

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ROCHAS CALCIOSSILICÁTICAS DO COMPLEXO CARAÍBA NA  
REGIÃO DE CASTRO ALVES - BA E APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS  
POTENCIAIS**

Luciane Kuzmickas

**Orientador:** Prof. Dr. Gergely Andres Julio Szabó

**Co-orientador:** Dr. Marsis Cabral Junior

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA  
(TF-10/30)**

São Paulo  
2010

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ROCHAS CALCIOSSILICÁTICAS DO COMPLEXO CARAÍBA NA  
REGIÃO DE CASTRO ALVES - BA E APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS  
POTENCIAIS**



Luciane Kuzmickas

**Orientador:** Prof. Dr. Gergely Andres Julio Szabó

**Co-orientador:** Dr. Marsis Cabral Junior

**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA**

**(TF-10/30)**

**DEDALUS - Acervo - IGC**



30900028419

**São Paulo**

**2010**

TF  
K97  
L. N

ОДАСЛОВЕЗДА  
ИЗДАНИЕ

И АЛГАРД САМОУЧИТЕЛЬНОЕ ПОСОБИЕ  
ПО ВЫДЕЛЕНИЮ И ОБРАБОТКЕ  
ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ



Лицензия № 00000000000000000000000000000000

Документы № 01-00000000000000000000000000000000  
Составлены в г. Минске 01.01.2001 г.

Министерство образования Республики Беларусь

БЕЛМАСТЕХ

БЕЛМАСТЕХ

БЕЛМАСТЕХ

## RESUMO

O município de Castro Alves - BA está localizado na unidade geotectônica Cráton do São Francisco, que possui na sua parte noroeste rochas metamórficas das fácies anfibolito alto e granulito, pertencentes aos Complexos Jequié e Caraíba. O Complexo Caraíba é constituído por enderbitos-chamockitos, ortognaisses granulíticos retrometamorfizados e por ortognaisses migmatíticos, esses últimos apresentando lentes de rochas calciosilicáticas ricas em diopsídio, que possuem potencial de aproveitamento econômico.

O presente estudo propõe a caracterização das rochas calciosilicáticas quanto aos seus aspectos geológicos e petrográficos, visando fornecer subsídios para o entendimento da evolução dos terrenos geológicos e a variedade mineralógica dos corpos de diopsidito. Serão estudados também, os potenciais usos tecnológicos dessas rochas, com a realização de ensaios cerâmicos e caracterização, por difração de raios X, de alguns corpos de prova.

As rochas calciosilicáticas se destacam no relevo arrasado como cristas e morros alinhados, aflorando em forma de blocos e matações rolados e alguns *in situ*. Constituem estreitas faixas lenticulares com dimensões variáveis, podendo atingir até setecentos metros de comprimento e duzentos metros de largura, geralmente alinhadas segundo a direção NW-SE. Estão deformadas, intensamente percoladas e cortadas por granitos e pegmatitos, com geração de brechas de contato e venulações.

Foram individualizados os seguintes litotipos: diopsidito, diopsidito feldspático, diopsidito feldspático bandadado, granada diopsidito, diopsídio mármore e actinolítito. Estão na fácie granulito, com paragêneses compatíveis com estas condições, apresentando localmente reequilíbrio para a fácie anfibolito.

No caso dos ensaios tecnológicos os resultados mais significativos estão associados aos corpos-de-prova de cerâmica branca, onde a adição do diopsidito colaborou com o aumento da tensão de ruptura à flexão, diminuiu a absorção d'água e taxas de variação da retração linear em comparação com a massa padrão. Adicionalmente, proporcionou sutil branqueamento aos corpos-de-prova de cerâmica vermelha e funcionou como um fundente eficiente.

## **ABSTRACT**

The town of Castro Alves - BA is located in the São Francisco Craton, which is constituted, in its northwestern region, of granulite to high amphibolite facies metamorphic rocks, belonging to the Jequié and Caraíba Complexes. The Caraíba Complex consists of enderbites-charnockites, as well as retrometamorphic granulitic and migmatitic orthogneisses with diopside-rich marls with a potential for economic exploitation.

This study aimed the geological and petrographic characterization of the marls, with special attention for the diopsidites, in order to understand their geological evolution and mineralogical variety. The technological potential use of these rocks was also evaluated through ceramic tests, and characterized by x-ray diffraction of some samples.

The marls occur as ridges and aligned hills in the devastated relief, outcropping in the form of blocks and boulders, some rolled over and some *in situ*. They constitute lenticular narrow strips, with varying sizes and may reach up to seven hundred meters in length and two hundred meters in width, usually aligned in the NW-SE direction. They are deformed and intensively percolated and cut by granites and pegmatites, with the development of intrusive breccias and veins.

Petrographic descriptions permitted to individualize the following lithotypes: diopsidite, feldspathic diopsidite, banded feldspathic diopsidite, garnet diopsidite, diopside marble and actinolitite. They exhibit granulite facies parageneses, locally reequilibrated to amphibolite facies conditions.

As for the technological tests, the most significant results were associated with the white ceramic bodies-of-proof, where the addition of diopsidite increased the tension of rupture, decreased water absorption and lowered linear shrinkage rates, when compared with the standard mass bodies. It also provided subtle whitening to the red pottery bodies-of-proof, and worked as an efficient flux.

Dedico esse trabalho *in memoriam* Jerônimo Kuzmickas, por ser o meu eterno exemplo de inteligência, persistência, determinação e honestidade.

"Loucura? Sonho? Tudo é loucura ou sonho no começo. Nada do que o homem fez no mundo teve início de outra maneira, mas tantos sonhos se realizaram que não temos o direito de duvidar de nenhum".

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer ao meu orientador Gergely Szabó, por toda paciência e ajuda na escolha e desenvolvimento do projeto; ao meu co-orientador e supervisor do IPT, Marsis Cabral Junior, pela sugestão do tema e por todo conhecimento transmitido ao longo dos dois anos de convivência; e à Mineração Lagoa Matérias-Primas Ltda, em especial a Francisco Motta, por apoiar minha graduação em geologia, financiando o desenvolvimento do projeto, além de proporcionar agradáveis recordações dos trabalhos de campo em Castro Alves, Bahia.

Aos meus pais Eduardo Kuzmickas e Faini Kuzmickas, por todo apoio e desapoio ao longo da graduação. A minha tia Olga Mickevicius, por toda experiência transmitida e pela ajuda na realização do sonho de conhecer a Lituânia, que tanto acrescentou na minha formação. A amiga Marcilia Bauermann Fischer, pela amizade incontestável a minha família e a mim. Ao meu tio Orlando Kuzmickas, *in memoriam*, por tudo aquilo que poderia ter sido e não foi. A minha tia Maria Kuzmickas e aos meus primos Evandro Kuzmickas, Cristiane Kuzmickas e Pedro Henrique da Silveira Cruz pelo incentivo ao longo da graduação.

Aos colegas de graduação, pela ajuda, paciência e amizade ao longo dos cinco anos convivência, em especial a Mariana Tiisel, Andrea Harabari, Aline Mota, Manuela Pinheiro, Mariana Kozlowski, Cláudio Mora, Rafaela Gengo, Ligia Garcia, Priscila Hirata e Rodolfo Mineli.

A todos os funcionários do IGc-USP que colaboraram com a realização do projeto e com o desenvolvimento da minha graduação, em especial a minha eterna orientadora Eliane Aparecida Del Lama, a Fábio Ramos Dias de Andrade por todo seu bom humor e ajuda na interpretação dos difratogramas e a Renato de Moraes por me ajudar a desvendar os mistérios das rochas calciosilicáticas.

Aos colegas do IPT e da Mineração Lagoa Matérias-Primas LTDA, por todo conhecimento transmitido e ajuda no desenvolvimento do projeto, em especial a Adão Modesto, Edson Del Monte, Izabel Fiammette, Luiz Carlos Tanno, José Carlos Portela, José Condado, Nelson Rodrigues da Gama, Raquel Palma, Oswaldo Riuma Obata, Silmara Frari Landim, Ubiraci do Reis e Juarez.

Ao Grupo de Danças Folclóricas Lituanas Rambynas, por ajudar a construir a minha identidade, em especial a Patrycia Vaiciunas pela fidelidade, amizade e alegria transmitida nas manhãs a caminho da universidade e a Adam Sonntag Luktus, por todo amor e determinação transmitidos antes e durante os primeiros anos de graduação.

A Thais Timoteo Pavan Magalhães, por tudo aquilo que não sou capaz em dizer em poucas palavras.

Ao Rugby USP-Feminino, por fortalecer meus ideais de força de vontade, determinação, lealdade, solidariedade, compromisso, entrega sem limites e garra. A esse

esporte transformador, que transluz fidalguia e grandeza na vitória, e também correção e bons modos na derrota, no qual o espírito do jogo é o espelho de conduta para a minha vida.

E finalmente, não menos importante, ao possível ser supremo que proporcionou a minha existência e apoiou a minha entrada no mundo mágico das geociências.

## ÍNDICE

<b>RESUMO</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
<b>3. MATERIAS E MÉTODOS</b>	<b>1</b>
<b>3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO</b>	<b>2</b>
<b>3.2. TRABALHOS DE CAMPO E COLETA DE AMOSTRAS</b>	<b>2</b>
<b>3.3. PETROGRAFIA</b>	<b>3</b>
<b>3.4. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA</b>	<b>3</b>
<b>3.5. ENSAIOS TECNOLÓGICOS</b>	<b>3</b>
<b>3.6. ANÁLISE QUÍMICA</b>	<b>4</b>
<b>3.7. DIFRAÇÃO DE RAIOS X</b>	<b>4</b>
<b>4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ACESSOS</b>	<b>5</b>
<b>5. CONTEXTO GEOLÓGICO</b>	<b>6</b>
<b>5.1. GEOLOGIA REGIONAL</b>	<b>6</b>
<b>5.2. GEOLOGIA LOCAL</b>	<b>8</b>
<b>5.2.1. EMBASAMENTO GRANULÍTICO</b>	<b>8</b>
<b>5.2.2. ROCHAS CALCIOSSILICÁTICAS</b>	<b>9</b>
<b>5.2.2.1. Fazenda do Miranda e Fazenda dos Gama</b>	<b>10</b>
<b>5.2.2.2. Fazenda Baixa Funda</b>	<b>11</b>
<b>5.2.2.3. Fazenda Reunida Salgado I</b>	<b>11</b>
<b>5.2.2.4. Fazenda Reunida Salgado II</b>	<b>13</b>
<b>5.2.2.5. Fazenda Paraguaçu – Castro Alves</b>	<b>14</b>
<b>5.2.2.6. Fazenda Maravilha e Proximidades</b>	<b>15</b>
<b>6. PETROGRAFIA DAS ROCHAS CALCIOSSILICÁTICAS</b>	<b>16</b>
<b>6.1. DIOPSIDITO</b>	<b>17</b>
<b>6.2. DIOPSIDITO FELDSPÁTICO</b>	<b>18</b>
<b>6.3. DIOPSIDITO FELDSPÁTICO BANDADO</b>	<b>20</b>
<b>6.4. GRANADA DIOPSIDITO</b>	<b>20</b>
<b>6.5. DIOPSÍDIO MÁRMORE</b>	<b>22</b>
<b>6.6. ACTINOLITITO</b>	<b>23</b>
<b>7. CONDIÇÕES METAMÓRFICAS</b>	<b>27</b>
<b>8. CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS POTENCIAIS DAS ROCHAS CALCIOSSILICÁTICAS</b>	<b>28</b>
<b>8.1. DIOPSÍDIO – CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS</b>	<b>28</b>
<b>8.2. PRINCIPAIS APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS</b>	<b>29</b>
<b>8.3. ANÁLISES QUÍMICAS</b>	<b>31</b>
<b>8.4. ENSAIO DE QUEIMA EXPEDITA</b>	<b>31</b>
<b>8.5. ENSAIO DE FUSIBILIDADE</b>	<b>35</b>
<b>8.6. COMPOSIÇÃO DE MASSAS PORCELÂNICAS</b>	<b>37</b>
<b>8.6.1. CERÂMICA BRANCA</b>	<b>37</b>
<b>8.6.2. CERÂMICA VERMELHA</b>	<b>42</b>
<b>9. CONCLUSÕES</b>	<b>43</b>
<b>10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Principais sedes municipais e vias de acesso para Castro Alves – BA.	5
Figura 2. Mapa geológico da região de Castro Alves – BA.	7
Figura 3. Rocha granulítica gnássica. Afloramento: LK-18.	9
Figura 4. Cataclasitos. Afloramento: LK-19.	9
Figura 5. Intrusões pegmatóides paralelas e cortando o bandamento da rocha calciosilicática. Afloramento: LK-13.	10
Figura 6. Cristais de epidoto com hábito xenoblástico e idioblástico. Afloramento: LK-02.	11
Figura 7. Rocha composta diopsídio, feldspato, quartzo, titanita e magnetita. Nota-se o aumento da quantidade e tamanho dos cristais de titanita (pontos escuros). Afloramento: LK-08.	11
Figura 8. Brechas de contato. Afloramento: LK-22.	12
Figura 9. Rocha composta diopsídio, feldspato e carbonato que possui textura granoblástica com aspecto marmóreo. Afloramento: LK-23.	12
Figura 10. Rocha calciosilicática intensamente venulada e brechada. Afloramento: LK-04.	12
Figura 11. Rocha calciosilicática composta por granada e diopsídio. Afloramento: LK-27F.	13
Figura 12. Aumento da granulometria do diopsídio em função da percolação dos granitos. Afloramento: LK-29A.	13
Figura 13. Cristais muito grossos de diopsídio, com cerca de trinta centímetros de comprimento. Afloramento: LK-29C.	13
Figura 14. Cristais muito grossos de diopsídio, com lamelas de exsolução (001). Afloramento: LK-29C.	14
Figura 15. Pegmatito mineralizado em berilo. Afloramento: LK-31.	14
Figura 16. Percolação de granito na rocha calciosilicática. Afloramento: LK-32B.	14
Figura 17. Crostas botrioidais de óxido de Mn sobre gonditos. Afloramento: LK-34C.	15
Figura 18. Dobra em M indicando zona de chameira. Afloramento: LK-34F.	15
Figura 19. Dobra intrafoliar isoclinal isópaca métrica. Afloramento: LK-15A.	15
Figura 20. Gondito com granulação grossa. Afloramento: LK-15B.	16
Figura 21. Fases presentes nos plagioclásios, analisados por MEV/EDS. Amostra: LK-08A	19
Figura 22. Fases presentes nos plagioclásios, analisados por MEV/EDS. Amostra: LK-08A	19
Figura 23. Ausência da variação de cor entre o diopsídio e a lamela, evidenciando as mesmas composições químicas e pontos analisados. Amostra: LK-08B	19
Figura 24. Minerais fibrosos investigados por MEV/EDS.	20
Figura 25. Detalhe do local analisado por MEV/EDS. Amostra: LK-08B.	20
Figura 26. Micas brancas analisadas por MEV/EDS. Amostra: LK-16.	21
Figura 27. Granada (ponto 1) e diopsídio (ponto 2), analisados por MEV/EDS. Amostra: LK-16.	22
Figura 28. Comparação entre os valores de contração linear total e absorção d'água. Em preto as amostras que possuem as cores de queima mais escuras, em verde as que possuem cores intermediárias e em vermelho as que apresentaram as cores mais claras.	34
Figura 29. Cor de queima dos corpos-de-prova.	35
Figura 30. Amolecimento dos cones pirométricos.	36
Figura 31. Início da fusão dos cones pirométricos	36
Figura 32. Aspecto visual dos cones pirométricos após resfriamento.	36
Figura 33. Curva de Gresificação da massa M1.	39
Figura 34. Curva de Gresificação da massa M2.	39
Figura 35. Curva de Gresificação da massa M3.	39
Figura 36. Curva de Gresificação da massa M4.	39
Figura 37. Curva de Gresificação da massa M5.	39
Figura 38. Curvas comparativas entre tensão de ruptura à flexão e temperatura de queima dos corpos-de-prova.	40
Figura 39. Formulações sinterizadas em diversas temperaturas.	40
Figura 40. Aumento na sinterização dos corpos-de-prova com aumento da temperatura (esquerda para direita).	40
Figura 41. Curvas comparativas entre temperatura de sinterização e intensidade difratada do quartzo, para cada massa formulada.	42
Figura 42. Curvas comparativas entre as formulações preparadas e a intensidade difratada do quartzo, para determinadas temperaturas de sinterização.	42
Figura 43. Verifica-se visualmente, que o diopsidito não reagiu de forma efetiva nas temperaturas de queima escolhidas (presença de pontos brancos nos corpos-de-prova)	43
Figura 44. Sutil branqueamento da formulação M7 (que apresenta pontos brancos), em relação à massa M6 que não recebeu adição do diopsidito, sinterizados na temperatura de 1030°C.	43

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Cronograma consolidado da execução do trabalho de formatura.	2
Tabela 2. Sequência de desenvolvimento mineral em relação as etapas de blastese.	27
Tabela 3. Análise química de algumas rochas calciosilicáticas de Castro Alves – BA.	31
Tabela 4. Resultados obtidos no ensaio de queima expedita.	32
Tabela 5. Resultados obtidos para o ensaio de queima expedita.	34
Tabela 6. Valores de fusibilidade da amostra Diop_Ed.	36
Tabela 7. Valores máximos da variação da retração linear.	41
Tabela 8. Análise mineralógica dos corpos-de-prova em função das suas temperaturas de sinterização e das suas formulações.	41

## ASSINATURAS

O trabalho de formatura propõe-se a debater das rochas calciosilicáticas produzidas na

mineração de ferro da Serra do Cipó, Castro Alves – BA, através de seu emprego na

produção de cimento, bem como a sua aplicação na indústria da refratária e cerâmica.

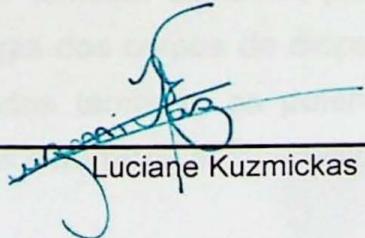
Este trabalho é o resultado de estudos realizados e complementados com a interpretação

dos resultados de ensaios de laboratório e comentários, que difere de outros trabalhos

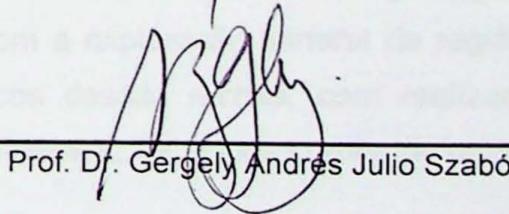
realizados por outros autores, com base nas suas respectivas experiências.

Faculto que os resultados apresentados, contribuam para a melhoria das tecnologias

minerais e cerâmicas, bem como para a aplicação das rochas calciosilicáticas.



Luciane Kuzmickas



Prof. Dr. Gergely Andres Julio Szabó

## **1. INTRODUÇÃO**

O município de Castro Alves - BA está localizado na unidade geotectônica Cráton do São Francisco, que possui na sua parte noroeste rochas metamórficas das fácies anfibolito alto e granulito, pertencentes aos Complexos Jequié e Caraíba. O Complexo Caraíba é constituído por enderbitos-charnockitos, ortognaisses granulíticos retrometamorfizados e por ortognaisses migmatíticos, esses últimos apresentando lentes de rochas calciosilicáticas ricas em diopsídio, que são cortadas por granitos e pegmatitos (Lopes, 2006).

O aproveitamento econômico dessas rochas está vinculado à crescente exigência de matérias-primas que otimizem os processos industriais, além de proporcionar maior qualidade ao produto acabado (Piccoli *et al.*, 2006). No que diz respeito aos usos do diopsidito, apesar de pouco empregado na indústria, Novaes de Oliveira *et. al* (2002) mostram que trata-se de uma ótima alternativa a minerais fundentes tradicionalmente utilizados, apresentando vantagens técnicas e econômicas sobre os mesmos, como a diminuição das importações da wollastonita.

Desta maneira, o presente estudo propõe a caracterização das rochas calciosilicáticas quanto aos seus aspectos geológicos e petrográficos, a fim de reconhecer as principais características que possibilitam a sua utilização econômica. São estudados também as principais aplicações tecnológicas dessas rochas, justificadas pela realização e interpretação dos resultados de ensaios cerâmicos e caracterização, por difração de raios X, de alguns corpos de prova.

## **2. OBJETIVOS**

O trabalho de formatura objetiva o estudo das rochas calciosilicáticas presentes no Complexo Caraíba na região de Castro Alves – BA, quanto aos seus aspectos geológicos (relações de contato com as rochas encaixantes e com os granitos da região, e estimativa das condições de metamorfismo) e petrográficos (caracterização textural e mineralógica), visando fornecer subsídios para o entendimento da evolução dos terrenos geológicos e a faciologia dos corpos de diopsidito, colaborando com a exploração mineral da região. São estudados também, os potenciais usos tecnológicos dessas rochas, com realização de ensaios cerâmicos e caracterização, por difração de raios X, de alguns corpos de prova.

## **3. MATERIAS E MÉTODOS**

O desenvolvimento do trabalho de formatura seguiu as etapas discriminadas a seguir, conforme apresentado abaixo no Cronograma consolidado (tabela 1):

ATIVIDADES	MÊS / 2010									
	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	
Levantamento Bibliográfico	X	X	X	X	X	X	X			
Trabalho de Campo e Coleta de Amostras	X									
Petrografia		X	X			X	X			
Microscopia Eletrônica de Varredura									X	
Ensaios Tecnológicos	X	X	X			X	X			
Análise Química						X	X			
Difração de Raios X					X	X	X			
Elaboração do Relatório de Progresso				X	X					
Elaboração e Editoração da Monografia							X	X	X	

Tabela 1. Cronograma consolidado da execução do trabalho de formatura.

### 3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Primeiramente, para melhor entendimento da região a ser estudada, foi realizada pesquisa bibliográfica no período que antecedeu os trabalhos de campo, o que auxiliou no mapeamento dos diversos litotipos encontrados e ajudou na compreensão dos eventos geológicos ocorridos, evidenciados nas estruturas e texturas das rochas. Foram estudadas também, as principais associações minerais em rochas calciosilicáticas, de modo a facilitar sua descrição em campo.

Posteriormente, antes de iniciar os ensaios tecnológicos, foi realizada nova pesquisa bibliográfica, a fim de determinar os principais usos das rochas estudas, quais propriedades adicionariam aos materiais que recebessem a sua adição e quais as vantagens da sua utilização.

### 3.2. TRABALHOS DE CAMPO E COLETA DE AMOSTRAS

Nos trabalhos de campo, a descrição de cada afloramento compreendeu um esquema das suas dimensões, localização em coordenadas UTM, número de amostras retiradas, descrição macroscópica detalhada das rochas presentes, com informações sobre cor, estrutura, textura, granulação e mineralogia, tentando classificá-las como nomes de campo. Foram obtidos ainda, dados estruturais de dobrões, planos de falhas e acamamentos preservados, além de informações das relações de contato das rochas calciosilicáticas com o embasamento granulítico e/ou migmatítico e com as rochas graníticas.

A coleta de amostras contemplou os diferentes litotipos calciosilicáticos descritos, além de rochas que compõem o embasamento para caracterizar as condições metamórficas da região. A identificação foi feita identificando-se os afloramentos e rochas coletadas com a sigla "LK", quando descritos pela autora e "CAF" ou "CAU", quando descritos pelos geólogos da mineração Lagoa Matérias-Primas.

### **3.3. PETROGRAFIA**

Para o estudo microscópico, foram escolhidas as 35 rochas representativas dos litotipos encontrados. Posteriormente no Laboratório de Preparação de Amostras do IGc-USP, as rochas foram cortadas e marcados os locais onde deveriam ser confeccionadas as lâminas petrográficas.

Após a sua confecção, cada seção delgada foi estudada em microscópio petrográfico, com o auxílio de fichas de descrição que contemplam os seguintes itens: estrutura, textura, granulação, mineralogia (descrevendo-se um a um, os minerais essenciais e os acessórios, além das suas quantidades estimadas), sequência de blastese e condições de formação das rochas. As feições mais marcantes, que necessitavam de estudo em detalhe foram analisadas por microscopia eletrônica de varredura.

### **3.4. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA**

O microscópio eletrônico de varredura (MEV) é um equipamento capaz de produzir imagens virtuais de alta ampliação e resolução, através da emissão de feixes de elétrons por um filamento capilar de tungstênio, focalizados através de um conjunto de lentes eletromagnéticas. A interação dos feixes de elétrons com a amostra é captada por detectores de elétrons retroespalhados (realçam elementos químicos distintos presentes, por diferença de tonalidade na imagem), detectores de elétrons secundários (realçam os detalhes de relevo e morfologia dos constituintes), e detectores de espectro de energia dispersiva, EDS (caracterizam os elementos químicos presentes em uma amostra, através da contabilização da energia transmitida pela excitação dos elétrons, baseando-se nos seus respectivos números atômicos).

As análises em MEV/EDS foram executadas no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do IGc/USP. Foram confeccionadas seções delgadas polidas, exatamente do mesmo local onde foram feitas as anteriores, descrevendo-as para confirmar a existência das feições observadas, metalizadas com carbono e marcadas as áreas que seriam estudadas com caneta indelével. As análises foram realizadas em Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 440I, acoplado com espectrômetro de dispersão de energia de raios X, com detector de estado sólido tipo Si (Li) marca Oxford.

### **3.5. ENSAIOS TECNOLÓGICOS**

Nos trabalhos de campo foram amostradas também, rochas para a realização dos ensaios tecnológicos, compreendendo litotipos que apresentam altas concentrações em diopsídio (diopsiditos) e preferencialmente com cores claras. Os ensaios foram realizados nos IPT e seguiram normas ABNT (por exemplo, ABNT/NBR 6222) ou procedimentos internos do Laboratório de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica

As amostras selecionadas foram inicialmente estudadas quando suas propriedades *in natura*, como absorção d'água, porosidade aparente e massa específica aparente, sendo que parte delas foi encaminhada para análise química. A outra parte foi preparada para o ensaio de queima expedita, que requereu a confecção de corpos-de-prova para determinação das cores de secagem e queima, contração linear de secagem (CLS), queima (CLQ) e total (CLT), absorção d'água (AA), massa específica aparente (MEA) e porosidade específica aparente (PA).

Foi realizado teste de fusibilidade, para determinação das temperaturas de amolecimento e fusão, de uma amostra que incorpora vários diopsiditos com cores claras. Esta amostra foi posteriormente incorporada a massas de porcelanato idealizadas, inicialmente com argila branca para determinação da cor-de-queima, contração linear de queima (CLQ), absorção d'água (AA), massa específica aparente (MEA), porosidade específica aparente (PA) e tensão de ruptura à flexão após queima (TRF). Para a composição com argila vermelha, somente foi avaliado se a adição de diopsidito proporciona clareamento à massa após queima. Os detalhes da preparação dos corpos de prova serão abordados no seguinte tópico: Caracterização e Aplicações Tecnológicas Potencias das Rochas Calciossilicáticas.

### 3.6. ANÁLISE QUÍMICA

As análises químicas foram realizadas pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica, Universidade de São Paulo (LCT-EPUSP).

O método empregado foi a fluorescência de raios X (FRX) que se trata de uma técnica destrutiva que além de realizar análise qualitativa (identificação dos elementos presentes numa amostra pela obtenção de espectros de raios X característicos), permite uma análise quantitativa (estabelece a concentração em que cada elemento se encontra presente). Os teores foram determinados em amostra fundida com tetraborato de lítio anidro, por comparação com materiais certificados de referência na calibração Rochas TBL, em espectrômetro por fluorescência de raios X Axios Advanced, marca PANalytical. Perda ao fogo foi efetuada a 1050°C por uma hora.

### 3.7. DIFRAÇÃO DE RAIOS X

A difratometria de raios X é uma técnica utilizada na caracterização microestrutural de materiais cristalinos. A identificação desses materiais deve-se à interação de um feixe de raios X com a amostra em estudo, sendo que pela intensidade difratada é possível medir as distâncias entre planos de átomos em uma estrutura cristalina e a densidade atômica nestes planos. Como cada substância cristalina apresenta padrões distintos de difração, é possível identificá-la através deste método.

Utilizando-se esse método, foi possível verificar a composição mineralógica de algum dos corpos-de-prova de cerâmica branca (M1, M2, M3, M4 e M5), sinterizados em três temperaturas (1170°C, 1190°C e 1210°C). As amostras foram analisadas no IGC-USP, utilizando-se equipamento da marca Siemens, modelo D-5000. A leitura foi realizada em amostras na forma de pó. Os difratogramas obtidos foram interpretados com o programa Eva-msc Application versão 2.2, com auxílio de fichas de identificação da Joint Committee on Powder Diffractin Standard (JCPDS).

#### 4. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ACESSOS

A área de estudo abrange o município de Castro Alves, localizado na porção centro-leste do estado da Bahia, na região do Recôncavo Sul, a cento e oitenta quilômetros de Salvador. Apresenta uma extensão de aproximadamente 90km<sup>2</sup>, localizada entre as coordenadas UTM 24 L 8.628.670 m norte / 432.271 m leste e 24 L 8.573.162 m norte / 472.970 m leste, estendendo-se também para os municípios de Santa Terezinha, grande parte dos municípios de Rafael Jambeiro e Santo Estevão, as extremidades oeste dos municípios de Cabaceiras do Paraguaçu e Sapeaçu e a extremidade noroeste de Conceição de Almeida e nordeste de Elísio Medrado (Figura 1).

O acesso à região, a partir de Salvador, pode ser feito por rodovias asfaltadas até a cidade de Castro Alves, via Santo Amaro e Cachoeira-São Felix. Inicialmente, segue-se pela BR-324, após oitenta quilômetros, chega-se ao entroncamento com a BR-101, onde se percorrem nesta rodovia no sentido SSW, cerca de cinquenta e nove quilômetros até Sapeaçu. Desta cidade segue-se pela BA-493 e, após trinta e dois quilômetros, chega-se a Castro Alves. O acesso à área de estudo ocorre por estradas vicinais não pavimentadas.

