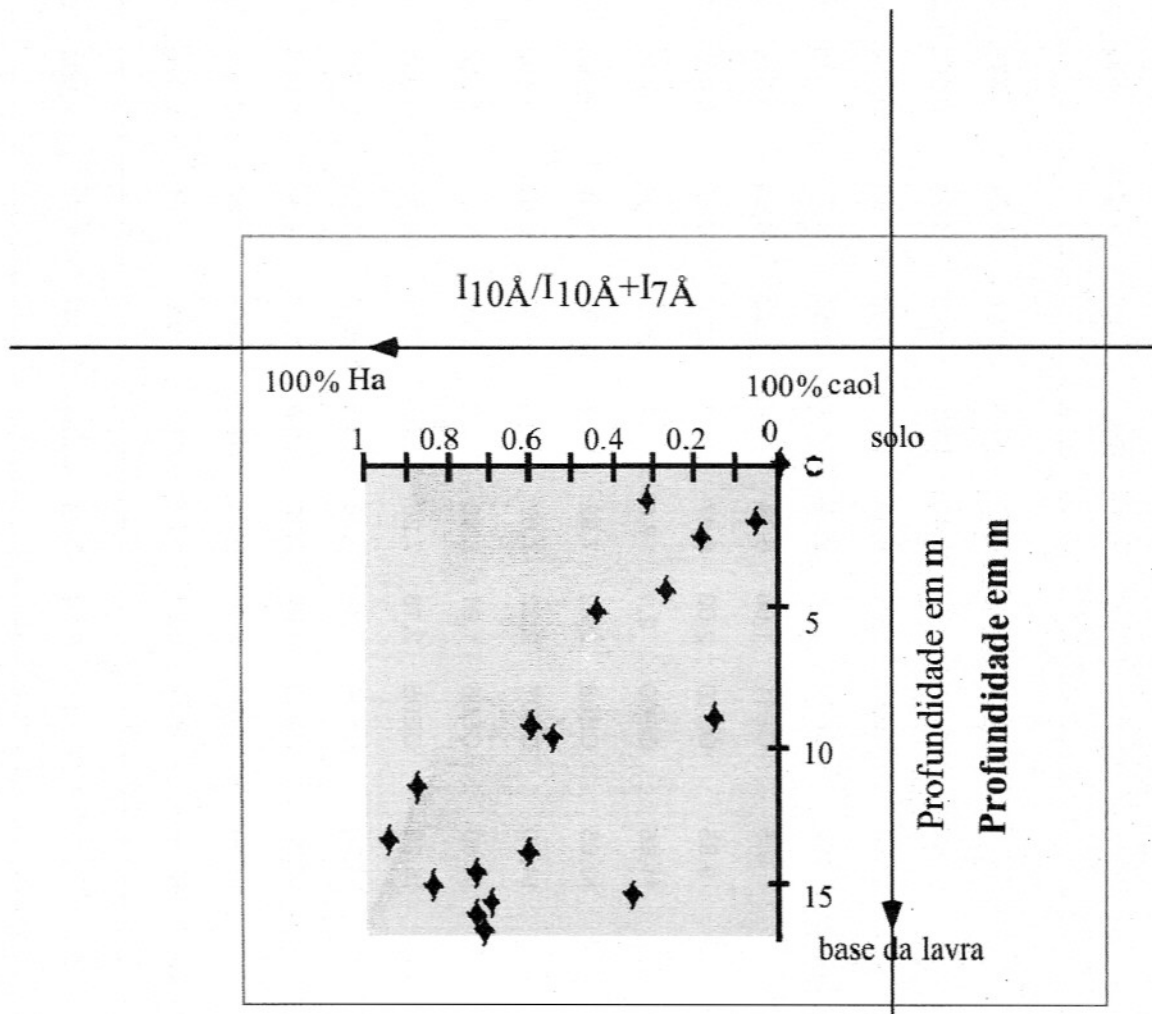


Figura 8 – Quantificação relativa, através de DRX, entre haloisita e caolinita presentes nas amostras tratadas com formamida (pontos representam amostras do perfil).

