



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DO PROCESSO DE PIROEXPANSÃO DE FELDSPATOS PEGMATÍTICOS E
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO FELDSPATO POTÁSSICO.**

AUTOR: Fernando Antônio Nogueira de Oliveira

ORIENTAÇÃO: Dr. Antônio Carlos Pedrosa Soares
Geólogo Odúlio José Marensi Moura

Nº54

**BELO HORIZONTE
08/10/2001**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

**ESTUDO DO PROCESSO DE PIROEXPANSÃO DE FELDSPATOS PEGMATÍTICOS E
CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO FELDSPATO POTÁSSICO.**

por

Fernando Antônio Nogueira de Oliveira

Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, válido para obtenção do grau de mestre.

Área de Concentração: Geologia Econômica

Orientador: Dr. Antônio Carlos Pedrosa Soares

Co-Orientador: Geólogo Odúlio José M. Moura

Belo Horizonte, 08 de outubro de 2001

N778e
2001

Nogueira de Oliveira, Fernando Antônio.

Estudo do processo de piroexpansão de feldspatos pegmatíticos e caracterização tecnológica do feldspato potássico [manuscrito] / Fernando Antônio Nogueira de Oliveira. – 2001.

xi, 70 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientador: Antônio Carlos Pedrosa Soares.

Coorientador: Odúlio José Marensi Moura.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2001.

Área de concentração: Geologia Econômica Aplicada.

Bibliografia: f. 65-70.

1. Cerâmica – Teses. 2. Vitrificação (Cerâmica) – Teses. 3. Feldspato – Teses. I. Pedrosa-Soares, Antônio Carlos. II. Moura, Odúlio José Marensi. III. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 666.31.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA



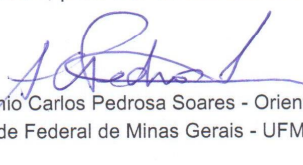
FOLHA DE APROVAÇÃO


**ESTUDO DO PROCESSO DE PIROEXPANSÃO DE FELDSPATOS
PEGMATÍTICOS E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO
FELDSPATO POTÁSSICO.**

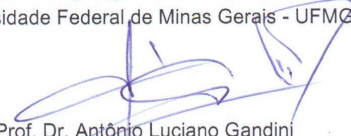
FERNANDO ANTÔNIO NOGUEIRA DE OLIVEIRA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em GEOLOGIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOLOGIA, área de concentração GEOLOGIA ECONÔMICA E APLICADA.

Aprovada em 08 de outubro de 2001, pela Banca constituída pelos membros:


Prof. Dr. Antônio Carlos Pedrosa Soares - Orientador
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG


Profa. Dra. Vitória Régia P. da Rocha O. Marciano
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG


Prof. Dr. Antônio Luciano Gandini
Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

Belo Horizonte, 08 de outubro de 2001.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais (*in memoriam*), a
Adriana, minha esposa e aos meus
filhos, Isadora e Victor.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar aqui os nossos sinceros agradecimentos a todos aqueles que tornaram possível a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Carlos Pedrosa Soares, pelas discussões, correções e estímulo para concluir esta tarefa.

Ao Geólogo Odúlio José Marensi Moura, coorientador deste trabalho, que sempre esclareceu dúvidas sobre assuntos pertinentes à dissertação.

A Itacomil Minérios Ltda., que gentilmente realizou os ensaios de queima dos corpos de prova em sua unidade de cerâmica na cidade de Pedreira, SP.

Ao colega, MSc. geólogo Leonardo Martins Graça (Bakana), pelas sugestões e auxílio na editoração deste trabalho.

Ao colega, geólogo Ricardo Augusto Scholz Cipriano, pelo apoio nas análises de espectroscopia de absorção no infravermelho.

Ao Prof. Dr. Leonardo Evangelista Lagoeiro, por tornar possível o nosso acesso às dependências do MicroLAB do DEGEO/EM/UFOP.

Ao Prof. Dr. Antonio Luciano Gandini do DEGEO/EM/UFOP, pelas discussões sempre esclarecedoras.

Aos Profs. Drs. José Thomaz Gama da Silva do DEMIN/EM/UFOP e Luciano Miguel da ETFOP.

À Escola Técnica Federal de Ouro Preto (ETFOP), pelo auxílio financeiro nas viagens a Belo Horizonte.

Aos amigos da Coordenadoria da área de mineração da ETFOP.

Aos alunos de graduação e bolsistas do MicroLAB do DEGEO/EM/UFOP, Andréa Carla Ferreira e Rafael Romano, pelo auxílio durante as análises e captura de imagens.

Às secretárias da pós-graduação, Maria Cristina Teixeira do CPMTc, Paula e Noeli do IGC, pelas constantes informações prestadas.

À Kácia Maria Moraes Monteiro do CPMTc, pelo auxílio nas análises de fluorescência e difratometria de raios-X.

RESUMO

Esta dissertação apresenta a caracterização mineralógica e tecnológica do feldspato potássico (microclínio) pertítico, proveniente de pegmatitos da região de Linópolis, Minas Gerais, com vistas ao seu comportamento para uso na indústria cerâmica, destacando-se a sua expansão durante o processo de queima. Os estudos do processo de piroexpansão ("fervura") foram realizados de acordo com a seguinte metodologia: 1) análises físicas: análises mineralógicas macroscópicas, preparação dos corpos de prova, determinação da densidade relativa, microscopia ótica e difratometria de raios X; 2) análises químicas: perda ao fogo, espectroscopia por fluorescência de raios X e espectroscopia de absorção no infravermelho. O ensaio tecnológico executado em corpos de prova na forma de paralelepípedos (6,0 x 5,0 x 4,0)cm constou de testes de queima a diferentes temperaturas ($T_1 = 1.150^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$ e $T_3 = 1.250^{\circ}\text{C}$) e, também, de queima do minério na forma de cones de pó a temperatura de 1.250°C . Os resultados obtidos mostraram que tais feldspatos, quando submetidos a testes de queima, exibem diminuição de densidade, aumento de volume e perda de massa. Microscopicamente, verifica-se a crescente vitrificação das fases constituintes do minério (microclínio e albita). Tal fato é corroborado pelas análises de difração de raios X. Nas análises de fluorescência de raios X destacamos a crescente perda de Na_2O durante a queima e o conseqüente aumento nos teores de Al_2O_3 . As análises de espectroscopia de absorção no infravermelho de corpos de prova não queimados exibem bandas de transmitância relativas ao tetraedro SiO_4 na região entre $1.13561.035\text{cm}^{-1}$, enquanto as vibrações assimétricas das ligações AlO são responsáveis pelas bandas na região entre 7806720cm^{-1} . Os corpos de prova submetidos à queima nas temperaturas T_1, T_2 e T_3 sofrem distorção nas bandas de transmitância SiO e AlO . A completa degeneração da estrutura do microclínio, acompanhada da vitrificação do material ocorre à temperatura de 1.250°C , evidenciada pelo desaparecimento das bandas relativas às ligações SiO e AlO . Dentre as possíveis causas do processo, podemos citar a quantidade da fase albítica, a densidade de distribuição da fase albítica em meio à matriz potássica e a crescente expulsão de fluidos durante a queima.

Palavras-chave: microclínio, albita, piroexpansão, cerâmica, vitrificação

ABSTRACT

This dissertation presents the mineralogical and technological characterization of the perthitic potassic feldspar (microcline) from pegmatites of the Linópolis region, Minas Gerais, and the analysis of its behavior for the use in ceramic industry, highlighting its expansion during heating. The studies of thermal expansion (õboilingö) have been accomplished according to the following: 1) physical analyses: macroscopic mineralogical analysis, sampling preparation, specific gravity, microscopic optics, and Xóray difratometry; 2) chemical analyses: loss of ignition, Xóray fluorescence spectroscopy, and infrared absorption spectroscopy. The technological tests have included the heating of brickóshaped samples at three temperatures ($T_1 = 1.150^\circ\text{C}$; $T_2 = 1.200^\circ\text{C}$ and $T_3 = 1.250^\circ\text{C}$), also ore powdered cones have been heated under 1.250°C . The results have shown that the feldspar samples, when submitted to heating present decreasing of specific gravity, volume increase and loss of mass. The microscopic analysis shows the increasing vitrification of the ore component phases (microcline and albite), corroborated by Xóray diffraction analysis. During the X-ray fluorescence analysis gradual loss of Na_2O and increase of Al_2O_3 rates could be clearly noticed. The infrared absorption spectrometry analysis of the natural samples shows transmittance bands related to the tetrahedra SiO_4 in the region between $1.135\text{ó}1.035\text{cm}^{\text{ó}1}$, and transmittance bands related to Al ó O bonds in the region $780\text{ó}720\text{cm}^{\text{ó}1}$. Samples submitted to heating at T_1 , T_2 e T_3 suffer distortion on the SióO and AlóO transmittance bands. The whole degeneration of the microcline structure, followed by the vitrification of the material, occurs around 1.250°C and is marked by the disappearance of the bands relative to the SióO and AlóO bonds. The thermal expansion could be explained by variations in the amount of albitic phase, the density of distribution of the albitic phase within the potassic matrix as well as the increasing fluid expelling during heating.

Key words: microcline, albite, boiling, ceramic, vitrification.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE FOTOGRAFIAS	ix
LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS	vii
LISTA DE TABELAS	xi
CAPÍTULO I ó INTRODUÇÃO.....	1
I.1 ó Localização.....	1
I.2 ó Objetivos	1
I.3 ó Metodologia de trabalho.....	1
I.3.1 ó Trabalho de campo.....	1
I.3.2 ó Trabalhos de laboratório.....	3
I.3.2.1 ó Análises físicas	3
I.3.2.1.1 ó Análises mineralógicas macroscópicas	3
I.3.2.1.2 ó Preparação dos corpos de prova.	3
I.3.2.1.3 ó Ensaio de queima.....	4
I.3.2.1.4 ó Determinação da densidade relativa	4
I.3.2.1.5 ó Microscopia ótica.....	5
I.3.2.1.6 ó Difratomia de raiosX.....	5
I.3.2.2 ó Análises químicas	5
I.3.2.2.1 ó Gravimetria (perda ao fogo).....	6
I.3.2.2.2 ó Espectroscopia por fluorescência de raiosX.....	6
I.3.2.2.3 ó Espectroscopia de absorção no infravermelho (FTIR).	6
CAPÍTULO II ó PEGMATITOS.....	8
II.1 ó Evolução dos conceitos.....	8
CAPÍTULO III ó GEOLOGIA REGIONAL	14
III.1 ó Introdução	14
III.2 ó Estratigrafia	14
III.2.1 ó Grupo Rio Doce	14
III.2.1.1 ó Formação São Tomé	14
III.2.2 ó Suíte intrusiva Galiléia	16
III.2.3 ó Suíte intrusiva Urucum.....	17

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 ó Mapa de localização do distrito de Linópolis, município de Divino das Laranjeiras, Minas Gerais.	2
Figura 2 ó Modo de preparação das amostras para execução dos ensaios planejados.....	4
Figura 3 ó Bloco diagrama esquemático mostrando as relações entre as unidades estruturais dentro dos corpos pegmatíticos.	9
Figura 4 ó Representação esquemática do zonamento regional de grupos de pegmatitos de um granito cogenético.....	10
Figura 5 ó Mapa geológico da região de Divino das LaranjeirasóMendes Pimentel.	15
Figura 6 ó O sistema ternário AnóAbóOr.	24
Figura 7 ó Projeção idealizada da estrutura do feldspato.....	26
Figura 8 ó Relação entre a variação de massa dos corpos de prova com a temperatura de queima.....	33
Figura 9 ó Relação entre a variação de volume dos corpos de prova com a temperatura de queima.	34
Figura 10 ó Relação entre a densidade relativa dos corpos de prova com a temperatura de queima.	35
Figura 11 ó Relação entre as moléculas de ortoclásio (Or), albita (Ab) e anortita (An) dos feldspatos potássicos pertíticos amostrados.....	45
Figura 12 ó Relação entre os constituintes Na ₂ O e K ₂ O dos feldspatos potássicos pertíticos amostrados.....	45
Figura 13 ó Relação entre os corpos de prova e o SiO ₂	46
Figura 14 ó Relação entre os corpos de prova e o Na ₂ O.....	46
Figura 15 ó Relação entre os corpos de prova e o Al ₂ O ₃	47
Figura 16 ó Relação entre os corpos de prova e o K ₂ O.	47
Figura 17 ó Relação entre os corpos de prova o Al ₂ O ₃ e a soma dos óxidos (Na ₂ O + K ₂ O).....	47
Figura 18 ó Relação entre a temperatura e o Na ₂ O.....	48
Figura 19 ó Relação entre a temperatura e o Al ₂ O ₃	48
Figura 20 - Relação entre a temperatura e o K ₂ O.....	48
Figura 21 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Ácio, zona intermédia externa, no intervalo de 400ó4.000cm ^{ó1}	50
Figura 22 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Ácio, zona intermédia externa, no intervalo de 400ó1.000cm ^{ó1}	50
Figura 23 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Ácio, zona intermédia externa, no intervalo de 900ó1.200cm ^{ó1}	51

Figura 24 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Ácio, zona intermédia externa, no intervalo de 2.900ó4.000cm ^{ó1}	51
Figura 25 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Ácio, zona intermédia interna, no intervalo de 400ó4.000cm ^{ó1}	52
Figura 26 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Ácio, zona intermédia interna, no intervalo de 500ó800cm ^{ó1}	52
Figura 27 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Ácio, zona intermédia interna, no intervalo de 900ó1.200cm ^{ó1}	53
Figura 28 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Ácio, zona intermédia interna, no intervalo de 3.400ó3.700cm ^{ó1}	53
Figura 29 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Confusão, zona intermédia externa, no intervalo de 400ó4.000cm ^{ó1}	54
Figura 30 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Confusão, zona intermédia externa, no intervalo de 500ó800cm ^{ó1}	54
Figura 31 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Confusão, zona intermédia externa, no intervalo de 900ó1.200cm ^{ó1}	55
Figura 32 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Confusão, zona intermédia externa, no intervalo de 3.400ó3.700cm ^{ó1}	55
Figura 33 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, no intervalo de 400ó4.000cm ^{ó1}	56
Figura 34 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, no intervalo de 500ó800cm ^{ó1}	56
Figura 35 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, no intervalo de 900ó1.200cm ^{ó1}	57
Figura 36 ó Espectros no infravermelho de corpos de prova do pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, no intervalo de 3.400ó3.700cm ^{ó1}	57

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1	ó	Corpos de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia externa, antes da queima e após a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3	30
Fotografia 2	ó	Corpos de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia interna, antes da queima e após a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3	30
Fotografia 3	ó	Corpos de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Confusão, zona intermédia externa, antes da queima e após a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3	31
Fotografia 4	ó	Corpos de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, antes da queima e após a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3	31
Fotografia 5	ó	Corpos de prova de feldspato potássico pertítico na forma de cones de pó dos pegmatitos Ácio, Confusão, Cristalão e Ipê, após a queima.	32
Fotografia 6	ó	Corpos de prova de feldspato potássico pertítico na forma de cones de pó dos pegmatitos Ácio, Confusão, Cristalão e Ipê, após a queima.	32

LISTA DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia externa, préóqueima.	38
Fotomicrografia 2 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia externa, pósóqueima a 1.150°C.....	38
Fotomicrografia 3 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia externa, pósóqueima a 1.200°C.....	38
Fotomicrografia 4 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia externa, pósóqueima a 1.250°C.....	38
Fotomicrografia 5 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia interna, préóqueima.....	39
Fotomicrografia 6 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia interna, pósóqueima a 1.150°C.	39
Fotomicrografia 7 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia interna, pósóqueima a 1.200°C.	39
Fotomicrografia 8 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Ácio, zona intermédia interna, pósóqueima a 1.250°C.	39
Fotomicrografia 9 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Confusão, zona intermédia externa, préóqueima.	40
Fotomicrografia 10 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Confusão, zona intermédia externa, pósóqueima a 1.150°C.	40
Fotomicrografia 11 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Confusão, zona intermédia externa, pósóqueima a 1.200°C.....	40
Fotomicrografia 12 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Confusão, zona intermédia externa, pósóqueima a 1.250°C.	40
Fotomicrografia 13 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, préóqueima.	41
Fotomicrografia 14 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, pósóqueima a 1.150°C.....	41
Fotomicrografia 15 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, pósóqueima a 1.200°C.....	41
Fotomicrografia 16 ó Seção delgada de corpo de prova de feldspato potássico pertítico do pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, pósóqueima a 1.250°C.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 ó As classes de pegmatitos graníticos.....	11
Tabela 2 ó As três famílias petrogenéticas de pegmatitos ricos em elementos raros.	12
Tabela 3 ó Coluna litoestratigráfica da Folha Itabirinha de Mantena.....	16
Tabela 4 ó Subdivisões da Província Pegmatítica Oriental em Minas Gerais	20
Tabela 5 ó Características dos pegmatitos onde foram coletadas amostras.....	23
Tabela 6 ó Propriedades físicas macroscópicas de feldspatos potássicos pertíticos.....	28
Tabela 7 ó Propriedades físicas macroscópicas dos corpos de prova de feldspato potássico	29
Tabela 8 ó Dados físicos dos corpos de prova (massa, dimensões e volume)	33
Tabela 9 ó Determinação da densidade relativa (d) de corpos de prova de feldspatos	35
Tabela 10 ó Características microscópicas dos feldspatos potássicos pertíticos.....	36
Tabela 11 ó Características microscópicas dos corpos de prova de feldspatos potássicos.....	37
Tabela 12 ó Valores dos parâmetros axiais, ângulos entre os eixos e volume da cela unitária, para os diferentes corpos de prova.	42
Tabela 13 ó Análise química quantitativa por fluorescência de raiosóX em amostras de feldspato potássico pertítico naturais (préóqueima).	43
Tabela 14 ó Análise química quantitativa por fluorescência de raiosóX em corpos de prova de feldspato potássico pertítico da lavra do Ácio, após a queima.	43
Tabela 15 ó Análise química quantitativa por fluorescência de raiosóX em corpos de prova de feldspato potássico pertítico das lavras Confusão e Cristalão, após a queima.	44
Tabela 16 ó Valores percentuais das moléculas de ortoclásio (Or), albita (Ab) e anortita (An) dos feldspatos potássicos pertíticos amostrados.....	44
Tabela 17 ó Principais especificações para uso industrial do feldspato.....	59
Tabela 18 ó Especificações para recebimento de matéria-prima da empresa Prominex.	61

CAPÍTULO I 6 INTRODUÇÃO

Os pegmatitos do município de Divino das Laranjeiras tornaram-se mundialmente conhecidos, devido à ocorrência de um grande número de minerais fosfáticos raros (Cassedanne, 1983, Scholz *et al.* 2000, Bilal *et al.* 2000).

Atualmente, a maior parte dos pegmatitos está sendo lavrada para a produção de feldspatos industriais, sendo os minerais de coleção e gemológicos comercializados como subproduto da atividade garimpeira.

I.1 6 Localização

A região em estudo localiza-se nas vizinhanças do Distrito de Linópolis, no Município de Divino das Laranjeiras, leste de Minas Gerais (Figura 1).