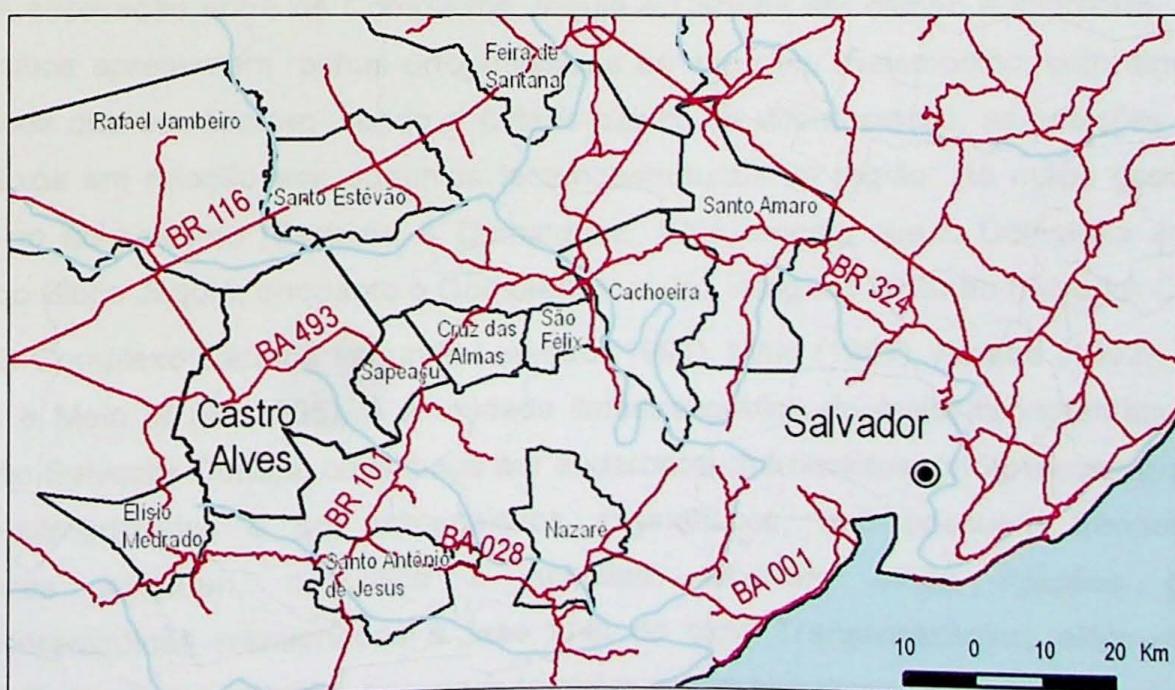


Figura 1. Principais sedes municipais e vias de acesso para Castro Alves – BA.

## 5. CONTEXTO GEOLÓGICO

Os terrenos de alto grau metamórfico de idade arqueano-paleoproterozoica, que ocorrem na borda leste do Cráton do São Francisco (Almeida, 1977), foram designados originalmente por Cordani (1973) de Cinturão Costeiro Atlântico, que se estende desde a região sul da Bahia até as imediações de Salvador. A parte ocidental desse cinturão, que se projeta até o rio São Francisco, foi denominada de Cinturão Móvel Salvador-Curaçá por Santos e Souza (1983).

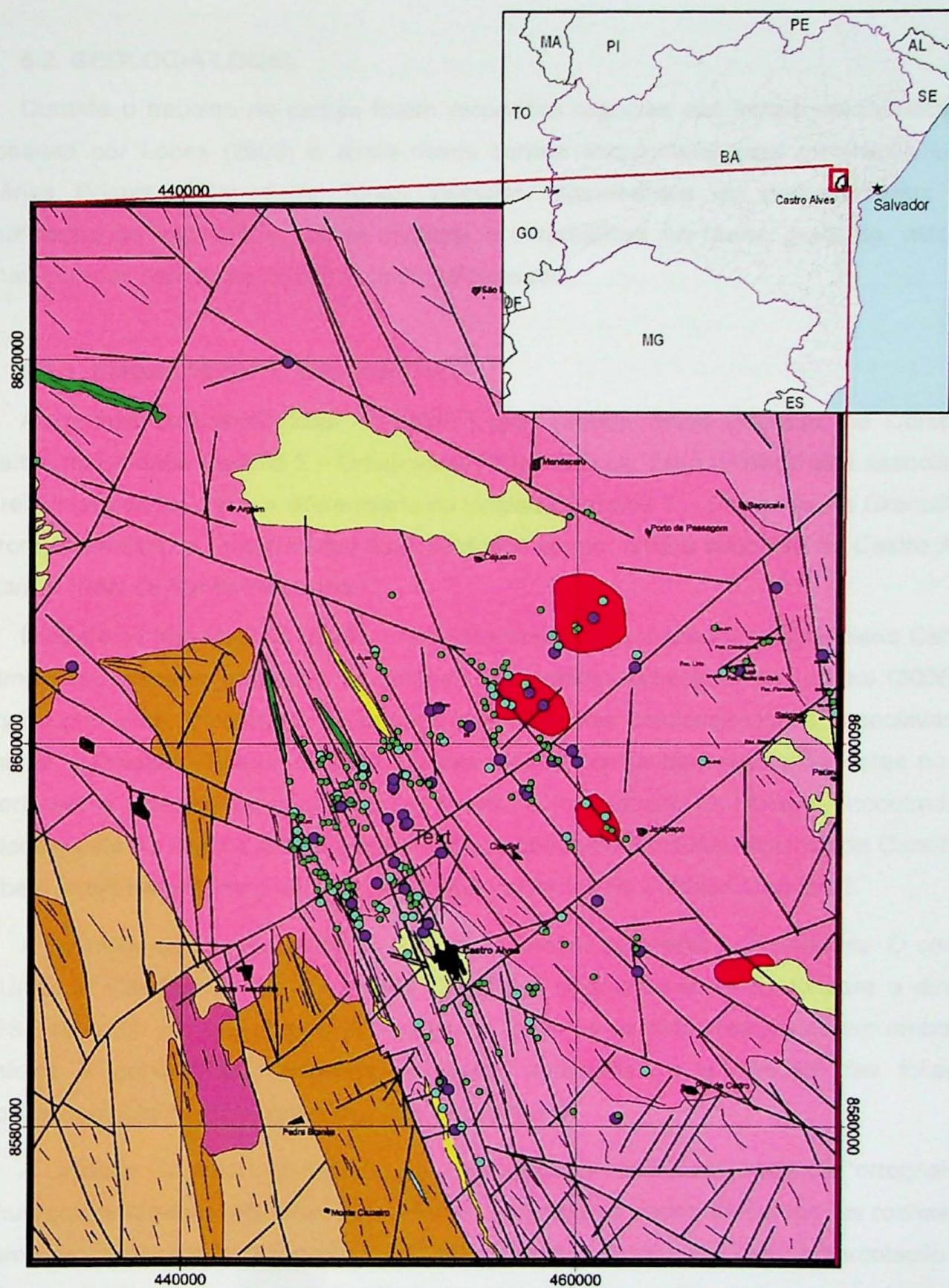
O Cinturão Salvador-Curaçá, integrado pelos complexos Caraíba, Tanque Novo-Ipirá e pela Suíte São José do Jacuípe, além de rochas granítoides intrusivas, foi alvo de vários trabalhos, destacando-se: Seixas *et al.* (1975), Delgado e Souza (1975), Loureiro (1991), Melo (1991), Sampaio (1992), Sabaté *et al.* (1994), Melo *et al.* (1995), Teixeira (1997), Silva *et al.* (1997), Kosin *et al.* (2003), Barbosa *et al.* (2003) e Oliveira *et al.* (2004).

### 5.1. GEOLOGIA REGIONAL

Segundo Lopes (2006) três unidades litoestratigráficas sem conotação de ordem cronológica podem ser individualizadas na região (Figura 2): Complexo Granulítico-Charnockítico relacionado ao Domínio Jequié-Mutuípe e os Complexos Gnáissico-Migmatítico e Caraíba, relacionados ao Cinturão Móvel Salvador-Curaçá (Silva *et al.*, 1997). Simplificadamente, as unidades litoestratigráficas podem ser divididas somente em Complexos Jequié e Caraíba, baseando-se em Barbosa e Dominguez (1996). O Complexo Jequié, mesoarqueano a neoarqueano, passa a englobar o Complexo Granulítico-Charnockítico, e o Complexo Caraíba, neoarqueano, passa a abranger as demais unidades propostas por Lopes (*op. cit.*).

A separação entre os Complexos Jequié e Caraíba em campo é imprecisa, uma vez que ambos apresentam rochas ortognáissicas de alto grau metamórfico, com alguns tipos litológicos que se repetem, sendo o critério básico de diferenciação, as posições dos dois complexos em relação aos domínios tectonoestruturais da região. No mapa geológico da Bahia ao milionésimo (Barbosa & Dominguez, 1996) consta que o Complexo Jequié faz parte do Bloco Jequié, enquanto o Complexo Caraíba integra o Cinturão Salvador-Curaçá.

O Complexo Caraíba segundo Loureiro (1991), Melo (1991), Pereira (1992), Sampaio (1992) e Melo *et al.* (1995), é a unidade litoestratigráfica de maior representatividade do Cinturão Salvador-Curaçá, constituída por enderbitos-charnockitos, ortognaisses granulíticos retrometamorfizados e por ortognaisses migmatíticos, que possuem freqüentemente estruturas *schlieren*, nebulítica e *schollen*. Ocorrem ainda injeções graníticas paleoproterozóicas relacionadas à fase final do ciclo Transamazônico, além de rochas calciosilicáticas e quartzitos, por vezes também calciosilicáticos.



**LEGENDA**  
Pegmatitos (Comprimento - m)

- 5 - 50
- 51 - 100
- 101 - 450

**Estruturas**

- ↖ Falha
- ↗ Fratura
- ↔ Lineamentos estruturais
- Cidades e Povoados

□ Poligonal da Área do Projeto

**Geologia**

- |                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| Albitito                              |  |
| Biotita granito                       |  |
| Calcissilicáticas                     |  |
| Coberturas detriticas indiferenciadas |  |
| Hornblenda granito                    |  |
| Jequié - charnockitos                 |  |
| Jequié - granulitos heterogêneos      |  |
| Ortognaisse granulitizados            |  |
| Ortognaisse migmatíticos              |  |
| Quartzito                             |  |

5 0 5 10 Km

**Figura 2.** Mapa geológico da região de Castro Alves – BA.

Fonte: Lopes, 2006.

## **5.2. GEOLOGIA LOCAL**

Durante o trabalho de campo foram estudadas algumas das lentes calciosilicáticas mapeadas por Lopes (2006) e ainda novos corpos encontrados pela mineração Lagoa Matérias Primas. Além disso, foram visitados afloramentos do embasamento, com identificação de migmatitos, rochas máficas e ultramáficas na fácie granulito, além de rochas geradas nas zonas de falha, como cataclasitos.

### **5.2.1. EMBASAMENTO GRANULÍTICO**

As rochas calciosilicáticas, segundo Lopes (2006), estão inseridas no Complexo Caraíba, na Unidade Caraíba 2 – Ortognaisses Migmatíticos. Essa unidade está associada a um relevo arrasado, o que a diferenciaria da Unidade Caraíba 1 – Ortognaisses Granulíticos Retrometamorfizados, que constitui duas extensas serras, uma a sudoeste de Castro Alves e outra a NNW de Santa Terezinha.

Durante os trabalhos na região, o reconhecimento das unidades do Complexo Caraíba foi impreciso, mesmo utilizando os critérios topográficos propostos por Lopes (2006). O primeiro problema encontrado foi assumir que as lentes calciosilicáticas associavam-se somente à Unidade Caraíba 2, o que foi descartado com a descoberta de lentes no que deveria ser a Unidade Caraíba 1. Outro problema foi associar os litotipos encontrados a unidades, pois da mesma maneira que foram mapeados migmatitos na Unidade Caraíba 1, também foram mapeados granulitos retrometamorfizados na Unidade Caraíba 2.

A definição dos limites entre as unidades também apresentou dificuldades. O contato da Unidade Caraíba 1 com a Unidade Caraíba 2 apresenta-se dobrado para a direção NW/SE segundo o mapa (Figura 2), entretanto todas as medidas realizadas em ambos os domínios e próximo aos contatos propostos apresentaram a direção das foliações aproximadamente NE/SW com mergulhos subverticais.

A Unidade Caraíba I foi definida por Lopes (2006) como constituída de “ortognaisses granulíticos retrometamorfizados” (sic). Porém, segundo os dados de campo, as rochas, até mesmo as calciosilicáticas, estão na fácie granulito. Entretanto, com a percolação dos líquidos graníticos durante a granitogênese transamazônica, muitas das rochas sofreram um novo metamorfismo, que atingiu a fácie anfibolito, correspondendo, portanto a um novo evento metamórfico, e não estritamente a um processo retrometamórfico, que deveria se seguir imediatamente ao pico metamórfico de fácie granulito.



Figura 3. Rocha granulítica gnássica. Afloramento: LK-18.

Desta maneira, preferiu-se neste trabalho abandonar a definição das unidades do Complexo Caraíba e definir o embasamento como composto de granulitos que podem apresentar estruturas gnássicas e migmatíticas, além de cataclasitos gerados em zonas de falha.

As rochas granulíticas gnássicas apresentam estrutura bandada, laminação com cerca de 2,0 mm de espessura, textura granoblástica com granulação muito fina a fina (<1-1 mm). Possuem alternância de bandas máficas e félsicas com mineralogia composta respectivamente por feldspatos, quartzo e ortopiroxênio além de traços de magnetita (Figura 3).

Os hornblenda granulitos máficos possuem estrutura maciça, textura granoblástica com granulação fina a média (1-3 mm), e são compostos por ortopiroxênio, feldspato e com quantidades variáveis de hornblenda e granada.

Os granulitos migmatíticos possuem estrutura bandada com individualização evidente do leucossoma e melanossoma. O leucossoma apresenta textura granoblástica com composição quartzo-feldspática, enquanto o melanossoma possui textura lepido-granoblástica, notando-se a geração de granada a partir da biotita, retratando migmatitos de alta temperatura. Observaram-se ainda estruturas do tipo *schlieren* e *augen*, além da formação de zonas surréicas com geração de cristais grossos de feldspato. Quando localizadas em zona de falha é comum gerarem cataclasitos (Figura 4).

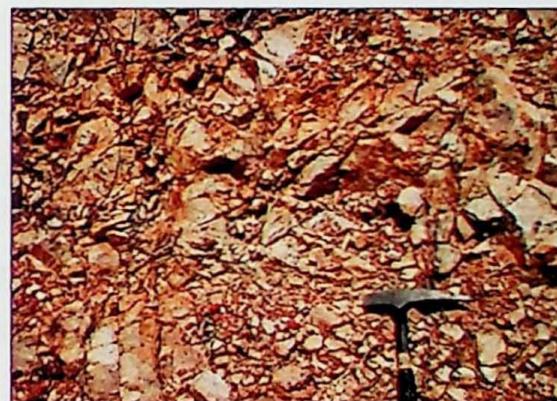


Figura 4. Cataclasitos. Afloramento: LK-19.

### 5.2.2. ROCHAS CALCIOSSILICÁTICAS

Inclusas em meio às rochas granulíticas e migmatíticas do embasamento, as rochas calciosilicáticas se destacam no relevo arrasado como cristas e morros alinhados, aflorando em forma de blocos e matações rolados e alguns *in situ*. Constituem estreitas faixas lenticulares com dimensões variáveis, podendo atingir até sete quilômetros de comprimento e quinhentos metros de largura, geralmente alinhadas segundo a direção NW-SE. Apresentam uma grande diversidade mineralógica e petrográfica, com variações significativas em porções diferentes de um mesmo corpo estudado; estão muito deformadas, além de percoladas e cortadas por granitos e pegmatitos.

Foram mapeadas seis lentes, escolhidas segundo critérios de representatividade da complexidade mineralógica e do potencial aproveitamento econômico (cores claras e alto conteúdo em diopsídio). Para a designação dos corpos, seguiu-se a prática estabelecida pela empresa Lagoa Matérias Primas, utilizando-se como referência as denominações das propriedades rurais.

A localização dos corpos está representada no mapa em anexo (Anexo 1), notando-se que em alguns casos foram redefinidos os limites das lentes propostos por Lopes (2006), ou ainda localizados novos corpos. Por tratar-se de um trabalho preliminar de mapeamento, dada a escassez de afloramentos *in situ* e a complexidade estrutural e mineralógica dessas rochas, não foi possível elaborar mapas geológicos de detalhe que representem as variações litológicas com precisão. Desta maneira, optou-se pela descrição das lentes segundo os perfis realizados em campo, constituindo uma primeira tentativa de individualização de unidades petrográficas com características estruturais e mineralógicas coerentes.

#### 5.2.2.1. Fazenda do Miranda e Fazenda dos Gama

Constitui o maior corpo estudado, com cerca de dois quilômetros de comprimento e quinhentos metros de largura. O mapeamento foi orientado segundo a direção NNW/SSE, determinado pela maior concentração de afloramentos e pela pequena espessura da lente em relação ao seu comprimento.

A extremidade SSE apresenta rochas de cor verde, textura granoblástica com granulação fina a média (1-3 mm), mineralogicamente compostas por diopsídio, feldspato,

quartzo, granada, calcita, epídoto e titanita, podendo apresentar bandamento irregular com predomínio da alternância de camadas quartzo-feldspáticas e diopsídicas, com atitude N18°W/43°NE, possivelmente tratando-se do acamamento preservado. Comumente, essas rochas apresentam intrusões pegmatíticas paralelas ou que cortam o bandamento (Figura 5), e venulações graníticas, mais abundantes na borda do corpo.



Figura 5. Intrusões pegmatóides paralelas e cortando o bandamento da rocha calciosilicática. Afloramento: LK-13.

Em direção a NNW as intrusões graníticas se mantêm, com geração dos mesmos litotipos descritos acima. Ocorrem aglomerados de flogopita e o aumento da quantidade de epídoto com hábito que varia de xenoblástico a idioblástico (Figura 6).

Próximo ao centro do corpo as rochas possuem cor verde claro com altos teores em diopsídio, estando em contato com hornblenda granulitos maficos, que em zonas de contato com rochas graníticas geram cristais grossos de hornblenda.

A sucessão das rochas descritas se mantém até o final do corpo, entretanto ocorre o aumento da quantidade de diopsiditos intercalados. Foram estudadas também duas pequenas lentes localizadas nas proximidades, que apresentam a mesma sequência de rochas descritas.



Figura 6. Cristais de epidoto com hábito xenoblástico e idioblástico. Afloramento: LK-02.

#### 5.2.2.2. Fazenda Baixa Funda

Trata-se da lente calciosilicática com menor exposição estudada, com aproximadamente vinte metros de comprimento e dez metros de espessura, apresentando uma maior concentração de blocos e matacões rolados próximo ao centro do corpo.



Figura 7. Rocha composta diopsídio, feldspato, quartzo, titanita e magnetita. Nota-se o aumento da quantidade e tamanho dos cristais de titanita (pontos escuros). Afloramento: LK-08.

As rochas apresentam cor branca, estrutura maciça, textura granoblástica com granulação fina a média (1–4mm) e mineralogia composta por diopsídio, feldspato, quartzo, titanita e magnetita. É comum encontrar aglomerados de flogopita, notando-se, nos locais de interação com rochas graníticas, o aumento da quantidade e tamanho dos cristais de titanita (Figura 7).

#### 5.2.2.3. Fazenda Reunida Salgado I

Aflora uma lente calciosilicática alinhada segundo a direção NNW/SSE, com cerca de setecentos metros de comprimento e duzentos metros de largura, apresentando variações litológicas significativas em locais distintos do corpo estudado. Para o seu mapeamento foram realizados dois perfis paralelos, alinhados na direção NNE/SSW, aproximadamente transversais ao corpo, e distanciados duzentos metros entre si, que mostraram a continuidade entre as diferentes camadas de rochas.

A ponta SSW do corpo localiza-se nas proximidades da intersecção da rodovia BR-116 com a estrada de ferro da Companhia Vale, em afloramentos de corte de estrada. A rocha calciosilicática possui cor branca, estrutura maciça, textura granoblástica com

granulometria fina (2 mm), composta por diopsídio, apresentando-se na forma de pequenas lentes boudinadas em meio ao embasamento granulítico-migmatítico.

Em direção a NNE, a rocha calciosilicática passa a constituir um corpo maciço de grande dimensão, com ausência de lascas do embasamento intercaladas. Essas rochas apresentam cor branca a levemente esverdeada, estrutura sacaroidal (determinando sua localização em uma zona de cisalhamento), textura granoblástica com granulação fina (em torno de 1 mm), constituída por diopsídio, feldspato e carbonato, com desenvolvimento de vênulas e brechas de contato (Figura 8) em função da percolação dos líquidos graníticos. Dando continuidade ao perfil, essa rocha assume uma granulação muito fina (<1 mm) e textura granoblástica com aspecto marmóreo (Figura 9).

Seguindo para NNE até o centro do corpo, ocorrem rochas de cor verde clara, estrutura maciça, textura granoblástica com granulação média (3mm), constituídas por diopsídio, feldspato e quartzo, com atitude N18W/45°NE. Em alguns locais apresentam um bandamento com alternância de camadas quartzo-feldspáticas e diopsídicas, desenvolvendo *ribbons*, com atitude da lineação do quartzo S04°W/16°. A percolação de granitos gera rochas de mistura que possuem textura granoblástica com granulação média a grossa, composta por diopsídio, feldspato, quartzo, epídoto, titanita e apatita, apresentando venulações e brechas de contato (Figura 10). Intercalados com essas rochas ocorrem hornblenda granulitos máficos com granada e crostas botrioidais de óxido de manganês.

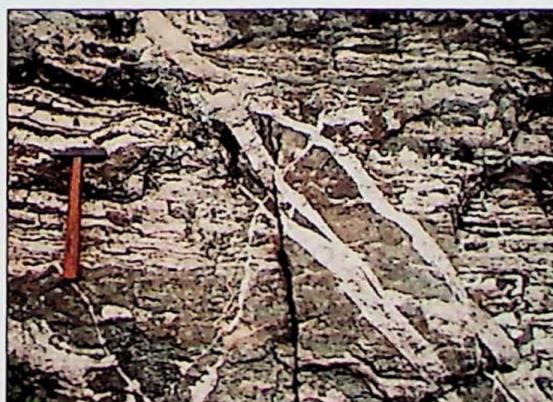


Figura 10. Rocha calciosilicática intensamente venulada e brechada. Afloramento: LK-04.



Figura 9. Rocha composta diopsídio, feldspato e carbonato que possui textura granoblástica com aspecto marmóreo. Afloramento: LK-23.

No centro do corpo predominam diopsiditos de cor branca a levemente esverdeada, estrutura maciça e textura granoblástica com granulação média a grossa ( $\approx 4$  mm). Apresentam grande quantidade de epídoto e aglomerados de flogopita. Nas proximidades ocorrem rochas com estrutura maciça, textura granoblástica com granulação média (3 mm), composta por granada e diopsídio (Figura 11).

Em direção a NNE, ocorrem duas camadas de rochas do embasamento, representadas por hornblenda granulitos maficos e hornblenditos com granada. Próximo à ponta NNE da lente calciosilicática, ocorrem diopsiditos de cor verde clara, textura granoblástica com granulação média (3 mm), às vezes apresentando-se bandados ( $N20^{\circ}E/60^{\circ}SE$ ) com intercalação de zonas quartzo-feldspáticas e diopsídicas, formando venulações e brechas de contato devido à percolação dos granitos, além de rochas de mistura com cor verde clara, textura granoblástica média (3 mm) composta por diopsídio, feldspato, granada, quartzo, titanita e magnetita.



Figura 11. Rocha calciosilicática composta por granada e diopsídio. Afloramento: LK-27F.

#### 5.2.2.4. Fazenda Reunida Salgado II

Localizada a poucos metros da ponta NNW da lente Fazenda Reunida Salgado I, apresenta as mesmas dimensões e direção de alinhamento desta, sugerindo a ligação dos

corpos, que estariam boudinados, por meio do *neck* obliterado pelo leito de um rio intermitente. O reconhecimento do corpo foi realizado através confecção de dois perfis paralelos, alinhados segundo a direção NNE/SSW e distanciados cem metros.

A borda SSW apresenta grande quantidade de rochas graníticas, que estão em contato com diopsiditos de cor verde clara, textura granoblástica com granulação média a grossa (3-5 mm), gerando brechas de contato e venulações, além do aumento da granulação do diopsídio (Figura 12).

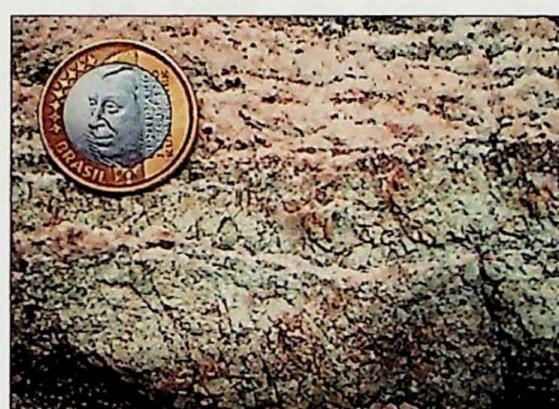


Figura 12. Aumento da granulometria do diopsídio em função da percolação dos granitos. Afloramento: LK-29A.

Nas proximidades do centro do corpo, ocorre um lajedo do embasamento granulítico migmatítico, apresentando pegmatitos intrudidos em pequenas zonas de cisalhamento. Essas rochas apresentam-se em contato com granitos e diopsiditos de cor branca, estrutura maciça e textura granoblástica que apresentam a geração de cristais de diopsídio com até trinta centímetros de comprimento (Figura 13), que podem apresentar lamelas de exsolução macroscópicas (Figura 14).



Figura 13. Cristais muito grossos de diopsídio, com cerca de trinta centímetros de comprimento. Afloramento: LK-29C.

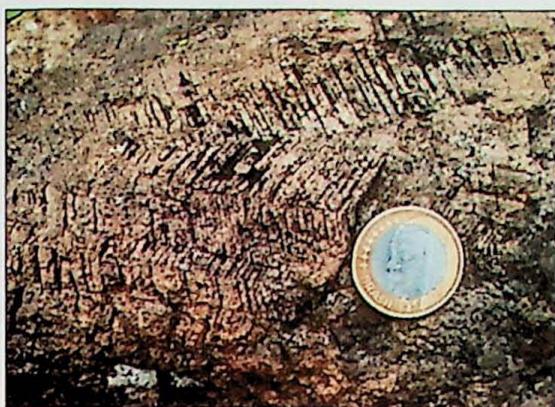


Figura 14. Cristais muito grossos de diopsídio, com lamelas de exsolução (001). Afloramento: LK-29C.

compostas por diopsídio, feldspato, quartzo e titanita, intensamente venuladas devido à percolação dos granitos. Nessas vênulas ocorrem ainda cristais de fluorita, apatita e, nas bordas do diopsídio, anfibólio (tremolita-actinolita). Essas rochas apresentam-se ainda muito deformadas, com geração de dobras intrafoliares.

Na borda do corpo ocorrem rochas do embasamento, representadas por hornblenda granulitos maficos e hornblenditos. Nas proximidades da lente aparecem corpos de pegmatitos (Figura 15), destacando-se as mineralizações em berilo.

Na porção NNE do corpo, ocorrem rochas calciosilicáticas de cor verde clara, estrutura maciça, textura granoblástica com granulação média (3 mm), compostas por diopsídio, feldspato, quartzo, titanita, com quantidades variáveis de granada. É comum encontrar aglomerados de flogopita e grande quantidade de epídoto em fraturas.

Nas proximidades da borda NNE da lente, afloram rochas calciosilicáticas de cor verde clara, textura granoblástica com granulação média (3 mm),



Figura 15. Pegmatito mineralizado em berilo. Afloramento: LK-31.

#### 5.2.2.5. Fazenda Paraguaçu – Castro Alves

Constitui um corpo calciosilicático que, devido à disposição dos blocos e matacões, apresenta-se na forma de uma lente dobrada, alinhada segundo a direção NW/SE. Possui cerca de 900 metros de comprimento por 50 metros de largura.



Figura 16. Percolação de granito na rocha calciosilicática. Afloramento: LK-32B.

prevalecem, com geração de tremolita em planos que, devido à sua alta concentração, em alguns locais constitui tremolítitos. Nas proximidades ocorrem rochas leucocráticas cisalhadas compostas por quartzo, feldspato, granada, titanita e pequenas concentrações de

A ponta SW do corpo possui rochas de cor verde clara, estrutura maciça, textura granoblástica com granulação média a grossa (3,0-4,0 mm), constituídas por diopsídio, feldspato, quartzo, titanita, epídoto e turmalina nos locais de interação com os granitos, além da geração de venulações e brechas de contato (Figura 16).

Em direção a nordeste as brechas de contato

magnetita, podendo tratar-se de leucossomas de migmatitos de alta temperatura ou granitos cisalhados.

Próximo ao centro do corpo há um vale com ausência de afloramentos, com granulitos maficos, além de gonditos com geração de crostas botrioidais de óxidos-hidróxidos de manganês a nordeste (Figura 17). Em contato ocorrem diopsiditos de cor verde, estrutura maciça, textura granoblástica com granulação média (3 mm) que, nos locais de interação com granitos, geram rochas de textura granoblástica com granulação média (3 mm), constituídas por diopsídio, feldspato, quartzo e titanita, apresentando-se muito venuladas além de deformadas com presença de dobras intrafoliares isoclinais, isópacas e anisópacas, e dobras em *M* indicando zonas de charneiras (Figura 18).



Figura 17. Crostas botrioidais de óxido de Mn sobre gonditos. Afloramento: LK-34C.

A sequência de rochas descrita repete-se até o final dos afloramentos a nordeste, com aumento da quantidade de diopsiditos verdes, venulados devido à percolação dos líquidos graníticos e com geração de grandes quantidades de epídoto em fraturas. A rocha encaixante é constituída por migmatitos cisalhados, constituídos por quartzo e feldspato, com baixa quantidade de ortopiroxênio, apresentando atitude N01°W/61°NE e lineação de estiramento do quartzo

N14°W/60°, cortados por hornblenda granulitos maficos (provavelmente diques metamorfizados).

#### 5.2.2.6. Fazenda Maravilha e Proximidades

Trata-se de uma lente calciosilicática com disposição distinta em relação às outras mapeadas, estando alinhada segundo a direção aproximada NE/SW. Diferentemente, as camadas de rocha não estão dispostas segundo esta direção, constituindo muitas vezes lentes dobradas dentro do corpo principal. A falta de afloramentos *in situ* e a presença de dobramentos complexos não permitiram uma definição clara da disposição dos litotipos encontrados. Desta maneira, optou-se somente pela descrição petrológicas das variedades encontradas, sem qualquer conotação geográfica.



Figura 17. Crostas botrioidais de óxido de Mn sobre gonditos. Afloramento: LK-34C.



Figura 19. Dobra intrafoliar isoclinal isópaca métrica. Afloramento: LK-15A.



Figura 20. Gondito com granulação grossa.  
Afloramento: LK-15B.

Entre as rochas presentes, destacam-se diopsiditos de coloração verde, estrutura maciça, textura granoblástica com granulação fina a média (1-3 mm), às vezes dobradas e venuelados devido à percolação dos líquidos graníticos. Nos contatos dos diopsiditos com os granitos ocorrem rochas de cor verde clara, estrutura maciça a bandada, textura granoblástica com granulação média (3 mm), composta por diopsídio, feldspato, quartzo, titanita e epídoto, muitas vezes deformadas com geração de dobras intrafoliares isoclinais, isópacas e anisópacas centimétricas a métricas (Figura 19). Associados ocorrem gonditos (Figura 20) com granulação muito grossa (0,5 – 4,0 cm), constituídos de granada e diopsídio e recobertos de crostas botrioidais de óxidos-hidróxidos de manganês, além de hornblenda granulitos máficos e alasquitos cisalhados.

## 6. PETROGRAFIA DAS ROCHAS CALCIOSSILICÁTICAS

Carbonatos sedimentares são compostos por  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$  e  $\text{SiO}_2$ , com quantidades variáveis de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{K}_2\text{O}$ . A assembléia mineral gerada durante o metamorfismo progressivo depende da pressão e temperatura, assim como da composição original da rocha. Adicionalmente a composição do fluido tem um profundo efeito nas assembléias produzidas e na temperatura que determinadas reações ocorrem. Isto é verdade para todas as rochas metamórficas, entretanto é mais evidente nas rochas calciossilicáticas (Barker, 1990).

