

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**MINERALOGIA APLICADA: CARACTERIZAÇÃO
DOS MINERAIS MICÁCEOS DA JAZIDA DE
CATALÃO I.**

Rogério Guitarrari Azzone

Orientador: Prof. Dr. Excelso Ruberti

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco R. Alves

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-33/2002)

SÃO PAULO
2002

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900011656

**MINERALOGIA APLICADA: CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS MICÁCEOS
DA JAZIDA DE CATALÃO I.**

ROGÉRIO GUITARRARI AZZONE



ORIENTADOR: PROF. DR. EXCELSO RUBERTI
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E GEOTECTÔNICA

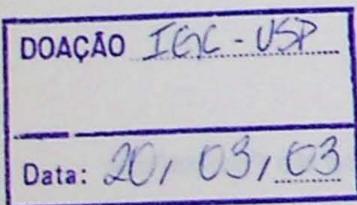
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. FRANCISCO R. ALVES
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E GEOTECTÔNICA

Monografia de Trabalho de Formatura
TF n.º 33

SÃO PAULO, 2002.

TF
A999
RG. m

ACADEMIA DE MUSICA DA PUC-RIO - MUSICA ALTO-DISPUTADA



*Aos meus pais, Rogério e Leda,
pelo amor, amizade, exemplo,
e por não medirem esforços para propiciar
sempre o melhor para os seus filhos
em todos os sentidos.*

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho dependeu do acompanhamento, apoio, colaboração e empenho de muitas pessoas e entidades tanto de forma indireta quanto direta às quais registro meu respeito e gratidão, sendo que a algumas não poderia deixar de mencionar:

Ao Prof. Dr. Excelso Ruberti, pela orientação, ajuda, zelo e dedicação, dispensando para isso muito mais do que simples horas de trabalho, e por sempre "apostar e investir" em mim. Ao Prof. Francisco R. Alves, a quem tive o prazer de ter como co-orientador, e que também foi fundamental para as principais discussões e "estratégias" traçadas para a realização deste trabalho

À Ultrafértil S/A, empresa do grupo Fortifós, em nome do Eng.^º Luiz Antonio Fonseca de Barros e do geólogo Carlos Cordeiro Ribeiro, por proporcionar a viabilização de execução deste trabalho, fornecendo apoio técnico e logísticos e por arcar com todos os encargos pecuniários inerentes ao trabalho de campo realizado. Neste sentido, agradeço também ao apoio dado pelos Eng.^º Carvalho e Eng.^º Elton, bem como pelos Técnicos Antônio de Deus e Sandra, além do Seu Abadio, que ajudou na coleta de amostras.

Aos professores do Instituto que me acompanharam por toda a graduação, e sempre se mostraram dispostos a ajudar nas dúvidas e problemas enfrentados.

Quanto aos funcionários do Instituto, agradeço a todos, especialmente ao Marcos e o Paulinho (Lab. de Microssonda) por todo apoio que me deram tanto neste trabalho quanto na Iniciação Científica (rotina analítica complexa para perovskitas, lâminas de amostras de solo, etc.). Agradeço também ao Zé Paulo (LTA), à Verônica (impregnação de amostras), à Angélica (Lab. Óptica), à Elaine (Lab. de Sedimentologia, por permitir a utilização do laboratório e auxiliar na preparação de lâminas para o Raio-X), ao Ricardo, à Sandra e a Martinez (Laboratório de Química), ao Paulinho (Fluorescência, que ajudou e muito na interpretação de difratogramas) e ao Henrique (da Gráfica). Além disso, agradeço ao pessoal da laminação e ao Flávio (técnico responsável pelo Raio-X) pelo profissionalismo que apresentaram.

A todos os colegas da turma de 98, especialmente àqueles que se tornaram muito mais do que colegas, mas verdadeiros amigos (não preciso citar nomes, pois estes sabem quem são). Passamos juntos por inúmeras situações difíceis, problemas, e tenho certeza que o apoio dado um ao outro foi fundamental para chegarmos até o fim da graduação.

Agradeço aos meus bisavós Victorio e Ernesta (in memoriam) pelo amor e carinho que sempre demonstraram e por lutarem junto conosco para eu entrar na faculdade e concluir o curso. Também aos meus avós José, Percida, Abílio e Neyde por toda ajuda que deram ao longo de toda a vida. À todos os meus tios e tias por sempre ajudarem, ou com o computador, ou com transporte, ou na discussão de idéias, ou mesmo no apoio moral.

Aos meus segundos pais Marcos e Regina, que ajudaram em momentos cruciais e fizeram tudo o que estava ao seu alcance para eu continuar no curso, ajudando inclusive neste trabalho e na participação no Congresso. Agradeço pelo carinho e consideração que também são recíprocos.

À minha família, Rogério e Leda, meus pais e Roberta e Rômulo, meus irmãos, por me aguentaram ao longo destes anos e estarem sempre dispostos a ajudar e resolver da melhor forma todos os problemas. Obrigado por tudo.

Ao meu Deus, por ajudar a suportar todas as dificuldade (e não foram poucas), por sempre mostrar uma saída no tempo certo, e por me abençoar durante toda minha vida em todos os sentidos.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE QUADROS	v
 1. INTRODUÇÃO	01
 2. METAS E OBJETIVOS	03
 3. TRABALHOS PRÉVIOS	04
3.1. Localização do Complexo, Geomorfologia e aspectos Fisiográficos	04
3.2. Aspectos Geológicos	04
3.2.1. Seqüência Evolutiva do Complexo	06
3.3. Geologia de Superfície	07
 4. MATERIAIS E MÉTODOS	11
4.1. Trabalho de Campo e Tratamento de Amostras	11
4.2. Análises Petrográficas Microscópicas	12
4.3. Difratometria de raios X	12
4.4. Microssonda Eletrônica	14
4.5. Aquisição de Imagens de Elétrons Retroespalhados (Backscattered Electron Image)	15
 5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	17
 6. RESULTADOS OBTIDOS	19
6.1. Materiais Estudados – Localização das Amostras	19
6.2. Análises Petrográficas Microscópicas	22
6.2.1. Nível Intempérico Rocha Alterada	28
6.2.2. Nível Intempérico Micáceo Base	29
6.2.3. Nível Intempérico Micáceo Médio	30
6.2.4. Nível Intempérico Micáceo Topo	31
6.2.5. Nível Intempérico Oxidado	31
6.3. Análises por Difratometria de raios X	32
6.3.1. Características dos Filossilicatos	32
6.3.2. Estágio Inicial de Reconhecimento	33
6.3.3. Estágio com Separação de Faixas Granulométricas	34
6.4. Análises por Microssonda Eletrônica	38
6.4.1. Flogopitas de Rocha Sã	38
6.4.2. Vermiculitas e Interestratificados nos diversos níveis intempéricos	41
6.5. Aquisição de Imagens de Elétrons Retroespalhados (Backscattered Electron Image)	44
 7. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	47
 8. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
 ANEXOS	53

RESUMO

No Complexo Alcalino Carbonatítico de Catalão I (GO), como na maioria dos depósitos brasileiros, o minério fosfático é residual, enriquecido pela alteração laterítica. Esta alteração promove modificações texturais e químicas em várias escalas com perdas por vezes importantes de minério em seu beneficiamento pela heterogeneidade do material.

Os principais minerais silicáticos de Catalão I são micas e filossilicatos derivados. Estes possuem quantidades significativas de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e MgO (elementos de controle na especificação dos concentrados) e grande capacidade de troca catiônica. Também, podem contribuir para a geração de lamas no processo de flotação, diminuindo a seletividade e recuperação no processo.

Assim, estudos de base que gerem informações sobre as características destes filossilicatos são extremamente importantes para um melhor beneficiamento. O objetivo deste trabalho é a caracterização dos minerais micáceos (e filossilicatos de um modo geral) em cada uma das tipologias do minério. Tal estudo permitiu um melhor entendimento da evolução dos micáceos no perfil laterítico.

Para este trabalho, realizou-se etapa de campo para coleta das amostras e reconhecimento do corpo, de tipologias e de níveis do perfil intempérico. Realizaram-se análises por petrografia macro e microscópica, por difratometria de Raios-X e por dispersão de comprimento de onda (microssonda eletrônica), permitindo a caracterização mineralógica, textural e química destes minerais.

Como produtos de alteração identificaram-se a vermiculita e interestratificado regular (flogopita-vermiculita) que possuem quantidades bastante reduzidas de K^+ em relação às flogopitas e tetraferriflogopitas da rocha sã. Localmente ocorrem produtos esmectíticos derivados desta alteração, seguindo assim o principal caminho de formação de argilominerais em solos.

ABSTRACT

In the Catalão I Alkaline Carbonatitic Complex (GO), like in the most of brazilian deposits, the phosphatic ore is residual, enriched by lateritic alteration. This alteration promotes texturals and chemicals modifications in many scales with, for many times, important ore loss in the concentration process, because of material's heterogeneity.

The principals Catalão I silicatic minerals are micas and derivated phyllosilicates. These have significant amounts of Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO (control elements in the specification of phosphatic concentrates), and a wide capacity of cationic exchanges. Also, these can contribute to generate muds in flotation process, decreasing selectivity and recuperation in process.

Thus, base studies that generate information about the characteristics of these phyllosilicates are extremely important to a better concentration. The purpose of this work is the characterization of micas (and moreover phyllosilicates) in each typology of the ore body. This study permitted a better understanding in mica evolution on lateritic profile.

For this work, a field work was made to collect samples and the recognize of the body, of the typology and of the levels of weathering profile. Petrography studies and analysis by X-Ray difratometry and by wavelength dispersion system (microprobe) leads to mineralogical, textural and chemistry characterization of these minerals.

Like alteration products, the vermiculite and a regular interestratified (phlogopite-vermiculite) that have smaller amounts of K^+ than phlogopites and tetra-ferriphlogopites from inalterated rocks were identified. Locally, we can find smectitic products from this alteration, following the principal pathway to formation of clay minerals in soils.

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de Localização do Complexo Carbonatítico de Catalão I. (Extraído de Toledo, 1999)	04
Figura 2. Esboço Geológico da parte centro-nordeste do domo carbonatítico de Catalão I.	05
Figura 3. Conjunto de controles geológicos dos depósitos de fosfatos do Complexo Carbonatítico de Catalão I.	08
Figura 4. Mapa das Formações Superficiais do Complexo de Catalão I. (Carvalho, 1974 e Baecker, 1983)	09
Figura 5. Montagem de mapas apresentando o Complexo Carbonatítico Catalão I em seu contexto Geológico Regional (Extraído de cprm.gov.br)	10
Figura 6. Pontos de Amostragem realizados para o presente trabalho, tendo como base modelo de Perfil Intempérico desenvolvido pelo Setor de Geologia da Mina de Catalão I. Observa-se também os níveis equivalentes estabelecidos por Oliveira & Imbernon (1998). Em vermelho, são registrados os pontos oriundos da FRENTE DE LAVRA 4, e em azul, os pontos oriundos da FRENTE DE LAVRA 1	20
Figura 7. Visão Geral das Frentes de Lavra na Mina de Catalão I, discriminando-se as frentes da Área de Decreto da Ultrafértil. No detalhe, é apresentado o ponto de amostragem CAT-19, onde são expostas rochas sãs.	22
Figura 8. Cristais bem formados de flogopita em rochas flogopíticas do Complexo Catalão I apresentando (A) núcleos de pleocroísmo normal (coloração marrom) e bordas de tetraferriflogopita (coloração vermelha) em meio a matriz formada por cristais de tetraferriflogopita e venulações carbonáticas e opacos associados. Polarizadores Descruzados. (B) Nota-se também extinção tipo bird's eye, birrefringência alta. As regiões formadas por flogopita de pleocroísmo normal apresentam birrefringência mais escura, diferenciada das bordas de tetraferriflogopita. Lâmina CAT-19-02. Polarizadores Cruzados. Lado Menor = 1,85 mm.	25
Figura 9. Cristais bem formados de flogopita em rochas flogopíticas do Complexo Catalão I apresentando núcleos de pleocroísmo normal (coloração marrom – tipo textural 1) e bordas de tetraferriflogopita (coloração laranja – tipo textural 2). Em (A) nota-se que quando o núcleo dos cristais apresenta maior absorção da luz (pleocroísmo normal), as bordas apresentam-se praticamente incolores. Quando se rotaciona o mesmo cristal em 90° (B), nota-se que as bordas apresentam máxima absorção (coloração laranja forte) e o núcleo de coloração marrom de tonalidade mais fraca, caracterizando assim as diferenças encontradas num mesmo cristal de flogopita. Lâmina CAT-19-03. Polarizadores Descruzados. Lado Menor = 3,5 mm.	25
Figura 10. Cristais de vermiculita (tipo textural 5) em rochas em início de alteração intempérica (nível Rocha Alterada do perfil) do Complexo Catalão I com as seguintes características proeminentes: (A) cristais incolores incolor, praticamente sem nenhum tipo de pleocroísmo (polarizadores descruzados) e (B) apresentando birrefringência baixa (sob polarizadores cruzados). Lâmina CAT-19-10. Lado Menor = 1,85 mm.	25
Figura 11. (A.) Cristais de flogopita – tipo textural 3- de hábito tabular em rochas ultramáficas apresentando textura keliítica, com olivina considerada reliquiar. Segregações carbonáticas que podem representar substituição de algum mineral também são encontradas. Polarizadores Descruzados. Lado Menor = 3,5mm No detalhe de A., nota-se cristais de flogopita (B.) apresentando núcleo com pleocroísmo normal com maior absorção caracterizada pela coloração marrom e (C.) bordas transformadas em tetraferriflogopita, com maior absorção de luz perpendicular ao núcleo, caracterizada pela coloração laranja. Nota-se também nestas figuras que a flogopita se desenvolve envolvendo totalmente os cristais de olivina, sugerindo seu desenvolvimento a partir destes. Polarizadores Descruzados. Lado Menor= 0,92mm.	26
Figura 12. Cristais de flogopita – tipo textural 4, em rochas carbonatíticas já em princípio de alteração intempérica do Complexo Catalão I, apresentando pleocroísmo normal, núcleos de coloração amarronzada e bordas praticamente incolores, sugerindo princípio de alteração para vermiculita. Lâmina CAT-19-09. Polarizadores Descruzados. Lado Menor = 1,85mm.	26
Figura 13. Cristais tetraferriflogopitizados em rochas carbonatíticas do Complexo Catalão I, apresentando tetraferriflogopitização não homogênea, sendo visível pelas diferentes cores de pleocroísmo apresentadas em um mesmo cristal na direção de maior absorção da luz para este tipo de micas. Pela variação de tons de laranja e vermelho e sua ocorrência de forma brusca em alguns cristais, esta heterogeneidade pode indicar diferentes estágios de tetraferriflogopitização, que pode ser associada às diversas injeções de magma carbonatítico no complexo. Polarizadores descruzados. (A) e (B) – Lâmina CTA-19-08B. Lado Menor = 3,5mm. (C) – Lâmina CAT-19-02. Lado Menor = 0,47mm	27

- Figura 14. Cristais de (A.) vermiculita e (B.) tetraferrislogopita alterados para filossilicato pleocróico de coloração verde clara a verde escura – tipo textural 6 – representando a clorita. Polarizadores Descruzados. (A.) Lâmina CAT-19-09. Lado Menor = 0,92mm. (B.) Lâmina CAT-19-02. Lado Menor = 0,92mm. 27
- Figura 15. Fotomicrografias de Amostras do Nível Intempérico Rocha Alterada. Com base nas observações dos tipos texturais observados em amostras de Rocha Sã, pode-se dizer que (A.) e (B.) são alterações de flogopítitos e que (C.) e (D.) são alterações de ultramáfica metassomatizada. As variações de tonalidade entre bege e amarelo, notadas principalmente nas figuras (A.) e (B.), são unicamente referentes à espessura da lâmina. Cabe lembrar que as lâminas delgadas oriundas de material impregnado foram efetuadas com espessura um pouco maior que 30 μ m para que se garantisse um bom polimento e consequentemente boa qualidade de análises por microssonda. Assim podem ocorrer pequenas variações nas tonalidades dos minerais. 28
- Figura 16. Fotomicrografias de lâmina do nível intempérico Micáceo Base (CAT-20MB) apresentando as principais características deste nível. Principalmente nos interstícios e nos contatos entre grãos de mica bege e amarela, nota-se alteração marrom, dando um aspecto sujo a estas micas e ocorrendo com mais intensidade em cristais da matriz. Polarizadores Descruzados 29
- Figura 17. Fotomicrografias apresentando os principais aspectos texturais do nível intempérico Micáceo Médio. Pode-se notar que as micas de cor marrom predominam sobre as amarelas. Esta coloração predominante pode ser indicativa de percolação de óxidos e hidróxidos de Fe sobre estas. (A.) e (C.) provavelmente representam amostras de flogopítitos alterados e (B.) e (D.) derivados amostras de ultramáfica. 30
- Figura 18. Fotomicrografias apresentando os principais aspectos texturais das micas do Nível Micáceo Topo. Pode-se notar que a quantidade de hidróxidos de Fe aumenta ainda mais neste nível. Embora em alguns fenocristais (A.) ainda apresentem cor amarelo-amarronzada, na matriz os cristais apresentam cor marrom predominante (B). Amostra CAT-03MT. Polarizadores Descruzados, com lentes condensadoras. 31
- Figura 19. Fotomicrografias apresentando os principais aspectos texturais do Nível Oxidado. Pode-se notar pseudomorfos de mica de cor marrom (A.) representando hidróxido de Fe e também intercalação desta com material branco (B.) representando kaolinita. Amostra CAT-10-Oxi. Polarizadores Descruzados 31
- Figura 20. Comparação de difratograma da faixa granulométrica –200+400 mesh da amostra CAT-16RA com análise de carbonatos realizadas por Marques (2002), mostrando o problema de calibração do novo equipamento e eliminando a hipótese de interestratificados irregulares nesta faixa granulométrica. 37
- Figura 21. Distribuição de Al, Mg e Fe_{total} para as flogopitas do complexo de Catalão I. Em segundo plano, tem-se os dados obtidos por Brod et al. (2001) 40
- Figura 22. Variações Si versus Al (a.f.u.) e Fe³⁺ versus Al (a.f.u.) no sítio tetraédrico das flogopitas de Catalão. Ao lado são apresentados os dados de Brod et al. (2001). 40
- Figura 23. Distribuição de Al, Mg e Fe_{total} para vermiculitas e interestratificados do perfil intempérico do complexo de Catalão I Símbolos como na figura 22. 41
- Figura 24. Variação de $^{1/3}\text{Mg}$ versus $^{1/3}\text{Fe}^{3+}$ (a.f.u.) no sítio octaédrico de vermiculitas e interestratificados do complexo de Catalão I. Provavelmente estas relações são herdadas das anteriores flogopitas e não oriundas do processo intempérico. Em (A.) são apresentados todos os resultados dos diversos níveis; em (B.) e (C.) os resultados de diferentes níveis são separados, indicando uma distribuição extremamente semelhante para estes. 42
- Figura 25. Variação de Mg versus K(a.f.u.) em filossilicatos alterados dos diversos níveis intempéricos do Complexo Catalão I. A partir desta relação pode-se definir dois grupos distintos de minerais de alteração: o primeiro com valores de K próximos a 1 e de Mg menores que 6 e o segundo com valores de K próximos a 0 e de Mg maiores que 5. Símbolos como na figura 22. 42
- Figura 26. Espectros de EDS da lâmina CAT-10 OXI. representando os pseudomorfos de filossilicatos que ocorrem no Nível Intempérico Oxidado. 44
- Figura 27. Imagens de Eletrons Retroespalhados (Backscattered Electron Image) de cristais de Flogopita das amostras de Rocha Sã do Complexo Catalão I. (A.) Lâmina CAT-19-02 – Flogopítito. (B.) Lâmina CAT-19-06 – Ultramáfica Metassomatizada. Nas duas imagens nota-se a presença de estrutura zonada, representando principalmente a maior concentração de Fe³⁺ nas bordas dos cristais (tetraferrislogopita). Nos núcleos dos fenocristais selecionados podem ser melhor observadas as diferenças composicionais entre os tipos texturais 1 e 3, com núcleo de A. mais aluminoso e magnesiano e B. com mais Titânio e Ferro. 45

Figura 28. Imagens de Elétrons Retroespalhados (Backscattered Electron Image) de cristal de Interestratificado com lamelas de vermiculita das amostras no limite entre Rocha Sã e Rocha Alterada do Complexo Catalão I. Lâmina CAT-19-09. Nas bordas do fenocristal nota-se coloração mais escura e no núcleo mais clara. Tal variação representa principalmente as diferenças nas concentrações de K, com bordas escuras indicando quase total ausência deste elemento e porções claras ainda apresentando concentrações significativas. Também lâmelas de cor cinza escura a negra ocorrem no interior do cristal, indicando uma alteração também relacionada com os planos de clivagem. Petrograficamente, a cor de tais “lamelas” é amarela clara, enquanto o cristal como um todo apresenta tonalidade amarronzada. Na região circulada, apresenta-se um cristal da matriz quase que totalmente vermiculitizado. 45

Figura 29. Imagens de Elétrons Retroespalhados (Backscattered Electron Image) de cristal de Interestratificado com lamelas de vermiculita das amostras no limite entre Rocha Sã e Rocha Alterada do Complexo Catalão I. Lâmina CAT-19-09. Nas bordas do fenocristal nota-se coloração mais escura e no núcleo mais clara. Tal variação representa principalmente as diferenças nas concentrações de K, com bordas escuras indicando quase total ausência deste elemento e porções claras ainda apresentando concentrações significativas. Petrograficamente, a cor de tais “lamelas” é amarela clara, enquanto o cristal como um todo apresenta tonalidade amarronzada. Na região circulada, apresenta-se um cristal da matriz quase que totalmente vermiculitizado. 46

Figura 30. Imagens de Elétrons Retroespalhados (Backscattered Electron Image) de cristais de vermiculita e interestratificados de amostras dos Níveis Rocha Alterada e Micáceo Base. (A.) Lâmina CAT-01RA . (B.) Lâmina CAT-20MB. Novamente nota-se a variação de tons de cinza nos cristais, representando principalmente as diferenças nas concentrações de K. As partes escuras (até negras) indicam quase total ausência deste elemento e grandes quantidades de Fe^{3+} e porções claras ainda apresentando concentrações significativas de K. Este tipo de alteração sugere que os interestratificados são minerais de transição no processo de vermiculitação das flogopitas. 46

Figura 31. Caminhos para a formação de argilominerais em solos (Modificado de Wilson, 1999). Ao lado apresenta-se a proposta de evolução das flogopitas no perfil intempérico do Complexo Catalão I. 48

Índice de Quadros

Quadro 1. Cronogramas de Atividades para realização do trabalho 17

Quadro 2. Análises de Fluorescência de raios X para amostras coletadas no perfil intemp. do Complexo Catalão I. 21

1. INTRODUÇÃO

As rochas carbonatíticas constituem fonte de bens minerais das mais importantes, ocorrendo associados a elas grandes depósitos de fosfatos, nióbio e titânio.

No Brasil, essas associações são responsáveis por mais de 90% da produção nacional de fosfatos concentrados. Nessas jazidas de fosfatos ocorrem, simultaneamente associados, vários minerais de ganga, sendo mais freqüentes os óxidos de Fe (magnetita e limonita), micas (flogopita e biotita), vermiculita, minerais de titânio (ilmenita, perovskita e anatásio) e outros minerais em menor proporção. Carbonatos (calcíticos e dolomíticos principalmente) ocorrem em proporção elevada nos depósitos associados à rocha inalterada. Apenas uma mina em operação aproveita a rocha sã (Jacupiranga). Nas demais, incluindo Catalão I, o minério é residual, enriquecido pela alteração laterítica. Esta alteração também promove modificações texturais e químicas em várias escalas (Toledo, 1999). A concentração do minério apatítico na usina de beneficiamento sofre freqüentes perturbações devido às heterogeneidades do material, diretamente ligadas às feições desenvolvidas pela alteração laterítica sobre a concentração apatítica original, com perdas por vezes importantes de minério.

Feições como recobrimento e fragmentação de grãos por produtos de alteração, modificação da composição com consequente mudança de densidade, abertura de poros e dissolução, que mudam o comportamento de superfície dos grãos (Born & Kahn, 1990), e sua distribuição no corpo do minério não são normalmente estudadas na mina.

Em consequência das diferenças geradas no processo intempérico, têm-se na flotação do minério fosfático consumo elevado de reagentes e baixa recuperação de P_2O_5 . Esse desempenho poderia ser melhorado se fossem conhecidos os aspectos fundamentais da paragênese da ganga dessas jazidas e a interação desses minerais com os reagentes de flotação convencionais. Para isso, faz-se necessária uma caracterização mineral detalhada para todas as tipologias de minério que compõem a jazida.

Cabe lembrar que a definição dos processos de tratamento de minérios é feita, em muitos casos, de forma bastante empírica, com pouca relação entre os comportamentos observados nos materiais e as suas feições características. Uma das principais razões para isso parece ser a impossibilidade de se empreender estudos mineralógicos, morfológicos e cristaloquímicos no âmbito das companhias de mineração, principalmente por serem estudos de longa duração e carecerem de vários equipamentos sofisticados (Toledo, 1999). Isto explica as iniciativas cada vez mais numerosas de colaboração entre Universidade e Centros de Pesquisa com as empresas de mineração e beneficiamento.

O objetivo deste trabalho é fornecer dados dos minerais micáceos e, por extensão, dos demais filossilicatos, encontrados na Jazida de Catalão I, na área de decreto de lavra da Ultrafértil, que possam ser levados em conta nos trabalhos industriais.

Minerais silicáticos presentes em jazidas fosfáticas, principalmente os minerais micáceos, são portadores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e MgO , que são elementos de controle na especificação dos concentrados. Porém, segundo Assis (1996), os concentrados brasileiros geralmente apresentam teores desses contaminantes em níveis mais elevados que os concentrados provenientes dos fosfatos sedimentares de grandes produtores mundiais como o Marrocos e Estados Unidos. A indústria de fertilizantes, consumidora dos concentrados apatíticos, é muito rigorosa nos teores de Al_2O_3 , Fe_2O_3 e MgO no concentrado pois tais elementos prejudicam a qualidade dos fertilizantes produzidos. Busca-se, portanto, o estudo dos minerais micáceos dos depósitos fosfáticos da associação carbonatítica de Catalão I.

Como atividades do projeto, realizou-se trabalho de campo onde pôde-se (1) ter melhor visualização do desenvolvimento do perfil intempérico neste complexo e (2) coletar amostras significativas para os objetivos do estudo. Para a maioria destas amostras foram realizadas análises por fluorescência de raios X que apresentaram um quadro composicional geral desse material. Um revisão bibliográfica a respeito dos diversos modelos de evolução magmática e dos produtos e processos intempéricos do Complexo Catalão I foi necessária e apresentam-se, de forma sucinta, as idéias consideradas mais relevantes para a compreensão da área em função do escopo proposto. Realizaram-se análises macroscópicas das amostras coletadas e microscópicas das amostras de rocha não-alteradas e de amostras representativas dos vários níveis do perfil intempérico. Para a identificação dos picos utilizou-se da técnica de difratometria de raios X. Como estudo de detalhe, a técnica de dispersão de comprimentos de onda por microssonda eletrônica proporcionou o reconhecimento das principais variações químicas dos minerais micáceos no perfil intempérico.

Assim, apresenta-se nos próximos itens a conclusão dos estudos pretendidos para este trabalho, com resultados finais e dificuldades encontradas.

2. METAS E OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo primordial a caracterização mineralógica dos micáceos de Catalão I, com enfoque nas suas paragênese e relações com a apatita, tendo em vista proporcionar subsídios ao processo de beneficiamento do minério, no sentido de se obter maior recuperação e melhor qualidade do produto. Para tanto, o trabalho envolve o estudo mineralógico das diferentes fácies de litologias micáceas existentes na jazida.

Problemas associados à presença de minerais micáceos no beneficiamento de fosfatos foram encontrados em algumas usinas, resultando em perdas da ordem de 20% na recuperação de P_2O_5 . Essas perdas foram ocasionadas tão somente devido a concentrações mais elevadas de minerais micáceos em certas porções dos corpos.

Em razão dos tipos de micas presentes em um determinado depósito, podem ocorrer vários problemas tais como contaminação dos concentrados ou, para o caso de micas mais alteradas, geração de lamas nas condições usuais de atrição da célula mecânica de flotação, podendo tornar o processo menos seletivo.

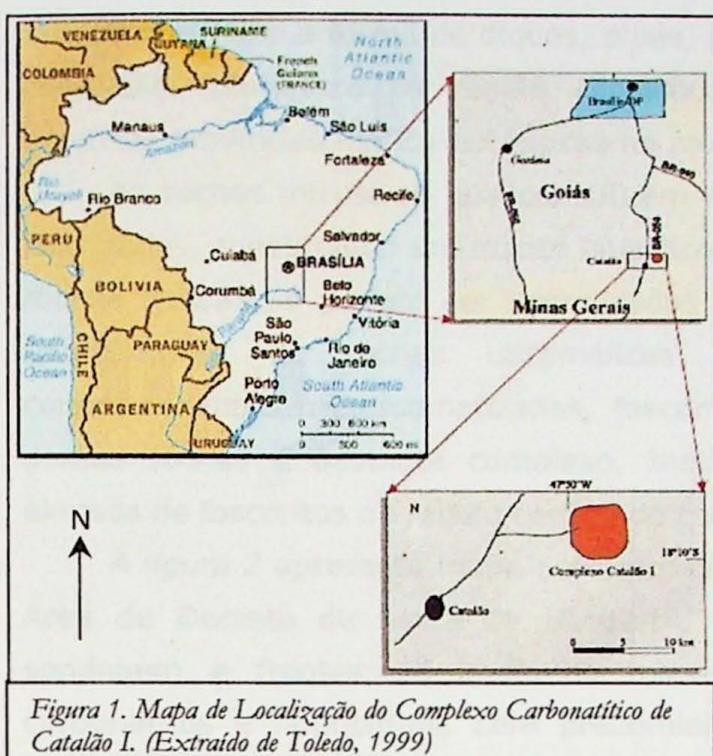
Pesquisas priorizando estudos das interações entre os diversos minerais associados aos minérios fosfáticos brasileiros e os reagentes utilizados nos processos, têm ajudado a identificar as variáveis responsáveis pelo desempenho dos minérios na flotação.

No entanto, enquanto os estudos com minérios fosfáticos carbonatados, mais especificamente àqueles em sistemas calcita ou dolomita/apatita, são abundantes, as pesquisas com os minerais micáceos são escassas. Esse fato é surpreendente, posto que estes minerais se apresentam em elevadas concentrações em alguns minérios, não possuem depressores específicos nesses sistemas e constituem fontes em potencial de contaminantes como Al, Fe e Mg.

Este trabalho, objetivando a caracterização mineralógica especialmente dos minerais micáceos de jazida fosfática, poderá contribuir com informações imprescindíveis para a melhoria das técnicas de beneficiamento de minério. Esta melhoria só é possível com maior conhecimento das fases minerais envolvidas no processo e seu comportamento em sistemas de flotação. Entende-se que tal estudo é de relevância acentuada, dada a importância do mercado de fosfatos no país, e a procura constante por melhoria no aproveitamento do minério.

3. TRABALHOS PRÉVIOS

3.1. Localização do Complexo, Geomorfologia e Aspectos Fisiográficos



O Complexo de Catalão I está situado no município de Ouvidor, no sudeste goiano, 20km a nordeste da cidade de Catalão. Distante de Brasília cerca de 300 km e de São Paulo 720 km, está interligado a estes dois grandes centros através da rodovia BR-050. Apresenta coordenadas geográficas 18°08' de latitude S e 47°48' de longitude W (*figura 1*).

O Complexo constitui estrutura dômica, com uma superfície de forma aproximadamente elíptica cujos eixos N-S e E-W medem respectivamente 6 e 5,5 km, tendo o relevo sustentado por rochas

quartzíticas encaixantes fenitizadas que circundam o maciço. Destaca-se na paisagem formando um “chapadão” de altitude média de 900m, elevando-se aproximadamente 100m em relação às rochas encaixantes (Imbernon, 1993). Este relevo resulta da erosão diferencial da superfície Sul-Americana de idade paleogênica, retomada no Ciclo Velhas, já no Terciário Superior.

A topografia interna do Complexo apresenta relevo suave e condições geomorfológicas favoráveis ao aprofundamento dos perfis de alteração, que chegam a atingir até 230m (Carvalho, 1974). Feições cársticas típicas de maciços carbonatíticos são encontradas. A drenagem interna ao maciço apresenta-se controlada por falhamentos e a externa é radial centrífuga e anelar. Atualmente, os trabalhos de mineração de fosfatos, incluindo não só a lavra, mas as instalações industriais e a deposição dos rejeitos, expuseram dezenas de metros dos perfis e modificaram intensamente os padrões de relevo e drenagens originais (Toledo, 1999).

O clima atual é tropical úmido, com média de temperatura de 22°C e precipitação anual média de 1750mm, com pluviosidade mais elevada de setembro/outubro até março/abril (IBGE, 1988). Nas áreas preservadas, a vegetação predominante é o cerradão, uma variedade típica do cerrado.

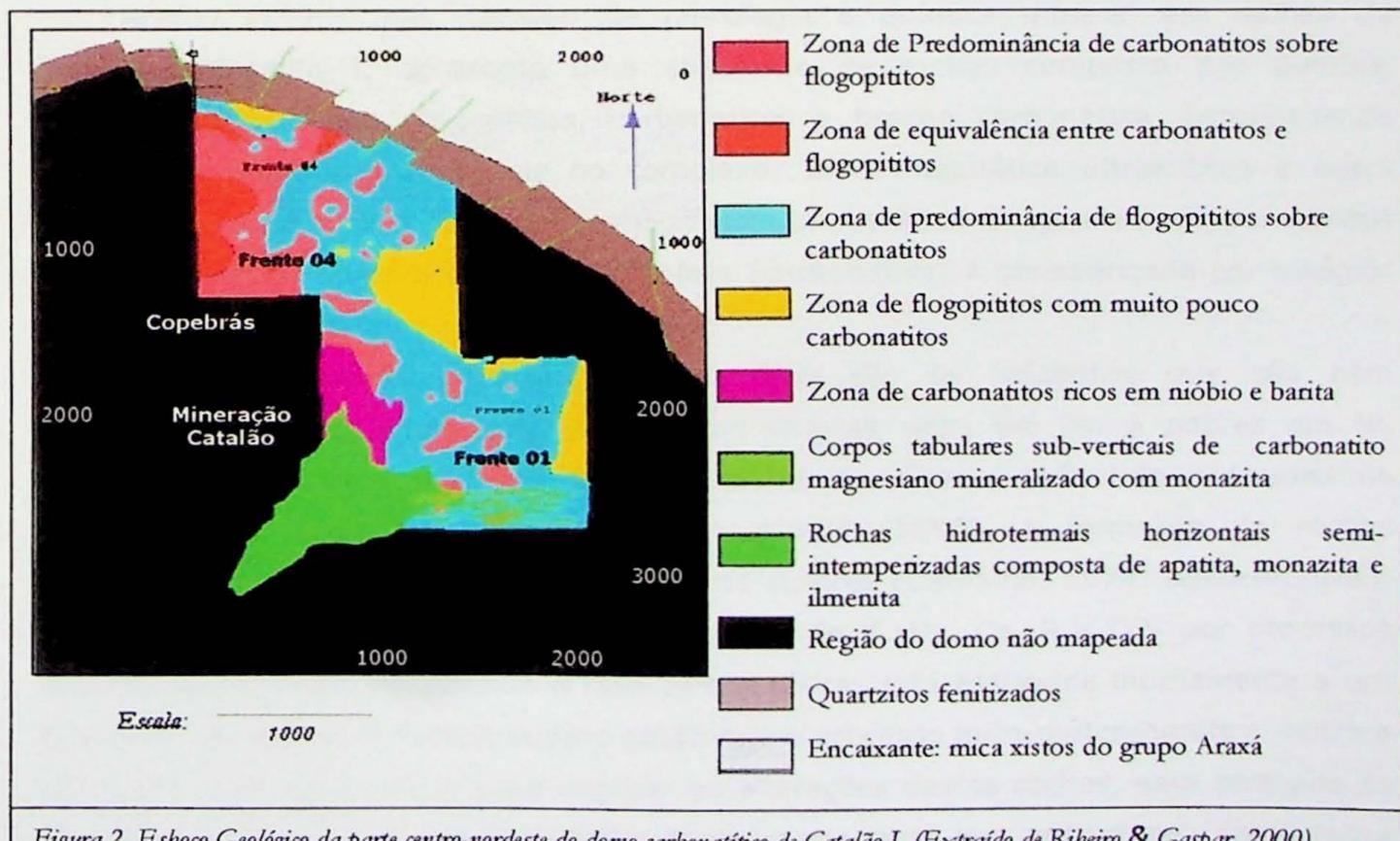
3.2. Aspectos Geológicos

De idade do Cretáceo Superior (82 Ma., Hasui & Cordani, 1968 e 91,8 Ma., Imbernon, 1993), o Complexo Catalão I pertence à Província Ígnea Alto Paranaíba. A

província intrude a Faixa Neoproterozóica Brasília, e é limitada a Sudoeste pela Bacia do Paraná e a Leste pelo Cráton São Francisco (figura 5). Esta província pertence a um lineamento de direção NW-SE do magmatismo alcalino do fim do Cretáceo no Brasil, e é representado por um conjunto de rochas kamafugíticas, kimberlíticas e carbonatíticas que ocorrem sob a forma de diques, pipes, plugs, diatremas, exalações, lavas e grandes complexos plutônicos. A região corresponde a uma das, volumetricamente, mais extensas províncias máfico-potássicas no mundo (Araújo et al., 2001).

As rochas intrusivas que constituem o núcleo de Catalão I estão completamente laterizadas, constituindo um manto laterítico que varia de alguns até 230 metros. Assim, rochas frescas só podem ser encontradas em profundidades por meio de sondagem. Compõem-se de rochas ultramáficas (dunitos, piroxenitos e flogopítitos) e correspondentes metassomatizadas, foscoritos e carbonatitos. O modo de ocorrência dessas rochas é bastante complexo, tendo como feição característica concentração elevada de foscoritos na região central do complexo.

A figura 2 apresenta mapa geológico confeccionado por Ribeiro & Gaspar (2000) na Área de Decreto de Lavra da Utrafértil, feito a partir da observação de furos de sondagem e frentes de lavra do minério fosfático, mencionando alternância de carbonatitos e flogopítitos, com predominância ora de um, ora de outro, zonas de ocorrência de carbonatito especialmente rico em nióbio e barita ou em magnésio e ETR, além de zonas de sedimentos vulcanoclásticos afetadas por hidrotermalismo e mineralizadas a monazita.



3.2.1. Seqüência Evolutiva do Complexo

Segundo Carvalho (1974), Baecker (1983), Gierth et al. (1975) e Hirano et al. (1987), a seqüência evolutiva do complexo ultramáfico-carbonatítico de Catalão I inclui vários estágios: ultramáfico, carbonatítico e, por fim, hidrotermal.

A evolução do complexo iniciou-se com uma intrusão máfica-ultramáfica originando magnetita olivinitos e piroxenitos. Essas rochas foram localmente transformadas em serpentinitos durante o resfriamento. A seguir, desenvolveram-se múltiplos estágios intrusivos de carbonatito. O magmatismo carbonatítico desenvolveu-se como *networks* cortando as rochas ultramáficas onde fissuras e fraturamento foram desenvolvidos pela própria intrusão. A flogopitização das ultramáficas está intimamente ligada à intrusão do carbonatito, desenvolvendo-se ao longo dos contatos destes.

Em verdade, o magmatismo carbonatítico destes *networks* representa possivelmente fração de magma, separada por imiscibilidade líquida de outro magma fosfatado que gerou foscoritos. A cristalização de minerais carbonáticos teria continuado progressivamente, porém pela precipitação direta do magma carbonatítico até atingir o estágio de fluídos hidrotermais tardios.

Pereira (1995) apresentou um modelo de evolução do ponto de vista petrológico e genético: o primeiro de natureza magmática, gerando foscoritos e piroxenitos que foi sucedido por fase metassomática que levou à transformação da olivina em flogopita e à mineralização da rocha em nióbio. Os eventos seguintes, quase que exclusivamente hidrotermais, foram os responsáveis pelos carbonatitos, pela mineralização de apatita e pela transformação da olivina em serpentina e da perovskita em anatásio.

Araújo (1996), em trabalho de petrologia e química mineral em rochas do Complexo Catalão I, apresenta uma seqüência de rochas composta por dunitos, piroxenitos, foscoritos, flogopítitos, carbonatitos e brecha carbonática, reconhecendo duas fases evolutivas principais no complexo: uma magmática ultramáfica e outra magmática carbonatítica. A primeira, magmática ultramáfica, é representada por dunitos e clinopiroxenitos diopsídicos. A segunda fase (carbonática) é caracterizada por estágios múltiplos.

Um dos estágios importantes desta fase são os foscoritos que são bem caracterizados pela composição química das olivinas ricas em Mn e pobres em Ni, enquanto nos dunitos elas são magnesianas e cromíferas, indicando processos de fracionamento magmático. Ainda segundo Araújo (1996), a formação de rochas flogopíticas, que foram atribuídas por outros autores (Carvalho, 1974, Baecker, 1983, Danni et al., 1991) como resultantes da adição de K, Na, Ca, P e CO₂ por processos autometassomáticos precedendo a fase carbonatítica, está associada intimamente a um líquido carbonatítico. A autora sugere então que o processo auto-metassomático, outrora atribuído como responsável para explicar as alterações destas rochas, seja atribuído as intrusões carbonatíticas. Os flogopítitos também mostram que podem ser formados a partir de dunitos, foscoritos e clinopiroxenitos sódicos.

Gaspar & Araújo (1995) estudaram aspectos texturais e químicos relacionados ao metassomatismo das rochas do Complexo de Catalão I apresentando duas grandes feições que marcam este complexo, a saber, a característica marcante de uma intrusão em multiestágios onde a fase carbonática é caracterizada por diferentes eventos que produziram clinopiroxenitos e flogopítitos e, as grandes quantidades de K_2O e H_2O trazidos pela intrusão carbonatítica.

Brod et al. (2001) elaboraram uma síntese e introduziram novas informações sobre o metassomatismo e suas relações com as flogopitas em vários complexos carbonatíticos brasileiros. Em Catalão I, concluíram que a flogopita encontrada em forma de relíquia nas partes centrais de tetraferriflogopita de origem comprovadamente metassomática (segundo Araújo, 1996), devem ser de origem magmática primária, dadas as características texturais e químicas diferenciadas entre estes dois tipos. Outro aspecto importante mostrado foi o estudo realizado sobre a flogopita dos carbonatitos, que parece seguir um trend evolutivo diferenciado em relação a flogopita de rochas silicáticas, estando em equilíbrio com o carbonatito.

3.3. Geologia de Superfície

O perfil de alteração encontrado no domo de Catalão I é extremamente complexo. Algumas definições de horizontes foram realizadas por intermédio de trabalhos anteriores, indicando sobretudo um perfil de caráter laterítico. Inicialmente, nas décadas de 70 e 80, considerava-se o manto de intemperismo como sendo praticamente homogêneo, plano e horizontal, e dividido em três grandes unidades no perfil vertical, tido como o único controle responsável pelas mineralizações conhecidas.

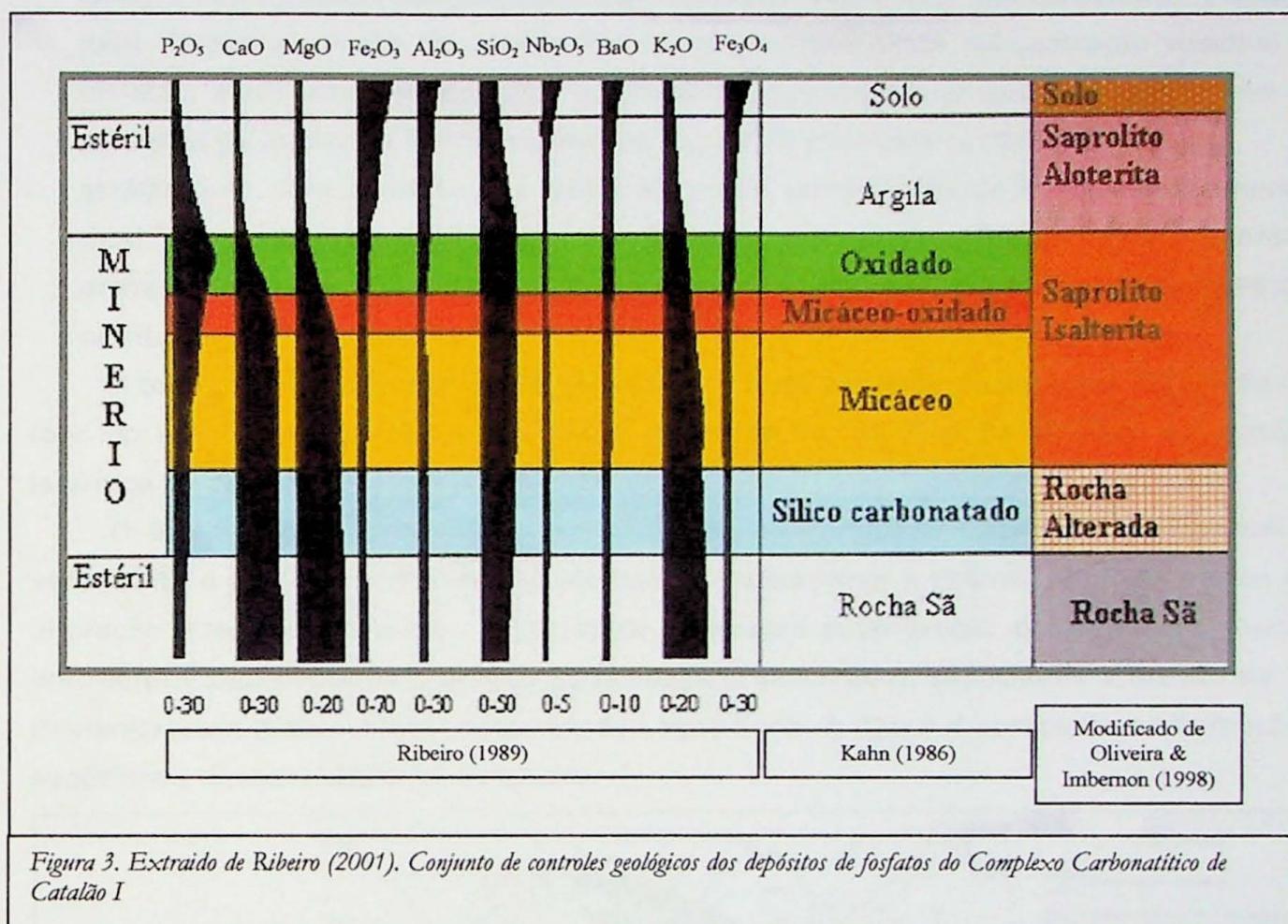
Com a evolução dos estudos, buscando-se uma melhor qualidade no processo de beneficiamento do minério, novas subdivisões foram estabelecidas dentro deste controle inicial. Kahn (1986), em relatório interno da empresa, define uma tipologia para os depósitos de apatita. Oliveira & Imbernon (1998) definem também o manto intempérico em 4 horizontes distintos, a saber, Rocha Alterada, Saprolito Isalterítica, Saprolito Aloterita, e Solo (material alóctone), realizando esta subdivisão de acordo com características petrológicas e químicas.

Conforme atestado por Ribeiro (2001), a grande dificuldade de entendimento do perfil é que este também, não é homogêneo no plano horizontal, visto que se as rochas parentais que lhe deram origem são heterogêneas, apresentando variações importantes do centro para as bordas do domo. Portanto, cada variação no substrato, resulta em variações no perfil de intemperismo.

Ribeiro et al. (1990) mostram que podem existir dentro de um mesmo nível topográfico ou intempérico, porções de minério que se enquadram dentro de outra subdivisão do perfil. Por exemplo, no trabalho de campo realizado pelo presente autor, foram encontrado bolsões de material do horizonte inferior (denominado rocha alterada)

níveis com predominância de horizontes intermediários superiores, ou mesmo minérios de níveis já bastante oxidado ocorrendo em níveis intermediários inferiores.

Na figura 3, extraída de Ribeiro (2001), apresenta-se os controles obtidos por Ribeiro (1989) que mostram a evolução geoquímica vertical dos principais elementos maiores. Também, ajunta-se nesta figura a nomenclatura tipológica para os depósitos de apatita sugerida por Kahn (1986) e os controles de Oliveira & Imbernon (1998), sendo considerado apenas econômico seu intervalo Saprolito Isalterítico.



Imbernon (1993), baseada em dados mineralógicos e geoquímicos, desde a rocha fresca até níveis mais superficiais do perfil de alteração, indica que a rocha sofreu uma evolução do tipo laterítico, caracterizado por perda progressiva da maioria dos elementos, com exceção do Ti e do Fe. Essa perda, não se dando na mesma escala e no mesmo ritmo para os demais elementos, faz com que alguns deles apareçam relativamente concentrados em certos horizontes, como é o caso do P_2O_5 , com a existência de níveis intermediários do perfil extremamente ricos em apatita.

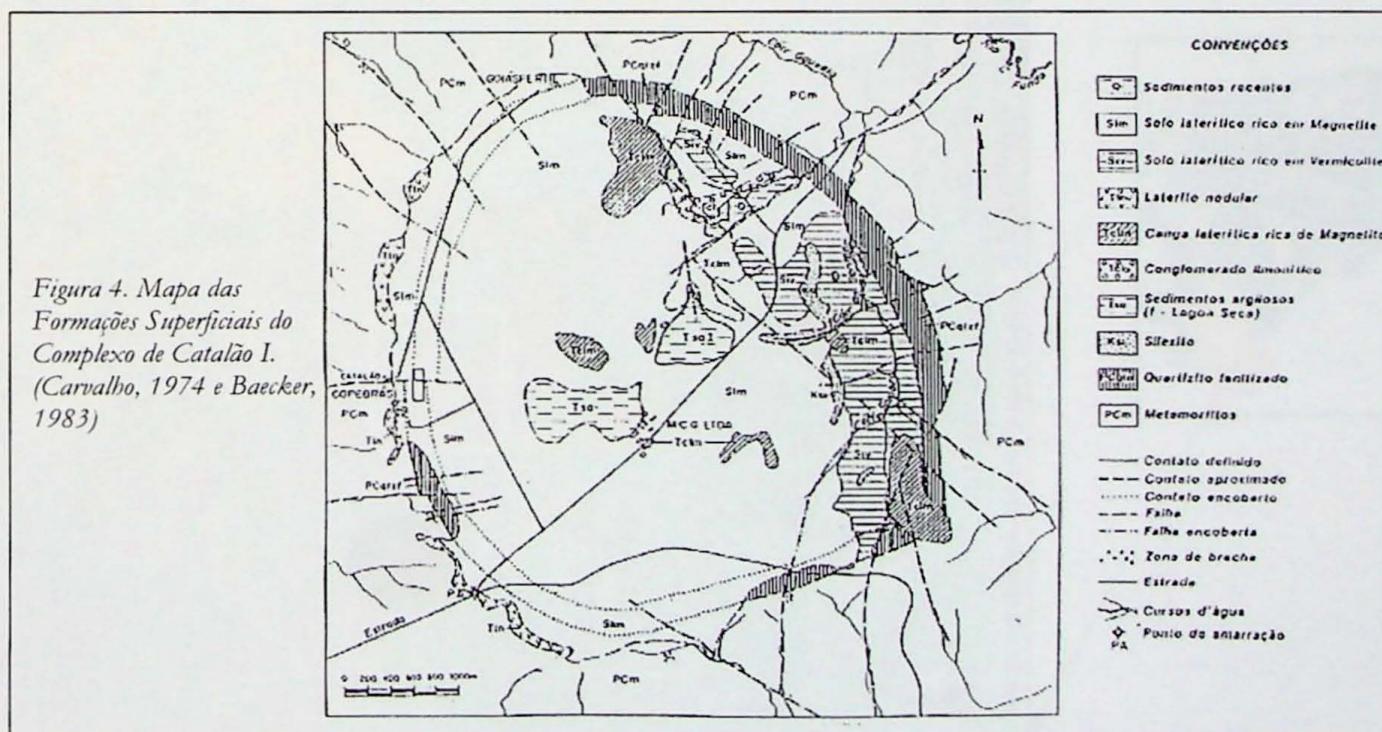
A evolução laterítica se dá essencialmente *in situ*, contando com apenas discreta contribuição alóctone nos níveis superiores do perfil. O processo de evolução laterítica se desenvolve preferencialmente ao longo de descontinuidades da rocha, resultando na elaboração de material mais heterogêneo que o material de partida. Ainda segundo Imbernon (1993), a heterogeneidade dos materiais de partida não permitiu, muitas vezes, que se traçasse com precisão as filiações mineralógicas durante a alteração

intempérica. De modo geral, no entanto, pode-se dizer que as **principais transformações** ocorridas foram:

- estágio inicial da alteração intempérica com progressiva diminuição na quantidade de carbonatos, por dissolução, e a concentração relativa de apatita e minerais acessórios. A flogopita também sofreu concentração residual, porém transformada em vermiculita. O aparecimento de quartzo neste início de alteração pode ser creditado à neoformação supérigena, a partir da hidrólise dos silicatos.
- estágio intermediário caracterizado pela completa dissolução dos carbonatos e quase total desaparecimento de vermiculita. A apatita apresenta concentração residual e fosfatos aluminosos secundários possuem concentração absoluta, assim como a presença de quartzo e barita neoformados a partir do níveis superiores.
- estágio final, caracterizado pela neoformação de sesquióxidos de Fe, desaparecimento total de apatita e ocorrência de caulinita. A silicificação é menos intensa, provavelmente devido à dissolução de quartzo, que precipita em níveis inferiores do perfil.