O acesso à região é feito a partir de Belo Horizonte, utilizando-se a Rodovia Federal BR 262 até João Monlevade e pela BR381 até o município de Governador Valadares. A partir de Governador Valadares, o acesso se dá através de estrada asfaltada MG 381 para Mendes Pimentel, passando por Divino das Laranjeiras e Linópolis. Estradas não pavimentadas permitem o acesso aos corpos pegmatíticos amostrados.

I.2 6 Objetivos

Este trabalho tem por finalidade a caracterização mineralógica e tecnológica do feldspato potássico dos corpos pegmatíticos denominados Ácio, Confusão (Luis I) e Cristalão (Luis II), situados nas proximidades do distrito de Linópolis, com vistas ao seu comportamento para uso na indústria cerâmica, destacando-se a sua possível expansão durante o processo de queima.

I.3 6 Metodologia de trabalho

Neste trabalho, foram realizados estudos a respeito dos feldspatos potássicos peritéticos (microclínio), a fim de se detectar as possíveis causas da expansão destes minerais, quando submetidos a aquecimento. Estes estudos foram divididos nas seguintes etapas:

I.3.1 6 Trabalho de campo

Os trabalhos de campo desenvolvidos obedeceram ao seguinte cronograma:

a) Caracterização dos corpos individuais (locação dos corpos por meio de GPS, forma, tamanho, atitude, estrutura interna, composição e distribuição da mineralogia); b) Coleta de amostras de feldspatos, visando fornecer a situação da amostragem no interior do corpo.

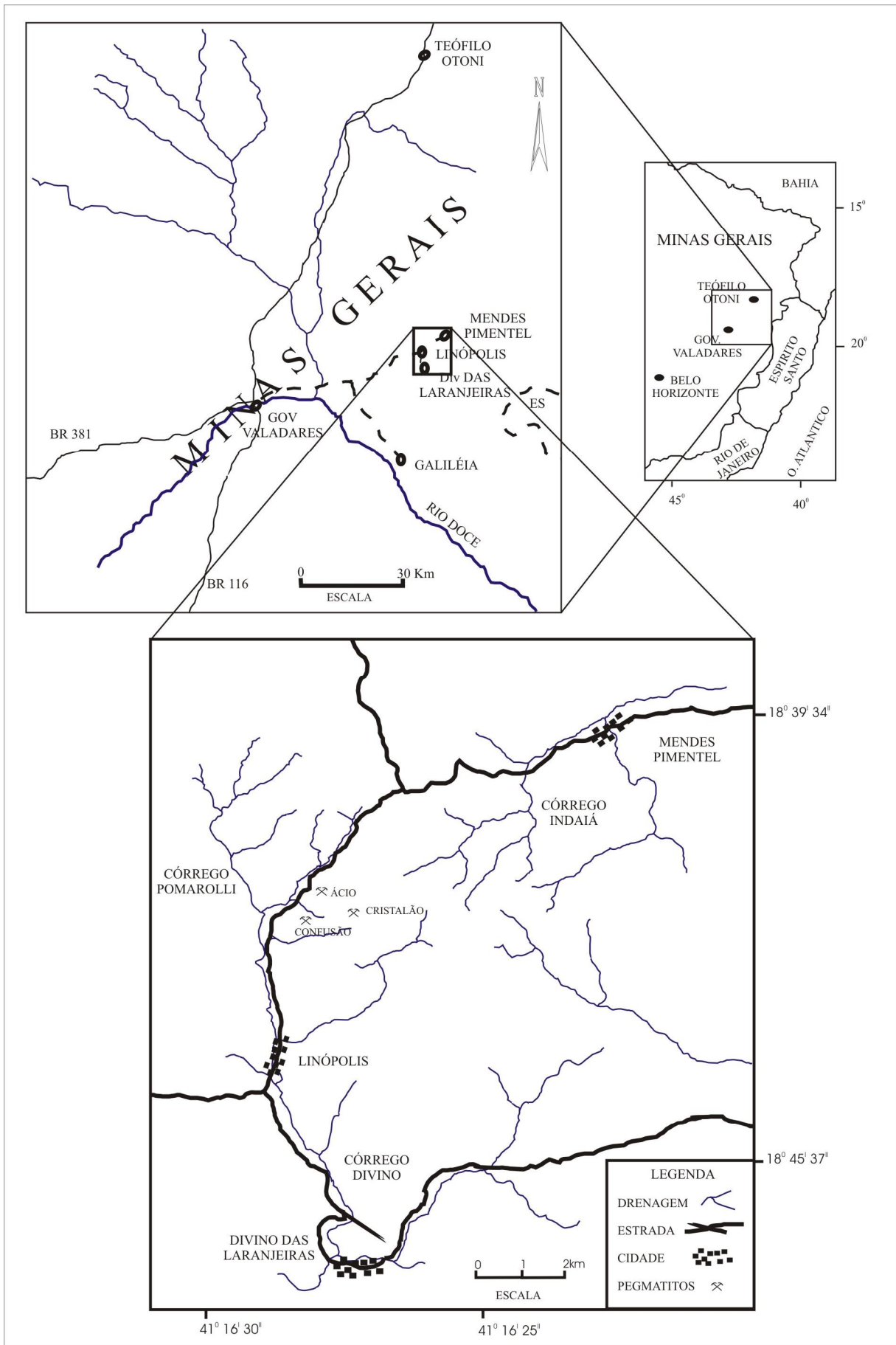


Figura 1 ó Mapa de localização do distrito de Linópolis, município de Divino das Laranjeiras, Minas Gerais.

I.3.2 ó Trabalhos de laboratório

Os estudos experimentais realizados foram desenvolvidos em laboratórios de instituições da rede federal de ensino superior, tais como, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), além de ensaios executados nas instalações da empresa Itacomil Minérios Ltda., situada na cidade de Pedreira, no estado de São Paulo.

I.3.2.1 ó Análises físicas

As análises físicas efetuadas visaram a caracterização do mineral quanto aos aspectos macroscópicos e microscópicos das amostras coletadas, bem como, quanto ao comportamento dos corpos de prova, quando submetidos a ensaios de queima, e as possíveis modificações decorrentes deste procedimento. Tais mudanças foram objeto de investigação durante todo o processo de caracterização proposto.

I.3.2.1.1 ó Análises mineralógicas macroscópicas

As amostras de feldspato potássico pertítico selecionadas foram submetidas a uma observação preliminar, a fim de se obter um panorama das principais características físicas e morfológicas de interesse no estudo que se pretende desenvolver.

I.3.2.1.2 ó Preparação dos corpos de prova.

A amostragem foi realizada em pegmatitos que se encontravam em lavra para produção de feldspato industrial. As amostras de feldspato potássico macropertítico foram coletadas em frentes de lavra abertas em zonas intermédias de pegmatitos complexos.

A preparação inicial das amostras seguiu o esquema abaixo descrito.

Os corpos de prova foram inicialmente preparados de modo a se obter um paralelepípedo com dimensões de aproximadamente (6,0 x 5,0 x 4,0)cm, que possibilitasse a sua subdivisão em quatro fatias para serem utilizadas nos ensaios e análises planejados (Figura 2). Uma fatia a ser usada em ensaios antes da queima e as outras três a serem queimadas nas faixas de temperatura $T_1 = 1.150^{\circ}\text{C}$; $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$ e $T_3 = 1.250^{\circ}\text{C}$. Cada fatia foi subdividida em três partes, a saber: 1) Uma fatia pré-queima: uma porção destinada à confecção de lâmina delgada; uma para pulverização destinada a análises e uma restante como testemunho. 2) Três fatias pós-queima T_1 , T_2 e T_3 : uma porção para lâmina delgada; uma para pulverização destinada a análises e um testemunho.

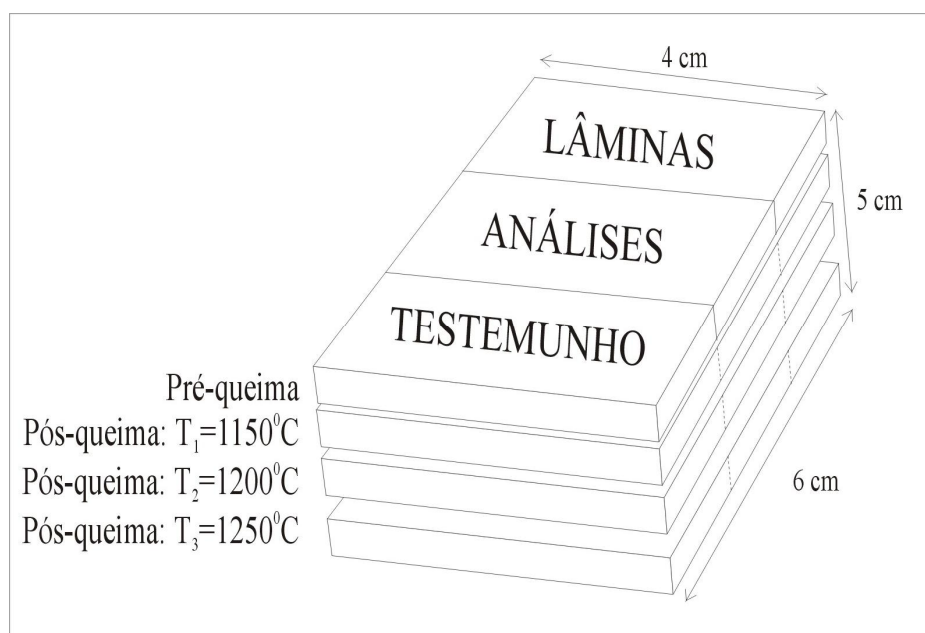


Figura 2 ó Modo de preparação dos corpos de prova para execução dos ensaios e análises planejados.

I.3.2.1.3 ó Ensaios de queima

Os testes de queima efetuados em corpos de prova selecionados foram executados nos fornos da empresa Itacomil Minérios Ltda, na cidade de Pedreira, no estado de São Paulo, importante pólo ceramista do Brasil.

Para os corpos de prova preparados previamente na forma de paralelepípedos (6,0 x 5,0 x 4,0)cm, a queima foi efetuada em forno elétrico, cujo ciclo de queima foi de 18h, distribuídos da seguinte maneira: 6h para o aquecimento a uma velocidade de 3,19°/min, até atingir a temperatura de 1.150°C para a queima do primeiro corpo de prova, mantendo-se esta temperatura por um patamar de 2h; o mesmo procedimento foi adotado para os corpos de prova queimados nas temperaturas de 1.200°C e 1.250°C. O tempo de resfriamento foi de 6h.

Para os corpos de prova, cuja queima foi efetuada em cones de pó do minério, o forno utilizado foi a gás e o ciclo de queima foi de 8h até atingir a temperatura de 1.250°C a uma velocidade de 2,61°/min e mais 14h de resfriamento em forno intermitente e de produção, de queima oxidanteóredutora, o que faz com que o produto queimado se torne branco devido à redução dos óxidos.

I.3.2.1.4 ó Determinação da densidade relativa

A densidade relativa (d) foi determinada com a utilização de uma balança analítica METTLER, modelo H54AR, do Centro de Pesquisa Manuel Teixeira da Costa do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (CPMTC/IGC/UFMG), cuja capacidade é de 160g e a precisão de 0,0001g.

Inicialmente, efetuou-se a pesagem do corpo de prova (P_1), estando este, amarrado a um fio de seda extremamente fino. Em seguida, mergulhou-se o corpo de prova, ainda amarrado ao fio, em um béquer com água, destilada e deionizada, sobre uma plataforma, não apoiada ao prato da balança (P_2), obtendo, assim, o peso do mineral mergulhado na água ($P_2 < P_1$).

Para efetuar-se o cálculo da densidade, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$d = [P_1 / (P_1 - P_2)] \cdot d_{liq.}, \text{ onde, } d_{liq.} = d_{H_2O} = 1.$$

I.3.2.1.5 ó Microscopia ótica.

As lâminas delgadas foram descritas e analisadas em microscópio petrográfico CARL ZEISS modelo Ortholux do laboratório de microscopia ótica do Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO/EM/UFOP). As imagens das seções delgadas foram obtidas em um equipamento de captura de imagens, constituído por uma câmara modelo Sony DXC 630P, acoplada a microscópio LEITZ 12 Pol S e software Quantimet 600 (Q600), pertencente ao MicroLAB do DEGEO/EM/UFOP.

I.3.2.1.6 ó Difratomia de raios X.

Neste trabalho, utilizou-se o método do pó como técnica de difração de raios X, pois permite a identificação das fases minerais, bem como possibilita a obtenção das medidas dos parâmetros da cela unitária.

Para a obtenção desses dados, as amostras foram moídas em um gral de ágata até alcançar uma granulometria de 200#. Os diagramas de pó foram obtidos em um difratômetro HG24 ó Freiburger Präzisions Mechanick, utilizando-se radiação $CuK\alpha$, $\lambda = 1,5405 \text{ \AA}$, em condições de excitação de 20mA a 40kV e intervalo de exposição de 10 a 60° do CPMT/IGC/UFMG. Para a determinação dos parâmetros de rede foram utilizadas as quinze reflexões mais intensas e os cálculos foram realizados com o programa de distribuição gratuita *Unit Cell* (Holland & Redfern 1997).

I.3.2.2 ó Análises químicas

Este estudo analítico foi direcionado para a pesquisa do feldspato potássico perítico, visando a obtenção de dados relacionados a grupamentos moleculares presentes na estrutura do mineral.

I.3.2.2.1 ó Gravimetria (perda ao fogo)

O método da gravimetria permite determinar as porcentagens de H_2O° (água adsorvida superficialmente) e H_2O^+ (água estrutural e de inclusões fluidas). Através da calcinação do material em mufla (forno) e de suas respectivas pesagens, obtém-se os dados relativos a esses voláteis.

Os ensaios de perda ao fogo foram realizados sobre frações de feldspato potássico pertítico, pulverizados a uma granulometria inferior a 200 mesh, e os dados foram obtidos em uma mufla LAVOISIER, modelo 400D (18A, 220V, 3980W) e balança analítica de marca METTLER, modelo H54AR, com precisão de 0,0001g e capacidade de 160g ambas do CPMT/IGC/UFMG.

I.3.2.2.2 ó Espectroscopia por fluorescência de raiosóX

Nas análises de fluorescência de raiosóX uma amostra de um mineral, previamente preparada, é irradiada por um amplo feixe de radiaçãoóX, contínua, e as intensidades dos picos das linhas de emissão de raiosóX são medidas. Por comparação destes com amostras de padrões internacionais de concentrações conhecidas, uma análise elementar quantitativa pode ser obtida (Gomes, 1984).

As amostras utilizadas neste tipo de investigação foram pulverizadas e misturadas com tetraborato de lítio em uma proporção de 1:5. Essa mistura é aquecida a 1.000°C, permitindo, por fusão, a confecção de pastilhas de 30mm de diâmetro, para obtenção de uma análise química quantitativa de seus elementos maiores na forma de óxidos.

O equipamento utilizado é um Sequential XóRay Spectrometer modelo SRSó3000 da marca SIEMENS, pertencente ao CPMT/IGC/UFMG.

I.3.2.2.3 ó Espectroscopia de absorção no infravermelho (FTIR).

Neste trabalho, esta técnica foi aplicada na identificação dos grupamentos moleculares presentes na estrutura do feldspato potássico pertítico (microclínio).

Os átomos ligados em sistemas moleculares vibram à frequências entre 10^{12} e 10^{14} Hz. As forças interatômicas entre os átomos ligados controlam a frequência exata das vibrações. Pares de átomos ou grupamentos moleculares têm um número de frequências vibracionais fundamentais, ou modos vibracionais, segundo os quais eles podem vibrar e isto corresponde a um estado de energia específica da molécula. Estas energias estão situadas no espectro infravermelho e, devido a isto, as transições entre níveis de energia vibracionais de uma molécula podem ser induzidas por radiação infravermelha incidente, a qual será absorvida como a frequência correspondente ao modo vibracional na amostra.

Os espectros de absorção no infravermelho (FTIR ó infravermelho por transformada de Fourier) foram obtidos por um espectrofotômetro BOMEM/HARTMANN & BRAUN, modelo

MB100C23, pertencente ao Centro de Conservação e Restauração da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais (CECOR/EBA/UFMG). Utilizou-se uma célula de diamante, modelo SPG 466 ó *diamond anvil cell for microbeam*, juntamente com uma câmara sob atmosfera inerte com nitrogênio gasoso. Os espectros foram tomados na região de 400cm^{-1} a 4.000cm^{-1} com uma resolução de 4cm^{-1} . As leituras das bandas foram obtidas por meio de um *software* Winó Bomem Easy, versão 3.01C.

CAPÍTULO II 6 PEGMATITOS

II.1 6 Evolução dos conceitos

Um grande número de publicações tem sido dedicado aos pegmatitos graníticos. Dentre os pesquisadores que têm estudado o tema, os seguintes trabalhos podem fornecer uma revisão da evolução das idéias e discussões sobre os principais pontos de vista genéticos: Fersman (1931); Cameron *et al.* (1949); Jahns (1955); Jahns & Burnham (1969); Jahns (1982); Uebel (1977), erný (1982a e b;1991a), e London (1986; 1992).

Fersman foi o primeiro a propor uma classificação ordenada de zonas em torno de uma fonte magmática, em 1931.

Nos anos 40, foi desenvolvida por geólogos do U.S. Geological Survey uma nomenclatura das unidades texturais internas que compõem os pegmatitos e, depois de diversas aplicações específicas, foi formalizada na monografia de Cameron *et al.* (1949). Estes pesquisadores através de estudos experimentais e de criterioso trabalho de campo, estabeleceram os conceitos fundamentais de zonamento interno relacionado à distribuição das fases minerais dos corpos pegmatíticos. A partir dessa concepção clássica, grande parte dos pegmatitos foram classificados em zonados e não zonados de acordo com a sequência de cristalização encontrada no interior dos corpos e suas diferenças texturais. De uma maneira geral, a estrutura interna descrita nos pegmatitos zonados foi dividida em três partes principais: 1) zonas de cristalização primária, constituídas por sucessivas camadas, completas ou não, dispostas concentricamente em relação a um núcleo. Essas camadas se diferenciam pela composição mineralógica, textural, ou por ambas. São denominadas marginal (borda), mural (gráfica) e intermédia (externa, média e interna) e núcleo; 2) corpos de substituição, formados às custas de unidades preexistentes; 3) preenchimento de fraturas (Figura 3).

O zoneamento nem sempre está presente em sua plenitude, mas as zonas quando presentes seguem sempre o mesmo ordenamento. Esses corpos geralmente mostram, da margem para o núcleo, aumento no tamanho dos minerais, redução do número de minerais formadores de rocha e mudanças texturais.

A partir da década de 60, geólogos soviéticos (Beus 1960; Ginsburg 1960; Varlamoff 1972, *in*: erný 1982; Shmakin 1979), com base em afinidades estruturais, ígneas e geoquímicas relacionadas a períodos específicos de evolução geológica, estabeleceram classificações gerais, critérios exploratórios e interpretações genéticas, para grandes populações de pegmatitos. Segundo estes estudiosos, as associações minerais estão correlacionadas com a profundidade e com a distância das cúpulas graníticas (Figura 4).