As rochas calciossilicáticas apresentam uma grande diversidade de minerais, com variações significativas em bandas de composição mineralógica distinta, com predomínio de silicatos ricos em cálcio e/ou magnésio como tremolita, diopsídio, forsterita, wollastonita entre outros.

Durante os trabalhos de campo procedeu-se à coleta sistemática de amostras de modo a definir em detalhe os diferentes litotipos calciossilicáticos encontrados, com descrição das texturas, sequência de blastese dos minerais e principais paragêneses. As condições de geração das rochas foram definidas utilizando-se também rochas que compõem o embasamento granulítico, que apresentam paragêneses de fácies granulito de identificação mais expedita.

Para a classificação das rochas preferiu-se adotar nomes que façam alusão as paragêneses associadas ao metamorfismo regional, sem levar em conta substituições mineralógicas tardias, já que nem todos os litotipos mapeados apresentam evidências do metamorfismo de contato e, em termos estritamente descritivos, haveria uma variedade

muito grande de tipos petrográficos. A única exceção é em relação ao actinolítito, rocha gerada pela percolação dos líquidos graníticos, presente principalmente em zonas de fratura, que em função da sua composição mineralógica rica em anfibólios da série tremolita-actinolita, não poderia ser classificada de outra maneira.

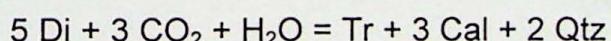
A relação das amostras trabalhadas na petrografia, assim como em todas as outras investigações realizadas, está no anexo 2. A respectiva localização das amostradas está no anexo 3.

### 6.1. DIOPSÍDITO

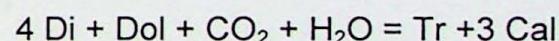
Constitui rochas com estrutura maciça, textura granoblástica (Fotomicrografia 1) com granulação que varia de muito fina a muito grossa (<0,001 – 2 cm), compostas por diopsídio (80-95%), tremolita (5-10%), epídoto (3-5%), com traços de titanita, zoisita, mica branca, carbonato, quartzo, apatita e opacos. Compreendem as seguintes amostras: 49-1, 312/09, CAU-609, CAU-731, CAU-878B, CAU-878C, CAU-878D, CAU-879I, LK-04C, LK-12B, LK-26C e LK-29B.

Os cristais de diopsídio são idioblásticos, apresentam-se incolores ou com pleocroísmo em tons de verde claro, com contatos retos, lobados e serrilhados, possuindo muitas vezes lamelas de exsolução (Fotomicrografia 2). Apresentam cristais xenoblásticos finos de tremolita nas suas bordas e internamente em fraturas, da mesma maneira que ocorre epídoto, quartzo, carbonato e mica branca. A titanita possui granulação muito fina, com forma idioblástica a sub-idioblastica, apresentando um zoneamento sutil.

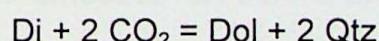
A geração de tremolita a partir do diopsídio pode ser explicada pelas reações 1 e 2 e a geração de dolomita e quartzo a partir do diopsídio pela reação 3 (Candia *et al*, 2003).



(Reação 1)



(Reação 2)



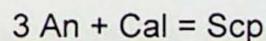
(Reação 3)

## 6.2. DIOPSIDITO FELDSPÁTICO

Constitui rochas com estrutura maciça, textura granoblástica com granulação muito fina à média (<0,01-3mm) compostas por diopsídio (30-50%), escapolita (15-25%), tremolita (15-20%), plagioclásio (10-15%), microclínio (7-10%), quartzo (5-7%), com traços de titanita, epídoto, mica branca, opacos, carbonato, turmalina e allanita. Compreende as seguintes amostras: LK-01A, LK-08A, LK-08B, LK-13B, LK-15B, LK-22, LK-30C, LK-32A e LK-32C.

Os cristais de diopsídio são granoblásticos a poquiloblásticos com contatos retos a serrilhados, incolores a pleocróicos em tons de verde, às vezes possuindo lamelas de exsolução, apresentando, em algumas amostras (LK-08A e LK-08B), inclusões de escapolita. A escapolita é granoblástica com contatos retos a lobados, formada nas bordas do plagioclásio (Fotomicrografias 3 e 4). A tremolita possui textura que varia de xenoblástica a nematoblástica e é gerada a partir do diopsídio (Fotomicrografia 5). O plagioclásio é granoblástico a xenoblástico, com contatos retos a lobados, levemente saussuritizado com geminação deformada, apresentando padrões de exsolução complexos (Fotomicrografia 6) que podem estar relacionados à sua geração em altas temperaturas, com formação da textura *braid* (Spry, 1979). Os cristais de microclínio são granoblásticos com contatos retos a lobados apresentando geminação deformada. Algumas rochas apresentam-se turmalinizadas (Fotomicrografia 7), com presença de cristais xenoblásticos muito finos; titanita às vezes constituindo porfiroblastos idiomálicos e allanita com geração de halos pleocróicos no diopsídio (Fotomicrografia 8).

A geração da escapolita a partir de feldspato e carbonato está representada pela reação 4 (Deer et. al, 2006).



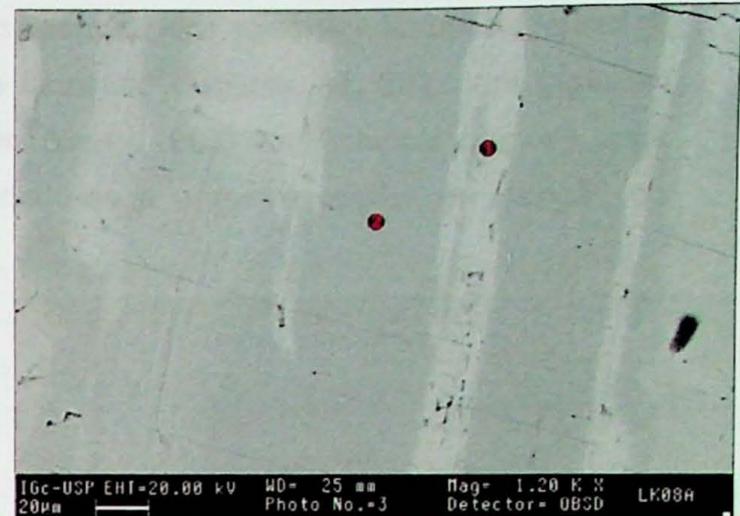
(Reação 4)

Algumas características das amostras LK-08A e LK-08B foram estudadas ainda por MEV/EDS.

A composição química pontual das fases presentes em alguns dos feldspatos da amostra LK-08A, remete a resultados interessantes. Foram analisados quatro locais (Figuras 21 e 22), dois em fases com cor clara (ponto 1) e dois em fases com cor escura (ponto 2), obtendo-se os seguintes teores de anortita (Anexo 4, Análises 1, 2, 3 e 4): An<sub>75-80</sub> e An<sub>55</sub>. Os resultados mostram que se trata de uma feição muito rara de coexistência de plagioclásios que, segundo Spear (1993), corresponde à lacuna de miscibilidade de Voll, que ocorre entre membros finais ricos em anortita a altas temperaturas. Estas feições são descritas na literatura apenas em imagens de microscopia eletrônica de transmissão, desconhecendo-se exemplos observáveis através do microscópio óptico convencional.



**Figura 21.** Fases presentes nos plagioclásios, analisados por MEV/EDS. Amostra: LK-08A



**Figura 22.** Fases presentes nos plagioclásios, analisados por MEV/EDS. Amostra: LK-08A

A análise pontual da composição química das lamelas observadas no diopsídio não conduziu a resultados conclusivos, uma vez que as análises apresentaram a mesma composição química do hospedeiro. As imagens obtidas por MEV mostram que não há diferenças de tonalidade (Figura 23), o que estaria relacionada a composições com densidades atômicas médias distintas (Anexo 4, Análises 5 e 6). Uma hipótese é que pode tratar-se de lamelas estruturais, geradas por deslocamentos do reticulo cristalino. No entanto, em amostras macroscópicas, as lamelas aparecem preferencialmente alteradas, às vezes vazias até, sugerindo uma composição mais vulnerável ao intemperismo (Figura 14), e em lâminas petrográficas apresentam sutil diferença de índice de refração (Fotomicrografia 2). O mais provável é que, tratando-se de lamelas muito delgadas, o feixe incidiu sempre sobre o hospedeiro, principalmente se as lamelas estavam pouco inclinadas em relação à superfície da lâmina polida, sendo recobertas por delgada película do hospedeiro, não discernível nas imagens obtidas. Para melhor elucidar esta questão, seria necessário um trabalho mais específico em regiões onde as lamelas estão em posição ortogonal à superfície, com feixe muito fino.



**Figura 23.** Ausência da variação de cor entre o diopsídio e a lamela, evidenciando as mesmas composições químicas e pontos analisados. Amostra: LK-08B

A comparação entre a composição química pontual dos minerais fibrosos (Anexo 4, Análise 7), associados à escapolita inclusa em diopsídio (Figuras 24, 25), com algumas análises de minerais do grupo do epídoto em Deer (1992), determinou que se trata provavelmente de zoisita ou clinozoisita, preferindo-se a primeira opção, em função do mineral estudado apresentar extinção reta.



**Figura 24.** Minerais fibrosos investigados por MEV/EDS.  
Amostra: LK-08B.



**Figura 25.** Detalhe do local analisado por MEV/EDS.  
Amostra: LK-08B.

### 6.3. DIOPSIDITO FELDSPÁTICO BANDADO

Compreende rochas com estrutura bandada com alternância de camadas quartzo-feldspáticas e diopsídicas, textura granoblástica com granulação muito fina à média (0,1-3mm) composta por diopsídio (30-40%), escapolita (15-20%), quartzo (10-15%), plagioclásio (10-15%), com traços de titanita, epídoto e apatita. Compreendem as seguintes amostras: LK-13C, LK-25, LK-26E e LK-29C.

Os cristais de diopsídio são granoblásticos com contatos retos a lobados, incolores, possuem lamelas de exsolução, com geração nas bordas e internamente, em fraturas, de cristais finos de quartzo e epídoto. A escapolita é granoblástica com contatos poligonizados, gerada nas bordas do plagioclásio. Os cristais de quartzo são granoblásticos com contatos lobados a interlobados, apresentam extinção ondulante e estão estirados, formando *ribbons* (Fotomicrografia 9). O plagioclásio é granoblástico com contatos lobados, apresentando intenso processo de saussuritização o que dificultou a medida do seu teor de anortita. Os cristais de titanita estão estirados na mesma direção dos *ribbons* de quartzo (Fotomicrografia 10).

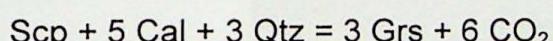
### 6.4. GRANADA DIOPSIDITO

Constitui rochas com estrutura maciça, textura porfiro-nemato-granoblástica com granulação que varia de muito fina a média (<0,001 – 4mm), composta por diopsídio (40-50%), granada (25-35%), tremolita (5-20%), opacos (5-15%), com traços de carbonato,

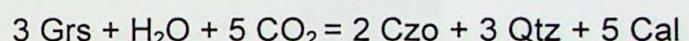
quartzo, feldspato, escapolita, epídoto, clinozoisita, mica branca e titanita, sendo que algumas amostras são constituídas exclusivamente por 75-80% de granada e 15-20% de diopsídio (Fotomicrografia 11). Compreendem as seguintes amostras: CAU-685A, CAU-685B, LK-16, LK-34B e LK-34C.

Os cristais de diopsídio são idiooblásticos, com contatos retos a lobados, possuem sutil pleocroísmo em tons de verde claro, com inclusões nas suas bordas ou em fraturas internas de cristais muito finos de tremolita, epídoto, mica branca, quartzo e carbonato. A granada é porfiroblástica, muitas vezes poiquiloblástica, possui contatos retos a lobados e está intensamente substituída por clinozoisita, quartzo e calcita (Fotomicrografia 12), além de possuir internamente, cristais parcialmente preservados de escapolita (Fotomicrografia 13). A tremolita possui textura que varia de xenoblástica a nematoblástica, é gerada a partir do diopsídio, sendo substituída por quartzo e carbonato. Os opacos, que aparecem em maior quantidade nas rochas intemperizadas (Amostra CAU-685A), possuem cor avermelhada e são xenoblásticos, parecem estar relacionadas à alteração da granada. A titanita é xenoblástica a idiooblástica, aparecendo dispersa nas rochas.

A geração da granada a partir da escapolita é representada pela reação 5 (Deer *et al*, 2006) e geração de clinozoisita, quartzo e calcita a partir da granada pela reação 6 (Bucher & Frey, 1994).



(Reação 5)



(Reação 6)

A análise da composição química pontual de micas brancas presentes em agregados de filossilicatos permitiu a individualização de dois minerais em função das suas diferentes tonalidades (Figura 26), tratando-se de margarita e sericita (Anexo 4, Análises 8 e 9).

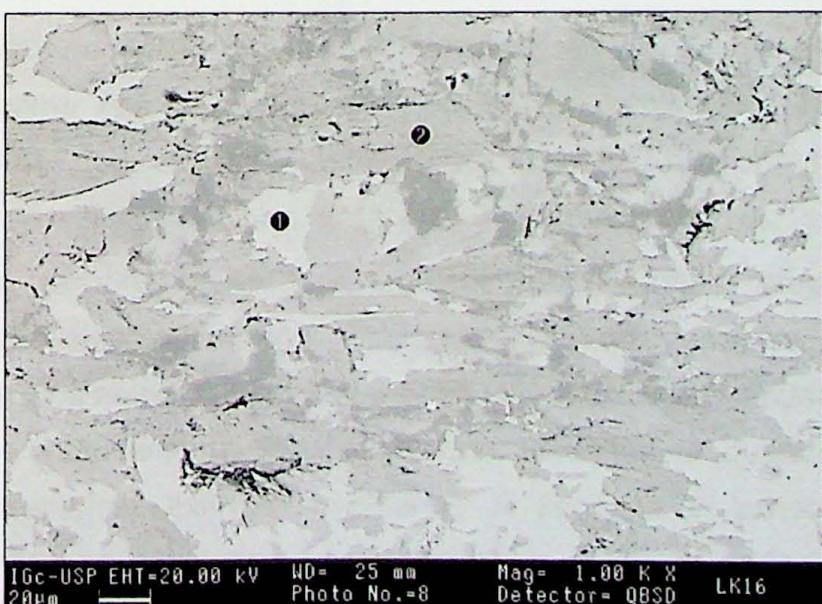


Figura 26. Micas brancas analisadas por MEV/EDS. Amostra: LK-16.

A análise pontual da composição química do diopsídio e da granada (Figura 27) evidenciou teores importantes de manganês nesses minerais. A granada é rica em grossulária e espessartita, perfazendo mais de 80% em proporção molecular, em proporções aproximadamente iguais desses membros ideais, além de almandina e/ou andradita (Anexo 4, Análise 10). No caso do diopsídio, o manganês, apesar de subordinado ao magnésio e ferro, pode apresentar teores significativos, como, por exemplo, na Análise 11 (Anexo 4). A composição química rica em manganês destas rochas calciosilicáticas, aliada à ocorrência de concentrações de óxidos e hidróxidos de manganês associadas a elas na área de estudo permite deniminá-las de gonditos, com a possibilidade de ocorrência de depósitos supérgenos de manganês na região.

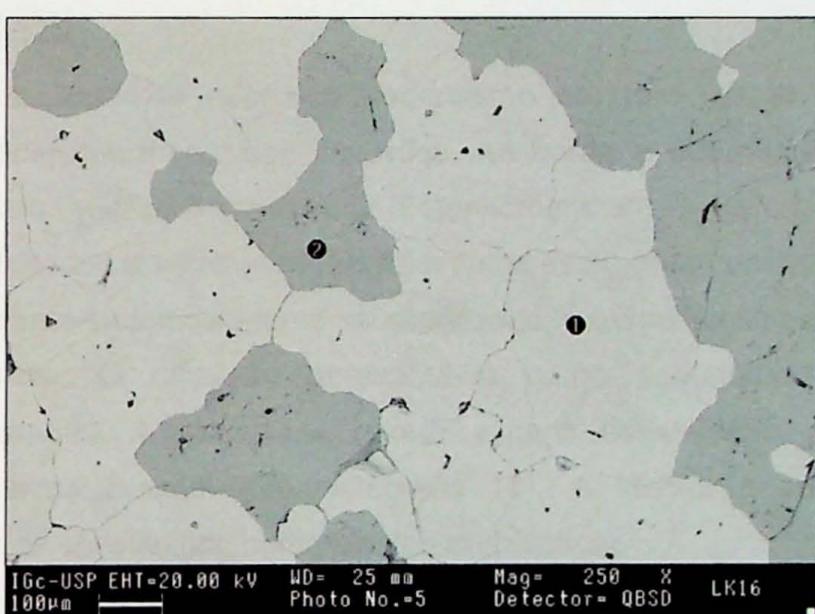


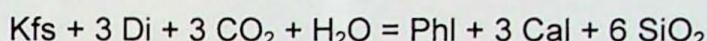
Figura 27. Granada (ponto 1) e diopsídio (ponto 2), analisados por MEV/EDS. Amostra: LK-16.

## 6.5. DIOPSÍDIO MÁRMORE

Rocha com estrutura maciça, textura granoblástica com granulação que varia de fina a média (<0,001 – 3mm), composta por carbonato (43%), microclínio (15%), plagioclásio (10%), tremolita (10%), diopsídio (7%), quartzo (7%), flogopita (3%), com traços de epídoto e titanita. Compreende a seguinte amostra: LK-26D (Fotomicrografia 14).

Os cristais de carbonato são granoblásticos com contatos retos a lobados. Os feldspatos estão muito deformados, com o plagioclásio apresentando-se saussuritizado. A tremolita é xenoblástica a nematoblástica, substituindo o diopsídio. O diopsídio apresenta-se como pseudomorfos intensamente substituídos por tremolita. O quartzo possui textura granoblástica, apresentando extinção ondulante. A flogopita é xenoblástica, aparece associada ao diopsídio e ao feldspato potássio (Fotomicrografias 15 e 16).

A geração da flogopita a partir do diopsídio e do feldspato potássico é representada pela reação 7 (Fleet, 2004).



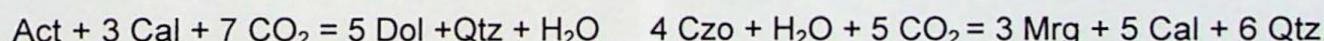
(Reação 7)

## 6.6. ACTINOLITITO

Constitui uma rocha com estrutura orientada, textura grano-nematoblástica com granulação muito fina a média (<0,01 – 4 mm) composta por actinolita (45-50%), carbonato (25-30%), microclínio (5-7%), plagioclásio (5-7%), diopsídio (3-5%), clinozoisita (3-5%), com traços de quartzo, titanita, apatita e mica branca. Compreende as seguintes amostras: CAF-502B, LK-15D e LK-32D.

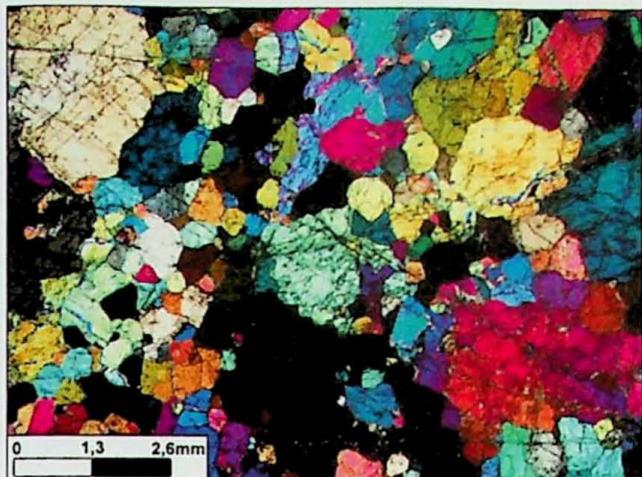
Os cristais de actinolita possuem pleocroísmo em tons de verde claro, textura nematoblástica a poiquiloblastica com inclusões, na borda e internamente por meio de fraturas, de carbonato, quartzo e clinozoisita (Fotomicrografia 17). Os cristais de carbonato possuem contatos lobados a serrilhados. Os feldspatos estão muito deformados, sendo que o plagioclásio apresenta-se intensamente saussuritizado, o que dificultou a determinação do seu teor de anortita. O diopsídio apresenta-se como pseudomorfos intensamente substituídos por actinolita. A clinozoisita, gerada a partir do anfibólio, apresenta na sua borda cristais de mica branca (Fotomicrografia 18). A titanita é predominantemente xenoblástica, às vezes constituindo porfiroblastos idioblásticos.

A geração de carbonato e quartzo a partir da tremolita-actinolita é representada pela reação 8, enquanto a mica branca e carbonato seriam gerados a partir do epídoto, pela reação 9 (Bucher & Frey, 1994).

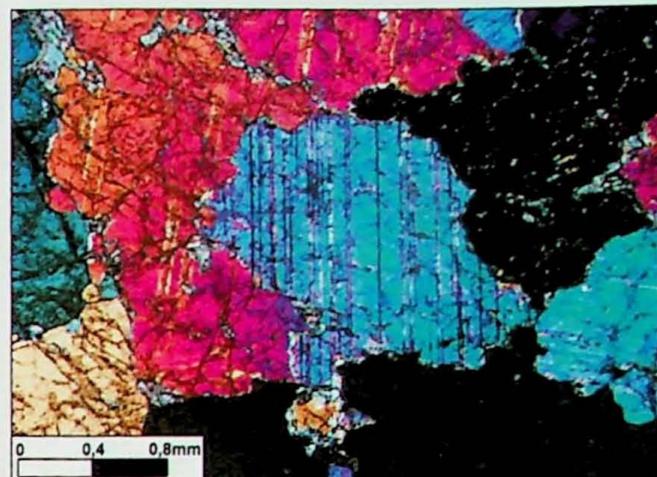


(Reação 8)

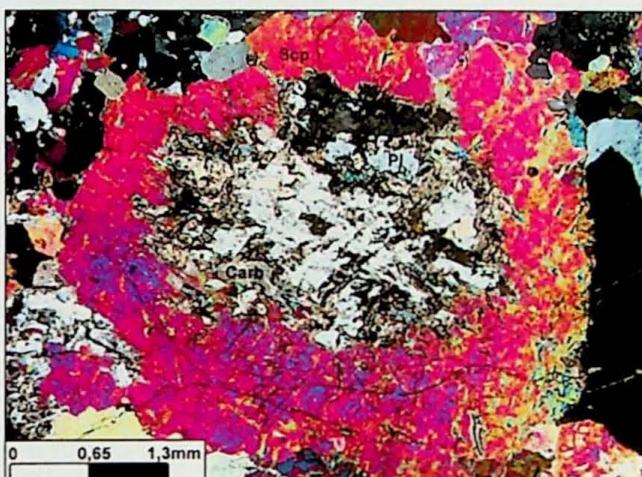
(Reação 9)



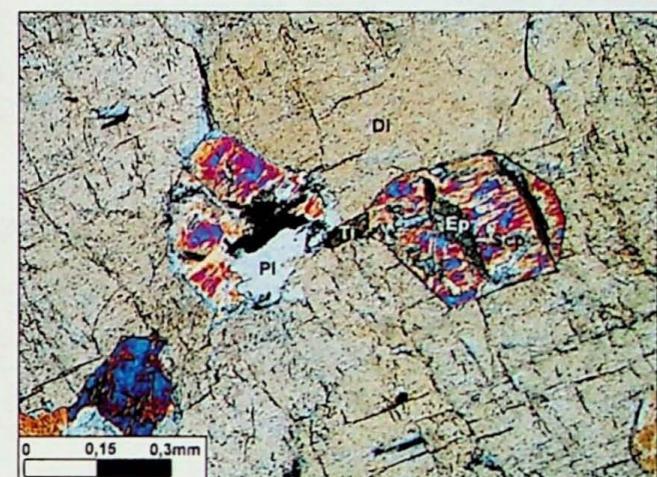
Fotomicrografia 1. Diopsídio com textura granoblástica. Amostra: LK-26C. Pol X.



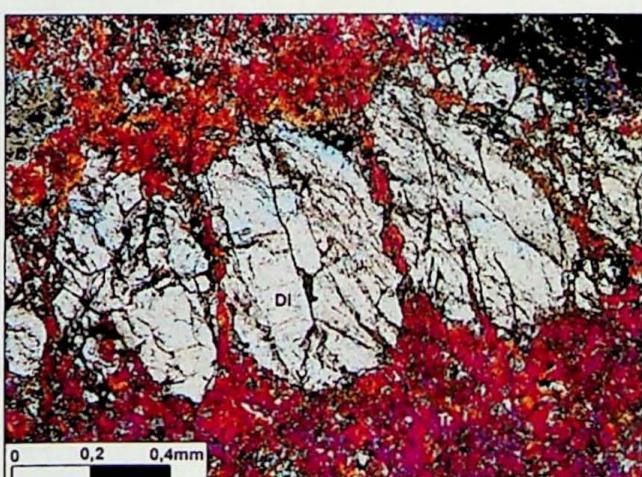
Fotomicrografia 2. Diopsídio com lamelas de exsolução. Amostra: 49-1. Pol X.



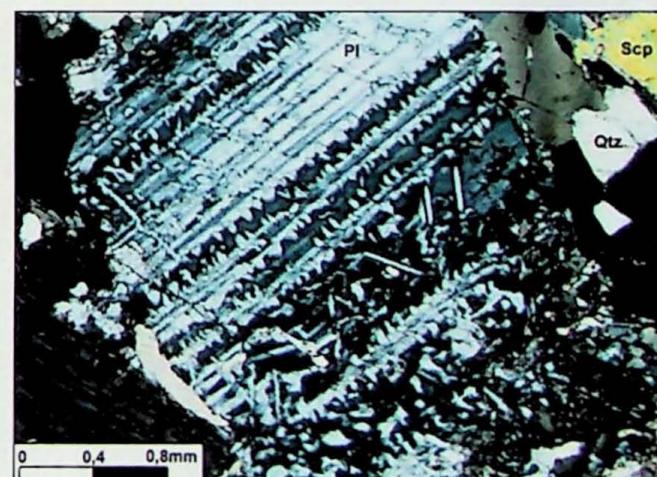
Fotomicrografia 3. Escapolita gerada a partir de plagioclásio e calcita. Amostra: LK-08A. Pol X.



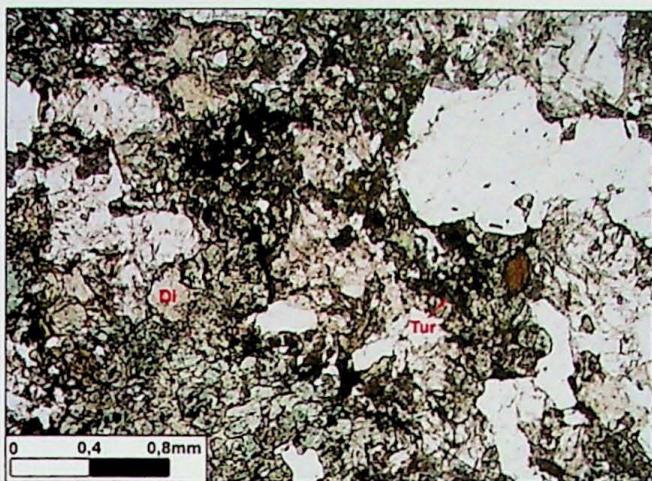
Fotomicrografia 4. Escapolita gerada a partir de plagioclásio. Amostra: LK-08B. Pol X.



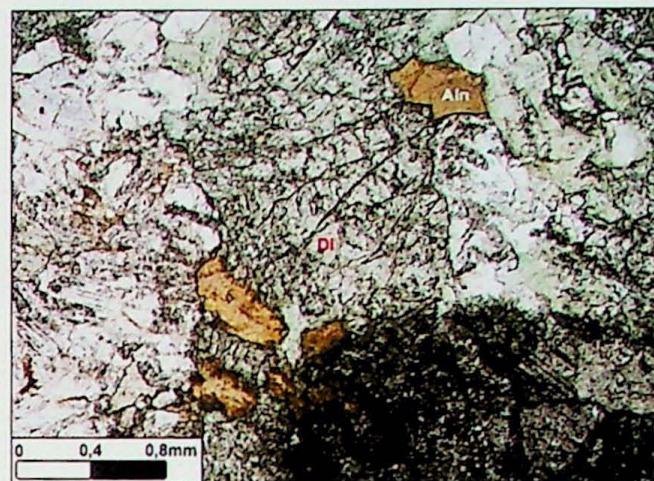
Fotomicrografia 5. Geração de actinolita a partir dos cristais de diopsídio. Amostra: LK-08A. Pol X.



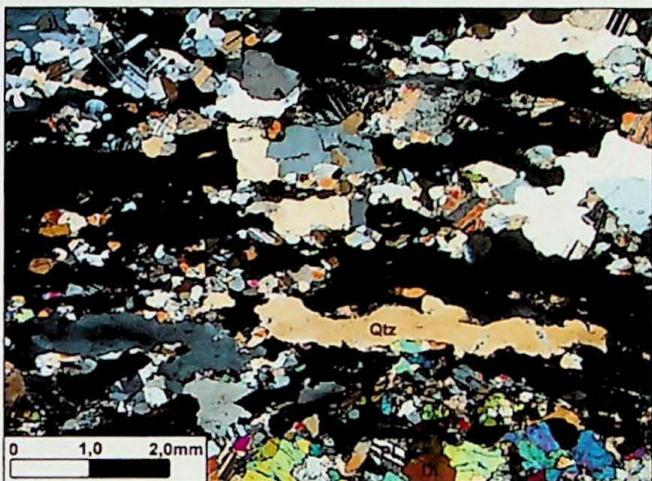
Fotomicrografia 6. Plagioclásio apresentando padrão de exsoluções segundo a lacuna de Voll (An55-An80). Amostra: LK-08A. Pol X.



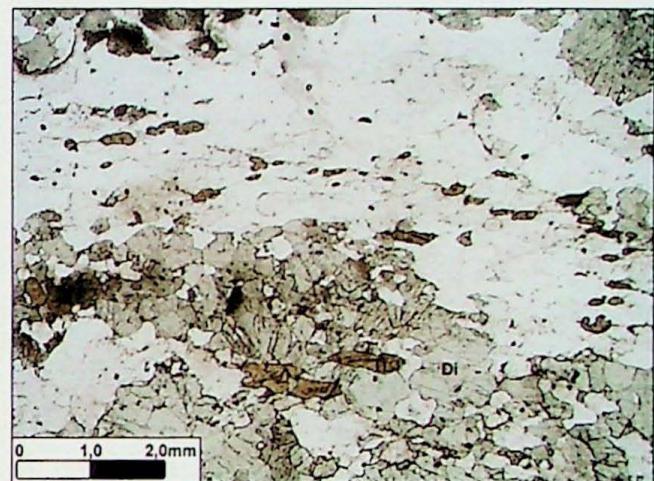
Fotomicrografia 7. Rocha calciosilicática turmalinizada. Amostra: LK-15B. Pol //.



Fotomicrografia 8. Allanita com geração de halos pleocróicos no diopsídio. Amostra: LK-01A. Pol //.