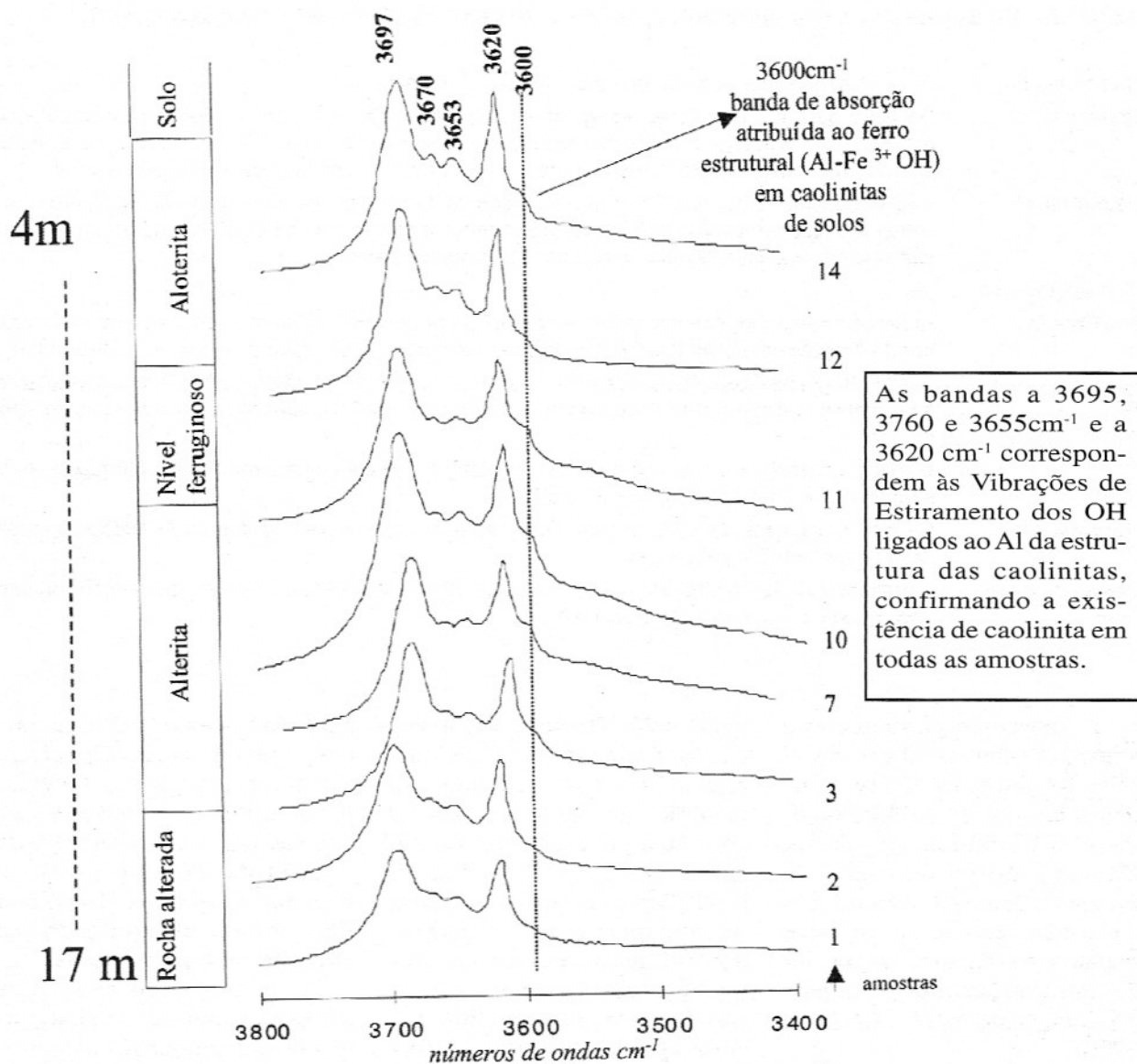


Figura 9 – Espectros infravermelho das amostras do perfil.