A total destruição dos minerais primários, o forte acúmulo de sesquióxidos de Fe no topo do perfil, a perda de Ca, Mg e K e ganho de Fe, Al, Ti e Ba atestam a natureza laterítica do processo.

O intemperismo propiciou a concentração no complexo Catalão I de fosfatos e vermiculita e dos elementos nióbio, elementos terras-raras e titânio. Além do manto de alteração laterítica, há outros registros de processos supérgenos: ocorrem pelo menos dois corpos sedimentares argilosos (paleolagos preenchidos), associados a fosfato de Fe (vivianita), um deles no local denominado Lagoa Seca. A figura 4 apresenta as formações superficiais desenvolvidas no complexo.



A figura 5 apresenta o Complexo de Catalão I em seu contexto geológico regional.

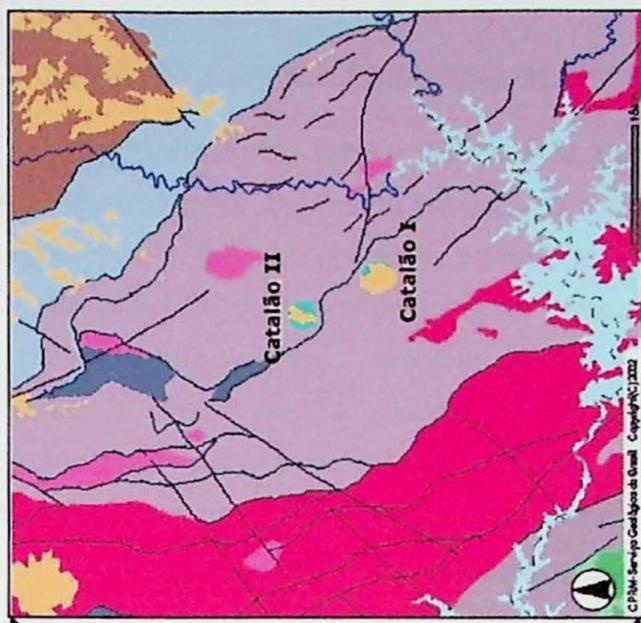
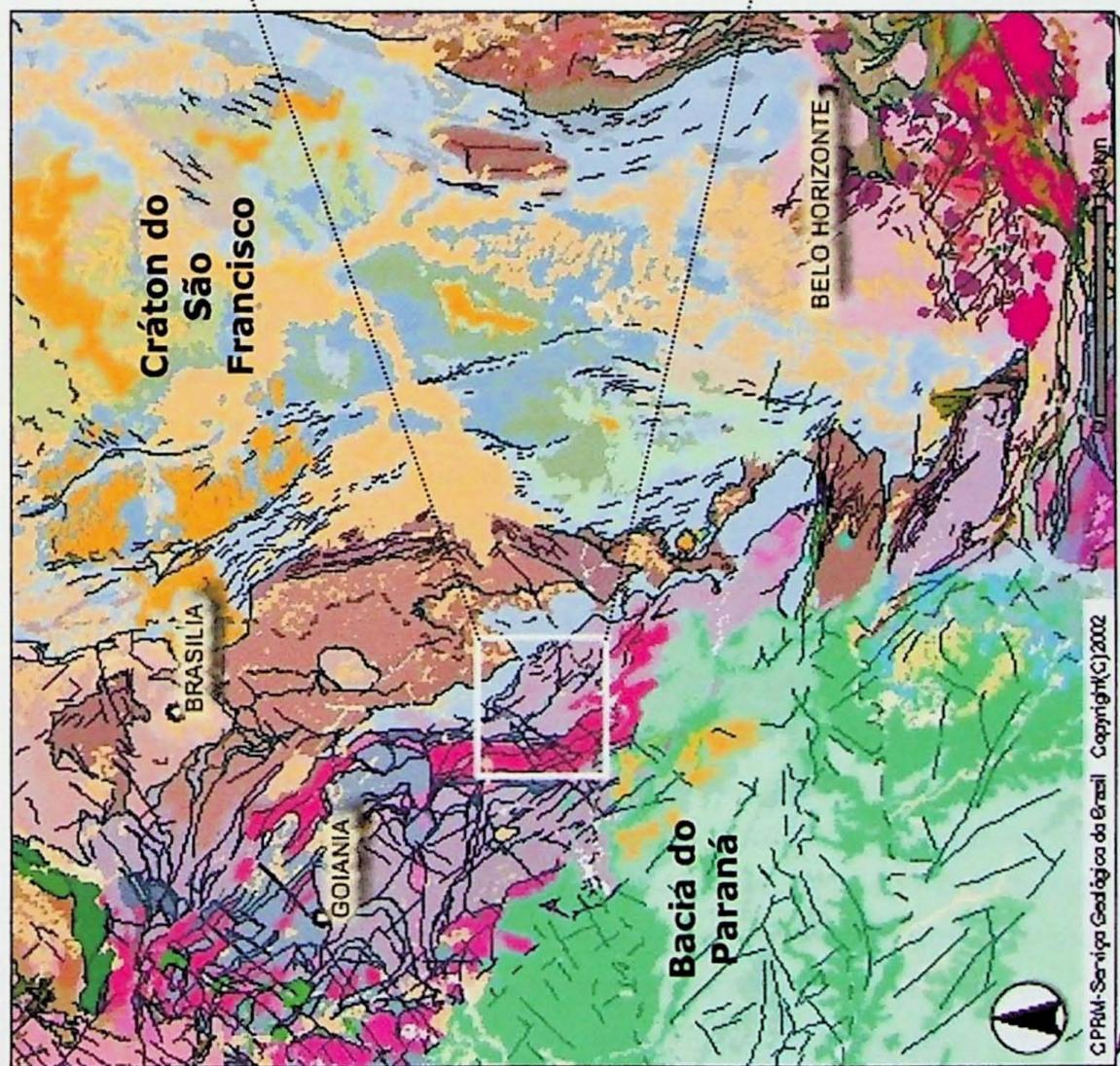
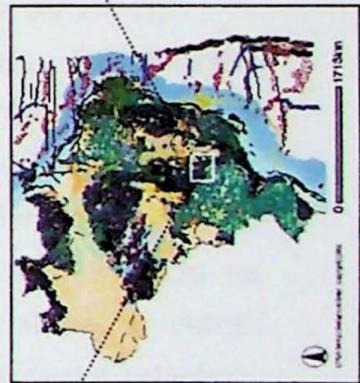


Figura 5. Montagem de mapas apresentando o Complexo Carbonatito Catalão I em seu contexto Geológico Regional (Extrato de cpnm.gov.br)



4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Trabalho de Campo e Tratamento de Amostras

Primordialmente, fez-se necessário um trabalho de campo na área da jazida para coleta de amostras representativas das diversas fácies de litologia micácea, bem como dos diferentes níveis de alteração encontrados.

No início do primeiro período da pesquisa (abril a julho de 2002), foram realizados os trabalhos de campo, resultando na coleta de todas as amostras. Essas foram coletadas a partir de 24 pontos de amostragem representativos dos diversos níveis intempéricos. Procurou-se, assim, abranger desde a rocha sã até a porção superior do perfil de alteração. Para tanto, realizaram-se análises macroscópicas das amostras, conforme as características de cada porção do perfil.

Pôde-se com este trabalho perceber a complexidade do perfil de alteração formado em rochas carbonatíticas, cujos níveis de alteração evoluem de modo não uniforme tanto na vertical quanto na horizontal. A amostragem realizada para a maioria das amostras envolveu dois tipos: *amostras de canaleta*, onde em cada nível do perfil de alteração se coletou canaleta de aproximadamente 1m de altura, gerando amostras de material friável de aproximadamente 3 kg cada; e, *amostras indeformadas*, que foram devidamente embaladas para preservar as características originais da porção do perfil a que pertencem, visando a confecção de lâminas delgadas para análises microscópicas e de microssonda eletrônica. Na empresa Ultrafértil, as amostras de canaleta foram britadas, devidamente homogeneizadas e quarteadas. Para cada amostra foi retirada uma alíquota que foi submetida aos procedimentos técnicos com vistas à realização de análises químicas (aquecimento, moagem – malha de 18 mesh - abertura de 1mm).

Na empresa Ultrafértil, as amostras de canaleta foram britadas, devidamente homogeneizadas e quarteadas. Para cada amostra foi retirada uma alíquota que foi submetida aos procedimentos técnicos com vistas à realização de análises químicas (aquecimento, moagem – malha de 18 mesh - abertura de 1mm). Além disso, foram realizadas também na empresa análises dos elementos maiores por fluorescência de raios X, com o intuito de se ter uma idéia geral da variação composicional das amostras de níveis diferentes do perfil. Estas análises também são apresentadas neste relatório. No Instituto de Geociências da USP, realizaram-se as análises de difratometria de raios X, sendo utilizadas as mesmas alíquotas geradas e tratadas na empresa.

As *amostras de material indeformado* do perfil de alteração, para atenderem aos objetivos a que foram coletadas, precisaram de um tratamento especial, dada sua friabilidade. Realizou-se este tratamento nos Laboratórios de Tratamento e Preparação de Amostras do Instituto de Geociências. Inicialmente, as amostras foram secas em estufa sob temperatura de aproximadamente 50°C, por um mínimo de 24 horas. Depois,

foram impregnadas em vácuo com resina de alta viscosidade e pequena variação volumétrica quando do endurecimento, resistente e dura a temperatura ambiente, incolor e isótropa (araldite). De acordo com a porosidade do material a ser impregnado, utilizou-se mistura de resina com proporções variáveis de solvente (acetona) e um catalizador como agente da reação de polimerização (endurecedor).

Após uma primeira impregnação, serrando-se as amostras, notou-se que elas ainda não haviam atingido a dureza necessária para a confecção de lâminas. Após a serragem de porções das amostras separadas para laminação, estas sofreram nova impregnação. O endurecimento deu-se inicialmente ao ar e, para a polimerização completa, as amostras foram levadas à estufa, a cerca de 50°C, por 48 horas.

4.2. Análises Petrográficas Microscópicas

A microscopia de luz polarizada transmitida é uma técnica versátil e fundamental na Geologia, sendo extremamente importante para se estabelecer as paragêneses minerais envolvidas no corpo estudado e as variações texturais e granulométricas dos minerais micáceos.

Analisaram-se 28 lâminas delgadas entre amostras de rocha sã e de amostras de níveis do perfil intempérico que foram impregnadas, correspondendo estas às mais representativas dos níveis que representam.

Efetuou-se o exame microscópico das lâminas utilizando-se os seguintes equipamentos: microscópio marca Zeiss, modelo Axioplan, com campo visual entre 10 e 0.49mm e aumento máximo de 400X; microscópio marca Olympus, modelo BXP-40, com campo visual entre 4.4 e 0.44mm e aumento máximo de 400X.

Para a fotomicroscopia utilizou-se microscópio Zeiss Axioplan, com objetivas de 2,5X, 5X, 10X e 20X ao qual é acoplada uma câmera fotográfica e por meio de um controle que sincroniza os dois equipamentos, a imagem é gravada. Também, para este mesmo fim, utilizou-se microscópio marca Olympus, modelo BX-50, acoplado a uma câmera fotográfica e esta acoplada a um microcomputador, permitindo com auxílio de software específico, gravar a imagem diretamente no formato digital.

4.3. Difratometria de raios X:

Como método mais amplamente utilizado para identificação mineral, a difratometria de raios X foi extremamente útil na identificação dos filossilicatos que são encontrados na intrusão, sendo esta classificação realizada a partir do valor medido para a distância interplanar basal, medida em espécime orientada por secagem ou prensagem sobre o suporte para difração de raios X pelo método do pó. Tem-se então os seguintes grupos (Santos, 1989): i) minerais de 7Å; ii) minerais de 9,3Å; iii) minerais de 10-11Å; iv) minerais de 12-15Å; v) filossilicatos de grande distância interplanar basal e vi)

mistura dos grupos. Apenas como exemplo, micas bem cristalizadas e hidratadas correspondem ao grupo de distância interplanar basal de 10-11 Å. Este método possui importância relevante pois, uma vez que as rochas da intrusão estão em grande parte intemperizadas, encontrar-se, principalmente como alteração de micas, argilominerais, que podem também servir de contaminantes do minério fosfático.

As análises foram realizadas no Laboratório de Difração de raios X do Instituto de Geociências, com equipamento Siemens, modelo D5000, operando com tubo de cobre, sob as seguintes condições: voltagem de 40 KV, corrente de 40mA, 2 θ de 2 a 80°. Para a interpretação dos difratogramas foi utilizado o programa EVA 7.01 para Windows, tendo como banco de dados o PC-PDF (Powder Diffraction File – PDF for PC) produzido pelo International Center for Diffraction Data.

As análises por difratometria foram divididas em dois estágios: *Estágio Inicial de Reconhecimento* e *Estágio com Separação de Faixas Granulométricas*

Estágio Inicial de Reconhecimento: De forma ainda preliminar, realizaram-se análises de algumas amostras (10 ao todo), sem nenhum tipo de separação mineralógica ou granulométrica, a fim de se ter uma visualização da assembléia mineralógica maior e familiarizar-se com a metodologia e o equipamento.

As amostras foram pulverizadas por meio de almofariz de ágata a fração pó e submetidas a uma primeira leitura para identificação dos principais picos. Como foram identificados picos de 24 Å e 14 Å para argilominerais derivados de filossilicatos, foi realizada uma nova série de análises para estas mesmas amostras com procedimento técnico diferenciado. Foram preparadas lâminas de material orientado, deixando-as secar ao ar, para serem analisadas por DRX. Após esta análise, as lâminas foram colocadas em dessecador, no qual foi criado vácuo para a vaporização de etilenoglicol (colocado previamente), sendo aquecido a uma temperatura de 60°C. As lâminas permaneceram nesta atmosfera de etilenoglicol por 24 horas, após as quais foram novamente analisadas. Por fim, as lâminas foram aquecidas em forno, a uma temperatura de 550°C, por 4 horas, sendo em seguida analisadas. Desta forma, os filossilicatos puderam ser identificados com maior precisão, de acordo com suas características intrínsecas.

Estágio com Separação de Faixas Granulométricas: Com base nos resultados obtidos no estágio inicial, notou-se que muitas amostras apresentam quantidade relevante de material amorfó e fluorescente, que faz com que o *background* das análises seja elevado, tornando muitas vezes difícil a identificação de picos de forma significativa. Pretendendo sanar esta dificuldade e contar com dados com qualidade melhor, as amostras foram então divididas em três faixas granulométricas (por meio de técnicas de peneiramento), sendo estas as seguintes: faixa acima de 100 mesh (acima de 0.149mm), faixa entre 100 e 200 mesh (entre 0.149 e 0.0745mm) e faixa entre 200 e 400 mesh (entre 0.0745 e 0.03725 mm), sendo ignorada as frações abaixo da malha de 400 mesh (Tyler), que deve representar grande parte do material amorfó encontrado e em algumas

empresas de mineração é a fração descartada no processo denominado *deslamagem*, pois representa um material de pouca trabalhabilidade. Para cada uma destas faixas, ainda realizou-se a eliminação dos materiais ferromagnéticos das amostras, por meio de imã de mão.

As amostras foram pulverizadas por meio de almofariz de ágata a fração pó, preparadas em lâmina para orientação dos filossilicatos e submetidas à leitura para identificação dos principais picos. Após a interpretação de todos os difratogramas referentes a cada uma das 3 faixas granulométricas das 24 amostra (72 difratogramas), selecionaram-se com base na representatividade e na relevância algumas lâminas de amostras para o tratamento detalhado, envolvendo glicolagem e aquecimento. Como única diferença ao tratamento realizado no primeiro estágio, a temperatura de aquecimento a que foram submetidas as amostras foi de 500°C, uma vez que no primeiro estágio, uma lâmina de vidro foi “distorcida” devido a alta temperatura, comprometendo assim a análise. Além disso, em procedimentos usuais adota-se a temperatura de 490°C para fechamento da estrutura cristalina de argilominerais.

4.4. Microssonda Eletrônica

A versatilidade da microssonda, conforme descrito detalhadamente por Gomes (1984), deve-se a uma série de vantagens, sendo as mais proeminentes apresentadas a seguir:

- ✓ a técnica apresenta alta resolução espacial, permitindo a determinação da composição química de partículas com diâmetro da ordem de poucos micrometros. Em condições favoráveis, o diâmetro mínimo analisável é inferior a 1 μ m;
- ✓ o material pode ser visualizado ao tempo da análise, propiciando, assim, a correlação estreita entre composição química e morfologia da amostra. Este aspecto ganha realce quando se considera que certos materiais, sob o impacto de um feixe de elétrons, emitem espectros de luz visível (luminescência), de grande importância em sua identificação;
- ✓ o material é analisado *in situ*, recorrendo-se seja a seções polidas, seja a lâminas delgadas polidas. Desta forma, conta-se com sistema de iluminação, facultando a observação da amostra em luz transmitida, refletida ou mesmo polarizada.
- ✓ para a maioria das aplicações, a microssonda pode ser considerada como não-destrutiva, ou seja, a incidência do feixe não acarreta modificações na composição química da amostra;
- ✓ a técnica é de grande eficiência, ensejando a obtenção de considerável contingente de informações químicas em intervalo de tempo curto

Tal metodologia envolvendo as técnicas de dispersão de energia (EDS) e, mais significativamente, dispersão de comprimentos de onda (WDS) são fundamentais para os objetivos do projeto, no que tange à química das principais fases minerais e

especialmente dos micáceos, podendo-se então estabelecer as principais substituições catiônicas envolvidas na estrutura destes minerais. Os diversos elementos químicos são expressos, geralmente, em forma de porcentagem em peso de óxidos, sendo calculadas posteriormente as fórmulas estruturais e componentes moleculares envolvidos, para fins de tratamentos gráficos.

As lâminas (seções delgadas polidas) utilizadas para este programa de análises fizeram parte também da Análise Petrográfica Microscópica realizada e totalizaram 18 (10 referentes às amostras submetidas à impregnação e 5 no limite entre rocha sã e a base do perfil e 3 referentes à rocha sã). Atenção especial foi dispensada as análises petrográficas microscópicas destas amostras, com o intuito de selecionar previamente os pontos nos cristais a serem analisados levando em conta suas características ópticas, que podem refletir diferenças únicas tais como zoneamento, hábito, corrosão inclusão e forma de ocorrência (fenocristais, cristais da matriz), entre outros.

O programa de caracterização química dos principais minerais micáceos do Complexo Catalão I foi realizado no laboratório de microssonda do Departamento de Mineralogia e Geotectônica de Instituto de Geociências da USP, empregando-se instrumental de fabricação JEOL modelo JXA-8600S equipado com cinco espectrômetros dispersivos (WDS) com 5 pares de cristais TAP/STE, TAP/PET, LIF/PET, PET/LIF e LIF/PET respectivamente (os cristais sublinhados são aqueles utilizados nas rotinas analíticas preestabelecidas no laboratório) e automatizados com um sistema TRACOR – Voyager 3.6.1 da NORAN Instruments. As determinações foram efetuadas em seções delgadas polidas, metalizadas com uma película de carbono (~25nm) em evaporador AUTO 206 da EDWARDS. As condições analíticas utilizadas para os minerais foram: 15 kV para potencial de aceleração; 20 nA para corrente do feixe eletrônico; e diâmetro do feixe 5 μ m. Já para a perovskita foram respectivamente as condições de 25kV, 100nA e 1 μ m. Os tempos máximos de integração das contagens de pulsos nos contadores variam de 10" para Ca e Si até 50" para Sr. Os dados químicos das análises realizadas são apresentados como porcentagem em peso de óxidos e como fórmulas químicas estruturais. A única rotina analítica empregada é a própria para micáceos preestabelecida no laboratório.

4.5. Aquisição de Imagens de elétrons retroespelhados (Backscattered electron image).

As informações obtidas valendo-se do sinal de elétrons retroespelhados, são derivadas de elétrons do feixe incidente que sofrem amplas deflecções na amostra e re-emergem da superfície. Elétrons retroespelhados possuem altas energias (nos intervalos de keV) se comparados com elétrons secundários utilizados para a produção de imagens topográficas, por exemplo. Estes elétrons retroespelhados são detectados por detectores de estado sólido ou por cintiladores.

A fração de elétrons incidentes que são retroespelhados é definida como coeficiente de retroespelhamento (η) e varia com o número atômico. O contraste em imagens de elétrons retroespelhados é assim relacionada com o número atômico (com média de número atômico no caso de composto). Estas imagens portanto contém informações compostionais que não são específicas como para identificar os elementos químicos presentes (caso de imagens de raios X) mas tem a vantagem de uma melhor resolução espacial (aproximadamente $0.1\mu\text{m}$) e podem ser produzidas num tempo muito mais curto. Este modo de criação de imagens tem se tornado uma técnica padrão para aplicações petrológicas. Nos casos apresentados, nota-se que quanto maior o número atômico do elemento químico mais clara é a região que contém este elemento na imagem.

As imagens de elétrons retroespelhados de minerais micáceos do Complexo Catalão I foram efetuadas no laboratório de microssonda do Departamento de Mineralogia e Geotectônica de Instituto de Geociências da USP, empregando-se instrumental de fabricação JEOL modelo JXA-8600S automatizados com um sistema TRACOR – Voyager 3.6.1 da NORAN Instruments. As imagens são produzidas pela varredura do feixe de elétrons da microssonda através da superfície da amostra e apresentando um dos vários tipos de sinais eletrônicos (neste caso elétrons retroespelhados) num monitor simultaneamente à varredura. Vantagens desta técnica incluem o potencial para altas resoluções espaciais (5nm), amplo intervalo de aumento (da ordem de 10 – 100.000 X), funcionando como um microscópio eletrônico de varredura, embora com uma menor resolução nas imagens. Porém, neste caso possui a vantagem que tal varredura pode ser feita na própria lâmina em que foi realizada as análises quantitativas por dispersão de comprimento de onda (WDS), não necessitando da preparação de novas amostras. As condições analíticas utilizadas foram: 15 kV para potencial de aceleração; 20 ηA para corrente do feixe eletrônico.

5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

No desenvolvimento deste trabalho, pode-se dizer que poucas alterações foram efetuadas em relação ao cronograma inicial de atividades proposto, no que diz respeito às atividades executadas. Houve variações no que tange às datas de execução dos diferentes tipos de análises, uma vez que estas dependeram da programação de cada laboratório. Abaixo segue quadro com o cronograma inicialmente proposto, as modificações deste sugeridas no relatório de progresso e o cronograma de atividades efetivamente realizadas.

	<i>Abril</i>	<i>Maio</i>	<i>Junho</i>	<i>Julho</i>	<i>Agosto</i>	<i>Setembro</i>	<i>Outubro</i>	<i>Novembro</i>	<i>Dezembro</i>
<i>Trabalho de Campo</i>	—	—							
<i>Coleta de Amostras</i>	—	—							
<i>Tratamento das Amostras</i>				—	—				
<i>Levantamento Bibliográfico</i>	—	—		—	—				
<i>Microscopia Petrográfica</i>		—	—			—			
<i>Difractometria de Raios-X</i>		—	—	—	—				
<i>Elaboração de Relat. Progresso</i>			—	—					
<i>Microssonda Eletrônica</i>			—	—	—	—	—		
<i>Análises Termodiferenciais</i>			—	—	—	—			
<i>Imagens de Varredura / EDS</i>					—	—	—		
<i>Tratamento dos Dados</i>					—	—	—		
<i>Elaboração de Monografia de TF</i>						—	—	—	
<i>Apresentação Oral e Defesa do Relatório</i>								—	

Quadro 1. Cronogramas de Atividades para realização do trabalho :

— Cronograma Inicialmente Proposto
— Modificações e Inserções no Cronograma por Ocasião do Relatório de Progresso
— Cronograma de Atividades Efetivamente Executadas

Quanto as dificuldades encontradas, a principal delas relacionou-se com a preparação das amostras para as análises de DRX para caracterização dos minerais micáceos e argilominerais. Como poderá ser observado nos resultados obtidos nestas análises, há em muitas amostras quantidade relevante de material amorfo, que faz com que o *background* das análises seja elevado, tornando muitas vezes difícil a identificação de picos de forma significativa. Para sanar esta dificuldade e contar com dados com qualidade melhor, as amostras foram divididas em três faixas granulométricas, sendo ignorada as frações abaixo da malha de 400 mesh (Tyler), que deve representar grande parte do material amorfo encontrado e em algumas empresas de mineração é a fração descartada no processo denominado *deslamagem*, pois representa um material de pouca

trabalhabilidade. Também efetuou-se a eliminação dos materiais ferromagnéticos das amostras referentes a cada faixa granulométrica, por meio de imã de mão. Como será discutido no item XX, embora para muitas amostras certas faixas ainda apresentassem resultados pouco significativos, o tratamento melhorou significativamente a qualidade e a intensidade dos picos, de forma que, mesmo com um background elevado, foi possível a identificação dos filossilicatos principais.

Também houve dificuldade, conforme já exposto anteriormente, com a impregnação das amostras, tendo esta atividade que ser realizada em duas etapas para que pudessem ser efetuadas lâminas delgadas a partir do material indeformado. Ainda após as duas etapas, houve amostras que ainda não apresentaram resultado significativo, sendo estas descartadas principalmente porque não haveria tempo suficiente para novo tratamento e mesmo porque um número significativo de amostras apresentaram um bom resultado. Mesmo para as amostras impregnadas que se fizeram lâminas, para garantir uma boa qualidade das análises, estas foram confeccionadas com espessura um pouco maior que os 30 μ m comumente utilizados. Assim, há petrograficamente uma leve distorção nas características dos minerais, principalmente no que diz respeito à cor e à birrefringência.

Uma outra dificuldade, notada após o reconhecimento e análises do material, é que as inicialmente programadas análises termodiferenciais (ATD), não atingiram aos objetivos desejados. Pretendia-se com estas análises diferenciar os filossilicatos presentes no complexo. Para isso, seria necessária a concentração dos diferentes tipos de filossilicatos encontrados no perfil de alteração. Contudo, não foram encontrados métodos de separação de vermiculita e interestratificados (que são os principais filossilicatos encontrados). Além disso, mesmo para a concentração dos filossilicatos como um todo, não se tem conhecimento se o ataque com ácidos (para eliminação de carbonatos e limonita) não afetariam a estrutura dos filossilicatos. Diante das pesquisas que foram realizadas neste trabalho, não foram encontrados métodos (líquidos densos ou mesmo separação magnética) significativos de diferenciação para estes filossilicatos que são derivados da alteração de flogopitas da rocha sã.

Desta forma, realizaram-se estudos de micromorfologia por meio de *imagens de varredura (elétrons retroespelhados)* para tentar uma diferenciação entre os derivados de minerais micáceos, acreditando ser esta metodologia mais apropriada para os tipos de amostras encontradas. Acredita-se, portanto, que o cronograma de trabalho foi cumprido devidamente, fornecendo dados importantes para atingir o objetivo proposto.

6. RESULTADOS OBTIDOS

6.1. Materiais Estudados - Localização das Amostras

Para o presente trabalho, coletaram-se materiais tanto sãos quanto alterados provenientes das frentes de lavra, buscando a obtenção de materiais que fossem representativos dos diversos estágios e produtos de alteração encontrados.

Considerando principalmente o estado de desagregação da rocha e a abundância relativa entre materiais sãos e alterados, além da presença de minerais micáceos e argilosos, em escala macroscópica, utilizou-se um perfil esquemático da alterita desenvolvido pelo responsável técnico da mina, geólogo Ribeiro, C.C., do Setor de Geologia da Mina de Catalão I. Este perfil aplica-se às duas frentes de lavra exploradas pela Ultrafértil (Frentes 1 e 4), com a seguinte seqüência de materiais (da base para o topo):

Rocha Sã (R.S.) - carbonatitos e flogopítitos, em proporções relativamente variáveis, com foscoritos subordinados. O único ponto de amostragem onde ocorre este nível localiza-se na Frente 4 de lavra, onde encontra-se grande quantidade de material brechado e a partir de onde foram confeccionadas 18 lâminas petrográficas para análise das paragêneses dos minerais micáceos.

Rocha Alterada ou Minério Silico-Carbonatado (R.A.), espessura variando em média de 10 a 20m, apresentando coloração esverdeada a acinzentada onde pode-se ainda encontrar blocos sãos imersos, representando a base do perfil de alteração. Macroscopicamente, podem ser identificados cristais de vermiculita (até 10 cm), além de magnetita, apatita, carbonatos. Todas as estruturas e texturas observadas na rocha sã mantêm-se preservadas.

Minério Micáceo: com espessura de um modo geral variando na vertical entre 30 a 50m, este nível saprolítico isalterítico é subdivido em outros três de acordo com as características peculiares de cada um:

Micáceo Base (M.B.): de cor amarela-alaranjada, com grande quantidade de micáceos (principalmente vermiculita) ainda mantendo preservadas as características do material original, principalmente no que diz respeito as estruturas e granulação média (ainda podem ser observados megacristais de vermiculita).

Micáceo Médio (M.M.): de coloração predominantemente ocre, ainda com grande quantidade de vermiculita preservada, porém já com diminuição na granulação desta, que agora é predominantemente média. Neste nível pode ser observado um aumento na quantidade de venulações preenchidas por quartzo.

Micáceo Topo (M.T.): de cor predominante ocre, com diminuição na quantidade de micáceos, porém ainda mantendo concentração relevante. Ocorre também diminuição na granulação dos micáceos principalmente.

Minério Micáceo Oxidado (M.Ox.): com coloração ocre amarelada, ainda com vermiculita (já em baixa concentração) com granulação fina e com grande quantidade de material oxidado e

quartzo. Há praticamente completa dissolução do carbonato neste nível, não sendo encontrado nenhum vestígio deste. Possui espessura aproximada de 10m.

Minério Oxidado (Oxi.): com espessura aproximada de 20m, de coloração ocre escuro, já sem identificação de micáceos a olho nu ou mesmo com auxílio de lupa. Além da grande quantidade de óxidos de Fe, há o aparecimento de óxidos de Mn neste nível. Também texturas do tipo *boxwork*, que deve representar a substituição de antigos veios carbonáticos por sílica, são encontrados.

Aloterita ou Estéril (Est.): com espessura de 10 a 40m, de coloração ora mais escura (amarronzada), ora alaranjada, ora ocre, e formada unicamente por material argiloso, de caráter aloterítico.

Solo: variando em espessura de 0 a 10m, apresenta coloração vermelha e é formado quase que totalmente por material alóctone.

Embora tenha sido apresentada espessura vertical aproximada para cada nível do perfil, cabe lembrar que esta é apenas uma generalização. Todos os níveis podem variar sua espessura de escala decamétrica a centimétrica. Além disso, possuem evolução tanto na vertical quanto na horizontal, sendo que numa mesma cota topográfica, até numa faixa de 40m em determinados locais, pode-se encontrar todos os principais níveis acima descritos (com exceção dos níveis aloteríticos e alóctones).

Desta forma, seguindo os critérios acima expostos foram coletados amostras de canaleta e indeformadas (*vide item 4.1*) de perfis nas duas frentes de lavra de responsabilidade da Ultrafértil (Frentes 1 e 4), sendo estes tanto horizontais quanto verticais. A figura 5 apresenta os pontos de amostragem utilizados para este trabalho.

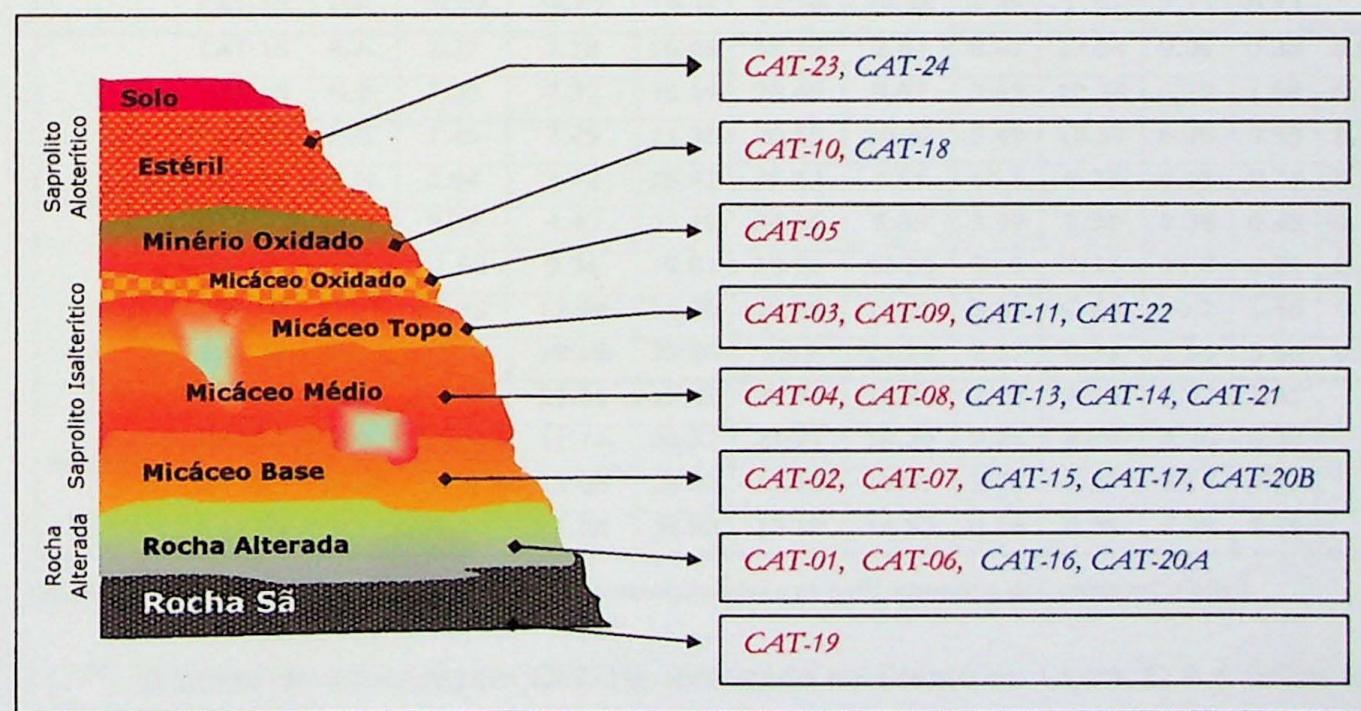


Figura 6. Pontos de Amostragem realizados para o presente trabalho, tendo como base modelo de Perfil Intempérico desenvolvido pelo Setor de Geologia da Mina de Catalão I. Observa-se também os níveis equivalentes estabelecidos por Oliveira & Imbernon (1998). Em vermelho, são registrados os pontos oriundos da **FRENTE DE LAVRA 4**, e em azul, os pontos oriundos da **FRENTE DE LAVRA 1**.

Os pontos de amostragem CAT-01(R.A.), CAT-02(M.B.), CAT-04(M.M.), CAT-03(M.T.), CAT-05(M.Ox.), CAT-10 (Oxi.) e CAT-23(Est.) dizem respeito a uma seção com variação de níveis na vertical da Frente 4. Os pontos CAT-16(R.A.), CAT-15(M.B.), CAT-17(M.B.), CAT-13(M.M.), CAT-14(M.M.), CAT-11(M.T.), CAT-12 (M.T.), CAT-18(Oxid.) e CAT-24(Est.) são representativos de uma seção com variação de níveis na vertical da Frente de Lavra 1. Os pontos de amostragem CAT-06(R.A.), CAT-07(M.B.), CAT-08(M.M.), CAT-09(M.T.) são representativos de uma faixa de aproximadamente 25m da mesma cota topográfica onde se tem variação desde rocha alterada até material oxidado, indicativas da variação horizontal de níveis no manto intempérico. Nos pontos CAT-20^A(R.A.), CAT-20^B(M.B.), CAT-21(M.M.) e CAT-22 (M.T.) foram coletadas apenas amostras de material indeformado, sendo tais amostras coletadas consideradas como modelo dos níveis que representam.

Para as amostras CAT-01 até CAT-18 foram realizadas análises por fluorescência de raios X dos elementos maiores (na própria empresa), em amostras coletadas por meio de canaletas de 1m de altura. No quadro 2 abaixo são apresentados os dados referentes a estas análises. Por intermédio destas pode-se ter idéia do comportamento dos principais elementos químicos nas amostras coletadas para estudo.

Frente de Lavra	Amostra	Nível	P ₂ O ₅ total	P ₂ O ₅ apatítico	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	TiO ₂	BaO	SrO
Frente 01	CAT-01	R.A.	5.07	5.07	12.89	19.35	17.96	2.65	11.79	3.51	0.38	
	CAT-02	M.B.	7.16	7.02	17.47	24.57	9.26	3.30	8.96	7.70	2.25	
	CAT-04	M.M.	9.97	9.97	22.16	22.72	15.28	2.53	2.62	7.71	0.70	
	CAT-03	M.T.	8.38	8.38	19.75	31.10	15.69	2.00	1.67	7.19	0.35	
	CAT-05	M.Ox	5.26	4.51	14.64	36.46	5.96	1.12	0.85	2.37	0.61	
	CAT-10	Oxi.	18.07	18.07	19.64	23.19	24.98	1.25	1.30	2.13	0.23	
Frente 04	CAT-16	R.A.	2.77	2.18	16.06	48.79	2.87	0.91	13.04	9.98	0.38	0.06
	CAT-15	M.B.	7.30	7.30	16.14	29.45	9.67	3.63	12.38	6.79	1.08	0.19
	CAT-17	M.B.	7.45	7.45	21.35	20.55	10.32	5.49	12.17	6.95	0.53	0.24
	CAT-13	M.M.	3.94	3.42	25.82	25.52	4.51	11.5	9.73	8.05	0.71	0.20
	CAT-14	M.M.	5.02	4.43	31.49	24.16	5.85	3.59	9.38	8.38	0.48	0.11
	CAT-12	M.T.	11.68	9.36	19.61	19.51	12.35	5.16	2.97	11.0	2.51	0.46
	CAT-11	M.T.	14.39	12.94	26.70	10.29	17.08	3.24	0.84	10.2	1.58	0.63
	CAT-18	Oxi.	23.19	19.15	22.30	1.89	25.28	2.27	0.53	3.30	5.36	0.56
Frente 01	CAT-06	R.A.	11.14	11.14	17.89	21.81	16.81	2.42	7.15	2.57	2.41	
	CAT-07	M.B.	11.74	11.74	23.72	21.21	18.29	2.26	4.44	4.36	0.24	
	CAT-08	M.M.	12.60	12.60	25.81	13.16	19.63	3.76	6.27	5.18	0.23	
	CAT-09	M.T.	15.20	11.00	30.80	13.10	14.52	4.26	0.76	4.30	3.79	

Quadro 2. Análises de Fluorescência de raios X para as amostras coletadas no perfil intempérico do Complexo Catalão I.

O ponto de amostragem CAT-19, localizado na Frente de Lavra 1, é o único local nas frentes em que encontra-se exposto o nível de Rocha Sã. Neste ponto é encontrado material brechado, com vários litotipos distintos associados (flogopítitos, carbonatitos,

foscóritos e mesmo algumas ultramáficas). Neste ponto também são encontrados materiais do nível intempérico Rocha Alterada, que foram coletados.

De relevante importância é salientar que a distribuição dos micáceos e seus produtos de alteração, identificados macroscopicamente como vermiculita, é heterogênea, com muito maior concentração relativa na Frente 1 do que na Frente 4 (independente do nível intempérico a que pertençam).

Na figura 7 abaixo é apresentada uma visão geral da mina de Catalão I.

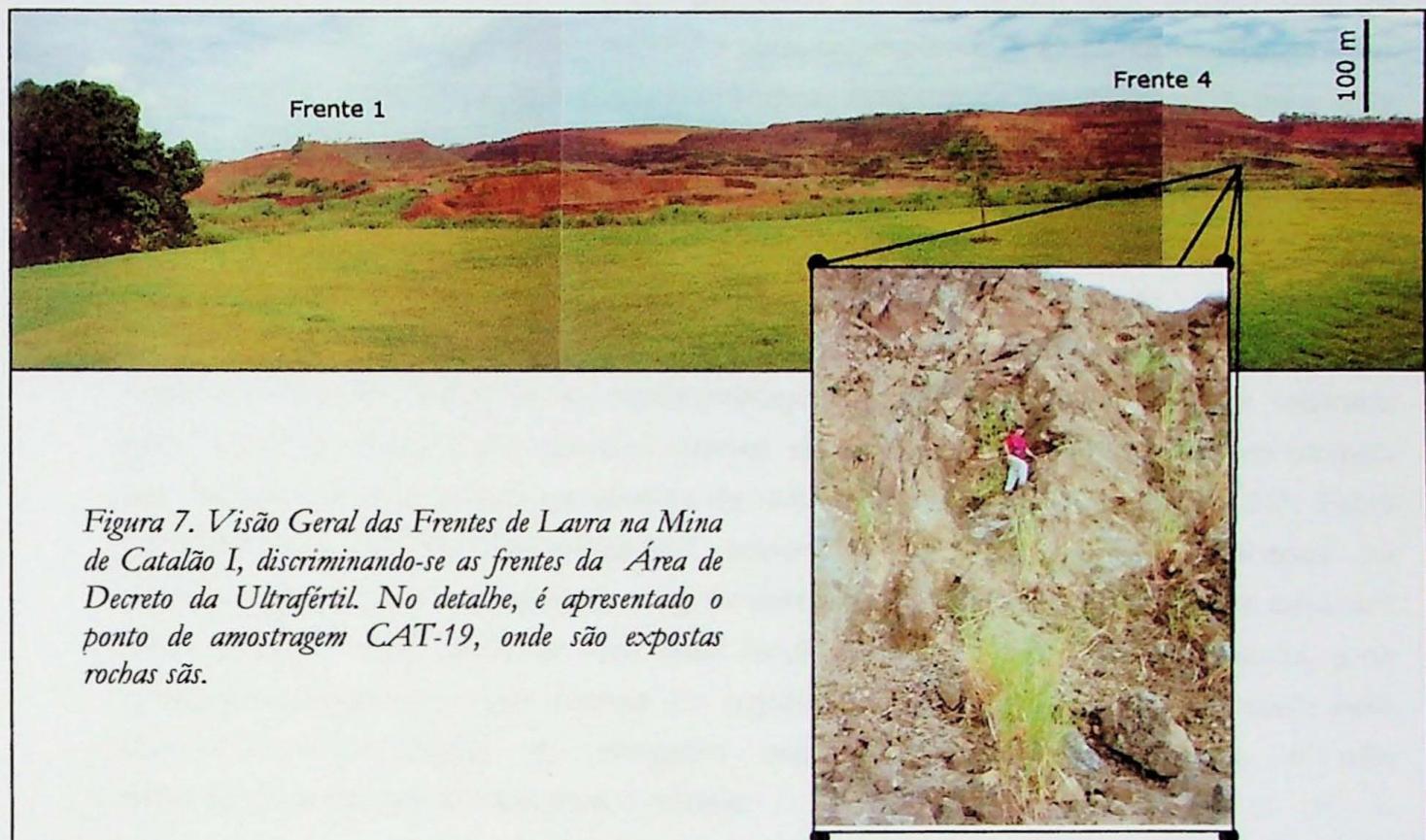


Figura 7. Visão Geral das Frentes de Lavra na Mina de Catalão I, discriminando-se as frentes da Área de Decreto da Ultrafértil. No detalhe, é apresentado o ponto de amostragem CAT-19, onde são expostas rochas sãs.

6.2. Análises Petrográficas Microscópicas

Foram confeccionadas e estudadas 18 lâminas delgadas correspondentes a amostras do ponto de amostragem CAT-19, em que foram selecionadas amostras de rocha sã e algumas amostras no limite entre rocha alterada. Estas lâminas foram analisadas de acordo com o objetivo deste trabalho: conhecer os tipos de minerais micáceos presentes.

Por intermédio das análises sob microscópio óptico de luz transmitida foram identificados vários tipos texturais de minerais micáceos e filossilicatos, sendo estes descritos a seguir:

- Tipo textural 1 – em rochas silicáticas (flogopíticas), ocorrem cristais de flogopita com granulação atingindo até 2,5mm. Apresentam núcleos com pleocroísmo normal, nas tonalidades de marrom claro a marrom escuro, e bordas formadas por flogopita tipo 2 (descrito abaixo). As figura 8 e 9 apresentam estas relações texturais.

- Tipo textural 2 – Tetraferriflogopita. Ocorrendo tanto em rochas silicáticas – ultramáficas, flogopítitos – quanto em rochas carbonatíticas, a tetraferriflogopita parece ter intrínseca relação com os estágios carbonatíticos. Nas rochas silicáticas, veios carbonáticos parecem condicionar sua formação, gerando bordas caracterizadas por apresentar pleocroísmo invertido, variando de incolor ou laranja claro para laranja ou vermelho intenso. Essas bordas possuem contato geralmente brusco com as regiões do cristal formadas por flogopita com pleocroísmo normal. Cristais de menor granulação (0,03mm) na matriz apresentam-se totalmente transformados para este tipo textural.

Há cristais em lâminas de rochas carbonatíticas que ocorrem isolados e apresentam-se totalmente tetraferriflogopitizados, não sabendo-se dizer se estes foram formados no próprio magma carbonatítico ou se são produtos da transformação de cristais pré-existentes. Muitos destes cristais, inclusive, podem indicar diferentes “estágios de tetraferriflogopitização”, podendo isto ser indicado pelas cores de pleocroísmo geradas (partes alaranjadas e avermelhadas em contato predominantemente brusco no sentido da maior absorção da luz – *figura 13*). Estes “estágios de tetraferriflogopitização” podem ser perfeitamente explicados se imaginarmos seguidas injeções de magma carbonatítico, ao qual estas micas parecem estar ligadas. Cabe salientar que esta feição também pode indicar apenas uma tetraferriflogopitização mais intensa em regiões que estruturalmente favorecem este processo como planos de clivagem mais desenvolvidos, fraturas, e não necessariamente das bordas para o núcleo.

- Tipo textural 3 – em rochas formadas por flogopita, olivina, carbonatos, perovskita opacos e apatita subordinadamente, interpretada como rocha ultramáfica metassomatizada, encontram-se cristais praticamente tabulares de flogopita, de forma eúdrica a subédrica, dimensão média 0,25mm, pleocroísmo normal variando de alaranjado a marrom em sua coloração. São intersticiais em relação à olivina e aos carbonatos presentes, sugerindo textura reliquiar para olivinas, com flogopita sendo formada por meio da reação com este mineral. Nestas rochas, a textura pode ser definida como kelifítica, assim como mostra a *figura 11*. Este tipo de flogopita também possui transformação para tetraferriflogopita, ocorrendo esta predominantemente nas bordas dos cristais, com pleocroísmo invertido, embora alguns cristais já se encontrem inteiramente transformados.

- Tipo textural 4 – em rochas já parcialmente alteradas, este tipo apresenta pleocroismo normal, com núcleo variando de coloração marrom a marrom clara e bordas de coloração bege ou incolor, representando o início do processo vermiculitização (*figura 12*). Nenhum traço de tetraferriflogopita é preservado. Inclusive, em muitos cristais não é observado nenhum tipo de pleocroísmo.
- Tipo textural 5 – em rochas pertencentes do nível intempérico Rocha Alterada, encontram-se cristais vermiculitzados, apresentando hábito placóide, birrefringência baixa, ora incolor ora de coloração amarelada. Ocorrem como alteração das micas descritas anteriormente, com dimensões desde submilimétricas até centimétricas (*figura 10*).
- Tipo textural 6 – principalmente em rochas pertencentes ao nível intempérico Rocha Alterada, a vermiculita (tipo 5) possui alteração para filossilicato pleocróico, variando sua coloração de verde claro para verde escuro, sendo este tipo de filossilicato também encontrado em rochas não alteradas, junto de cristais de tetraferriflogopita da matriz. Este filossilicato, de ocorrência bastante restrita e granulação extremamente fina é a clorita. A *figura 14* apresenta estas ocorrências. Inclusive, análises por microssonda eletrônica atestam esta cloritização (veja Anexos – Análises por Microssonda Eletrônica - *Tabela 2, análises 1 a 3 e Tabela 2A, análise 1*).

Analisaram-se 10 lâminas delgadas de amostras representativas dos principais níveis do perfil intempérico que foram impregnadas e estas permitiram uma melhor visualização de como o processo de vermiculitização atua no contexto deste perfil laterítico.

Com à dificuldade em se trabalhar com material friável, sendo necessárias duas etapas de impregnação, e para garantir um bom resultado nas análises químicas, estas lâminas foram confeccionadas com uma espessura um pouco maior do que o usual. Este fato faz com que haja uma leve modificação em algumas características mineralógica (como cor e birrefringência). Tais diferenças poderão ser observadas nas figuras que apresentam fotomicrografias dos diversos níveis intempéricos.

Preferiu-se discutir os micáceos nestas lâminas tentando-se estabelecer as características destes inerentes a cada nível de uma forma geral. Assim, nos próximos sub-itens serão apresentadas tais características.

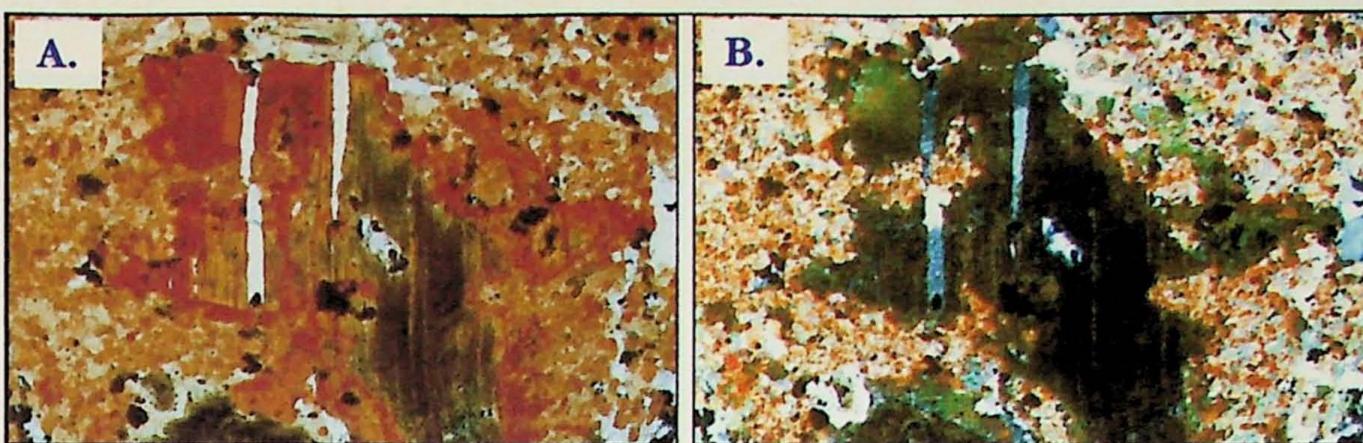


Figura 8. Cristais bem formados de flogopita em rochas flogopíticas do Complexo Catalão I apresentando (A) núcleos de preocroísmo normal (coloração marrom) e bordas de tetrasferflogopita (coloração vermelha) em meio a matriz formada por cristais de tetrasferflogopita e venulações carbonáticas e opacos associados. Polarizadores Descruzados. (B) Nota-se também extinção tipo bird's eye, birrefringência alta. As regiões formadas por flogopita de pleocroísmo normal apresentam birrefringência mais escura, diferenciada das bordas de tetrasferflogopita. Lâmina CAT-19-02. Polarizadores Cruzados. Aumento 50X. Lado Menor = 1,85 mm.