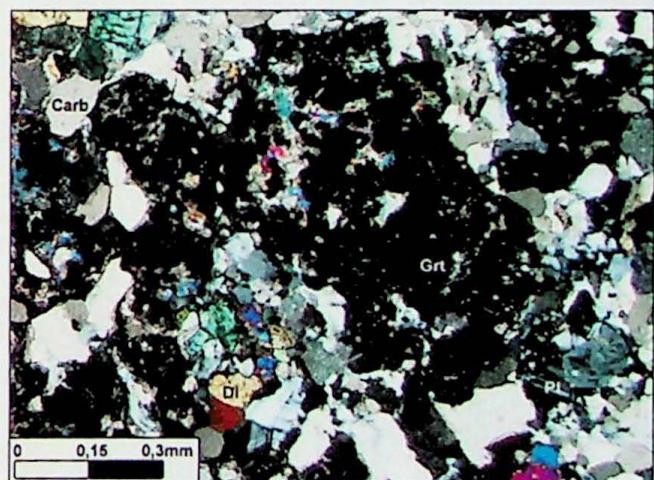
Fotomicrografia 9. Ribbons de quartzo. Amostra: LK-13C. Pol X.



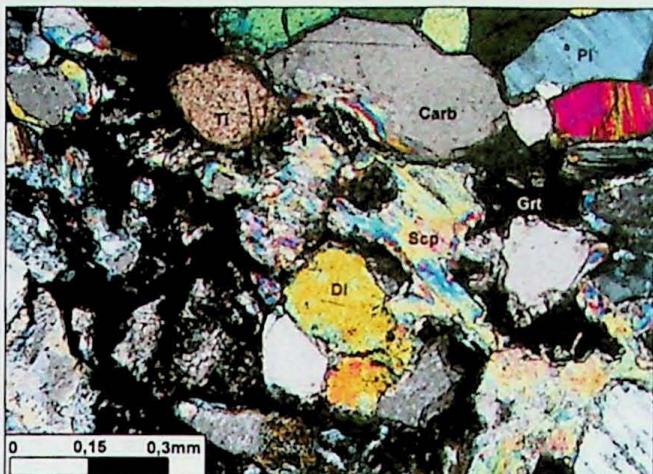
Fotomicrografia 10. Cristais de titanita estirados na mesma direção dos ribbons. Amostra: LK-13C. Pol //.



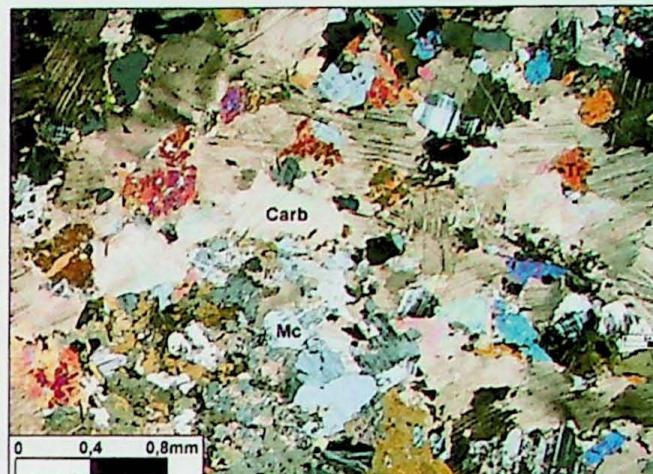
Fotomicrografia 11. Rocha constituída somente por diopsídio e granada. Amostra: LK-34B. Pol //.



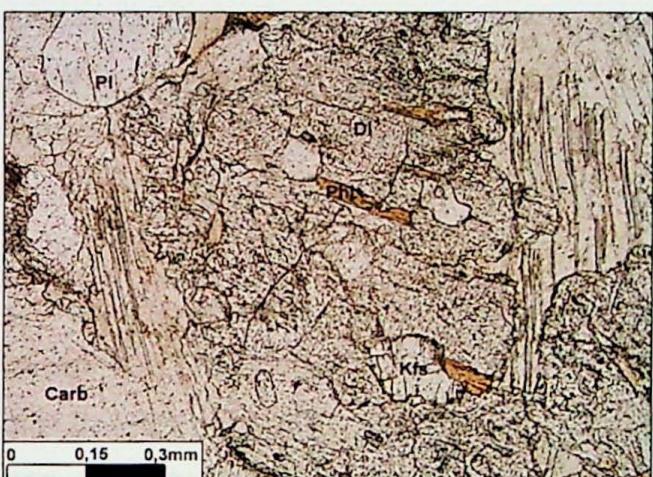
Fotomicrografia 12. Granada porfiroblástica intensamente substituída por epidoto, quartzo e calcita. Amostra: LK-34C. Pol X.



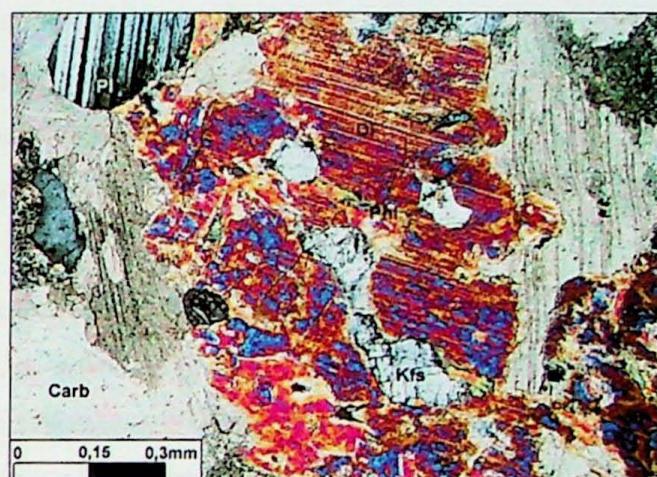
Fotomicrografia 13. Cristais parcialmente preservados de escapolita, internamente na granada. Amostra: LK-34C. Pol X.



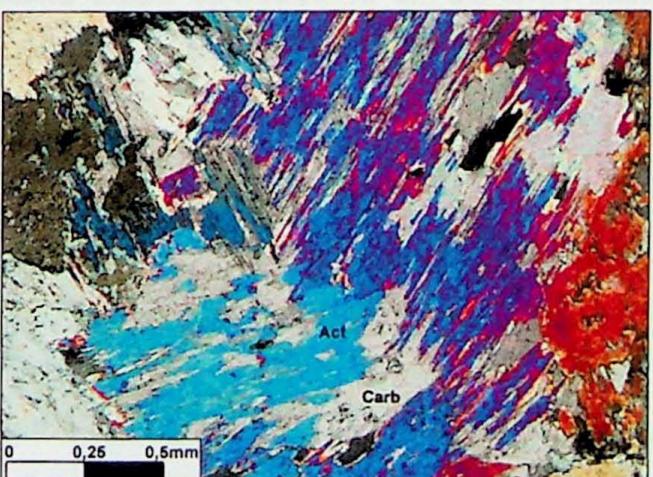
Fotomicrografia 14. Diopsídio mármore. Amostra: LK-26D. Pol X.



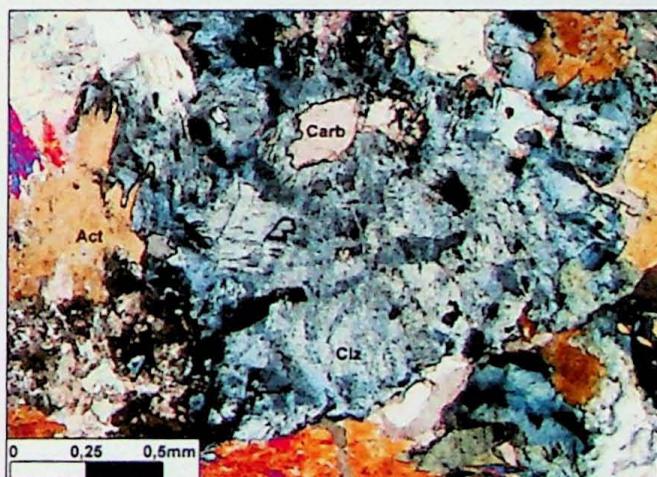
Fotomicrografia 15. Flogopita xenoblástica, associada ao diopsídio e ao feldspato potássico. Amostra: LK-26D. Pol //.



Fotomicrografia 16. Flogopita xenoblástica, associada ao diopsídio e ao feldspato potássico. Amostra: LK-26D. Pol X.



Fotomicrografia 17. Actinolita com geração, da borda para o centro do cristal, de carbonato, quartzo e clinzoisita. Amostra: LK-32D. Pol X.



Fotomicrografia 18. Clinzoisita gerada a partir da actinolita, apresentando cristais muito finos de margarita nas suas bordas. Amostra: LK-32D. Pol X.

## 7. CONDIÇÕES METAMÓRFICAS

A petrografia dessas rochas, como de algumas que compõem o embasamento, permitiu identificar três etapas de blastese (Tabela 2).

A primeira etapa corresponde ao pico metamórfico da fácie granulito, evidenciado pela presença de ortopiroxênio nas rochas do embasamento e, no caso das rochas calciosilicáticas, pela associação diopsídio, plagioclásio, feldspato potássico, carbonato e quartzo.

A segunda etapa corresponde ao retrometamorfismo para a fácie anfibolito, subsequentemente ao pico metamórfico da fácie granulito, representado pela geração de hornblenda nas bordas do ortopiroxênio, nas rochas do embasamento e, no caso das rochas calciosilicáticas, flogopita (gerada a partir do diopsídio e do feldspato potássico), escapolita (a partir da calcita e do plagioclásio), granada (gerada a partir da desestabilização da escapolita, em condições de  $X_{CO_2}$  mais baixas) e possivelmente as micas brancas, como margarita e sericita, que substituem os feldspatos, além de actinolita substituindo diopsídio em padrão “pervasivo”.

Localmente essas rochas apresentam um novo reequilíbrio para condições hidrotermais, devido à percolação dos líquidos graníticos, com geração de anfibólios da série tremolita-actinolita e minerais do grupo do epídoto em veios e planos de fratura. Neste caso, as reações não seriam as tradicionais, com consumo e geração de fases, mas em sistema aberto, com  $H_2O$ , sílica e possivelmente cálcio móveis (metassomatismo). Esta última etapa sobrepõe-se em parte às substituições minerais atribuídas à segunda, sendo que para sua separação mais exata seriam necessários estudos específicos, de maior detalhe.

MINERAIS	SEQUÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO MINERAL		
	Metamorfismo Fácie Granulito	Retrometamorfismo Fácie Anfibolito	Hidrotermalismo
Diopsídio	-----		
Plagioclásio	-----		
K-Feldspato	-----		
Quartzo	-----		
Carbonato	-----		
Escapolita		-----	
Granada		-----	
Flogopita		-----	
Mica branca		?-----	
Epídoto		?-----	
Actinolita		?-----	

Tabela 2. Sequência de desenvolvimento mineral em relação as etapas de blastese.

## 8. CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS POTENCIAIS DAS ROCHAS CALCIOSSILICÁTICAS

A procura por novas matérias-primas que agreguem melhorias às linhas de produção, de modo a garantir um constante aperfeiçoamento dos processos produtivos, racionando o uso de outras substâncias e colaborando com a redução do consumo energético, é uma busca constante das indústrias do setor cerâmico, em particular as produtoras de revestimentos, louça de mesa e sanitários (Piccoli, 2005).

Fazendo-se uso de técnicas de caracterização, foram estudadas diversas rochas calciosilicáticas de Castro Alves, quanto às suas características *in natura* e, depois de preparadas, suas propriedades de sinterização.

Foi realizado, ainda, teste de fusibilidade com uma amostra incorporando diversos diopsiditos com cor branca do corpo Fazenda Reunida Salgado I (representada pela amostra petrográfica CAU-609), com determinação das temperaturas de amolecimento e fluidez. Essa amostra foi posteriormente adicionada a massas de porcelanato idealizadas, com determinação das suas propriedades de sinterização.

Alguns dos corpos-de-prova de porcelanato foram estudados por difração de raios X, com identificação das principais fases presentes e avaliação da utilização do diopsidito como fundente.

### 8.1. DIOPSÍDIO – CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS

Nome de origem grega que deriva das palavras *dis* (duas) e *opsis* (aparência), referindo-se à zona prismática vertical do mineral, que parece ter dupla orientação (Klein, 2002). Pertencente ao grupo dos clinopiroxênios cálcicos, forma com a hedenbergita solução sólida completa entre os termos  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  e  $\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$  (Deer *et al*, 1992), apresentando propriedades físicas e ópticas que variam linearmente com a composição, com diopsídio correspondendo aos termos mais magnesianos.

Pertence ao sistema monoclinico, com hábito prismático, granular, colunar ou lamelar, frequentemente constituindo maclas polissintéticas. A cor varia entre branco, verde claro e verde escuro, em função da quantidade de ferro na estrutura cristalina do mineral, apresentando brilho lustroso a vítreo. Possui dureza entre 5,5 e 6,5 na escala Mohs e densidade relativa entre 3,2 e 3,5.

Entre as propriedades ópticas possui ângulo  $2V_y$  entre 50-62°, é biaxial positivo, com índices de refração  $\alpha = \beta = 1,67 - 1,74$  e  $\gamma = 1,70 - 1,76$ . Apresenta birrefringência entre 0,029-0,030 e pleocroísmo em tons de verde nos espécimes mais coloridos.

Geralmente ocorre em rochas metamórficas, como um mineral característico de metamorfismo de contato de margas ou arenitos com cimentação carbonática (essencialmente dolomita), aparecendo associado com forsterita, calcita, dolomita, tremolita,

escapolita, granada, margarita, flogopita, epídoto e titanita. Não é incomum encontrá-lo constituindo rochas ígneas básicas, como álcali olivina basaltos ou na forma de nódulos ultramáficos em kimberlitos (Deer et al, 1992).

## 8.2. PRINCIPAIS APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS

Os primeiros estudos de aplicação tecnológica de rochas calciosilicáticas com altas concentrações em diopsídio ocorreram na Rússia, no final da década de 1980. Foram influenciados pelas expressivas quantidades de diopsiditos que afloram ao sul da região de Baikal, na Sibéria e pelas expectativas da redução dos custos de transporte de matérias-primas, pelo desenvolvimento de fábricas de porcelanato que aproveitariam os depósitos locais de argila branca, feldspato, wollastonita e diopsídio. Futuramente outros países com expressivos depósitos de diopsiditos também viriam a realizar estudos com essas rochas. Neste contexto destacam-se os seguintes trabalhos:

- Alekeev et. al (1990) estudaram a influência da adição de rochas com altas concentrações em diopsídio na sinterização de porcelanato e as propriedades que agregam ao produto acabado. Determinaram o aumento da resistência a flexão, diminuição das temperaturas de queima, obtenção de materiais com dielectricidade, além de outras propriedades.
- Alekeev et. al (1995) estudaram a possibilidade de usar rochas calciosilicáticas poliminerálicas, compostas de por diopsídio (71-73%), quartzo (15-17%), apatita (3-6%), calcita (1-6%) e tremolita (0-2%), para a produção de porcelanato a temperaturas mais baixas e determinação das principais fases formadas pelas reações cerâmicas.
- Azarov et. al (1995) realizaram um síntese sobre as questões econômicas e geopolíticas que determinaram o estudo das rochas calciosilicáticas compostas por quantidades variáveis de diopsídio. Dividiram as diferentes litologias que afloram no depósito de Slyudyanshe em sete grupos, individualizando-as pelas suas composições mineralógicas e estudaram as fases minerais que se formam pela queima de corpos-de-prova de porcelanato que receberam a adição de rochas monominerálicas em diopsídio, em diversas temperaturas.
- Alekeev (1997) estudou a possibilidade de usar diversos insumos minerais, entre eles diopsiditos, para a sinterização de cerâmicas com fase cristalina composta unicamente por diopsídio, que possui propriedades dielétricas similares às cerâmicas esteatitas, utilizadas como isoladores elétricos.
- Nonami e Tsutsumi (1999) estudaram a aplicação de diopsídio em biomateriais, demonstrando que a sua adição em composições cerâmicas com hidroxiapatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ) elevou a resistência à fratura em duas a três vezes em relação à composição pura, não apresentando toxicidade em testes de células de cultura.

- Kostikov *et.al* (2001) estudaram as principais fases minerais que se formam pela adição de 0 a 100% de diopsídio a uma massa de porcelanato. Entre os resultados obtidos, determinaram que entre 0,5 e 5%, o diopsidito colabora com a diminuição da temperatura de sinterização, aumenta a resistência a flexão, e proporciona brancura ao produto acabado.
- Kara e Cavac (2002) demonstraram que a cristalização de diopsídio a partir da queima de corpos-de-prova produzidos com matérias-primas impuras (presença principalmente de óxido de ferro), colabora com a obtenção de porcelanato com maior índice de alvura se comparado com cerâmicas convencionais. Neste caso as impurezas contidas nas matérias-primas, principalmente o óxido de ferro, são incorporadas à rede cristalina do diopsídio, substituindo o magnésio, que passa a constituir a fase vítreia.

No território brasileiro, os estudos de aplicação tecnológica de diopsiditos ainda são restritos, destacando-se alguns trabalhos de difusão:

- Sanchez-Muñoz *et al.* (2002) estudaram a influência da composição das matérias-primas no processo de gresificação de revestimentos cerâmicos. A substituição de 3% de uma mistura composta por albita, ortoclásio e quartzo, por outra mistura composta por quartzo, plagioclásio, wollastonita, diopsídio e calcita, determinou que os valores de porosidade típicos do grés porcelânico são alcançados a aproximadamente 1170°C, com estabilidade dimensional suficiente para os processos produtivos deste material, além de uma retração linear em torno de 7,5%, compatível com o processo de esmaltação do mesmo.
- Novaes de Oliveira *et. al* (2002) estudaram a aplicação de diopsídio para a obtenção de porcelanato, sinterizado a temperaturas menores que as convencionais. Os resultados obtidos mostram a possibilidade de obter porcelanato na faixa de temperatura entre 1150-1200°C, com absorção d'água entre 0,1-0,8% e boa estabilidade dimensional (variação de 5-7% no comprimento comparativo entre os corpos-de-prova).
- Piccoli (2005) estudou a formulação, preparação e caracterização de composições de massas porcelânicas, para uso em baixa temperatura, utilizando diopsídio associado a uma frita, como opção para redução parcial dos teores de feldspato. Os resultados destacam a possibilidade de obter porcelanato em intervalos de temperatura compreendidos entre 1150-1200°C, com absorção d'água entre 0,1-0,8%, boa estabilidade dimensional (5,6-7,1%) e queima clara. Apresentam maiores valores, se comparado com porcelanatos convencionais, de módulo de ruptura, que está na faixa de 45,2-62,0MPa e porosidade entre 7-24%.

A exploração econômica de diopsiditos é algo pouco difundido no Brasil. A Mineração São Judas, localizada no Paraná, é a única empresa que explora essas rochas no território brasileiro e tenta, a partir do seu endereço eletrônico na internet (Mineração São Judas,

2010), mostrar as principais utilizações, vantagens técnicas e econômicas do uso de rochas com altas concentrações em diopsídio.

### 8.3. ANÁLISES QUÍMICAS

As amostras estudadas e os teores obtidos por flúorescência de raios X estão apresentados na tabela abaixo (Tabela 3).

Amostra	Composição Química (%)											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PF	Total
Diopsídio Teórico	55,49	-	-	-	18,61	25,9	-	-	-	-	-	100
Diop_Ed	51,4	3,4	1,57	0,34	16,7	24,4	0,21	0,1	0,1	<0,10	1,6	99,82
CAU - 731	54,8	2,98	1,61	<0,10	15,1	22,6	0,39	0,61	<0,10	<0,10	1,6	99,69
CAU - 731A	51,7	3,09	0,88	<0,10	16,6	23,9	0,23	0,33	<0,10	<0,10	1,6	98,33
CAF - 76B	53,2	20,3	2,45	nd	3,53	14,1	1,48	1,56	0,44	nd	3,1	100,16
CAF - 514	55,62	3,1	0,65	<0,01	17,53	20,69	0,54	1,02	0,04	0,06	0,36	99,61

Tabela 3. Análise química de algumas rochas calciosilicáticas de Castro Alves – BA.

Os resultados mostram que as rochas apresentam quantidades expressivas de ferro (resultados adequados deveriam ser menores que 0,8%), o que afeta as cores de queima dos porcelanatos, mesmo no caso da amostra Dio\_Ed, utilizada na composição de massas de cerâmica branca. Destaque para a rocha CAF-514, que apresenta a composição química mais próxima do diopsídio teórico e possui baixos teores de ferro, possibilitando o uso futuro do material.

### 8.4. ENSAIO DE QUEIMA EXPEDITA

Para o ensaio expedito de queima foram utilizadas treze amostras de rochas calciosilicáticas, que possuem cores claras e altos teores em diopsídio, características preliminares que definem rochas com potencial para aproveitamento tecnológico.

Inicialmente foram estudadas as propriedades *in natura* das rochas, como absorção d'água, porosidade aparente e massa específica aparente. Os resultados obtidos (Tabela 4) mostram que as rochas são praticamente impermeáveis, com absorção d'água, na maioria dos casos, menor que 1%. A porosidade aparente (quantidade de poros conectados na rocha) apresenta resultados que variam de 0,87% a 4,11%, que, apesar de tratar-se de valores baixos, estão relacionados a uma porosidade secundária, dada a cristalinidade das rochas. A massa específica aparente apresenta média de 3,09g/cm<sup>3</sup>.

<b>Amostra</b>	<b>AA (%)</b>	<b>PA (%)</b>	<b>MEA (g/cm³)</b>
<b>CAF-502</b>	0,83	2,59	3,11
<b>CAF-502B</b>	0,27	0,87	3,17
<b>CAF-514</b>	0,57	1,65	2,89
<b>CAF-515</b>	0,54	1,73	3,18
<b>CAU-878B</b>	0,56	1,70	3,04
<b>CAU-878C</b>	1,36	4,11	3,01
<b>CAU-878D</b>	0,15	0,47	3,22
<b>CAU-879D</b>	1,32	4,01	3,05
<b>CAU-883D</b>	0,50	1,57	3,17
<b>LK-02A</b>	0,63	1,98	3,15
<b>LK-02C</b>	0,17	0,54	3,10
<b>LK-23</b>	0,43	1,33	3,07
<b>LK-29A</b>	0,27	0,81	2,98

**Tabela 4.** Resultados obtidos no ensaio de queima expedita.

**Legenda:** AA = Absorção d'água

PA = Porosidade Aparente

MEA = Massa Específica Aparente

A realização do ensaio expedito de queima seguiu procedimentos internos do Laboratório de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica do IPT. As amostras foram preparadas com secagem prévia em estufa ( $60\pm6^{\circ}\text{C}$ ), britadas em um britador de mandíbula primário e encaminhadas para o Laboratório de Tratamento de Amostras (LTA) do IGc-USP. No LTA, as amostras foram fragmentadas usando-se prensa hidráulica, que possui uma placa e pistão de aço com capacidade de pressão de 30 toneladas e moídas, usando-se o moinho planetário de anéis de carbeto de tungstênio. A moagem consistiu em êmbolos e/ou anéis que promovem a pulverização da amostra por forças de impacto e fricção (atraito), através de oscilações circulares horizontais fornecidas pela placa de vibração onde o recipiente é fixo (vibração planetária). As amostras moídas deveriam ser passantes na peneira com abertura de 0,150mm (nº 100).

A após a preparação das amostras, as mesmas foram encaminhadas para o Laboratório de Tecnologia Cerâmica do IPT, onde foram homogeneizadas e reduzidas por quarteamento a cerca de 500g e, em seguida, umedecidas com 10% de água. Foram confeccionados cinco corpos-de-prova para cada amostra estudada, com cerca de 15g cada, constituindo cilindros retos com diâmetro de 25,4mm e 10mm de altura, moldados por prensagem com pressão de  $200\text{kgf}/\text{cm}^2$  (19,6MPa), em prensa hidráulica, secos ao ar durante vinte quatro horas e, posteriormente, em estufa ( $110\pm7^{\circ}\text{C}$ ), por mais vinte quatro horas, resfriados em dessecador. Em seguida, foram obtidas medidas dos seus diâmetros para caracterizar a contração linear de secagem, além de avaliar visualmente suas

respectivas cores. Posteriormente os corpos-de-prova foram queimados em forno elétrico com atmosfera natural na temperatura de 1200°C, taxa de aquecimento de 5°C/minuto e patamar de três horas, inicialmente resfriados naturalmente dentro do forno e posteriormente, transferidos para o dessecador. Em seguida foram pesados, medidos seus diâmetros e avaliados visualmente pela sua cor de queima.

Os corpos-de-prova foram colocados em um recipiente com água durante vinte e quatro horas, mantendo-se o nível de água acima dos mesmos. Para determinar as massas imersas, foi realizada a pesagem de cada corpo-de-prova suspenso por uma rede metálica presa ao sistema de pesagem da balança. A balança deve ser previamente zerada com o conjunto rede/fios, imerso em água à mesma profundidade da pesagem. Em seguida foram retirados do recipiente, eliminado o excesso de água da superfície com um pano úmido e pesado a sua massa saturada.

Os cálculos dos valores de contração linear de secagem (CLS), queima (CLQ) e total (CLT), absorção d'água (AA), massa específica aparente (MEA) e porosidade específica aparente (PA), foram efetuados a partir do cálculo da média dos valores obtidos para os cinco corpos-de-prova por amostra, dos seus diâmetros (em centímetros), úmidos (lu), quando secos a 110°C (ls) e após a queima em 1200°C (lq) e a partir das suas respectivas massas (em gramas), após a queima e secos (ms), saturados (mu) e imersos em água (mi), pelas seguintes formulas (Equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6).

$$\text{CLS (\%)} = \frac{(lu - ls)}{lu} \times 100$$

**Equação 1.** Contração Linear de Secagem (CLS).

$$\text{CLQ (\%)} = \frac{(ls - lq)}{ls} \times 100$$

**Equação 2.** Contração Linear de Queima (CLQ).

$$\text{CLT (\%)} = \frac{(lu - lq)}{lu} \times 100$$

**Equação 3.** Contração Linear Total (CLT).

$$\text{AA (\%)} = \frac{(mu - ms)}{(mu - mi)} \times 100$$

**Equação 4.** Absorção de Água (AA).

$$\text{PA (\%)} = \frac{(mu - ms)}{(mu - mi)} \times 100$$

**Equação 5.** Porosidade Aparente (PA).

$$\text{MEA (/cm}^3\text{)} = \frac{(ms)}{(mu - mi)}$$

**Equação 6.** Massa Específica Aparente (MEA).

Todos os resultados obtidos estão apresentados na tabela 5. A figura 28 relaciona absorção d'água e contração linear total para as diversas amostras estudadas e a figura 29 mostra as cores de queima dos corpos-de-prova.

Amostra	Cor de Secagem	Cor de Queima	AA (%)	PA (%)	MEA (g/cm³)	CLS (%)	CLQ (%)	CLT (%)
CAF-502	Verde claro	Marrom escuro	1,56	3,83	2,45	0,08	5,55	5,62
CAF-502B	Verde claro	Creme	14,27	31,31	2,20	-0,86	1,78	0,93
CAF-514	Branco	Creme claro	2,14	5,67	2,64	-0,23	12,25	12,04
CAF-515	Verde claro	Creme claro	13,87	30,83	2,22	-1,17	2,38	1,24
CAU-878B	Bege claro	Creme	11,74	26,52	2,26	-0,08	5,76	5,68
CAU-878C	Bege	Creme claro	17,35	35,84	2,07	-0,08	1,01	0,93
CAU-878D	Cinza claro	Creme	13,68	30,77	2,25	0,08	3,49	3,56
CAU-879D	Branco	Creme claro	13,95	31,06	2,23	0,69	0,31	1,00
CAU-883D	Verde claro	Creme claro	14,10	31,27	2,22	0,38	0,78	1,16
LK-02A	Verde escuro	Marrom	13,68	30,30	2,22	0,78	-0,16	0,62
LK-02C	Bege claro	Marrom escuro	1,16	3,34	2,87	0,23	11,17	11,38
LK-23	Branco	Creme claro	3,93	10,39	2,65	0,23	10,08	10,29
LK-29A	Cinza claro	Creme	2,52	6,93	2,75	-0,63	12,33	11,78

Tabela 5. Resultados obtidos para o ensaio de queima expedita.

Legenda: AA = Absorção d'água

CLS = Contração Linear de Secagem

PA = Porosidade Aparente

CLQ = Contração Linear de Queima

MEA = Massa Específica Aparente

CLT = Contração Linear Total

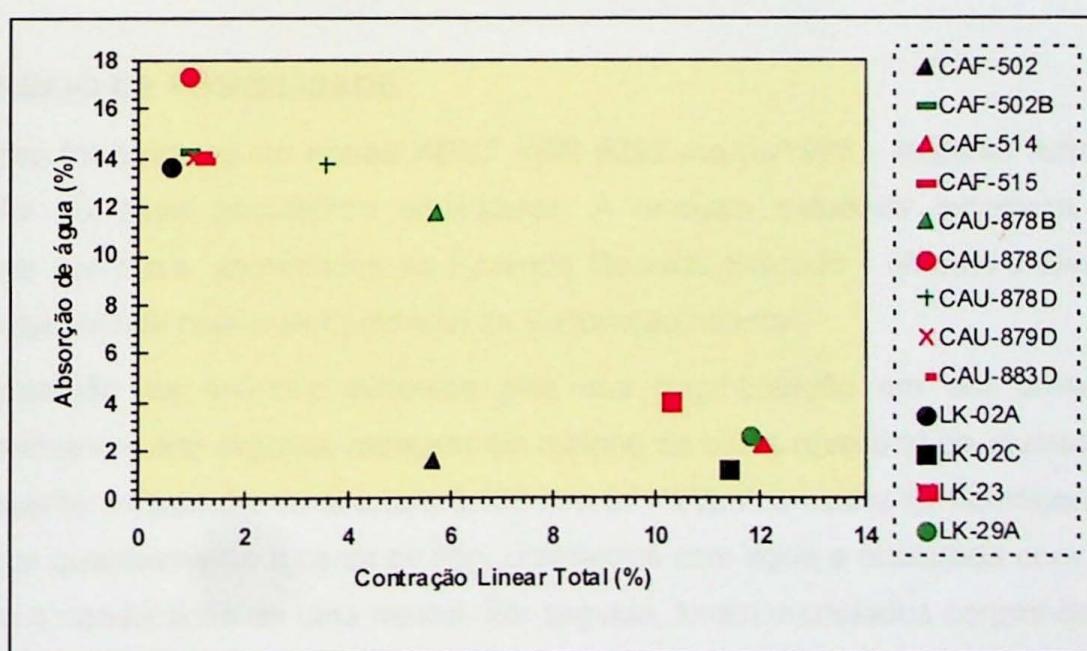


Figura 28. Comparação entre os valores de contração linear total e absorção d' água. Em preto as amostras que possuem as cores de queima mais escuras, em verde as que possuem cores intermediarias e em vermelho as que apresentaram as cores mais claras.

Os resultados obtidos mostram que os corpos-de-prova CAF-514, CAF-515, CAU-878C, CAU-879D, CAU-883D e LK-23 são os que possuem as cores de queima mais claras, enquanto as amostras CAF-502, LK-02A e LK-02C proporcionaram as cores mais escuras.