DISCUSSÃO

As evidências de campo, mineralógicas, petrográficas, cristal químicas e morfológicas do caolim da Mina Ceramarte, da Bacia Vulcano Sedimentar de Campo Alegre, SC, indicam uma provável origem intempérica para este depósito (Tabela 3).

A sequência vertical de horizontes – rocha alterada, alterita, zona pálida, horizonte ferruginoso vermelho, alterita sem estruturas preservadas (aloteri-

ta) e solo – é comum em perfis de intemperismo.

As diferenças mineralógicas entre os constituintes dos veios (caolinita) e da matriz da rocha alterada (haloisita, caolinita, quartzo e feldspato potássico) evidenciam processos intempéricos. A haloisita encontra-se, predominantemente, associada aos microambientes mais porosos da base do perfil (esferulitos). A caolinita encontra-se, predominantemente ao longo das foliações e nos veios da base, concentrando-se no topo do per-

fil, tanto nos veios como na matriz. A concentração de haloisita na base do perfil e o predomínio de caolinita em direção ao topo é frequentemente associada a alterações superficiais (Delvaux et al., 1992). Outras evidências mineralógicas como a presença do feldspato potássico na base do perfil, sua dissolução em direção ao topo, concentração de hematita no nível ferruginoso, e do anatásio na aloterita, no topo do perfil, são feições associadas à evolução de perfis intempéricos.

Tabela 3 – Evidências de origem supergênica para os caolins da Mina Ceramarte, Campo Alegre, SC

Na paisagem	As principais lavras ocorrem nas morfologias de vertente
Na Lavra	Da base para o topo ocorre a seguinte seqüência: rocha alterada → alterita com estruturas preservadas → alterita branca com estruturas preservadas → nível ferruginoso → nível muito alterado (aloterita) → solo. Veios brancos, multi direcionais, salientam-se em todo o perfil
Petrográficas	A alteração diferencial nas foliações, formação de "boxworks" em fenocristais de feldspato alcalino e "etch-pit formation" em feldspatos da matriz, mostram que estas rochas sofreram um mecanismo de alteração isovolume nas partes basais do perfil
Morfologia dos Cristais	Aparecem duas morfologias distintas de partículas argilosas: planares, de pequeno diâmetro, bordas irregulares e formatos anédricos, formando "acordeões"; agregados de partículas tubulares
Mineralogia	A mineralogia das foliações e dos veios (caolinita) difere da mineralogia da matriz, mais variada; a haloisita é mais abundante nas amostras da base e a caolinita concentra nas amostras do topo do perfil O feldspato potássico aparece na base do perfil; a hematita concentra no nível ferruginoso; o anatásio ocorre na aloterita, topo do perfil
Químicas	Os teores elevados de K ₂ O, na base do perfil, relacionam-se aos restos de K- feldspato ainda não consumidos pela alteração
Cristaloquímica	A presença de ferro estrutural em caolinitas de algumas amostras do perfil pode sugerir origem relacionada a processos supergênicos

Feições petrográficas como alteração diferencial nas foliações, formação de "boxworks" nos fenocristais de feldspato, dissolução diferencial em um mesmo grão de feldspato da matriz ou "etch-pit formation", constituem provas de que estas rochas sofreram um mecanismo de alteração isovolume nas partes basais do perfil (Velbel, 1990).

Quanto à morfologia das partículas, a caolinita planar, de pequeno diâmetro, bordas irregulares e formatos anédricos, é mais comum em perfis de intemperismo do que em depósitos hidrotermais.