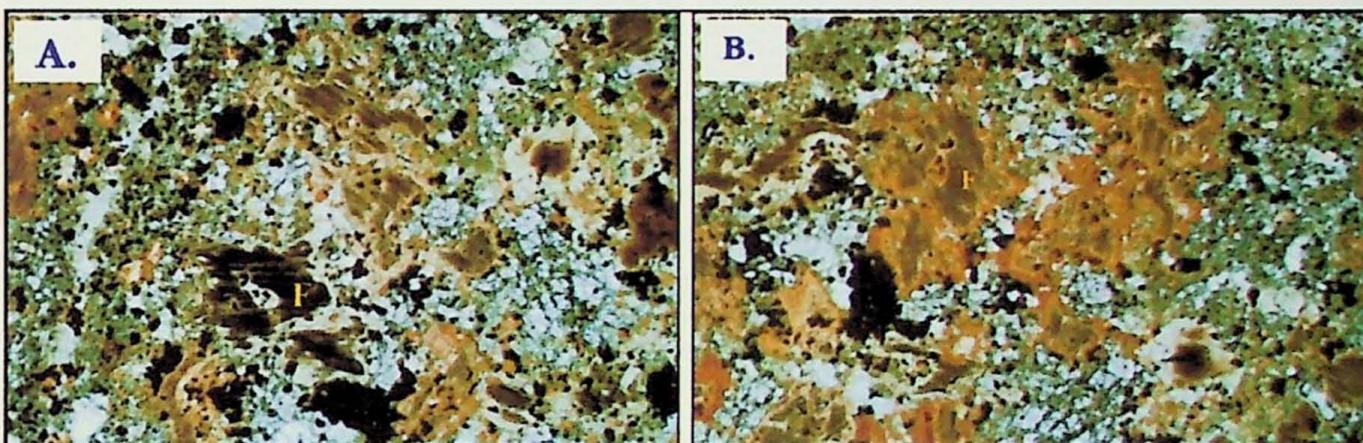


Figura 9. Cristais bem formados de flogopita em rochas flogopíticas do Complexo Catalão I apresentando núcleos de preocroísmo normal (coloração marrom – tipo textural 1) e bordas de tetrasferflogopita (coloração laranja – tipo textural 2). Em (A) nota-se que quando o núcleo dos cristais apresenta maior absorção da luz (pleocroísmo normal), as bordas apresentam-se praticamente incolores. Quando se rotaciona o mesmo cristal em 90° (B), nota-se que as bordas apresentam máxima absorção (coloração laranja forte) e o núcleo de coloração marrom de tonalidade mais fraca, caracterizando assim as diferenças encontradas num mesmo cristal de flogopita. Lâmina CAT-19-03. Polarizadores Descruzados. Aumento 25X. Lado Menor = 3,5 mm.

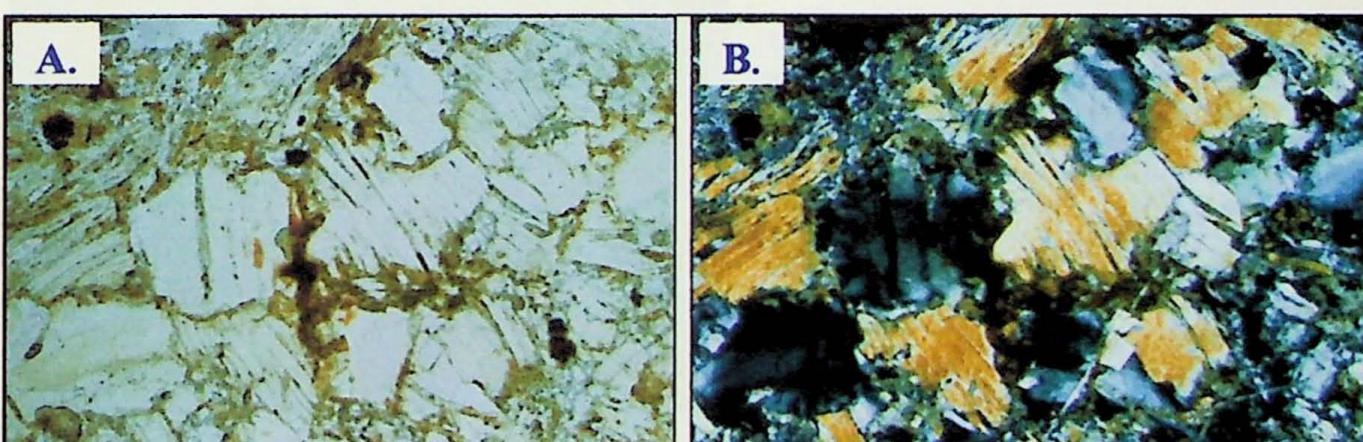


Figura 10. Cristais de vermiculita (tipo textural 5) em rochas em início de alteração intempérica (nível Rocha Alterada do perfil) do Complexo Catalão I com as seguintes características proeminentes: (A) cristais incolores incolor, praticamente sem nenhum tipo de pleocroísmo (polarizadores descruzados) e (B) apresentando birrefringência baixa (sob polarizadores cruzados). Lâmina CAT-19-10. Aumento 50X. Lado Menor = 1,85 mm..

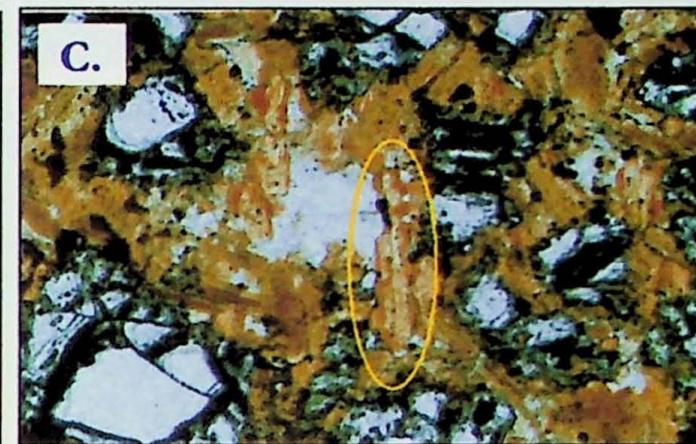
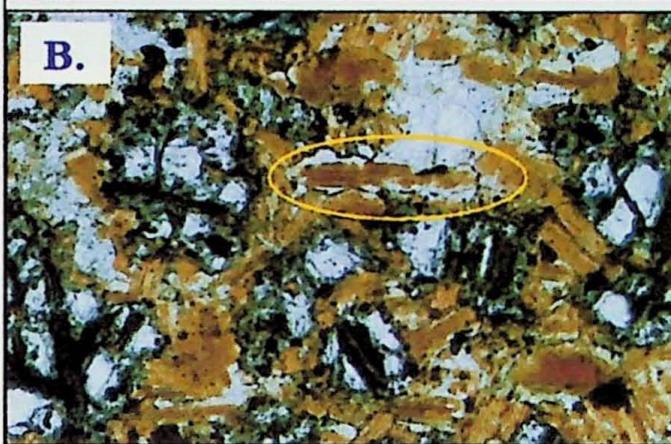
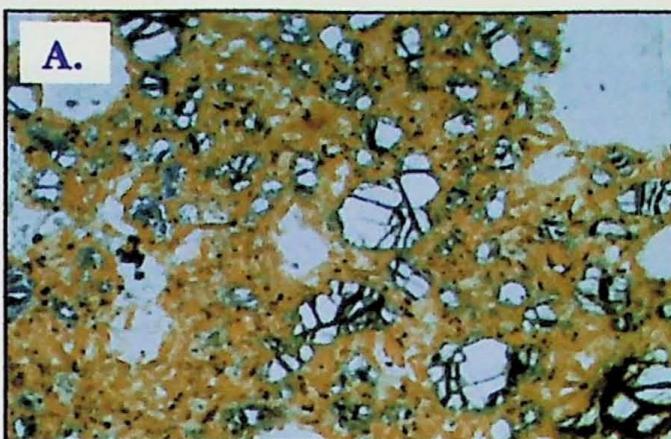


Figura 11. (A.) Cristais de flogopita – tipo textural 3- de hábito tabular em rochas ultramáficas apresentando textura kelyfítica, com olivina considerada reliquiaria. Segregações carbonáticas que podem representar substituição de algum mineral também são encontradas. Lâmina CAT-19-06. Polarizadores Descruzados. Aumento 25X. Lado Menor = 3,5mm

Figura 11. No detalhe de A., nota-se cristais de flogopita (B.) apresentando núcleo com pleocroísmo normal com maior absorção caracterizada pela coloração marrom e (C.) bordas transformadas em tetraferriflogopita, com maior absorção de luz perpendicular ao núcleo, caracterizada pela coloração laranja. Nota-se também nestas figuras que a flogopita se desenvolve envolvendo totalmente os cristais de olivina, sugerindo seu desenvolvimento a partir destes. Polarizadores Descruzados. Aumento 100X. Lado Menor= 0,92mm.

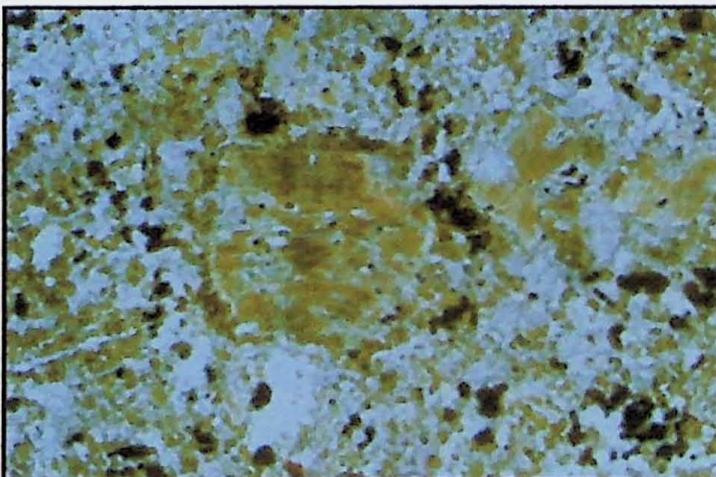


Figura 12. Cristais de flogopita – tipo textural 4, em rochas carbonatáticas já em princípio de alteração intempérica do Complexo Catalão I, apresentando pleocroísmo normal, núcleos de coloração amarronzada e bordas praticamente incoloras, sugerindo princípio de alteração para vermiculita. Lâmina CAT-19-09. Polarizadores Descruzados. Aumento 50X. Lado Menor = 1,85mm.

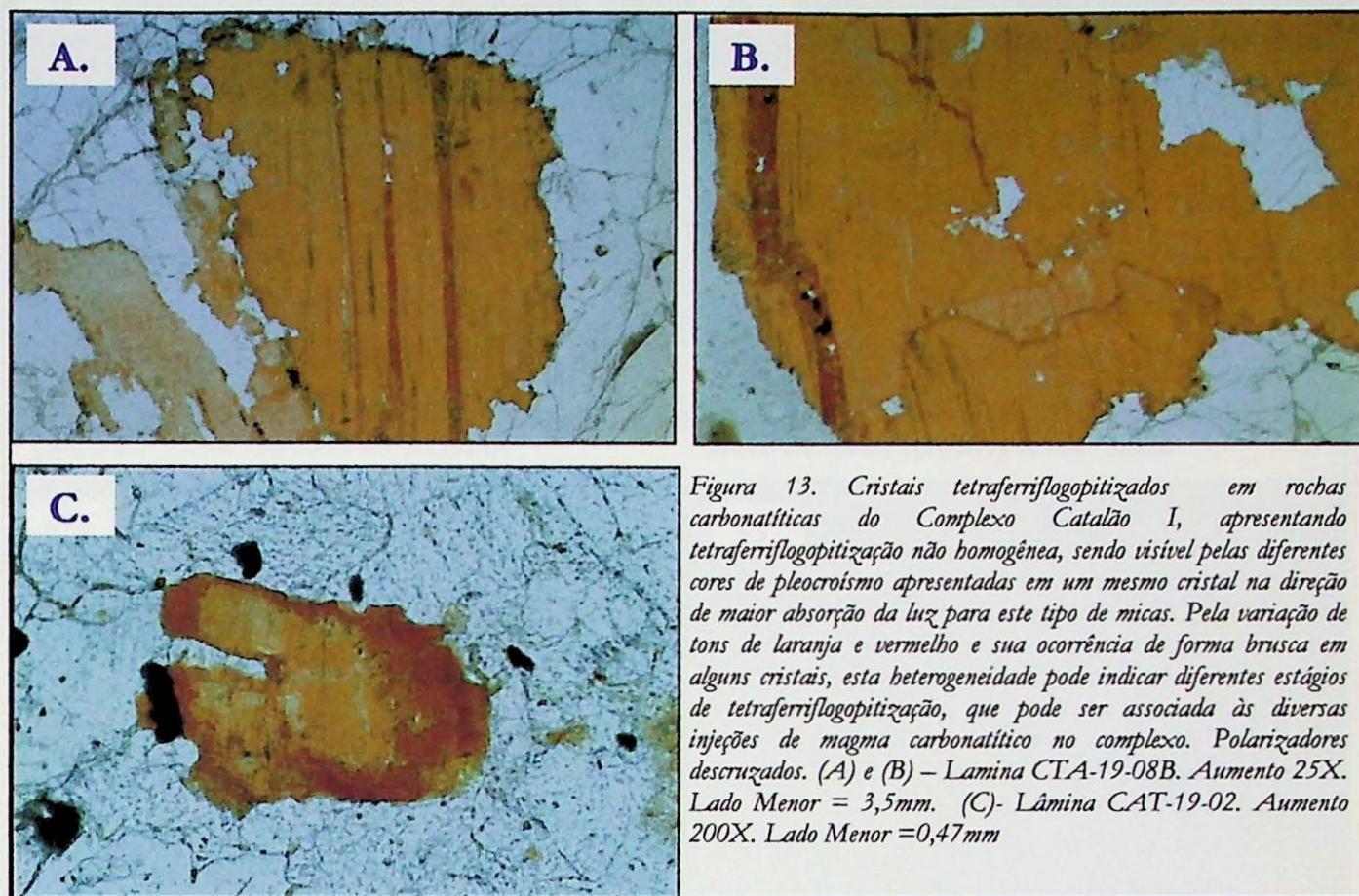


Figura 13. Cristais tetrasiliflogopitizados em rochas carbonatíticas do Complexo Catalão I, apresentando tetrasiliflogopitização não homogênea, sendo visível pelas diferentes cores de pleocroísmo apresentadas em um mesmo cristal na direção de maior absorção da luz para este tipo de micas. Pela variação de tons de laranja e vermelho e sua ocorrência de forma brusca em alguns cristais, esta heterogeneidade pode indicar diferentes estágios de tetrasiliflogopitização, que pode ser associada às diversas injeções de magma carbonatítico no complexo. Polarizadores descruzados. (A) e (B) – Lâmina CTA-19-08B. Aumento 25X. Lado Menor = 3,5mm. (C) – Lâmina CAT-19-02. Aumento 200X. Lado Menor = 0,47mm

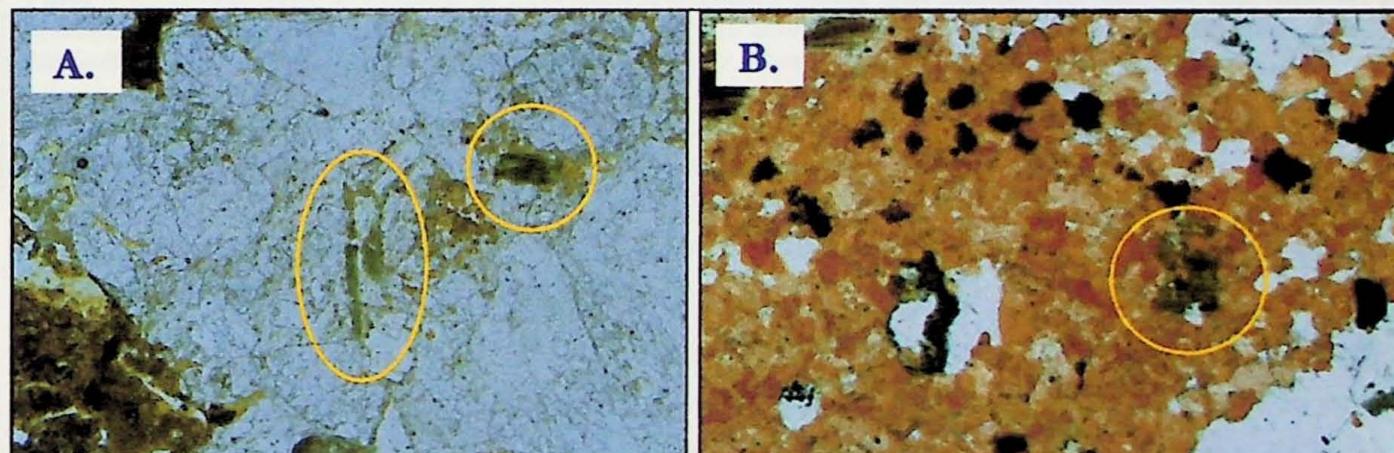


Figura 14. Cristais de (A.) vermiculita e (B.) tetrasiliflogopita alterados para filossilicato pleocroíco de coloração verde clara a verde escura – tipo textural 6 – representando a clorita. Polarizadores Descruzados. (A.) Lâmina CAT-19-09. Aumento 100X. Lado Menor = 0,92mm. (B.) Lâmina CAT-19-02. Aumento 100X. Lado Menor = 0,92mm.

6.2.1. Nível Intempérico Rocha Alterada

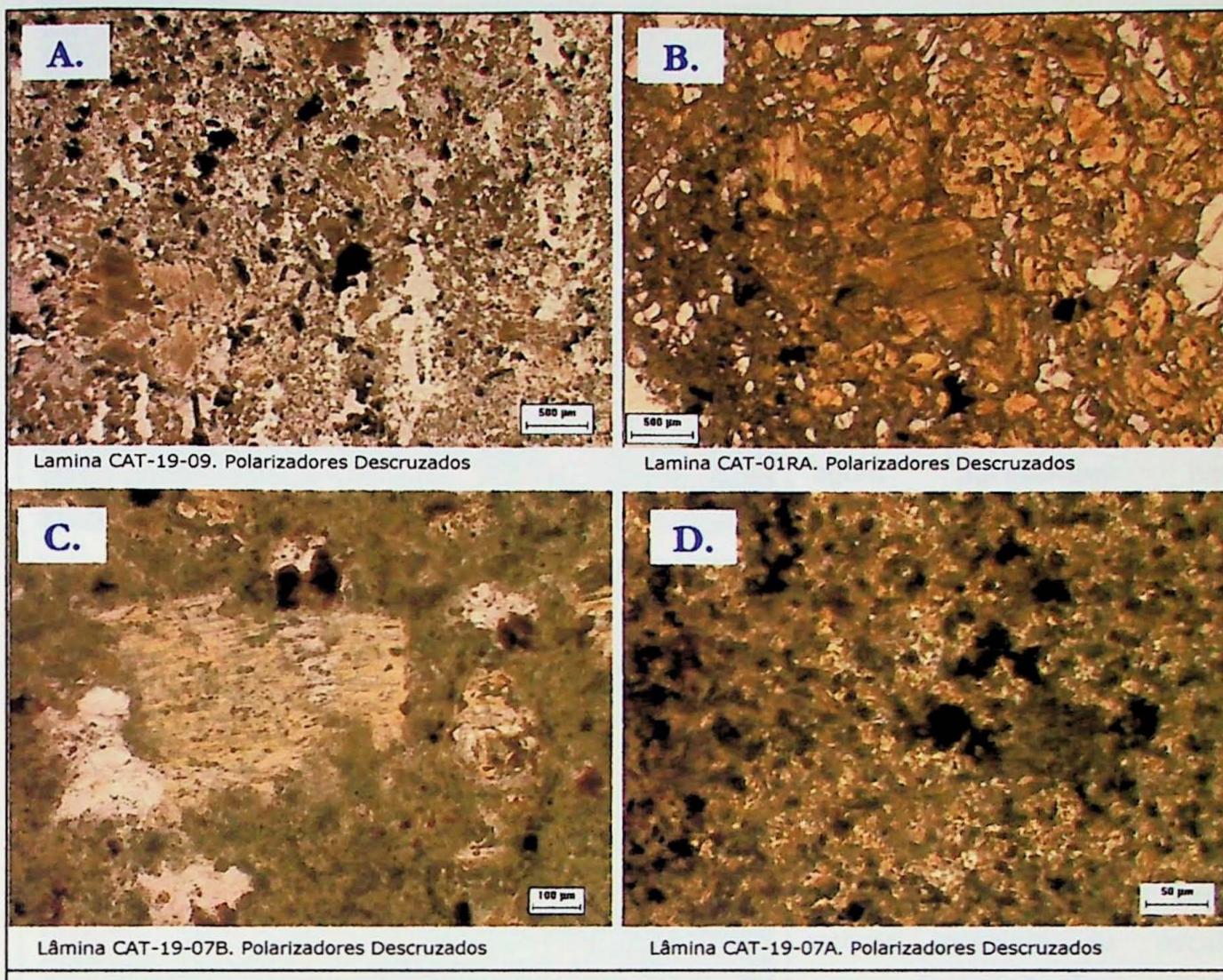


Figura 15. Fotomicrografias de Amostras do Nível Intempérico Rocha Alterada. Com base nas observações dos tipos texturais observados em amostras de Rocha Sã, pode-se dizer que (A.) e (B.) são alterações de flogopíticos e que (C.) e (D.) são alterações de ultramáfica metassomatizada. As variações de tonalidade entre bege e amarelo, notadas principalmente nas figuras (A.) e (B.), são unicamente referentes à espessura da lâmina. Cabe lembrar que as lâminas delgadas oriundas de material impregnado foram efetuadas com espessura um pouco maior que 30 µm para que se garantisse um bom polimento e consequentemente boa qualidade de análises por microsonda. Assim podem ocorrer pequenas variações nas tonalidades dos minerais.

Analizaram-se 4 lâminas delgadas referentes a este nível (CAT-01RA, CAT-19-07B, CAT-19-07^A, CAT-19-10). Conforme apresentado na figura 15, as amostras do Nível Rocha Alterada apresentam cristais de mica ora incolor, ora amarelada, com ou sem núcleo amarronzado, sem apresentar mudança na estrutura ou mesmo alterações que comprometessem a estrutura original do grão. Neste nível, consegue-se dizer de qual tipo de rocha do complexo estas são derivadas, uma vez que o grau de alteração ainda não é tão pronunciado. Basicamente, os cristais correspondem aos tipos texturais 4 e 5 descritos inicialmente.

6.2..2. Nível Intempérico Micáceo Base



Figura 16. Fotomicrografias de lâmina do nível intempérico Micáceo Base (CAT-20MB) apresentando as principais características deste nível. Principalmente nos interstícios e nos contatos entre grãos de mica bege e amarelada nota-se alteração marrom, dando um aspecto sujo a estas micas e ocorrendo com mais intensidade em cristais da matriz. Polarizadores Descruzados.

Para este nível intempérico foram analisadas 3 lâminas delgadas (CAT-20MB1, CAT-20MB2, CAT-02MB).

Em comparação com o nível anterior, observa-se que as micas já vermiculizadas (micas amareladas e beges com birrefringência baixa), agora apresentam nos contatos entre grãos material de cor marrom. Entre os cristais da matriz, inclusive, nota-se que muitos já estão totalmente alterados para esta cor (figura 16).

Interessante notar que a heterogeneidade no desenvolvimento do perfil ocorre inclusive na escala microscópica. A lâmina CAT-20MB apresenta, em sua extensão de 3,5cm, as principais variações de micáceos alterados que ocorrem desde o nível Rocha Sã até Micáceo Topo.

Este tipo de alteração que abrange em microescala as várias tipologias do perfil intempérico pode ser explicada por microfraturas e vazios estruturais que condicionariam um ação intempérica mais intensa nestas regiões.

6.2.3. Nível Intempérico Micáceo Médio

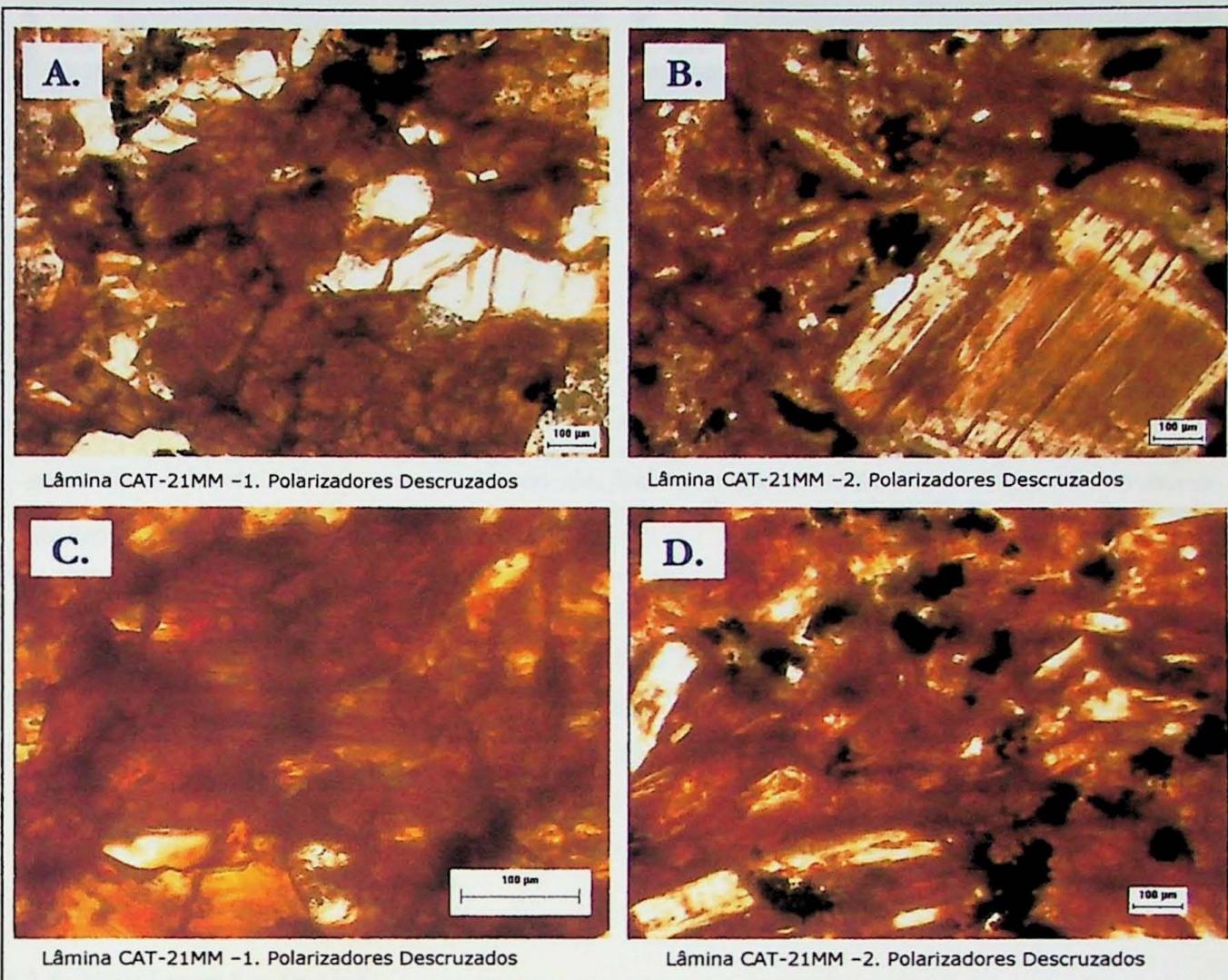


Figura 17. Fotomicrografias apresentando os principais aspectos texturais do nível intempérico Micáceo Médio. Pode-se notar que as micas de cor marrom predominam sobre as amareladas. Esta coloração predominante pode ser indicativa de percolação de soluções com óxidos e hidróxidos de Fe sobre estas. (A.) e (C.) provavelmente representam amostras de flogopítitos alterados e (B.) e (D.) derivados amostras de ultramáfica. Com lentes condensadoras.

Neste nível intempérico pode-se notar que as micas de cor marrom predominam sobre as de cor amarelada (figura 17). Provavelmente, tal fato é indicativo da percolação de soluções com óxidos e hidróxidos de Fe sobre todo o material. Pelas análises por microssonda eletrônica pôde-se observar que esta coloração não representa nenhuma alteração na composição das micas. Portanto, entende-se que esta coloração represente tanto neste quanto nos anteriores níveis apenas uma impregnação superficial, não modificando ou alterando a estrutura deste minerais.

Em análises macroscópicas, nota-se nítida mudança de cor entre as amostras do Nível Rocha Alterada (esverdeado) e os Níveis de Micáceo Base (alaranjado), Micáceo Médio e Topo (cor ocre) correspondendo estas diferenças à quantidade de hidróxidos de Fe. Estas cores coincidem com a quantidade de material marrom encontrado nas lâminas. Entende-se que, da base para o topo, a quantidade de hidróxidos de Fe aumenta progressivamente, conforme indicam as observações por microscopia.

6.2.4. Nível Intempérico Micáceo Topo

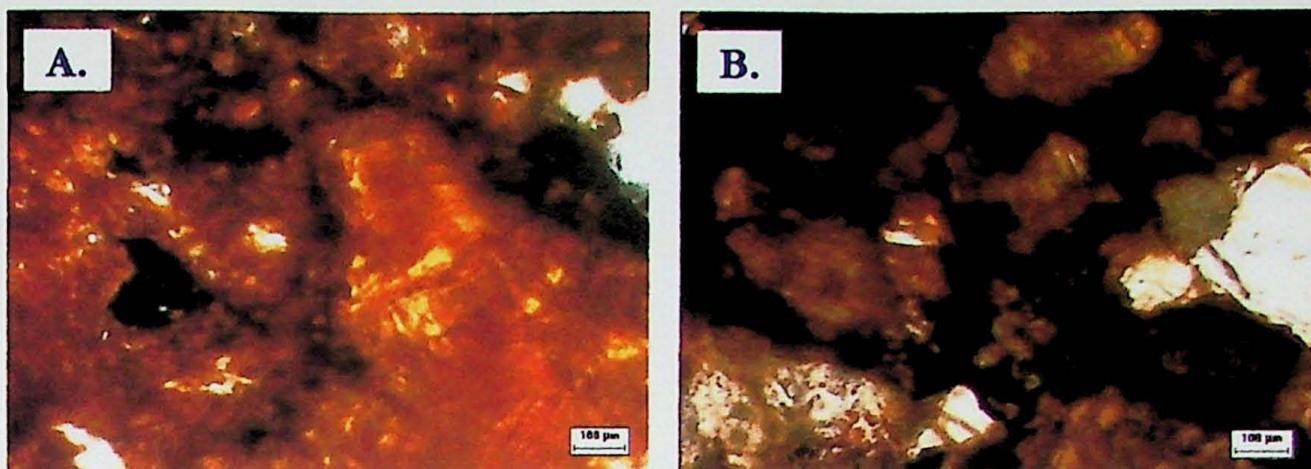


Figura 18. Fotomicrografias apresentando os principais aspectos texturais das micas do Nível Micáceo Topo. Pode-se notar que a quantidade de hidróxidos de Fe aumenta ainda mais neste nível. Embora em alguns fenocristais (A.) ainda apresentem cor amarelo-amarronzada, na matriz os cristais apresentam cor marrom predominante (B.). Amostra CAT-03MT. Polarizadores Descruzados, com lentes condensadoras.

No nível Micáceo Topo, observa-se o aumento na quantidade hidróxidos de Fe em relação à Micáceo Médio (figura 18). Na matriz, muitos cristais de mica apresentam cor marrom escura e mesmo de coloração preta. Conforme será apresentado nas análises por microssonda, é a partir deste nível que as micas vermiculitzadas começam a sofrer uma alteração mais intensa, sendo que alguns cristais da matriz são apenas pseudomorfos de vermiculita onde restaram tão somente Si e Fe e preenchimento por hidróxido de Fe.

6.2.5. Nível Intempérico Oxidado

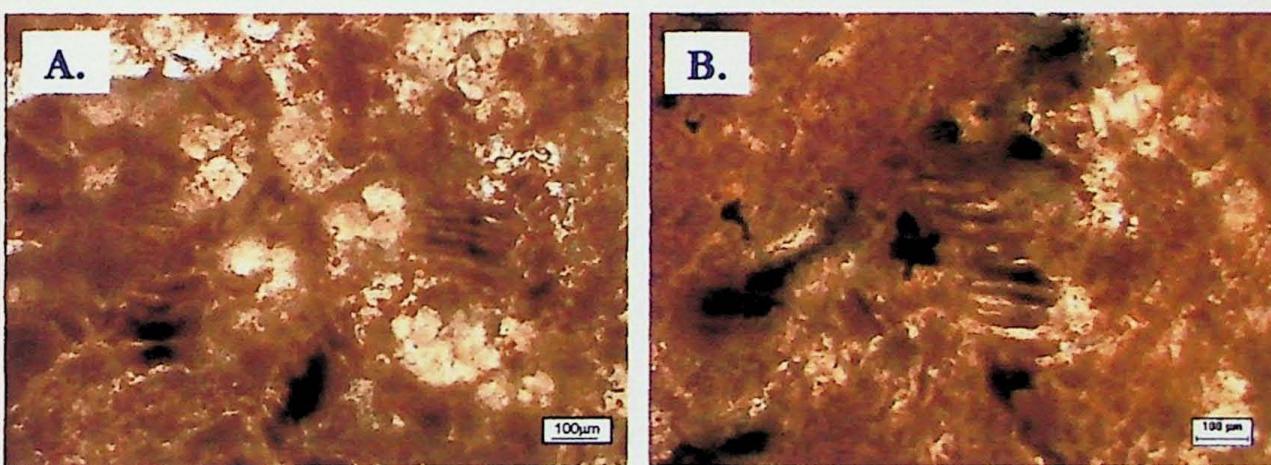


Figura 19. Fotomicrografias apresentando os principais aspectos texturais do Nível Oxidado. Pode-se notar pseudomorfos de mica de cor marrom (A.) representando hidróxido de Fe e também intercalação desta com material branco (B.) representando kaolinita. Amostra CAT-10-Oxi. Polarizadores Descruzados, com lentes condensadoras.

Neste nível, ocorrem apenas pseudomorfos de mica, reconhecidos estes pelos planos de clivagem bem definidos, já substituídos por óxidos/hidróxidos de Fe e também caolinita, conforme indicam as análises por microssonda eletrônica. Este é o último nível com características isalteríticas.

6.3. Análises por Difratometria de raios X

6.3.1. Características de Filossilicatos

Antes da interpretação dos dados obtidos, convém lembrar a estrutura e composição dos filossilicatos. Estes são aluminossilicatos hidratados, que se caracterizam por dois tipos de “folhas”: uma formada pelo encadeamento de tetraedros de sílica ao longo do plano *ab*, e outra constituída pela justaposição, no plano *ab*, de octaédros de hidróxidos de Al (minerais dioctaédricos) ou Mg (minerais trioctaédricos).

É por meio da superposição das folha tetraédricas e octaédricas que se forma a “camada” do filossilicato, que pode ser constituída por uma de cada (tipo 1:1), ou pela folha octaédrica intercalada por duas folhas de tetraedros (tipo 2:1). O espaço entre uma camada e outra – sítio intercamada- pode ser ou não ocupada por íons, dependendo da carga da camada.

A distância entre a base de uma camada até a base da camada sobrejacente – espaçamento basal “*d*” – é característica para os diversos grupos de filossilicatos. Para as micas e cloritas, “*d*” mede cerca de 10 Å e 14 Å, respectivamente, enquanto nos argilominerais este parâmetro é variável, dependendo da forma de ocupação do sítio intercamada, condicionado pela carga das camadas.

O principal parâmetro para identificação dos argilominerais por difratometria de raios X são os valores de “*d*” e seus múltiplos, como por exemplo 10, 5, 3,33... para micas, ou 14, 7, 4,66... para cloritas. A facilidade de entrada de substâncias no sítio intercamada é que distingue minerais expansivos (que alteram a distância basal) e não expansivos. Nas micas, por exemplo, cátions alcalinos (K^+ , Na^+) completam a carga das camadas e não permitem a penetração de outros materiais. Por outro lado, nos argilominerais, em que as cargas da camada e do sítio intercamada não são completas, a água penetra entre as camadas, aumentando o espaçamento basal (*d*), como acontece nas esmectitas e vermiculitas (*d* em torno de 14 Å e 15 Å) em condições naturais. Tratadas com etilenoglicol, as esmectitas permitem a entrada desta substância no sítio intercamada, aumentando *d* de 14-15 Å para cerca de 17-18 Å, mas este parâmetro não é alterado nas vermiculitas.

O aquecimento acima de 490°C das lâminas de esmectita provoca a saída de água e do etilenoglicol, fazendo então a estrutura se assemelhar à de uma mica, ou seja, apresentando *d* em torno de 10 Å. Para as vermiculitas em geral, este tratamento também reduz *d* para 12-10 Å, mas dependendo da composição, pode não ocorrer esta redução. Além disso, existem filossilicatos interestratificados que são constituídos de empilhamento de lâminas de diferentes filossilicatos, possuindo valores de *d* relativamente altos, condicionados pelo tipo de folha e pela organização do empilhamento.

A nomenclatura dos filossilicatos tem, por vezes, se mostrado confusa, particularmente na denominação dos argilominerais e minerais interestratificados. Por

esta razão, são adotadas as recomendações da AIPEA (Association Internationale pour l'Étude des Argiles), segundo Bailey (1984), para espécies constituídas por um único tipo de camada e para interestratificados regulares com quantidades idênticas de constituintes.

6.3.2. Estágio Inicial de Reconhecimento

Neste estágio inicial realizadas análises de 10 amostras, selecionadas segundo os principais níveis de alteração intempérica. As amostras analisadas foram CAT-01(R.A.), CAT-02(M.B.), CAT-04(M.M.), CAT-03(M.T.), CAT-05(M.Ox.), CAT-10(Oxi.), CAT-16(R.A.), CAT-15(M.B.), CAT-13(M.M.), CAT-11(M.T.), permitindo assim uma visualização geral dos principais filossilicatos encontrados nos diferentes níveis de alteração.

Os difratogramas obtidos, com interpretação de picos e discriminação dos valores de d obtidos para os filossilicatos são encontrados em *Anexos – Difratogramas de raios X – Amostra Total*. Abaixo seguem as descrições dos principais filossilicatos encontrados.

VERMICULITA – caracterizada por d entre 14 e 15 Å em difratogramas sobre lâminas em condições normais e glicoladas, a vermiculita se distingue tanto da esmectita (que se expande sob etilenoglicol) quanto da clorita (que apresenta picos proeminentes em $d=7$ Å). Uma feição anômala encontrada em algumas análises é a permanência de d entre 14 - 15 Å após o aquecimento das lâminas, ao contrário do comportamento comum, que é o deslocamento deste pico para 12-10 Å. Uma possível explicação para este comportamento anômalo é dada pela composição altamente magnesiana, que eleva a temperatura de perda do cátion intercamada. Conforme Moore & Reynolds (1989), este comportamento parece indicar que, mais que cátions hidratados na posição intercamada, essas vermiculitas possuem folhas incompletas de um complexo de "hidroxi-cátions" nesta posição. A vermiculita ocorre na maioria das amostras com picos bastante proeminentes, ocorrendo geralmente associadas a interestratificados.

MINERAIS INTERESTRATIFICADOS – Constituídos pelo empilhamento de lâminas de diferentes filossilicatos, têm os valores de d condicionados pelo tipo de folha e pela organização do empilhamento. Em função da ampla variação destes valores, o banco de dados PC-PDF (utilizado para interpretação dos difratogramas) contém apenas alguns padrões que orientam a busca destes interestratificados. Foram utilizadas, como padrão, a rectorita e a hidrobiotita que correspondem ao empilhamento regular de um número idêntico de folhas compostas por mica (ou ilita)-esmectita ($d\sim25$ Å) e mica-vermiculita ($d\sim24$ e 12 Å). A identificação dos constituintes foi realizada pela comparação dos difratogramas, obtidos através de lâminas com material orientado, glicoladas e aquecidas, sendo determinados dois tipos principais:

INTERESTRATIFICADOS NÃO EXPANSIVOS – aqueles que mantêm $d \sim 25 \text{ \AA}$ e $(12,5 \text{ \AA})$ após a glicolagem, indicando que não contém esmectitas. Com o aquecimento, as reflexões acima referidas desaparecem e surgem reflexões em $d \sim 10 \text{ \AA}$, sendo interpretados como interestraticados de vermiculita e mica(flogopita). Muitos interestraticados mantêm mesmo com aquecimento picos acima de 24 \AA após o aquecimento. Este comportamento pode ser explicado pela proporção maior de vermiculita no interestraticado, já que este mineral (quando isolado) pode manter-se inalterado quando aquecido.

INTERESTRATIFICADOS EXPANSIVOS – evidenciados pelas reflexões correspondentes a $d \sim 24-25 \text{ \AA}$ e $12-13 \text{ \AA}$, nas lâminas sob condições normais, que aumentam para $25-27 \text{ \AA}$ e $13-14 \text{ \AA}$ em lâminas glicoladas. Nas lâminas aquecidas, via de regra estas reflexões desaparecem, surgindo novas correspondentes a 10 \AA , semelhantes a micas e ilitas. Este comportamento teoricamente caracterizariam os interestraticados de esmectita e mica (ou ilita). Contudo, como mostrará o item 7, ao que tudo indica, esta característica de expansividade não diz respeito à presença de rectorita, mas a uma alteração da hidrobiotita.

ESMECTITA – caracterizada também por picos de $d \sim 14 \text{ \AA}$ sob condições normais, e expandindo estas reflexões para $d \sim 17 \text{ \AA}$ sob condições glicoladas. Após aquecimento, são geradas novas reflexões de $d \sim 10 \text{ \AA}$, desaparecendo as anteriores. Significativamente, a presença deste mineral se dá em níveis superiores do perfil (Micáceo Topo, Micáceo Oxidado e Oxidado), ocorrendo em muitos casos associada com a vermiculita. No segundo estágio de análises, pode-se observar que em nenhuma das amostras que se realizou o tratamento de glicolagem, houve expansividade, isto mesmo em níveis superiores do perfil. Tal fato sugere que a esmectita possui uma formação pontual, não ocorrendo de forma constante, indicando ou contribuição supérigena (Imbernon, 1993), onde argilominerais como caolinita e esmectita preencheriam veios anteriores de material carbonático, ou processo de esmectitização de vermiculitas (Wilson, 1999), conforme será discutido mais a frente.

FLOGOPITA – Em algumas amostras, observa-se a reflexão em $d \sim 10 \text{ \AA}$, atribuída à flogopita. Em razão da intensidade muito baixa (nas amostras em que ocorre), este mineral é então considerado como traço, podendo representar restos preservados de alteração.

6.3.3. Estágio com Separação de Faixas Granulométricas

Embora permitissem o reconhecimento dos filossilicatos envolvidos, os dados obtidos no primeiro estágio foram pouco conclusivos quanto a evolução dos filossilicatos nos diversos níveis do perfil intempérico, uma vez que muitas das amostras não apresentaram picos bem definidos destes minerais pela elevada presença de material

amorfo e/ou fluorescente nas amostras. Este material fez com o background das análises se eleve, contribuindo para uma má definição de picos.

Assim, para o segundo estágio, em que se esperava realizar o mesmo procedimento adotado no primeiro estágio com o restante das amostra, decidiu-se dividir cada uma das 24 amostras em 3 faixas granulométricas, tentando assim encontrar uma concentração relativa de filossilicatos em pelo menos uma destas faixas. A partir dos novos difratogramas obtidos para cada amostra, selecionaram-se algumas destas para a realização de tratamento com glicolagem e aquecimento. Os difratogramas obtidos a partir destas faixas encontram-se em Anexos – *Difratogramas de raios X – Amostras de Faixas Granulométricas* (pág A5-A29).

Pelo que se pode observar, via de regra, nas faixas granulométricas acima de 100 mesh e entre 100 e 200 mesh, não há algum tipo de concentração diferenciada entre os minerais observados nos difratogramas. Pelo contrário, a assembléia mineralógica encontrada nestas faixas é praticamente a mesma. Como principais minerais (que ocorrem na maioria das amostras), além dos filossilicatos, tem-se apatita, goethita e quartzo. Caolinita, gibbsita, anatásio, crandalita, dolomita e barita ocorrem subordinadamente em algumas amostras. Estas são as faixas granulométricas em que tanto vermiculita quanto interestratificado ocorrem de forma associada. Na grande maioria dos difratogramas há maior intensidade dos picos de 14 \AA sobre os picos de 24-25 \AA , sugerindo uma maior concentração relativa de vermiculita. Os backgrounds das análises apresentam nestas duas faixas a mesma intensidade. Porém a maior concentração de material fluorescente (hidróxidos de Fe) e amorfo em algumas faixas acaba por mascarar os principais pico.

As amostras entre 200 e 400 mesh apresentam um problema de background nos primeiros 20° de contagem dos picos devido à instalação de um novo equipamento de leitura no Laboratório de Difratometria de raios X do Instituto de Geociências, em que foram realizadas as análises. A deficiência encontrada, segundo o técnico responsável, ocorre por um problema de calibração do novo equipamento e o efeito negativo que causa é a elevação da curva de background nos primeiros 10-15° da escala 2 Theta. É justamente esta a região onde ocorrem os principais picos de filossilicatos. Embora inicialmente possa parecer que são picos de interestratificados irregulares, nota-se que a curva característica apresentada ocorre em todas as amostras. Além disso, análises unicamente constituídas de carbonato de cálcio realizadas por Marques (2002) com o mesmo equipamento apresenta a mesma curva de background, confirmando assim o problema de calibração e eliminando qualquer possibilidade de se tratar de interestratificados irregulares. A figura 20 apresenta a comparação entre uma análise do presente trabalho com tal análise de carbonato.

Mesmo assim, em grande parte das amostras, o pico de 14 \AA apresenta-se bem definido. Em algumas, os picos de 25-24 \AA e 12 \AA (relacionado a interestratificados) aparecem de forma pronunciada, embora em grande parte, considerando-se as

intensidades, esteja subordinado ao pico de 14 Å. Em várias amostras, porém, os picos de vermiculitas e interestratificados nem aparecem. Interessante que nas amostras desta última faixa granulométrica (entre 200 e 400 mesh) o background tem a sua intensidade bastante elevada em relação à intensidade dos backgrounds das demais faixas. Tal fator sugere uma ainda maior concentração de material amorfó e/ou fluorescente.

De uma forma geral, embora em determinadas amostras os resultados não sejam significativos, entende-se que o tratamento empregado atingiu aos objetivos propostos. Embora não tenha sido possível eliminar o elevado background, pôde-se com a eliminação dos ferromagnéticos e a separação de faixas granulométricas, aumentar em determinadas faixas a concentração relativa dos filossilicatos identificados anteriormente e permitir uma melhor avaliação de seu comportamento no perfil intempérico.

De aspecto relevante nas análises dos diferentes níveis, é que as amostras a partir de Micáceo Topo tendem a apresentar menor intensidade relativa dos picos de micáceos, mesmo nas faixas granulométricas em que estes picos são mais pronunciados. Tal fato pode ser explicado por uma menor cristalinidade deste mineral em relação aos outros minerais da amostra ou mesmo por uma menor concentração nestas amostras, indicando ação mais intensa do intemperismo neste nível.

As faixas granulométricas que foram tratadas com glicolagem e aquecimento dizem respeito às amostras dos principais níveis que contém micáceos (veja Anexos – *Difratogramas de raios X – Amostras de faixas granulométricas com Tratamento –* pág. A30-A32). Os resultados deste tratamento não apontam para material expansivo em nenhuma das amostras (esmectita ou interestratificado expansivo como nas análises do estágio inicial). Isto confirma a idéia do estágio inicial de que a esmectita possui uma ocorrência pontual. Mais que isso, estas amostras também sugerem que os interestratificados que possuem certa expansividade também são pontuais. Estas informações são importantes para se entender a evolução dos filossilicatos no complexo, uma vez que nos níveis (e em praticamente todas as amostras) até Micáceo Topo há a ocorrência de interestratificados e apenas no estágio inicial foram identificados interestratificados expansivos.

Cabe salientar que, na maioria das análises em Anexos, as vermiculitas não se enquadram perfeitamente nas posições e nas relações de intensidade de alguns picos. Contudo, existem numerosas variações de vermiculitas, e a utilizada como padrão trata-se de uma vermiculita aluminosa, diferente das do Complexo Catalão I, conforme mostram as análises por microssonda eletrônica (*item 6.4*). Também, embora na maioria das amostras os picos de 24 Å e 12 Å apresentam-se interpretados como rectorita, tal padrão só foi utilizado para designar um interestratificado regular. Como já comentado, os tratamentos realizados indicam que o principal interestratificado existente refere-se à interestratificados mica-vermiculita, não expansivos.

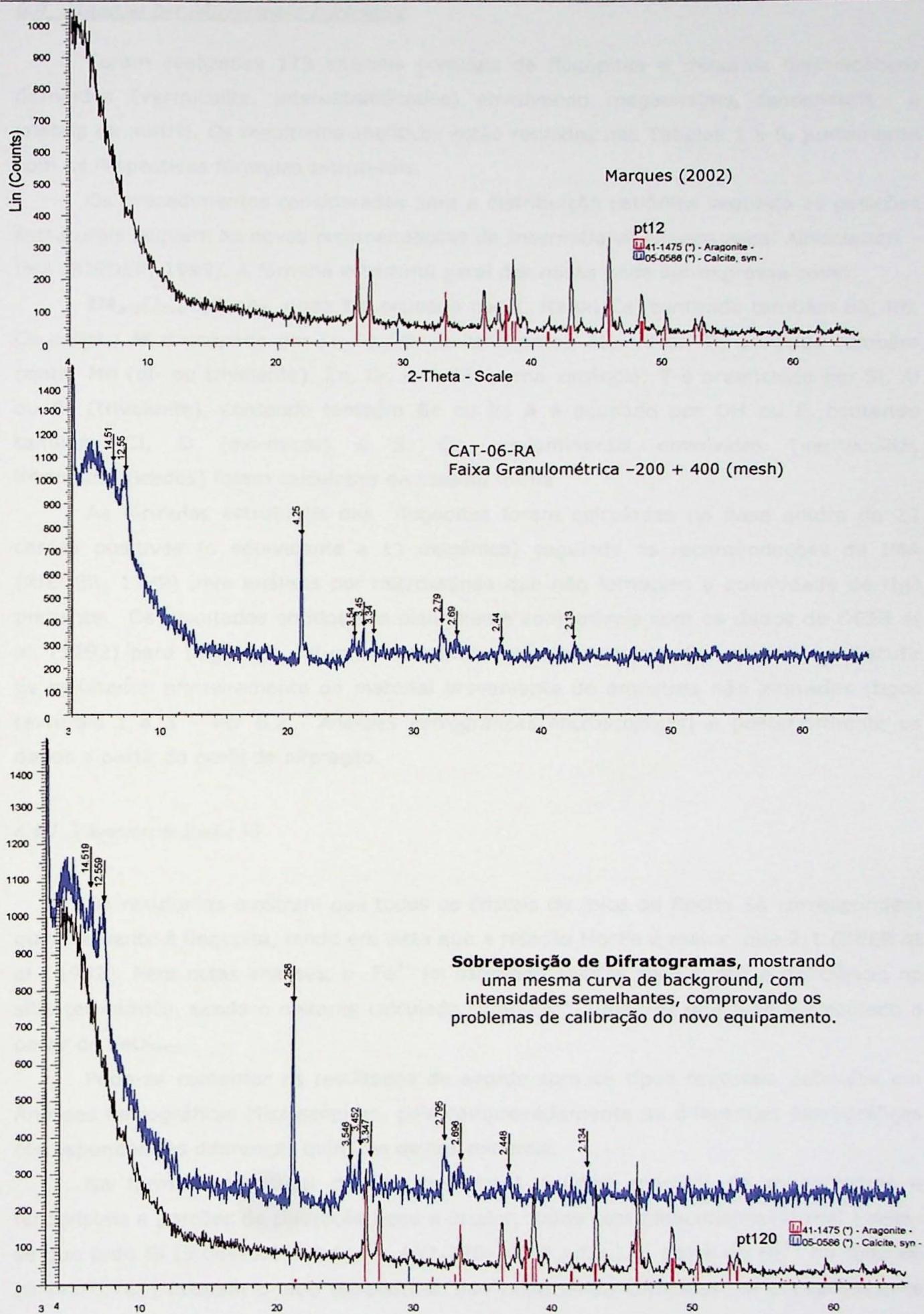


Figura 20. Comparação de difratograma da faixa granulométrica -200+400 mesh da amostra CAT-16RA com análise de carbonatos realizadas por Marques (2002), mostrando o problema de calibração do novo equipamento e eliminando a hipótese de interestratificados irregulares nesta faixa granulométrica.

6.4. Análises por Microssonda Eletrônica

Foram realizadas 173 análises pontuais de flogopitas e minerais filossilicáticos derivados (vermiculita, interestratificados) envolvendo megacristais, fenocristais e cristais da matriz. Os resultados analíticos estão reunidos nas Tabelas 1 a 5, juntamente com as respectivas fórmulas estruturais.