A figura 28 mostra que o aumento da absorção d'água corrobora com a diminuição da contração linear total, da mesma maneira que o inverso também é válido, o que já era esperado baseando-se em Melchiades et. al (1997). Somente a amostra CAF-502 não obedeceu aos pressupostos, pois mesmo possuindo um valor baixo de contração linear total, também apresenta um baixo valor de absorção d'água. As cores de queima não possuem qualquer correlação com os valores de contração linear total e absorção d'água obtidos. As amostras que possuem os maiores e menores valores de absorção d'água apresentam correspondentemente os maiores e menores valores de porosidade aparente. O valor médio da massa específica aparente é de 2,39g/cm<sup>3</sup>.

### 8.5. ENSAIO DE FUSIBILIDADE

O ensaio foi baseado na norma ABNT NBR 6222 março/1995 - *Material refratário - Determinação do cone pirométrico equivalente*. A amostra estudada incorpora vários diopsiditos de cor clara, amostrados na Fazenda Reunida Salgado I (Amostra Diop\_Ed), tratando-se das rochas com maior potencial de exploração mineral.

A preparação da amostra iniciou-se pela sua fragmentação em um britador de mandíbula primário e em seguida, moagem em moinho de bolas revestido de alumina, com material passante na peneira de abertura 0,150 mm (nº 100). A amostra foi homogeneizada e reduzida por quarteamento a cerca de 50g, umedecida com água e misturada com ligante orgânico, até a constituição de uma massa. Em seguida, foram modelados corpos-de-prova com formato e dimensões do cone pirométrico-padrão.

Retirados os cones de ensaio do molde, foram submetidos ao processo de secagem em estufa a 110°C durante duas horas, até adquirirem consistência que permitisse a sua montagem em placa de base redonda, fabricada com material refratário de composição que não reage com os cones durante o aquecimento (massa com 85% de alumina eletrofundida e 15% de argila refratária).

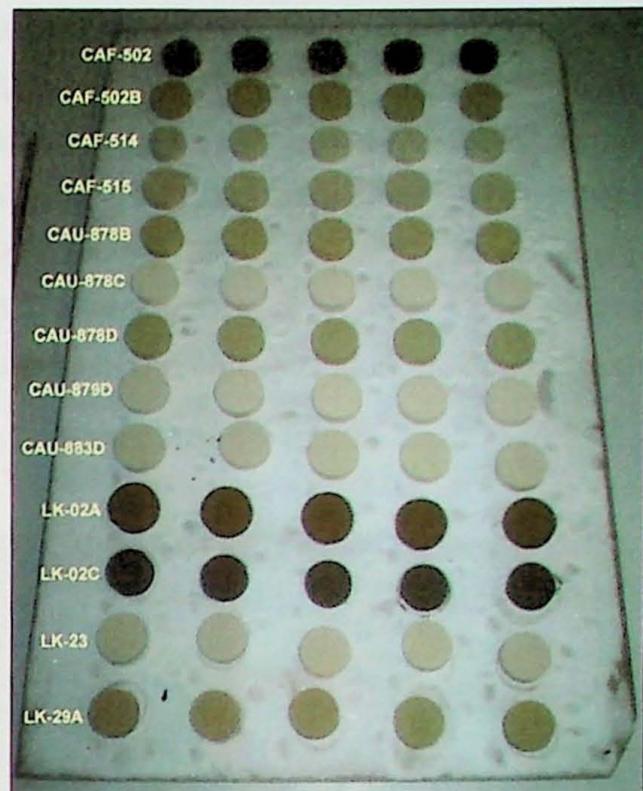


Figura 29. Cor de queima dos corpos-de-prova.

Foram fixados quatro cones pirométricos na base refratária, submetidos em seguida ao processo de secagem em estufa a 110°C durante duas horas e, subsequentemente, aquecidos em forno a gás DENVER, em atmosfera oxidante, a uma taxa de 600°C/h, com as temperaturas de amolecimento (Figura 30) e fusão (Figura 31) dos cones, medidas por meio de um pirômetro óptico digital (modelo TR-630 MINOLTA CAMERA CO. LTD., faixa nominal de 600°C a 3000°C e valor de uma divisão de 1°C). O aspecto visual dos cones pirométricos após resfriamento é apresentado na figura 32, assim como os resultados obtidos no teste (Tabela 6).



Figura 30. Amolecimento dos cones pirométricos.



Figura 31. Início da fusão dos cones pirométricos



Figura 32. Aspecto visual dos cones pirométricos após resfriamento.

<b>Amostra:</b> Diop_Ed
<b>Temperatura de Amolecimento:</b> 1255°C
<b>Temperatura de Fluídez:</b> 1275°C

Tabela 6. Valores de fusibilidade da amostra Diop\_Ed.

## 8.6. COMPOSIÇÃO DE MASSAS PORCELÂNICAS

Segundo Melchiades et. al (1996), a formulação de massas de porcelanato são definidas de tal maneira que durante as temperaturas mais elevadas do ciclo de queima, parte da massa se transforme em um líquido viscoso que escorre e ocupa os espaços vazios entre as partículas mais refratárias e dessa forma reduza a porosidade e, devido às forças de capilaridade, provoque a aproximação das partículas, o que leva à retração e ao aumento da resistência mecânica.

A curva de gresificação é a representação gráfica das duas principais variações sofridas pelo corpo cerâmico durante a queima: absorção de água (AA) e retração linear (RL). Possui diversas utilizações, entre elas ajudar a identificar a temperatura na qual é obtida uma faixa de absorção de água e variação de tamanho admissível para o produto final, avaliar a tolerância da massa a variações de temperatura e condições de processamento, funcionando como um instrumento de controle de qualidade e colaborar com a pesquisa de matérias-primas novas que agreguem maior qualidade ao produto final (Melchiades et. al, 1997).

### 8.6.1. CERÂMICA BRANCA

A realização do ensaio seguiu procedimentos internos do Laboratório de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica do IPT, utilizando-se para a preparação das misturas argilas brancas provenientes da Bahia, quartzo e feldspato provenientes dos pegmatitos de Castro Alves e uma amostra que incorpora diversos diopsiditos com cor branca do corpo Fazenda Reunida Salgado I (Amostra Diop\_Ed).

As amostras foram preparadas com secagem prévia em estufa ( $60 \pm 6^\circ\text{C}$ ), fragmentação em britador de mandíbula primário e, em seguida, moagem em moinho de bolas revestido de alumina, com material passante na peneira com abertura de 0,075mm (nº200), homogeneizadas e produzidas misturas com cerca de 1000g, que possuem as porcentagens em massa a saber:

- **M1 (PADRÃO)** = 40% Argila + 40% Feldspato + 20% Quartzo
- **M2** = 40% Argila + 35% Feldspato + 20% Quartzo + 05% Diop\_Ed
- **M3** = 40% Argila + 30% Feldspato + 20% Quartzo + 10% Diop\_Ed
- **M4** = 40% Argila + 25% Feldspato + 20% Quartzo + 15% Diop\_Ed
- **M5** = 40% Argila + 20% Feldspato + 20% Quartzo + 20% Diop\_Ed

Foram confeccionados cinco corpos-de-prova para cada composição e temperatura estudadas, com cerca de 15g cada, constituindo prismas retos com dimensões aproximadas

de 60mm x 20mm x 5mm, moldados por prensagem com pressão de 300kgf/cm<sup>2</sup> (29,4MPa), em prensa hidráulica, secos ao ar durante vinte quatro horas e, posteriormente, em estufa (110±7°C) durante 24 horas e, finalmente, resfriados em dessecador. Em seguida, foram obtidas medidas dos seus comprimentos para caracterizar a contração linear de secagem, além de avaliar visualmente suas respectivas cores. Posteriormente os corpos-de-prova foram queimados em forno elétrico com atmosfera natural nas temperaturas de 1170°C, 1180°C, 1190°C, 1200°C e 1210°C, com taxa de aquecimento de 5° C/minuto e patamar de 3 horas, resfriados naturalmente dentro do forno e transferidos para o dessecador. Em seguida foram pesados, medidos seus comprimentos e avaliados visualmente pela sua cor de queima.

Os corpos-de-prova foram colocados em um recipiente com água durante vinte e quatro horas, mantendo-se o nível de água acima dos mesmos. Para determinar as massas imersas, foi realizada a pesagem de cada corpo-de-prova suspenso por uma rede metálica presa ao sistema de pesagem da balança. A balança foi previamente zerada com o conjunto rede/fios, imerso em água à mesma profundidade da pesagem. Em seguida foram retirados do recipiente, eliminado o excesso de água da superfície com um pano úmido e pesada a sua massa saturada.

Para a determinação da tensão de ruptura à flexão após queima (TRF), os corpos-de-prova foram secos em estufa a 60°C, durante vinte e quatro horas e colocado cada um sobre dois apoios, de forma que a face maior fique apoiada sobre os mesmos. Foi aplicada uma carga na parte central, de forma a obter um aumento de 3 a 5kgf/min, até o seu rompimento. Posteriormente foram medidas, com paquímetro, a sua largura e altura.

Os cálculos dos valores de contração linear de queima (CLQ), absorção d'água (AA), massa específica aparente (MEA) e porosidade específica aparente (PA), foram efetuados a partir do cálculo da média dos valores obtidos dos cinco corpos-de-prova por amostra, dos seus comprimentos (em centímetros), quando secos a 110°C (ls) e após a queima em 1200°C (lq) e a partir das suas respectivas massas (em gramas), após a queima e secos (ms), saturados (mu) e imersos em água (mi), conforme as equações 1, 2, 3, 4, 5 e 6, além da determinação da tensão de ruptura à flexão após queima (TRF), a partir da média dos valores de cada corpo de prova da carga de ruptura (P), distância entre os apoios (L, fixada em 5cm), largura (b) e altura (h), em centímetros, pela seguinte formula (Equação 5):

$$TRF \text{ (kgf/cm}^2\text{)} = \frac{(3 \times P \times L)}{(2 \times b \times h^2)}$$

**Equação 5.** Absorção de Água (AA).

Para avaliação dos resultados obtidos, foram geradas curvas de gresificação (Figuras 33, 34, 35, 36 e 37) e um gráfico comparativo entre tensão de ruptura à flexão e temperatura de queima (Figura 38), além da análise visual dos corpos de prova (Figuras 39 e 40).

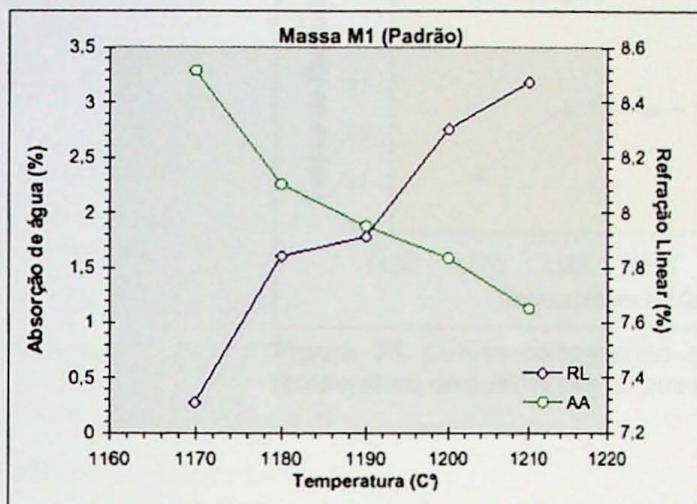


Figura 33. Curva de Gresificação da massa M1.

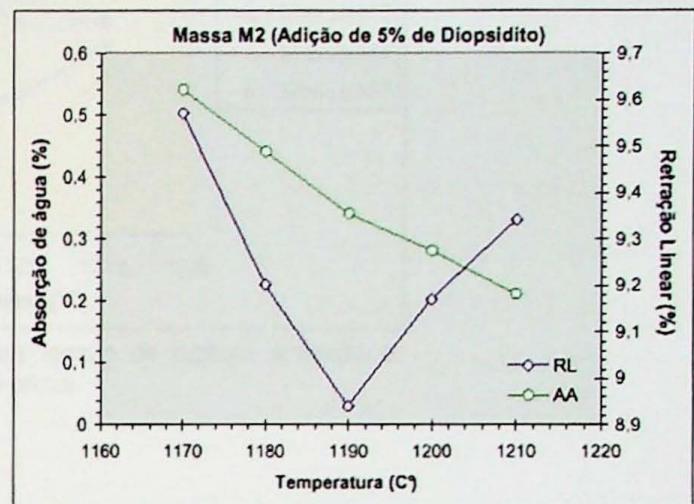


Figura 34. Curva de Gresificação da massa M2.

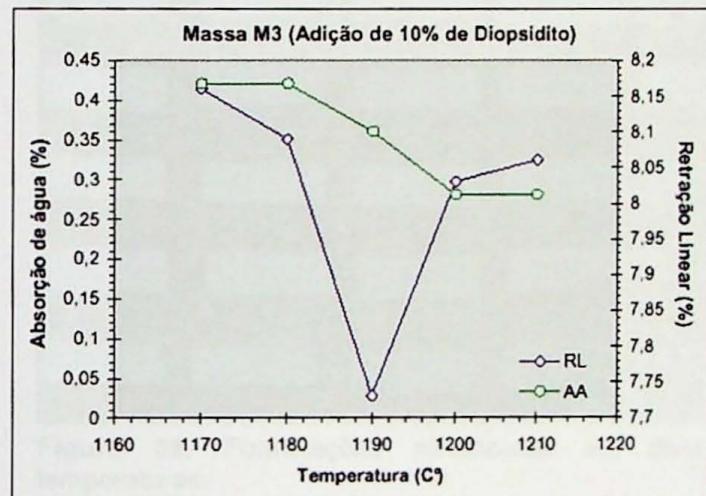


Figura 35. Curva de Gresificação da massa M3.

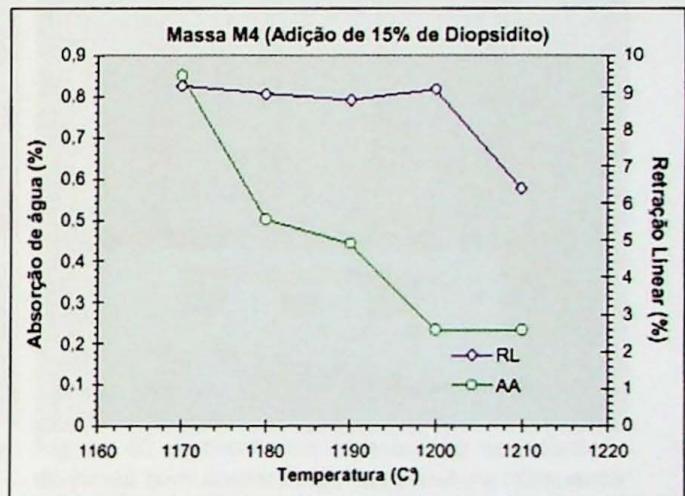


Figura 36. Curva de Gresificação da massa M4.

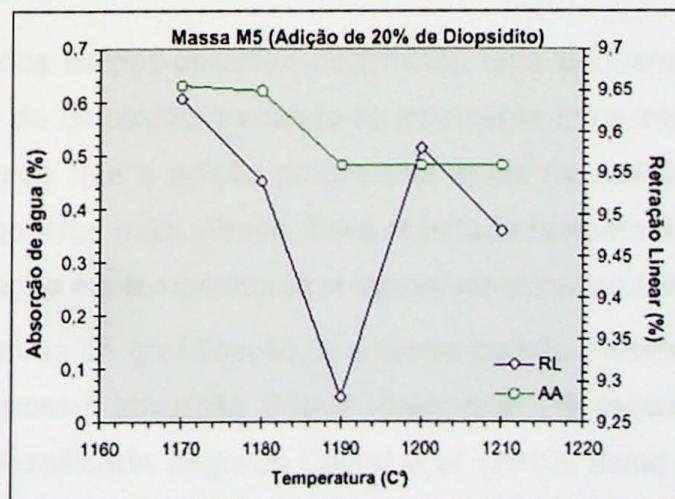
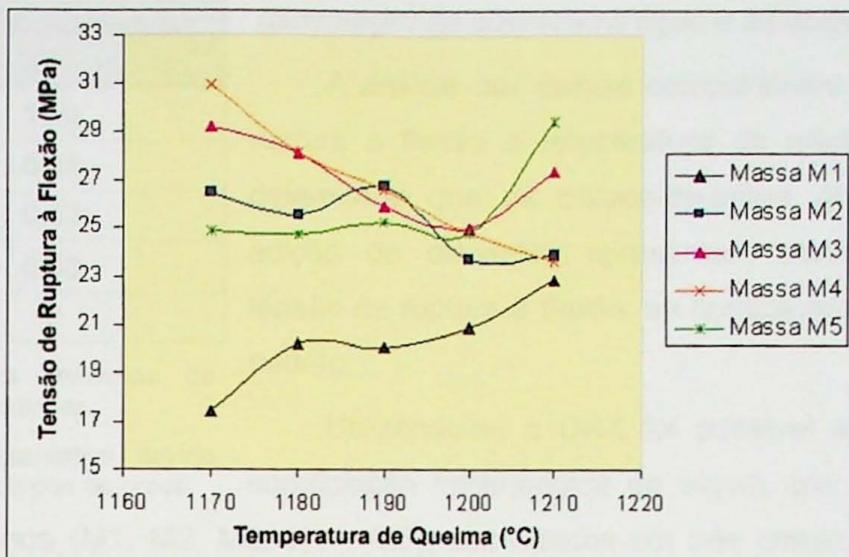


Figura 37. Curva de Gresificação da massa M5.



**Figura 38.** Curvas comparativas entre tensão de ruptura à flexão e temperatura de queima dos corpos-de-prova.



**Figura 39.** Formulações sinterizadas em diversas temperaturas.



**Figura 40.** Aumento na sinterização dos corpos-de-prova com aumento da temperatura (esquerda para direita).

A análise visual dos corpos-de-prova determinou uma pequena variação na cor dos que receberam adição do diopsidito, tornando-se levemente mais escuros (de creme claro para creme). Percebeu-se que a adição progressiva ajuda na melhor sinterização (Figura 39), proporcionando aspectos mais vítreos. Esse resultado também é obtido com a queima de uma mesma formulação em temperaturas progressivamente mais altas (Figura 40).

Em relação às curvas de gresificação, a amostra padrão mostra que se trata de uma massa refratária, que possui absorção d'água maior que 1% mesmo a temperaturas de 1200°C, podendo ser classificada, segundo Cabral *et al.* (2010), como um grés. No caso das curvas de gresificação das massas com adição do diopsidito, a absorção d'água apresentou em geral uma diminuição expressiva, com valores entre 0,21% e 0,85% com classificação entre porcelanato e grés, enquanto a retração linear comportou-se com menores taxas de variação em comparação com a massa padrão (Tabela 7), evidenciando uma maior estabilidade térmica das massas compostas, ambas propriedades tecnológicas importantes.

Massa	Variação máxima RL (%)
M1	1,16
M2	0,36
M3	0,63
M4	0,43
M5	-*

Tabela 7. Valores máximos da variação da retração linear.

\* Valor não representativo devido problemas com os corpos de prova.

de cerâmica branca (M1, M2, M3, M4 e M5), sinterizados em três temperaturas (1170°C, 1190°C e 1210°C). A análise mineralógica (Anexo 5) mostra que o quartzo e o vidro são as principais fases presentes, com quantidades variáveis de mulita, anortita, cristobalita e tridimita (Tabela 8).

(diminuição da absorção d'água e estabilidade térmica).

A análise das curvas comparativas entre tensão de ruptura à flexão e temperatura de queima (Figura 38), determinou que os corpos-de-prova que receberam a adição do diopsidito apresentam maiores valores de tensão de ruptura à flexão, se comparados aos da massa padrão.

Utilizando-se a DRX foi possível analisar ainda, a composição mineralógica de algum dos corpos-de-prova

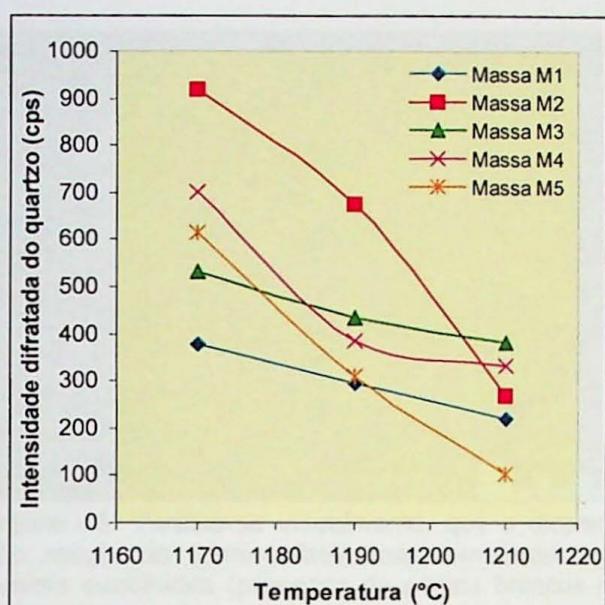
Temperatura Massa	1170°C	1190°C	1210°C
M1	Quartzo, mulita e vidro	Quartzo, mulita e vidro	Quartzo, mulita, cristobalita e vidro
M2	Quartzo, mulita e vidro	Quartzo, mulita e vidro	Quartzo, mulita, tridimita e vidro
M3	Quartzo, mulita, anortita e vidro	Quartzo, mulita, anortita e vidro	Quartzo, mulita, anortita, cristobalita e vidro
M4	Quartzo, anortita, cristobalita e vidro	Quartzo, anortita, tridimita e vidro	Quartzo, anortita, tridimita, cristobalita e vidro
M5	Quartzo, anortita, tridimita, cristobalita e vidro	Quartzo, anortita, tridimita, cristobalita e vidro	Quartzo, anortita, tridimita, cristobalita e vidro

Tabela 8. Análise mineralógica dos corpos-de-prova em função das suas temperaturas de sinterização e das suas formulações.

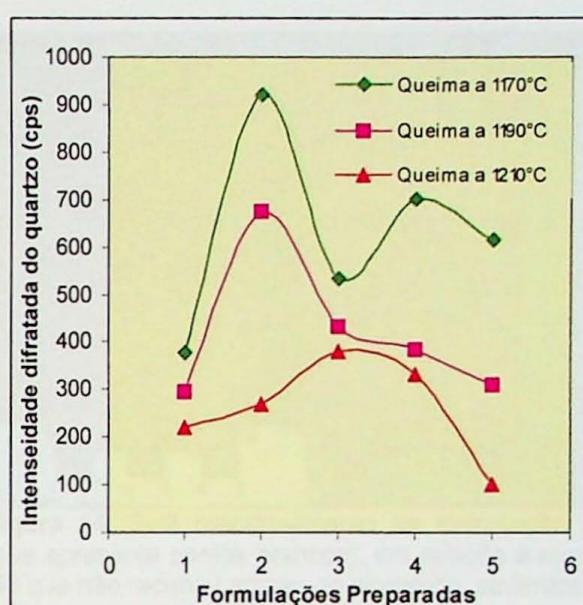
A mulita, aluminossilicato formado a partir da decomposição da argila caulinitica a altas temperaturas, é uma das principais fases presentes nas massas M1 e M2 queimadas nas temperaturas de 1170°C, 1190°C e 1210°C. A partir da massa M3, queimada na temperatura de 1170°C, ocorre a progressiva decomposição da mulita para a geração de anortita, com presença dessas duas fases nos corpos-de-prova M3, queimados nas temperaturas de 1170°C, 1190°C e 1210°C. A partir da massa M4, queimada na temperatura de 1170°C, aparece apenas anortita, fase presente também nos corpos-de-prova M5 queimados a 1210°C.

Outros resultados obtidos foram as curvas comparativas entre a variação da intensidade difratada do quartzo e as temperaturas de sinterização (Figura 41), ou em relação com as formulação criadas (Figura 42). Como a intensidade difratada é inversamente proporcional à quantidade de fases minerais presentes em um material, nota-se que o aumento da temperatura implica maior na sinterização, sendo que, mantendo-se a

temperatura constante, a adição do diopsidito comporta-se da mesma maneira. A partir desses resultados pode-se afirmar que as rochas calciosilicáticas, com altas concentrações em diopsídio, são eficientes fundentes.



**Figura 41.** Curvas comparativas entre temperatura de sinterização e intensidade difratada do quartzo, para cada massa formulada.



**Figura 42.** Curvas comparativas entre as formulações preparadas e a intensidade difratada do quartzo, para determinadas temperaturas de sinterização.

### 8.6.2. CERÂMICA VERMELHA

A realização do ensaio seguiu procedimentos internos do Laboratório de Recursos Minerais e Tecnologia Cerâmica do IPT, utilizando-se para a preparação das misturas, apenas argila vermelha da formação Corumbataí e a mesma amostra que incorpora diversos diopsiditos com cor branca, utilizada anteriormente (Diop\_Ed).

A preparação dos corpos-de-prova seguiu o mesmo procedimento adotado para a cerâmica branca. Foram confeccionados vinte corpos-de-prova para cada temperatura de queima, no caso 1030°C e 1050°C, divididos em quatro formulações que possuem as porcentagens em massa, a saber:

- **M6 (PADRÃO)** = 100% Argila Vermelha
- **M7** = 97% Argila Vermelha + 3% Diop\_Ed
- **M8** = 95% Argila Vermelha + 5% Diop\_Ed
- **M9** = 93% Argila Vermelha + 7% Diop\_Ed

O principal objetivo desse ensaio foi verificar se a incorporação de diopsidito às formulações compostas por argila vermelha proporciona clareamento ao corpo-de-prova após a sinterização.

Verificou-se visualmente que o diopsidito não reagiu de forma efetiva nas temperaturas de queima escolhidas (Figura 43), entretanto notou-se um leve branqueamento nos corpos-de-prova que receberam a sua adição, comparando-os com os da massa M6 (Figura 44).



**Figura 43.** Verifica-se visualmente, que o diopsidito não reagiu de forma efetiva nas temperaturas de queima escolhidas (presença de pontos brancos nos corpos-de-prova)



**Figura 44.** Sutil branqueamento da formulação M7 (que apresenta pontos brancos), em relação à massa M6 que não recebeu adição do diopsidito, sinterizados na temperatura de 1030°C.

## 9. CONCLUSÕES

A realização do trabalho de formatura obteve os seguintes resultados:

- As rochas calciosilicáticas se destacam no relevo arrasado como cristas e morros alinhados, aflorando em forma de blocos e matações rolados e alguns *in situ*;
- Constituem estreitas faixas lenticulares inclusas nas rochas do embasamento com dimensões variáveis, podendo atingir até de dois quilômetros de comprimento e quinhentos metros de largura;
- Geralmente estão alinhados segundo a direção NW-SE;
- Apresentam dobras intrafoliares isoclinais, isópacas e anisópacas, e dobras em M indicando zonas de charneiras;
- Estão intensamente percolados e cortados por granitos e pegmatitos, com geração de brechas de contato e venulações;
- Pela petrografia foi possível individualizar os seguintes litotipos: diopsidito, diopsidito feldspático, diopsidito feldspático bandadado, granada diopsidito, diopsídio mármore e actinolítito;
- Investigações realizadas por MEV/EDS não evidenciaram variações composticionais entre os cristais de diopsídio e as suas lamelas, podendo tratar-se de lamelas estruturais;

- Investigações realizadas por MEV/EDS, em alguns plagioclásios evidenciaram uma feição rara chamada lacuna de miscibilidade de Voll, observada até então, apenas em imagens de microscopia eletônica de transmissão;
- Investigações realizadas por MEV/EDS em cristais de granada e diopsídio evidenciaram uma quantidade significativa de manganês na estrutura cristalina desses minerais, sugerindo a possibilidade de ocorrência de depósitos de manganês na área de estudo;
- Em relação às condições metamórficas, as rochas calciosilicáticas foram recristalizadas na fácie granulito, com paragênese representada por diopsídio, plagioclásio, feldspato potássico, carbonato e quartzo;
- Localmente essas rochas sofreram um reequilíbrio para a fácie anfibolito, com paragêneses representadas por escapolita, granada, anfibólitos da série tremolita-actinolita, flogopita e micas brancas, localmente com substituição desses minerais por quartzo, carbonato, epídoto, entre outros, em parte por efeito da percolação dos líquidos graníticos nas bordas e em veios;
- A análise de corpos-de-prova constituídos por rochas calciosilicáticas ricas de diopsídio mostra que a diminuição da sua absorção d'água é proporcional à diminuição da sua retração linear, sendo que não há correlação entre a cor de queima e os resultados obtidos;
- As curvas de gresificação, obtidas para os corpos-de-prova de cerâmica branca, mostram que a adição do diopsidito provoca diminuição da absorção d'água, enquanto a retração linear apresentou taxas de variação menores em comparação com as taxas da massa padrão;
- Os corpos-de-prova que receberam adição do diopsidito apresentam maiores valores de tensão de ruptura à flexão, se comparados aos valores da massa padrão;
- A análise mineralógica dos corpos-de-prova, por DRX, evidencia que o quartzo e o vidro são as principais fases presentes, com quantidades variáveis de mulita, anortita, cristobalita e tridimita;
- As curvas comparativas entre a variação da intensidade difratada do quartzo e as temperaturas de sinterização ou formulação criadas, mostram que o aumento da temperatura, assim como a progressiva adição do diopsidito, implicam maior sinterização dos corpos-de-prova. Desta maneira, os diopsiditos funcionam como eficientes fundentes;
- A adição do diopsidito colaborou com um sutil branqueamento dos corpos-de-prova de cerâmica vermelha, apesar do diopsidito não ter reagido de forma efetiva nas temperaturas de queima escolhidas;

Apesar do trabalho de formatura ter cumprido todo o cronograma estipulado, o tema deveria ter contemplado ou somente as características geológicas e petrográficas das rochas calciosilicáticas, ou as suas aplicações tecnológicas, dada a complexidade de ambos os temas. Trabalhos futuros serão realizados dessa maneira!