Dentro desse contexto, os campos pegmatíticos, formados a partir de uma única injeção, são divididos em: 1) pegmatitos externos, 2) marginais e 3) internos. A causa desse zonamento regional

de grupos de pegmatitos deve-se, em parte, ao entendimento dos fenômenos que controlam a separação ascendente dos fluidos metassomáticos tardios nos batólitosófonte (Černý, 1991a).

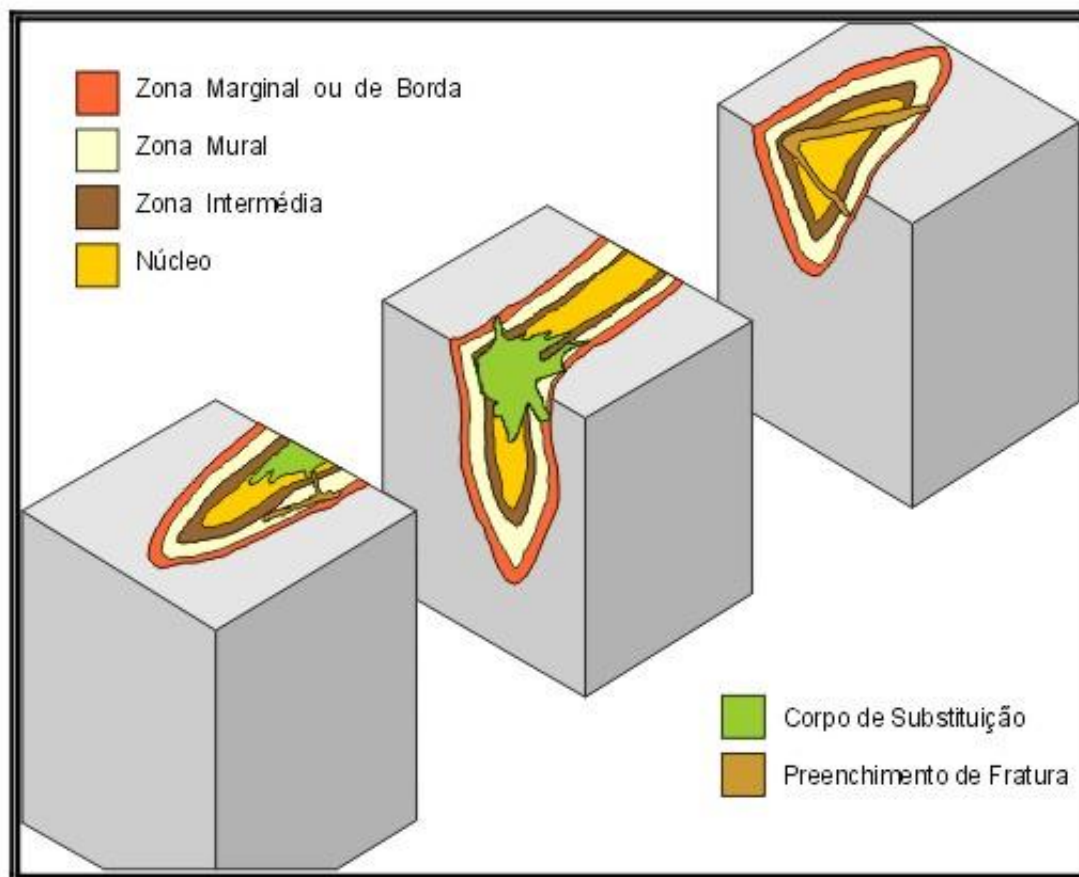


Figura 3 ó Bloco diagrama esquemático mostrando as relações entre as unidades estruturais dentro dos corpos pegmatíticos (Cameron *et al.* 1949, modificado por Gandini 1999).

Ginsburg *et al.* (1979) e Černý (1982) baseados em critérios geológicoópetrogenéticos, distinguiram quatro tipos de formações de pegmatitos (miarolíticos, elementos raros, muscovíticos e abissais), caracterizados pelos diferentes níveis de profundidades de consolidação, mineralizações e relações com os processos ígneos e metamórficos do ambiente. Černý (1991a e b) apresenta uma concepção atualizada das idéias desses autores e estabelece uma subdivisão em quatro classes para os pegmatitos graníticos (Tabela 1).

Neste trabalho a tabela apresentada contém cinco classes (Castañeda 1997), pois alguns autores soviéticos reconhecem uma classe intermédia (elementos raros/muscovita) entre os tipos muscovita e elementos raros (Černý, 1993; 1991a). Esta subdivisão é possível a partir da caracterização em função dos terrenos encaixantes e granitosófonte e serve como ferramenta básica em termos de decisões para definir estratégias de exploração.

Černý (1991a e b) em seus estudos sobre pegmatitos graníticos de elementos raros propõe uma subdivisão para estes pegmatitos em três famílias: LCT, NYF e mistos (Tabela 2).

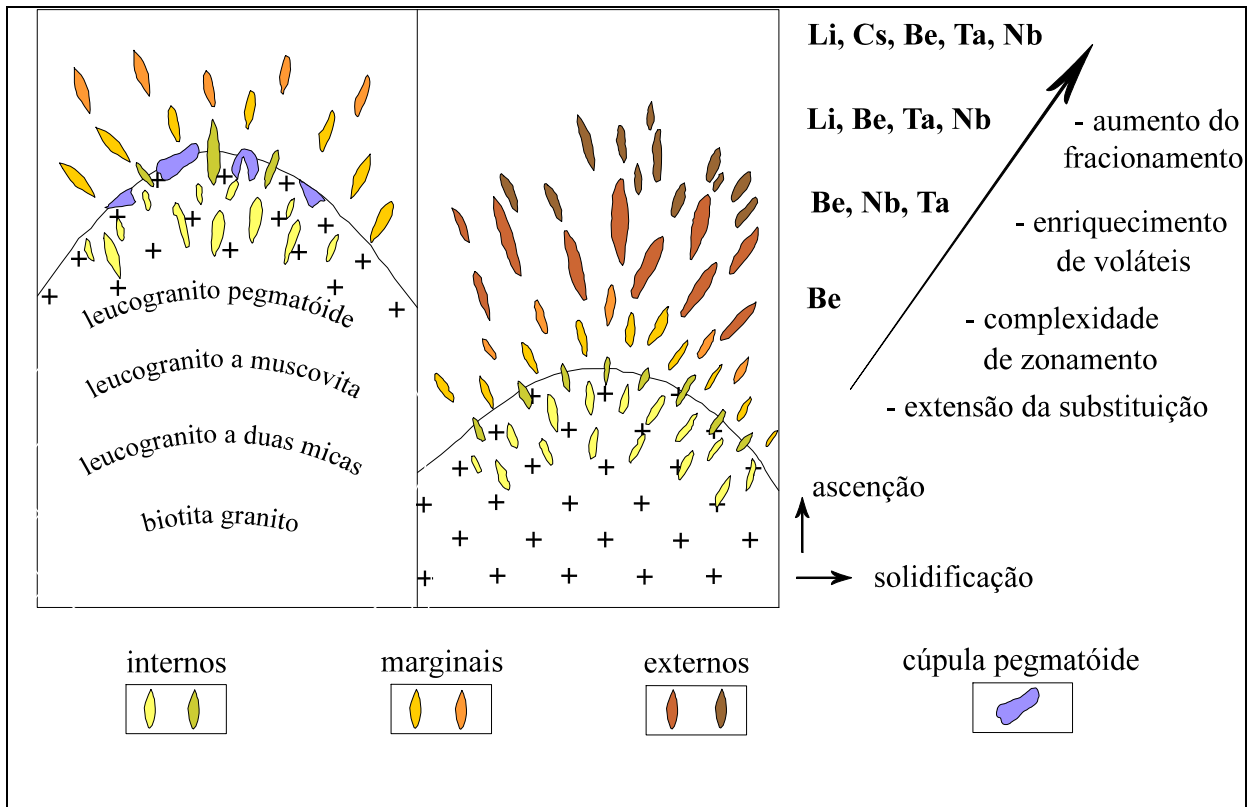


Figura 4 ó Representação esquemática do zonamento regional de grupos de pegmatitos de um granito cogenético (Varlamoff, 1972; In: erný, 1991, modificado por Gandini 1999).

Uma combinação de diferentes critérios é requerida para definiólos: composição total, assinatura geoquímica de minerais acessórios, estrutura interna e condições de pressão e temperatura de cristalização são empregados para diferenciar o espectro de categorias.

A Tabela 2 separa as classes de pegmatitos em seus respectivos ambientes geológicos, contudo as assembléias minerais e as associações de elementos caracterizam os tipos e sub tipos de pegmatitos dentro da classe dos elementos raros. As formas dos pegmatitos graníticos de elementos raros são altamente variáveis e são controladas principalmente pela competência das rochas encaixantes, a profundidade de posicionamento e o regime tectônico e metamórfico na época do posicionamento.

Historicamente, algumas hipóteses têm sido oferecidas para explicar a natureza da(s) fase(s) das quais os pegmatitos graníticos cristalizam, e para revelar o curso de sua cristalização.

Em termos genéticos, a origem dos pegmatitos pode ser abordada a partir de fusões silicatadas, visto, tanto as teorias magmáticas, como as metamórficas tomarem como ponto inicial essas fusões. O problema da origem dos pegmatitos reside em se conhecer de onde provieram estas fusões: 1. se originadas de intrusões graníticas através de fracionamento magmático, ou 2. por anatexia de rochas metamórficas de alto grau.

Tabela 1 ó As classes de pegmatitos graníticos (erný, 1991a., adaptado por Castañeda 1997).

MINERALIZAÇÃO				AMBIENTE METAMÓRFICO			RELAÇÃO COM GRANITOS		FEIÇÕES ESTRUTURAIS	
CLASSES	Elementos menores	Concentrações	Minerais	Fácies	Pressão (kb)	Temperatura (°C)	Tipo	Características	Encaixante	Ambiente tectónico
Abissal	U,Th, Zr,Nb, Ti,Y ETR,Mo	pobre ou moderada		anfíbolito alta a granulito de baixa P a alta P	~4 ó 9	~700 ó 800	nenhuma relação	os pegmatitos são segregações de leucossomas anatóticos	veios concordantes a mobilizados discordantes em gnaisses migmatitos, e charnockitos	faixas colisionais
Moscovita	Li,Be,Y ETR,TiU, Th, NbóTa	pobre ou moderada	micas e minerais cerâmíocos	Barroviano, anfíbolio de alta P, cianita sillimanita	~5 ó 8	~660 ó 580	nenhuma relação	corpos anatóticos	quase concordantes a discordantes em gnaisses migmatitos, xistos e quartzitos	faixas colisionais
E. r. / Muscovita	Misto entre os tipos muscovita e elementos raros		mineraó lizações também mistas	Barroviano, anfíbolito de média P, estauroilitaó cianitaó sillímanita	~4 ó 6	~660 ó 550	marginais internos	corpos residuais	quase concordantes a discordantes em xistos e quartzitos	faixas colisionais
Elementos raros	família LTC: Li,Rb, Cs,Be, Ga,Sn, Hf, F, NbóTa, B, P	pobre a abundante	gemíféóros, mió nérios de Li, Be, etc.	Abukuma anfíbolio de baixa P, anó daluzita sillímanita	~2 ó 4	~660 ó 500	externos, internos a marginais	granitos tipoóS principalmente	quase concordantes a discordantes em xistos e quartzitos	faixas colisionais
	família NYF: Y,REE,Li,U,Th,Zr, F, NbóTa	pobre a abundante	minerais cerâmíocos	variável	variável	variável	internos a marginais	granitos tipoóA principalmente	<i>bolsões</i> internos corpos marginais, ou discordantes ou concordantes em rochas diversas	ambientes extensionais, incluindo <i>riffs</i> abortados
Miarolítico	família NYF: Y,REE,Li,U, F Th,Zr, NbóTa	pobres em gemas		rasos a subó vulcânicos	~1 ó 2		internos a marginais		<i>bolsões</i> internos e diques	

De acordo com revisão documentada por Jahns (1955), propostas para o meio parental incluem: (1) fusões silicáticas, (2) fusões silicáticas enriquecidas em componentes voláteis, (3) agentes pneumatolíticos, melhor definidos hoje como fluidos supercríticos, e (4) soluções hidrotermais ± fases gasosas.

Tabela 2 ó As três famílias petrogenéticas de pegmatitos ricos em elementos raros (erný 1991a).

Família	Tipo de pegmatito	Assinatura geoquímica	Composição do pegmatito	Granitos associados	Composição do granito	Litologias fontes
LCT	complexo a berilo, e albitaõespoó dumênio e albita	Li, Rb, Cs, Be, Sn, Ga, Ta>Nb (B, P, F)	peraluminoso	sin a tardi orogênicos a anorogênicos; largamente heterogêneos	peraluminoso S, I ou mistos S+I	Supracrustais de crosta média a superior não empobrecida e gnaisses do embasamento
NYF	elementos raros	Nb>Ta, Ti, Y, Sc, ETR, Zr, U, Th, F	subaluminoso a metaluminoso (a subalcalino)	(sin, tardi e pós tectônicos) principalmente anorogênicos; largamente heterogêneos	(peraluminoso) a subaluminoso a metaluminoso, (raramente peralcalino); Tipo A e (I)	Granulitos da crosta inferior a média empobreó cida, ou granió tóides jovens não empobrecidos
Misto	Mistura LCT e NYF	Mistos	(metaluminoso) a moderadamente peraluminoso	(pós tectônico) anorogênico; moderadamente heterogêneos	Subaluminoso a fracamente peraluminoso	Protólitos mistos ou assimilações de supracrustais por granitos tipo NYF

O modelo genético de pegmatitos graníticos proposto por Jahns & Burnham (1969) está apoiado em resultados de estudos de campo e de laboratório. Este modelo enfatiza o importante papel exercido pela água (e/ou outras substâncias voláteis) como constituinte dissolvido em magmas graníticos, e como o constituinte dominante da fase fluida, a qual se encontra em estado supercrítico na maioria das condições de formação do pegmatito. O magma pegmatítico pode ser formado, tanto por fusão parcial de material crustal, como pela fase líquida residual de um corpo ígneo em fracionamento, produzindo principalmente fases cristalinas anidras.

A cristalização primária a partir de fusões silicáticas é, de certa forma, bem documentada para pegmatitos graníticos. Os únicos fluidos participantes na formação destes são os do tipo residual, gerados a partir da própria fusão pegmatítica em cristalização (erný 1982b).

Para London (1986;1992), o arcabouço do modelo de consolidação de pegmatitos de Jahns & Burnham (1969), acarreta cristalização de líquidos silicáticos graníticos, coexistindo com fluido aquoso salino, comparativamente de baixa densidade, com componentes aluminossilicatos não dissolvidos.

Segundo erný (1991a), como processos de posicionamento e consolidação, há quatro idéias formuladas: (1) cristalização em uma câmara essencialmente fechada em um sistema fechado ou

restrito, (2) deposição de fluidos escoando através de canais em sistema aberto, (3) recristalização e/ou metassomatismo de precursores não pegmatíticos, (4) combinações de um ou outro dos mecanismos acima, com substituições metassomáticas por fluidos gerados dentro do pegmatito ou introduzidos de uma fonte externa.

Do exposto acima, parece haver um consenso entre os autores com relação a duas fases evolutivas. Na fase inicial (estágio magmático), ocorre o posicionamento da fusão silicatada e a cristalização das unidades primárias. As paragêneses primárias, geradas no estágio magmático, são atacadas por soluções na fase tardia (estágio hidrotermal), levando a sucessivas substituições e à cristalização do material residual em unidades tardias, corpos de substituição, preenchimentos de fratura e bolsões. Todo o processo de cristalização dos pegmatitos residuais, isto é, derivados de granitos intrusivos, ocorre em sistema fechado, isto é, com troca mínima de substâncias restrita ao contato imediato do pegmatito com as rochas encaixantes.

CAPÍTULO III ó GEOLOGIA REGIONAL

III.1 ó Introdução

A região de interesse está situada na Folha ó SE.246Y6A6V6 Itabirinha de Mantena, que é parte integrante do Projeto Leste desenvolvido pelo convênio Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Estado de Minas e Energia e Companhia Mineradora de Minas Gerais (CPRM/SEME/COMIG), onde são apresentados os dados geológicos (Figura 5) mais atualizados sobre a região focalizada (Pinto *coord.* 2001).

III.2 ó Estratigrafia

A coluna litoestratigráfica, proposta para a Folha Itabirinha de Mantena, consta de oito conjuntos de domínios litológicos predominantes na região (Tabela 3).

Neste tópico, são descritas as unidades presentes na área onde se encontram os corpos pegmatíticos amostrados.

III.2.1 ó Grupo Rio Doce

O Grupo Rio Doce está representado na região de interesse com a Formação São Tomé, na qual estão encaixados os corpos pegmatíticos amostrados.

III.2.1.1 ó Formação São Tomé

Barbosa & Grossi Sad (1964) utilizaram a denominação Formação São Tomé ou Xistos São Tomé para os metassedimentos aflorantes no Médio Rio Doce, entre os municípios de Galiléia e Conselheiro Pena.

Fanton *et al.* (1978) adotaram a mesma denominação de Barbosa & Grossi Sad (1964) para os biotita xistos e quartzóbiotita xistos, dos arredores de Galiléia.

O Xisto São Tomé é um biotitaóquartzó xisto granatífero, localmente enriquecido em estauroлита, muscovita e/ou sillimanita. Os acessórios mais comuns são almandina, estauroлита, plagioclásio, schorl e zircão. Localmente, o quartzó predomina sobre as micas, em bancos de quartzó micáceo de 2 a 3m de espessura. Nas áreas próximas aos contatos com rochas graníticas, é frequente a presença de veios de quartzó, quartzóófeldspáticos, aplitos e pegmatitos, que se associam ao aparecimento de fenômenos metassomáticos de turmalinização, feldspatização e muscovitização nas encaixantes (Moura *et al* 1997).

Segundo Pinto (*coord.* 2001) a Formação São Tomé se estende pela área situada a oeste da Folha Itabirinha de Mantena, onde predominam quartzóóbiotitaógranadaó sillimanitaó estauroлита xistos; quartzóóbiotita xistos e quartzóó muscovitaó turmalina xistos, ocorrendo bolsões de rochas

calcissilicáticas, às vezes conformando dobras. As direções estruturais, segundo N60°W e N40°W, são marcantes a norte do distrito de Linópolis, ocorrendo também as direções N40°E e N60°E nas imediações de Mendes Pimentel.