Os procedimentos considerados para a distribuição catiônica segundo as posições estruturais seguem as novas recomendações da International Mineralogical Association – IMA (RIEDER, 1999). A fórmula estrutural geral das micas pode ser expressa como:

IM₂₋₃□₁₋₀T₄O₁₀A₂ onde **I** é ocupado por K, Na ou Ca, contendo também Ba, Rb, Cs e NH₄; **M** é ocupado por Li, Fe (di- ou trivalente), Mg, Al ou Ti, podendo também conter Mn (di- ou trivalente), Zn, Cr, e V; □ é uma vacância; **T** é preenchido por Si, Al ou Fe (trivalente), contendo também Be ou B; **A** é ocupado por OH ou F, contendo também Cl, O (oxi-micas) e S. Os argilominerais envolvidos (vermiculita, interestratificados) foram calculados da mesma forma

As fórmulas estruturais das flogopitas foram calculadas na base anidra de 22 cargas positivas (o equivalente a 11 oxigênios) seguindo as recomendações da IMA (RIEDER, 1999) para análises por microssonda que não fornecem a quantidade de H₂O presente. Os resultados obtidos são plenamente compatíveis com os dados de DEER et al. (1992) para flogopitas naturais. Para uma melhor compreensão, preferiu-se discutir os resultados primeiramente do material proveniente de amostras não alteradas (tipos texturais 1 a 3 – ver 6.2 - *Análises Petrográficas Microscópicas*) e posteriormente os dados a partir do perfil de alteração.

6.4.1. Flogopitas de Rocha Sã

Os resultados mostram que todos os cristais de mica de Rocha Sã correspondem quimicamente à flogopita, tendo em vista que a relação Mg:Fe é maior que 2:1 (DEER et al., 1992). Para estas análises, o Fe³⁺ foi estimado apenas para suprir a deficiência no sítio tetraédrico, sendo o restante calculado como Fe²⁺, uma vez que o Fe é calculado a partir de FeO_{Total}.

Pode-se comentar os resultados de acordo com os tipos texturais definidos em Análises Petrográficas Microscópicas, pois comprovadamente as diferenças petrográficas correspondem às diferenças químicas destes minerais.

Na fórmula estrutural do tipo textural 1 (núcleo marrom de megacristais e fenocristais e porções de coloração bege a incolor, todos com pleocroísmo normal) notase que todo Si (5.084-5.673 a.f.u.) , Al(1.376-1.950 a.f.u.) e parte do Fe³⁺ ou todo Fe (0.445-0.761) ocupam o sítio tetraédrico, que pode ainda completar-se provavelmente com pequenas quantidade de Ti. O sítio octaédrico é preenchido quase totalmente por Mg (até 5.682 a.f.u.) ocorrendo subordinadamente Ti, Fe²⁺ e Mn. Os sítios intercamadas

são ocupados especialmente por K (até 1.863 a.f.u.), e traços de Ba, Na e Ca.

Pela fórmula estrutural do tipo textural 3 (núcleos de fenocristais e cristais da atriz de hábito prismático e pleocroísmo normal em rocha ultramáfica metassomatizada) tem-se a ocupação do sítio tetraédrico por Si (5.430-5.236 a.f.u.), Al(2.057-1.911 a.f.u.) e parte do Fe^{3+} ou todo Fe (0.740-0.659 a.f.u.). O sítio octaédrico é preenchido principalmente por Mg (4.378-4.015 a.f.u.) com quantidades relevantes de Fe^{2+} (0.589-0.411 a.f.u.) e Ti (até 0.578 a.f.u.). Os sítios intercamadas são ocupados essencialmente por K (até 1.839 a.f.u.) com traços de Ba, Na e Ca.

Observa-se na fórmula estrutural do tipo textural 2 (bordas de mega e fenocristais e cristais da matriz de cor vermelha e pleocroísmo invertido) que o sítio tetraédrico é ocupado por todo Si (5.188-6.035 a.f.u.) , Al (0.022-0.951 a.f.u.) e parte do Fe^{3+} ou todo Fe (1.163-2.255 a.f.u.), que pode ainda completar-se provavelmente com pequenas quantidade de Ti. O sítio octaédrico é preenchido quase totalmente por Mg (até 5.971 a.f.u.) ocorrendo subordinadamente Ti, Fe^{2+} e Mn. Os sítios intercamadas são ocupados especialmente por K (até 1.959 a.f.u.), e traços de Ba, Na e Ca e até de Mg que pela grande quantidade deste elemento, após completar o sítio octaédrico, seu excedente alocado neste sítio. Em realidade, em algumas análises referentes às bordas de tetraferriflogopita de cristais prismáticos em rocha ultramáfica, o Mg apresenta quantidades relevantes neste sítio (até 1.355), ultrapassando os valores de K.

A figura 21 apresenta a distribuição de Al, Mg e Fe para as flogopitas de Catalão. Nota-se que as análises de flogopitas com pleocroísmo normal são plotadas próximas à linha da série flogopita-annita, indicando deficiência em Al. Nota-se também o intervalo de composição ao longo da linha flogopita-tetraferriflogopita. Foi em Catalão que Araújo(1996) registrou a primeira ocorrência conhecida da série completa flogopita-tetraferriflogopita.

Analizando-se de uma forma geral estas flogopitas, nota-se que as principais trocas catiônicas estão relacionadas ao sítio tetraédrico, e que a composição química destas é intrinsecamente relacionada com suas características ópticas, conforme já atestado por Brod et al. (2001). Estas podem ser divididas em dois grupos, baseado em critérios químicos e ópticos: (1) com teores relativamente elevados de Al e Ti e relativamente baixos de Si, Mg e Fe(t), com pleocroísmo normal e (2) com teores elevados de Fe(t) e Si e baixos de Al e Ti com pleocroísmo invertido.

Os intervalos de variação composicional de Si, Al e Fe por toda a completa série flogopita-tetraferriflogopita e suas relações com pleocroísmo invertidos são apresentados na figura 22. Tal figura mostra que nas flogopitas com pleocroísmo normal há uma importante correlação entre Si e Al no sítio tetraédrico. Com valores de Al próximos 1.5 a.f.u. (coincidente com a mudança do pleocroísmo) esta correlação desaparece completamente, e uma forte correlação entre Al e Fe prevalece (Brod et al., 2001).

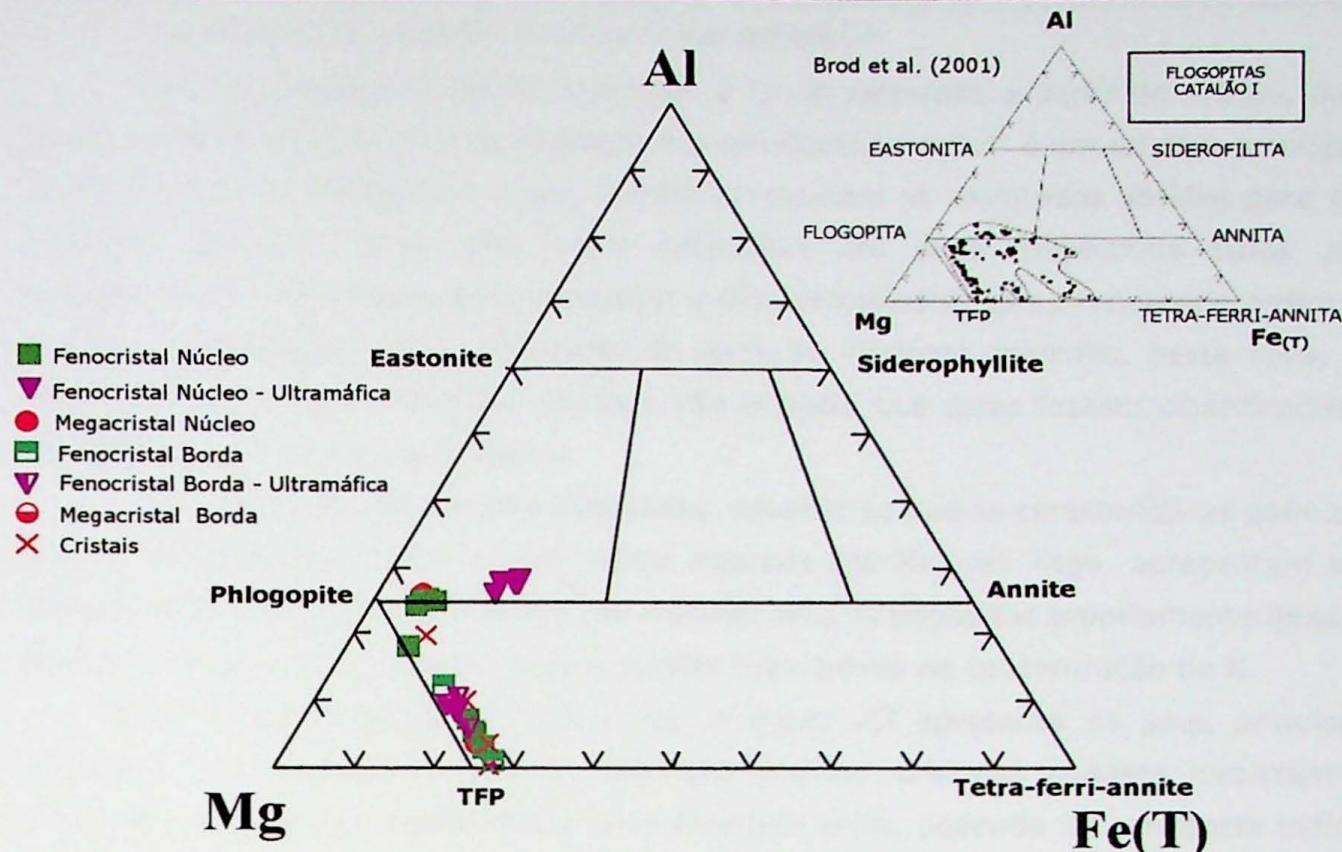


Figura 21. Distribuição de Al, Mg e Fe_{total} para as flogopitas do complexo de Catalão I. Em segundo plano, tem-se os dados obtidos por Brod et al. (2001)

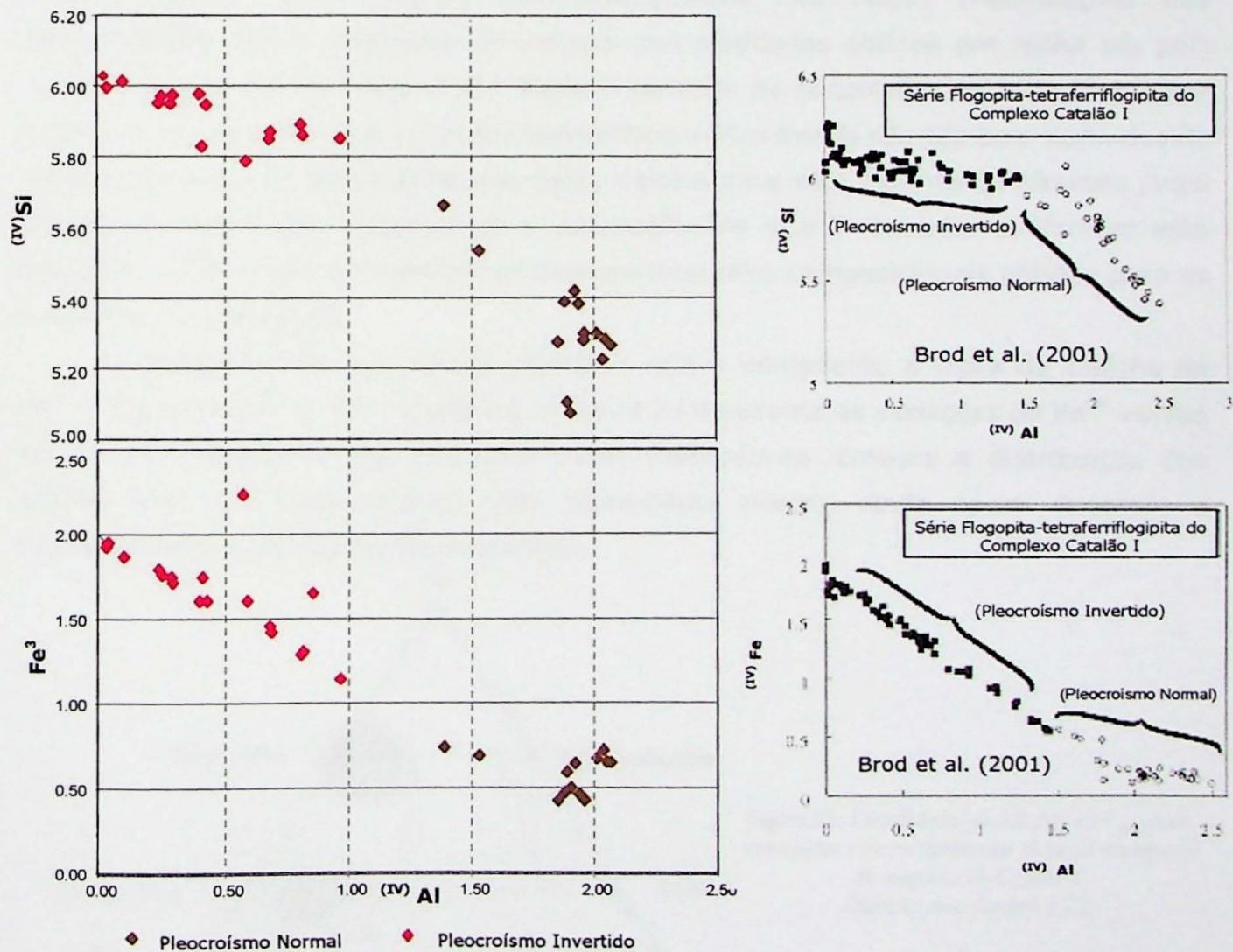


Figura 22. Variações Si versus Al (a.f.u.) e Fe³⁺ versus Al (a.f.u.) no sítio tetraédrico das flogopitas de Catalão. Ao lado são apresentados os dados de Brod et al. (2001).

6.4.2. Vermiculitas e Interestratificados dos diversos Níveis Intempéricos

Para os diversos níveis de alteração, o Fe foi calculado a partir de Fe_2O_3 , dado que o principal produto final de alteração é a vermiculita e o Fe^{3+} é um de seus principais constituintes. As *Tabelas 2 a 6* em *Anexos* apresentam os resultados obtidos para tais análises. Algumas destas não foram subdivididas em seus respectivos sítios pois apresentavam deficiências para completar o sítio tetraédrico, comprometendo assim as demais substituições, numa característica típica de misturas oriundas, neste caso, do processo de alteração. Contudo, tal fator não impediu que estas fossem classificadas e identificadas de forma significativa.

Das amostras estudadas e analisadas, entende-se que as características químicas que os filossilicatos, desde o nível Rocha Alterada até Micáceo Topo, apresentam são basicamente as mesmas. Em relação às análises para as flogopitas propriamente ditas, a principal diferença diz respeito às diminuições significativas na concentração de K.

Quanto aos teores de Al, Fe e Mg, a *figura 23* apresenta os seus principais intervalos composticionais. Pode-se notar que grande parte das análises localizam-se próximas da linha que representa a série flogopita-anita, podendo tal tendência indicar substituição do Mg pelo Fe, aumentando a concentração deste último. Outra hipótese (a mais provável) seria entender que praticamente não houve modificações nas concentrações destes elementos em relação aos resultados obtidos em rocha sã, pois várias análises apresentadas neste trabalho também se encontram na linha flogopita-anita e os dados de Brod et al. (2001) apresentam vários *trends* não tão bem definidos de micas pobres em Al semelhantes aos dados obtidos para este material já alterado (veja *detalhe da figura 21*). Inclusive, as concentrações de Si e Ti também confirmam esta segunda hipótese pois apresentam os mesmos intervalos composticionais obtidos para as flogopitas não alteradas.

Independente de qual destas hipóteses seja a verdadeira, a troca de cátions de Fe^{3+} e Mg ocorreria no sítio octaédrico. A *figura 24* apresenta as variações de Fe^{3+} versus Mg no sítio octaédrico nos principais níveis intempéricos. Embora a distribuição dos valores seja um tanto errática (não plenamente linear), ainda assim sugerem a correlação entre tais elementos neste sítio.

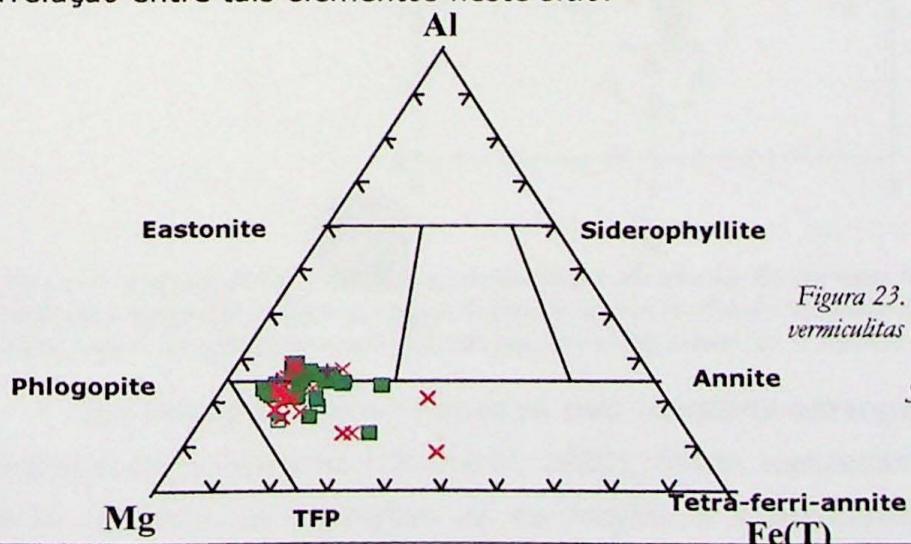


Figura 23. Distribuição de Al, Mg e Fe_{total} para vermiculitas e interestratificados do perfil intempérico do complexo de Catalão I
 Símbolos como na figura 22.

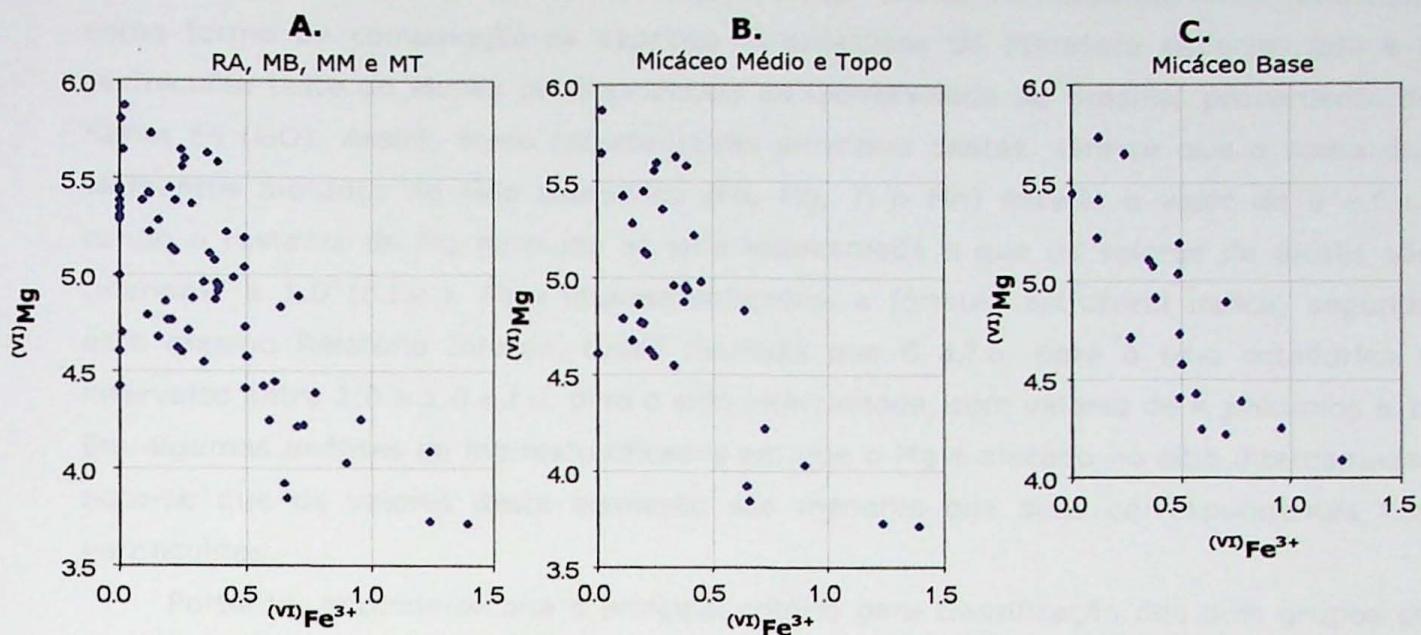


Figura 24. Variação de $(VI)Mg$ versus $(VI)Fe^{3+}$ (a.f.u.) no sítio octaédrico de vermiculitas e interestratificados do Complexo de Catalão I. Provavelmente estas relações são herdadas das anteriores flogopitas e não oriundas do processo intempérico. Em (A.) são apresentados todos os resultados dos diversos níveis; em (B.) e (C.) os resultados de diferentes níveis são separados, indicando uma distribuição extremamente semelhante para estes.

Relacionado com a distribuição do K, principal diferença entre as flogopitas de rocha Sã e filossilicatos de alteração dos diversos níveis intempéricos, nota-se que há uma diminuição significativa de suas quantidades, definindo-se estes minerais em dois grupos, conforme apresenta a figura 25. O primeiro grupo é definido por valores de K próximos a 1 (a.f.u.) e valores de Mg via de regra menores que 6 (a.f.u.). O segundo é definido por valores de K próximos a 0 (a.f.u.) e Mg maior que 5 (a.f.u.).

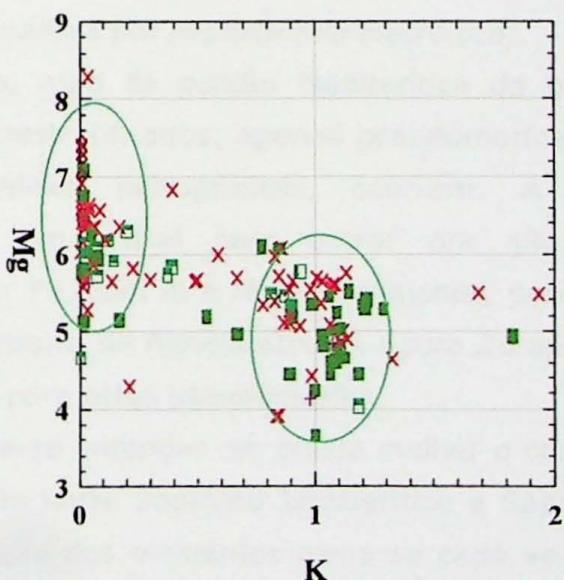


Figura 25. Variação de Mg versus K(a.f.u.) em filossilicatos alterados dos diversos níveis intempéricos do Complexo Catalão I. A partir desta relação pode-se definir dois grupos distintos de minerais de alteração: o primeiro com valores de K próximos a 1 e de Mg menores que 6 e o segundo com valores de K próximos a 0 e de Mg maiores que 5. Símbolos como na figura 22.

Em Relatório Interno fornecido pela Ultrafértil abrangendo os níveis intempéricos Micáceos como um todo (Ultrafértil, 2000), foram realizadas análises por microssonda. Neste relatório, as definições de vermiculita e interestratificados também tem como

principais parâmetros as concentrações de K e Mg. Para as vermiculitas, foram utilizadas como termo de comparação as espécies reconhecidas da literatura especializada e a vermiculita teste do Museu de Geociências da Universidade de Brasília, proveniente de Santa Fé (GO). Assim, como características principais destas, tem-se que a soma dos elementos alocados no sítio octaédrico (Fe, Mg, Ti e Mn) excede o valor de 6 a.f.u., sendo o restante de Mg atribuído ao sítio intercamada e que os valores de álcalis são inferiores a 1.0 (a.f.u.). Para interestratificados, a fórmula estrutural indica, segundo este mesmo Relatório Interno, totais menores que 6 a.f.u. para o sítio octaédrico e intervalos entre 1.8 a 1.0 a.f.u. para o sítio intercamada, com valores de K próximos a 1. Em algumas análises de interestratificados em que o Mg é alocado no sítio intercamada, nota-se que os valores deste elemento são menores que seus correspondentes nas vermiculitas.

Portanto, entende-se que o principal critério para classificação dos dois grupos de filossilicatos identificados é a quantidade de K, seguido pela quantidade de Mg. A partir destes reconhece-se a vermiculita e o interestratificado regular já definidos pelas análises por difratometria de raios X.

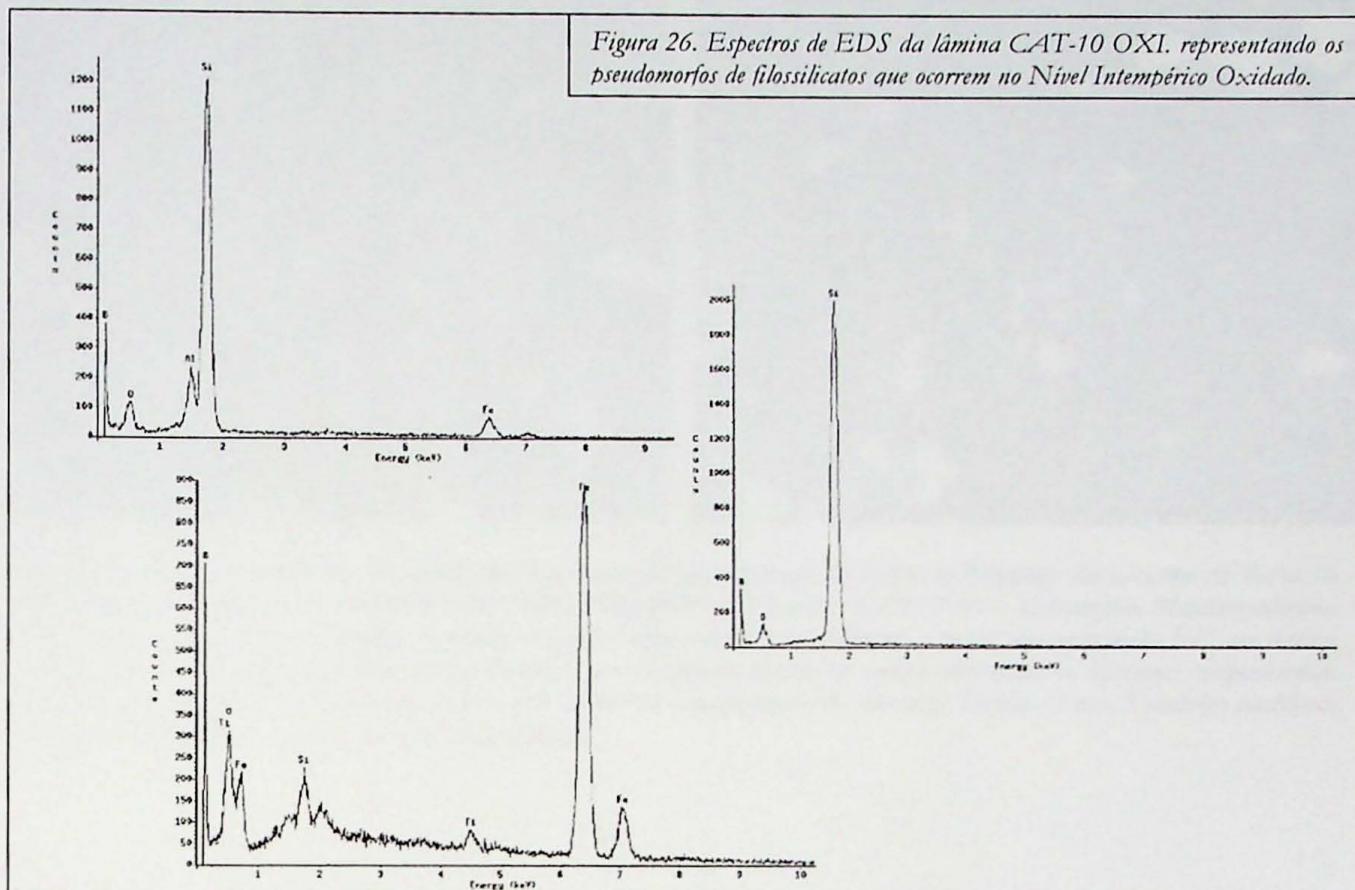
Estes dois “grupos” ocorrem em todos os níveis intempéricos (até Micáceo Topo) com as mesmas características químicas, embora petrograficamente a percolação de hidróxidos de Fe tenha conduzido a características texturais um pouco distintas (ver 6.2. *Análises Petrográficas Microscópicas*).

A partir do Nível Micáceo Topo as transformações passam a ser mais intensas, passando a ocorrer em amostras deste nível pseudomorfos de filossilicatos, caracterizados pela elevada concentração relativa de Fe e com fechamento bastante irregular, indicando lixiviação dos principais elementos (Al, Si e Mg principalmente – ver *Tabela 6 em Anexos- Análises por Microssonda Eletrônica*).

No nível Oxidado, topo da porção Isoalterítica do perfil, não ocorrem mais as vermiculitas ou os interestratificados. Apenas pseudomorfos de filossilicatos, que foram identificados nas análises petrográficas, ocorrem. A composição destes varia significativamente de um cristal para outro: ora são constituídos por Si, ora predominantemente por Fe, com Al e Mg subordinados, porém nunca em concentrações compatíveis com a estrutura de filossilicatos. A figura 26 apresenta alguns espectros de EDS que foram obtidos para estes pseudomorfos.

Desta forma, pode-se entender um pouco melhor o comportamento dos elementos químicos nesta transição entre Saprolito Isoalterítico e Saprolito Aloterítico. A partir de Micáceo Topo, a lixiviação dos elementos torna-se cada vez mais intensa, restando na estrutura ou apenas o Fe (já na forma de hidróxido) ou apenas o Si, e eliminando progressivamente os demais elementos. A partir disso a estrutura do mineral não consegue mais se manter, levando à sua desagregação. No final do Nível Oxidado este evento que ocorre na microestrutura passa ocorrer na macro e megaestrutura, gerando o nível aloterítico, não preservando as estruturas ou o arranjo original das rochas do

Complexo. Esta alteração das vermiculitas e interestratificados que acaba de ser descrita contribuiu de maneira significativa para a geração do nível aloterítico, uma vez que, de uma forma geral, estes filossilicatos possuem elevada (senão predominante) concentração no perfil.



6.5. Aquisição de Imagens de Elétrons Retroespalhados (Backscattered electron image).

Efetuaram-se imagens de eletrons retroespalhados (*backscattered electron image*) de cristais de flogopita, vermiculita e interestratificados, que permitem entender um pouco mais sobre as alterações dos minerais micáceos. Estas imagens se encontram nas *figuras 27-30*.

Nas imagens das flogopitas propriamente ditas, pode-se notar novamente que as características ópticas estão intimamente ligadas com as químicas: da mesma forma que nas análises petrográficas microscópicas, os contatos flogopita-tetraferriflogopita são bruscos, com bordas mais ricas em Fe e núcleos mais aluminosos.

Pelas imagens de lâminas referentes ao perfil intempérico, nota-se que a eliminação de K se dá tanto das bordas para o centro quanto pelos planos de clivagem, a partir de onde se formam "lamelas" de vermiculita nos cristais de interestratificados. Nota-se em algumas lâminas que alguns cristais da matriz já foram inteiramente transformados para vermiculita, já praticamente sem nenhum K. Tal fato indica que a formação dos interestratificados é uma fase transicional da completa transformação de micas (flogopitas neste caso) para vermiculitas.

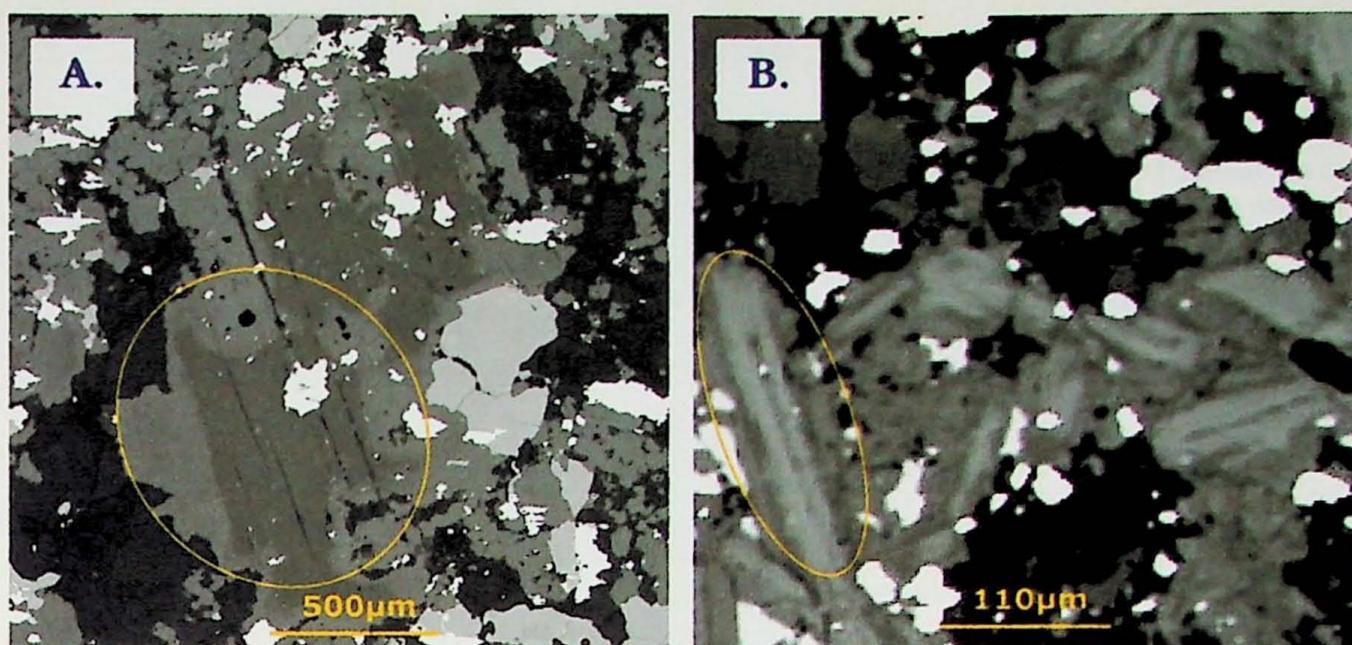


Figura 27. Imagens de Elétron Retroespalhado (Backscattered Electron Image) de cristais de Flogopitas das amostras de Rocha Sã do Complexo Catalão I. (A.) Lâmina CAT-19-02 – Flogopitito. (B.) Lâmina CAT-19-06 – Ultramáfica Metassomatizada. Nas duas imagens nota-se a presença de estrutura zonada, representando principalmente a maior concentração de Fe^{3+} nas bordas dos cristais (tetraferriflogopita). Nos núcleos do fenocrystalas selecionados podem ser melhor observadas as diferenças compostionais entre os tipos texturais 1 e 3, com núcleo de A. mais aluminoso e magnesiano e B. com mais Titânio e Ferro. Condições analíticas: potencial de aceleração: 15 keV, corrente do feixe: 20 μA .

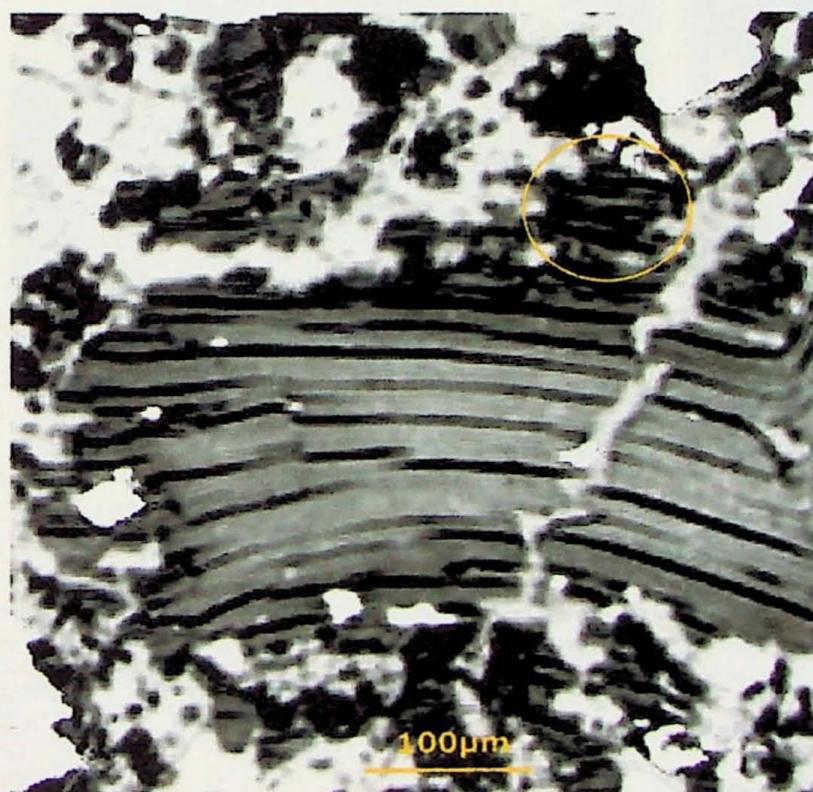


Figura 28. Imagens de Elétron Retroespalhado (Backscattered Electron Image) de cristal de Interestratificado com lamelas de vermiculita das amostras no limite entre Rocha Sã e Rocha Alterada do Complexo Catalão I. Lâmina CAT-19-09. Nas bordas do fenocrystal nota-se coloração mais escura e no núcleo mais clara. Tal variação representa principalmente as diferenças nas concentrações de K, com bordas escuras indicando quase total ausência deste elemento e porões claras ainda apresentando concentrações significativas. Também lâmelas de cor cinza escura a negra ocorrem no interior do cristal, indicando uma alteração também relacionada com os planos de clivagem. Petrograficamente, a cor de tais "lamelas" é amarelo claro, enquanto o cristal como um todo apresenta tonalidade amarronzada. Na região circulada, apresenta-se um cristal da matriz quase que totalmente vermiculitzado. Condições analíticas: potencial de aceleração: 15 keV, corrente do feixe: 20 μA .

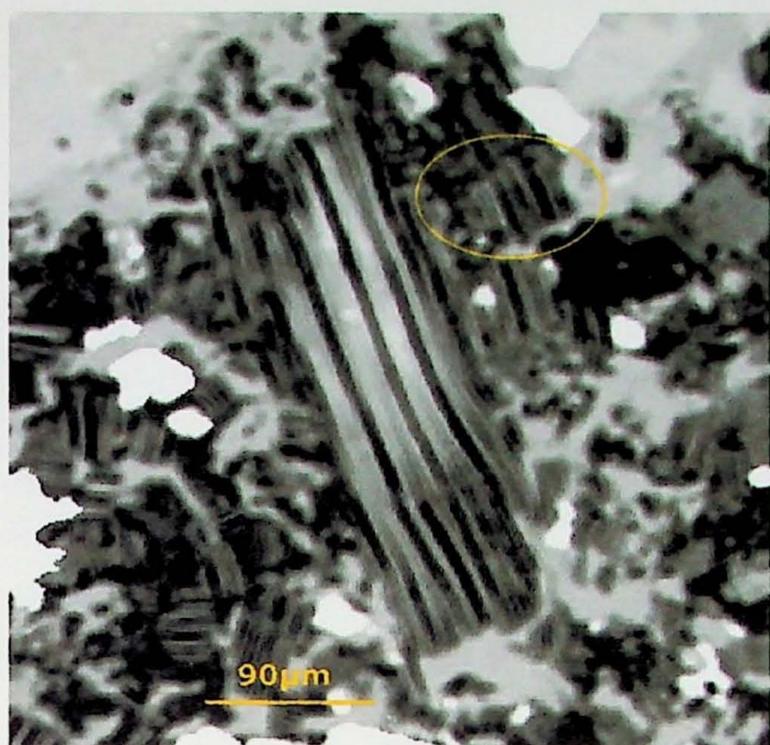


Figura 29. Imagens de Elétron Retroespalhado (Backscattered Electron Image) de cristal de Interestratificado com lamelas de vermiculita das amostras no limite entre Rocha Sã e Rocha Alterada do Complexo Catalão I. Lâmina CAT-19-09. Nas bordas do fenocristal nota-se coloração mais escura e no núcleo mais clara. Tal variação representa principalmente as diferenças nas concentrações de K, com bordas escuras indicando quase total ausência deste elemento e porções claras ainda apresentando concentrações significativas. Petrograficamente, a cor de tais “lamelas” é amarela claro, enquanto o cristal como um todo apresenta tonalidade amarronzada. Na região circulada, apresenta-se um cristal da matriz quase que totalmente vermiculitizado. Condições analíticas: potencial de aceleração: 15 keV, corrente do feixe: 20 μA.

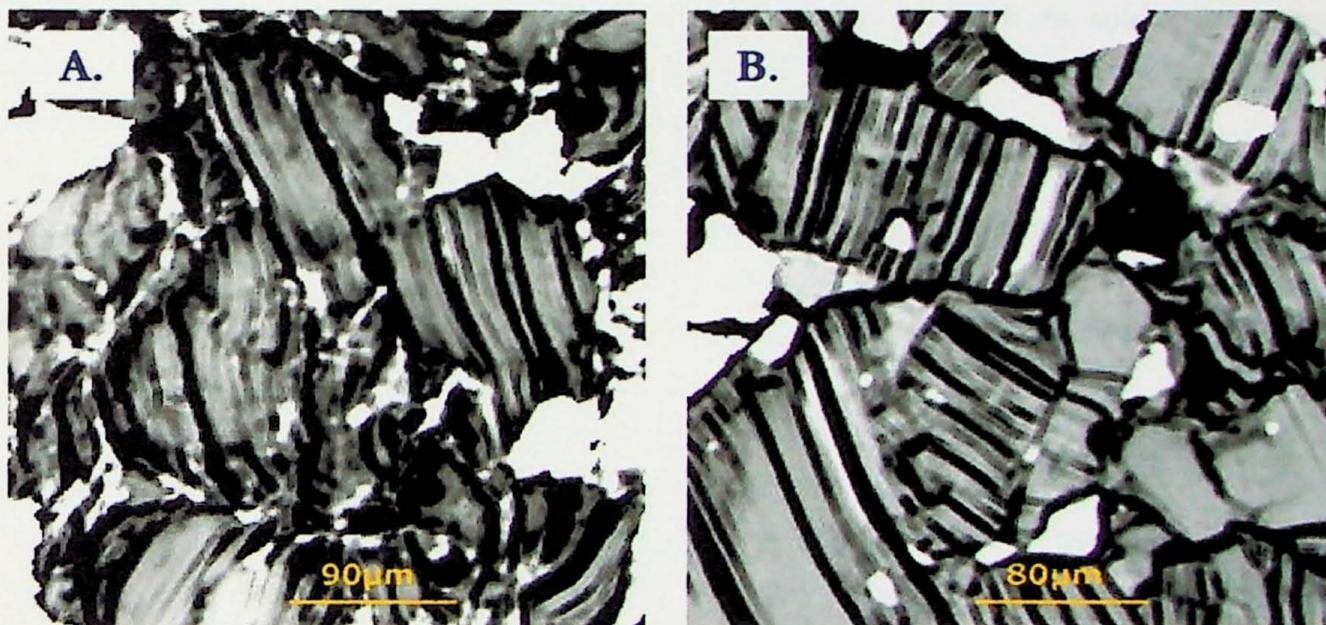


Figura 30. Imagens de Elétron Retroespalhado (Backscattered Electron Image) de cristais de vermiculitas e interestratificados de amostras dos Níveis Rocha Alterada e Micáceo Base. (A.) Lâmina CAT-01RA. (B.) Lâmina CAT-20MB. Novamente nota-se a variação de tons de cinza nos cristais, representando principalmente as diferenças nas concentrações de K. As partes escuras (até negras) indicam quase total ausência deste elemento e grandes quantidades de Fe³⁺ e porções claras ainda apresentando concentrações significativas de K. Este tipo de alteração sugere que os interestratificados são minerais de transição no processo de vermiculitização das flogopitas. Condições analíticas: potencial de aceleração: 15 keV, corrente do feixe: 20 μA.

7. INTERPRETAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A formação de vermiculitas, tanto trioctaédricas como dioctaédricas, está mais freqüentemente ligada a alteração de minerais micáceos, neste caso estudado, flogopitas e tetraferriflogopitas. Segundo Douglas (1989), este tipo de alteração pode ser subdividido em estágios distintos, ou fatores que afetam a alteração: (i) liberação de K^+ , (ii) oxidação de Fe^{2+} , e (iii) orientação de OH. Estas reações podem ser atenuadas pela presença de ácidos orgânicos e outros ácidos que favorecem a formação de Al-hidroxi-intercamadas.

O modo de liberação do K^+ das posições intercamadas e sua substituição por outros ions pode ser considerado um processo difusivo. O potássio pode se difundir a partir de todas as intercamadas, com micas evoluindo diretamente para vermiculitas. Em outros casos, K^+ pode se difundir ao longo de um plano (001) específico, mas não a partir de planos adjacentes a (001). Esta última situação gera, nas micas, zonas em forma de cunha totalmente sem potássio. Este processo resulta nos amplamente conhecidos minerais interestratificados mica-vermiculita.

Estes interestratificados, portanto, representam produtos de transformação intermediários. Tanto interestratificados regulares quanto irregulares, di- ou trioctaédricos, podem ocorrer em uma ampla variedade de tipos de solos. Entretanto, porque representam produtos intermediários de transformação, não espera-se encontrá-los de forma ampla em solos antigos e amplamente alterados.

Conforme relatado por Wilson (1999) um dos principais interestratificados de meios intemperizados é a hidrobiotita. Este mineral consiste em cristais bem formados (não apenas na fração argila) de camadas alternadas de biotita e vermiculita, não expansivo, derivado do intemperismo da biotita, aparecendo de forma relativamente rápida.

A continuidade do intemperismo de micas vermiculizadas resulta numa mais baixa carga negativa na cadeia silicática, conduzindo a formação de produtos esmectíticos tanto de natureza di- quanto trioctaédricas. Em última instância, pode-se formar um mineral interestratificado com as características de difratometria de raios X equivalentes às da rectorita. Porém, não a própria rectorita, que é um interestratificado regular de illita(mica)-esmectita de caráter diagenético (Gaines et al., 1997), e não de alteração intempérica.

Assim, diante dos dados obtidos tanto por difratometria de raios X quanto por análises de dispersão de comprimento de onda (microssonda eletrônica), entende-se que o processo de vermiculização das flogopitas do Complexo Catalão I gera diferentes produtos (vermiculita e interestratificado flogopita-vermiculita – de formação e características similares à hidrobiotita), relacionados principalmente com a perda de potássio destas micas e atingindo, como consequência deste processo, em porções

superiores do perfil (a partir de Micáceo Topo), produtos esmectíticos (interestratificados com expansividade e características semelhantes às da rectorita e mesmo a esmectita) pontualmente localizados.

A figura 31 abaixo apresenta principais caminhos para a formação de argilominerais em solos (Wilson, 1999), juntamente com a seqüência de evolução intempérica obtida para as flogopitas do Complexo Catalão I.

CATALÃO I – TRANSFORMAÇÕES

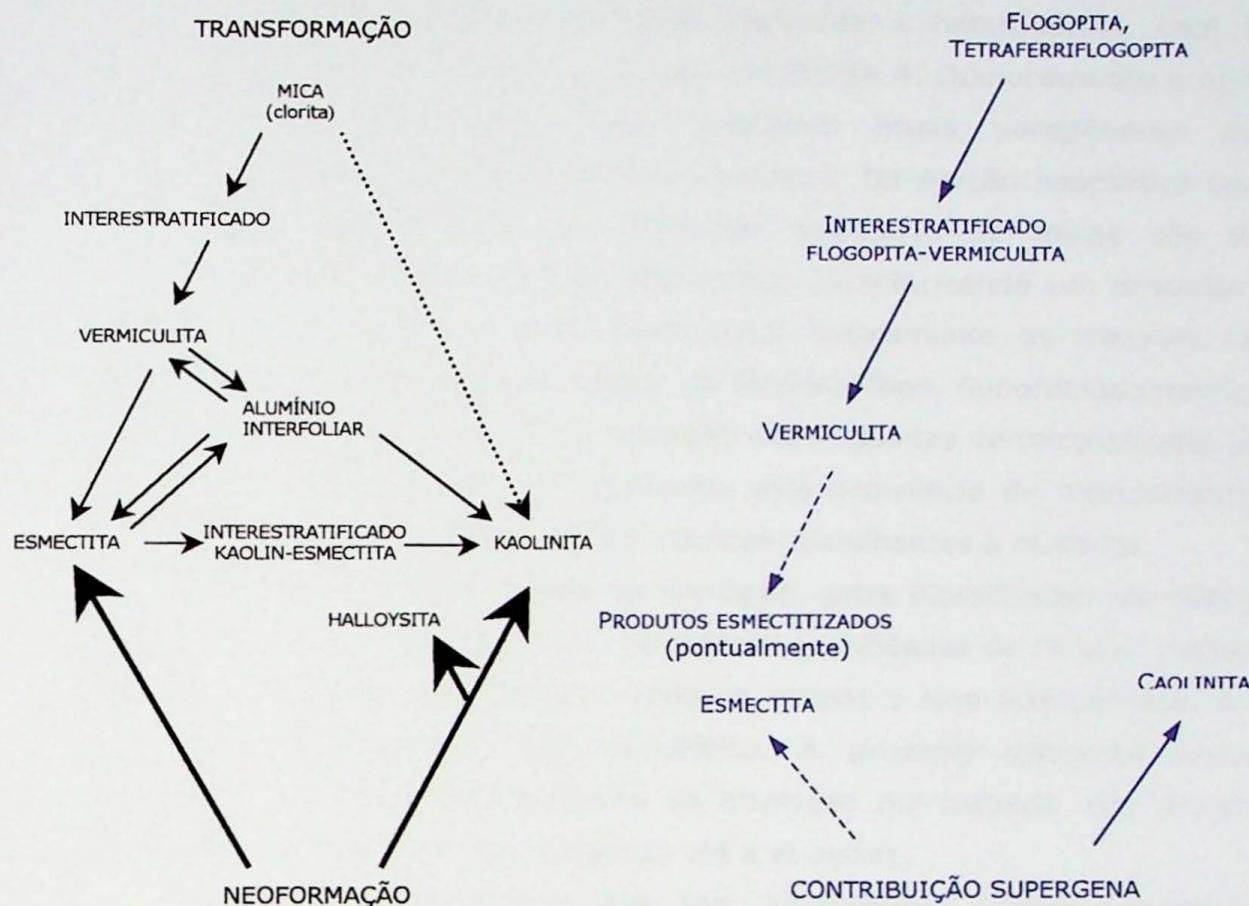


Figura 31. Caminhos para a formação de argilominerais em solos. (Modificado de Wilson, 1999). Ao lado apresenta-se a proposta de evolução das flogopitas no perfil intempérico do Complexo Catalão I.

A caolinita, identificada em análises de raios X nos níveis superiores do perfil, provavelmente está associada a uma contribuição supérgena, conforme já propôs Imbernon (1993). O mesmo também pode ocorrer para a esmectita.

Cabe salientar que a perda das características de tetraferriflogopita e mesmo da flogopita, para as rochas dos diversos níveis intempéricos a partir de Rocha Alterada, é perfeitamente compreensível. No processo de vermiculização, após a perda do K^+ , o segundo estágio envolvido é a oxidação do Fe^{2+} alocado no sítio octaédrico (Douglas, 1989). O processo que condiciona tal mudança de valência, também é responsável pela liberação de parte deste Fe para reequilíbrio estrutural. Esta perda é maior para as micas que possuem maior relação Fe^{2+}/Mg^{2+} . De forma que a realocação dos cátions, devido ao processo de alteração, condiciona à perda das características originais das micas.

8. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O perfil intempérico de Catalão I é extremamente complexo e heterogêneo em sua distribuição, com variação de níveis ocorrendo tanto na escala vertical como na horizontal. Analisando-se a evolução do perfil laterítico, entende-se que este possui uma evolução convergente em termos dos produtos de alteração, com concentração de Fe e Si na parte superior do perfil.

Com relação aos micáceos, objeto deste trabalho, análises macroscópicas mostram que a distribuição destes e de seus derivados é heterogênea, com muito maior concentração relativa na Frente 1 do que na Frente 4. Quimicamente e opticamente, os micáceos são classificados como flogopitas (duas paragêneses diferentes) e tetraferriflogopita (produto de metassomatismo). Na porção saprolítica isoalterítica, os filossilicatos (argilominerais por definição) derivados da micas são vermiculita e interestratificado regular flogopita-vermiculita, caracterizando um processo principal de vermiculitização. Estes minerais apresentam basicamente as mesmas características químicas desde o nível Rocha Alterada até Micáceo Topo. Subordinadamente, em porções superiores e pontuais do perfil, a alteração das flogopitas vermiculitzadas gera produtos esmectíticos, caracterizado principalmente pela ocorrência de interestratificado regular expansível com características difratométricas semelhantes à rectorita.