Ainda o ferro estrutural, comumente encontrado em caolinitas e haloisitas de perfis de intemperismo e ausente em caolins hidrotermais, está presente nas amostras da mina.

Estas evidências corroboram o fato de que espessos mantos de alteração caolinítics normalmente estão associados ao intemperismo tropical. Esta relação poderá, ainda, ser confir-

mada pelo cálculo da composição isotópica dos caolins correlacionável com a composição isotópica do fluido formador e com a temperatura deste fluido, como o fizeram Bird & Chivas (1988) para caolinitas de perfis de intemperismo. Novos estudos, portanto, poderão ser efetuados para relacionar a evolução destes mantos caolinítics com o processo geológico formador.

CONCLUSÕES

Os caolins da Mina Ceramarte, Bacia de Campo Alegre, SC, formaram-se pela alteração de aluminossilicatos de um riolito pórfiro, *in situ*, mostrando um zoneamento vertical de horizontes, característico de perfis de intemperismo, mantendo nas partes basais do perfil a textura e estrutura da rocha mãe.

As amostras do caolim analisado são constituídas por haloisitas 10Å e 7Å, caolinita, quartzo, e ainda K-feldspato,

anatásio e hematita. Os minerais mais abundantes são a haloisita, a caolinita e o quartzo. O feldspato potássico aparece nas amostras da rocha alterada e da alterita da base do perfil; a hematita concentra em um nível ferruginoso; o anatásio ocorre na aloterita, no topo do perfil.

As análises químicas para elementos maiores são coerentes com a mineralogia encontrada, evidenciando a abundância de SiO₂ devido ao quartzo, teores de ferro mais elevados nas fácies em que ocorre a hematita, e valores de TiO₂ relacionados à presença de anatásio. Estes caolins, se comparados aos caolins amazônicos, descritos por Costa & Moraes (1998), apresentam teores semelhantes de SiO₂, concentram mais ferro e menos titânio.

Em relação aos minerais argilosos, aparecem duas morfologias distintas: partículas planares, de pequeno diâmetro, bordas irregulares e formatos anédricos, e também agregados de cristais tubulares. Atribui-

se a forma planar às caolinitas e a forma tubular às haloisitas, ambas identificadas por DRX.

A presença do par haloisita-caolinita no perfil pode indicar variações na atividade da água [H₂O] ou umidade relativa (Trolard et al, 1990) refletindo distintos microambientes.

A quantificação de haloisita e caolinita presentes nas amostras através da DRX mostrou o predomínio de haloisita na base do perfil, que gradualmente diminui, em direção ao topo, onde predomina a caolinita.

A presença de ferro estrutural em caolinitas de amostras dos níveis mais alterados pode sugerir origem relacionada a processos supergênicos. Novas análises, por Ressonância Eletrônica Paramagnética (EPR), poderão confirmar estes resultados.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi executado com auxílio do CNPQ, processo 400043/96-3, e FUNCITEC, Governo do Estado de Santa