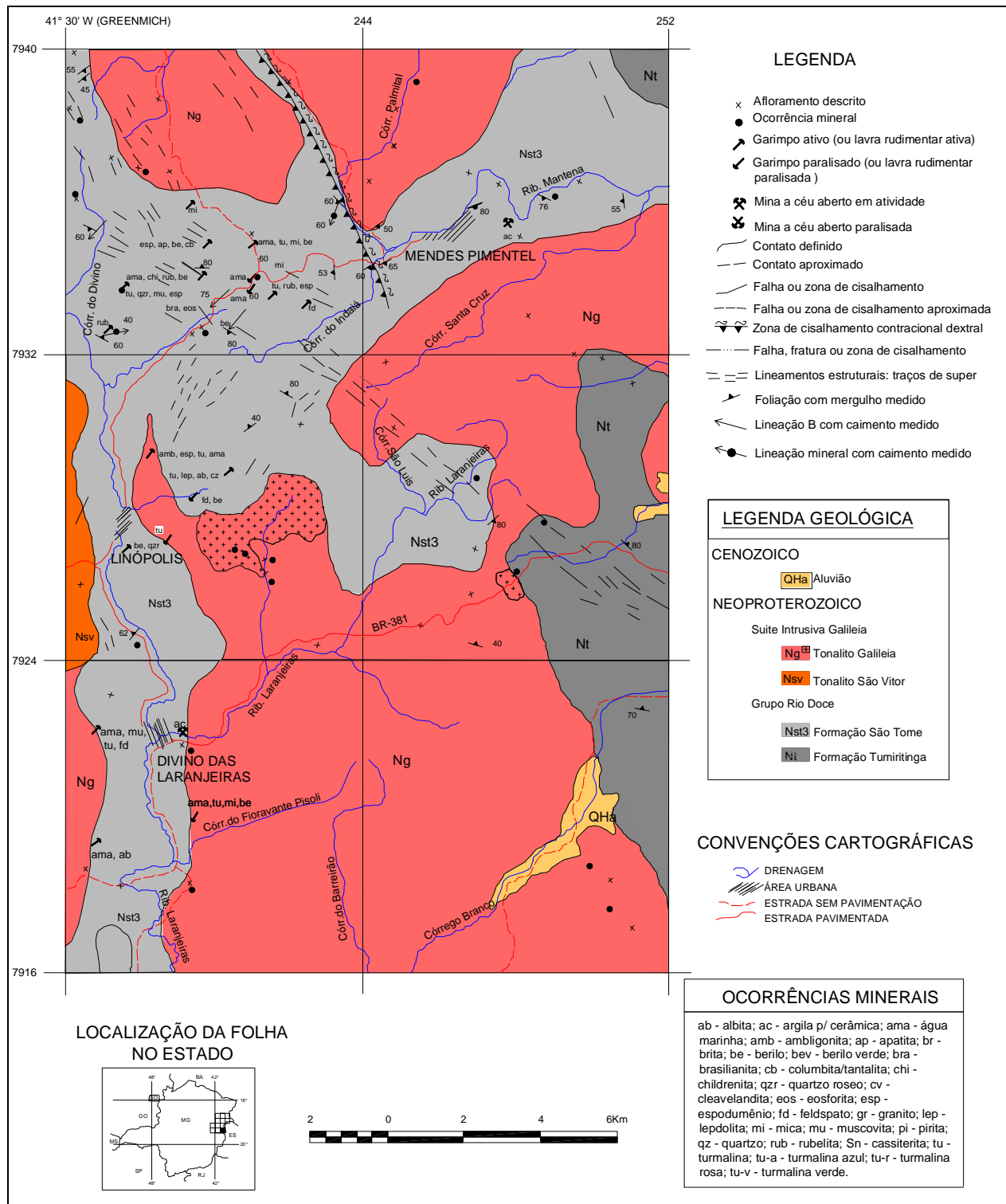


Figura 5 ó Mapa geológico da região de Divino das Laranjeiras ó Mendes Pimentel (simplificado da Folha ó SE.24-Y-A-V- Itabirinha de Mantena, segundo Pinto coord. 2001)

Tabela 3 ó Coluna litoestratigráfica para a Folha ó SE.246Y6A6V ó Itabirinha de Mantena, segundo Pinto coord. 2001.

FANEROZÓICO	CENOZOICO	QUATERNÁRIO	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">QHa</div> Aluviões		
	MESOZÓICO	JURÁSSICO	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Jbs</div> Dique de Basalto		
	PALEOZÓICO	EOCAMBRIANO	Granito Pós-Tectónico <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">eEl</div> Granito Laranjeiras Granitos Tardi- a Pós-Tectónicos Suíte Intrusiva Aimorés <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-start;"> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">eEc</div> Granito Caladão </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">eEcpp</div> Charnockito Padre Paraíso </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">eEp</div> Granodiorito Palmital </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">eEu</div> Granito Urucum </div> <div style="text-align: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">eEr</div> Granito do Rapa </div> </div>		
PROTEROZÓICO	NEOPROTEROZÓICO	FAIXA MÓVEL			
		Domínio Ocidental	Domínio Oriental		
		Granitos Sin- a Tarditectónicos			
		Suíte Intrusiva Galiléia			
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Nbv</div> Granodiorito Boa Vista <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Ng</div> Tonalito Galiléia		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Nf</div> Tonalito Floresta <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Nsv</div> Tonalito São Vitor			
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Na</div> Granito Ataléia		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Npb</div> Granodiorito Pedra Boneca			
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Ncc</div> Leucogranito Carlos Chagas		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Nn</div> Granito Nanuque			
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Nst3</div> Formação São Tomé Unidade 3		<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Nt</div> Formação Tumiritinga			
Grupo Gnáissico-Kinzigitico <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block; margin: 0 auto;">Nkz</div> Gnaisse Kinzigítico					

O Xisto São Tomé é intrudido pelo Tonalito Galiléia, Granodiorito Palmital e pelo Granito Urucum (Barbosa & Grossi Sad 1964). Nalini Jr. (1997) observa que os xistos também ocorrem como xenólitos, exibindo orientação, nos granitóides dos batólitos Urucum e Galiléia.

III.2.2 ó Suíte intrusiva Galiléia

Barbosa & Grossi Sad (1964) denominaram Tonalito Galiléia a um batólito de composição tonalíticaógranodiorítica, diorítica a quartzodiorítica e granítica, geralmente de granulação média,

rica em enclaves microgranulares (autólitos) e diques intrusivos. O Tonalito Galiléia é intrusivo em todas as formações metassedimentares da região. Moura *et al.* (1978) cartografaram as unidades Tonalito Galiléia e Granodiorito Palmital, sem, no entanto, individualizá-las.

Segundo Nalini Jr. *et al.* (1997), as rochas dessa suíte caracterizam-se por apresentar uma granulação média a grosseira, pelas presenças de plagioclásio fortemente zonado (bytownita à oligoclásio), anfibólio do tipo hornblendaótchermarkita e de granada (almandinaógrossulária), e por conter xenólitos de biotita xisto e enclaves microgranulares a anfibólio. O Tonalito Galiléia tem caráter metaluminoso, cálcioóalcalino e idade de 594 ± 6 Ma (Nalini Jr. 1997).

Este autor subdivide a suíte Galiléia em cinco fácies, a saber: tonalito Itatiaia, tonaló granodiorito, granodiorito, granitos e microgranitos.

Bilal *et al.* (1998a) referem este plutonismo como préotectônico, caracterizado por extensas massas multidiapíricas, com idades em torno de 595 Ma.

Em contexto mais amplo, as rochas englobadas sob a denominação Galiléia fazem parte da Suíte G1, representante do arco magmático do Orógeno Araçuaí ó Oeste Congo (PedrosaóSoares & WiedemannóLeonardos, 2000; PedrosaóSoares *et al.* 2001). A Suíte G1 compreende os granitóides tipo I, gnaissificados, predominantemente tonalíticos a granodioríticos, cálcioóalcalinos, pré a sincolisionais, cujas idades variam de 597 a 575 Ma.

III.2.3 ó Suíte intrusiva Urucum

Essa unidade, primeiramente descrita por Barbosa & Grossi Sad (1964), é constituída de granito grosseiro, gnaissóide, devido à orientação das micas e pelo próprio arranjo dos fenocristais de feldspato. A matriz é constituída por quartzo, oligoclásio, biotita e muscovita. Segundo esses autores, as relações de contato entre o Granito Urucum e o Granodiorito Palmital são transicionais.

Moura *et al.* (1978) descreveram esses granitóides como uma rocha leucocrática a mesocrática, róseaóesbranquiçada a cinza claro, porfirítica de matriz fina, na qual os fenocristais de oligoclásio e microclínio representam 30 a 80% do volume.

Segundo Nalini Jr. *et al.* (1997) essa suíte caracteriza-se por apresentar granitos a duas micas e alaskitos, com granulação grosseira, constituída por fenocristais de ortoclásio e pela presença de minerais acessórios dos grupos das turmalinas, granadas (almandinaóespessartita) e também pela presença de xenólitos de biotita xisto. Os leucogranitos da suíte Urucum são constituídos por quatro fácies principais: fácies Urucum (com megacristais de feldspato potássico), fácies Palmital (grão médio a grosseiro), fácies à turmalina e os granitos pegmatóides.

Bilal *et al.* (1998b) atribuíram a essa suíte um caráter sintectônico, evidenciado pela foliação magmática paralela ao plano axial da foliação regional com atitude $N10630^{\circ}W/55675^{\circ}SW$. Esses autores encontraram idades em torno de 582Ma, obtidas pelo método U/Pb em zircões.

Em contexto mais amplo, as rochas englobadas sob as denominações Urucum e Palmital pertencem à Suíte G2, representante do núcleo anatético do Orógeno Araçuaí ó Oeste Congo (PedrosaóSoares & WiedemannóLeonardos, 2000; PedrosaóSoares *et al.* 2001). A Suíte G2 compreende os granitóides tipo S, gnaissificados, graníticos a granodioríticos, peraluminosos, sincolisionais, cujas idades variam de 591 a 570 Ma.

III.3 ó Tectônica e metamorfismo

Em termos deformacionais, Pinto *coord.* (2001) identificam na Folha Itabirinha de Mantena uma fase precoce (Dnó1), representada por um bandamento metamórfico préótransposição, preservado em forma de dobras (meso e micro) sem raízes, transposta por uma foliação de alto ângulo, presente na sequência de gnaisses aluminosos. A esta deformação, sobrepõeóse uma fase tangencial (Dn), acompanhada de metamorfismo regional e migmatização, que é evidenciada pelas zonas de cisalhamento tangenciais brasileiras. Associadas a essa fase (Dn), ocorrem transcorrências, acompanhadas de metamorfismo regional, evidenciadas pelas extensas zonas de cisalhamento, transcorrentes de direção N15°ó20°W com empurrões e dobramentos associados, desenvolvimento de faixas miloníticas, protomiloníticas e foliação de alto ângulo, que afetaram rochas da Formação São Tomé, Formação Tumiritinga, Gnaiss Kinzigítico e intrusivas da fase Dn.

A região de Galiléia ó Conselheiro Pena foi afetada pelos eventos orogênicos Transamazônico e Brasileiro. O primeiro, de idade Proterozóica Inferior (2.200 ó 1.800Ma), está representado nas rochas do embasamento (Complexos Juiz de Fora e Pocrane). O evento Brasileiro (900 ó 500Ma) é representado por metamorfismo de fácies anfibolito (estauroлита+granada±sillimanita), observado nas rochas da formação São Tomé, por diferentes fases de deformação e pelas intrusões Galiléia e Urucum (Nalini Jr. 1997).

Nalini Jr. *et al.* (1998) reconhecem duas fases de deformação (D1 e D2) que afetaram a sequência supracrustal do Grupo Rio Doce. A fase D1, associada a zonas de cisalhamento subó verticais, foi responsável por uma foliação de direção N10° ó 30°W com ângulo de mergulho médio a alto e por uma lineação mineral oblíqua. Esta fase afetou as rochas supracrustais, os granitos préó tectônicos, e controlou o alojamento dos granitóides sinó tectônicos. A segunda fase (D2) caracterizaóse por uma clivagem de crenulação, boudinagens e falhas normais associadas a uma fase extensiva tardió a pósóorogênica.

CAPÍTULO IV 6 DISTRIBUIÇÃO REGIONAL DOS PEGMATITOS

Os pegmatitos graníticos podem ser agrupados em populações definidas. Geólogos soviéticos e canadenses, baseados no enquadramento geológico e geotectônico na área e no estudo sistemático de corpos individuais, adotam termos hierárquicos para agrupar pegmatitos com diferentes graus de semelhança. Uma hierarquia de quatro categorias é proposta:

Províncias → Distritos → Campos → Grupos.

Correia Neves *et al.* (1997, 1986) estabeleceram as ligações entre a morfologia, mineralogia e geoquímica dos corpos pegmatíticos e seu enquadramento geológico e propuseram uma subdivisão da Província Pegmatítica Oriental (Paiva 1946) em Minas Gerais. Trabalhos posteriores de PedrosaóSoares *et al.* (1990; 1994), Lobato & PedrosaóSoares (1993), Marciano (1992), Castañeda (1997) prosseguiram com o objetivo de uma caracterização sistemática de corpos pegmatíticos, adotando a sistemática de erný (1982a), para subdividir a província em agrupamentos pegmatíticos menores (Tabela 4).

O mapeamento geológico e o cadastramento mineral da porção leste do Estado de Minas Gerais que vem sendo executado pela CPRM, das informações obtidas, em particular para pegmatitos, favoreceram a identificação de 21 Campos e 7 Distritos Pegmatíticos nesta porção da Província Pegmatítica Oriental. Esta subdivisão foi determinada usando-se critérios geológicos e de distribuição geográfica (Netto *et al.* 1999). São os seguintes distritos pegmatíticos:

- a) Distrito São José da Safira
- b) Distrito Conselheiro Pena
- c) Distrito Araçuaí
- d) Distrito Padre Paraíso
- e) Distrito Ataléia
- f) Distrito Santa Maria de Itabira
- g) Distrito Caratinga ó Vargem Alegre

Morteani *et al.* (2000) executaram estudos na Província Pegmatítica Oriental, no sentido de complementar as informações obtidas por Correia Neves *et al.* (1997, 1986), quanto ao seu potencial metalogenético, e obedecem as subdivisões propostas para os diferentes distritos pegmatíticos.

Segundo Bilal *et al.* (2000) os pegmatitos do sudeste do Brasil podem ser classificados em dois grupos, denominados: (i) pegmatitos zonados portadores de Li e ricos em turmalina de qualidade gema; e (ii) pegmatitos simples cerâmicos, portadores de berilo, algumas vezes de qualidade gema.

Tabela 4 ó Subdivisões da Província Pegmatítica Oriental em Minas Gerais e suas principais características segundo síntese de PedrosaóSoares *et al* (1994), modificado por Castañeda (1997).

DISTRITOS	CAMPOS	ESPECIALIZAÇÃO	ENCAIXANTES	GRANITOS ASSOCIADOS
ARAÇUAÍ	Coronel Murtaó Virgem da Lapaó Rubelita	Elementos rarosó muscovita; berilíferoó turmalinífero.	Xistos e quartzitos das Formações Salinas e Chapada Acauã metamorfismo estauroлитаó cianitaó sillimanita.	Alcalinos, potássicos, por fusão crustal ("S"), tardi a pós tectônicos, brasileiros.
	Itinga	Elementos raros; estanífero, litinífero.	Xistos da Formação Salinas, metamorfismo andaluzitaó sillimanita.	Idem (posicionamento mais raso).
	Ribeirão da Folha	Elementos raros/muscovita; turmalinífero.	Rochas metaóultramáficas, xistos da Fm. Salinas, metamorfismo estauroлитаó cianitaó sillimanita	Similares aos de Coronel Murta.
	Capelinhaó Malacacheta	Muscovita?;berilíferos (Alexandrita).	Xistos, quartzitos e gnaisses da Fm Salinas, metamorfismo cianitaó sillimanita	Similares aos de Coronel Murta.
GOVERNADOR VALADARES	Galiléiaó Conselheiro Pena	Elementos raros/muscovita; berilíferoó turmalinífero.	Xistos da Fm São Tomé, quartzitos, metamorfismo cianitaó sillimanita.	Granitos brasileiros tipo "S" da suíte Urucum.
	São José da Safira	Elementos raros/muscovita;berilife- roó turmalinífero.	Quartzitos e biotitaó gnaisses	Nenhum?
	Marilac	Muscovita?;/berilíferos.	Gnaisses, migmatitos, xistos.	Nenhum?
SANTA MARIA DE ITABIRA	Guanhãesó Sabinópolis	Muscovitaócerâmicos.	Gnaisses e granitóides do Complexo Guanhães.	Nenhum
	Ferrosó Antônio Dias	Muscovita?berilíferos (esmeralda e alexandrita)	Xistos ultramáficos, gnaisses.	Nenhum
CAPARAÓ	indiviso	Abissal	Gnaisses de alto grau e granulitos.	Nenhum
JUIZ DE FORA	Bicasó Mar de Espanha	Abissal	Gnaisses de alto grau e granulitos.	Nenhum
	Paraíba do Sul	Abissal	Idem	Nenhum

Neste trabalho a classificação adotada para o posicionamento dos corpos pegmatíticos amostrados segue aquela estabelecida por Correia Neves *et al.* (1997, 1986) e PedrosaóSoares *et al.* (1994), embora algumas subdivisões propostas por Netto *et al.* (1999) sejam utilizadas por limitarem geograficamente a posição dos corpos estudados no interior dos distritos.

IV.1 ó O Distrito Pegmatítico de Governador Valadares

O distrito de Governador Valadares está subdividido em três campos, sendo o campo de GaliléiaóConselheiro Pena, aquele no qual os pegmatitos amostrados estão situados, e sobre o qual concentraremos as nossas atenções, devido a sua importância como fonte de matériaóprima para as indústrias cerâmicas e de vidros.

IV.1.1 ó O Campo Pegmatítico de GaliléiaóConselheiro Pena

Este campo pegmatítico (Correia Neves *et al.* 1986) recebeu a denominação de Distrito de Conselheiro Pena por Netto *et al.* (1999) e foi subdividido nos campos pegmatíticos de Itatiaiaó Barra do Cuité, AlvarengaóItanhomi, Resplendor, Goiabeira e GaliléiaóMendes Pimentel.

A região de Galiléia ó Mendes Pimentel (Fanton *et al.* 1978) foi objeto de extensivos estudos efetuados por parte do corpo técnico da METAMIG, que desenvolveu trabalhos de pesquisa em pegmatitos, com ênfase em feldspato, quartzo e mica. Como resultado dessa pesquisa foi implantada uma central de beneficiamento e comercialização, em Governador Valadares, cujo principal produto é o feldspato.

Neste campo pegmatítico, cerca de 87,5% dos pegmatitos com interesse econômico estão encaixados nos micaxistos São Tomé, enquanto os outros 12,5% encontramóse em granitos (Fanton *et al.* 1978). Em sua maioria, os pegmatitos estão encaixados de forma concordante com a xistosidade, predominantemente orientada N6S, embora varie entre N20°E e N20°W (Moura *et al.* 1978).

Os pegmatitos deste campo, quando encaixados nos micaxistos, são geralmente médios a grandes (classificação simplificada de Cameron *et al.* 1949, por Moura *et al.* 1978 e Issa Filho *et al.* 1980) e lenticulares, exibindo junto ao contato feições de turmalinização, feldspatização e muscovitização (Moura *et al.* 1978). Quando encaixados em rochas graníticas preenchem fraturas com espessuras decimétricas até poucos metros, além de estreitas ramificações (Netto *et al.* 1999).