Como características relevantes principais, estes filossilicatos são deficientes em Al, extremamente ricos em Mg, e com relevantes quantidades de Fe com valência 3⁺. O Mg, inclusive, devido ao seu excesso, chega a ocupar o sítio intercamada, além de ser o principal componente do sítio octaédrico. A principal diferença entre as micas propriamente ditas e seus produtos de alteração diz respeito aos teores de K⁺ que diminuem significativamente, chegando até a escassez.

Desta forma, entende-se que tais informações podem contribuir de forma significativa, fornecendo parâmetros para um melhor beneficiamento e consequentemente melhor aproveitamento do minério.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, A.L.N. CARLSON, R.W. GASPAR, J.C. BIZZI, L.A. 2001. Petrology of kama fugites and kimberlites from the Alto Paranaíba Alkaline Province, Minas Gerais. Brasil. Contrib. Mineral Petrol. V. 142. p.163-177.
- ARAÚJO, D.P. 1996. Metassomatismo no complexo carbonatítico Catalão I: implicações para a composição do magma carbonatítico e para o metassomatismo carbonatítico do manto superior. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília.
- ASSIS, S.M. 1996. Aspectos Fundamentais da Flotação do Minério Fosfático de Tapira, MG. Tese de Doutoramento em Tecnologia Mineral. Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 211p.
- BAECKER, M.L. 1983. A mineração de Nióbio do solo residual laterítico e a petrografia das rochas ultramáficas-alcalinas do Domo de Catalão I, Goiás. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. 113p.
- BAILEY, S.W. (ed.) 1984. Micas. Mineralogical Society. London, 495p.
- BORN, H. & KAHN, H. 1990. Caracterização geológica e mineralógica voltada ao aproveitamento de jazimento fosfáticos. V Encontro Nacional de Rocha Fosfática. IBRAFOS. São Paulo.
- BROD, J.A. GASPAR, J.C. ARAÚJO, D.P. GIBSON, S.A. THOMPSON, R.N., JUNQUEIRABROD, T.C. 2001. Phlogopite and tetra-ferriphlogopite from Brazilian carbonatite complexes: petrogenetic constraints and implication for mineral-chemistry systematics. Journal of Asian Earth Sciences, V 19, p.265-296.
- CARVALHO, W.T. 1974. Aspectos Geológicos e Petrográficos do Complexo Ultramáfico Alcalino de Catalão I, Goiás. Anais 28º Congr. Bras. Geol. , Porto Alegre, SBG, V 5, p.213-219.
- DANNI, J.C.M. BAECKER, M.L. RIBEIRO, C.C. 1991. The Geology os the Catalão I carbonatite complex. In: Leonards, O.H. Meyer, H.O.A. Gaspar, J.C. eds. Field Guide Book. Fifth International Kimberlite Conference. CPRM. Araxá. p.25-30.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A., ZUSSMAN, J., 1992. An introduction to the Rock-Forming Minerals. Second Edition. Logman Scientific & Technical, 696p.
- DOUGLAS, L.A. 1989. Vermiculites. In: Dixon, J.B. & Weed, S.B. (Eds.). *Minerals in Soils Environments*. SSSA Book Series nº1, Second Edition, Madison, Wiscosin, EUA, p. 635-674.
- GAINES, R.V., SKINNER, H.C.W., FOORD, E.E., MASON, B., ROSENZWEIG, A. 1997. Dana's New Mineralogy: the system of mineralogy of James Dwight Dana and Edward Salisbury Dana. Eight Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. p115-117.
- GASPAR, J.C. & ARAÚJO, D.P. 1995. Reaction products of carbonatite with ultramafic rocks in the Catalão I complex, Brazil: implications for mantle metasomatism. Proceedings of the 6th International Kimberlite Conference. Extended Abstracts. Novosibirsk, p.181-183.

- GIERTH, O.H.; LEONARDOS JR., O.H.; BAECKER, M.L. 1975. Some mineralogical characteristics of the main constituinte of the unweathered section of the Carbonatite Complex Catalão I, Goiás, Brasil. Contribuições à Geologia e à Petrologia. Núcleo de Minas Gerais. Boletim Especial, SBGM., p.45-48.
- GOMES, C.B. 1984. Microssonda Eletrônica: Princípios e Aplicações na Geologia. In: GOMES, C.B. coord. *Técnicas Analíticas instrumentais aplicadas à Geologia*. São Paulo, Edgard Blüncher: Prominério. p. 159-203.
- HASUI, Y. & CORDANI, U.G. 1968. Idades Potássio-Argônio de rochas eruptivas Mesozóicas do Oeste Mineiro e Sul de Goiás. *Anais 22º Congr. Brasil. Geol.*, Belo Horizonte, SBG, p. 139-143.
- HIRANO, H.; KAMITANI, M.; SATO, T.; SUDO, S. 1987. Niobium Mineralization of Catalão I Carbonatite Complex, Goiás, Brazil. Geological Survey of Japan. Report of International Research and Development Cooperation. ITIT Projects Nº 8316, p. 23-55.
- IBGE, 1988. Geografia do Brasil – Região Centro-Oeste. Rio de Janeiro, V1, 268pp.
- IMBERNON, R.A.L. 1993. Evolução geoquímica e mineralógica dos produtos de alteração intempérica sobre as rochas do Complexo Alcalino-Carbonatítico de Catalão I, Goiás. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 131p.
- KAHN, H. 1986. Subprojeto de Investigações dos testemunhos de sondagens do minério de fosfato de Catalão. Relatório Interno Ultrafértil. São Paulo. Paulo Abib Engenharia.
- MARQUES, J.F. 2002. Extrações Seqüenciais no estudo do comportamento de metais pesados (PB, Zn, Cu) no solo impactado da indústria Tonolli do Brasil, Jacareí – SP. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. (No prelo).
- MOORE & REYNOLDS, 1989. X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. Oxford University Press.
- OLIVEIRA, S.M.B. & IMBERNON, R.A.L. 1998. Weathering and REE concentration in the Catalão I carbonatitic complex, Central Brazil. *J. South Amer. Earth. Sci.*, 11 (4):379-388.
- PEREIRA, V.P. 1995. Alteração no Maciço Alcalino-carbonatítico de Catalão I (GO, Brasil). Tese de Doutorado em Geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 279p.
- RIBEIRO, C.C. 1989. Reavaliação das reservas de fosfatos da Goiasfértil. Relatório Interno para o DNPM.
- RIBEIRO, C.C. & GASPAR, J.C. 2000. Hydrothermal horizontal layered rocks with monazite and ampatite mineralizations in Catalão I complex, Brazil. *Abstract 31st International Geological Congress*. Rio de Janeiro. CD-Rom Abstract volume.

-
- RIBEIRO, C.C. 2001. Controle e Gênese das Mineralizações de apatita, nióbio, monazita, titânio e vermiculita no complexo carbonatítico Catalão I. Exame de Qualificação. Instituto de Geociências. Universidade de Brasília. 83p.
- RIBEIRO, C.C. CARVALHO, E.A. NETO, Y.F. 1990. Tratamento Matemático na Caracterização Tipológica de Minérios de Fosfatos. *Anais do Simpósio de Caracterização Tecnológica na Engenharia e Indústria Mineral*. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. p.59-82.
- RIEDER, M. (chairman), 1999. Nomenclature of the micas. *Mineral. Mag.*, 63 (2), p. 267-279.
- TOLEDO, M.C.M. 1999. Mineralogia dos principais fosfatos do maciço Alcalino-Carbonatítico de Catalão I (GO) e sua Evolução no perfil Laterítico. Tese de Livre Docência. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 193p.
- ULTRAFÉRTIL S.A. 2000. Caracterização do Minério Micáceo da mina de Catalão – Ultrafértil. Relatório Interno. 62p.
- WILSON, M.J. 1999. The Origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. *Clay Minerals*, V. 34, p.7-25.

ANEXOS

Sumário

Difratogramas de Raios X.....	A01
Amostra Total	A01
Amostras de Faixas Granulométricas	A05
Amostras de Faixas Granulométricas com Tratamento	A30
Analises por Microssonda Eletrônica.....	A33

TABELA 1. Composição química em porcentagem de peso de Flagopitas do Complexo Carbonatítico Catalão I. Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{2+} . Fe^{3+} necessário para preencher sítio tetraédrico. Abreviações: N- núcleo; B- borda; I- porção intermediária

A34

TABELA 2. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I. Nível Intempérico: Limite entre Rocha Sã e Rocha Alterada. Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{3+} , uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção intermed.

A37

TABELA 2A. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I Nível Intempérico: Limite entre Rocha Sã e Rocha Alterada. Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{3+} , uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção intermed. Os Elementos não foram subdivididos em seus respectivos sítios pois são representativas de material já com maior alteração, apresentando deficiências no sítio tetraédrico (< 8) ou mesmo de misturas

A39

TABELA 2B. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico: Limite - Rocha Sã e Rocha Alterada. Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{2+} , pois as micas nestas amostras (de rocha carbonatítica) petrograficamente não apresentavam indícios de alteração. Abrev.: N- núcleo; B- borda; L -lamela de alteração. Os Elementos não foram subdivididos em seus respectivos sítios pois são representativas de material já com maior alteração, apresentando deficiências no sítio tetraédrico (< 8), ou mesmo de misturas

A40

TABELA 3. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico Rocha Alterada. Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{3+} , uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção intermediária.

A41

TABELA 3A. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico: Rocha Alterada. Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{3+} , uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção intermediária. Os Elementos não foram subdivididos em seus respectivos sítios pois são representativas de material já com maior alteração, apresentando deficiências no sítio tetraédrico (< 8) ou mesmo de misturas

A42

TABELA 4. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico Micáceo Base. Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{3+} , uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção intermed.

A44

TABELA 5. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico Micáceo Médio. Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{3+} , uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção intermed.

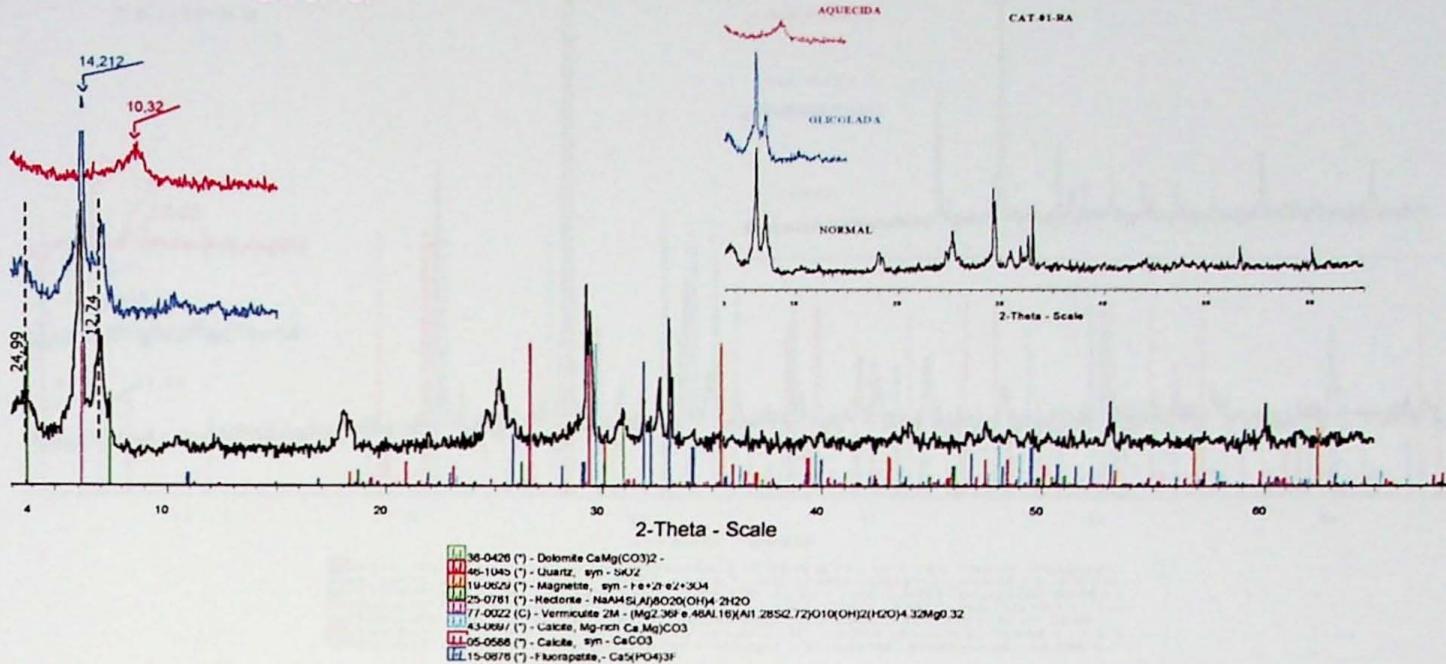
A46

TABELA 6. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico Rocha Alterada. Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{3+} , uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção intermed.

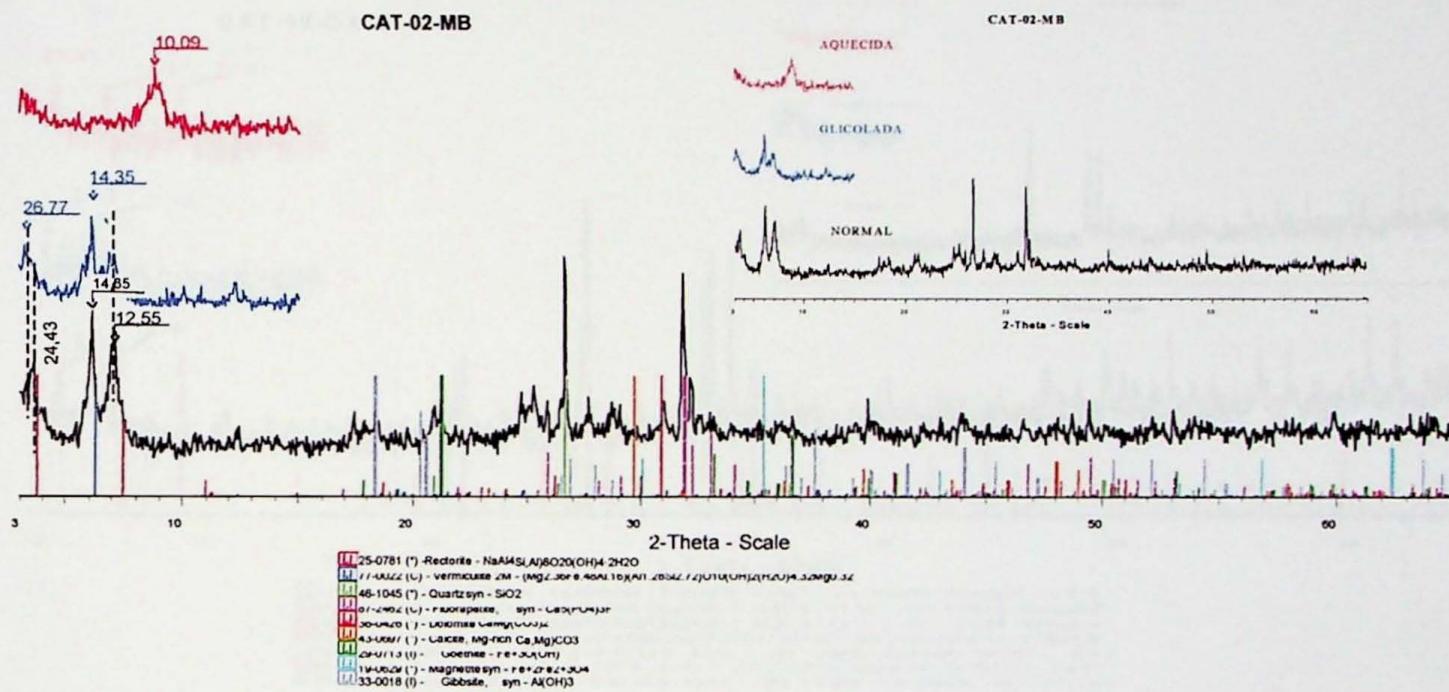
A49

*Difratiogramas de Raios X
Amostra Total*

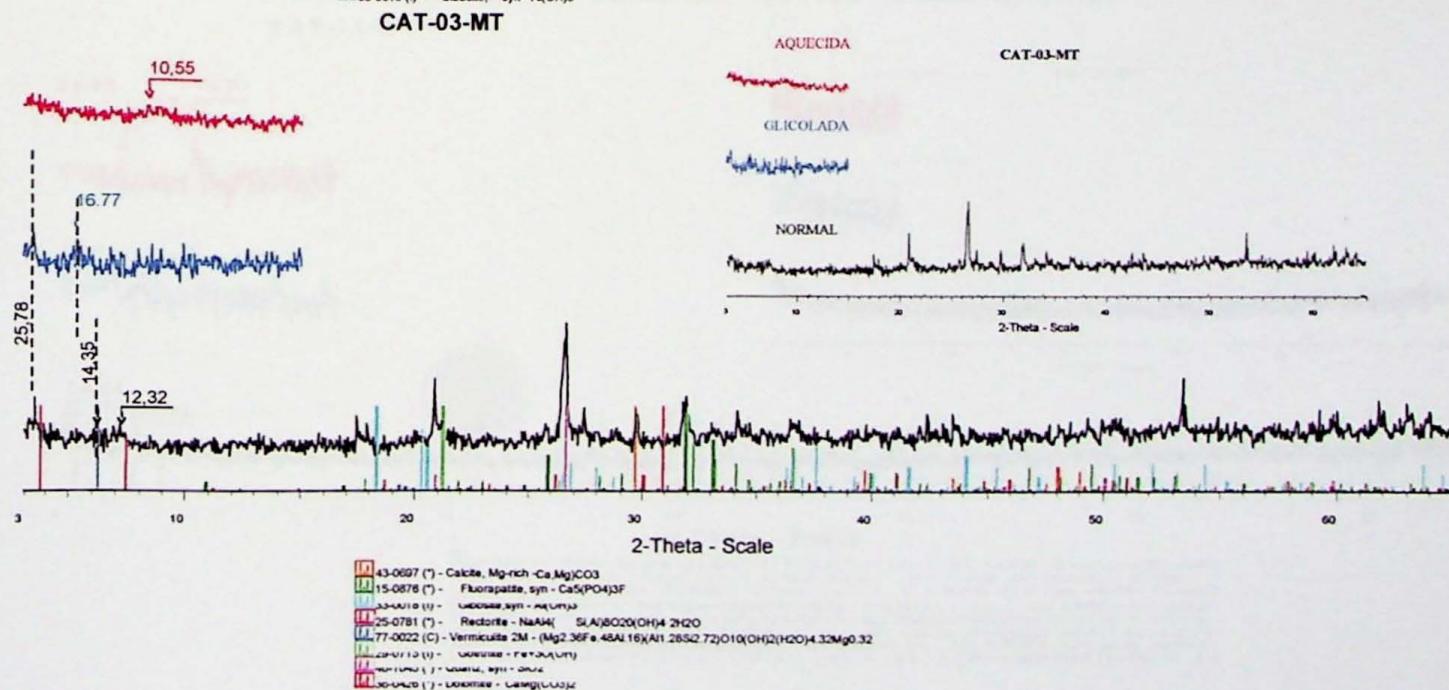
CAT-01- RA

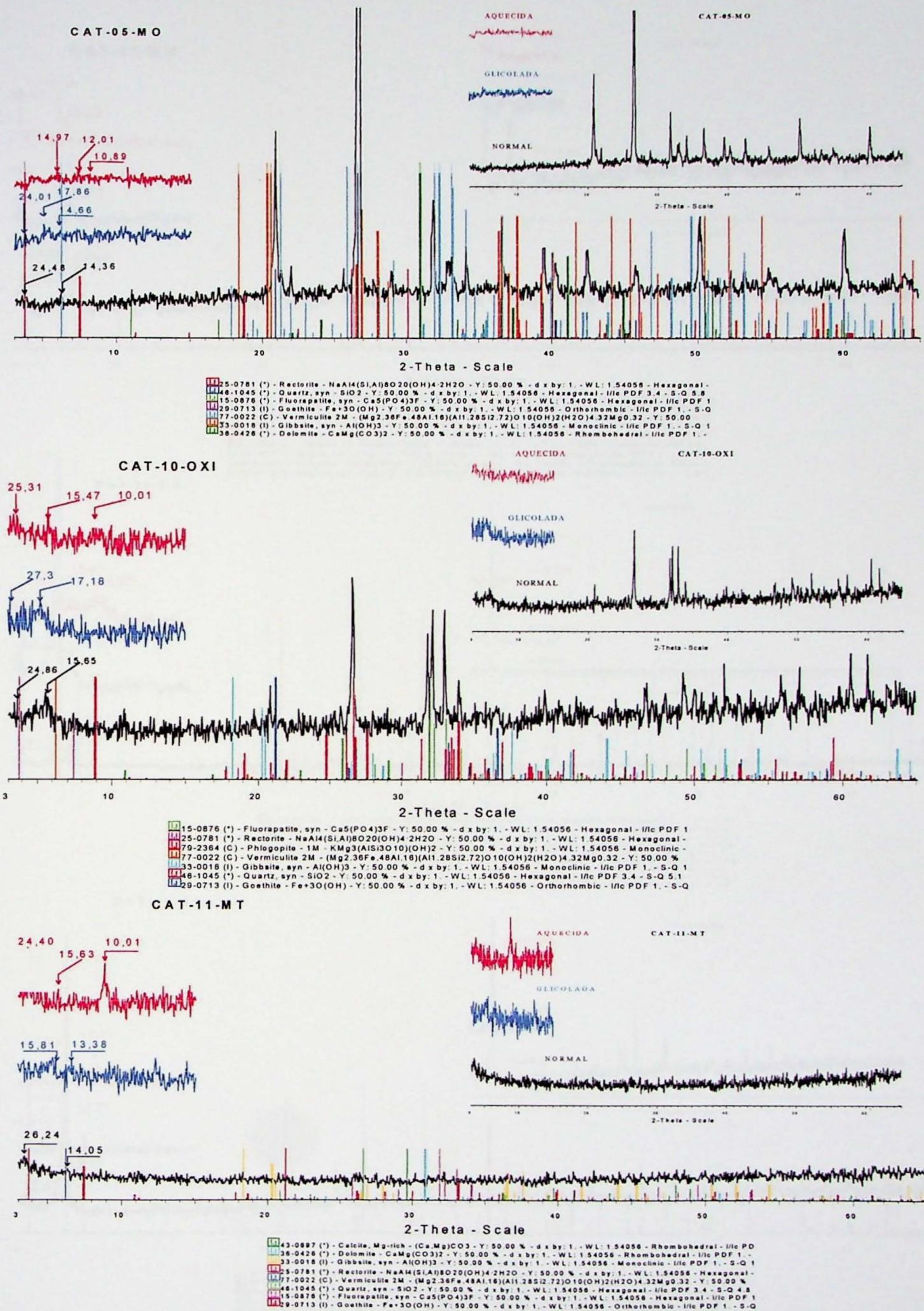


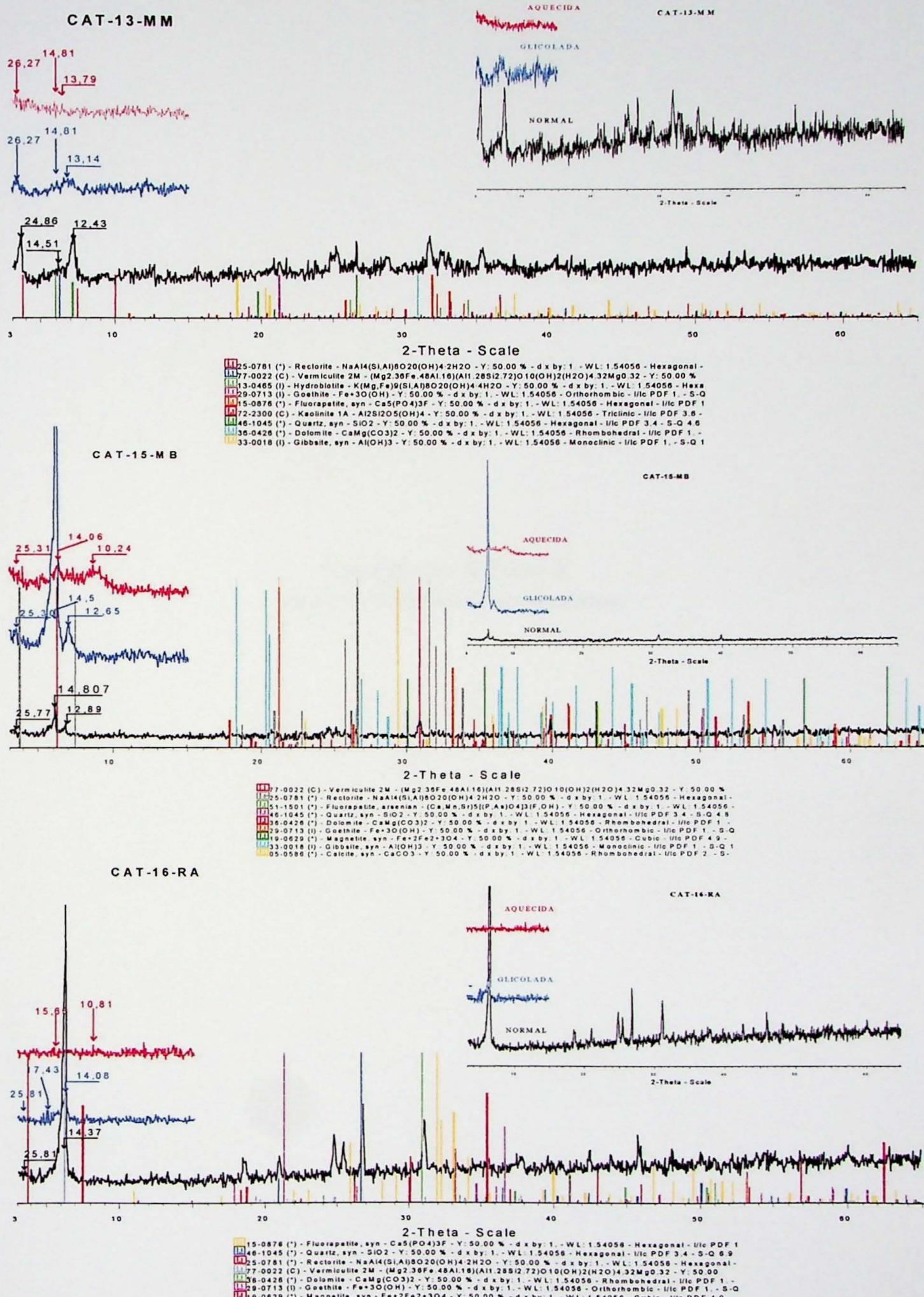
CAT-02-MB



CAT-03-MT

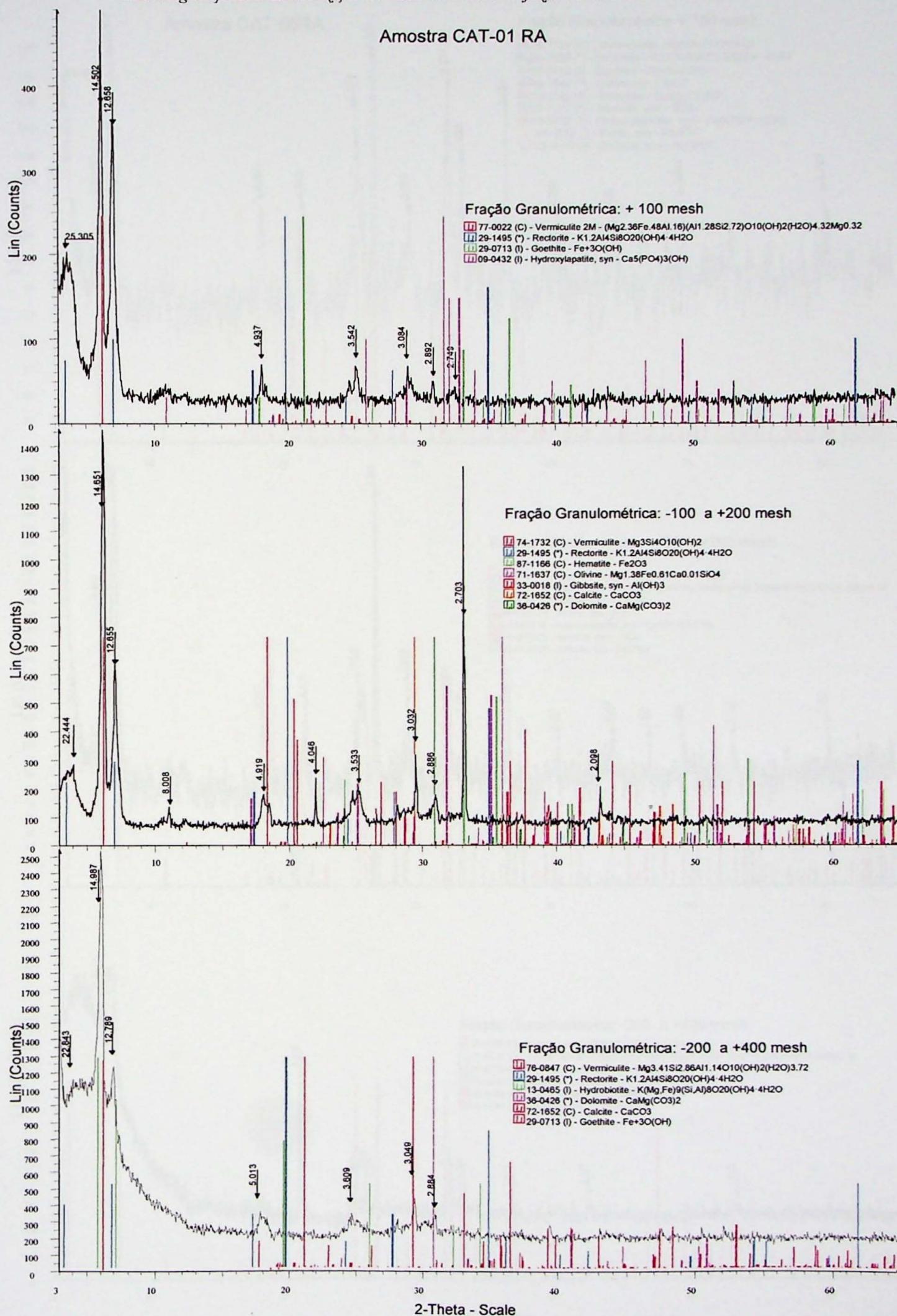


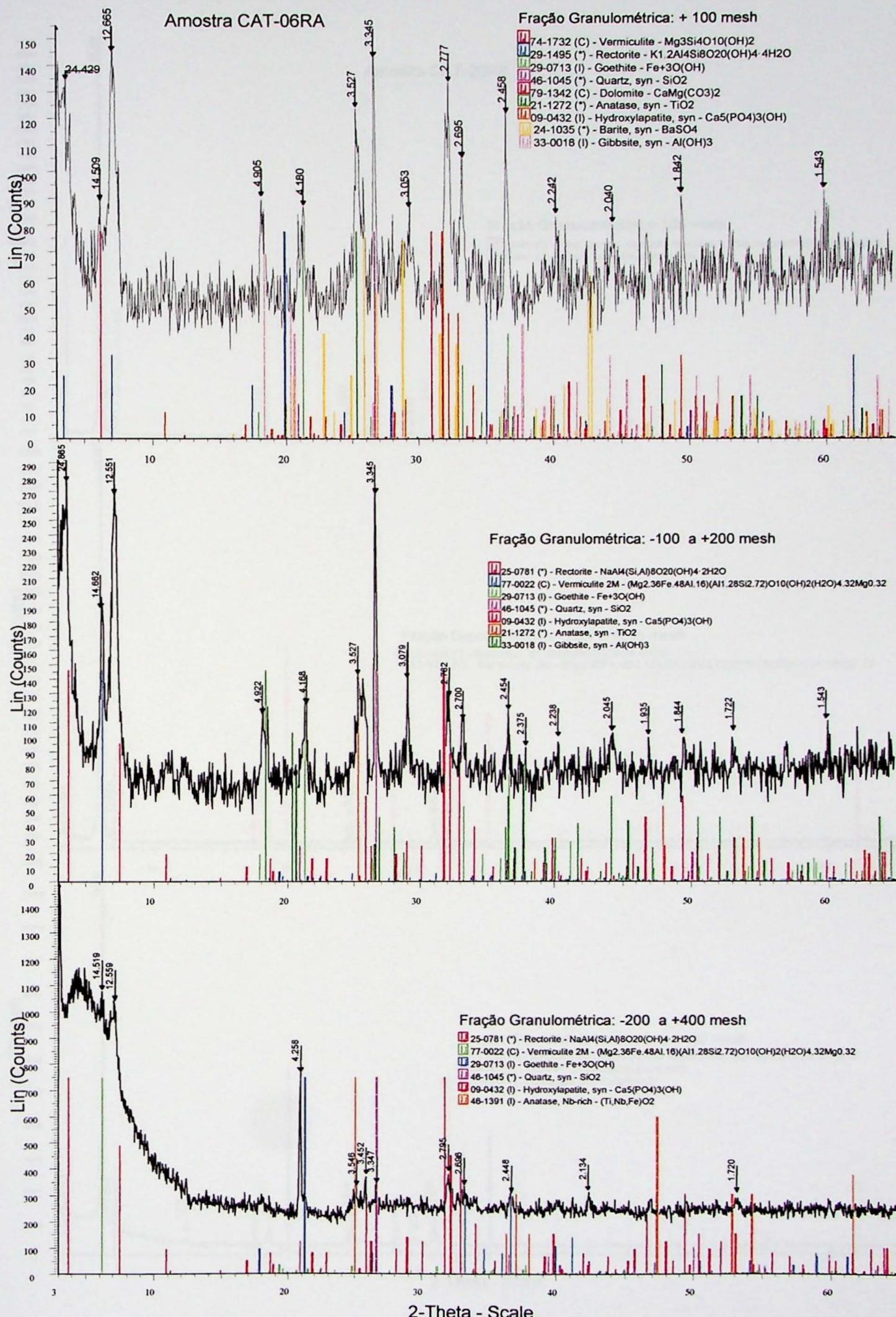


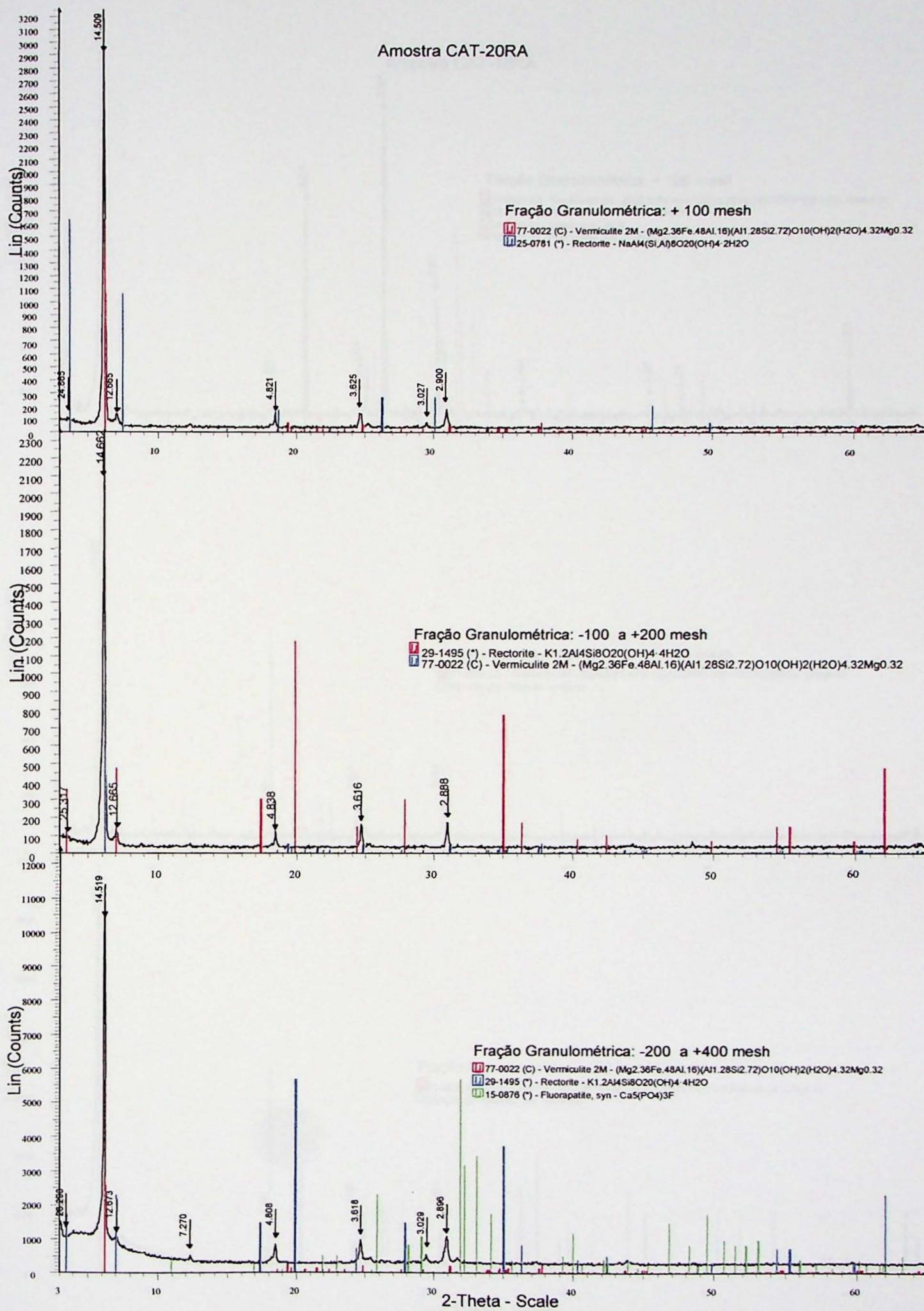


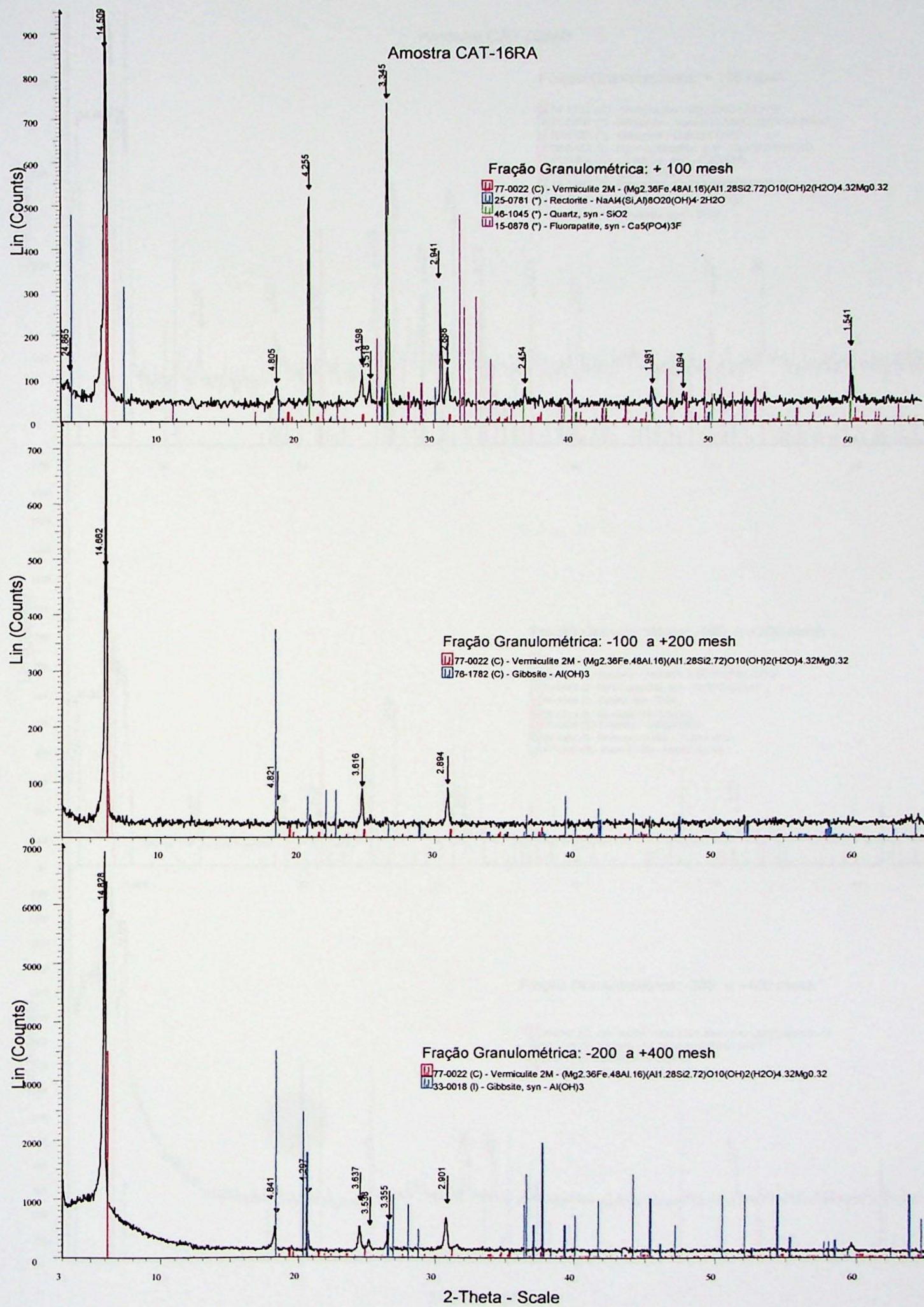
*Difratogramas de Raios-X
Amostras de Faixas Granulométricas*