Catarina, Projeto Fapeu 63/96. Os autores agradecem a João Hertz Jornada, chefe do Laboratório de Altas Pressões e Materiais Duros da UFRGS, pelas análises por espectroscopia infravermelho. Os autores expressam, ainda, agradecimentos ao geógrafo Juaci do Amaral, ao professor Joel Pellérin do Departamento de Geociências da UFSC, ao professor Norberto Dani, do CPGq-IG – UFRGS e ao CRC LEME-ANU (Austrália). Finalmente, os autores agradecem a revisão e crítica de dois relatores anônimos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, J. do & FURTADO, S.M. DE A. (1996) Estudo da gênese dos distintos perfis de alteração de jazidas de caulim do Distrito Mineiro de Campo Alegre, SC. *In: Seminário Catarinense de Iniciação Científica*, 7, Florianópolis. Anais. p.118.
- AUMOND, J.J. (1992) Distribuição, características e uso dos argilominerais da faixa centro-oriental catarinense. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Curso de Pós Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, 149p.
- AUMOND, J.J. & SCHEIBE, L.F. (1995) Correlação entre Unidades Geomórfológicas e Distritos de Ocorrência de Argilas em Santa Catarina. *GEOSUL*, 19/20:134-152.
- BIRD, M.I. & CHIVAS, A.R. (1988) Stable-isotope evidence for low-temperature kaolinitic weathering and post-formational hydrogen-isotope exchange in permian kaolinites. *Chemical Geology (Isotope Geosciences Section)*, 72:249-265.
- CHURCHMANN, G.J.; WHITTON, J.S.; CLARIDGE, G.G.G.; THENG, B.G.K. (1984) Intercalation method using formamide for differentiating halloysite from kaolinite. *Clays & Clay Minerals*, 32:241-248.
- COSTA, M. da & MORAES, E.L. (1998) Mineralogy, geochemistry and genesis of kaolins from the Amazon region. *Mineralium Deposita* 33:283-297.
- DAIXT, E.C. & CARVALHO, M.A. da S. (1980) Projeto Geoquímica na área de Guaratubinha-Pien, SC. São Paulo, DNPM/CPRM.
- DELINEAU, T.; ALLARD, T.; MULLER, J.P.; BARRES, O.; YVON, J. & CASES, J.M. (1994) FTIR reflectance vs, EPR studies of structural iron in kaolinites. *Clays and Clay Minerals* 42:308-320.
- DELVAUX, B.; TESSIER, D.; HERBILLON, A.J.; BURTIN, G.; JAUNET, A.M.; VIELVOYE, L. (1992) Morphology, texture and microstructure of halloysitic soil clays as related to weathering and exchangeable cation. *Clays and Clay Minerals* 40:446-456.
- EBERT, H. (1971) O grupo Guaratubinha no norte do Estado de Santa Catarina. *In: Congr. Bras. Geol.*, 25, São Paulo. SBG, Anais. 147-165.
- LOPES, O. F. & CHODUR, N. L. (1999) Associação vulcânica Campo Alegre-Guaratubinha – Guabirota (PR-SC) *In: Simpósio Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados*, 1, Gramado. Boletim de Resumos, p.36.
- OLIVEIRA, M.A.T. de & PEREIRA, K.N. (1998) Identificação de solos colúviais em áreas de cabeceira de drenagem: Cerro do Touro, Campo Alegre (SC) *In: Simp. Nac. Geomorfologia*, 2, Florianópolis. Geosul. volume especial, 27:476-481.
- SHELLEY, D. (1993) Igneous and metamorphic rocks under the microscope. Chapman & Hall editores, 445p.

- TEIXEIRA, V.H. (1975) Relatório de pesquisa do caulim floresta, São Bento do Sul, SC.[s.l.]: DNPM.
- TROLARD, F.; BILONG, P.; GUILLET, B.; HERBILLON A.J. (1990) Halloysite – Kaolinite – Gibbsite – Bohemite : A thermodynamical modelisation of equilibria as function of water and dissolved silica activities. *Chemical Geology* **84**(1/4):294-297.
- VELBEL, M.A. (1990) Mechanisms of Saprolitization, Isovolumetric Weathering, and Pseudomorphous Replacement During Rock Weathering- A Review. *Chemical Geology* **84** (1/4):17-18
- WAICHEL, B.L.; LIMA, E.F. DE; MATTOS, D. ; NARDI, L.V.S. (1999) Aspectos Estruturais e Texturais dos Vulcanitos Félsicos da Formação Campo Alegre- SC-Brasil. *In: Simpósio Sobre Vulcanismo e Ambientes Associados*, 1, Gramado, RS. Boletim de Resumos, p.38.
- WILSON, I.R.; SOUZA SANTOS, H.; SOUZA SANTOS, P., (1993) Caulins Brasileiros: Alguns Aspectos da Geologia e Mineralogia. *Cerâmica* **39** (261).