A associação mineral desses pegmatitos é muito variada, além dos minerais industriais, algumas gemas são produzidas nesse campo, como turmalinas, morganita (berilo), kunzita (espodumênio) e brasilianita. O volume dos pegmatitos, de médio a grande porte, viabiliza a lavra para feldspato potássico e albita, os minerais industriais de maior importância econômica.

Os pegmatitos estudados na região de Linópolis estão distribuídos pelo Campo de Galiléiaó Mendes Pimentel (Netto *et al.* 1999). Esta região se caracteriza pela presença de grande variedade de minerais fosfáticos (Scholz *et al.* 2000; Bilal *et al.* 1998a; Cassedanne, 1983). A exploração destes corpos é bastante rudimentar e visa a produção de feldspatos (õpedra louçaõ), mica/berilo industrial, pedras coradas (gemas) e minerais de coleção (Ribeiro 1996).

CAPÍTULO V 6 GEOLOGIA DOS CORPOS PEGMATÍTICOS AMOSTRADOS

V.1 6 Geologia local

Os pegmatitos amostrados estão localizados nos arredores do distrito de Linópolis (Figura 1). A região caracteriza-se geomorfologicamente por um relevo ressaltado por diversos padrões de dissecação. Os vales são abertos, separados por morros e extensas planícies aluviais, entretanto, a topografia também mostra alguns ôpãesódeóáçúcarö de rochas granitóides que adquirem formas dômicas. O xisto São Tomé apresenta algumas escarpas elevadas e íngremes, geralmente alinhadas.

O clima é seco no inverno e úmido na estação chuvosa, quando a taxa de precipitação aumenta consideravelmente. O principal curso d'água da região é o córrego do Divino, para onde escoam as demais drenagens exibindo um padrão de distribuição do tipo dendrítico.

Na área de interesse desta dissertação ocorrem a Formação São Tomé, o Tonalito Galiléia e o Granodiorito Palmital (ver Cap. III).

Os pegmatitos estão encaixados, em sua maioria, em biotita xisto da Formação São Tomé, como corpos geralmente concordantes com a foliação, ora subóhorizontal ora subóvertical e em menor escala em rochas graníticas, Tonalito Galiléia e Granodiorito Palmital, preenchendo fraturas. Nos micaxistos, são geralmente médios a grandes e lenticulares, exibindo junto ao contato feições como turmalinização, feldspatização e muscovitização. Em alguns pontos o material pegmatítico aparece englobando o xisto (lavra do Ácio). Os pegmatitos encaixados nas rochas graníticas, em sua grande maioria, preenchem fraturas com espessuras decimétricas até poucos metros (Pinto *coord.* 2001).

V.2 6 Descrição dos pegmatitos

Os pegmatitos amostrados (Tabela 5) são classificados como ricos em elementos raros (classificação de erný 1991a,b), estão encaixados nos micaxistos da Formação São Tomé e são paralelos à xistosidade. São, em geral, tabulares a lenticulares, de espessura decamétrica e zonados. Nalini Jr. (1997) observou o estilo estrutural de pegmatitos dessa região e os identificou como dobrados, boudinados e falhados, o que sugere que eles foram deformados durante, e/ou após, o seu alojamento.

Os pegmatitos estudados estão todos em franca atividade de lavra e respondem pela produção de feldspato e albita para uso industrial. Além dos minerais industriais, algumas gemas são extraídas nesse campo, como turmalinas e brasilianita. Na região de Linópolis, são famosos os fosfatos secundários como beraunita, childrenita, dufrenita, fluorapatita, frondelita, jahnsita, roscherita, sabugalita, scorzalita, souzalita, strunzita, tapiolita e wyleita (Cassedanne 1983; Bilal 2000; Scholz *et al.* 2000).

Tabela 5 ó Características dos pegmatitos onde foram coletadas amostras de feldspatos potássicos pertíticos.

Lavra (Coordenadas UTM)	Encaixante	Atitude	Forma	Tamanho	Zonas	Mineralogia
Confusão (Luiz I) 0238413 7929583	Xisto São Tomé	280/35	Lenticular	Médio	Marginal Mural Intermédia Núcleo	Quartzo, feldspato potássico, muscovita, biotita e turmalina negra Feldspato gráfico Feldspato pertítico, quartzo turmalina negra em cristais centimétricos e muscovita Quartzo
Cristalão (Luiz II) 0239336 7929522	Xisto São Tomé	310/35	Lenticular	Médio	Marginal Mural Intermédia Núcleo	Quartzo, feldspato potássico, muscovita e turmalina negra Feldspato gráfico Feldspato pertítico, quartzo, turmalina negra em cristais centimétricos e muscovita Quartzo
Ácio 0239254 7930478	Xisto São Tomé	275/55	Lenticular	Grande	Marginal Mural Intermédia Núcleo	Quartzo, feldspato potássico, muscovita e turmalina negra Feldspato gráfico e turmalina negra Feldspato pertítico, quartzo, muscovita e turmalina negra Quartzo

CAPÍTULO VI – MINERALOGIA DOS FELDSPATOS

VI.1 – Introdução

Os feldspatos compreendem um importante grupo de minerais de ampla ocorrência na natureza. Características deste grupo de minerais são as séries de soluções sólidas, isto é, uma única fase cristalina, cuja composição química pode variar entre limites finitos, que são chamados termos extremos.

Quimicamente, a maioria dos feldspatos pode ser classificada como membros do sistema ternário $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – KAlSi_3O_8 – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Estas composições são denominadas feldspato de sódio, de potássio e de cálcio, respectivamente. Os termos da série compreendida entre $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ e KAlSi_3O_8 são chamados feldspatos alcalinos, e os compreendidos entre $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ e $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ são os plagioclásios (Klein & Hurlbut Jr.1993; Deer *et al.* 1966). A albita (Ab) e o ortoclásio (Or) mostram um amplo intervalo de imiscibilidade para temperaturas inferiores a aproximadamente 650°C e uma extensa região de solução sólida acima desta temperatura. A taxa de resfriamento pode ser o fator essencial na determinação da fase preservada no produto resfriado (Figura 6).

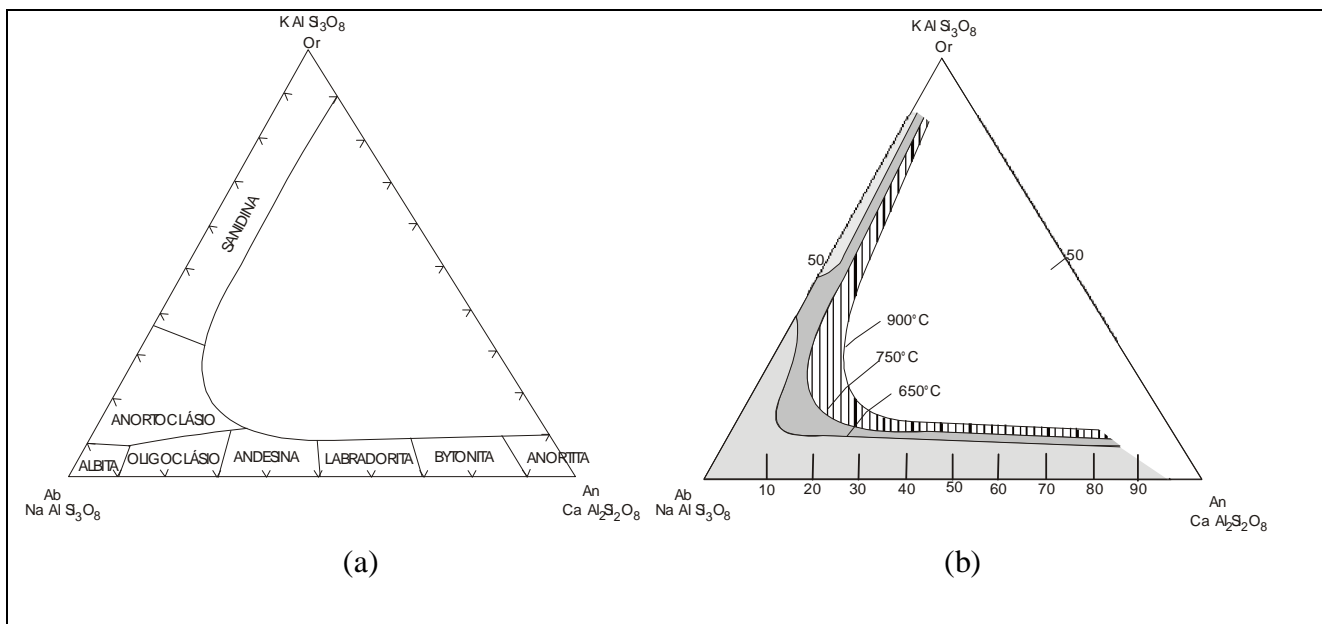


Figura 6 (a) O sistema ternário KAlSi_3O_8 – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ – $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ilustrando a nomenclatura dos plagioclásios e dos feldspatos alcalinos de alta temperatura (Deer *et al.* 1966). (b) Extensão da solução sólida no sistema Or–Ab–An para $P_{\text{H}_2\text{O}}=1.000\text{bares}$ como determinado experimentalmente por Seck (Ribbe 1983).

A temperaturas acima de 700°C , há uma solução sólida completa entre o ortoclásio (Or) e a albita (Ab). Os minerais envolvidos têm composições variando entre a do feldspato potássico puro e a do feldspato sódico puro. A altas temperaturas, existe também solução sólida completa entre os termos extremos albita (Ab) e anortita (An). Estes minerais são denominados plagioclásios. A série

dos plagioclásios é designada em termos das frações dos componentes albítico (Ab) e anortítico (An) existentes em cada mineral intermediário, uma vez que Ab mais An devem sempre somar 100. Nas séries alcalinas os nomes dos feldspatos estão relacionados, não só com o seu estado estrutural, mas também com sua composição química. A temperaturas mais baixas, os membros intermediários da série são constituídos por íntimo intercrescimento de feldspatos ricos em Na e feldspatos ricos em K; este intercrescimento recebe o nome genérico de pertita. As fases exsolvidas podem ocorrer como filetes, vênulas, barras, gotículas, formas interligadas, ou outras formas. O tamanho da fase exsolvida tende a aumentar com a diminuição da temperatura (Gaines 1997; Deer *et al.* 1966).

VI.2 ó Cristaloquímica dos feldspatos

Os feldspatos são aluminossilicatos cuja estrutura é composta por tetraedros AlO_4 compartilhando vértices com tetraedros SiO_4 , unidos em um arranjo tridimensional (Figura 7). Os cátions **M**, com raios maiores que $1,0\text{Å}$, ocupam grandes cavidades irregulares em um esqueleto tetraédrico. A fórmula geral MT_4O_8 caracteriza seu quimismo, onde **T** é Al ou Si. O sitio **M** é ocupado por um cátion divalente Ca ou Ba para $Al_2Si_2O_8$, nos feldspatos alcalinoó terrosos, e um cátion monovalente Na ou K para $AlSi_3O_8$ nos feldspatos alcalinos, constituindo séries de solução sólida. Substitutos menores (traços) no poliedro irregular, em posição **M**, são Sr^{+2} , Rb^{+1} , Cs^{+1} , Pb^{+2} , Eu^{+2} , e outros elementos terras raras, Fe^{+2} e eventualmente Mg^{+2} (Smith & Brown 1988; Ribbe 1983).

A estrutura dos polimorfos de $KAlSi_3O_8$ pode ser descrita como variações da estrutura da sanidina de alta temperatura ($900^\circ\text{a}1.000^\circ\text{C}$). A sanidina tem grupo espacial $C2/m$ e cada cela unitária contém $4(KAlSi_3O_8)$ unidades de fórmula. Os 16 átomos de Si e Al são distribuídos aleatoriamente na cela unitária, em dois sítios tetraédricos cristalograficamente distintos, T_1 e T_2 . Os quatro átomos de potássio ocupam posições especiais em planos de simetria perpendiculares a b (Figura 7b). Os 32 átomos de oxigênio estão localizados em posições especiais (quatro em eixos binários de rotação, e quatro em planos de simetria) e posições gerais (Putnis 1992; Smith & Brown 1988; Ribbe 1983; Papike & Cameron 1976; Correia Neves 1981).

Estruturas polimórficas de baixa temperatura diferem daquela da sanidina, principalmente no grau de ordenamento Si ó Al. Concentrações de Al em sítios tetraédricos particulares resultam na perda de um eixo binário de rotação e um plano de simetria, com uma concomitante transição de simetria monoclínica para triclínica. Os dois sítios tetraédricos da fase monoclínica tornamóse quatro sítios tetraédricos simetricamente distintos, T_{10} , T_{1m} , T_{20} e T_{2m} (Putnis 1992; Smith & Brown 1988; Ribbe 1983).

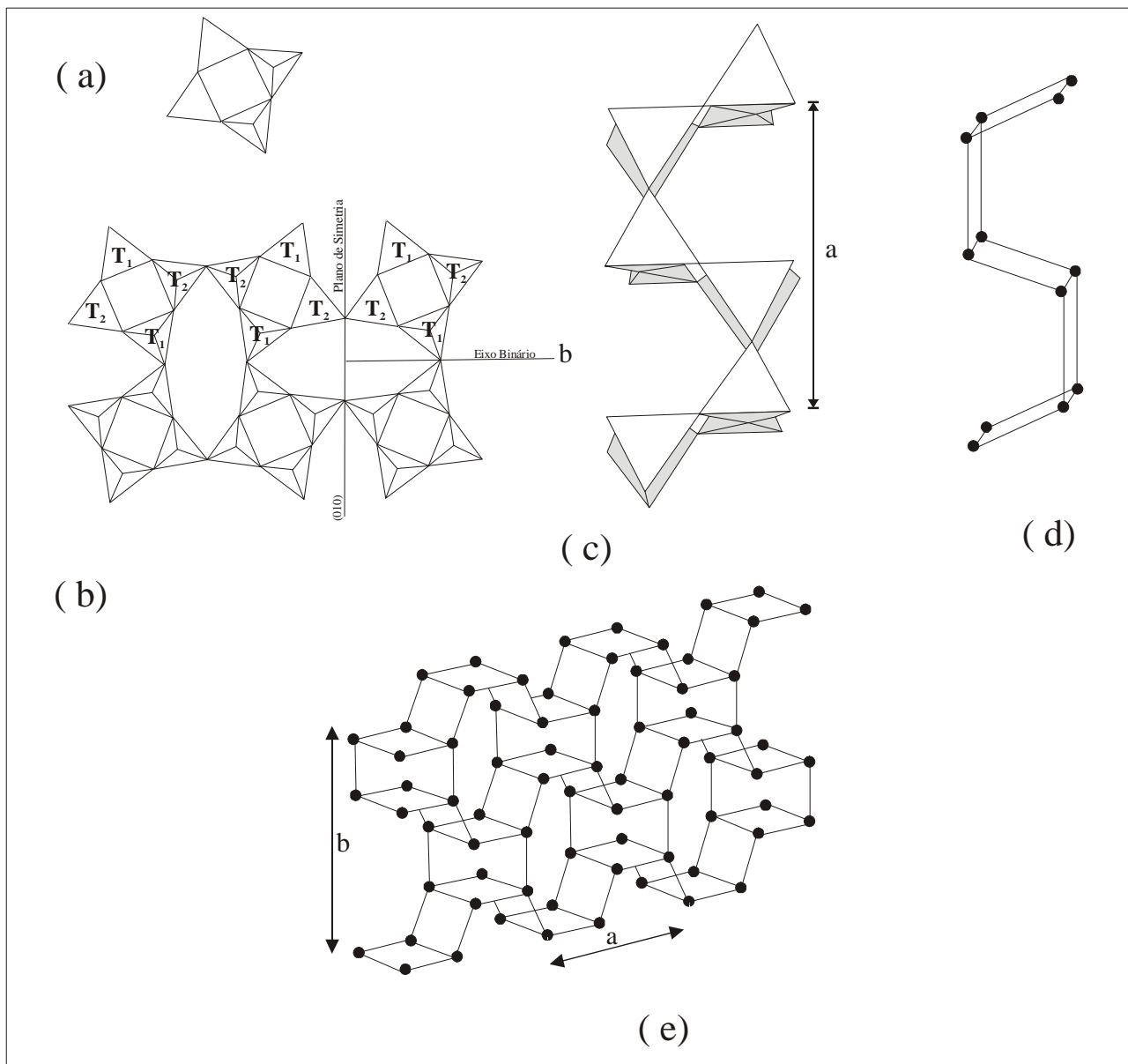


Figura 7 ó (a) A unidade básica de construção da estrutura dos feldspatos são anéis de quatro membros de tetraedros com um par de tetraedros apontando para cima e um par apontando para baixo. (b) Os anéis quaternários são unidos para formar uma camada, na qual estão relacionados por um plano de simetria paralelo a (010). Dois conjuntos de tetraedros individuais são distinguíveis nestas camadas, e são denominados T_1 e T_2 . Os tetraedros T_1 estão todos relacionados uns aos outros por simetria, assim como estão os tetraedros T_2 . Cátions ocupam grandes cavidades entre os anéis. (c) Os anéis em uma camada estão ligados por seus ápices a anéis nas camadas acima e abaixo, formando uma cadeia. (d) A cadeia exhibe somente os átomos de Si no centro dos tetraedros. (e) Vista em perspectiva da estrutura dos feldspatos (Putnis 1992; Smith & Brown 1988; Ribbe 1983).

O Al^{3+} tem tendência a ocupar preferencialmente as posições T_{1m} e T_{1o} , o que faz, portanto, que a probabilidade de encontrar o Al^{3+} nas duas posições T_1 seja superior a 0,5. Isto pode ocorrer sem que o feldspato perca a sua simetria $C2/m$. Estas estruturas correspondem ao mineral ortoclásio, que equivale à sanidina de baixa temperatura (600° a $700^{\circ}C$). Com o abaixamento da temperatura, a posição T_{1o} passa a ser a preferida e o feldspato potássico tende a possuir uma estrutura ordenada que é típica da espécie mineral microclínio. Forçosamente nestas condições a

simetria baixa para triclínica (C1). No caso da máxima ordenação, o Al^{3+} ocupa sempre a posição T_{10} , e a probabilidade de o encontrar nas outras posições é nula (Smith & Brown 1988; Ribbe 1983).

Em síntese, os dois estados estruturais extremos de feldspatos potássicos (KAlSi_3O_8) são (1) sanidina de alta temperatura ($900^\circ\text{a}1.000^\circ\text{C}$) que é monoclínica e tem uma distribuição SiOAl completamente desordenada e (2) microclínio de baixa temperatura ($300^\circ\text{a}400^\circ\text{C}$) que é triclínico e tem uma disposição ordenada de SiOAl . O microclínio é, portanto, polimorfo triclínico que mostra máximo desvio da simetria monoclínica. O polimorfo monoclínico, que cristaliza a temperatura intermediária e tem distribuição parcialmente ordenada de SiOAl , é chamado ortoclásio. A transição monoclínicoótriclínico aparentemente acontece entre 300°C e 500°C (Papike & Cameron 1976).