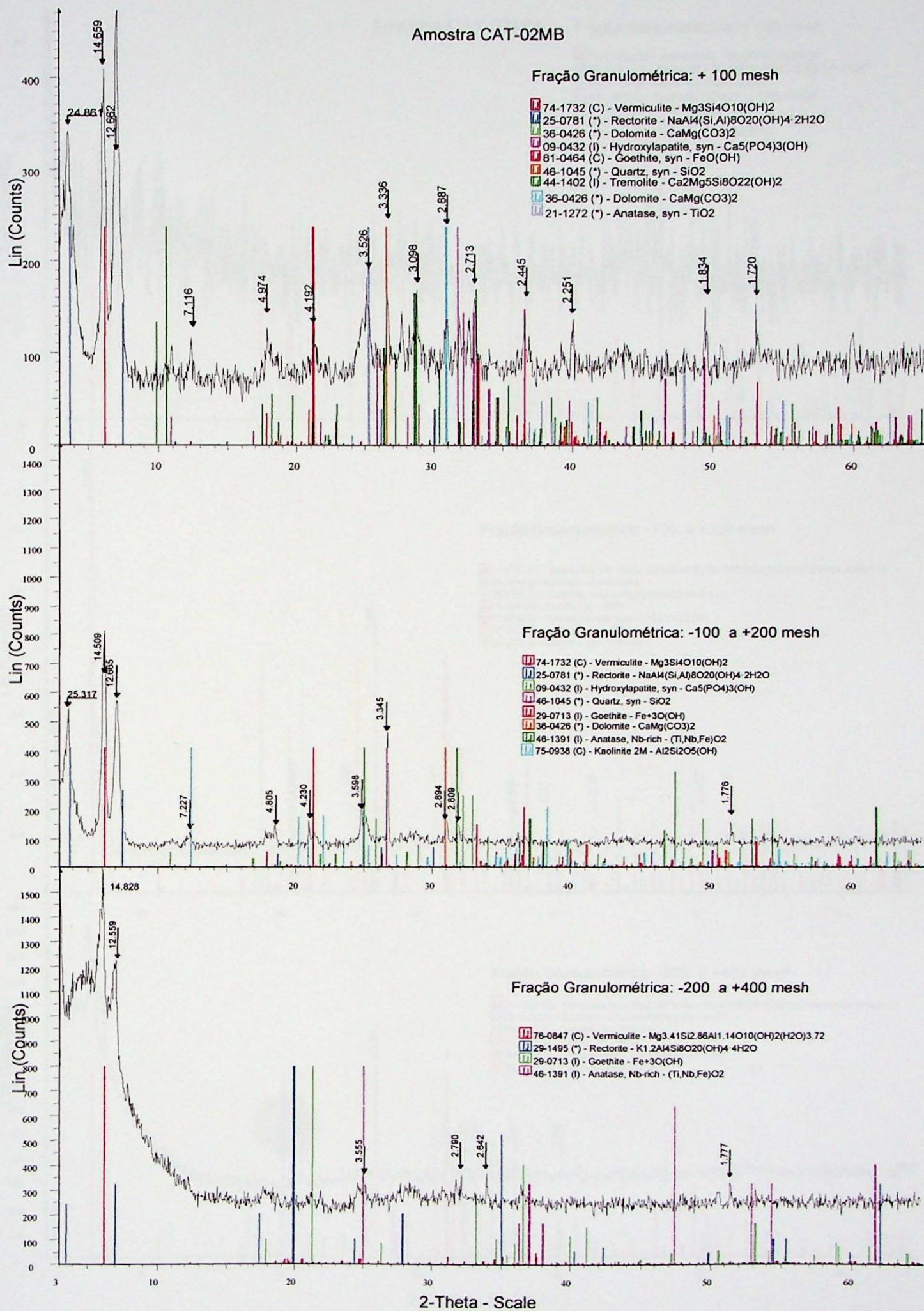
Amostra CAT-01 RA

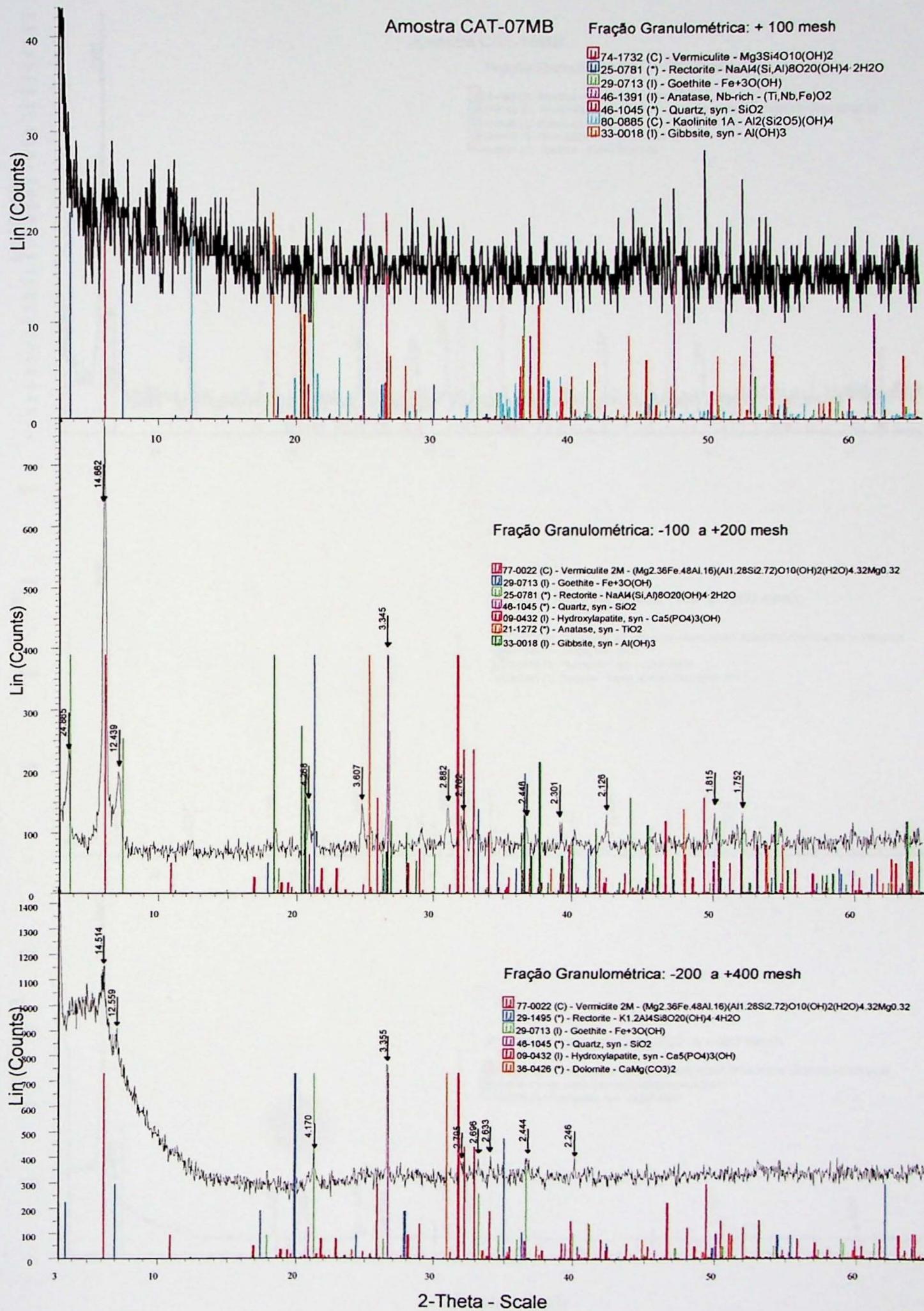


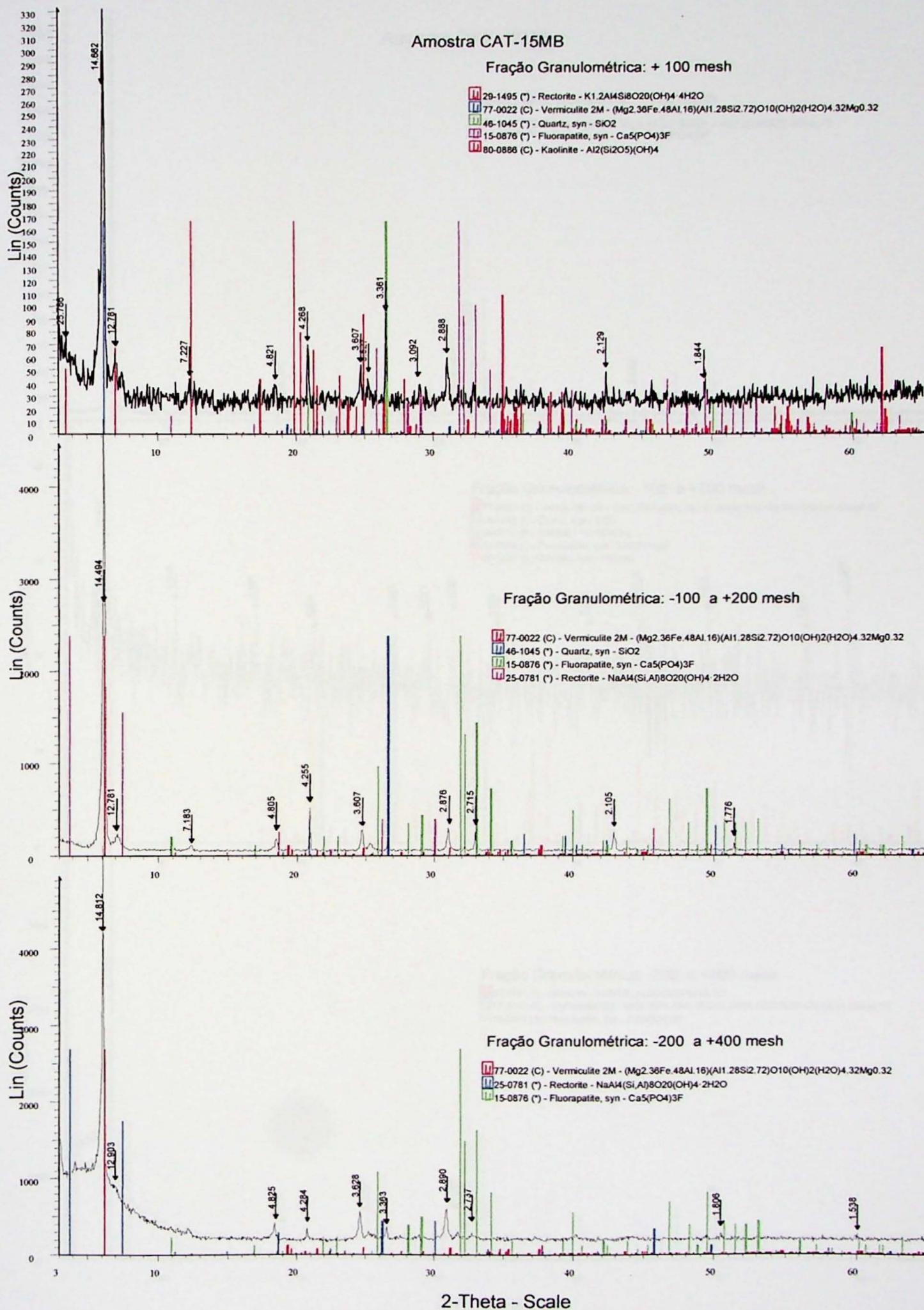


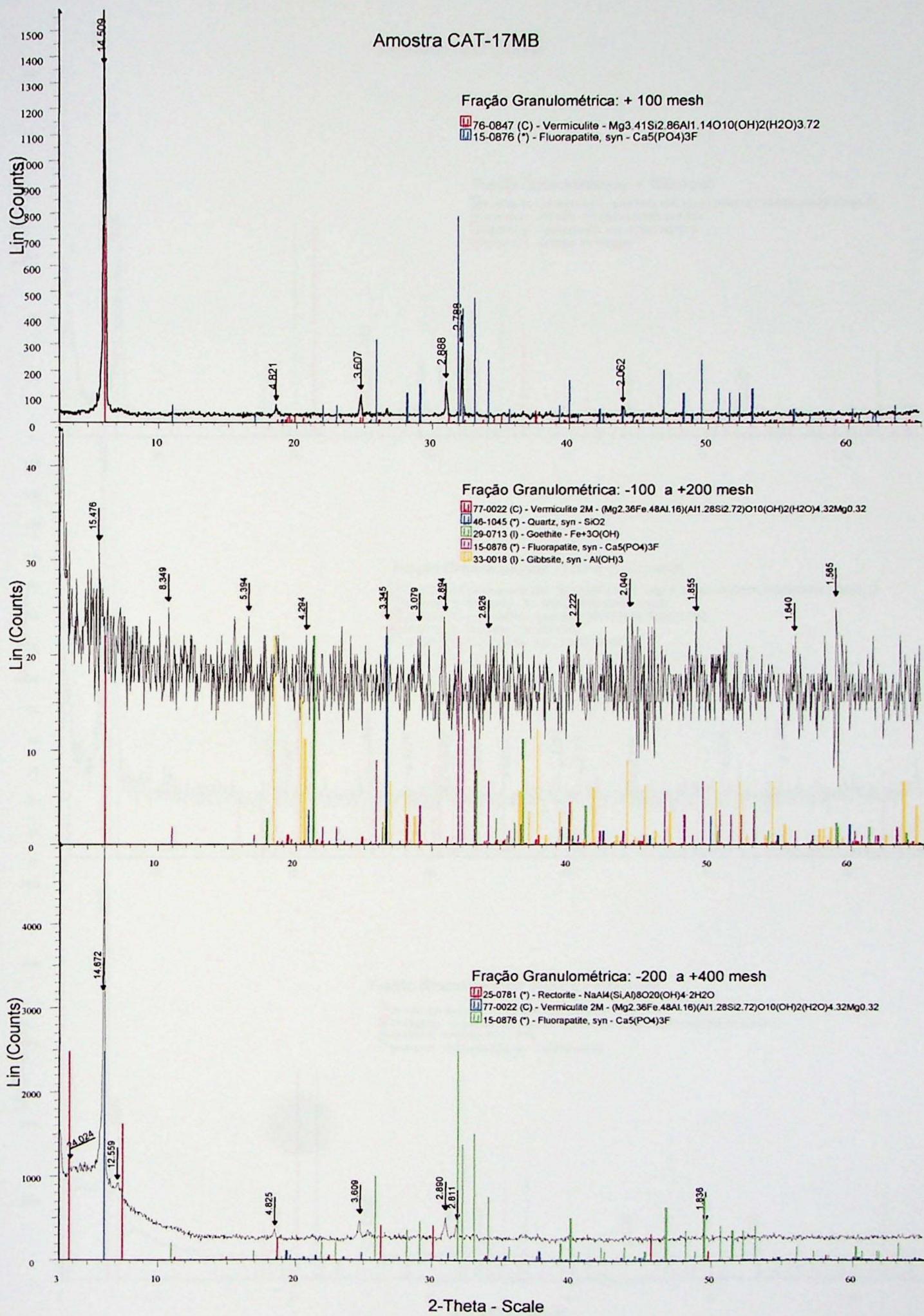


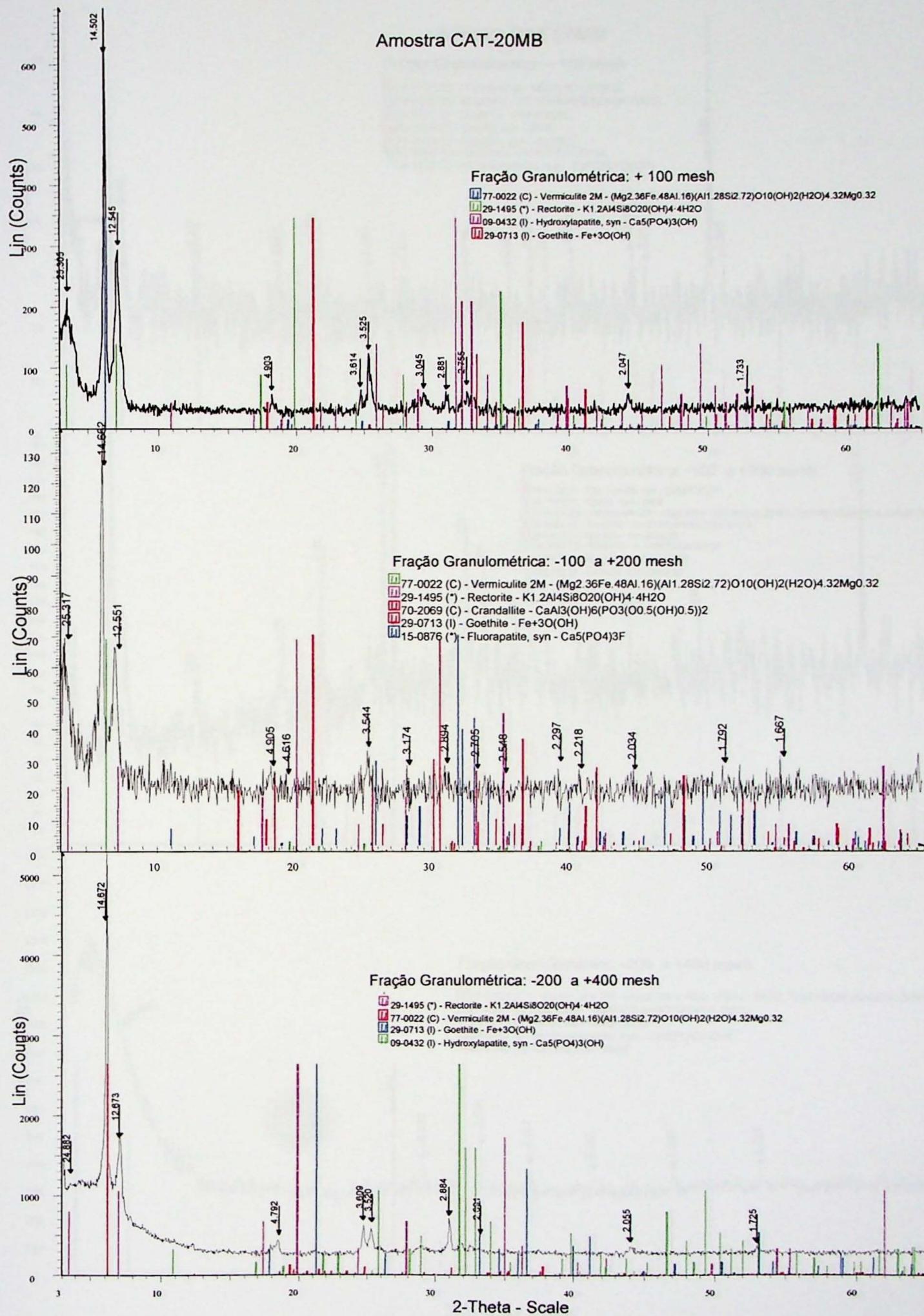


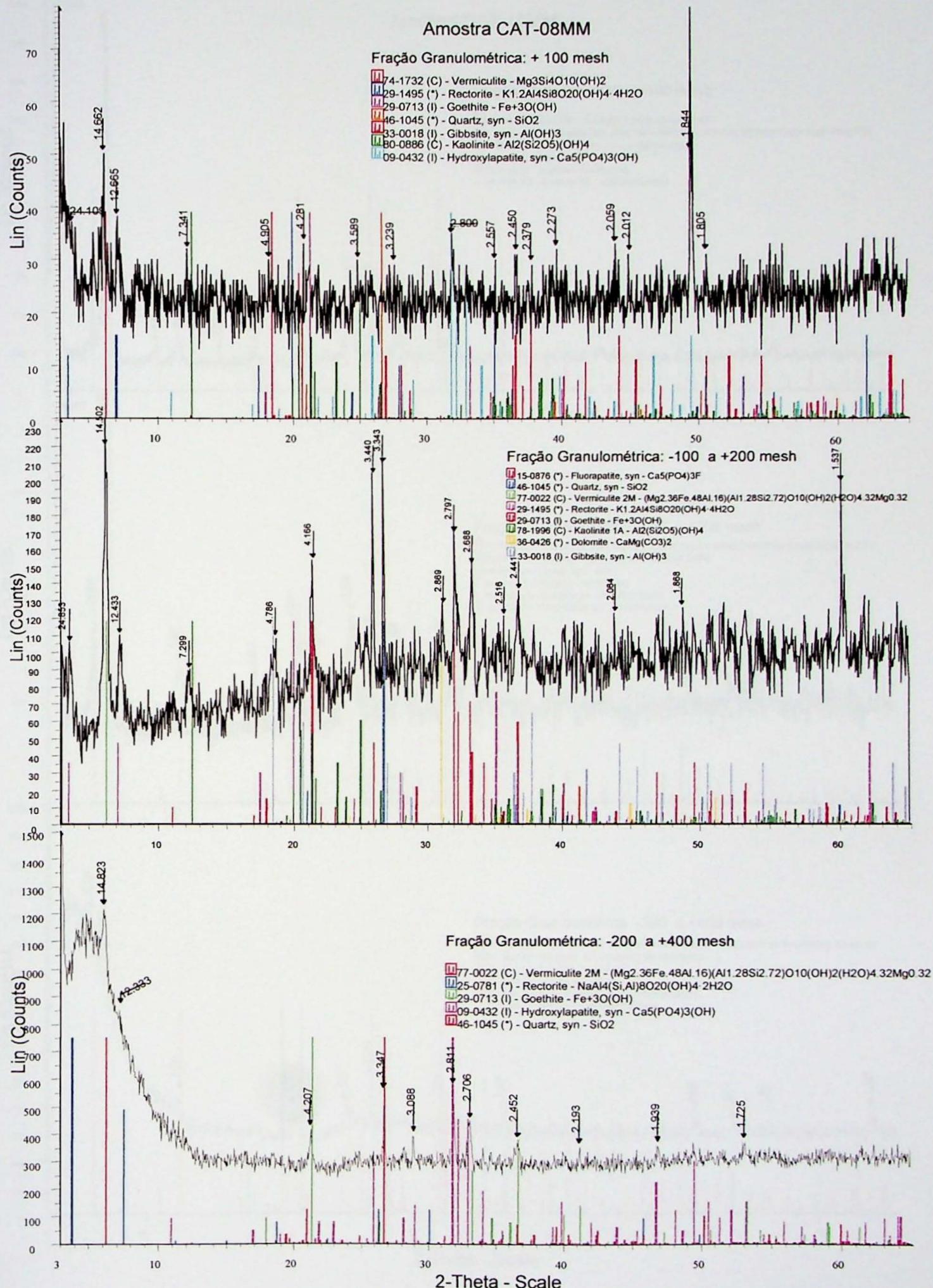


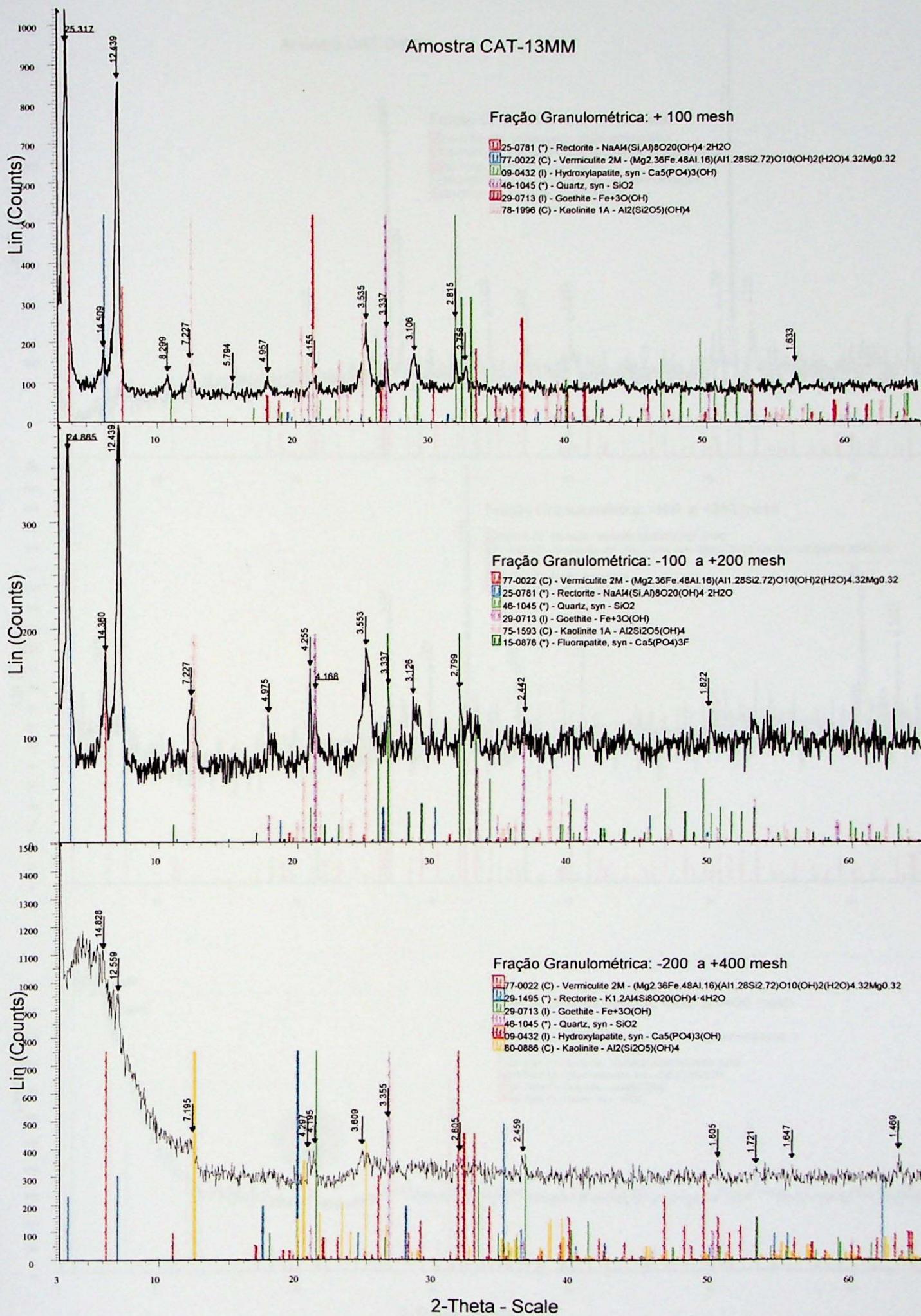


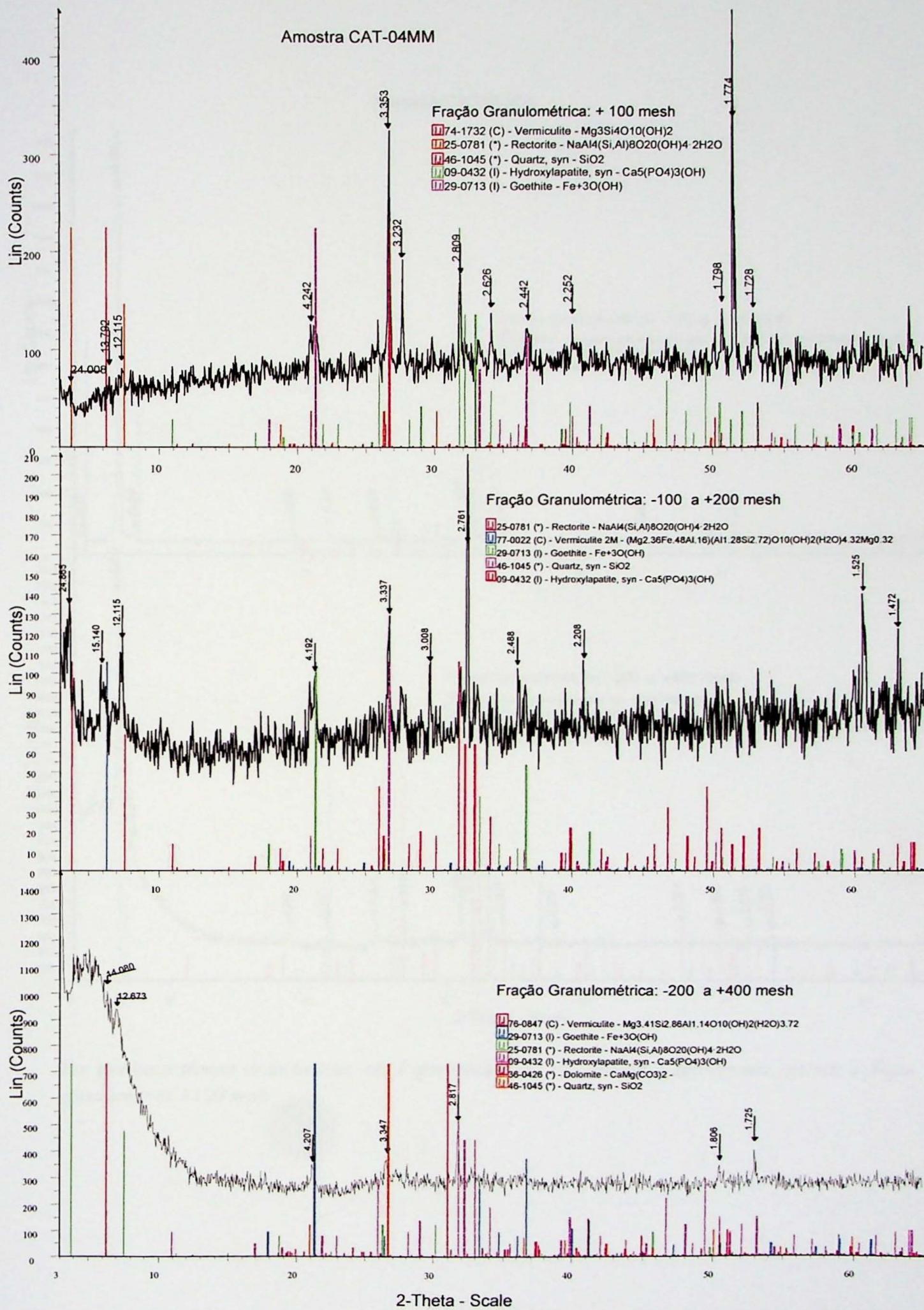




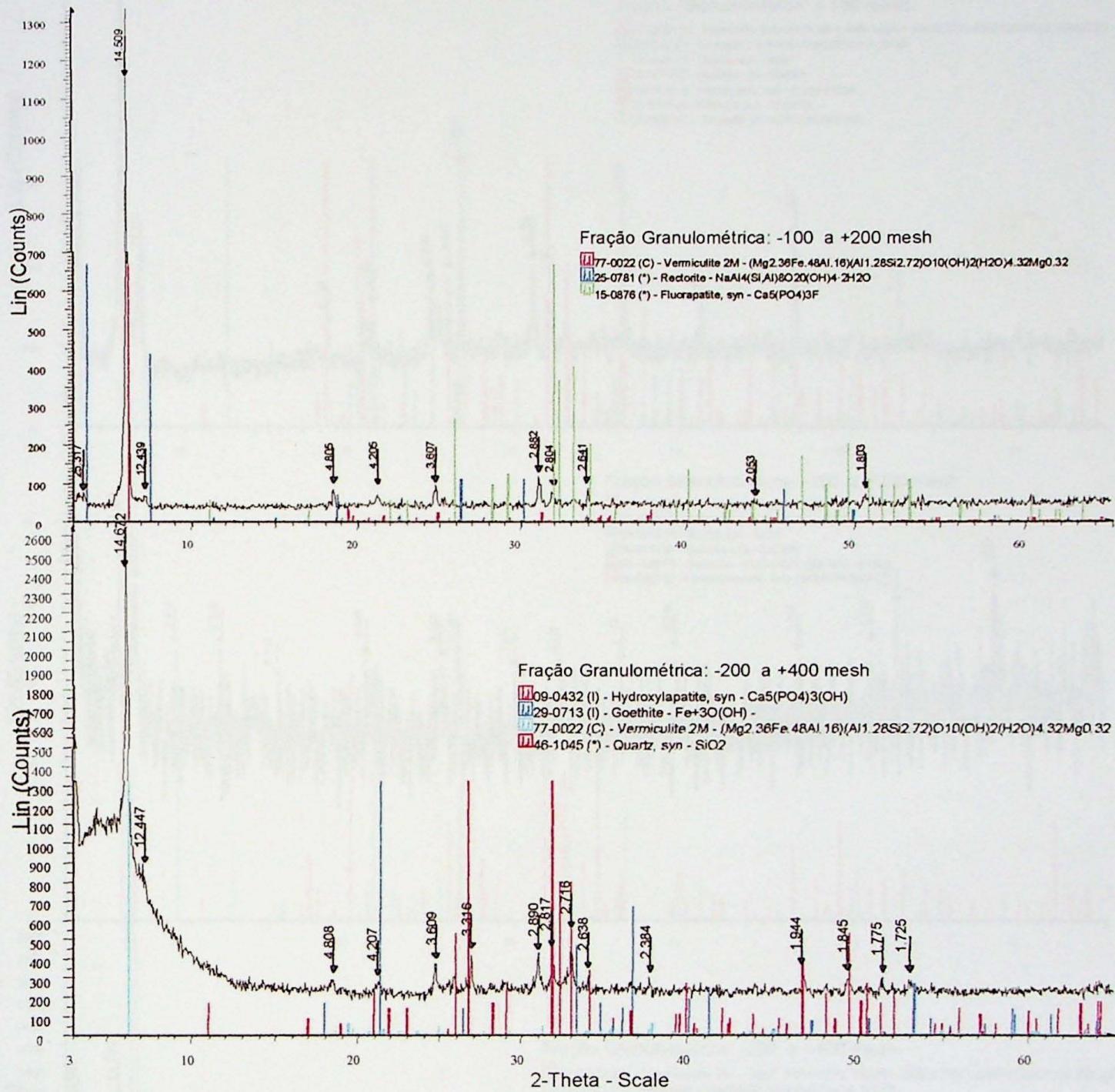




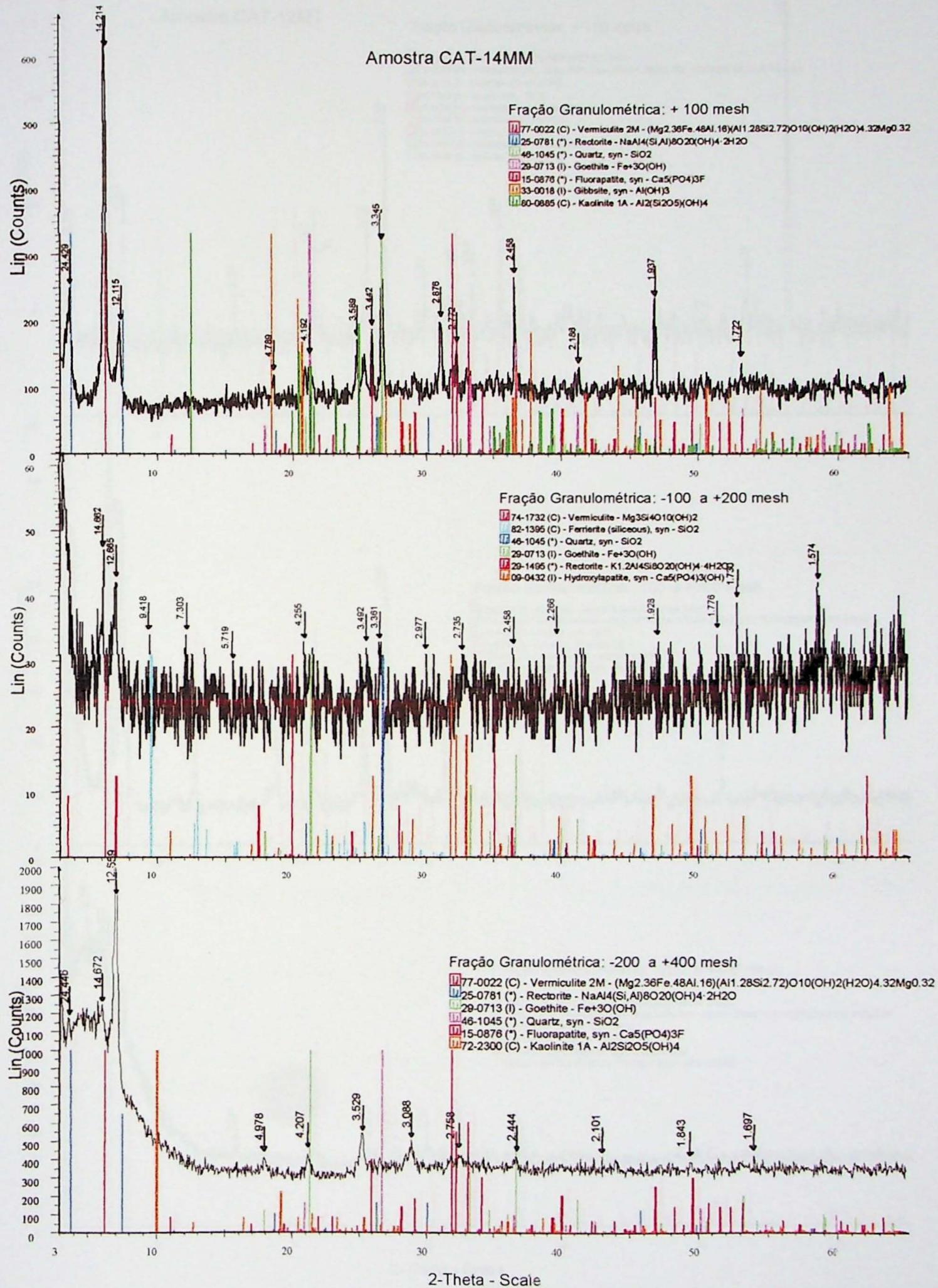


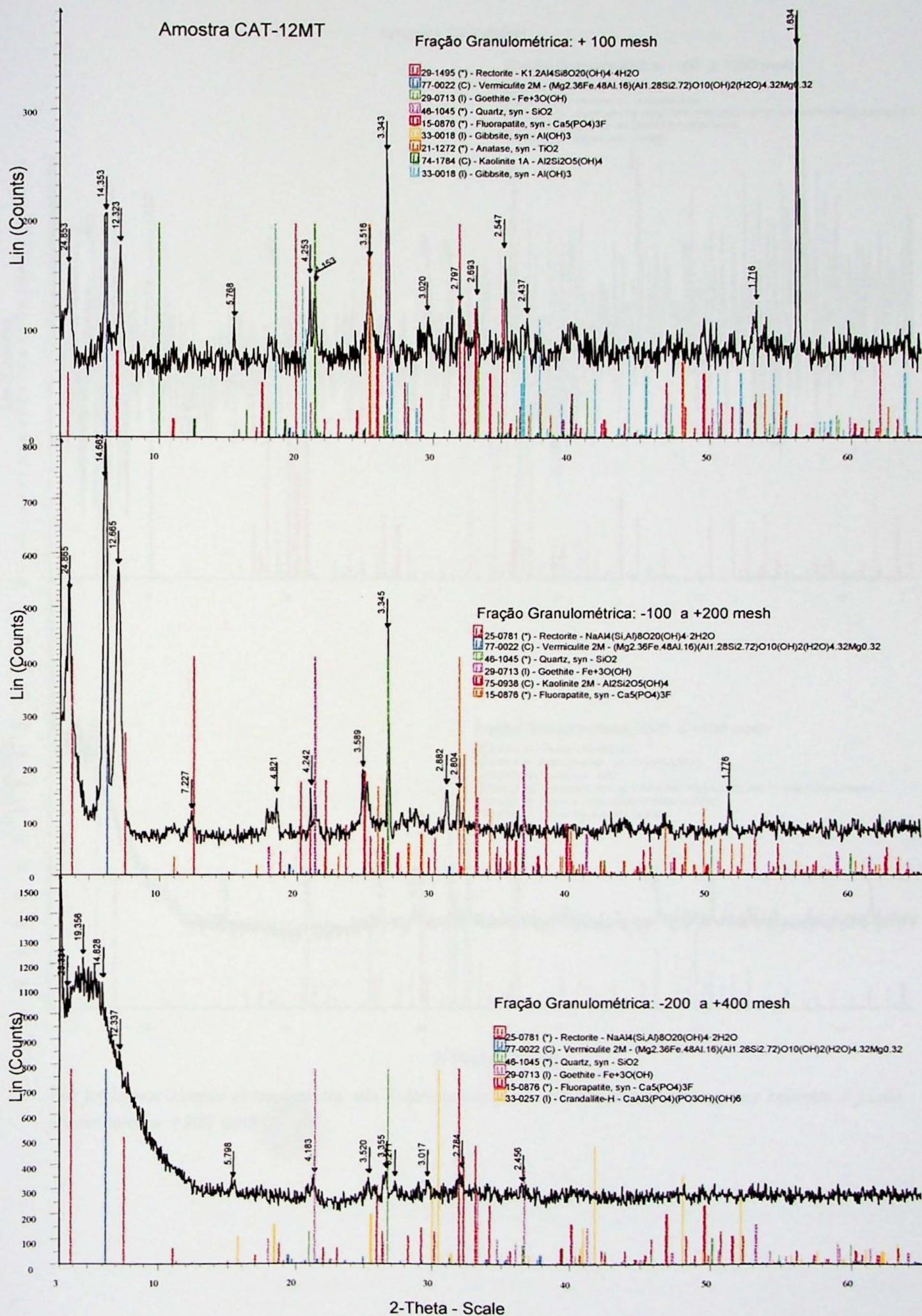


Amostra CAT21MM



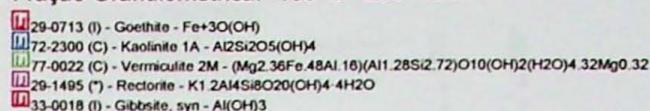
Por problemas técnicos circunstanciais, não é apresentado para esta amostra o difratograma referente à fração granulométrica +100 mesh

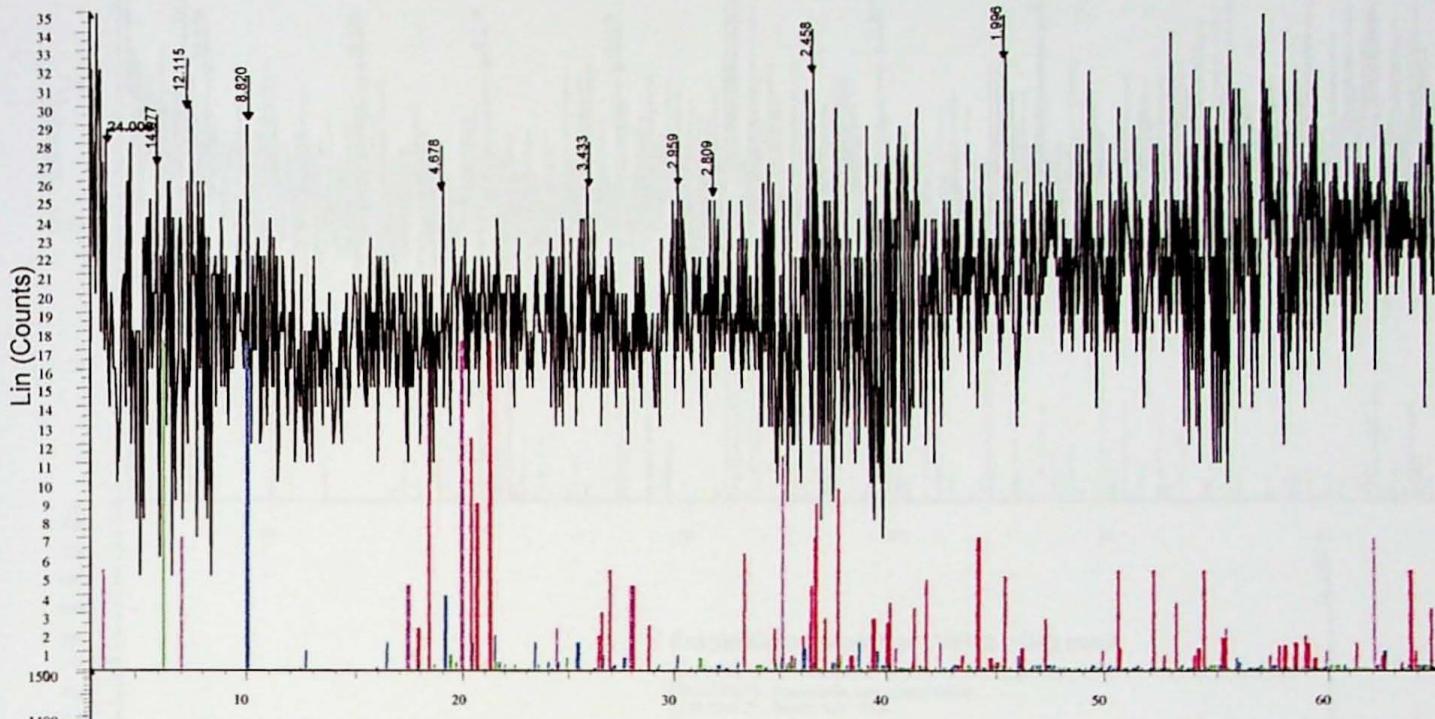




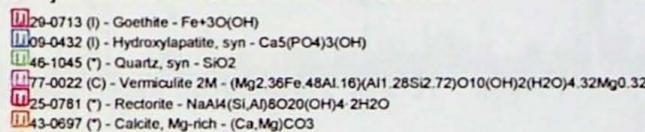
Amostra CAT-09MT

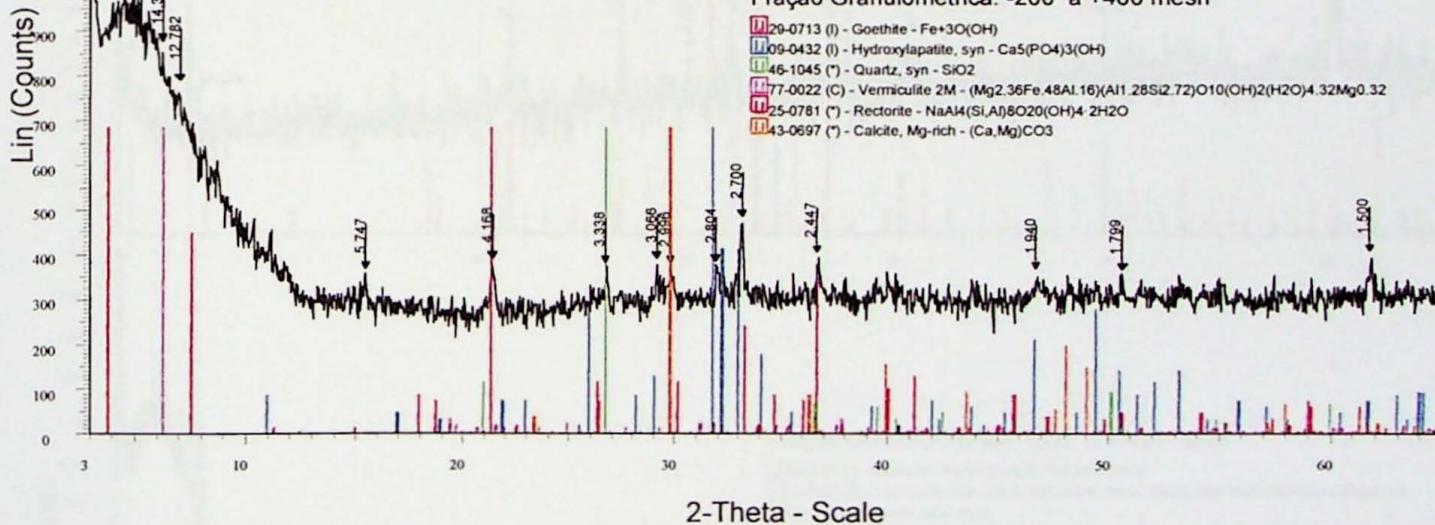
Fração Granulométrica: -100 a +200 mesh


 29-0713 (I) - Goethite - Fe+3O(OH)
 72-2300 (C) - Kaolinite 1A - Al2Si2O5(OH)4
 77-0022 (C) - Vermiculite 2M - (Mg2.36Fe48Al16)(Al1.28Si2.72)O10(OH)2(H2O)4.32Mg0.32
 29-1495 (*) - Rectorite - K1.2Al4Si8O20(OH)4-4H2O
 33-0018 (I) - Gibbsite, syn - Al(OH)3

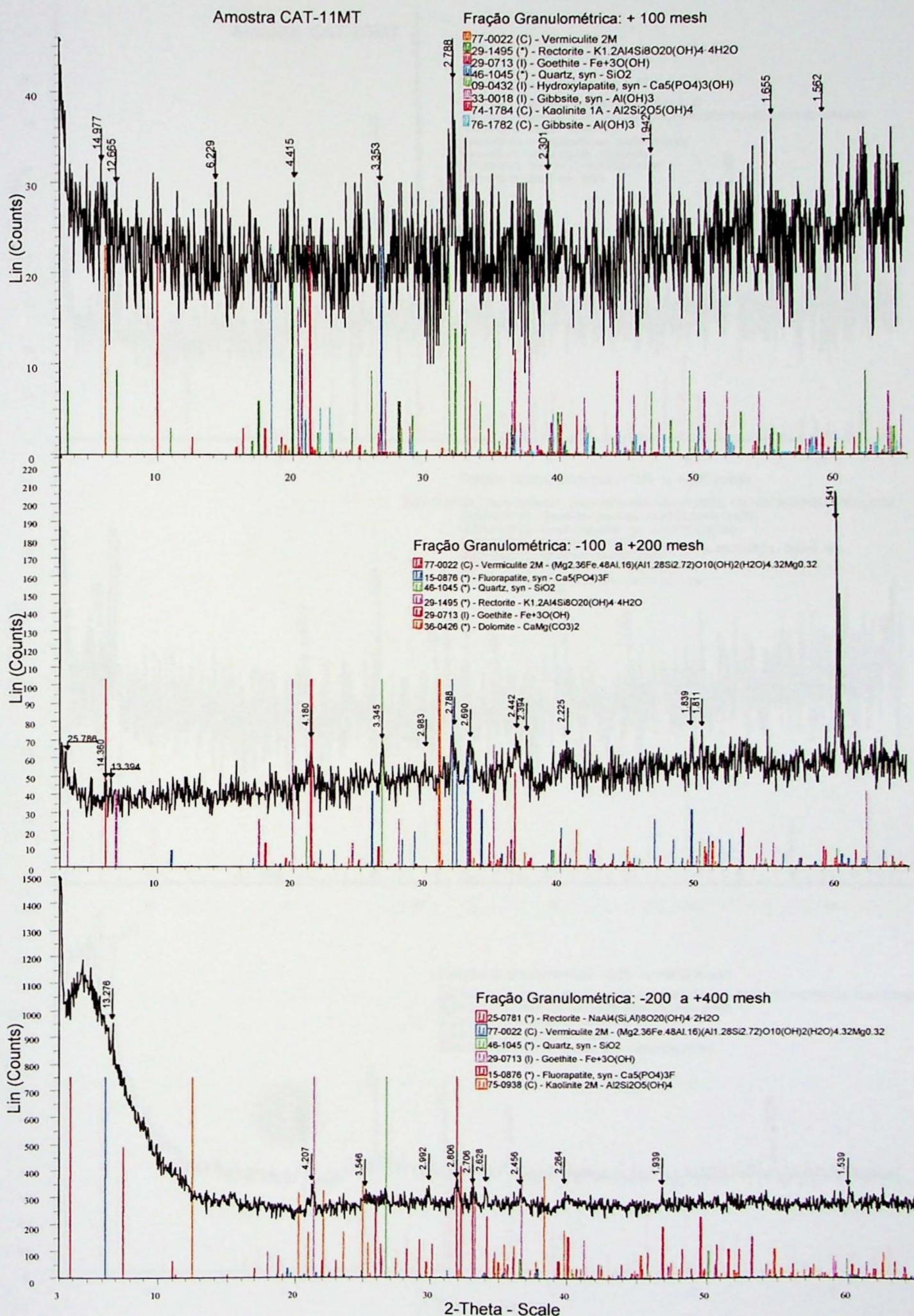


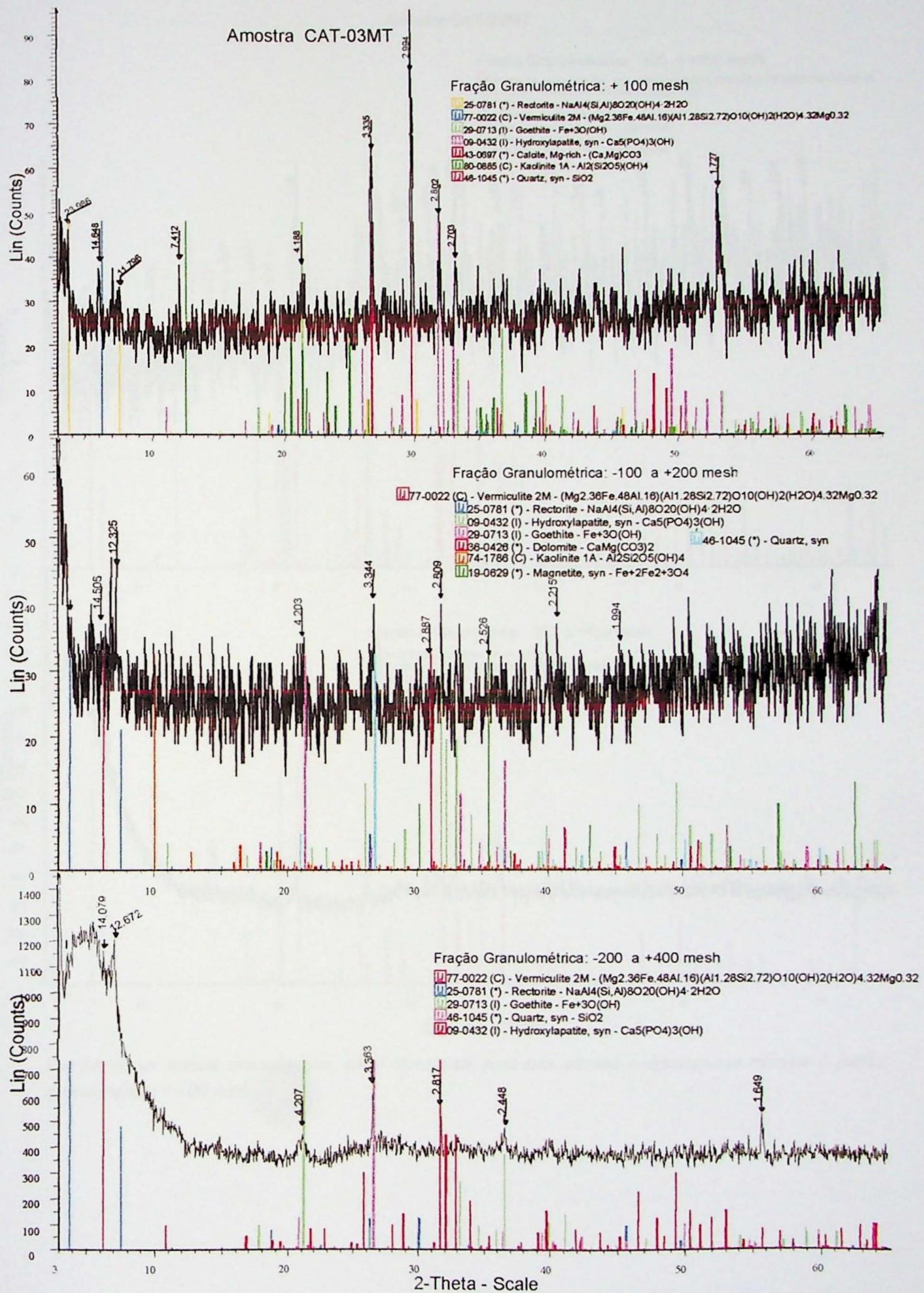
Fração Granulométrica: -200 a +400 mesh


 29-0713 (I) - Goethite - Fe+3O(OH)
 09-0432 (I) - Hydroxyapatite, syn - Ca5(PO4)3(OH)
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2
 77-0022 (C) - Vermiculite 2M - (Mg2.36Fe48Al16)(Al1.28Si2.72)O10(OH)2(H2O)4.32Mg0.32
 25-0781 (*) - Rectorite - NaAl4(Si,Al)8O20(OH)4-2H2O
 43-0697 (*) - Calcite, Mg-rich - (Ca,Mg)CO3



Por problemas técnicos circunstanciais, não é apresentado para esta amostra o difratograma referente à fração granulométrica +100 mesh

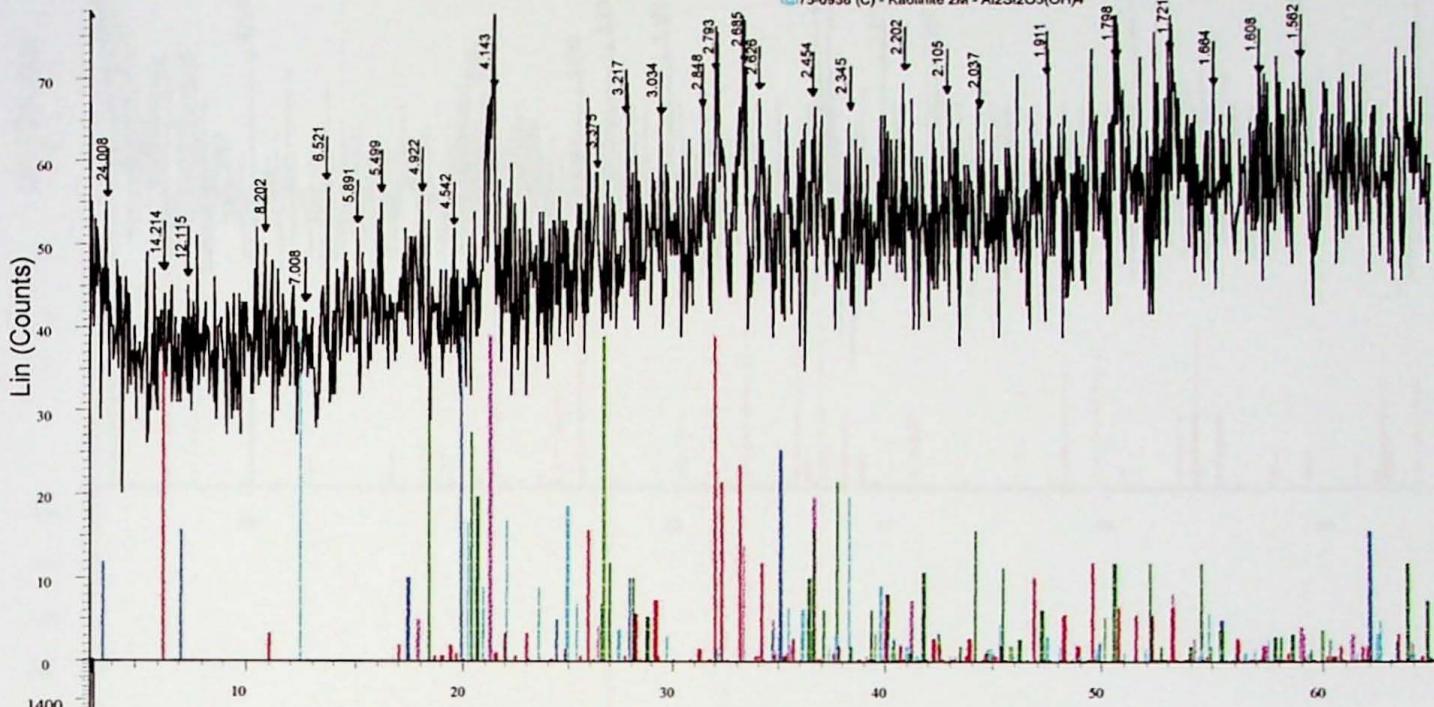




Amostra CAT-22MT

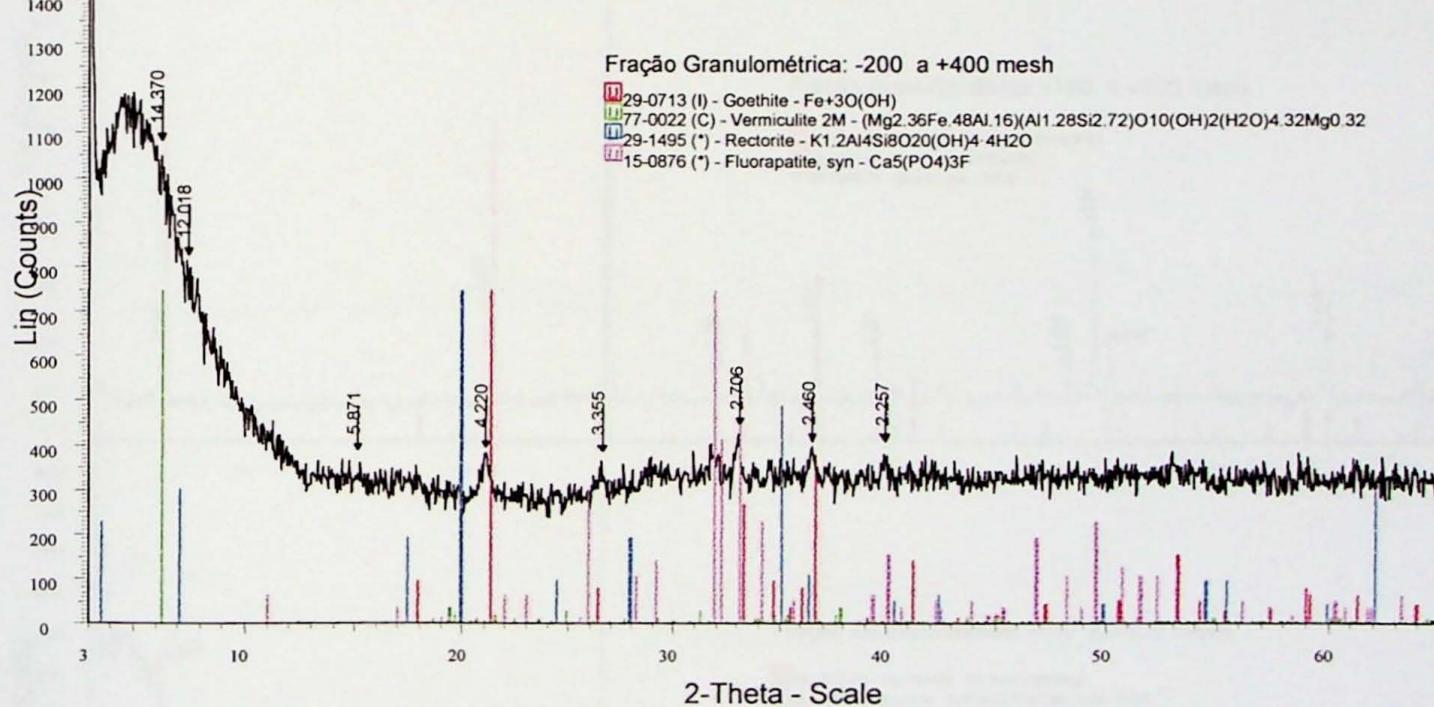
Fração Granulométrica: -100 a +200 mesh

77-0022 (C) - Vermiculite 2M - $(Mg_{2.36}Fe_{.48}Al_{.16})(Al_{1.28}Si_{2.72})O_{10}(OH)_2(H_2O)_{4.32}Mg_{0.32}$
 29-1495 (*) - Rectorite - $K_1.2Al_4Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot 4H_2O$
 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2
 29-0713 (I) - Goethite - $Fe_{+3}O(OH)$
 15-0876 (*) - Fluorapatite, syn - $Ca_5(PO_4)_3F$
 33-0018 (I) - Gibbsite, syn - $Al(OH)_3$
 75-0938 (C) - Kaolinite 2M - $Al_2Si_2O_5(OH)_4$