- Almeida, V. P. 1977. Apetecimento da Cerâmica Indígena no Brasil. In: Cerâmica Indígena: Estudos e debates. Rio de Janeiro: Ed. da Fundação Clóvis Bechtle.
- Almeida, F. P.M. de. 1977. O círculo do fogo: mosaico pré-histórico da Cerâmica. São Paulo, v. 7, n. 4, p. 143-164.
- Almeida, G. M., Viana, A. B., Almeida, F. P. M. de, Gomes, M. A. 1988. Sítios arqueológicos da província de São Paulo. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.
- Bonfim, J. S. P. & Dourados, J. M. 1996. Interpretação geológica e mineralógica da Bacia do Rio Minas e Caracterização mineralógica da Bacia do Rio São Francisco. Rio de Janeiro: Geociências, v. 35.
- Bonfim, J. S. P., Gomes-Santos, L. C., Marinho, M. M., Silva, F. C. A. de. 2002. Sítios da Segunda Idade no Vale do Rio São Francisco. Rio de Janeiro: Geociências, v. 35.
- Bunting, A.J. 1960. Introduction to Petrography. London: Methuen, 170p.
- Bucher, K. & Amy, M. 1991. Petrography. Oxford: Oxford University Press, 338 p.
- Cesari Junior, M., Boschi, A., Nobile, E. & Tavares, S. 2000. Geologia. Rio de Janeiro: Guanabara.
2010. Paleogeografia e Paleopaisagem na Introdução à Paleogeografia. Rio de Janeiro: Geociências, v. 35, p. 1-43.
- Garcia, M. A. F., Soárez, G. A. J., Del Llano, R. A. 2003. Princípios matemáticos fundamentais para a interpretação de diagramas de fases. São Paulo: USP, 2003, 194 p.
- Gordon, U.G. 1973. Análise estatística pré-experimental da flora mediterrânea da Grécia, Espanha e Itália. Monografia de São Paulo, São Paulo: Faculdade de Ciências, 312 p.
- Durgade, J. M. & Souza, J. D. 1975. Projeto Cobre-Cunha: geologia e mineralogia da Cuenca do Rio Cunha - Sulão - Rio Grande. Rio de Janeiro: 2001, 20.
- Dyer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. 1962. A handbook of thin-section identification of common rocks. London: Longman, 696 p.
- Dyer, W. A., Howie, R. A., Zussman, J. 2008. Rock-forming minerals. Vol. 1. London: Pearson Education, 2008. 310p.
- Edwards, R. 1992. Petrografia. Rio de Janeiro: Guanabara.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alekeev Y.I., Vereshchagin V.I., Karpova E.A. 1990. Influence of diopside on the formation of porcelain and its properties. *Glass and Ceramics*. Volume 47, Number 9, 357-360p.
- Alekeev Y.I., Abakumov A.E., Abakumova E.V. 1995. Diopside porcelain. *Glass and Ceramics*. Volume 52, Number 4, 94-96p.
- Alekeev Y.I. 1997. Ceramic insulating materials with a diopside crystalline phase (a review). *Glass and Ceramics*. Volume 54, Numbers 11-12, 394-398p.
- Almeida F.F.M. de. 1977. O cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 349-364.
- Azarov G.M., Vlasov A.S., Maiorova E.V., Oborina M.A. 1995. Diopside: Raw Material for porcelain production. *Glass and Ceramics*. Volume 52, Number 8, 216-218p.
- Barbosa J.S.F. & Dominguez J.M.L. 1996. Texto Explicativo para o Mapa Geológico da Bahia ao Milionésimo. SICM/SGM. Edição Especial, Salvador. 400 p.
- Barbosa J.S.F., Correa-Gomes L.C., Marinho M.M., Silva, F.C.A. da. 2003. Geologia do Segmento Sul do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá. *Revista Brasileira de Geociências*, v.33.
- Barker A.J. 1990. Introduction to metamorphic textures and microstructures. Blackie. London. 170p.
- Bucher K. & Frey M. 1994. Petrogenesis of Metamorphic Rocks. Springer-Verlag, Berlin, 318 p.
- Cabral Junior M., Boschi A., Motta J.F.M., Tanno L.C., Sintoni A., Coelho J.M., Caridade M. 2010. Panorama e Perspectivas da Indústria de Revestimentos Cerâmicos no Brasil. *Cerâmica Industrial*, v. 15, p. 1-12.
- Candia M.A.F., Szabó G.A.J., Del Lama E.A. 2003. Petrologia metamórfica: fundamentos para a interpretação de diagramas de fase. São Paulo: USP, 2003. 190 p.
- Cordani U.G. 1973. Evolução geológica pré-cambriana da faixa costeira do Brasil, entre Salvador e Vitória. Universidade de São Paulo, São Paulo, Tese de Livre Docência, 312 p.
- Delgado I.M. & Souza J.D. 1975. Projeto Cobre-Curaçá: geologia econômica do Distrito Cuprífero do Rio Curaçá – Bahia – Brasil. Salvador, CPRM, 30.
- Deer W.A., Howie R.A.; Zussman J. 1992. An introduction to the rock-forming minerals. 2. ed. Harlow, Longman. 696 p.
- Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. 2006. Rock-Forming Minerals, Vol. 4B: Framework Silicates - Silica Minerals, Feldspathoids and Zeolites. 2. ed. Geological Society of London. 982p.

- Fleet M.E., (after Deer W.A., Howie R.A., Zussman J.) 2004. Rock-Forming Minerals. Vol. 3A. Micas. Geological Society, London, 780p.
- Klein C. 2002. Mineral Science (after J. D. Dana). New York, John Wiley & Sons. 642p.
- Loureiro H.S.C. (org.). 1991. Mundo Novo, folha SC.24-Y-D-IV: estado da Bahia. Brasília, DNPM, 177 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- Kostikov K.S., Pogrebenkov V.M., Vereshchagin V.I. 2001. Diopside – The prospective compound of ceramics. Science and Technology, KORUS '01. Proceedings. The Fifth Russian-Korean International Symposium on. Vol 2, 187-189p. Tomsk, Russia.
- Lopes G. A. C. 2006. Projeto minerais industriais em pegmatitos: relatório técnico. Salvador, CBPM, 77p.
- Kara F., Cavac M. 2002. Gres Porcelánico Blanco a Base de Diópsido. Conferencias Generales Ponencias Posters, Tomo III, Qualicer, Cartellon España.
- Kosin M., Melo R.C., Souza J.D., Oliveira E.P., Carvalho M.J., Leite C.M.M. 2003. Geologia do segmento norte do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá e guia de excursão. Revista Brasileira de Geociências, v. 33
- Melchiades F.G., Quinteiro E., Boschi A.O.A. 1996. A Curva de Gresificação: Parte I, Cerâmica Industrial, Agosto/Dezembro.
- Melchiades F.G., Quinteiro E., Boschi A.O.A. 1997. A Curva de Gresificação: Parte II, Cerâmica Industrial, Janeiro/Fevereiro.
- Melo R.C. (org.) 1991. Pintadas, folha SC.24-Y-D-V: estado da Bahia. Brasília, CPRM, 173 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- Melo R.C., Loureiro H.S.C., Pereira L.H.M. (orgs.) 1995. Serrinha, folha SC.24-Y-D: estado da Bahia. Brasília, CPRM, 80 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- Mineração São Judas - MSJ. Produtos / Diopsídio. Disponível em: <<http://www.saojudas.com.br>>. Acessado em: 10 de Janeiro de 2010.
- Nonami T., Tsutsumi S. 1999. Study of diopside ceramics for biomaterials, Journal of materials science: materials in medicine 10, 475-479p., Japan.
- Novaes de Oliveira A.P., Hotza D., Peterson M., Oliveira da Silva A., Piccoli R. 2002. Application of diopside mineral in low temperature porcelain production. VII World Congress on Ceramic Tile Quality - Qualicer. Vol 3, 169-172p.
- Pereira L. H. (org.) 1992. Serrinha, folha SC.24-Y-D-V: estado da Bahia. Brasília, DNPM, 134 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- Piccoli R. 2005. Formulação, preparação e caracterização de massas porcelânicas baseadas em diopsídio natural. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de

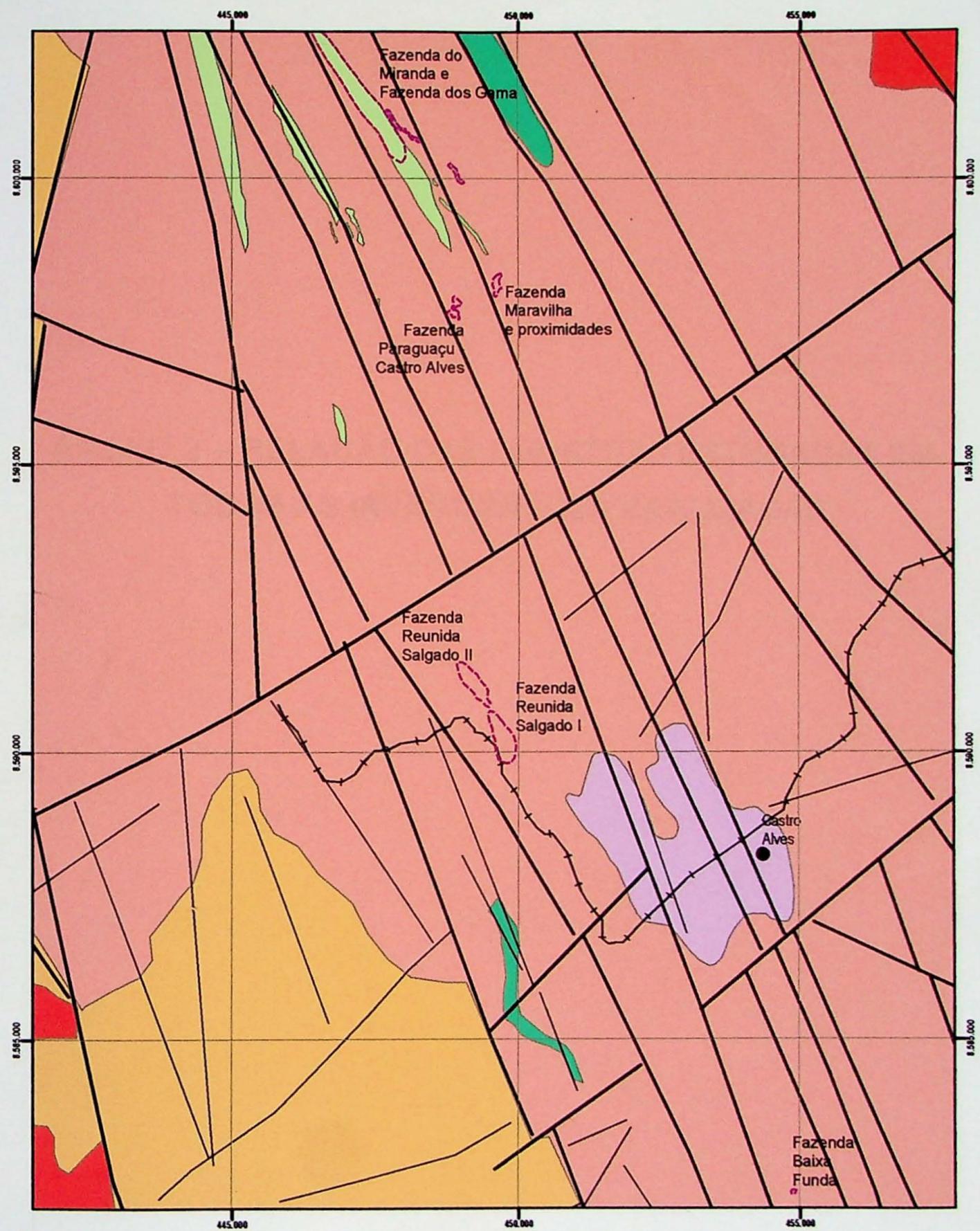
Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.  
Santa Catarina. Brasil.

- Piccoli R., Oliveira A.P.N. ou Novaes de Oliveira A.P., Mexias A., Figueira R., Montedo O.R.K, Bertan F.M. 2006. Formulação, preparação e caracterização de massas porcelânicas baseadas em diopsídio natural. In: CBECIMAT, Foz do Iguaçu. 17º CBECIMAT. p. 883-894.
- Oliveira E.P., Carvalho M.J., McNaughton N.J. 2004. Evolução do segmento norte do orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá: cronologia da acresção de arcos, colisão continental e escape de terrenos. Geologia USP: Série Científica, v. 4, n. 1, p. 41-53.
- Sabaté P., Peucat J-J., Melo R. C., Pereira L. H. 1994. Datação Pb-evaporação de monozircão em ortognaisse do Complexo Caraíba: expressão do acréscimo crustal transamazônico do Cinturão Salvador-Curaçá (Cráton do São Francisco, Bahia, Brasil) In: SBG, Cong. Bras. Geol., 38., Camboriú, Resumos Expandidos, 1:219.
- Sampaio A.R. (org.) 1992. Gavião, folha SC.24-Y-D-II: estado da Bahia. Brasília, DNPM, 164 p. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
- Sanchez-Munoz L., Cerisuelo E., Longo E., Carda J.B. 2002. Influência da composição das matérias-primas no processo de gresificação de revestimentos cerâmicos. Cerâmica [online], vol.48, n.307, pp. 137-145.
- Santos R.A. & Souza J. D. 1983. Projeto Mapas Metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais: Serrinha, folha SC.24-Y-D. Salvador, DNPM, 2 v.
- Seixas S.R.M., Marinho M.M., Moraes Filho O., Awdziej J. 1975. Projeto Bahia II: geologia das folhas de Serrinha e Itaberaba. Relatório final. Salvador, CPRM, 6.
- Silva E.F.A., Mascarenhas J. de F., Soares J.V. 1997. Projeto estudo do domínio granulítico na região de Itaberaba-Cruz das Almas. Salvador: CBPM, v.2.
- Silva L.C., McNaughton N.J., Melo R.C., Fletcher I.R. 1997. U-Pb SHRIMP ages in the Itabuna-Caraíba TTG high-grade Complex: the first window beyond the Paleoproterozoic overprinting of the eastern Jequié craton, NE Brazil. In: ISGAM - Intern. Symp. Granites and Assoc. Mineralizations, 2, Salvador, Anais, 282-283.
- Spear, F.S. 1993. Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths, 799 p. Mineralogical Society of America, Washington, D. C.
- Spry A. 1979. Metamorphic Textures. Pergamon Press Ltd., Oxford, 352 p.
- Teixeira L.R. 1997. O Complexo Caraíba e a Suíte São José do Jacuípe no Cinturão Salvador – Curaçá (Bahia, Brasil): petrologia, geoquímica e potencial metalogenético. Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Tese de Doutorado, 202 p.

## **ANEXOS**

ANEXO 1 – MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LOS CONYUGOS  
CALCIOESTRUCUTURAS ENTRADAS

**ANEXO 1 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS CORPOS  
CALCIOSSILICÁTICOS ESTUDADOS**



● Sede municipal      ✕ Ferrovia  
 — Falha      / Fraturas

### Estratigrafia

- |                        |            |   |
|------------------------|------------|---|
| Coberturas Dentríticas | Quartzitos | Corpos calciosilicáticos (Lopes, 2006)                    |
| Granitos               |            |   |
| Complexo Caraíba       |            |   |
| Complexo Jequié        |            | Corpos calciosilicáticos definidos pelo presente trabalho |

N  
1:100.000  
0 1.000 2.000 m

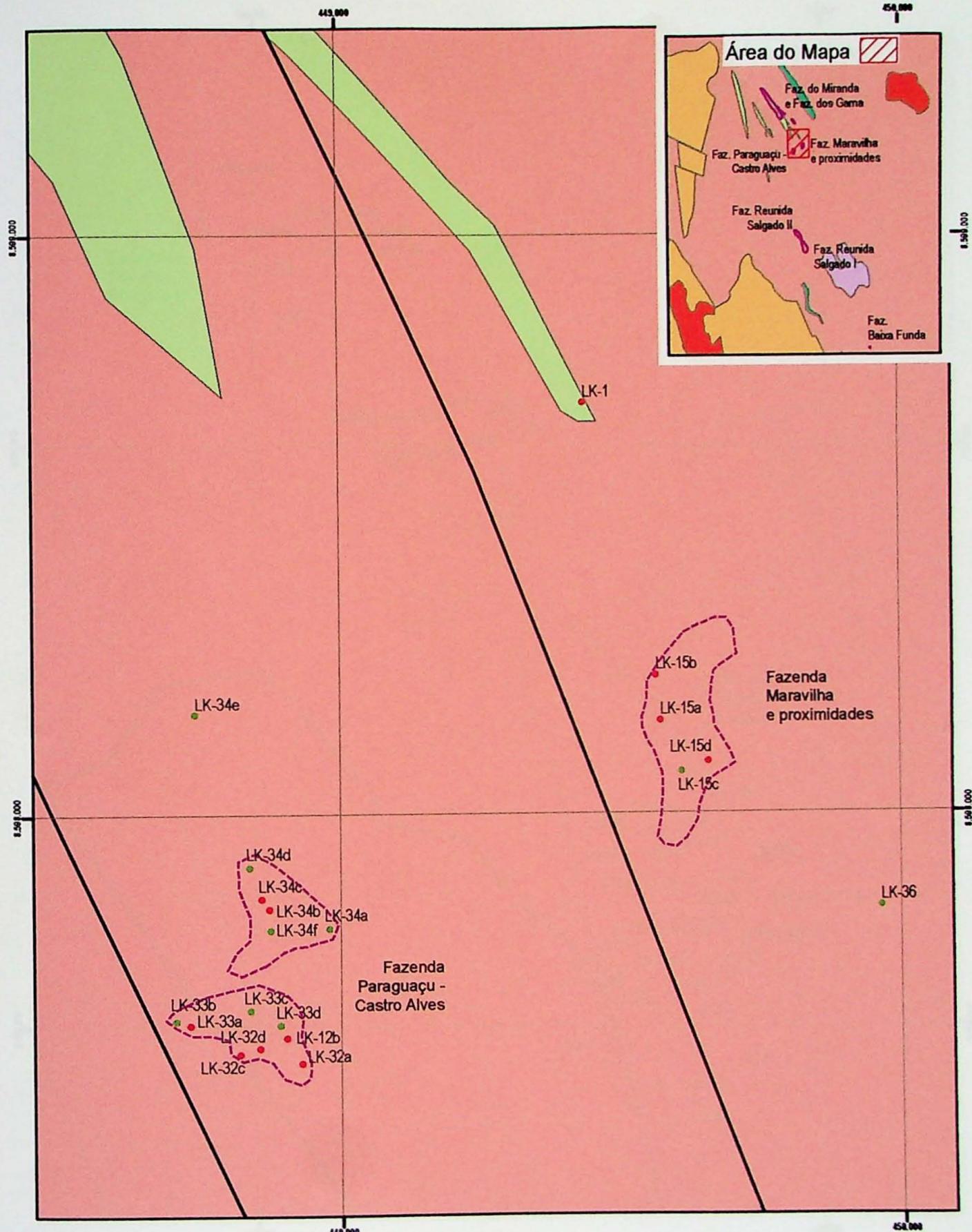
Projeto: UTM Fuso 24  
Datum: SAD 69

Anexo 1. Mapa Geológico da Região de Castro Alves e localização dos corpos calciosilicáticos

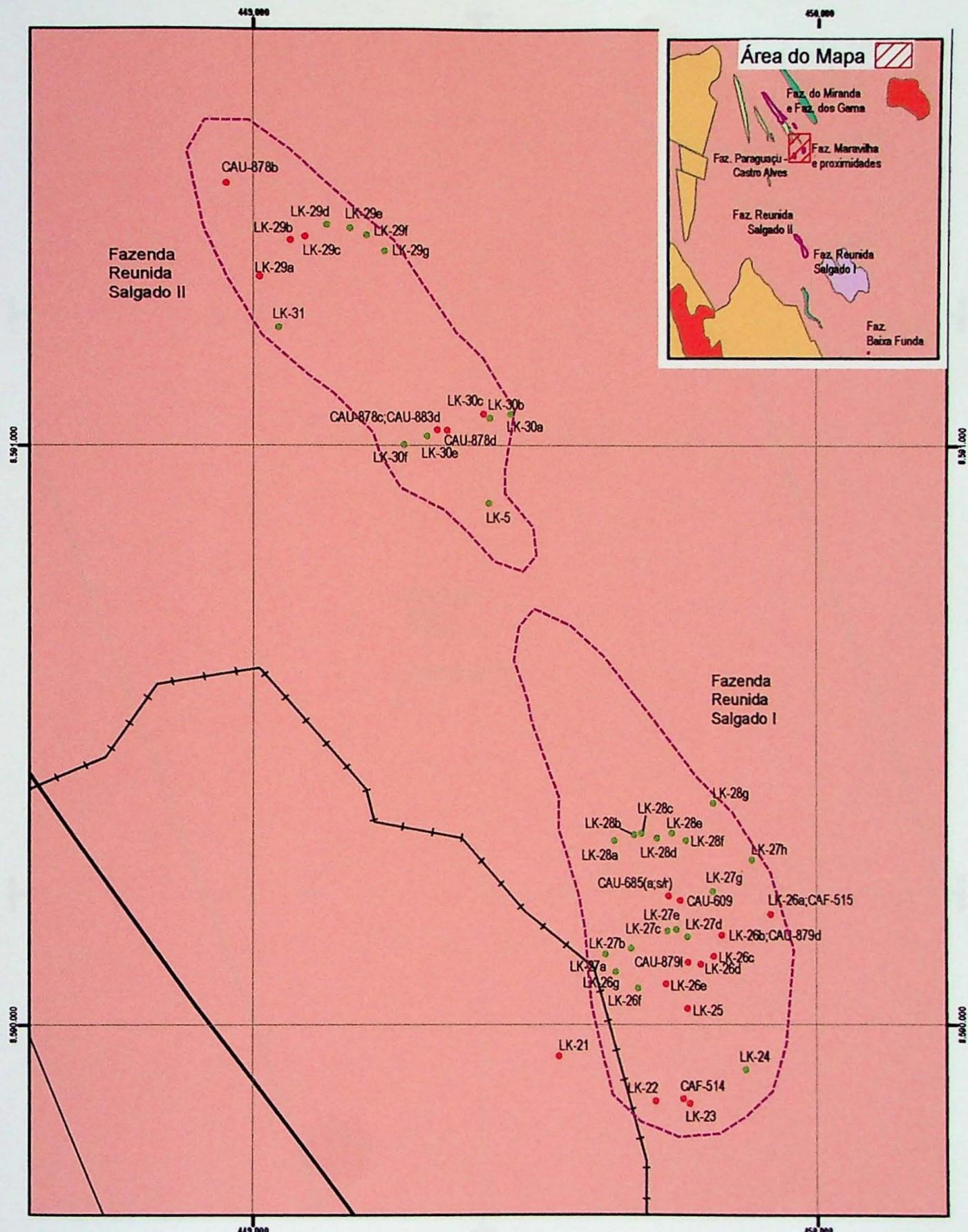
**ANEXO 2 – RELAÇÃO DAS AMOSTRAS ESTUDADAS EM  
TODAS AS INVESTIGAÇÕES REALIZADAS**

AMOSTRA	PETROGRAFIA	ENSAIOS TECNOLÓGICOS	ANÁLISE QUÍMICA	MEV
49-1	X			
312/09	X			
LK-01A	X			
LK-02A		X		
LK-02C		X		
LK-04A	X			
LK-08A	X			X
LK-08B	X			X
LK-12B	X			
LK-13B (CAF-502)	X	X		
LK-13C	X			
LK-15A	X			
LK-15B	X			
LK-15D (CAF-337)	X			
LK-16	X			X
LK-17	X			
LK-21	X			
LK-22	X			
LK-23		X		
LK-25	X			
LK-26A (CAF-515)	X	X		
LK-26B	X			
LK-26C	X			
LK-26D	X			
LK-26E	X			
LK-29A		X		
LK-29B	X			
LK-29C	X			
LK-30C	X			
LK-32A	X			
LK-32C	X			
LK-32D	X			
LK-33A	X			
LK-34B	X			
LK-34C	X			
LK-35	X			
CAF-76B			X	
CAF-502B	X	X		
CAF-514		X	X	
CAU-609 (Dio_Ed)	X	X	X	
CAU-685A	X			
CAU-685A (s/r)	X			
CAU-731	X	X	X	
CAU-731A			X	
CAU-883D		X		
CAU-878B	X	X		
CAU-878C	X	X		
CAU-878D	X	X		
CAU-879D		X		
CAU-879I	X			
QUANTIDADE	41	15	5	3

**ANEXO 3 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS  
AFLORAMENTOS AMOSTRADOS E DAS AMOSTRAS  
ESTUDADAS**



Anexo 3.1. Mapa Geológico da Região de Castro Alves, porção norte -  
Localização dos Afloramentos e das amostras estudadas



● Sede municipal      ↗ Ferrovia  
 — Falha      / Fraturas

#### Amostras calciosilicáticas

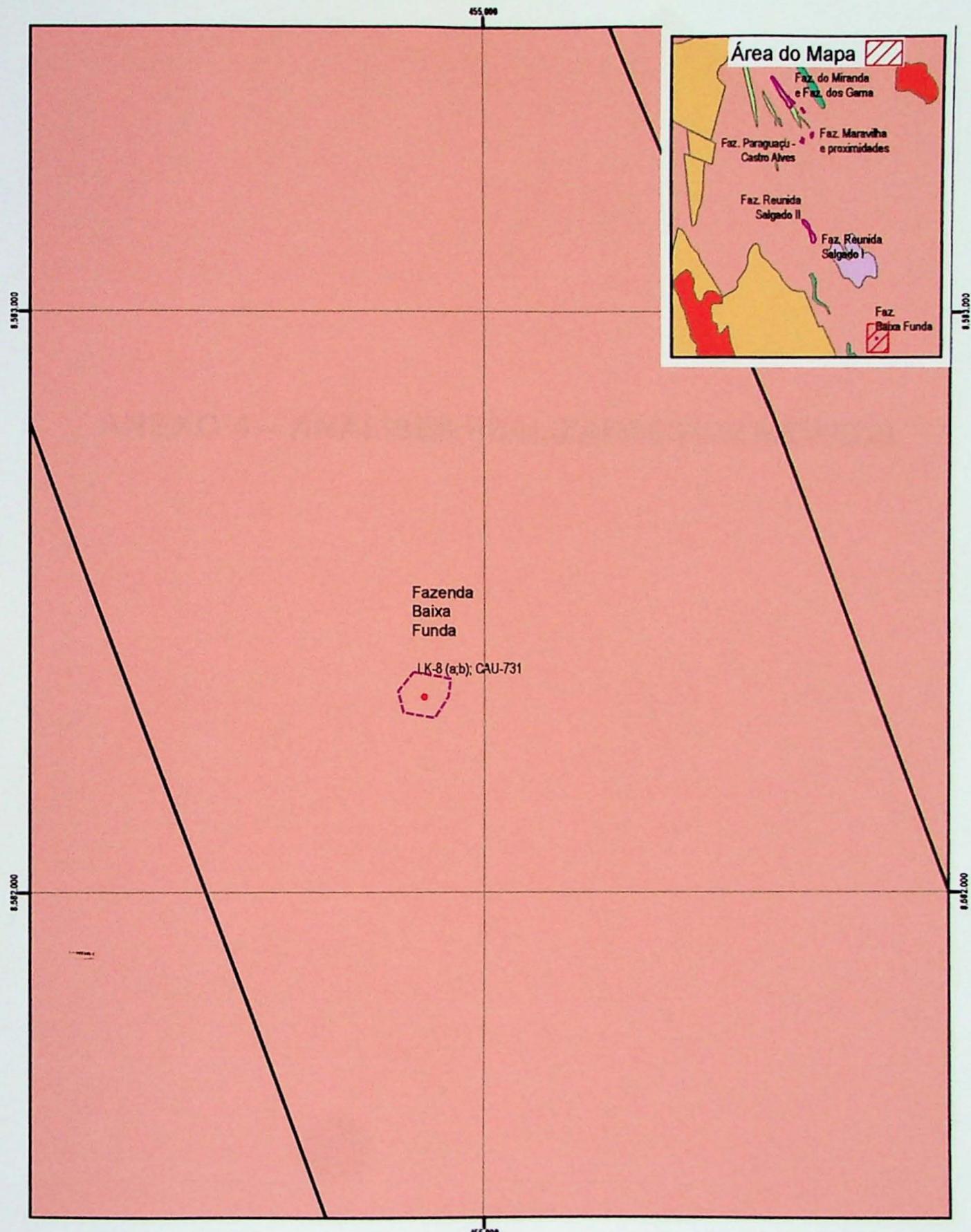
- Analisada
- Não analisada

N  
1:10,000  
0 100 200 m  
Projeto: UTM Fuso 24  
Datum: SAD 69

#### Estratigrafia

- |                        |            |   |
|------------------------|------------|---|
| Coberturas Dentríticas | Quartzitos | Corpos calciosilicáticos (Lopes, 2006)                    |
| Granitos               |            |   |
| Complexo Caraíba       |            |   |
| Complexo Jequié        |            | Corpos calciosilicáticos definidos pelo presente trabalho |

Anexo 3.2. Mapa Geológico da Região de Castro Alves, porção central - Localização dos Afloramentos e das amostras estudadas



- Sede municipal
- ↗ Ferrovia
- Falha
- ↙ Fraturas

#### Amostras calciosilicáticas

- Analisada
- Não analisada



1:10.000

0 100 200 m

Projeto: UTM Fuso 24  
Datum: SAD 69

#### Estratigrafia

- |                          |   |  |
|--------------------------|---|--|
| ■ Coberturas Dentríticas | ■ Quartzitos  | ■ Corpos calciosilicáticos (Lopes, 2006) |
| ■ Granitos               |   |  |
| ■ Complexo Caraíba       |   |  |
| ■ Complexo Jequié        | ■ Corpos calciosilicáticos definidos pelo presente trabalho |  |

Anexo 3.3. Mapa Geológico da Região de Castro Alves , porção sul -  
Localização dos Afloramentos e das amostras estudadas

## **ANEXO 4 – ANÁLISES REALIZADAS POR MEV/EDS**

Análise 1) Amostra LK-08A (Figura 21, Ponto 1) – Lacuna de Voll (An<sub>75-80</sub>)

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Na K	ED	0.974	0.94	1.71	0.07	1.63	Na2O	2.30	0.21
Al K	ED	0.942	0.97	16.73	0.14	13.57	Al2O3	31.60	1.77
Si K	ED	0.823	1.04	21.95	0.17	17.11	SiO2	46.95	2.22
K K	ED	1.026	1.00	0.21	0.05	0.12	K2O	0.26	0.02
Ca K	ED	0.971	1.00	11.11	0.14	6.07	CaO	15.54	0.79
O				44.95	0.25	61.51			8.00
Total				96.65		100.00		96.65	Cation sum 5.01

Análise 2) Amostra LK-08A (Figura 21, Ponto 2) – Lacuna de Voll (An<sub>55</sub>)

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	ions
Na K	ED	0.995	0.94	3.42	0.09	3.18	Na2O	4.62	0.41
Al K	ED	0.935	0.97	14.70	0.13	11.65	Al2O3	27.78	1.51
Si K	ED	0.836	1.04	25.43	0.18	19.35	SiO2	54.39	2.51
Ca K	ED	0.965	1.00	7.55	0.12	4.03	CaO	10.56	0.52
O				46.25	0.25	61.79			8.00
Total				97.35		100.00		97.35	
							Cation sum	4.95	

Análise 3) Amostra LK-08A (Figura 22, Ponto 1) – Lacuna de Voll (An<sub>75-80</sub>)

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Na K	ED	0.973	0.94	1.50	0.07	1.39	Na2O	2.03	0.18
Al K	ED	0.945	0.97	16.42	0.14	12.96	Al2O3	31.02	1.69
Si K	ED	0.832	1.04	23.30	0.17	17.66	SiO2	49.84	2.30
K K	ED	1.025	1.00	1.59	0.07	0.86	K2O	1.91	0.11
Ca K	ED	0.966	1.00	10.58	0.14	5.62	CaO	14.81	0.73
O					0.25	61.50			8.00
Total				9.60		100.00		99.60	Cation sum 5.01

Análise 4) Amostra LK-08A (Figura 22, Ponto 2) – Lacuna de Voll (An<sub>55</sub>)

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Na K	ED	0.994	0.94	3.49	0.09	3.23	Na2O	4.70	0.42
Al K	ED	0.934	0.97	14.56	0.13	11.50	Al2O3	27.51	1.49
Si K	ED	0.837	1.04	25.52	0.18	19.36	SiO2	54.59	2.51
Ca K	ED	0.966	1.00	7.83	0.12	4.17	CaO	10.96	0.54
O				46.36	0.25	61.75			8.00
Total				97.76		100.00		97.76	Cation sum 4.96