A completa caracterização de um feldspato requer conhecimentos da composição química e estado estrutural. O estado estrutural (distribuição do Al e Si em posições tetraédricas distintas) depende da temperatura de cristalização e da subsequente história térmica. Em geral, os feldspatos que cristalizaram a baixas temperaturas, ou que foram resfriados vagarosamente a partir de temperaturas elevadas, têm estado estrutural baixo (distribuição SiOAl altamente ordenada). Aqueles que resfriam rapidamente, cristalizando-se a elevadas temperaturas, têm estado estrutural alto (distribuição SiOAl desordenada). Existe uma continuidade de estados estruturais, cada um diferindo principalmente na distribuição de Si e Al em posições independentes nos tetraedros na estrutura cristalina (Papike & Cameron 1976).

O método da difratometria de raios X é amplamente usado para a determinação precisa dos parâmetros da cela unitária de feldspatos homogêneos, mas é menos valiosa para o estudo de intercrescimentos, porque todas as relações de orientação entre as fases são perdidas. Muitos alkalió feldspatos fornecem padrões de difração complexos, por causa da sempre presente ocorrência de geminação e exsolução (Smith & Brown 1988).

CAPÍTULO VII 6 CARACTERIZAÇÃO DOS FELDSPATOS AMOSTRADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos a partir das diversas análises efetuadas nos feldspatos potássicos pertíticos amostrados nas diferentes lavras. Os dados registrados foram considerados os mais relevantes para o entendimento do comportamento dos corpos de prova quanto aos ensaios planejados.

VII.1 6 Análises físicas

As análises físicas utilizadas na caracterização buscaram evidenciar o processo de expansão, através do aumento de volume dos corpos de prova com a queima e as consequências deste procedimento, sob o ponto de vista macroscópico e microscópico.

VII.1.1 6 Análises mineralógicas macroscópicas

As amostras de feldspatos potássicos pertíticos foram coletadas em áreas de extração situadas nas zonas intermédias externa e interna dos corpos pegmatíticos. As características principais observadas encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6 6 Propriedades físicas macroscópicas de feldspatos potássicos pertíticos amostrados nas zonas intermédias externa e interna dos pegmatitos.

Amostra	Zona Intermédia	Cor	Brilho na superfície de clivagem	Clivagem	Macropertita	Estado de alteração	Outras características
Ácio	Externa	Branco	Nacarado a resinoso	Duas, Boa	Espaçada e contínua	Médio (caulim, sericita)	Quebradiço
	Interna	Branco	Nacarado a resinoso	Duas, Boa	Espaçada e contínua	Médio (caulim, sericita)	Dendritos de Mn
Confusão	Externa	Branco	Nacarado a resinoso	Duas, Boa	Espaçada e contínua	Incipiente (caulim, sericita)	Dendritos de Mn
	Interna	Branco a creme	Nacarado a resinoso	Duas, Boa	Espaçada e contínua	Incipiente (caulim, sericita)	Dendritos de Mn
Cristalão	Externa	Branco	Nacarado a resinoso	Duas, Boa	Espaçada e contínua	Médio (caulim, sericita)	Dendritos de Mn
	Interna	Branco a cinzento	Nacarado a resinoso	Duas, Boa	Espaçada e contínua	Médio (caulim, sericita)	Quebradiço, dendritos de Mn

VII.1.2 6 Ensaios de queima

Após a preparação dos corpos de prova para a execução dos ensaios planejados (ver Cap.I e Figura 2), procedeu-se, inicialmente, a queima dos paralelepípedos às temperaturas $T_1 = 1.150^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$ e $T_3 = 1.250^{\circ}\text{C}$. Uma vez queimadas, as amostras foram novamente descritas e os resultados obtidos encontram-se listados na Tabela 7.

Observamos que, a partir da etapa de queima dos corpos de prova, os procedimentos foram registrados na forma de um documentário fotográfico (Fotografias 1, 2, 3 e 4). Ressaltamos que estas fotografias foram executadas com câmera Nikon e que pequenas diferenças nas distâncias

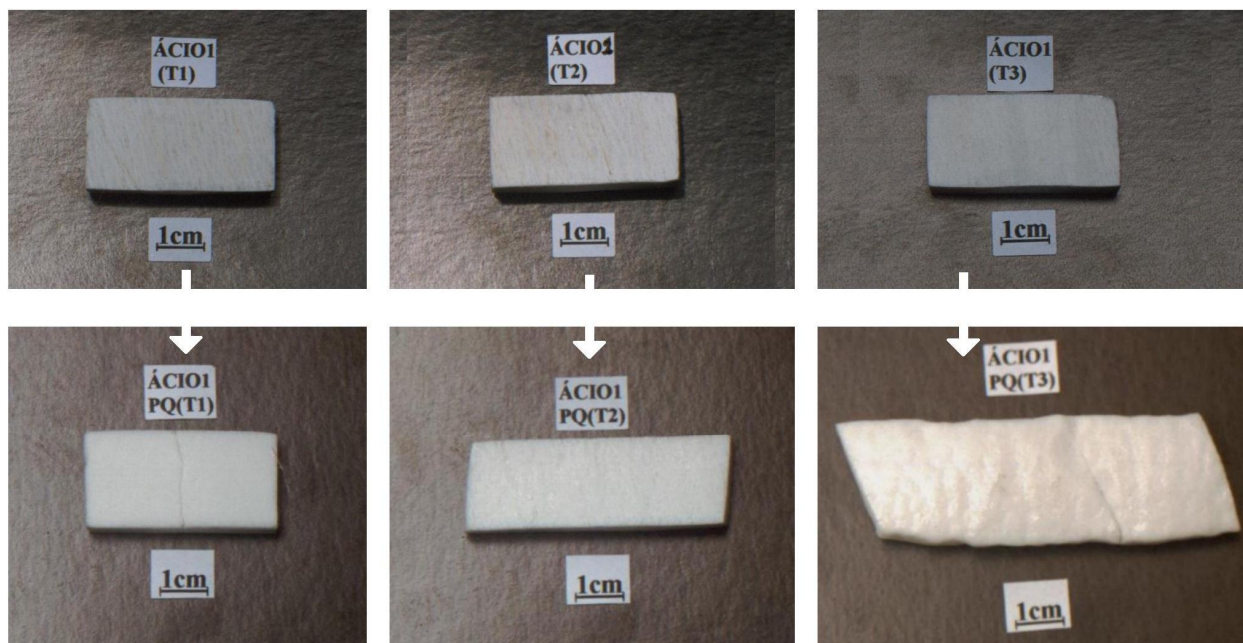
focais podem ser observadas, acarretando variações mínimas nas dimensões dos corpos de prova, porém a observação dos diferentes graus de expansão mostrados pelos corpos de prova deve ser feita levando-se em consideração a escala presente em cada fotografia exibida.

Os ensaios de queima foram executados, também, para o pó do feldspato potássico pertítico, sendo os corpos de prova confeccionados na forma de cone e submetidos apenas à temperatura de 1.250°C. Da observação das Fotografias 5 e 6, executadas com câmera Nikon, pode-se constatar os diferentes graus de expansão exibidos pelos corpos de prova. Nestes ensaios foram utilizados, também, cones de pó do mineral procedente do pegmatito Ipê, situado a NW de Governador Valadares, e considerado muito pouco expansível (Pedrosa & Soares *et al.* 1993), para que uma comparação fosse efetuada. Salientamos que cuidados devem ser tomados quanto à presença de impurezas (pontos negros) que surgem durante a queima.

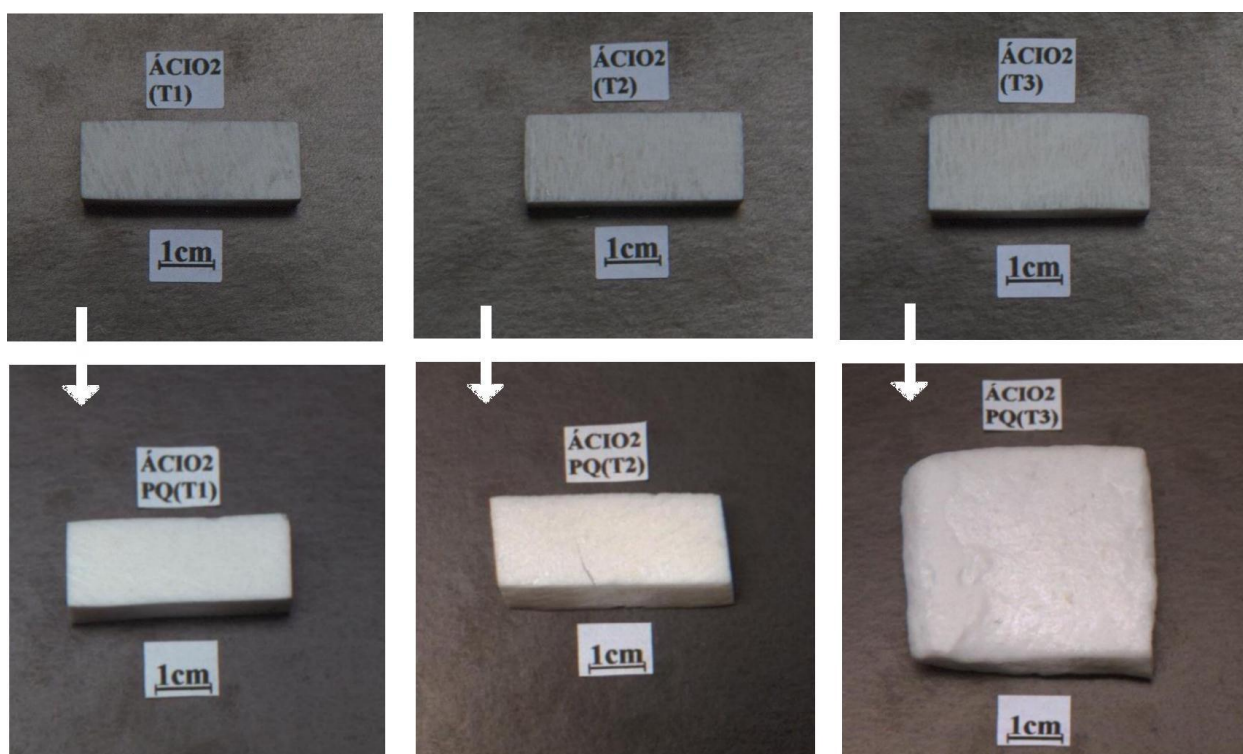
Tabela 7 ó Propriedades físicas macroscópicas dos corpos de prova queimados a diferentes temperaturas.

Corpo de Prova	Zona Intermédia	Temp. (°C)	Cor	Brilho	Pertita	Clivagem	Outras Características
ÁCIO	Externa	1.150°C	branco	vítreo	Distinta em barras finas e pouco espaçadas	desaparece	—
		1.200°C	branco	vítreo resinoso	saliente, contínua e espaçada	desaparece	Forma encurvada
		1.250°C	branco	resinoso	discreta, fina, vermiforme e descontínua	desaparece	muitas bolhas em toda a amostra
	Interna	1.150°C	branco	vítreo	distinta em barras finas, contínuas e espaçadas	desaparece	—
		1.200°C	branco	vítreo resinoso	saliente, contínua, espessa e espaçada	desaparece	forma rombóide e bolhas
		1.250°C	branco	resinoso	discreta, fina, vermiforme e descontínua	desaparece	muitas bolhas em toda a amostra
CONFUSÃO	Externa	1.150°C	branco	vítreo	distinta em barras finas, contínuas e espaçadas	desaparece	—
		1.200°C	branco	vítreo resinoso	saliente, contínua, espessa e espaçada	desaparece	forma rombóide incipiente e bolhas
		1.250°C	branco	resinoso	discreta, fina, vermiforme e descontínua	desaparece	muitas bolhas em toda a amostra
	Interna	1.150°C	branco	vítreo	distinta em barras finas, contínuas e espaçadas	desaparece	—
CRISTALÃO	Interna	1.150°C	branco	fosco	discreta, fina, contínua e pouco espaçada	desaparece	—
		1.200°C	branco	vítreo resinoso	saliente, contínua, espessa e muito espaçada	desaparece	forma rombóide incipiente e bolhas
		1.250°C	branco	resinoso	distinta, fina, vermiforme e descontínua	desaparece	muitas bolhas em toda a amostra

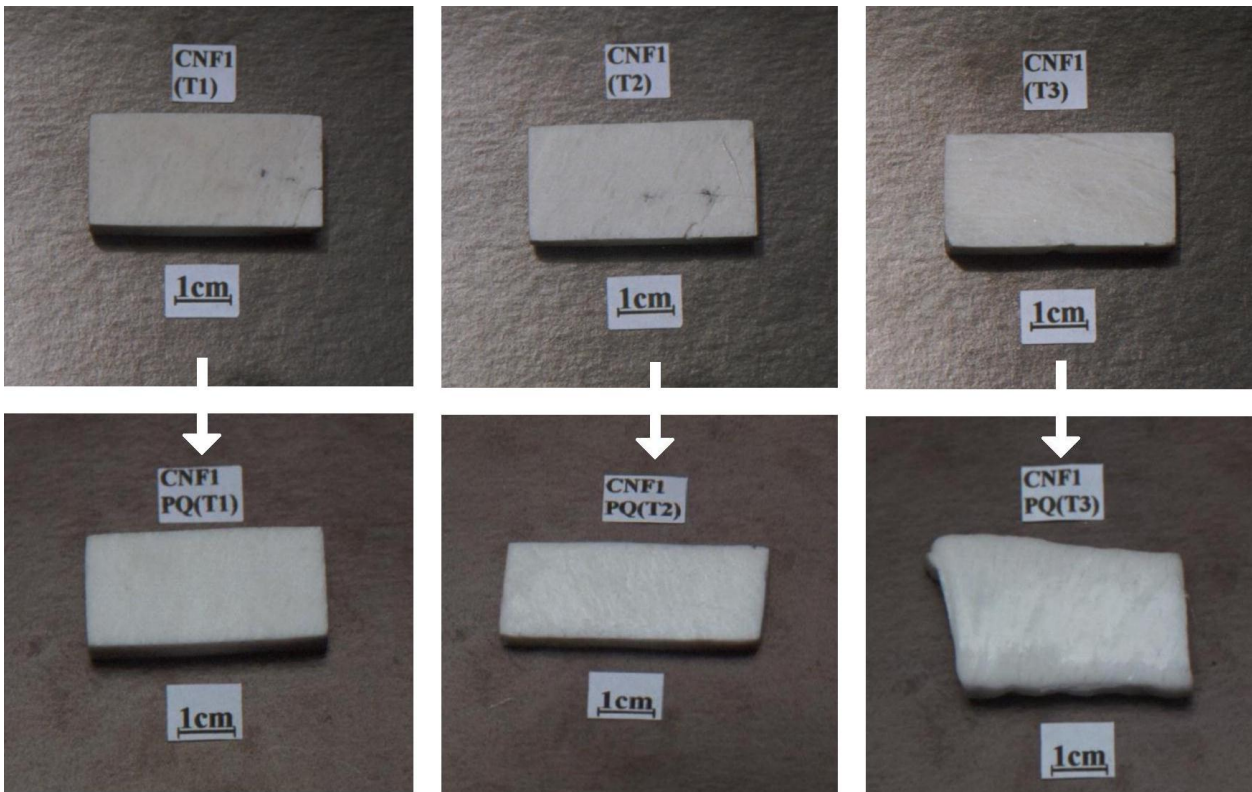
Uma vez obtidas as novas características dos corpos de prova ensaiados foi executada nova pesagem dos paralelepípedos, bem como medidas as suas dimensões (Tabela 10) o que possibilitou avaliar possíveis perdas de massa (Figura 8) e expansão durante a queima (Figura 9). As medidas das dimensões dos corpos de prova foram efetuadas com paquímetro de metal da marca Mitutoyo.



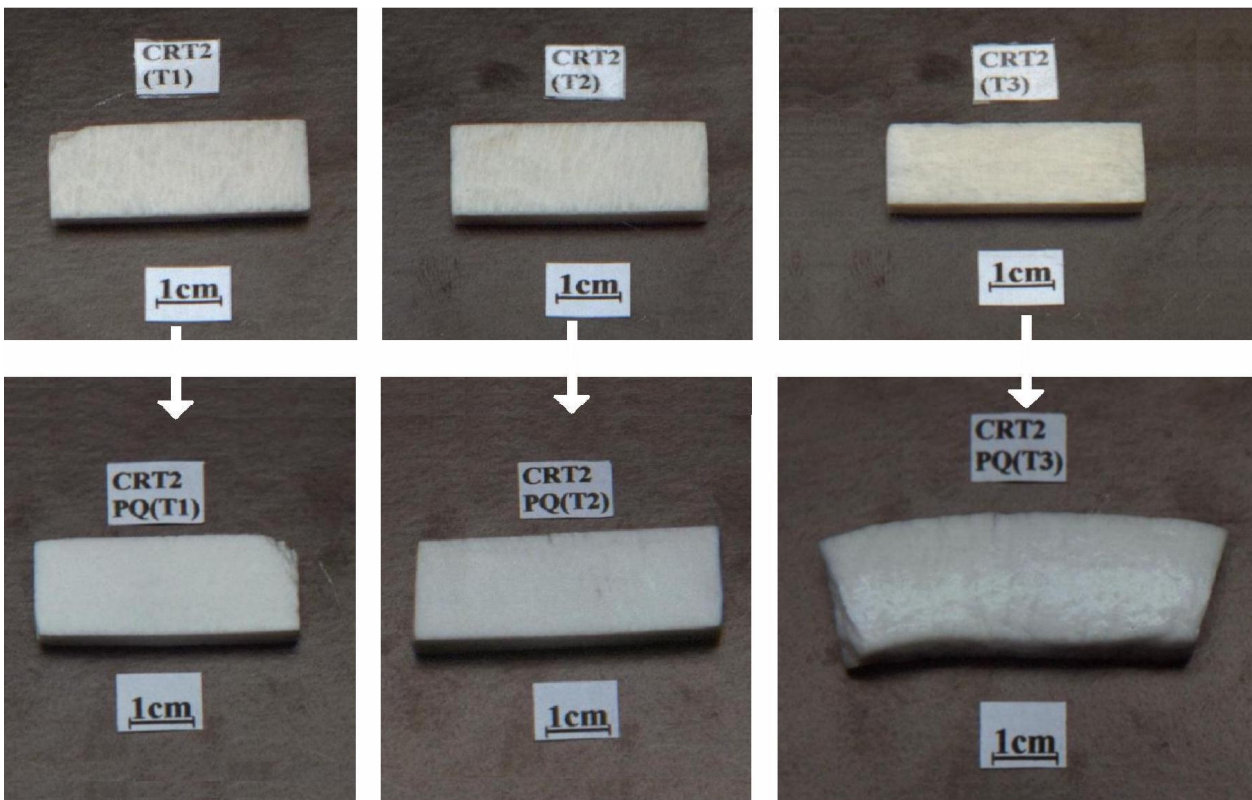
Fotografia 1 ó Corpos de prova do Pegmatito Ácio, zona intermédia externa, antes da queima (Ácio1T1, Ácio1T2 e Ácio1T3) e após a queima nas temperaturas $T_1 = 1.150^{\circ}\text{C}$; $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$ e $T_3 = 1.250^{\circ}\text{C}$ (Ácio1PQT1, Ácio1PQT2 e Ácio1PQT3). Observar a variação de volume dos corpos de prova em função da expansão durante a queima.