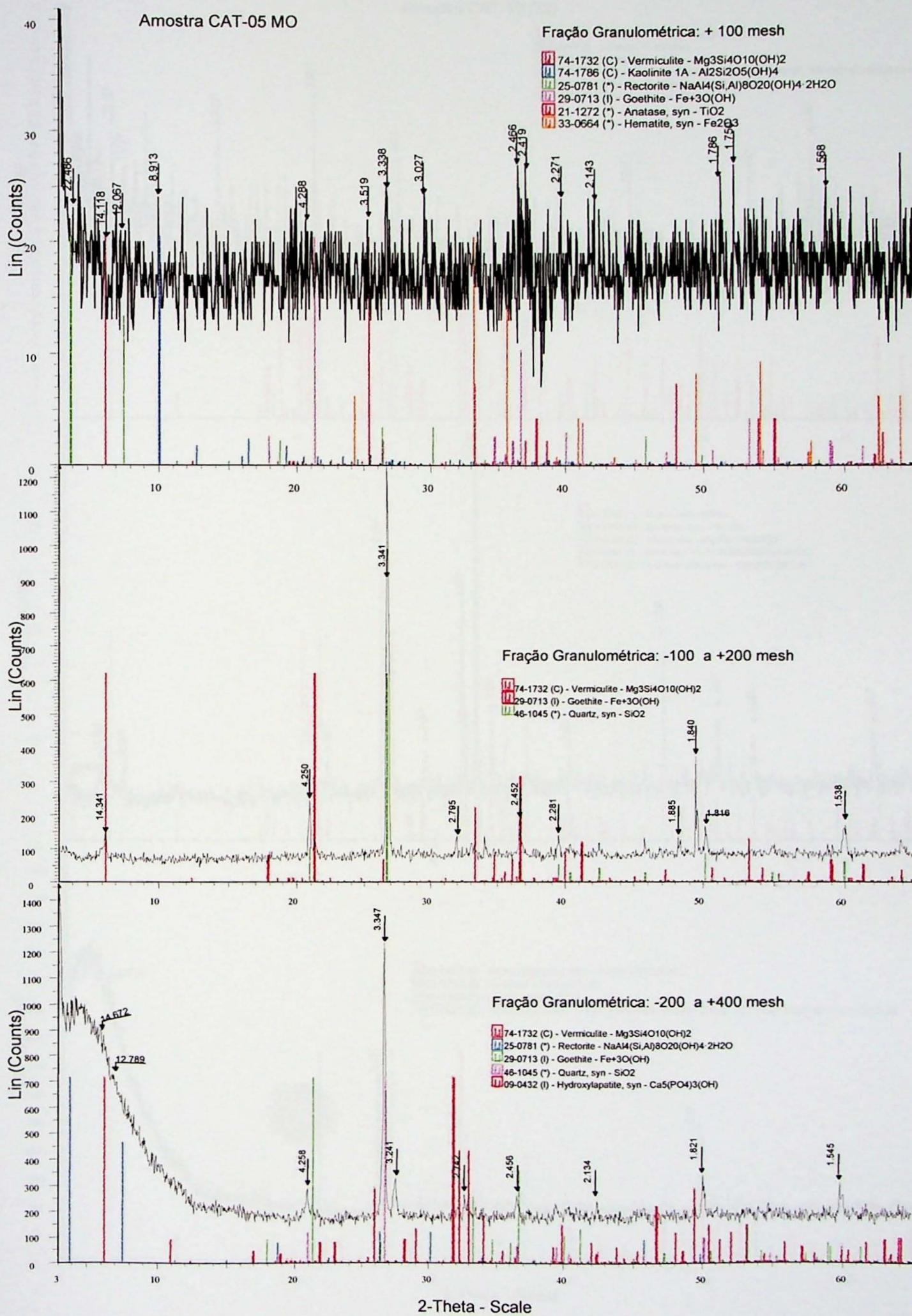


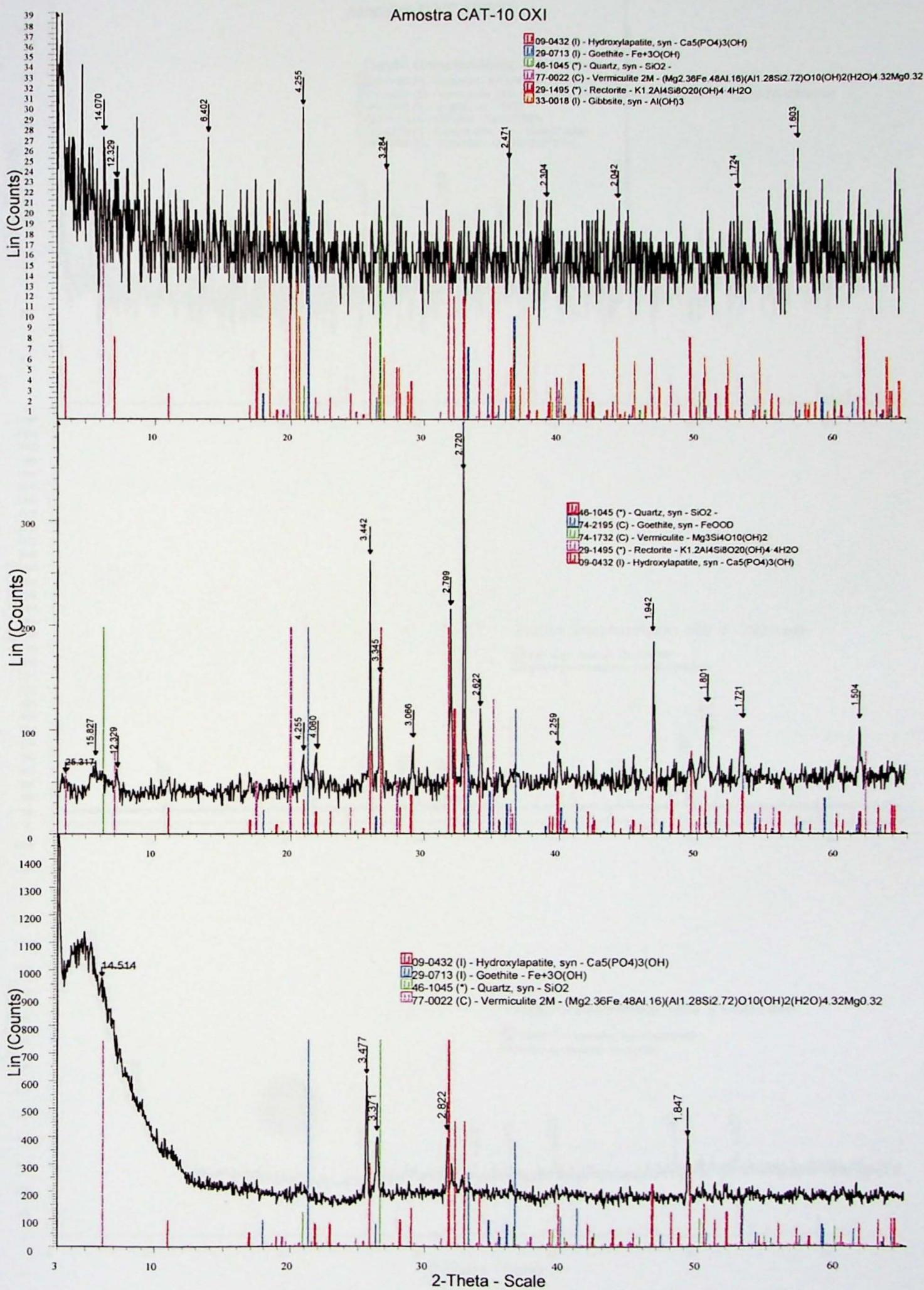
Fração Granulométrica: -200 a +400 mesh

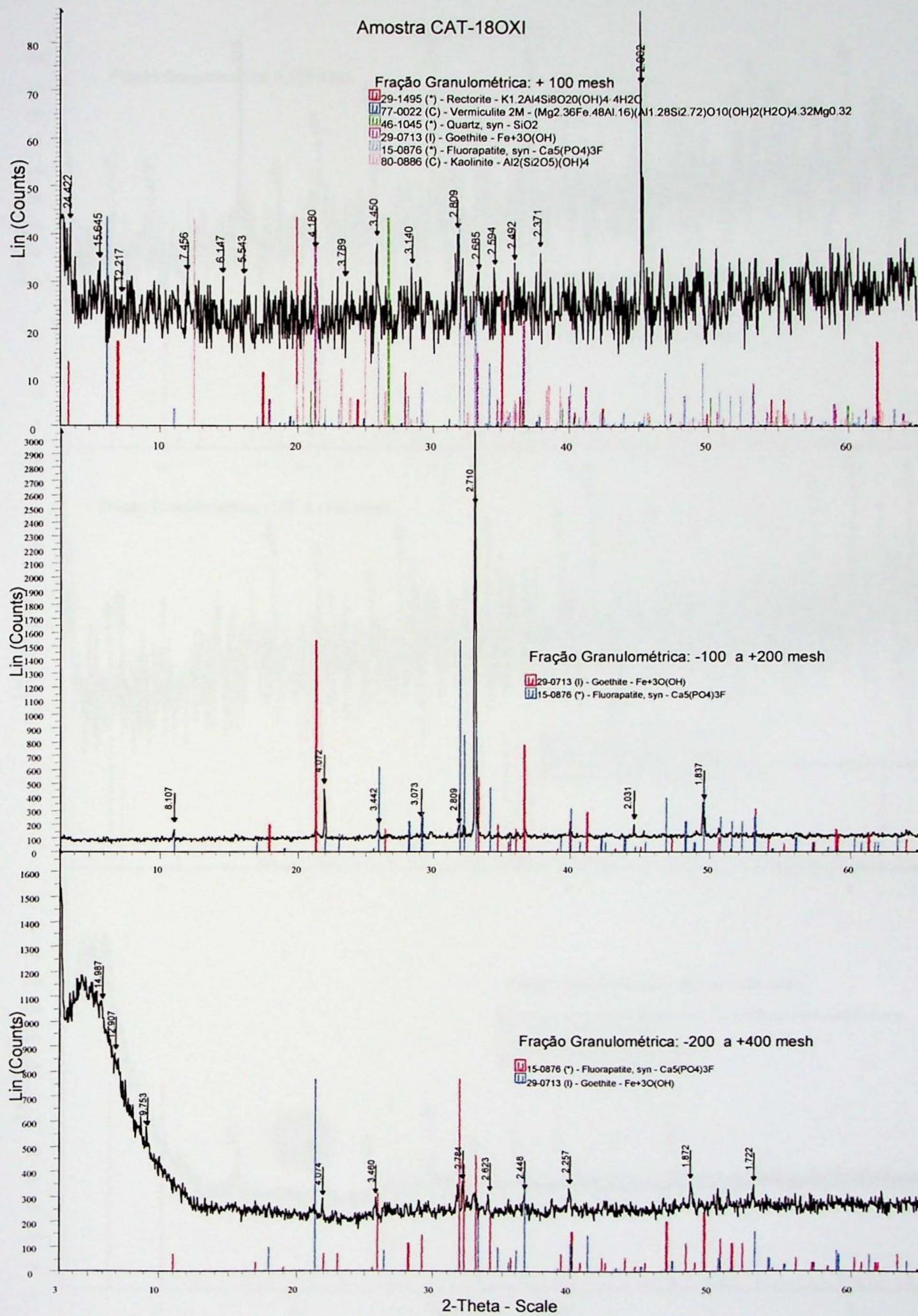
29-0713 (I) - Goethite - $Fe_{+3}O(OH)$
 77-0022 (C) - Vermiculite 2M - $(Mg_{2.36}Fe_{.48}Al_{.16})(Al_{1.28}Si_{2.72})O_{10}(OH)_2(H_2O)_{4.32}Mg_{0.32}$
 29-1495 (*) - Rectorite - $K_1.2Al_4Si_8O_{20}(OH)_4 \cdot 4H_2O$
 15-0876 (*) - Fluorapatite, syn - $Ca_5(PO_4)_3F$

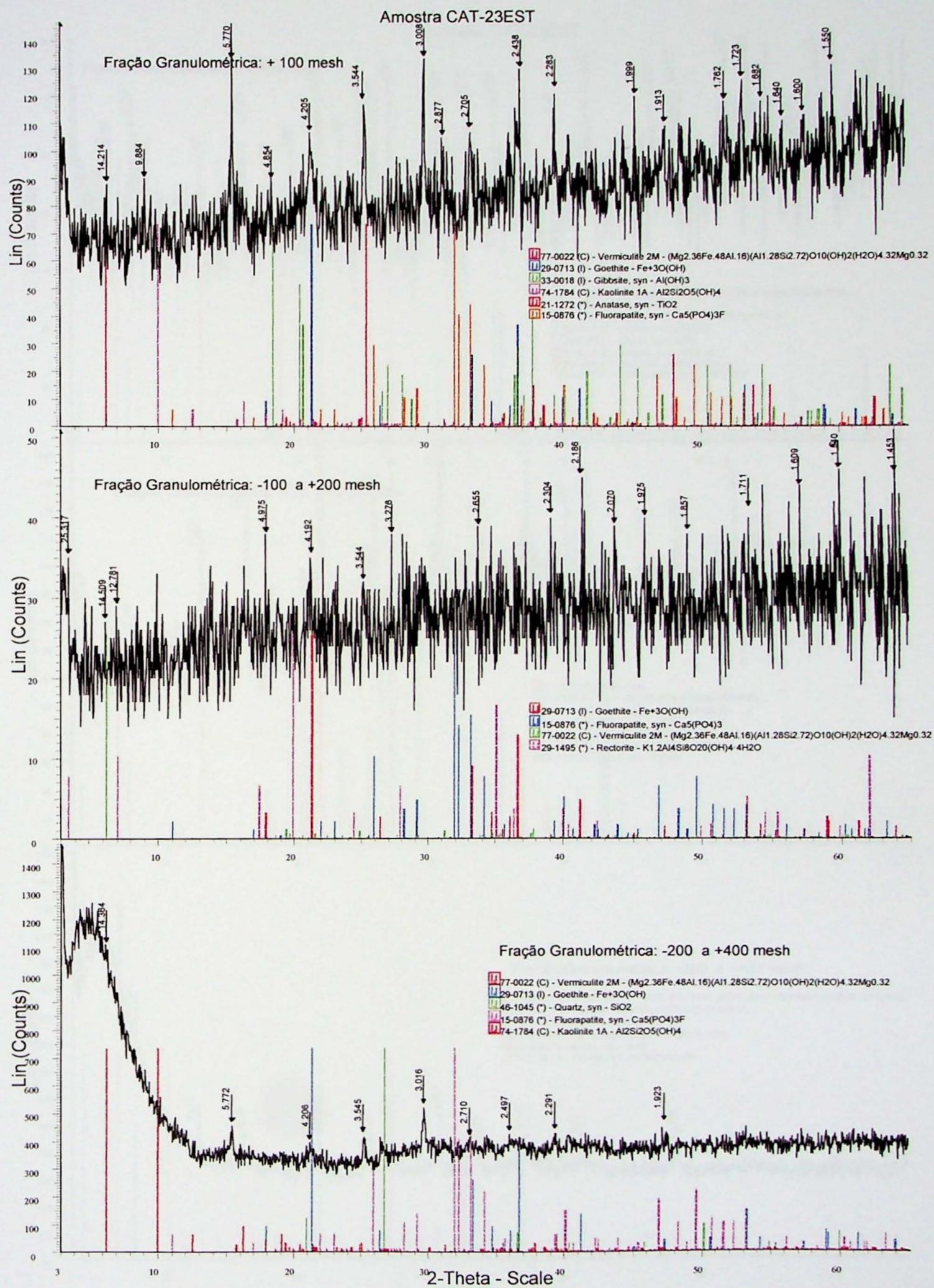


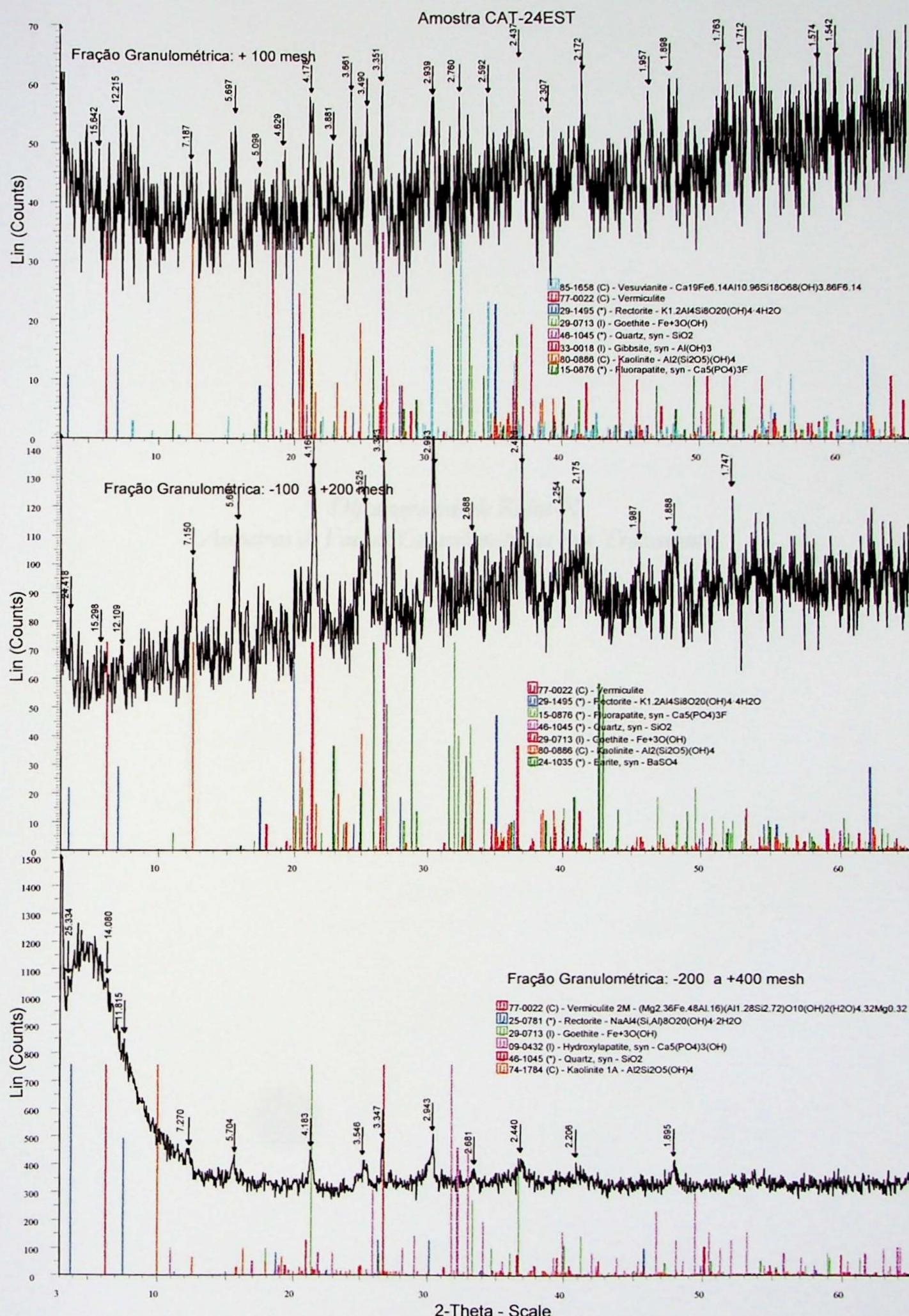
Por problemas técnicos circunstanciais, não é apresentado para esta amostra o difratograma referente à fração granulométrica +100 mesh







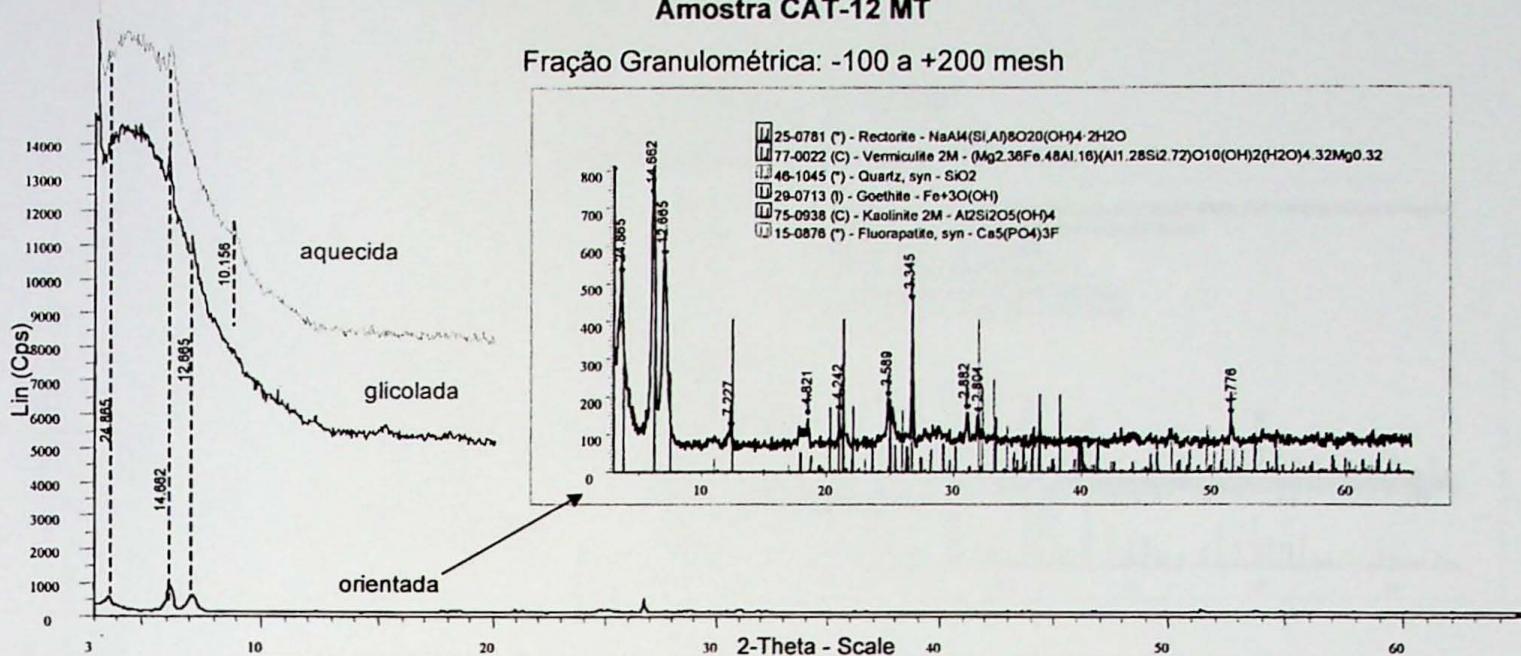




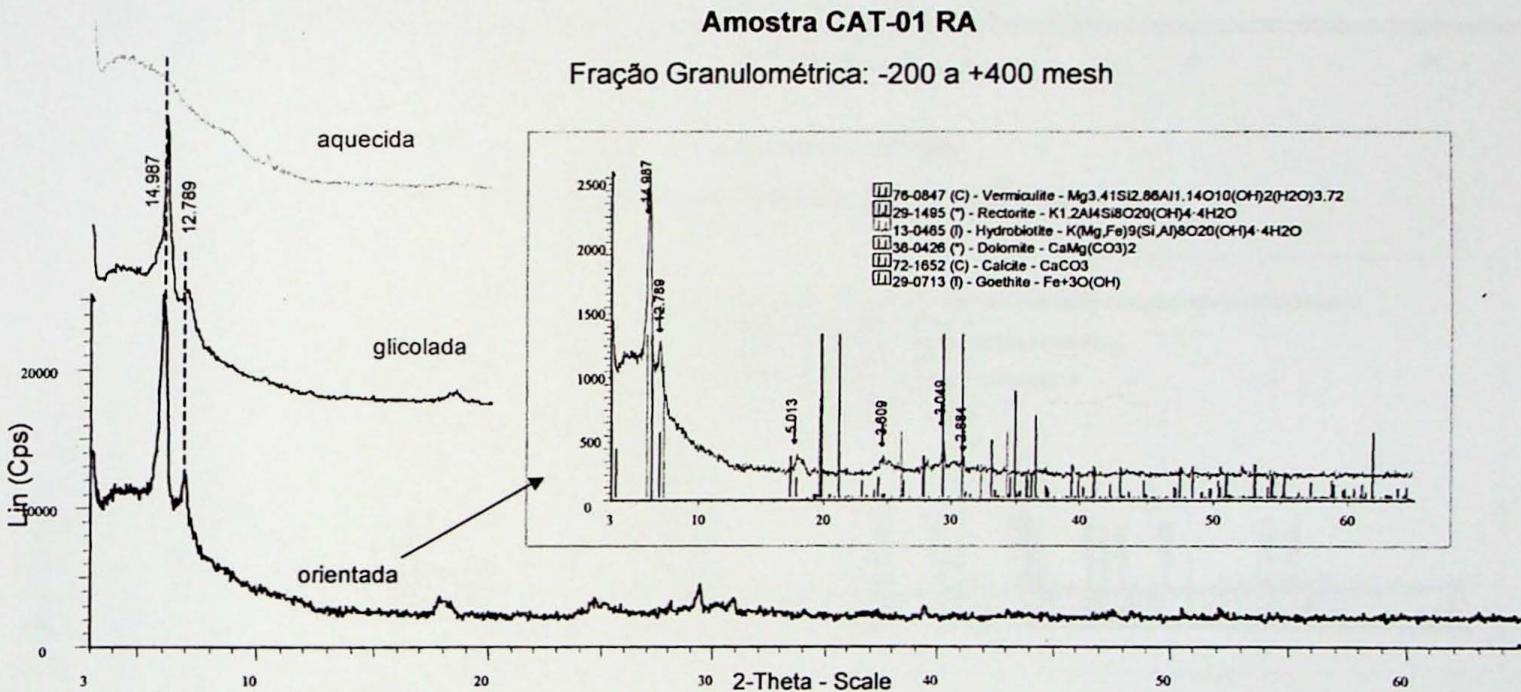
*Difratiogramas de Raios-X
Amostras de Faixas Granulométricas com Tratamento*

Amostra CAT-12 MT

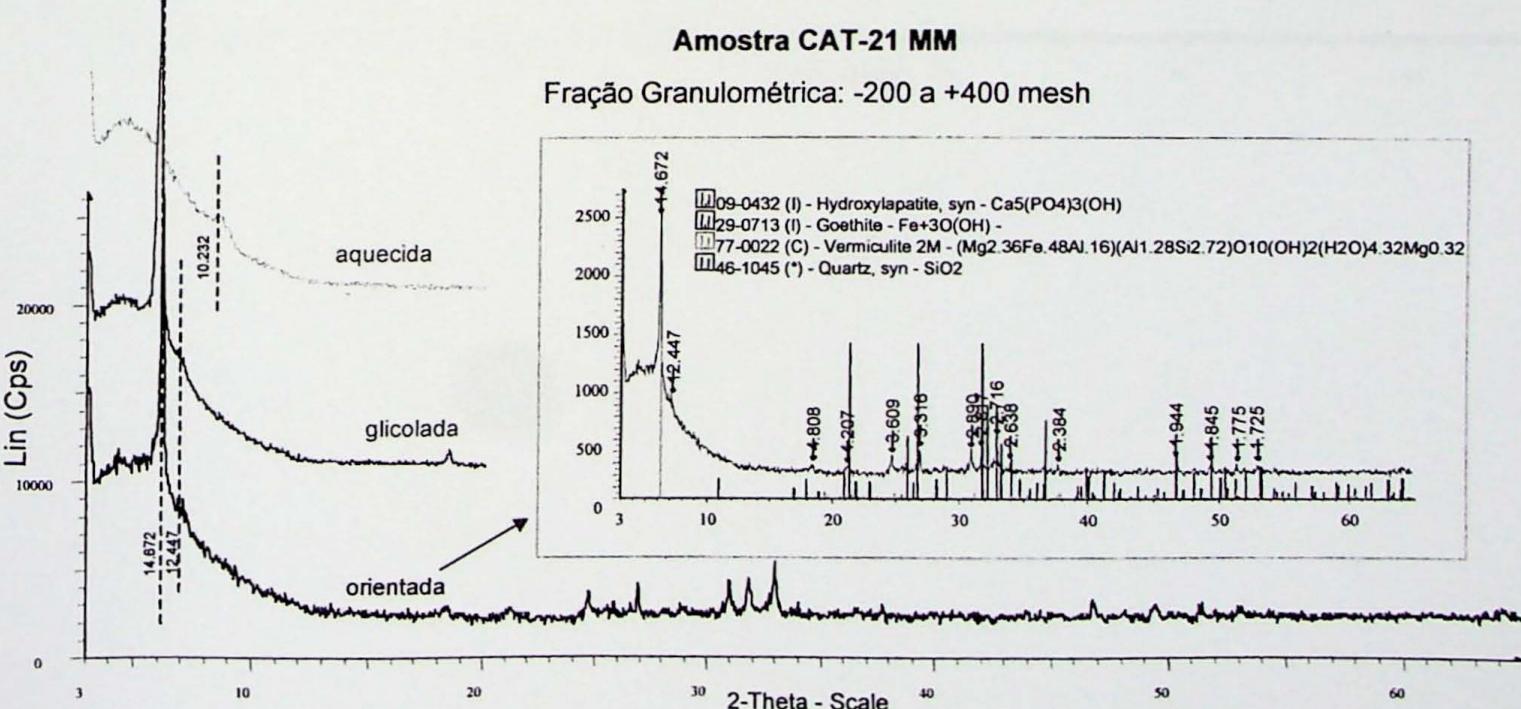
Fração Granulométrica: -100 a +200 mesh

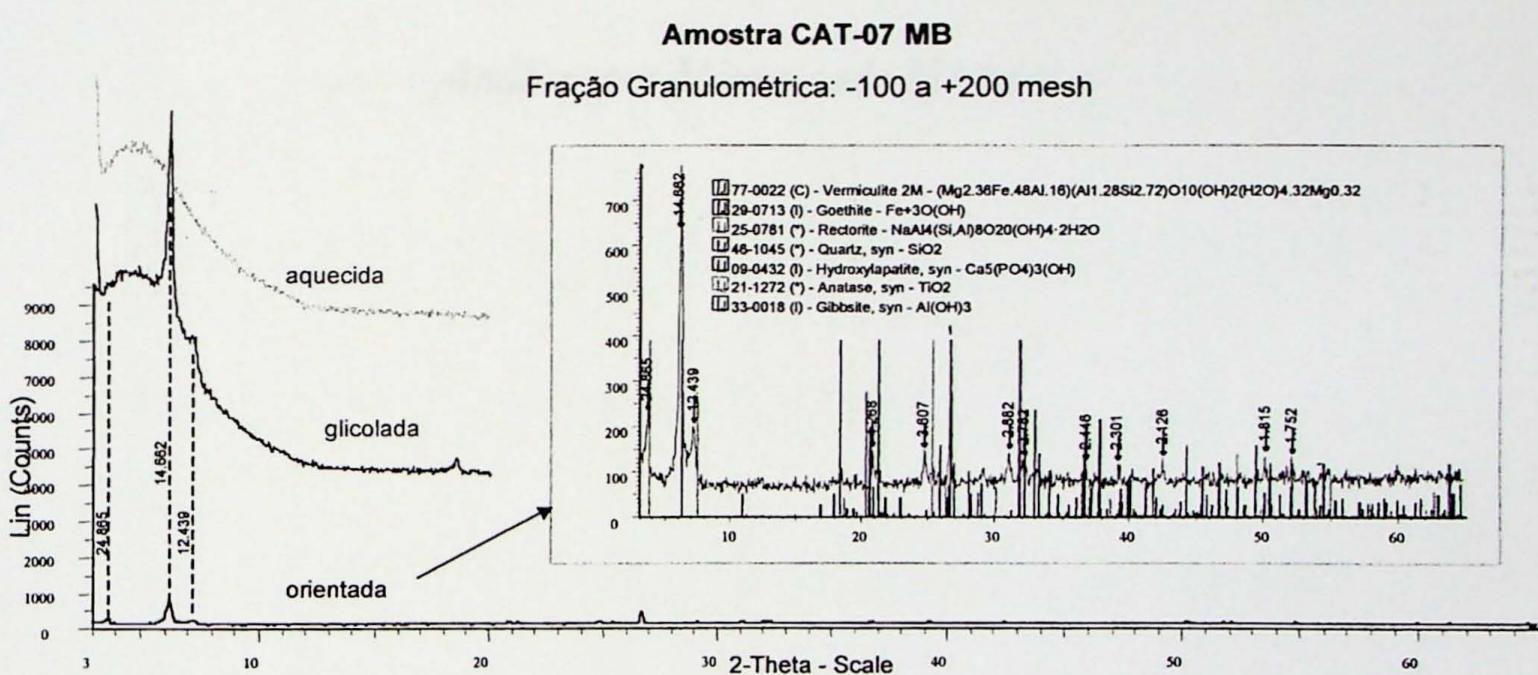
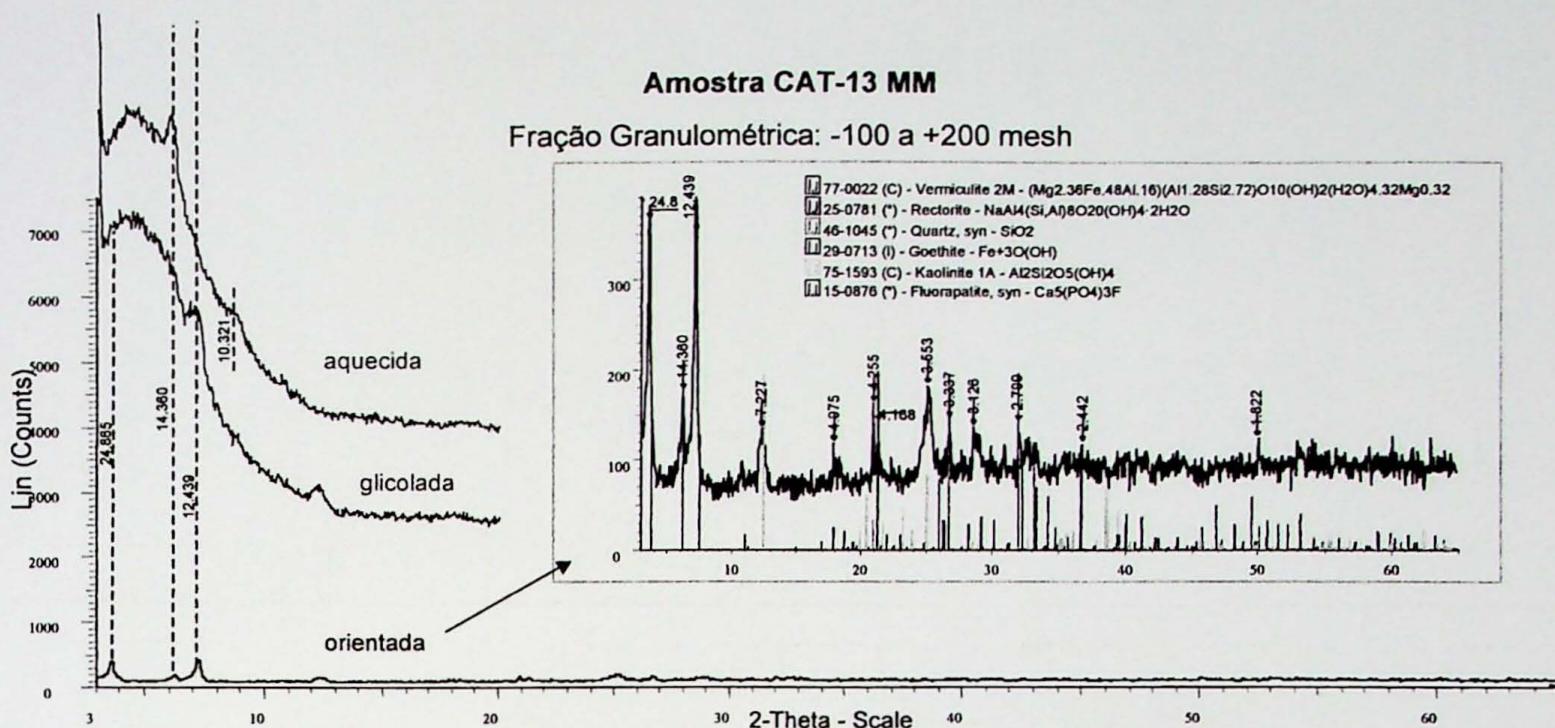
**Amostra CAT-01 RA**

Fração Granulométrica: -200 a +400 mesh

**Amostra CAT-21 MM**

Fração Granulométrica: -200 a +400 mesh





Análises por Microssonda Eletrônica

Análises de Fllogopitas do Complexo Carbonatítico Catalão I

Fórmula: $X_2Y_{4.6}Z_8O_{20}(OH,F)_4$

Rocha	Fllogopito	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02
Amostra	Cat-19-02	01 / 01	01 / 02	02 / 03	02 / 04	02 / 05	03 / 06	04 / 07	04 / 08	05 / 10
Grão / Análise	fenocrist./ N	fenocrist./ B	fenocrist./ N	fenocrist./ I	fenocrist./ B	fenocrist./ B	matriz	fenocrist./ N	fenocrist./ B	05 / 11
Typo / Região	marrom	vermelho	marrom	incolor	vermelho	vermelho	vermelho	vermelho	vermelho	vermelho
Cor caract.										
SiO ₂	39.13	41.04	39.22	39.77	40.82	40.49	40.50	40.70	37.60	39.54
TiO ₂	4.76	0.18	3.81	3.26	0.10	0.01	1.38	0.20	6.31	2.78
Al ₂ O ₃	12.22	2.24	12.23	11.68	1.58	0.12	3.40	1.30	11.71	12.00
FeO	4.00	14.53	3.93	4.30	15.36	17.29	13.74	16.10	5.38	4.19
MnO	0.15	0.06	0.12	0.07	0.07	0.06	0.12	0.07	0.28	0.03
MgO	25.41	25.91	26.15	26.13	26.61	26.39	26.24	25.17	26.11	25.64
CaO	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00
BaO	0.48	0.03	0.50	0.53	0.00	0.00	0.19	0.00	0.53	0.70
Na ₂ O	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	10.55	10.51	10.54	10.57	10.39	10.21	10.29	10.42	10.19	10.50
F	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Cl	1.11	0.89	1.23	0.93	0.80	0.48	0.98	0.83	1.39	1.43
Total	97.84	95.46	97.76	97.25	95.73	95.05	97.00	95.90	98.61	97.29
-O_F_Cl	0.47	0.38	0.52	0.40	0.34	0.20	0.42	0.35	0.59	0.60
CTotal	97.37	95.08	97.24	96.85	95.39	94.85	96.58	95.55	98.02	96.69

Rocha	Fllogopito	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02
Amostra	Cat-19-02	01 / 01	01 / 02	02 / 03	02 / 04	02 / 05	03 / 06	04 / 07	04 / 08	05 / 10
Grão / Análise	fenocrist./ N	fenocrist./ B	fenocrist./ N	fenocrist./ I	fenocrist./ B	fenocrist./ B	matriz	fenocrist./ N	fenocrist./ B	05 / 11
Typo / Região	marrom	vermelho	marrom	incolor	vermelho	vermelho	vermelho	vermelho	vermelho	vermelho
Cor caract.										
SiO ₂	39.13	41.04	39.22	39.77	40.82	40.49	40.50	40.70	37.60	39.54
TiO ₂	4.76	0.18	3.81	3.26	0.10	0.01	1.38	0.20	6.31	2.78
Al ₂ O ₃	12.22	2.24	12.23	11.68	1.58	0.12	3.40	1.30	11.71	12.00
FeO	4.00	14.53	3.93	4.30	15.36	17.29	13.74	16.10	5.38	4.19
MnO	0.15	0.06	0.12	0.07	0.07	0.06	0.12	0.07	0.28	0.03
MgO	25.41	25.91	26.15	26.13	26.61	26.39	26.24	25.17	26.11	25.64
CaO	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.00
BaO	0.48	0.03	0.50	0.53	0.00	0.00	0.19	0.00	0.53	0.70
Na ₂ O	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	10.55	10.51	10.54	10.57	10.39	10.21	10.29	10.42	10.19	10.50
F	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
Cl	1.11	0.89	1.23	0.93	0.80	0.48	0.98	0.83	1.39	1.43
Total	97.84	95.46	97.76	97.25	95.73	95.05	97.00	95.90	98.61	97.29
-O_F_Cl	0.47	0.38	0.52	0.40	0.34	0.20	0.42	0.35	0.59	0.60
CTotal	97.37	95.08	97.24	96.85	95.39	94.85	96.58	95.55	98.02	96.69

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

Si	5.290	5.989	5.310	5.400	5.961	6.006	5.799	5.963	5.114	5.394
Al ^{IV}	1.946	0.385	1.950	1.867	0.272	0.022	0.573	0.224	1.875	1.928
Fe ³⁺	0.452	1.626	0.445	0.489	1.767	1.972	1.628	1.813	0.612	0.478
Ti	0.312	0.000	0.295	0.244	0.000	0.000	0.000	0.000	0.399	0.200
$\Sigma s.$ tetraédrico	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.172	0.019	0.093	0.089	0.011	0.001	0.148	0.022	0.247	0.086
Fe ²⁺	0.000	0.146	0.000	0.000	0.109	0.173	0.108	0.159	0.000	0.236
Mn	0.017	0.007	0.014	0.009	0.008	0.008	0.014	0.009	0.033	0.013
Mg	5.121	5.636	5.278	5.289	5.794	5.818	5.633	5.731	5.103	5.311
$\Sigma s.$ octaédrico	5.310	5.808	5.385	5.387	5.922	6.000	5.813	5.921	5.383	5.400
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.002	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000
Ba	0.026	0.002	0.026	0.028	0.000	0.000	0.011	0.000	0.028	0.000
Na	0.007	0.007	0.003	0.000	0.003	0.000	0.001	0.004	0.006	0.005
K	1.819	1.957	1.821	1.830	1.936	1.933	1.880	1.948	1.769	1.827
$\Sigma s.$ intercamada	1.854	1.972	1.850	1.858	1.939	1.950	1.952	1.956	1.805	1.871
Total	15.164	15.780	15.235	15.245	15.861	15.950	15.705	15.877	15.188	15.271
F	0.947	0.818	1.049	0.801	0.737	0.448	0.886	0.773	1.197	1.232
Cl	0.003	0.005	0.010	0.006	0.001	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000
	0.950	0.823	1.059	0.807	0.738	0.448	0.894	0.773	1.197	1.232

TABELA 1. Composição química em porcentagem de peso de Fllogopitas do Complexo Carbonatítico Catalão I

Obs.: Fe total calculado como Fe²⁺ . Fe³⁺ necessário para preencher sítio tetradírio. Abreviações: N- núcleo; B- borda; I- porção intermediária.

- Amostras de Rocha Sá

Análises de Flagonítito do Complexo Carbonatítico Catalão I

Fórmula: $X_2 Y_{4.6} Z_8 O_{20} (OH, F)_4$

Rocha	Flagonítito	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-02	Cat-19-03	Cat-19-03	Cat-19-03	Cat-19-03
Amostra	Cat-19-02	06 / 12	07 / 13	08 / 14	09 / 15	09 / 16	10 / 17	10 / 18	11 / 19	12 / 21
Grão / Análise	fenocrist./ N	fenocrist./ N	matriz	fenocrist./ N	fenocrist./ B	fenocrist./ N	fenocrist./ B	fenocrist./ N	matriz	13 / 22
Tipo / Região	larj/beg	incolor	vermelho	marrom	incolor	marrom	laranja	vermelho	incolor	matriz vermelho
Cor crist.										
SiO ₂	40.44	41.29	40.80	37.21	40.62	41.02	41.47	41.16	38.65	40.17
TiO ₂	1.33	0.37	0.21	6.79	0.23	1.87	0.48	0.31	4.54	2.58
Al ₂ O ₃	2.33	2.44	0.10	11.76	1.35	8.45	5.71	4.69	11.43	9.34
FeO	14.76	14.47	17.57	4.51	15.91	6.50	9.84	12.25	3.89	6.14
MnO	0.13	0.07	0.05	0.13	0.08	0.06	0.05	0.08	0.10	0.08
MgO	26.20	26.28	25.91	25.27	25.87	27.56	26.66	25.75	26.12	26.40
CaO	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.09	0.07	0.06	0.04
BaO	0.80	0.15	0.00	0.74	0.04	0.19	0.00	0.01	0.52	0.23
Na ₂ O	0.02	0.00	0.01	0.02	0.02	0.06	0.06	0.03	0.01	0.01
K ₂ O	10.25	10.52	10.25	9.99	10.39	9.77	10.37	10.32	10.53	10.58
F	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01
Cl	0.81	0.86	0.81	0.73	0.51	0.88	0.66	0.61	0.73	0.44
Total	97.09	96.44	95.70	97.18	95.01	96.44	95.39	95.27	96.53	96.00
- O_F_Cl	0.34	0.36	0.34	0.31	0.22	0.37	0.28	0.26	0.31	0.19
CTotal	96.75	96.08	95.36	96.87	94.79	96.07	95.11	95.01	96.22	95.81

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

	Si	Al ^{IV}								
	5.840	5.957	6.035	5.084	5.983	5.673	5.863	5.902	5.286	5.544
	0.397	0.414	0.017	1.892	0.235	1.376	0.951	0.792	1.840	1.518
	1.763	1.629	1.948	0.516	1.782	0.761	1.163	1.306	0.445	0.278
	0.000	0.000	0.000	0.508	0.000	0.190	0.023	0.000	0.429	0.737
$\Sigma s_{tetraédrico}$	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.144	0.040	0.023	0.190	0.025	0.005	0.028	0.033	0.038	0.037
	0.020	0.117	0.225	0.000	0.178	0.000	0.000	0.163	0.000	0.234
	0.016	0.008	0.006	0.015	0.010	0.007	0.006	0.009	0.012	0.011
	5.642	5.652	5.712	5.148	5.681	5.682	5.619	5.505	5.326	5.563
$\Sigma s_{octaédrico}$	5.822	5.817	5.966	5.353	5.894	5.694	5.653	5.710	5.376	5.479
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	0.003	0.000	0.002	0.013	0.011	0.009	0.000	0.004	0.000	0.006
	0.045	0.008	0.040	0.010	0.002	0.001	0.017	0.028	0.012	0.006
	0.005	0.001	0.004	0.005	0.017	0.017	0.008	0.004	0.000	0.003
	1.888	1.936	1.935	1.742	1.952	1.724	1.870	1.888	1.837	1.863
$\Sigma s_{intercanaada}$	1.941	1.945	1.939	1.789	1.959	1.764	1.898	1.906	1.869	1.879
Total	15.763	15.762	15.905	15.142	15.853	15.313	15.551	15.616	15.245	15.358
F	0.744	0.788	0.754	0.634	0.476	0.765	0.590	0.549	0.632	0.385
C/	0.000	0.000	0.000	0.006	0.001	0.010	0.010	0.008	0.010	0.006
	0.744	0.788	0.754	0.640	0.476	0.766	0.600	0.559	0.640	0.386

TABELA 1. Continuação.

Análises de Flogopitas do Complexo Carbonatítico Catalão I

Fórmula: $X_2Y_{4.6}Z_8O_{20}(OH,F)_4$

Rocha	Ultramafita	Cat-19-06							
Amostra	Cat-19-06	14 / 23	14 / 24	15 / 25	15 / 26	16 / 27	16 / 28	17 / 29	17 / 30
Grão / Análise	fenocrist./ N	fenocrist./ B	fenocrist./ N						
Tipo / Região	marrom								
Cor catact.	laranja								
SiO ₂	37.16	37.08	38.90	33.06	37.56	40.64	38.23	40.80	37.94
TiO ₂	5.43	0.45	3.97	0.06	5.37	0.26	5.37	0.09	5.49
Al ₂ O ₃	12.20	4.80	11.63	3.02	12.43	4.70	12.52	3.92	12.14
FeO	10.62	12.79	9.53	17.32	10.69	11.72	9.33	12.40	10.55
MnO	0.10	0.08	0.10	0.14	0.11	0.09	0.09	0.10	0.10
MgO	19.66	29.95	21.04	31.31	19.17	26.04	20.37	27.24	19.33
CaO	0.05	0.04	0.08	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.01
BaO	0.71	0.07	0.37	0.01	0.82	0.15	0.44	0.02	0.74
Na ₂ O	0.03	0.03	0.04	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01
K ₂ O	9.97	5.15	10.10	2.25	9.93	10.22	10.42	10.05	10.05
F	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Cl	0.26	0.17	0.21	0.22	0.02	0.33	0.15	0.16	0.19
Total	96.20	90.61	95.96	87.44	96.13	94.21	96.92	94.79	96.58
-O ₂ F-Cl	0.11	0.07	0.09	0.10	0.01	0.14	0.07	0.07	0.08
CTotal	96.09	90.54	95.87	87.34	96.12	94.07	96.85	94.72	96.50

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

	Si	5.236	5.492	5.430	5.188	5.276	5.873	5.291	5.861	5.309
Al ^{IV}	2.024	0.838	1.911	0.557	2.057	0.800	2.040	0.664	2.000	0.671
Fe ³⁺	0.740	1.670	0.659	2.255	0.667	1.327	0.669	1.475	0.691	1.446
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\Sigma s_{tetraédrico}$	8.000									
Al ^V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.575	0.005	0.416	0.007	0.568	0.028	0.559	0.010	0.578	0.017
Fe ²⁺	0.512	0.010	0.453	0.004	0.589	0.089	0.411	0.015	0.543	0.046
Mn	0.012	0.010	0.012	0.018	0.012	0.011	0.010	0.011	0.011	0.015
Mg	4.130	5.975	4.378	5.971	4.015	5.611	4.202	5.834	4.033	5.717
$\Sigma s_{octaédrico}$	5.229	6.000	5.259	6.000	5.184	5.739	5.182	5.870	5.165	5.795
Mg	0.000	0.637	0.000	1.355	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.007	0.007	0.012	0.007	0.005	0.006	0.003	0.003	0.002	0.009
Ba	0.039	0.004	0.020	0.000	0.045	0.009	0.024	0.001	0.041	0.005
Na	0.008	0.008	0.010	0.005	0.001	0.006	0.003	0.000	0.002	0.005
K	1.792	0.973	1.798	0.450	1.779	1.884	1.839	1.841	1.799	1.903
$\Sigma s_{intercânada}$	1.846	1.629	1.840	1.817	1.830	1.905	1.866	1.845	1.844	1.922
Total	15.075	15.529	15.099	15.753	15.014	15.644	15.048	15.715	15.009	15.717
F	0.233	0.156	0.181	0.222	0.015	0.300	0.135	0.141	0.167	0.193
Cl	0.000	0.001	0.000	0.006	0.000	0.003	0.000	0.141	0.000	0.000
	0.233	0.157	0.181	0.228	0.016	0.300	0.138	0.141	0.167	0.193

TABELA 1. Continuação

Análises de Filossilicatos do Complexo Carbonatítico Catalão I

Nível Intempérico	Limite entre Rocha Sã e Rocha Alterada	Cat-19-12a	Cat-19-12a	Cat-19-12a	Cat-19-12a	Cat-19-12a	Cat-19-12a	Cat-19-12a	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09
Amostra	Cat-19-12a	Cat-19-12a	03 / 03	04 / 04	05 / 05	06 / 06	07 / 07	08 / 08	09 / 09	10 / 10	10 / 10	10 / 11
Grão / Análise	01 / 01	02 / 02	matriz / N	matriz / N	fenocrist. N	matriz / N	matriz / N	fenocrist. / N	fenocrist. / N	fenocrist. / N	fenocrist. / N	fenocrist. / B
Tipo / Região			verde (clorita) verde (clorita) verde (clorita)	verde (clorita)	amarrelo	amarelo claro	incolor	laranja (ttf)	amar. claro	bege/marron	bege/marron	bege/marron
Cor caract.												
SiO ₂	31.27	31.05	33.33	41.21	42.21	36.89	33.43	37.97	36.56	41.64	39.01	
TiO ₂	0.12	0.17	0.15	0.52	0.44	0.80	0.35	3.77	3.89	4.11	3.60	
Al ₂ O ₃	6.18	5.49	6.37	12.32	12.12	15.57	0.03	11.99	11.64	11.03	12.23	
Fe ₂ O ₃	18.44	19.56	16.35	3.79	4.70	3.30	19.03	8.52	4.35	3.89	4.07	
MnO	0.20	0.17	0.18	0.03	0.07	0.07	0.06	0.07	0.02	0.07	0.06	
MgO	29.68	30.02	30.10	27.42	28.90	25.54	18.91	23.05	23.94	28.26	25.02	
CaO	0.13	0.07	0.27	0.40	0.33	0.05	0.77	0.09	0.49	0.35	0.41	
BaO	0.04	0.06	0.01	0.07	0.00	5.03	0.05	0.13	0.17	0.10	0.17	
Na ₂ O	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.04	0.03	0.07	0.03	0.04	
K ₂ O	0.02	0.02	0.03	0.36	0.57	9.12	0.04	9.97	6.26	0.47	5.71	
F	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.20	0.00	0.01	0.01	0.01	
Cl	0.20	0.27	0.30	0.92	0.57	0.53	0.22	0.74	0.38	0.55	0.64	
Total	86.29	86.87	87.10	87.07	89.92	96.93	73.13	96.33	87.76	90.50	90.97	
O_F_Cl	0.08	0.11	0.13	0.39	0.24	0.23	0.14	0.31	0.16	0.23	0.27	
CTotal	84.95	85.33	86.23	86.68	88.59	96.70	71.50	96.02	87.60	90.27	90.70	
Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxidações												
Si	4.952	4.932	5.126	5.736	5.779	5.089	6.310	5.198	5.301	5.595	5.418	
Al ^{IV}	1.153	1.027	1.154	2.019	1.954	2.530	0.006	1.933	1.988	1.745	2	
F ₂ ³⁺	1.895	2.041	1.720	0.245	0.267	0.340	1.684	0.869	0.470	0.39	0.43	
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.241	0.22	0.152	
$\Sigma s.$ tetraédrico	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8	8	
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ti	0.014	0.020	0.017	0.055	0.045	0.042	0.050	0.050	0.050	0.145	0.224	
F ₆ ³⁺	0.310	0.269	0.182	0.155	0.120	0.088	0.878	0.011	0.000	0.000	0.000	
Mn	0.026	0.022	0.024	0.004	0.008	0.008	0.008	0.008	0.002	0.008	0.008	
Mg	5.650	5.689	5.777	5.690	5.827	5.253	5.063	4.704	5.174	5.661	5.180	
$\Sigma s.$ octaédrico	6.000	6.000	6.000	5.904	6.000	5.303	6.000	5.111	5.360	5.814	5.412	
Mg	1.358	1.418	1.123	0.000	0.071	0.000	0.259	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ca	0.022	0.012	0.044	0.059	0.049	0.007	0.156	0.013	0.076	0.050	0.062	
Ba	0.002	0.004	0.000	0.004	0.000	0.272	0.004	0.007	0.010	0.005	0.009	
Na	0.004	0.000	0.003	0.009	0.003	0.003	0.014	0.008	0.019	0.007	0.010	
K	0.004	0.003	0.006	0.063	0.099	1.605	0.009	1.742	1.159	0.081	1.012	
$\Sigma s.$ intercamada	1.390	1.437	1.176	0.135	0.222	1.887	0.442	1.770	1.264	0.143	1.093	
Total	15.39	15.437	15.176	14.039	14.222	15.19	14.442	14.881	14.624	13.957	14.505	
F	0.196	0.269	0.296	0.812	0.491	0.465	0.266	0.643	0.349	0.465	0.559	
Cl	0.005	0.000	0.003	0.004	0.004	0.001	0.125	0.002	0.000	0.002	0.005	
Mineral	Clorita	Clorita	Clorita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Interestrat.	Vermiculita	Interestrat.	Vermiculita	Interestrat.	