Análise 5) Amostra LK-08A (Figura 23, Ponto 1) – Lamela no diopsídio

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Mg K	ED	0.840	0.97	9.89	0.11	8.52	MgO	16.39	1.13
Al K	ED	0.818	0.97	0.60	0.08	0.47	Al2O3	1.13	0.06
Si K	ED	0.892	1.04	26.64	0.17	19.88	SiO2	56.98	2.64
Ca K	ED	0.982	1.00	19.54	0.18	10.22	CaO	27.33	1.36
Fe K	ED	0.827	1.00	1.85	0.14	0.69	Fe2O3	2.65	0.09
O				45.98	0.26	60.23			8.00
Total				104.49		10.00		104.49	
							Cation sum	5.28	

#### Análise 6) Amostra LK-08A (Figura 23, Ponto 2) – Diopsídio com lamela

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Mg K	ED	0.839	0.97	9.82	0.11	8.50	MgO	16.28	1.13
Al K	ED	0.817	0.97	0.43	0.07	0.34	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.81	0.04
Si K	ED	0.894	1.04	26.53	0.17	19.88	SiO <sub>2</sub>	56.75	2.64
Ca K	ED	0.983	1.00	19.75	0.18	10.38	CaO	27.64	1.38
Fe K	ED	0.827	1.00	1.87	0.14	0.70	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.67	0.09
O				45.75	0.26	60.20			8.00
Total				104.15		100.00		104.15	Cation sum 5.29

Análise 7) Amostra LK-08B (Figura 25, Ponto 1) – Epídoto

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Al K	ED	0.938	0.97	18.27	0.14	14.40	Al2O3	34.52	1.89
Si K	ED	0.819	1.04	19.13	0.16	14.48	SiO2	40.93	1.90
Ca K	ED	0.985	1.00	19.01	0.18	10.08	CaO	26.60	1.32
Fe K	ED	0.830	1.00	0.42	0.11	0.16	Fe2O3	0.59	0.02
O				45.81	0.26	60.88			8.00
Total				102.64		100.00		102.64	Cation sum 5.14

Análise 8) Amostra LK-16 (Figura 31, Ponto 1) – Margarita

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Al K	ED	0.929	0.97	13.01	0.13	10.86	Al2O3	24.57	1.42
Si K	ED	0.854	1.04	20.77	0.16	16.67	SiO2	44.44	2.19
K K	ED	1.057	1.00	0.85	0.07	0.49	K2O	1.03	0.06
Ca K	ED	0.982	1.00	19.01	0.18	10.69	CaO	26.60	1.40
Fe K	ED	0.829	1.00	0.72	0.12	0.29	Fe2O3	1.03	0.04
O	ED			43.31	0.25	61.00			8.00
Total				97.68		100.00		97.68	
							Cation sum	5.12	

Análise 9) Amostra LK-16 (Figura 31, Ponto 2) – Sericita

Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Al K	ED	0.970	0.97	18.31	0.14	15.40	Al2O3	34.60	2.01
Si K	ED	0.819	1.04	21.55	0.17	17.40	SiO2	46.10	2.27
K K	ED	1.010	1.00	9.43	0.13	5.47	K2O	11.36	0.71
Mn K	ED	0.818	1.00	0.51	0.10	0.21	MnO	0.66	0.03
Fe K	ED	0.836	1.00	0.66	0.12	0.27	Fe2O3	0.94	0.03
O				43.20	0.25	61.25			8.00
Total				93.66		100.00		93.66	Cation sum 5.06

Análise 10) Amostra LK-16 (Figura 34, Ponto 1) – Granada

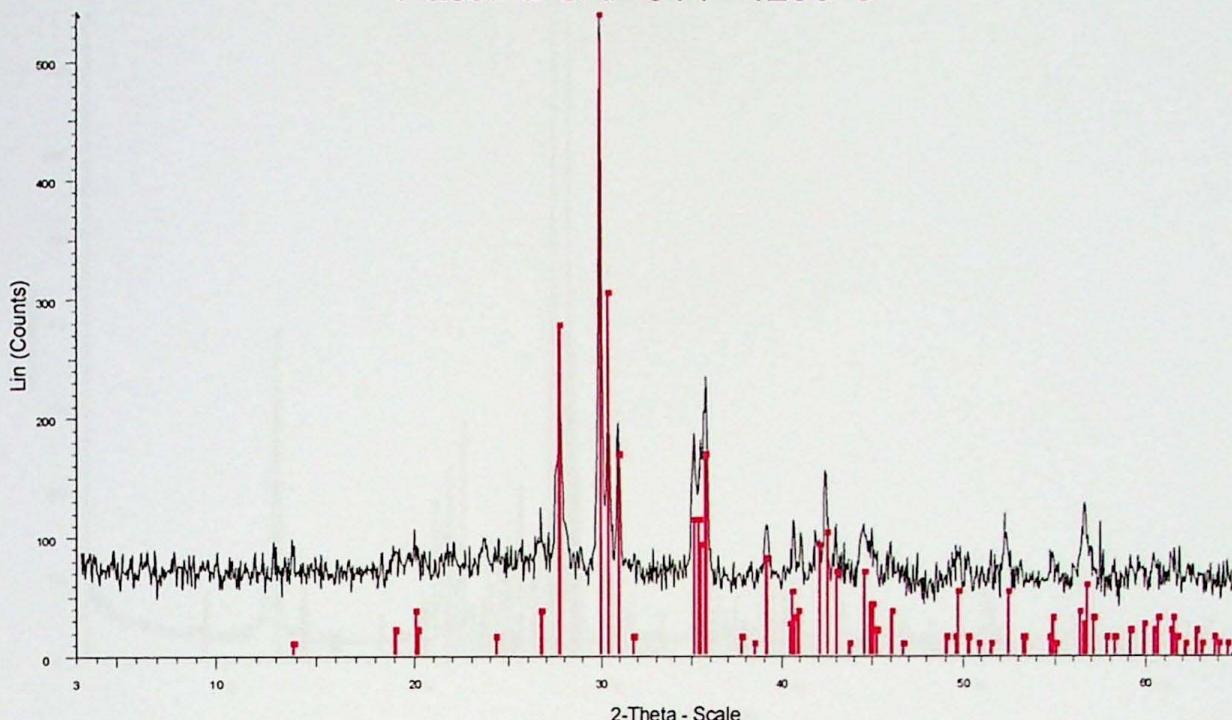
Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Al K	ED	0.834	0.97	10.27	0.12	9.06	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.41	1.20
Si K	ED	0.826	1.04	17.49	0.15	14.83	SiO <sub>2</sub>	37.42	1.96
Ca K	ED	1.023	1.00	11.06	0.14	6.57	CaO	15.47	0.87
Ti K	ED	0.858	1.00	0.21	0.07	0.11	TiO <sub>2</sub>	0.36	0.01
Mn K	ED	0.842	1.00	14.79	0.27	6.41	MnO	19.10	0.85
Fe K	ED	0.861	1.00	6.18	0.23	2.64	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.84	0.35
O				40.58	0.31	60.39			8.00
Total				100.59		100.00		100.59	
							Cation sum	5.25	

Análise 11) Amostra LK-16 (Figura 34, Ponto 2) – Diopsídio

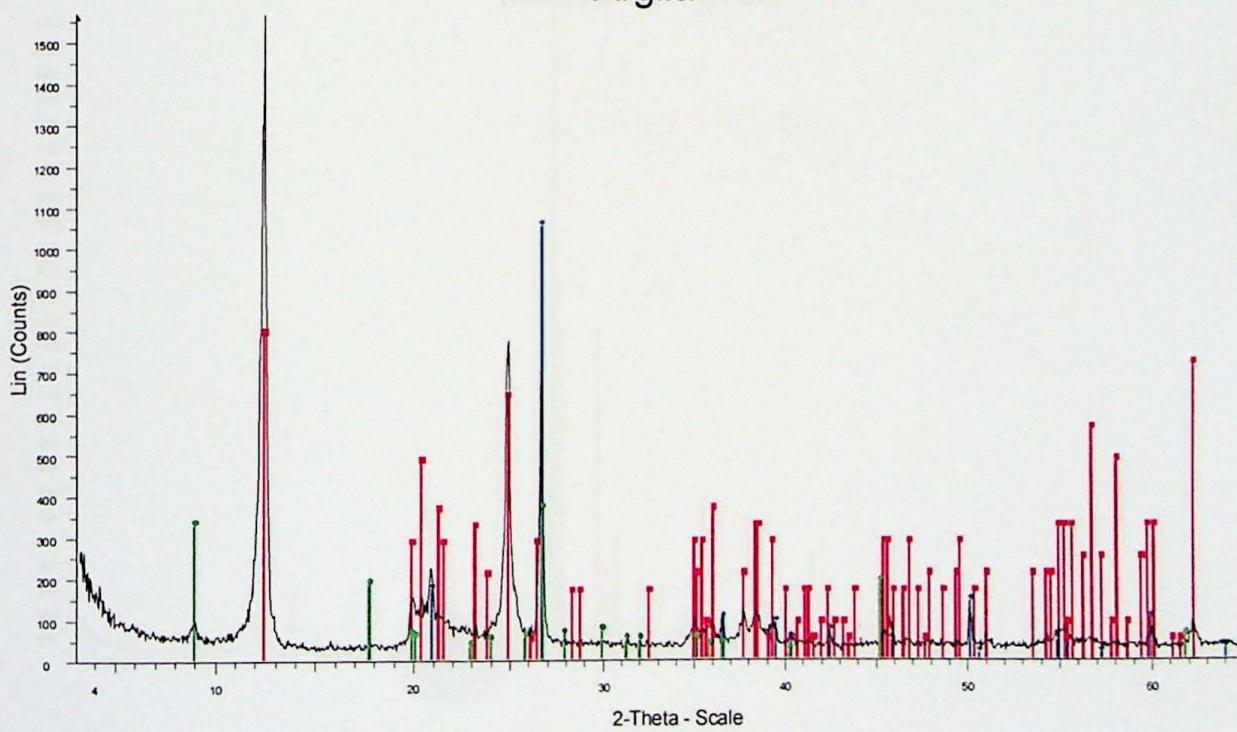
Elmt	Spect.	Inten.	Std	Element	Sigma	Atomic		Compound	Nos. of ions
	Type	Corrn.	Corrn.	%	%	%		%	
Mg K	ED	0.798	0.97	7.23	0.11	6.54	MgO	11.99	0.87
Al K	ED	0.813	0.97	1.83	0.09	1.49	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.45	0.20
Si K	ED	0.879	1.04	24.01	0.16	18.80	SiO <sub>2</sub>	51.36	2.49
Ca K	ED	0.995	1.00	17.76	0.17	9.75	CaO	24.86	1.29
Ti K	ED	0.809	1.00	0.23	0.08	0.11	TiO <sub>2</sub>	0.39	0.01
Mn K	ED	0.816	1.00	2.62	0.14	1.05	MnO	3.38	0.14
Fe K	ED	0.836	1.00	4.97	0.20	1.96	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.10	0.26
O				43.88	0.29	60.31			8.00
Total				102.54		100.00		102.54	
							Cation sum	5.26	