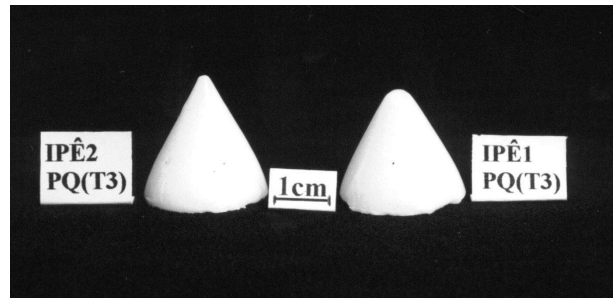
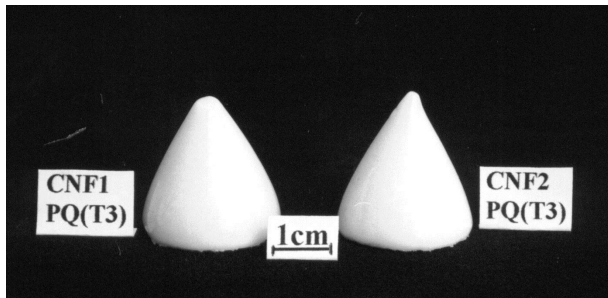
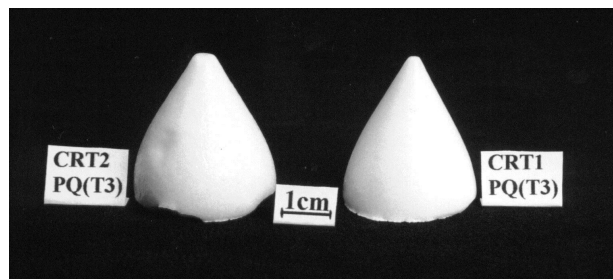
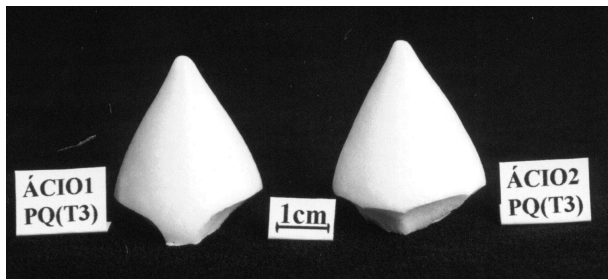
Fotografia 2 ó Corpos de prova do Pegmatito Ácio, zona intermédia interna, antes da queima (Ácio2T1, Ácio2T2 e Ácio2T3) e após a queima nas temperaturas $T_1 = 1.150^{\circ}\text{C}$; $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$ e $T_3 = 1.250^{\circ}\text{C}$ (Ácio2PQT1, Ácio2PQT2 e Ácio2PQT3). Observar a variação de volume dos corpos de prova em função da expansão durante a queima.



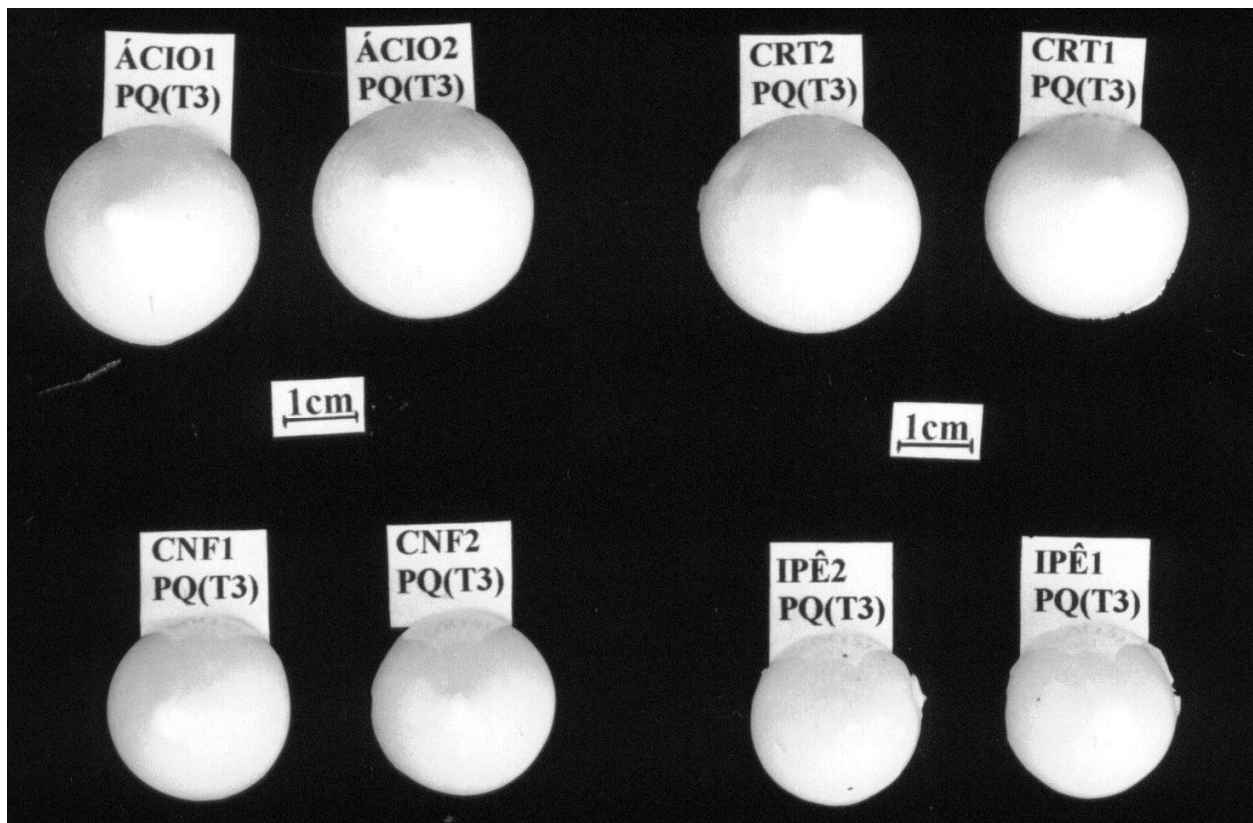
Fotografia 3 ó Corpos de prova do Pegmatito Cnf, zona intermédia interna, antes da queima (Cnf1T1, Cnf1T2 e Cnf1T3) e após a queima nas temperaturas $T_1 = 1.150^{\circ}\text{C}$; $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$ e $T_3 = 1.250^{\circ}\text{C}$ (Cnf1PQT1, Cnf1PQT2 e Cnf1PQT3). Observar a variação de volume dos corpos de prova em função da expansão durante a queima.



Fotografia 4 ó Corpos de prova do Pegmatito Crt, zona intermédia interna, antes da queima (Crt2T1, Crt2T2 e Crt2T3) e após a queima nas temperaturas $T_1 = 1.150^{\circ}\text{C}$; $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$ e $T_3 = 1.250^{\circ}\text{C}$ (Crt2PQT1, Crt2PQT2 e Crt2PQT3). Observar a variação de volume dos corpos de prova em função da expansão durante a queima.



Fotografia 5 ó Ensaio de queima de corpos de prova na forma de cones de pó do minério de feldspato potássico pertítico dos Pegmatitos Ácio, Cristalão, Confusão e Ipê, amostrados nas zonas intermédias externa e interna, pós-queima (PQ) na temperatura $T_3 = 1.250^\circ\text{C}$. Observar a variação de volume dos corpos de prova em função da expansão durante a queima. Os cones de pó estão ordenados do maior (canto alto à esquerda) para o menor (canto baixo à direita) grau de expansão. Para efeitos de comparação, foram queimadas amostras do pegmatito Ipê, cujo material é considerado muito pouco expansível (Pedrosa-Soares *et al.* 1993).



Fotografia 6 ó Corpos de prova na forma de cones de pó do minério de feldspato potássico pertítico dos Pegmatitos Ácio, Cristalão, Confusão e Ipê, amostrados nas zonas intermédias externa e interna, pós-queima (PQ) na temperatura $T_3 = 1.250^\circ\text{C}$. Observar a variação de volume dos corpos de prova em função da expansão durante a queima. Os corpos de prova estão ordenados do maior (canto alto à esquerda) para o menor (canto baixo à direita) grau de expansão. Observar a presença de impurezas (ponto negros em cones do pegmatito Ipê).

Tabela 8 ó Dados físicos dos corpos de prova (massa, dimensões e volume) obtidos antes da queima (pré-queima) e depois da queima (pós-queima) a temperaturas de 1.150°C, 1.200°C e 1.250°C.

Corpo de Prova	Zona intermédia	Corpo de prova (g) (Pré ó queima)	Corpo de prova (g) (Pós ó queima)	Varição (%) de Massa (g)	Dimensões (cm) (Pré-queima)	Volume (cm ³) (Pré-queima)	Dimensões (cm) (Pós-queima)	Volume (cm ³) (Pós-queima)	Varição (%) de volume (cm ³)
Ácio	Externa	17,7	17,5	1,13	3,80x2,04x0,96	7,44	3,90x2,05x0,97	7,76	4,30
		15,1	14,9	1,32	3,86x1,83x0,91	6,43	5,35x1,85x0,93	9,20	43,08
		17,4	16,8	3,44	3,86x1,97x0,98	7,45	7,23x2,70x1,33	25,96	248,46
	Interna	16,4	16,2	1,22	3,87x1,36x1,13	5,95	3,90x1,57x1,15	7,04	18,32
		15,2	15,0	1,32	3,90x1,52x1,06	6,28	3,99x1,75x1,12	7,82	24,52
		15,0	14,6	2,67	3,90x1,79x0,89	6,21	4,49x4,36x1,21	23,69	281,41
Confusão	Externa	22,0	21,8	0,91	4,11x2,03x1,09	9,09	4,16x2,05x1,10	9,38	3,19
		21,8	21,6	0,92	4,04x2,04x1,12	9,23	4,56x2,17x1,16	11,48	24,38
		22,9	22,1	2,67	3,97x2,07x1,17	9,61	4,18x2,64x1,28	14,13	47,03
	Interna	17,8	17,7	0,56	3,88x1,71x1,12	7,43	3,90x1,72x1,14	7,65	2,96
Cristalão	Interna	14,5	14,3	1,38	3,99x1,74x0,93	6,46	4,02x1,73x0,93	6,47	0,15
		17,7	17,3	2,26	4,02x1,73x1,08	7,51	4,78x1,80x1,13	9,72	29,43
		15,8	15,2	3,79	4,02x1,51x1,04	6,31	5,72x2,06x1,42	16,73	165,00

Uma vez obtidos os novos pesos em gramas dos corpos de prova seleccionados, constatamos que, embora as diferenças sejam pequenas, ainda assim, alguma perda de massa é observada durante o processo de queima como evidenciado pelo diagrama da Figura 8.

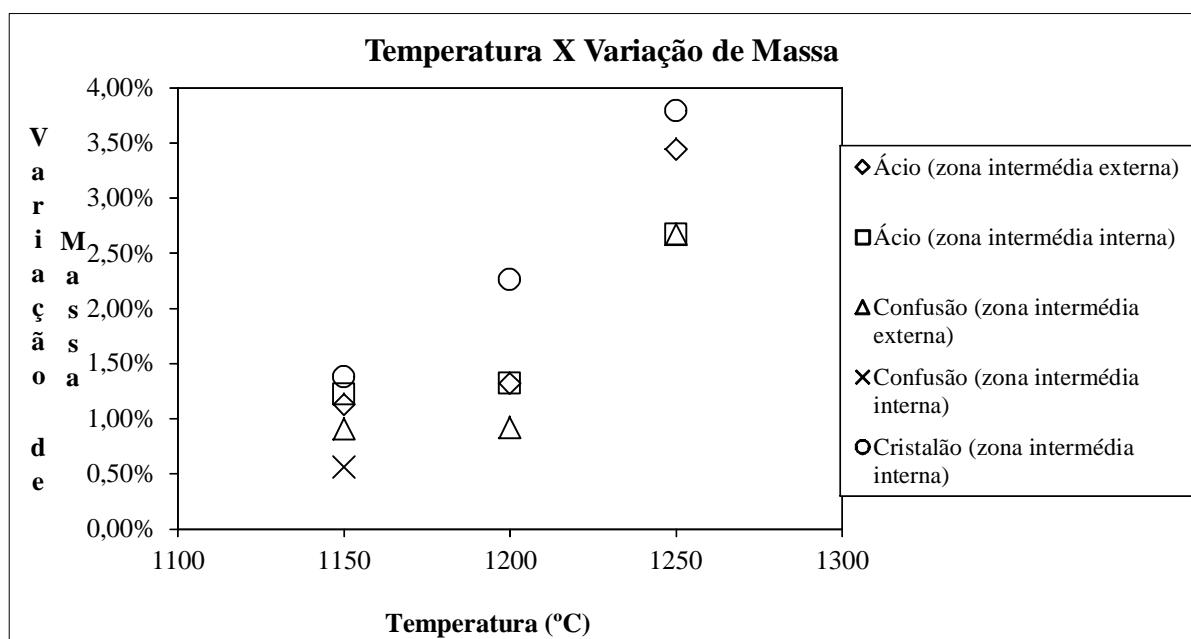


Figura 8 ó Relação entre a variação de massa com a temperatura de queima exibida pelos corpos de prova.

É digno de nota o comportamento dos feldspatos amostrados quanto a sua expansão durante a queima. Este fato pode ser bem observado no diagrama da Figura 9 que relaciona a temperatura de queima com o volume dos corpos de prova obtidos a partir das medidas das dimensões antes e depois da queima.

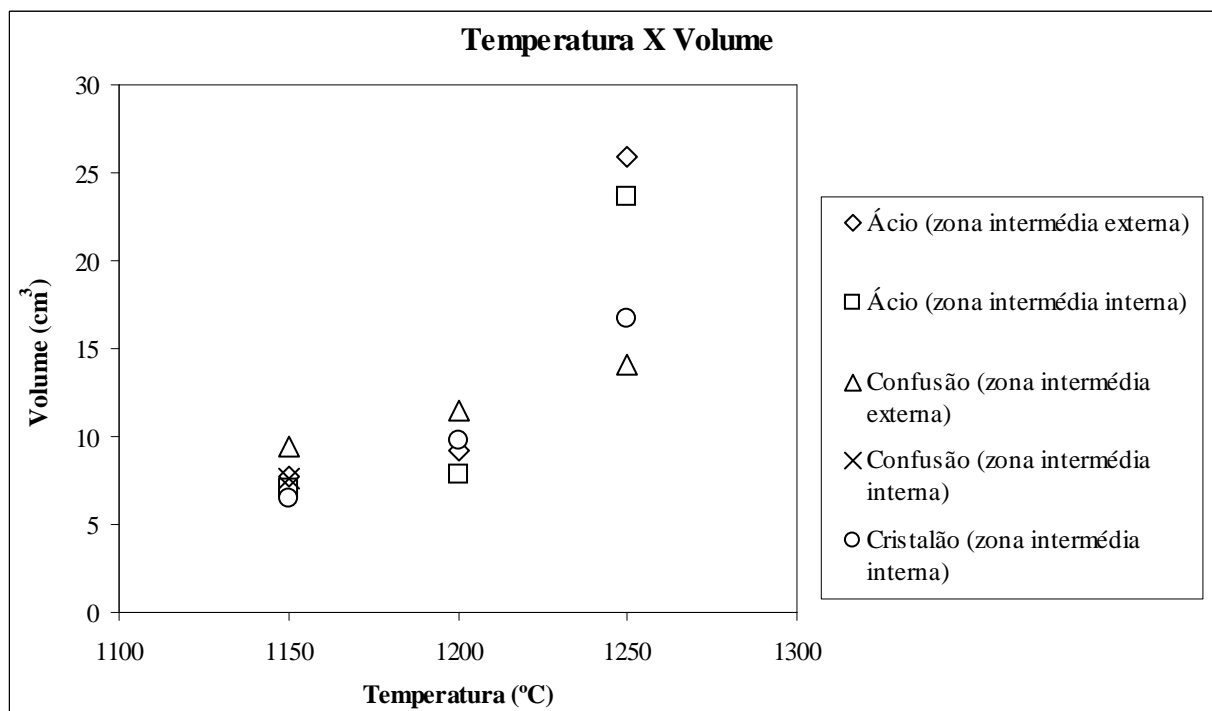


Figura 9 ó Relação entre a variação de volume com a temperatura de queima exibida pelos corpos de prova.

VII.1.3 ó Densidade relativa

As densidades relativas (d) dos corpos de prova ensaiados mostram uma crescente diminuição com a elevação da temperatura de queima, tendo o seu comportamento extremo às temperaturas de 1.250°C, pois alguns corpos de prova se tornam tão leves (aspecto esponjoso), que chegam a flutuar no líquido (água). Os valores médios de (d) estão listados na Tabela 9.

A partir dos valores determinados foi possível a obtenção de um gráfico relacionando a temperatura (°C) com a densidade relativa (d) dos corpos de prova (Figura 10). Neste, percebeóse, claramente, esta tendência de diminuição da densidade com a temperatura. A seta indica que três corpos de prova tendem a valores de densidade inferior a 1, ou seja, são exatamente aqueles corpos de aspecto esponjoso que flutuam quando colocados no líquido. O aspecto esponjoso é devido ao fato da amostra desenvolver canalículos como rotas de fuga de fluidos durante o processo de queima.

Tabela 9 ó Determinação da densidade relativa (d) de amostras de feldspatos pertíticos naturais (préóqueima) e queimados nas temperaturas T₁, T₂ e T₃ (pósóqueima).