TABELA 2. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I.

Nível Intempérico: Limite entre Rocha Sã e Rocha Alterada.

Obs.: F é total calculado como Fe³⁺, uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N - núcleo; B - borda; I - porção intermed.

Análises de Filosilicatos do Complexo Carbonatítico Catalão I

Nível Intempérico		Limite entre Rocha Sá e Rocha Alterada		Cat-19-09																		
Amostra	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	
Grão / Análise	10 / 12	11 / 13	12 / 14	13 / 15	14 / 16	15 / 17	16 / 18	17 / 19	17 / 20	18 / 21	19 / 22	19 / 22	19 / 22	19 / 22	19 / 22	19 / 22	19 / 22	19 / 22	19 / 22	19 / 22	19 / 22	
Tipo / Região	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	fenocrist./ N	
Cor caract.	amar. claro	amar. claro	amar. claro	bege	bege	amarelo sujo	amarelo sujo	amarelo sujo	amarelo sujo	marrom	marrom											
SiO ₂	40.39	39.49	41.32	38.59	40.19	39.19	39.46	38.93	39.23	39.71	39.71	39.71	39.71	39.71	39.71	39.71	39.71	39.71	39.71	39.71	39.71	
TiO ₂	3.89	4.53	2.62	3.97	4.04	3.96	3.88	4.76	4.42	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	4.23	
Al ₂ O ₃	12.01	11.22	10.93	11.94	11.99	12.49	12.58	12.32	11.84	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57	12.57	
Fe ₂ O ₃	4.20	4.80	4.26	3.75	4.35	3.52	3.31	4.28	3.36	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	3.33	
MnO	0.06	0.05	0.02	0.07	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
MgO	27.84	29.27	27.61	26.83	25.19	24.45	25.88	24.83	26.54	25.03	25.03	25.03	25.03	25.03	25.03	25.03	25.03	25.03	25.03	25.03	25.03	
CaO	0.59	0.63	0.57	0.32	0.52	0.52	0.30	0.39	0.99	0.41	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	
BaO	0.10	0.18	0.12	0.12	0.26	0.16	0.11	0.20	0.06	0.34	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
Na ₂ O	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	
K ₂ O	2.16	0.63	0.08	5.04	5.41	6.97	6.28	6.59	2.02	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58	6.58	
F	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Cl	0.42	0.56	0.43	0.45	0.39	0.70	0.26	0.48	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	
Total	91.67	91.39	88.01	91.08	92.45	92.06	92.11	92.86	88.87	92.55	91.24	91.56	91.24									
O ₂ -F-Cl	0.18	0.24	0.18	0.19	0.17	0.30	0.11	0.20	0.14	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	
CTotal	91.49	91.15	87.83	90.89	92.28	91.76	92.00	92.66	88.73	92.42	91.10	91.40	91.10									
Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios																						
Si	5.429	5.320	5.685	5.326	5.469	5.415	5.390	5.328	5.426	5.419	5.691	5.691	5.691	5.691	5.691	5.691	5.691	5.691	5.691	5.691	5.691	
Al ^{IV}	1.901	1.780	1.771	1.940	1.921	2.032	2.024	1.986	1.929	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	2.020	
Al ^{VI}	0.420	0.490	0.440	0.390	0.440	0.370	0.340	0.440	0.350	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	0.340	
Ti	0.250	0.410	0.104	0.344	0.170	0.183	0.246	0.246	0.295	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	0.221	
8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000		
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ti ⁺	0.143	0.049	0.167	0.068	0.244	0.229	0.152	0.244	0.165	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	0.213	
F ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Mn	0.006	0.006	0.002	0.008	0.006	0.006	0.004	0.006	0.003	0.001	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	
Mg	5.579	5.876	5.662	5.520	5.110	5.036	5.270	5.066	5.472	5.092	5.521	5.521	5.521	5.521	5.521	5.521	5.521	5.521	5.521	5.521	5.521	
$\Sigma s_{octaédrico}$	5.728	5.931	5.831	5.596	5.360	5.271	5.426	5.316	5.640	5.306	5.836											
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ca	0.084	0.091	0.085	0.047	0.075	0.077	0.043	0.057	0.048	0.060	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	0.146	
Ba	0.005	0.010	0.006	0.014	0.008	0.008	0.006	0.008	0.006	0.011	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	
Na	0.010	0.009	0.010	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.013	0.010	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	
K	0.370	0.107	0.013	0.888	0.940	1.229	1.095	1.151	1.228	0.515	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	1.235	
$\Sigma s_{intercamada}$	0.469	0.217	0.114	0.947	1.042	1.324	1.151	1.228	0.515	1.235												
Total	14.197	14.148	13.945	14.543	14.402	14.595	14.577	14.544	14.155	14.541												
F	0.359	0.477	0.371	0.394	0.337	0.613	0.227	0.416	0.297	0.274	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	
Cl	0.000	0.000	0.006	0.377	0.394	0.001	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Mineral	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	

TABELA 2. Continuação

Análises de Etilsilicatos do Complexo Carbonatito Catalão I

Nível Intempérico	Limite entre Rocha Sã e Rocha Alterada						Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09	Cat-19-09
	Amostra	Cat-19-12a	Cat-19-12a	Cat-19-12a	Cat-19-09	Cat-19-09						
Grão = Anidídio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Tipos / Região	matriz / N	fenocrist. / N	matriz / N	fenocrist. / B	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / B	matriz / N	matriz / B	fenocrist. / B	
Cor cristal.	verde (clorita)	amarel./clorita	laranja	amarelo	amarelo claro	amarelo claro	amarelo claro	amarelo sujo	amarelo claro	amarelo sujo	laranja (ttr)	
SiO ₂	32.84	38.68	44.94	41.75	41.03	39.93	40.73	34.66	42.54	41.01	40.248	
TiO ₂	0.14	0.14	0.04	0.38	0.37	0.30	0.14	0.62	0.23	0.51	0.359	
Al ₂ O ₃	7.22	6.90	0.51	11.89	8.73	10.73	7.71	0.10	9.96	0.09	5.447	
Fe ₂ O ₃	15.00	8.91	2.91	3.66	7.29	4.74	7.34	18.88	5.27	14.73	15.51	
MnO	0.12	0.05	0.01	0.10	0.08	0.07	0.01	0.02	0.05	0.05	0.036	
MgO	30.19	29.75	38.39	29.70	30.14	30.50	29.80	25.50	31.42	26.05	22.655	
CaO	0.21	0.56	0.26	0.22	0.36	0.27	0.40	0.64	0.35	0.70	0.136	
BaO	0.03	0.03	0.01	0.38	0.02	0.05	0.04	0.10	0.04	0.15	0.118	
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.01	0.039	
K ₂ O	0.02	0.04	0.16	1.06	0.01	0.21	0.20	0.07	0.45	0.04	8.647	
F	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.15	0.00	0.23	0.015	
Cl	0.46	0.44	0.88	0.60	0.35	0.46	0.43	0.42	0.44	0.19	0.369	
Total	86.23	85.57	88.13	89.76	88.40	87.28	86.85	81.18	90.79	83.76	93.58	
O, F, Cl	0.20	0.20	0.37	0.25	0.15	0.20	0.18	0.21	0.19	0.13	0.16	
CTotal	86.03	85.37	87.76	89.51	88.25	87.08	86.67	80.97	90.60	83.63	93.42	

Estrutura e evolução da base anatômica de 22 espécies

TABELA 24 *Combinação mínima das concentrações de boro, de F e de cátions de Almas e Amônio para o Complexo Carbonatônico Catalão*

National Instrumentation: I Initiative with Backer: SGI; Backer: Alameda

Nível inimpeçável: Limite entre Rocha 3a e Rocha Alterada
 Obs.: Fe total calculado como Fe^{3+} , uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção intermed.

Análises de Filossilícios do Complexo Carbonatítico Catalão I

Nível Intempérico | limite Rocha São - Bocha Alterada

Estrutura | calculada na base anidra de 32 oxigénios

5.709	5.818	5.903	5.758	5.974	5.740	5.956	5.770	5.812	5.820	5.838	5.809	5.762
1.745	1.272	0.941	1.373	0.225	0.510	0.606	1.327	1.271	1.315	0.917	1.321	1.386
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.033	0.014	0.040	0.031	0.009	0.013	0.018	0.034	0.027	0.018	0.012	0.023	0.029
0.339	0.828	1.902	0.812	0.339	1.540	0.850	0.792	0.874	0.824	1.197	0.720	0.759
0.004	0.005	0.004	0.004	0.003	0.005	0.003	0.001	0.002	0.007	0.000	0.008	0.008
5.606	5.622	4.953	5.578	8.204	5.655	6.892	5.640	5.572	5.567	5.767	5.659	5.616
0.004	0.000	0.021	0.000	0.022	0.001	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.014	0.008	0.007	0.004	0.001	0.002	0.001	0.008	0.006	0.000	0.005	0.005	0.005
0.002	0.006	0.011	0.006	0.027	0.027	0.009	0.003	0.008	0.001	0.002	0.005	0.008
1.885	1.920	1.618	1.918	0.227	1.847	0.767	1.918	1.910	1.904	1.916	1.916	1.888
<i>Total</i>	15.311	15.493	15.400	15.031	15.205	15.110	15.493	15.482	15.456	15.649	15.466	15.461
0.648	0.457	0.342	0.895	1.383	0.351	0.485	0.392	0.847	0.851	0.374	0.365	0.835
0.005	0.000	0.007	0.005	0.000	0.002	0.002	0.003	0.003	0.000	0.012	0.002	0.000
0.653	0.457	0.349	0.900	1.383	0.353	0.487	0.395	0.850	0.851	0.386	0.367	0.835

TABELA 2B. Composição química em porcentagem de peso de Filosilicatos (Nicas e Argilominerais) do Complexo Carbonatito Catalão I - Nível Intempério: Limite - Rocha Sá e Rocha Alterada
 Obs.: Fe total calculado como Fe^{2+} , pois as micas nestas amostras (de rocha carbonatítica) petrograficamente não apresentaram indícios de alteração. Abrev.: N - núcleo; B - borda; L - lamela de alteração
 Os Elementos não foram subdivididos em seus respectivos sítios, pois são representativas de material já com maior alteração, apresentando deficiências no sítio tetraédrico (< 8), ou mesmo de misturas

Análises de Fibrosilicatos do Complexo Carbonatítico Catalão I

Doktor Albrecht

Rocha Alterada											
Nível Intempérico		Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b
Amostra	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b
Grão / Análise	01 / 01	02 / 02	03 / 03	04 / 04	05 / 05	06 / 06	07 / 07	08 / 08	09 / 09	10 / 10	11 / 11
Tipo / Região	alter. Olivina	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N
Cor cutur.	vermelho-ttf	amar.acinz.sj.	amar.acinz.sj.	amar.acinz.sj.	amar.acinz.sj.	cinza sujo	cinza sujo	amar.sujo	amar.marr.sj.	amar.esverd.	amar.claro
SiO ₂	38.17	37.60	36.23	39.54	37.50	39.77	37.97	39.22	39.67	39.95	43.19
TiO ₂	0.58	5.88	3.24	1.74	2.23	2.04	1.93	3.77	3.13	1.86	3.55
Al ₂ O ₃	0.08	11.20	9.49	11.82	12.38	12.50	10.02	11.99	9.95	10.61	11.55
Fe ₂ O ₃	14.63	10.01	8.39	7.20	7.42	8.08	6.06	8.52	5.68	6.30	8.20
MnO	0.04	0.12	0.13	0.12	0.09	0.14	0.05	0.08	0.07	0.09	0.04
MgO	17.07	21.63	24.29	25.88	25.73	23.93	25.30	23.04	26.37	25.91	24.39
CaO	0.61	0.43	0.52	0.61	0.71	0.59	0.62	0.69	0.99	0.67	0.89
BaO	0.23	1.04	0.53	0.05	0.39	0.25	0.62	0.13	0.19	0.48	0.39
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.03	0.05	0.02	0.02
K ₂ O	0.02	7.21	5.02	0.71	2.60	4.86	5.72	9.97	5.45	5.80	5.95
F	0.12	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00
Cl	0.14	0.21	0.14	0.31	0.32	0.27	0.76	0.74	0.98	0.81	0.71
Total	71.69	95.36	87.99	87.99	89.43	92.45	90.33	96.34	92.53	92.48	93.89
O_F_Cl	0.08	0.09	0.06	0.13	0.14	0.12	0.32	0.31	0.41	0.34	0.30
CTotal	71.61	95.27	87.93	87.86	89.29	92.33	90.01	96.03	92.12	92.14	93.59

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

	<i>S_i</i>	<i>Al^{IV}</i>	<i>F_e^{j+}</i>	<i>T_i</i>	<i>S_s, tetraédrico</i>	<i>Al^{VI}_i</i>	<i>F_e^{j+}</i>	<i>T_i</i>	<i>S_s, octaédrico</i>	<i>C_d</i>	<i>B_d</i>	<i>N_a</i>	<i>K</i>	<i>S_s, intercamada</i>	<i>Total</i>	<i>F</i>	<i>C_f</i>
	6.674	5.162	5.288	5.516	5.262	5.443	5.556	5.198	5.478	5.524	5.253	5.814	5.485	5.453			
	0.016	1.810	1.631	1.941	2.046	2.014	1.672	1.933	1.618	1.728	1.870	1.432	1.714	1.643			
	1.310	1.028	0.920	0.543	0.692	0.543	0.640	0.869	0.590	0.650	0.850	0.754	0.510	0.580			
	0.000	0.000	0.000	0.161	0.000	0.000	0.132	0.000	0.314	0.098	0.027	0.000	0.291	0.324			
	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	0.076	0.607	0.195	0.183	0.236	0.210	0.074	0.388	0.011	0.095	0.340	0.097	0.063	0.069			
	0.610	0.002	0.000	0.217	0.088	0.287	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
	0.005	0.014	0.016	0.014	0.011	0.016	0.006	0.011	0.011	0.009	0.011	0.004	0.007	0.012			
	4.450	4.427	5.286	5.383	5.382	4.881	5.344	4.703	5.429	5.340	4.998	5.805	5.382	5.304			
	5.141	5.050	5.497	5.797	5.394	5.424	5.112	5.449	5.446	5.342	5.915	5.452	5.385	5.452			
	0.115	0.063	0.081	0.091	0.107	0.086	0.095	0.013	0.147	0.099	0.131	0.047	0.153	0.124			
	0.016	0.056	0.030	0.003	0.021	0.013	0.034	0.007	0.010	0.026	0.021	0.000	0.007	0.016			
	0.002	0.003	0.004	0.000	0.005	0.005	0.004	0.008	0.012	0.001	0.006	0.000	0.004	0.009			
	0.004	1.263	0.934	0.127	0.466	0.848	1.034	1.742	0.960	1.023	1.044	0.064	0.865	1.021			
	0.137	1.385	1.049	0.221	0.599	0.952	1.167	1.770	1.129	1.149	1.202	0.111	1.029	1.170			
	Total	13.278	14.435	14.546	14.018	14.316	14.346	14.591	14.882	14.578	14.595	14.544	14.026	14.481	14.555		
	<i>F</i>	0.153	0.184	0.129	0.272	0.288	0.236	0.678	0.643	0.856	0.710	0.613	0.691	0.688	0.735		
	<i>C_f</i>	0.068	0.006	0.007	0.007	0.009	0.007	0.010	0.002	0.004	0.004	0.004	0.003	0.001	0.000		
	0.221	0.190	0.136	0.136	0.279	0.297	0.243	0.688	0.645	0.860	0.714	0.613	0.694	0.689	0.735		

TABELA 3. Composição química em porcentagem de peso de Filossilicatos (Nílicas e Argilominerais) do Complexo Carbonatito Catalão I - Nível Intempérico Rocha Alterada

Análises de Filosilicatos do Complexo Carbonatítico Catalão I

Nível Intempérico		Rocha Alterada												Cat-01-RA		Cat-01-RA		Cat-01-RA	
Amostra	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b	Cat-19-07b												
Grão / Análise	03 / 03	05 / 05	06 / 06	08 / 08	09 / 09	12 / 12	13 / 13	14 / 15	17 / 18	20 / 21	21 / 22	23 / 24	matriz - N						
Tipos / Região	matriz - N	amar.claro	cinza sujo	cinza sujo	cinza sujo	cinza sujo	amar.esverd.												
Cor caract.	amar.acin.z.sj.	cinza sujo	marr/cinza																
SiO ₂	34.61	39.33	38.45	39.59	39.07	35.39	34.47	34.61	33.42	35.17	40.66	30.98							
TiO ₂	0.94	0.27	0.18	0.24	0.99	3.79	0.26	0.26	0.30	2.06	1.14	0.19							
Al ₂ O ₃	7.51	4.06	2.21	3.61	8.58	7.38	2.14	0.07	1.29	9.63	7.68	1.39							
Fe ₂ O ₃	11.75	12.83	14.06	14.01	8.26	6.60	7.73	4.47	17.80	3.87	7.64	18.26							
MnO	0.06	0.18	0.19	0.11	0.08	0.10	0.04	0.02	0.14	0.03	0.03	0.09							
MgO	29.85	28.13	28.85	29.55	25.50	23.85	26.24	19.53	27.99	23.53	27.39	29.44							
CaO	0.30	0.62	0.90	0.78	2.47	3.57	0.40	6.14	1.28	0.74	1.53	1.07							
BaO	0.09	0.00	0.00	0.00	0.11	0.15	0.06	0.03	0.00	0.23	0.42	0.00							
Na ₂ O	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01							
K ₂ O	2.00	0.03	0.01	0.03	5.43	2.46	0.04	0.03	0.02	5.40	3.14	0.02							
F	0.07	0.01	0.01	0.00	0.00	0.05	0.37	0.24	0.05	0.06	0.03	0.01							
Cf	0.27	0.24	0.20	0.45	0.24	0.45	0.45	0.19	0.20	0.42	1.30	0.44							
Total	87.45	85.69	85.05	88.36	90.78	83.79	71.96	65.61	82.73	81.61	90.97	81.88							
-O_F Cf	0.13	0.10	0.09	0.19	0.10	0.20	0.16	0.14	0.19	0.37	0.55	0.19							
CTotal	87.32	85.59	84.96	88.17	90.68	83.59	71.80	65.47	82.54	81.24	90.42	81.69							

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

Si	5.069	5.756	5.723	5.667	5.528	5.383	5.958	6.576	5.280	5.500	5.696	4.988						
Al ^{IV}	1.295	0.700	0.387	0.608	1.430	1.321	0.435	0.015	0.241	1.774	1.267	0.263						
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000						
Ti	0.103	0.030	0.020	0.025	0.106	0.433	0.034	0.037	0.036	0.242	0.120	0.023						
Fe ³⁺	1.290	1.410	1.570	1.510	0.880	0.750	1.000	0.640	2.110	0.460	0.800	2.210						
Mn	0.007	0.023	0.024	0.013	0.010	0.013	0.006	0.003	0.018	0.004	0.003	0.013						
Mg	6.519	6.137	6.402	6.305	5.380	5.408	6.762	5.531	6.591	5.486	5.719	7.066						
Ca	0.047	0.096	0.143	0.119	0.374	0.581	0.075	1.249	0.217	0.124	0.229	0.185						
Ba	0.005	0.000	0.000	0.000	0.006	0.009	0.004	0.002	0.000	0.014	0.023	0.000						
Na	0.007	0.000	0.000	0.000	0.013	0.006	0.007	0.005	0.010	0.006	0.006	0.003						
K	0.373	0.005	0.002	0.006	0.981	0.477	0.009	0.008	0.003	1.076	0.561	0.003						
Total	14.715	14.271	14.253	14.708	14.381	14.290	14.066	14.506	14.424	14.754								
F	0.250	0.222	0.186	0.407	0.217	0.435	0.207	0.242	0.419	0.847	1.150	0.450						
Cf	0.033	0.003	0.005	0.000	0.000	0.025	0.214	0.155	0.025	0.034	0.016	0.003						
	0.283	0.225	0.191	0.407	0.217	0.460	0.421	0.397	0.444	0.881	1.166	0.453						

Mineral	Vermiculita																

TABELA 3A. Composição química em porcentagem de peso de Filosilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico: Rocha Alterada

Obs.: Fe total calculado como Fe³⁺, uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção intermediária.

Os Elementos não foram subdivididos em seus respectivos sítios pois são representativas de material já com maior alteração, apresentando deficiências no sítio tetradílico (< 8) ou mesmo de misturas

Nível Intempérico		Rocha Alterada		Cat-01-RA		Cat-01-RA		Cat-01-RA		Cat-01-RA		Cat-01-RA	
Amostra	Cat-01-RA	24 / 25	25 / 26	26 / 27	27 / 28	28 / 30	28 / 30	fenocrist. - N	fenocrist. - N	30 / 33	30 / 33	Cat-01-RA	Cat-01-RA
Grão / Análise	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N	amar.acinç.sj.	amar.acinç.sj.	matriz - N	matriz - N	matriz - N	matriz - N
Cor amar.	mar/cinza	amar.acinç.sj.	mar/cinza	amar.acinç.sj.	mar/cinza	amar.acinç.sj.	mar/cinza	amar.acinç.sj.	amar.acinç.sj.	amar.acinç.sj.	amar.acinç.sj.	amar.acinç.sj.	amar.acinç.sj.
SiO ₂	38.63	39.62	38.32	37.50	40.55	41.05	38.87						
TiO ₂	0.11	0.21	0.20	0.30	0.67	0.94	0.25						
Al ₂ O ₃	3.48	3.87	2.04	3.15	8.38	8.23	3.24						
Fe ₂ O ₃	13.07	12.50	14.57	10.22	7.12	7.26	14.48						
MnO	0.06	0.02	0.04	0.03	0.06	0.05	0.06						
MgO	27.37	26.96	26.89	26.60	27.88	27.49	26.28						
CaO	2.24	2.46	2.78	2.93	0.51	0.92	2.96						
BaO	0.00	0.14	0.06	0.01	0.10	0.21	0.00						
Na ₂ O	0.07	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01	0.05						
K ₂ O	0.07	0.06	0.82	0.05	4.15	4.46	0.01						
F	0.03	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03						
Cl	Total	85.79	86.67	84.25	81.74	90.37	91.66						
- O, F, Cl	Total	0.29	0.34	0.20	0.39	0.39	0.44						
CTotal	85.50	86.33	84.05	81.35	89.98	91.22	86.71						

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

Si	5.725	5.800	5.808	5.814	5.683	5.701	5.722
Al ^{IV}	0.607	0.668	0.365	0.576	1.383	1.347	0.562
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.012	0.023	0.023	0.035	0.071	0.098	0.028
F ₄ ⁺	1.460	1.380	1.660	1.190	0.750	0.760	1.600
Mn	0.008	0.002	0.005	0.004	0.007	0.006	0.007
Mg	6.048	5.883	6.076	6.147	5.825	5.691	5.768
Ca	0.356	0.386	0.127	0.487	0.076	0.136	0.467
Ba	0.000	0.008	0.003	0.001	0.005	0.011	0.000
Na	0.020	0.007	0.012	0.008	0.005	0.003	0.015
K	0.014	0.010	0.159	0.009	0.742	0.790	0.001
Total	14.250	14.167	14.238	14.271	14.547	14.543	14.170
F	0.622	0.755	0.452	0.893	0.808	0.920	0.796
Cl	0.016	0.003	0.009	0.005	0.010	0.003	0.013
	0.638	0.758	0.461	0.898	0.818	0.923	0.809

Mineral	Vermiculita						
TABELA 3A. Continuação							

Análises de Filosilicatos do Complexo Carbonatítico Catalão I

Nível Intempérico Micáceo Base

Amostra	Cat-02mb	Cat-02mb	Cat-02mb	Cat-02mb	Cat-02mb	Cat-02mb	Cat-02mb	Cat-02mb	Cat-02mb	Cat-20mb	Cat-20mb	Cat-20mb
Grão / Análise	01 / 01	02 / 02	03 / 03	04 / 04	05 / 05	06 / 06	07 / 07	08 / 08	09 / 09	10 / 10	10 / 11	Cat-20mb
Tipo / Região	fenocrist./ N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	fenocrist./ N	Cat-20mb						
Cor variet.	marrom	marrom	laranja	laranja	marrom sujo	marrom/preto	marrom sujo	marrom	marrom amar.	bege	bege	Cat-20mb
ΣSiO_2	40.76	39.38	40.96	43.78	40.32	41.13	36.65	40.03	31.10	38.96	38.91	38.91
TiO_2	1.82	0.47	1.40	0.38	1.46	0.82	2.42	1.98	3.71	1.88	2.33	2.33
Al_2O_3	9.36	5.57	9.32	6.81	9.25	9.72	12.17	11.82	10.92	12.50	11.62	11.62
Fe_2O_3	9.83	11.16	8.01	9.52	7.45	5.70	12.79	10.39	12.54	9.85	11.14	11.14
MnO	0.14	0.33	0.07	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.06	0.07	0.10	0.10
MgO	22.62	24.83	25.27	24.53	23.19	21.21	21.01	21.24	21.01	22.07	21.26	21.26
CaO	0.78	0.68	0.11	0.86	0.65	1.65	0.26	0.09	0.44	0.24	0.61	0.61
BaO	0.35	0.14	0.27	0.08	0.13	0.11	0.41	0.34	0.33	0.35	0.53	0.53
Na_2O	0.02	0.03	0.04	0.05	0.01	0.02	0.06	0.02	0.00	0.03	0.05	0.05
K_2O	5.49	4.28	10.43	4.60	4.56	3.32	5.91	5.76	0.79	5.56	5.82	5.82
F	0.01	0.02	0.01	0.00	0.06	0.06	0.00	0.00	0.08	0.01	0.00	0.00
CJ	1.14	0.98	0.86	0.96	1.16	0.82	0.21	0.52	0.34	0.36	0.52	0.52
Total	92.31	87.86	96.77	91.62	88.33	84.65	92.00	92.35	81.31	91.88	92.90	92.90
$-O_F-CJ$	0.48	0.42	0.37	0.40	0.50	0.36	0.09	0.22	0.16	0.15	0.22	0.22
CTotal	91.83	87.44	96.40	91.22	87.83	84.29	91.91	92.13	81.15	91.73	92.68	92.68

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

Si	5.698	5.793	5.677	6.219	5.919	6.158	5.180	5.553	4.884	5.422	5.417	5.417
Al^{IV}	1.541	0.965	1.522	1.139	1.599	1.713	2.026	1.931	2.020	2.048	1.905	1.905
Fe^{3+}	0.761	1.230	0.801	0.642	0.482	0.129	0.794	0.309	1.096	0.530	0.678	0.678
Ti	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000
$\Sigma s.$ tetraédrico	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe^{3+}	0.269	0.000	0.116	0.490	0.372	0.492	0.566	0.771	0.384	0.500	0.492	0.492
Ti	0.191	0.040	0.146	0.041	0.162	0.092	0.257	0.207	0.439	0.197	0.244	0.244
Mn	0.017	0.041	0.009	0.007	0.010	0.013	0.015	0.019	0.009	0.009	0.012	0.012
Mg	4.713	5.446	5.220	5.195	5.076	4.735	4.426	4.392	4.918	4.579	4.412	4.412
$\Sigma s.$ octaédrico	5.190	5.527	5.491	5.733	5.620	5.332	5.264	5.389	5.750	5.285	5.160	5.160
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.117	0.107	0.017	0.132	0.103	0.264	0.039	0.013	0.073	0.035	0.091	0.091
Ba	0.019	0.008	0.015	0.005	0.008	0.007	0.023	0.018	0.020	0.019	0.029	0.029
Na	0.005	0.009	0.011	0.012	0.004	0.004	0.015	0.006	0.000	0.008	0.014	0.014
K	0.979	0.804	1.843	0.833	0.854	0.635	1.066	1.020	0.158	0.988	1.033	1.033
$\Sigma s.$ intercamada	1.120	0.928	1.886	0.982	0.969	0.910	1.143	1.057	0.251	1.050	1.167	1.167
Total	14.310	14.455	15.377	14.715	14.589	14.242	14.407	14.446	14.001	14.335	14.327	14.327
F	1.008	0.909	0.757	0.861	1.079	0.774	0.185	0.457	0.336	0.314	0.460	0.460
CJ	0.003	0.009	0.005	0.000	0.027	0.030	0.000	0.000	0.044	0.006	0.000	0.000
Mineral	Interestrat.	Vermiculita	Interestrat.	Interestrat.	Interestrat.	Interestrat.						

TABELA 4. Composição química em porcentagem de peso de Filosilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico Micáceo Base

Obs.: Fe_{total} calculado como Fe^{3+} , uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção interna.

Análises de Filosilicatos do Complexo Carbonatítico Catalão I

Micáceo Base		Cat-20mb		Cat-20mb		Cat-20mb		Cat-20mb		Cat-20mb		Cat-20mb	
Nível Intempérico	Amostra	Grão / Análise	11 / 12	12 / 13	13 / 14	14 / 15	15 / 16	16 / 17	17 / 18	18 / 19	19 / 20	20 / 21	
Cor varat.	marrom amar.	Tipo / Região	fenocrist./ N	matriz / N	fenocrist./ N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	fenocrist./ N	
ΣO_2	29.98		35.52	37.25	31.90	33.68	32.57	31.88	32.81	36.40	36.79		
TiO_2	2.11		3.48	2.49	2.16	1.81	0.62	0.84	1.24	1.42	2.36		
Al_2O_3	11.01		12.43	11.40	11.15	9.92	10.68	12.71	13.90	12.01	11.18		
Fe_2O_3	13.95		8.65	12.89	22.08	10.88	11.10	8.02	8.78	10.12	14.98		
MnO	0.04		0.08	0.11	0.07	0.11	0.01	0.11	0.10	0.14	0.09		
MgO	20.15		25.35	20.04	19.63	21.33	16.03	26.32	27.96	23.86	19.93		
CaO	0.43		0.50	0.32	0.34	0.54	0.60	0.27	0.20	0.20	0.30		
BaO	0.11		0.11	0.85	0.53	0.11	0.19	0.04	0.12	0.27	0.59		
Na_2O	0.01		0.01	0.05	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.04		
K_2O	0.04		0.09	6.22	4.57	0.13	0.90	0.25	0.31	4.03	5.61		
F	0.12		0.02	0.00	0.02	0.10	0.17	0.09	0.05	0.01	0.02		
Cl	0.08		0.45	0.34	0.43	0.29	0.03	0.42	0.46	0.40	0.36		
Total	78.02		86.69	91.97	92.88	78.92	72.93	80.93	85.93	88.87	92.23		
$-O_F Cl$	0.06		0.19	0.14	0.18	0.15	0.05	0.20	0.21	0.17	0.15		
CTotal	77.96		86.50	91.83	92.70	78.77	72.88	80.73	85.72	88.70	92.08		

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

Si	4.882	5.091	5.300	4.636	5.337	5.574	4.910	4.778	5.229	5.229	
Al^{IV}	2.111	2.098	1.910	1.908	1.850	2.152	2.305	2.384	2.032	1.871	
Ti^{3+}	1.007	0.811	0.790	1.456	0.813	0.194	0.688	0.838	0.739	0.900	
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.097	0.000	0.000	0.000	
$\Sigma s.$ tetraédrico	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	
Al^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ti^{3+}	0.703	0.119	0.590	0.954	0.487	1.236	0.242	0.122	0.351	0.700	
Ti	0.258	0.375	0.266	0.236	0.216	0.080	0.097	0.135	0.154	0.252	
Mn	0.006	0.009	0.013	0.009	0.015	0.001	0.014	0.012	0.017	0.010	
Mg	4.893	5.417	4.249	4.252	5.040	4.090	5.647	5.731	5.109	4.222	
$\Sigma s.$ octaédrico	5.860	5.920	5.118	5.451	5.758	5.407	6.000	6.000	5.631	5.184	
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.397	0.339	0.000	0.000	
Ca	0.076	0.076	0.049	0.052	0.092	0.109	0.044	0.031	0.031	0.046	
Ba	0.007	0.006	0.048	0.030	0.007	0.013	0.002	0.007	0.015	0.033	
Na	0.002	0.004	0.013	0.008	0.003	0.013	0.003	0.002	0.003	0.012	
K	0.009	0.016	1.130	0.847	0.026	0.195	0.049	0.058	0.739	1.018	
$\Sigma s.$ intercambiada	0.094	0.102	1.240	0.937	0.128	0.330	0.098	0.098	0.788	1.109	
Total	13.954	14.022	14.358	14.388	13.886	13.657	14.398	14.437	14.419	14.293	
F	0.077	0.406	0.309	0.392	0.292	0.037	0.404	0.424	0.366	0.320	
Cl	0.068	0.010	0.000	0.009	0.054	0.096	0.048	0.026	0.005	0.371	
Mineral	Vermiculita	Vermiculita	Interestrat.	Vermiculita	Interestrat.	Vermiculita	Vermiculita	Vermiculita	Interestrat.	Interestrat.	

TABELA 4. Continuação

Análises de Filosilicatos do Complexo Carbonatítico Catalão I

Nível Intempérico	Micáceo Médio		Cat-21mmf		Cat-21mmf		Cat-21mmf		Cat-21mmf									
	Amostra	01 / 01	01 / 02	02 / 03	02 / 04	03 / 05	04 / 06	05 / 07	06 / 08	06 / 09	07 / 10	07 / 11	fenocrist./ N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	marrom	marrom
Grão / Análide																		
Tipo / Região																		
Cor análit.																		
SiO ₂	40.22	40.81	35.14	36.09	41.13	38.88	37.51	37.42	37.36	40.38	40.14							
TiO ₂	0.63	0.60	0.86	1.95	0.69	0.51	0.77	0.63	1.84	1.88	1.65							
Al ₂ O ₃	9.47	9.56	10.69	9.64	9.65	10.86	10.73	8.76	11.13	11.91	12.13							
Fe ₂ O ₃	9.65	10.18	5.60	6.67	7.92	7.52	7.79	13.61	9.25	7.18	6.79							
MnO	0.15	0.16	0.06	0.08	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.09	0.08							
MgO	23.21	23.60	25.95	24.80	24.45	25.91	25.48	22.94	22.76	26.67	25.85							
CaO	0.07	0.11	0.22	0.25	0.12	0.21	0.18	0.15	0.23	0.27	0.23							
BaO	0.23	0.30	0.20	0.11	0.04	0.23	0.17	0.15	0.46	0.35	0.37							
Na ₂ O	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02	0.01	0.00							
K ₂ O	4.67	4.78	0.25	0.71	5.44	1.15	0.27	4.57	2.78	0.37	0.16							
F	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.02	0.02	0.04	0.05	0.00	0.00							
Cl	0.86	0.88	0.43	0.45	0.94	0.71	0.73	0.83	0.28	0.47	0.54							
Total	89.15	90.99	79.39	80.80	90.53	86.07	83.72	89.21	86.23	89.56	87.94							
-O_F_Cl	0.36	0.37	0.18	0.20	0.40	0.30	0.31	0.36	0.13	0.20	0.23							
CTotal	88.79	90.62	79.21	80.60	90.13	85.77	83.41	88.85	86.10	89.36	87.71							

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

Si	5.751	5.731	5.427	5.512	5.778	5.593	5.531	5.454	5.455	5.533	5.583							
Al ^{IV}	1.594	1.581	1.944	1.734	1.597	1.841	1.863	1.504	1.914	1.923	1.987							
F _e ³⁺	0.655	0.688	0.629	0.754	0.625	0.566	0.606	1.042	0.631	0.544	0.430							
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000							
Σ.s. tetraédrico	8.000																	
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000							
Ti	0.068	0.063	0.099	0.224	0.073	0.055	0.085	0.254	0.202	0.193	0.172							
F _e ³⁺	0.385	0.392	0.021	0.016	0.215	0.244	0.011	0.011	0.048	0.379	0.196	0.280						
Mn	0.018	0.019	0.008	0.010	0.012	0.011	0.010	0.010	0.008	0.010	0.009							
Mg	4.946	4.941	5.872	5.647	5.121	5.556	5.600	4.984	4.955	5.448	5.361							
Σ.s. octaédrico	5.417	5.415	6.000	5.897	5.421	5.866	5.949	5.510	5.544	5.847	5.822							
Mg	0.000	0.000	0.101	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000							
Ca	0.010	0.016	0.036	0.041	0.018	0.032	0.028	0.023	0.026	0.039	0.034							
Ba	0.013	0.016	0.012	0.006	0.002	0.013	0.010	0.009	0.026	0.019	0.020							
Na	0.001	0.007	0.001	0.001	0.005	0.004	0.000	0.008	0.006	0.001	0.001							
K	0.852	0.857	0.049	0.137	0.975	0.211	0.052	0.850	0.518	0.065	0.029							
Σ.s.intercamada	0.876	0.896	0.199	0.185	1.000	0.260	0.090	0.586	0.124	0.084	0.084							
Total	14.293	14.311	14.199	14.082	14.421	14.126	14.039	14.400	14.130	13.971	13.906							
F	0.775	0.785	0.418	0.437	0.838	0.646	0.676	0.765	0.258	0.405	0.475							
Cl	0.001	0.000	0.000	0.028	0.001	0.008	0.008	0.018	0.023	0.000	0.000							
Mineral																		
	Interestrat.	Interestrat.	Vermiculita	Vermiculita	Interestrat.	Vermiculita	Vermiculita	Interestrat.	Vermiculita	Interestrat.	Vermiculita							

TABELA 5. Composição química em porcentagem de peso de Filosilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico Micáceo Médio

Obs.: F_e total calculado como Fe³⁺, uma vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- núcleo; B- borda; I- porção interna.

Análises de Filosilicatos do Complexo Carbonatítico Catalão I

Nível Intempérico	Micáceo Médio	Cat-21mmf	Cat-21mmf	Cat-21mmf	Cat-21mmf	Cat-21mmf	Cat-21mmf	Cat-21mmf	Cat-21mmf	Cat-21mmf	Cat-21mmf	Cat-21mmf
Amostra	Cat-21mmf	08 / 12	09 / 13	10 / 14	11 / 15	12 / 16	13 / 17	14 / 18	15 / 19	16 / 20	16 / 21	Cat-21mmf
Grão / Análise	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	fenocrist./ N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	Cat-21mmf
Tipo / Região					amar. / marrom	marrom / escuro	marrom / preto	incolor	marr	marrom	marrom	Cat-21mmf
Cor carat.	laranja	amarela										Cat-21mmf
SiO ₂	42.31	38.50	41.05	38.71	42.25	41.49	41.56	29.73	37.92	34.21	37.48	
TiO ₂	0.61	0.67	0.56	0.43	0.29	0.27	1.12	0.31	3.32	3.41	2.88	
Al ₂ O ₃	9.44	8.52	8.32	5.06	5.16	7.35	10.54	3.24	12.90	11.79	12.88	
Fe ₂ O ₃	9.21	8.72	8.44	19.88	17.02	9.89	7.63	27.47	7.19	6.78	7.77	
MnO	0.11	0.06	0.11	0.16	0.21	0.14	0.07	0.14	0.03	0.07	0.05	
MgO	24.14	21.51	25.67	18.10	19.85	25.04	25.09	14.40	21.89	21.09	22.81	
CaO	0.35	0.31	0.21	0.77	0.29	0.34	0.60	0.59	0.55	0.79		
BaO	0.20	0.12	0.17	0.15	0.06	0.10	0.23	0.06	0.31	0.47	0.56	
Na ₂ O	0.01	0.02	0.02	0.01	0.04	0.01	0.04	0.04	0.02	0.07	0.02	
K ₂ O	4.85	4.25	3.51	5.01	5.14	4.70	4.51	3.60	5.89	5.46	5.96	
F	0.01	0.13	0.02	0.04	0.01	0.00	0.00	0.14	0.02	0.10	0.00	
Cl	0.69	0.78	0.73	0.45	0.32	0.92	0.77	0.25	1.31	1.24	0.72	
Total	91.94	83.58	88.81	88.76	91.10	90.21	91.91	79.97	91.43	85.20	91.96	
O_F_Cl	0.29	0.36	0.31	0.20	0.14	0.39	0.32	0.14	0.55	0.55	0.30	
CTotal	91.65	83.22	88.50	88.56	90.96	89.82	91.59	79.83	90.88	84.65	91.66	

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

Si	5.835	5.853	5.821	5.780	6.028	5.873	5.709	5.149	5.344	5.212	5.254	
Al ^{IV}	1.533	1.525	1.390	0.889	0.866	1.226	1.705	0.662	2.142	2.116	2.126	
Fe ³⁺	0.632	0.622	0.789	1.331	1.106	0.901	0.586	2.189	0.514	0.672	0.620	
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
$\Sigma s_{tetraédrico}$	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ti	0.064	0.077	0.060	0.048	0.031	0.029	0.116	0.041	0.352	0.391	0.304	
Fe ³⁺	0.328	0.378	0.111	0.899	0.724	0.149	0.204	1.391	0.246	0.108	0.200	
Mn	0.013	0.007	0.013	0.020	0.026	0.017	0.009	0.021	0.004	0.009	0.006	
$\Sigma s_{octaédrico}$	5.368	5.337	5.609	4.995	5.004	5.478	5.466	5.172	5.202	5.298	5.277	
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Ca	0.052	0.051	0.033	0.123	0.114	0.044	0.050	0.112	0.088	0.090	0.118	
Ba	0.011	0.007	0.009	0.003	0.006	0.013	0.004	0.017	0.028	0.031		
Na	0.002	0.002	0.006	0.003	0.012	0.003	0.011	0.008	0.019	0.006	0.017	
K	0.854	0.824	0.635	0.954	0.936	0.849	0.791	0.795	1.059	1.061	1.065	
$\Sigma s_{intercamada}$	0.919	0.888	0.683	1.089	1.065	0.902	0.865	0.919	1.183	1.185	1.231	
Total	14.287	14.225	14.292	14.084	14.069	14.380	14.331	14.091	14.385	14.483	14.508	
F	0.603	0.754	0.658	0.426	0.286	0.822	0.666	0.276	1.164	1.198	0.638	
Cl	0.006	0.067	0.008	0.020	0.007	0.000	0.000	0.081	0.010	0.051	0.000	
Mineral	Interestrat.	Interestrat.	Vermiculita	Interestrat.								

TABELA 5. Continuação

Análises de Fissilícitos do Complexo Carbonatito Catalão I

Nível Intempérico	Micáceo Médio	Cat-21mmd	Cat-21mmd	Cat-21mmd	Cat-21mmd	Cat-21mmd	Cat-21mmd	Cat-21mmd	Cat-21mmd	Cat-21mmd
Amostra	Cat-21mmd	18 / 23	19 / 24	19 / 25	20 / 26	21 / 27	22 / 28	23 / 29	24 / 30	25 / 31
Grão / Análise	fenocrist./ N	fenocrist./ B	fenocrist./ B	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	25 / 32
Tipo / Região	marrom	amar. sujo	amar.claro	amar.claro	marrom escuro	marrom	marrom	marrom	marrom	25 / 32
Cor varat.										

SiO ₂	37.18	36.73	35.90	37.41	30.74	24.08	38.94	36.73	38.03	37.51
TiO ₂	3.05	2.72	2.33	3.46	2.21	3.11	3.40	2.28	2.97	5.49
Al ₂ O ₃	9.75	9.15	9.94	13.04	10.42	8.99	13.19	10.41	12.96	12.69
Fe ₂ O ₃	18.22	12.41	9.64	6.91	6.55	25.90	7.61	8.12	7.68	7.67
MrO	0.07	0.09	0.11	0.07	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.07
MsO	16.21	16.93	16.71	22.34	19.13	14.65	22.70	20.20	23.07	22.56
CaO	0.95	0.87	1.20	0.90	0.66	0.68	0.73	0.55	0.88	1.05
BaO	0.26	0.15	0.18	0.64	0.52	0.26	0.46	0.45	0.44	0.67
Na ₂ O	0.07	0.06	0.09	0.07	0.05	0.01	0.02	0.04	0.08	0.05
K ₂ O	5.21	5.82	4.63	6.04	4.65	3.69	6.05	5.46	5.84	5.86
F	0.00	0.15	0.01	0.01	0.24	0.19	0.02	0.17	0.01	0.03
CJ	0.48	0.73	0.49	1.23	1.28	0.76	0.71	1.29	0.95	1.33
Total	91.45	85.81	81.23	92.11	76.49	82.38	93.86	85.75	92.96	94.96
- O _F -Cl	0.20	0.34	0.21	0.52	0.59	0.36	0.30	0.58	0.40	0.57
CTotal	91.25	85.47	81.02	91.59	75.90	82.02	93.56	85.17	92.56	94.39

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

Si	5.367	5.597	5.662	5.260	5.243	4.110	5.323	5.554	5.272	5.140
Al ^{IV}	1.658	1.642	1.845	2.159	2.094	1.806	2.123	1.853	2.116	2.049
F _p ⁺	0.975	0.761	0.493	0.581	0.663	2.084	0.554	0.593	0.612	0.790
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.021
$\Sigma s.$ tetraédrico	8.000									
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.331	0.311	0.277	0.366	0.284	0.399	0.350	0.260	0.310	0.545
F _s ³⁺	1.005	0.659	0.647	0.149	0.177	1.236	0.226	0.327	0.188	0.000
Mn	0.009	0.011	0.014	0.008	0.006	0.008	0.004	0.007	0.008	0.008
Mg	3.487	3.845	3.927	4.682	4.864	3.728	4.627	4.552	4.769	4.609
$\Sigma s.$ octaédrico	4.832	4.826	4.865	5.205	5.331	5.371	5.207	5.146	5.275	5.162
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.147	0.142	0.203	0.136	0.121	0.125	0.107	0.089	0.130	0.154
Ba	0.015	0.009	0.011	0.035	0.034	0.018	0.025	0.027	0.024	0.036
Na	0.019	0.018	0.027	0.018	0.015	0.005	0.004	0.012	0.020	0.012
K	0.960	1.131	0.932	1.083	1.013	0.803	1.056	1.052	1.033	1.024
$\Sigma s.$ intercamada	1.141	1.300	1.173	1.272	1.183	0.951	1.192	1.180	1.207	1.226
Total	13.973	14.126	14.038	14.477	14.514	14.322	14.399	14.326	14.482	14.388
F	0.434	0.706	0.492	1.092	1.382	0.815	0.610	1.235	0.832	1.152
CJ	0.000	0.075	0.006	0.004	0.140	0.109	0.011	0.089	0.006	0.012
Mineral /	Interestrat.									

TABELA 5. Continuação

Análises de Filosilicatos do Complexo Carbonatítico Catalão I

Nível Intempérico	Micáceo Topo	Micáceo Topo - Pseudomorfos de Micáceos - Processo de Alteração									
		Cat - 22 mt	Cat - 22 mt	Cat - 22 mt	Cat - 22 mt	Cat - 22 mt	Cat - 03 mt				
Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8
Grão = Análise	fenocrist. N	matriz / N	fenocrist. N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N	matriz / N
Tipo / Região	marrom sujo	marrom esc.	marrom	amarelado	marrom esc.						
Cor carat.											
SiO ₂	33.60	35.28	36.18	36.44	4.06	23.20	25.22	5.65	11.05		
TiO ₂	0.60	0.21	0.15	0.14	1.08	0.34	1.19	0.74	1.60		
Al ₂ O ₃	9.95	6.07	8.32	8.87	1.02	5.45	7.82	2.24	3.82		
Fe ₂ O ₃	13.32	20.63	14.56	12.56	64.45	14.90	32.01	14.38	48.53		
MnO	0.13	0.09	0.14	0.10	0.03	0.04	0.21	0.00	0.00		
MoO	23.02	21.74	25.76	25.95	27.36	1.70	1.58	0.42	1.02		
CaO	0.20	0.35	0.05	0.13	0.16	0.52	0.87	0.18	0.29		
BaO	0.14	0.07	0.01	0.00	0.00	0.06	0.10	0.06	0.07		
Na ₂ O	0.02	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00		
K ₂ O	3.99	4.69	4.19	4.27	0.01	0.04	0.05	0.01	0.00		
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.08		
Cl	0.63	0.15	0.43	0.51	0.00	0.67	0.37	0.19	0.04		
Total	85.60	89.32	89.82	88.97	98.16	46.92	69.45	23.87	66.49		
-O.F.Cl	0.27	0.07	0.18	0.22	0.00	0.15	0.09	0.04	0.04		
CTotal	85.33	89.25	89.64	88.75	99.07	46.77	69.36	23.83	66.45		

Fórmula Estrutural calculada na base anidra de 22 oxigênios

Si	5.114	5.261	5.444	5.455							
Al ^{IV}	1.783	1.065	1.475	1.565							
Fe ³⁺	1.103	1.674	1.081	0.980							
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000							
$\Sigma s_{tetraédrico}$	8.000	8.000	8.000	8.000							
Al ^{VI}	0.000	0.000	0.000	0.000							
Ti	0.069	0.023	0.017	0.016							
Fe ³⁺	0.417	0.636	0.386	0.341							
Mn	0.017	0.011	0.017	0.013							
Mg	5.222	4.835	5.580	5.630							
$\Sigma s_{octaédrico}$	5.725	5.505	6.000	6.000							
Mg	0.000	0.000	0.198	0.162							
Ca	0.032	0.056	0.008	0.021							
Ba	0.009	0.004	0.001	0.000							
Na	0.005	0.011	0.006	0.000							
K	0.775	0.893	0.805	0.816							
$\Sigma s_{intercamada}$	0.821	0.964	1.018	0.999							
Total	14.546	14.469	15.018	14.999							
F	0.610	0.145	0.409	0.484							
Cl	0.000	0.002	0.001	0.000							
	0.610	0.147	0.410	0.484							

Mineral / Interestrat. / Interestrat. / Interestrat. / Interestrat.

TABELA 6. Composição química em porcentagem de peso de Filosilicatos (Micas e Argilominerais) do Complexo Carbonatítico Catalão I - Nível Intempérico Rocha Alterada
 Obs.: Fe total calculado como Fe³⁺, numa vez que a vermiculita (principal mineral de alteração) possui em sua estrutura o Fe com esta valência. Abrev.: N- matriz; B- borda; I- porção intermed.