## **ANEXO 5 – DIFRATOGRAMAS**

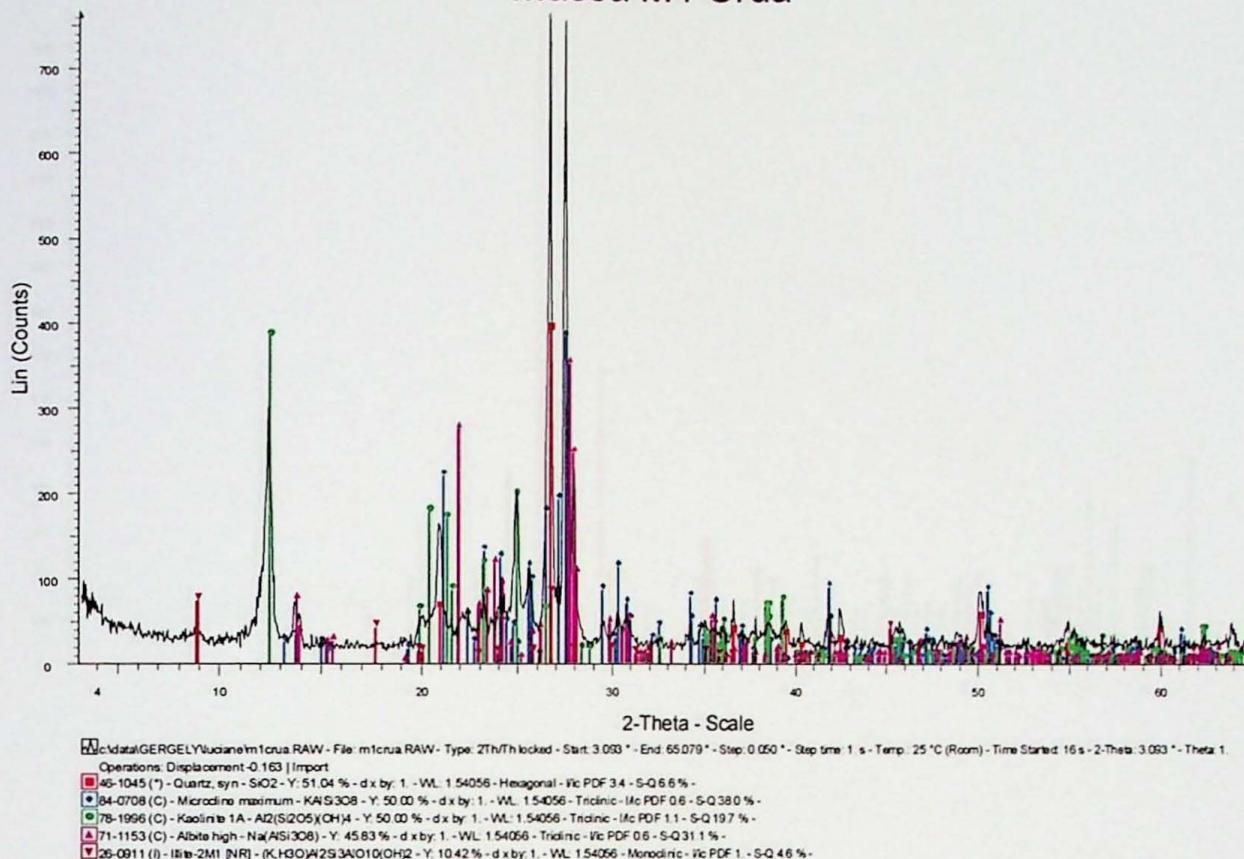
## Pastilha CAF-514 - 1200°C



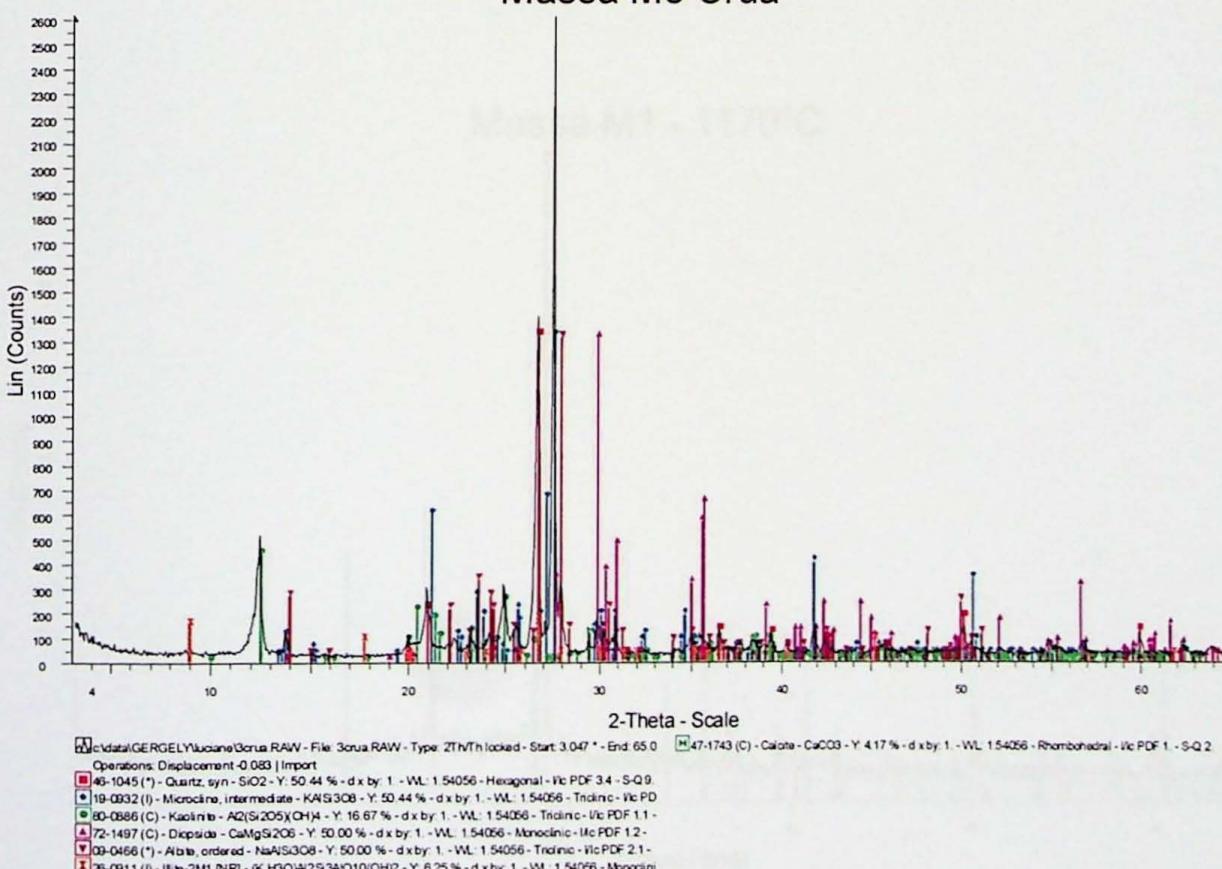
## Argila



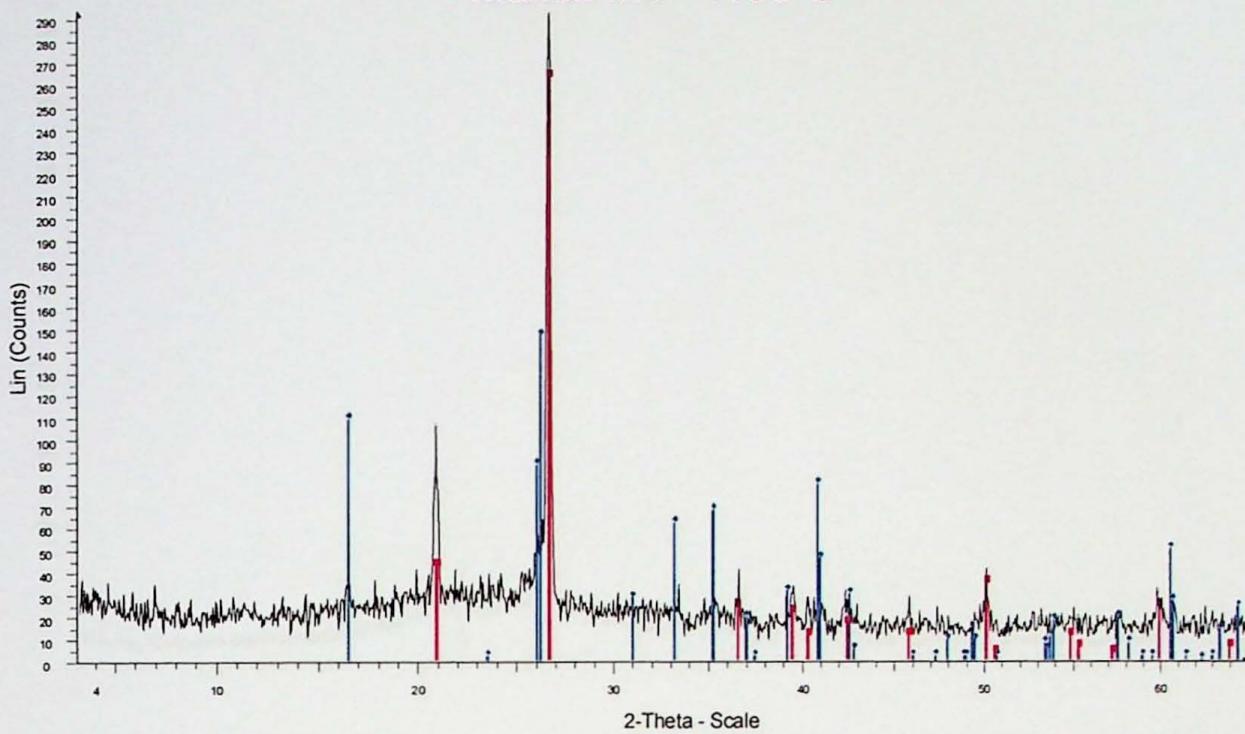
## Massa M1 Crua



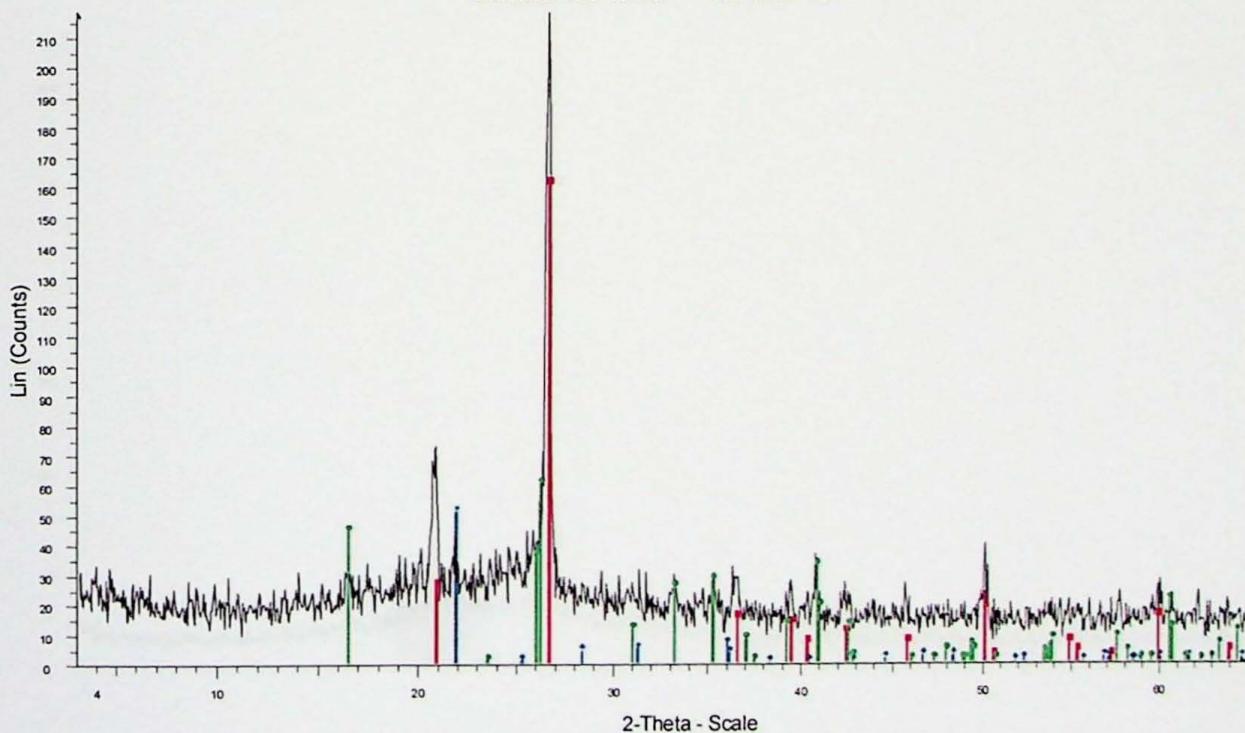
## Massa M3 Crua



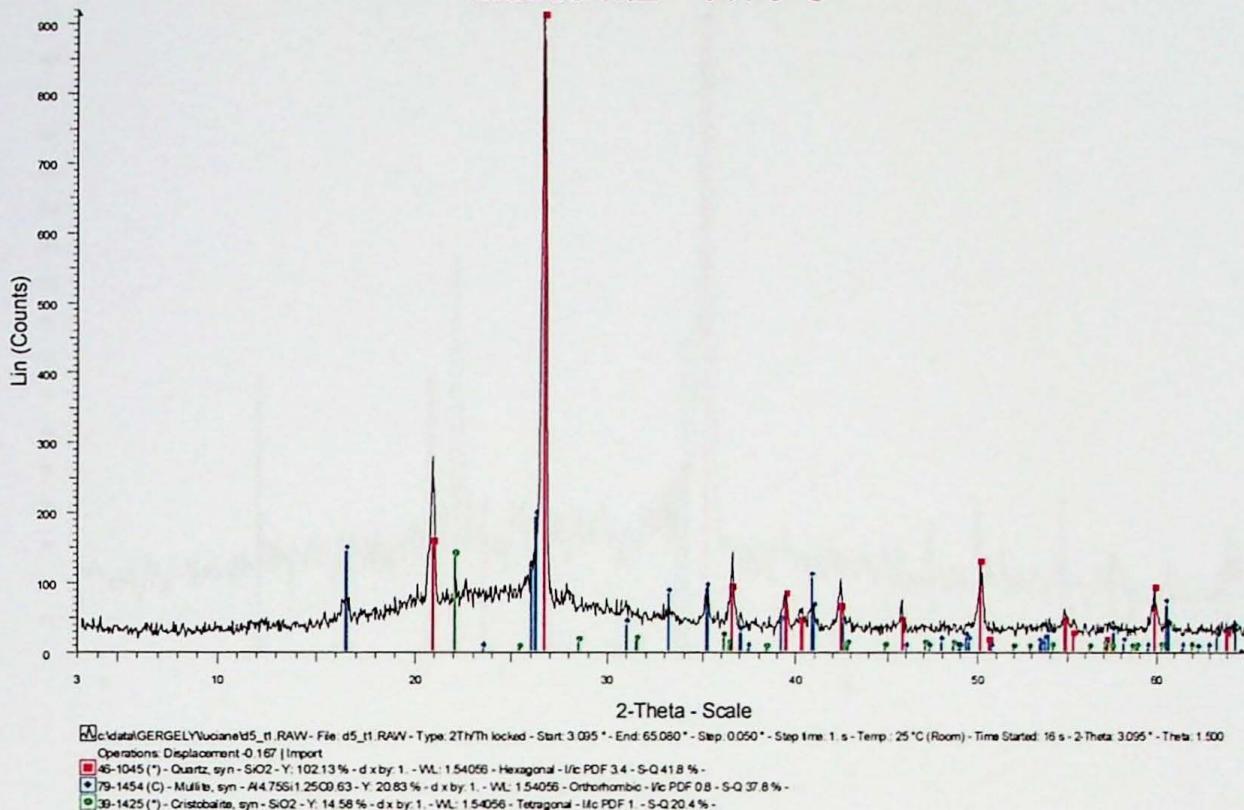
### Massa M1 - 1190°C



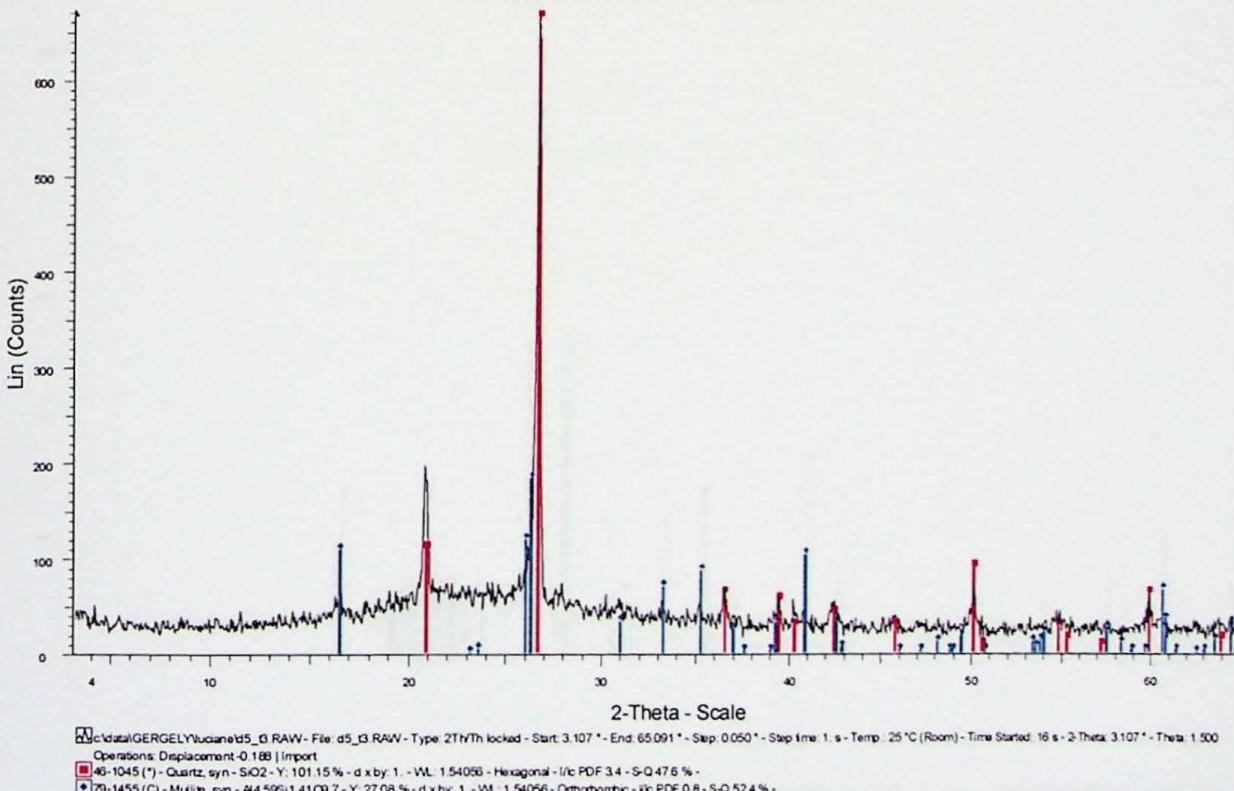
### Massa M1 - 1210°C



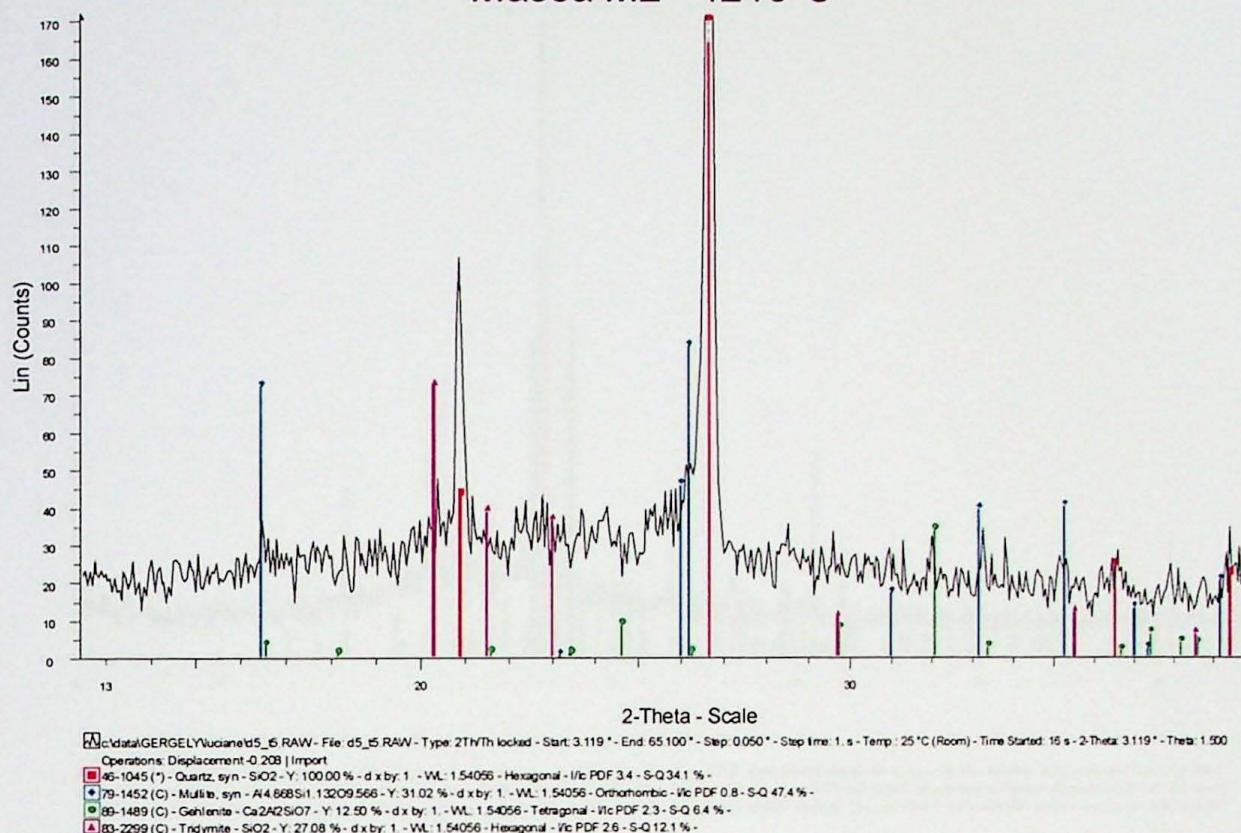
### Massa M2 - 1170°C



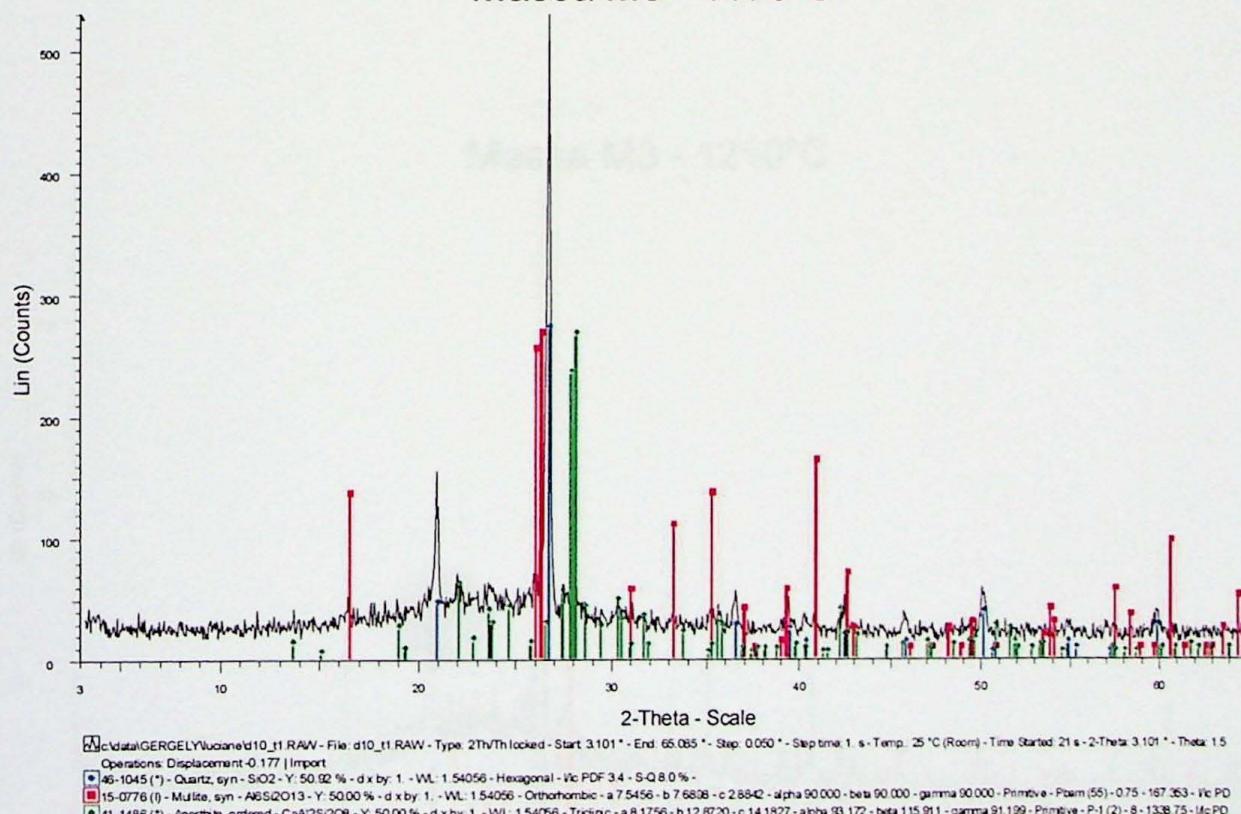
### Massa M2 - 1190°C



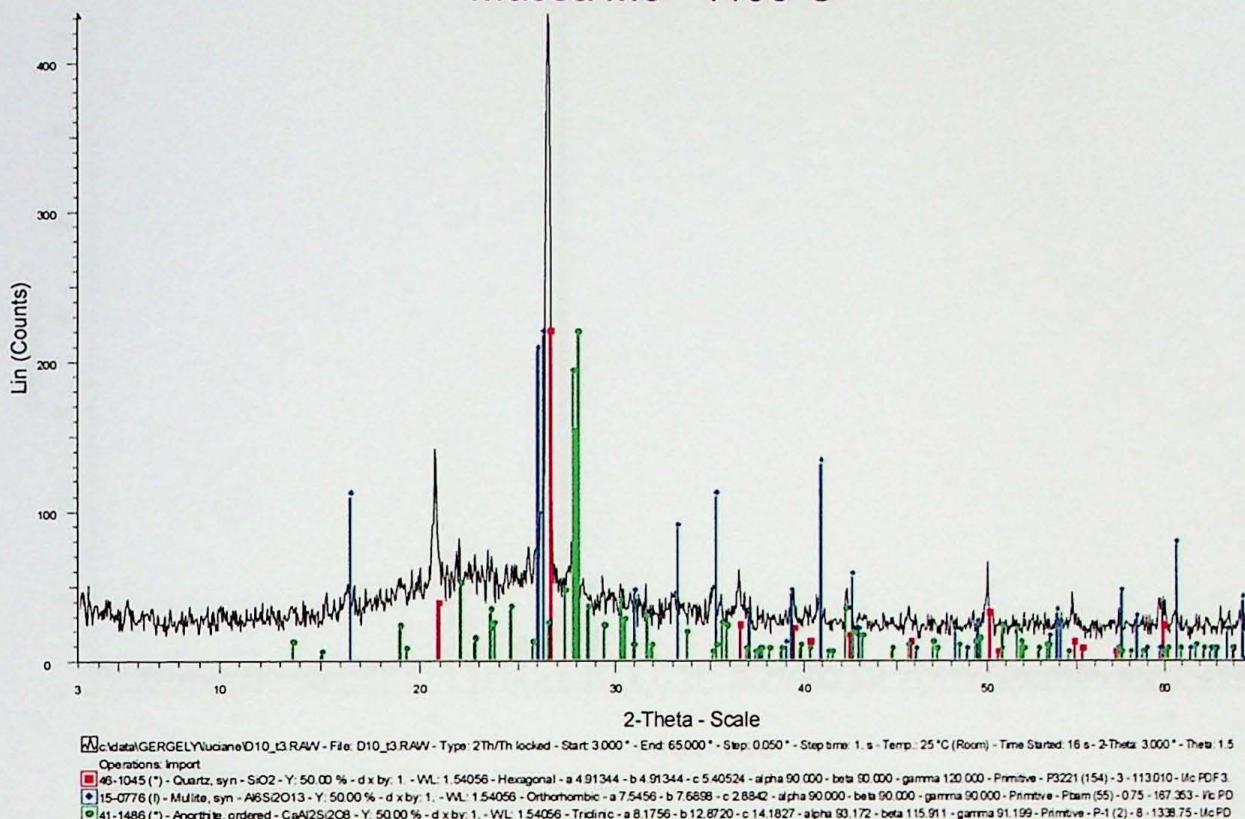
### Massa M2 - 1210°C



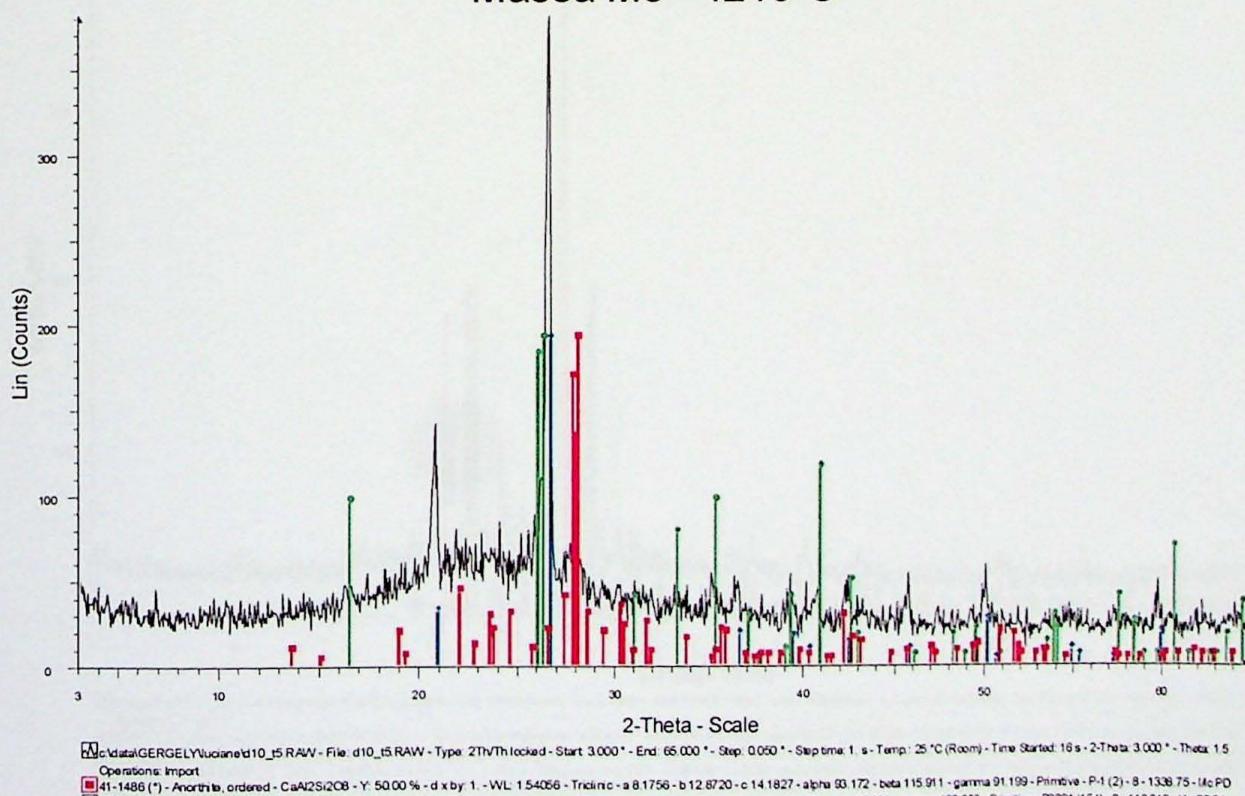
### Massa M3 - 1170°C



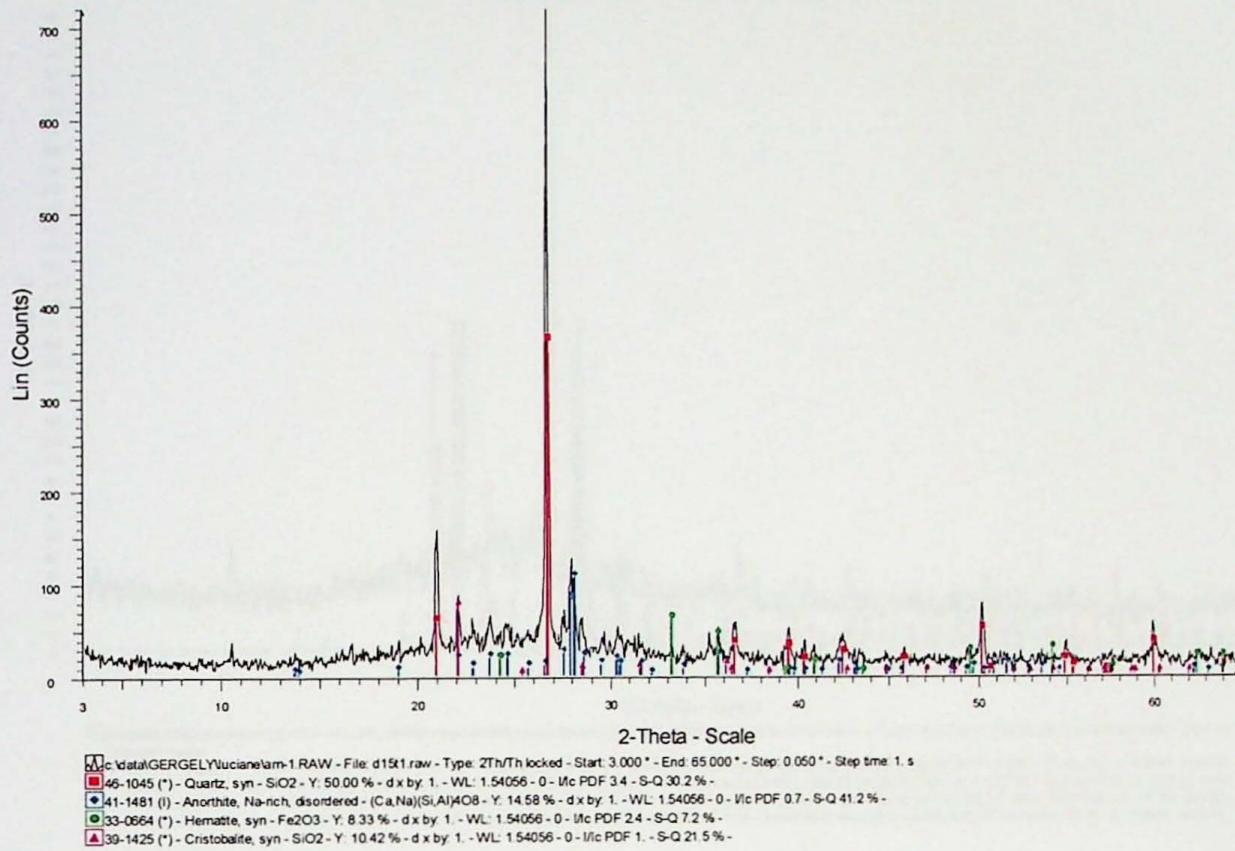
### Massa M3 - 1190°C



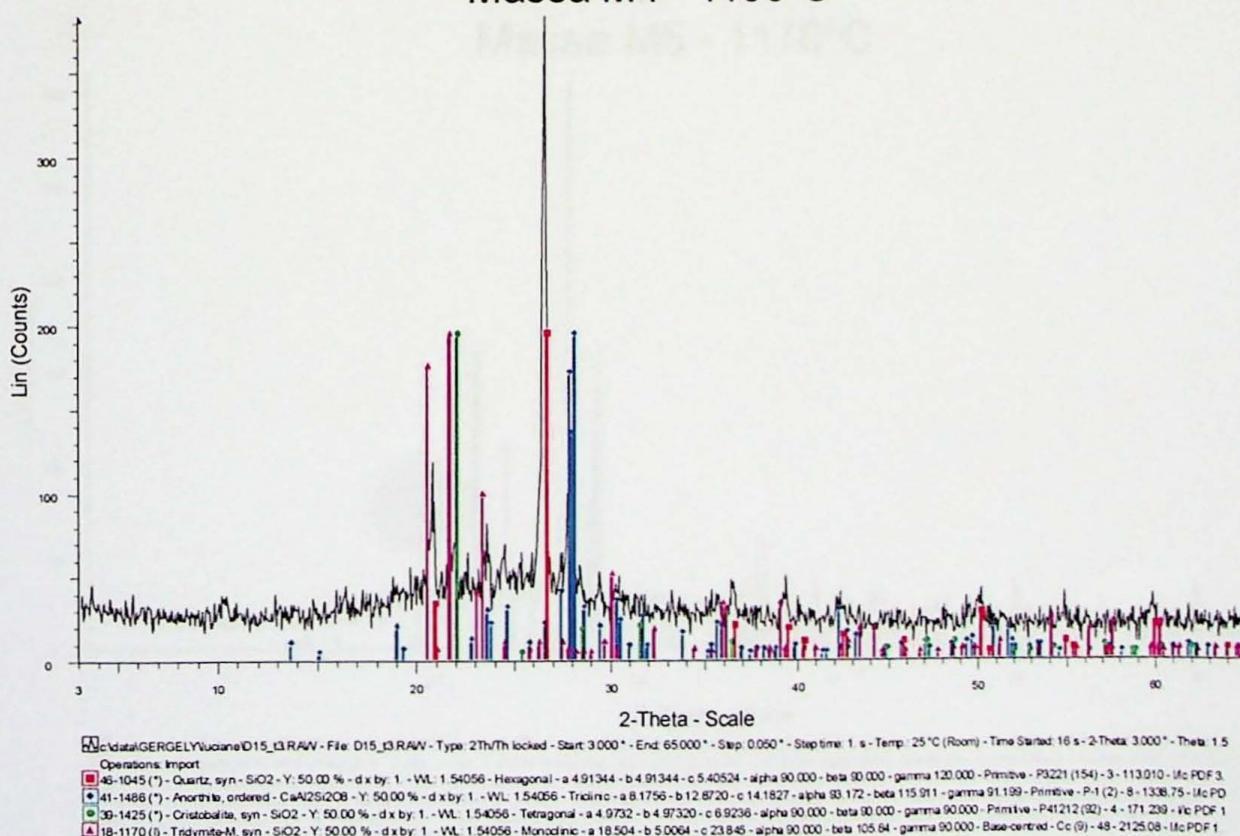
### Massa M3 - 1210°C



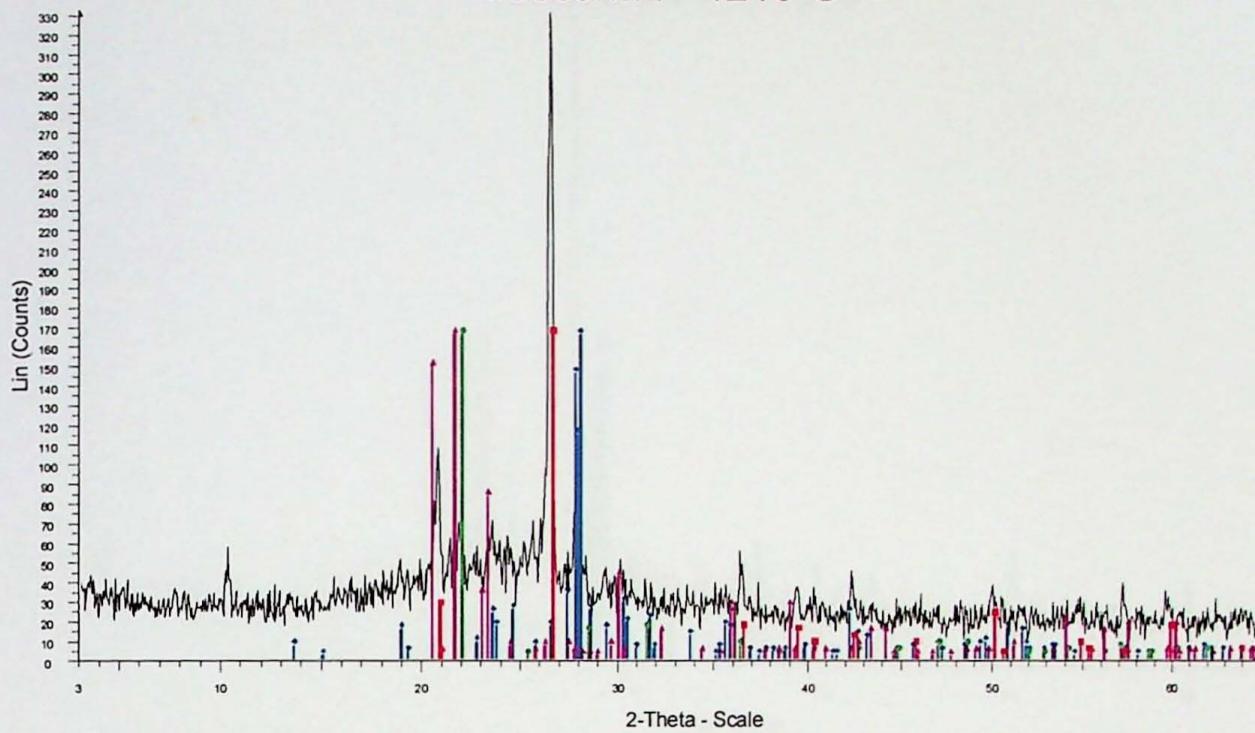
### Massa M4 - 1170°C



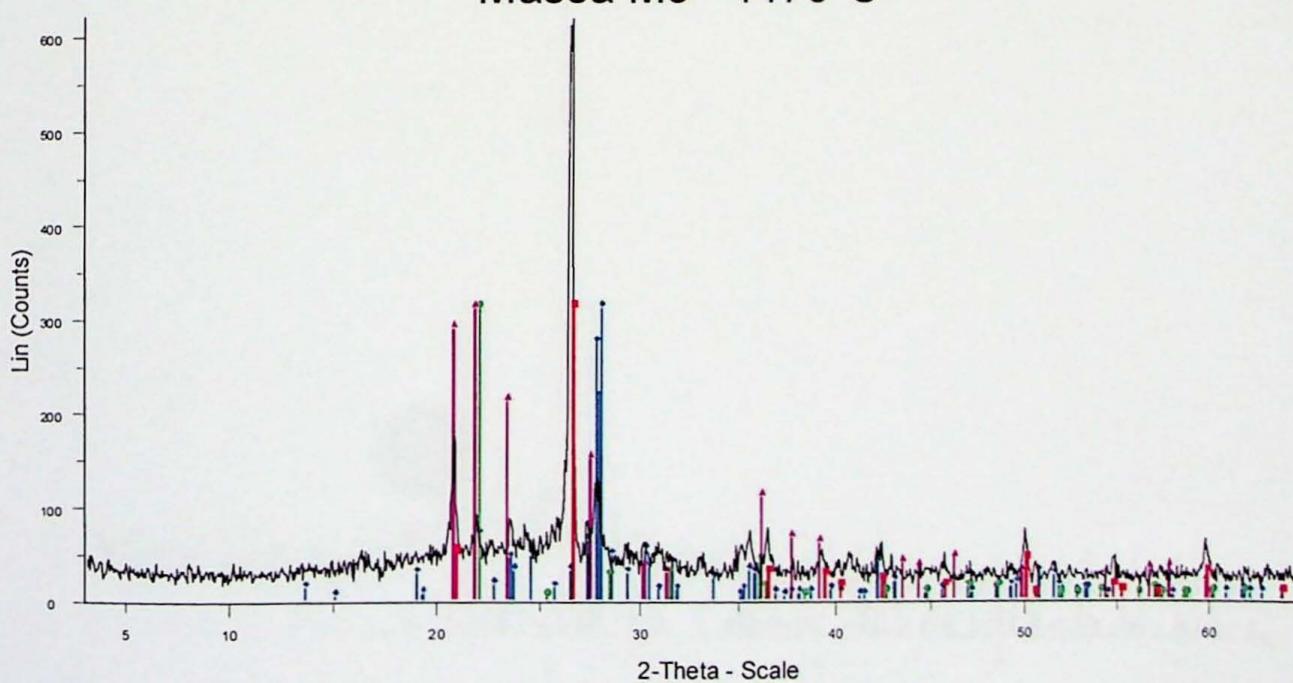
### Massa M4 - 1190°C



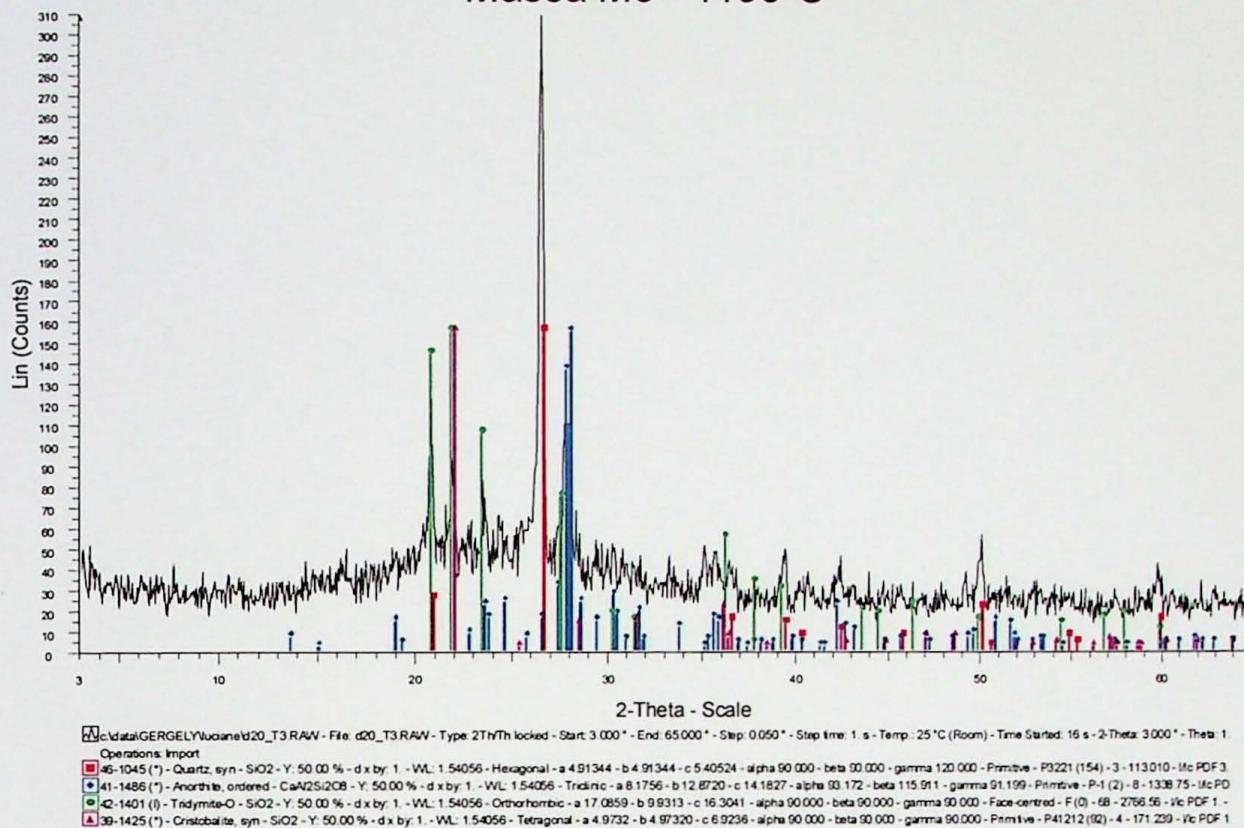
### Massa M4 - 1210°C



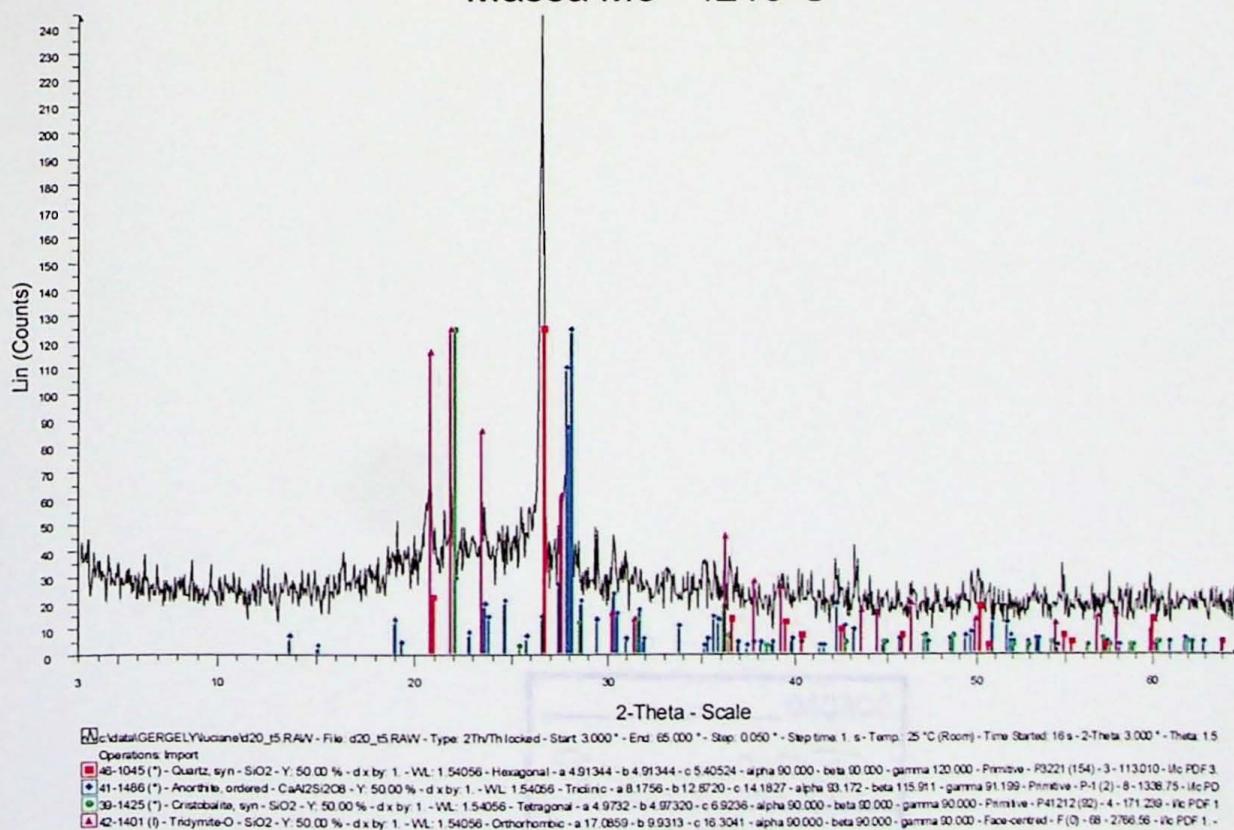
### Massa M5 - 1170°C



### Massa M5 - 1190°C



### Massa M5 - 1210°C



DOAÇÃO \_\_\_\_\_  
TGC-USP  
Data: 01/02/11