Amostra	Zona intermédia	Densidade préóqueima	Queima (°C)	Densidade pósóqueima	Variação (%)
Ácio	Externa	d ₁ = 2,53	T ₁ = 1.150	d ₁ =2,40	65,24
		d ₂ = 2,51	T ₂ = 1.200	d ₂ =1,76	630,21
		d ₃ = 2,52	T ₃ = 1.250	d ₃ <1,0	> 660
	Interna	d ₁ = 2,55	T ₁ = 1.150	d ₁ =2,41	65,49
		d ₂ = 2,55	T ₂ = 1.200	d ₂ =1,77	630,92
		d ₃ = 2,54	T ₃ = 1.250	d ₃ <1,0	> 660
Confusão	Externa	d ₁ = 2,55	T ₁ = 1.150	d ₁ =2,51	61,68
		d ₂ = 2,56	T ₂ = 1.200	d ₂ =2,12	617,20
		d ₃ = 2,55	T ₃ = 1.250	d ₃ =2,02	621,04
	Interna	d ₁ = 2,55	T ₁ = 1.150	d ₁ =2,51	61,90
Cristalão	Interna	d ₁ = 2,50	T ₁ = 1.150	d ₁ =2,45	64,05
		d ₂ = 2,45	T ₂ = 1.200	d ₂ =1,97	619,87
		d ₃ = 2,47	T ₃ = 1.250	d ₃ <1,0	> 660

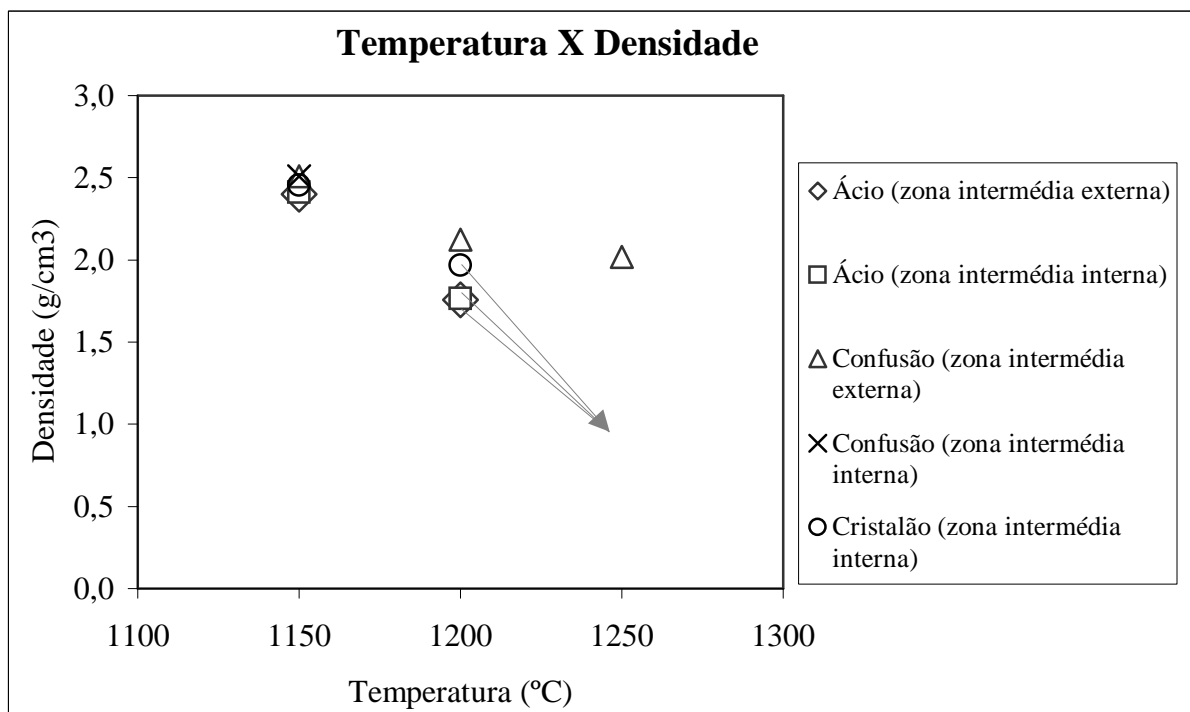


Figura 10 ó Relação entre a densidade relativa com a temperatura de queima dos corpos de prova.

VII.1.4 ó Microscopia ótica

Microscopicamente, a observação das seções delgadas de pertitas naturais (Tabela 12), coletadas nas zonas intermédias externa e interna dos corpos, mostra o feldspato potássico (microclínio) como mineral hospedeiro do plagioclásio (albita), que se apresenta em barras e/ou em filetes (Deer *et al.* 1966; Gaines *et al.* 1997). As fotomicrografias das lâminas (Fotomicrografias 1, 5, 9, 13) exibem as barras de albita, obedecendo a um espaçamento variável, bem como variável é a sua espessura. É fato de nota a existência de geminação em õrtartanõ (ou grade) típica do microclínio, nas lâminas das zonas externas, e o seu desaparecimento (geminação difusa), nas amostras das zonas internas.

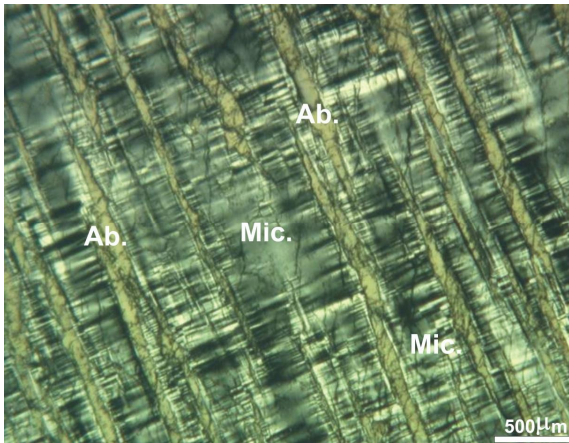
Em relação aos corpos de prova queimados a diferentes temperaturas (Tabela 13), verificou-se uma tendência da albita em se tornar estreita e descontínua (Fotomicrografias 2, 6, 10, 14). Porém à medida que a temperatura aumenta, esta se funde (1.150°C ó 1.200°C) (vidro?). À temperatura de 1.200°C surgem bolhas com uma tendência de se concentrarem nos bordos das barras de albita (Fotomicrografias 3, 7, 11, 15). O microclínio, por sua vez adquire um fraturamento intenso e surgem algumas bolhas no seu interior. Porém, em alguns casos nota-se, ainda, vestígios da macla que o caracteriza. A temperaturas mais elevadas (1.250°C), observa-se o desaparecimento das fases cristalinas e o surgimento de uma grande quantidade de bolhas, denotando a vitrificação total dos corpos de prova (Fotomicrografias 4, 8, 12, 16). As bolhas são os canalículos (aspecto esponjoso) preenchidos com a resina de impregnação da lâmina.

Tabela 10 ó Características microscópicas dos feldspatos potássicos pertíticos amostrados nas zonas intermédias externa e interna antes da queima (pré-queima).

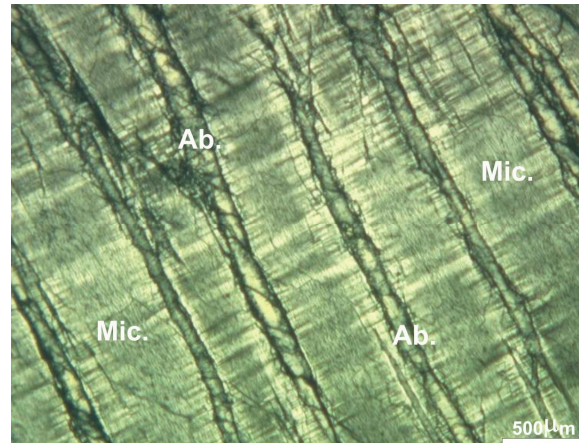
Corpo de prova	Zona Intermédia	Tipo de Pertita	Média espessura barras (μm)	Média espaçamento barras (μm)	Macla do Microclínio	Minerais de alteração		% Albita
						Sericita	Caulim	
Ácio	Externa	Barras finas, contínuas, bifurcadas, espaçadas e filetes em nuvens	158,39	575,84	típica e nítida	<2% substituindo albita e em fraturas	\approx 2%	25%
	Interna	Barras espessas, contínuas e bifurcadas, espaçadas	256,66	823,98	difusa	<2% em palhetas localizadas em fraturas	\approx 2%	25%
Confusão	Externa	Barras finas, contínuas e espaçadas. Filetes em nuvens	180,21	614,45	típica e nítida	<3% substituindo albita, em fraturas e traços de clivagem	\approx 1,5%	25%
	Interna	Barras finas, contínuas, espaçadas e filetes em nuvens	227,01	775,18	difusa	<1,5% em fraturas e como alteração da microclina	\approx 1,5%	25%
Cristalão	Interna	Barras finas, contínuas e bifurcadas, pouco espaçadas. Filetes em nuvens	163,80	605,36	difusa	<1% em fraturas	\approx 2%	25%

Tabela 11 ó Características microscópicas dos corpos de prova de feldspato potássico pertítico queimados a diferentes temperaturas.

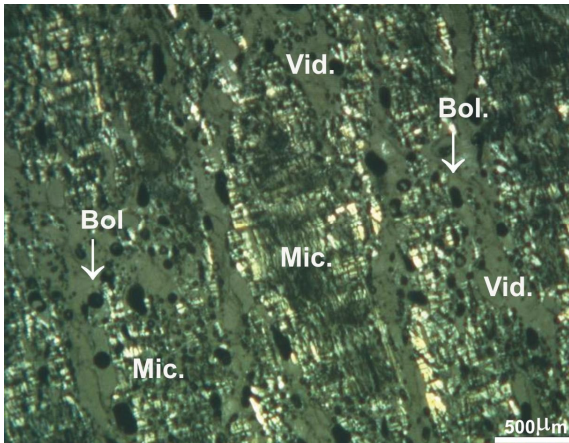
Corpo de Prova	Zona Intermédia	Temp. (°C)	Tipo de Pertita	Média espessura barras (µm)	Média espaçamento barras (µm)	Macla do Microclínio	Minerais de alteração (caulim) e (sericita)	Outras Características
Ácio	Externa	1.150	Distinta em barras espaçadas, finas e bifurcadas	104,46	581,74	Visível	Ausentes	—
		1.200	Vestígios de barras estreitas e descontínuas	Não medida	Não medida	Vestígios	Ausentes	Bolhas nos bordos das barras
		1.250	Vestígios vermiformes	Não medida	Não medida	Desaparece	Ausentes	Vitrificação total
	Interna	1.150	Distinta em barras espaçadas, finas e ramificadas	213,59	838,96	Desaparece	Ausentes	—
		1.200	Vestígios de barras estreitas e descontínuas	Não medida	Não medida	Desaparece	Ausentes	Bolhas nos bordos das barras
		1.250	Vestígios vermiformes	Não medida	Não medida	Desaparece	Ausentes	Vitrificação total
Confusão	Externa	1.150	Distinta em barras espaçadas, finas, contínuas e ramificadas	143,09	647,69	Visível	Ausentes	—
		1.200	Vestígios de barras estreitas e descontínuas	Não medida	Não medida	Vestígios	Ausentes	Bolhas nos bordos das barras
		1.250	Vestígios vermiformes	Não medida	Não medida	Desaparece	Ausentes	Vitrificação total
	Interna	1.150	Distinta em barras espaçadas, finas, contínuas e espaçadas	188,48	799,44	Visível	Ausentes	—
Cristalão	Interna	1.150	Distinta em barras espaçadas, finas, contínua e ramificadas	125,46	620,90	Desaparece	Ausentes	—
		1.200	Vestígios de barras estreitas e descontínuas	Não medida	Não medida	Desaparece	Ausentes	Bolhas nos bordos das barras
		1.250	Vestígios vermiformes	Não medida	Não medida	Desaparece	Ausentes	Vitrificação total



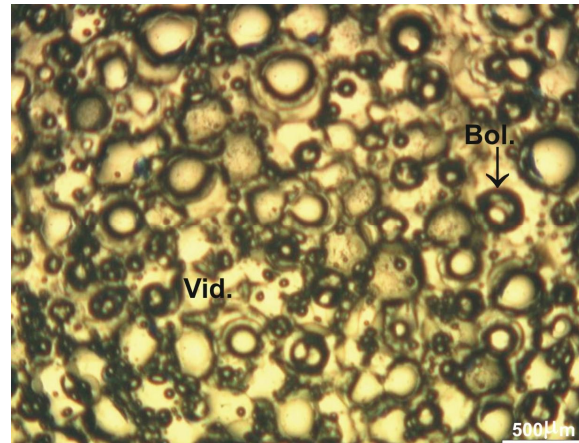
Fotomicrografia 1 ó Pegmatito Ácio, zona intermédia externa. Extrutura pertítica dada por arranjo espaçado das barras de albita (Ab.) no microclínio (Mic.) maclado. Polarizador cruzado.



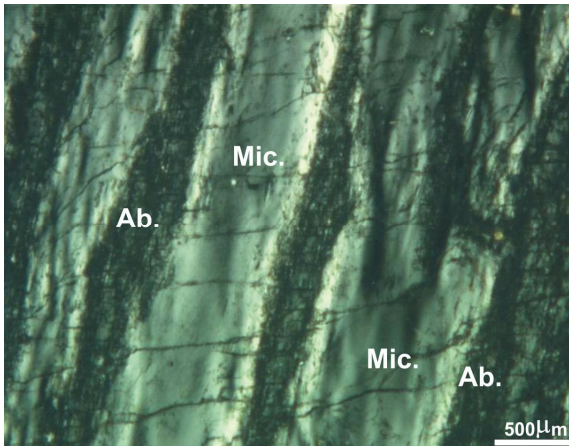
Fotomicrografia 2 ó Pegmatito Ácio, zona intermédia externa, pós-queima a 1.150°C. Barras de albita (Ab.) no microclínio (Mic.) espaçadas e tendendo ao estreitamento. Polarizador cruzado.



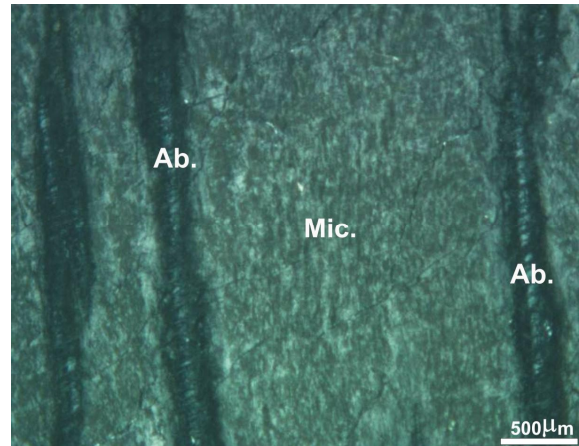
Fotomicrografia 3 ó Pegmatito Ácio, zona intermédia externa, pós-queima a 1.200°C. Vestígios de microclínio (Mic.), barras de albita (Ab.) transformadas em vidro (Vid.) e concentração de bolhas (Bol.) nos bordos das barras. Polarizador cruzado.



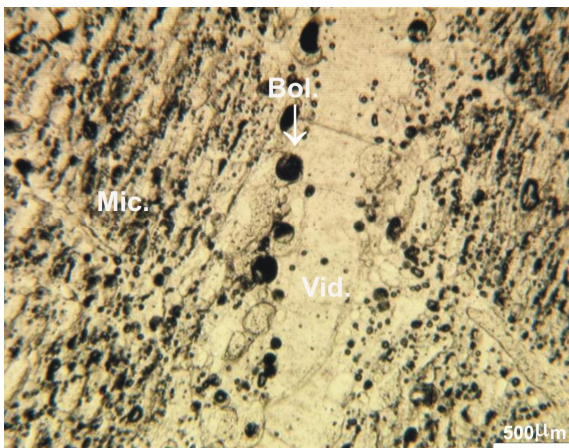
Fotomicrografia 4 ó Pegmatito Ácio, zona intermédia externa, pós-queima a 1.250°C. as fases cristalinas desaparecem na queima. Tem-se, agora, uma fase vítrea com grande quantidade de bolhas (Bol.). Polarizador paralelo.



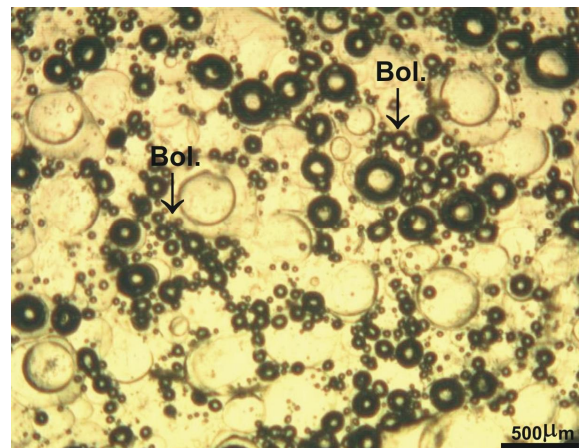
Fotomicrografia 5 ó Pegmatito Ácio, zona intermédia interna. Extrutura pertítica, microclínio (Mic.) com geminação difusa e caulinação incipiente nos bordos das barras de albita (Al.). Polarizador cruzado.



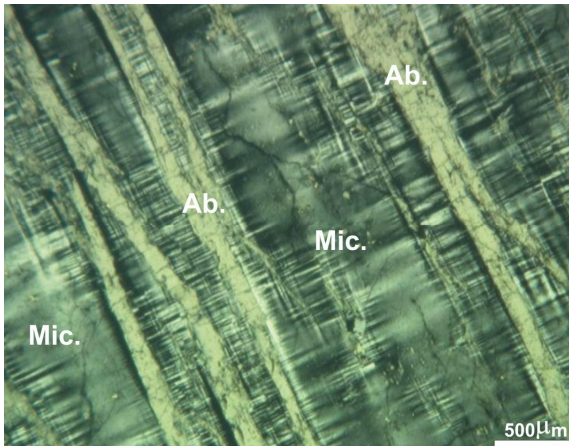
Fotomicrografia 6 ó Pegmatito Ácio, zona intermédia interna, pós-queima a 1.150°C. Barras de albita (Ab.) no microclínio (Mic.) espaçadas e estreitas. Polarizador cruzado.



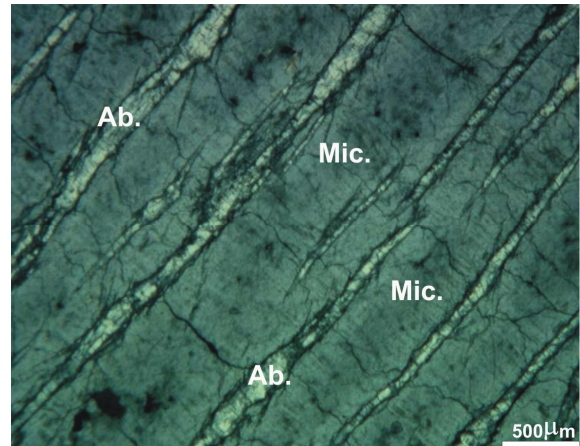
Fotomicrografia 7 ó Pegmatito Ácio, zona intermédia interna, pós-queima a 1.200°C. A fase albita (Ab.) desaparece e torna-se vidro (Vid.), nota-se vestígios de microclínio (Mic.) e resquícios de estrutura pertítica. Polarizador paralelo.



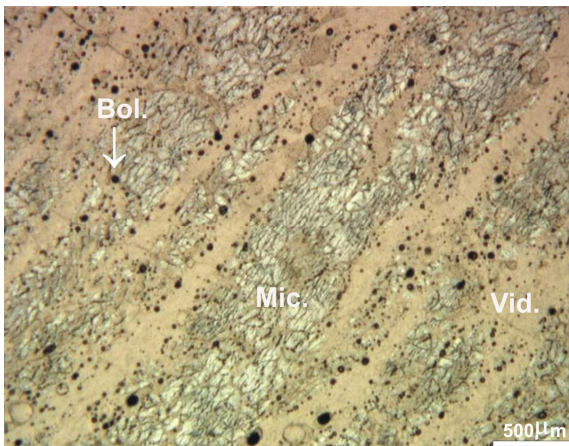
Fotomicrografia 8 ó Pegmatito Ácio, zona intermédia interna, pós-queima a 1.250°C. As fases cristalinas desaparecem dando lugar a uma fase vítrea com grande quantidade de bolhas (Bol.). Polarizador paralelo.



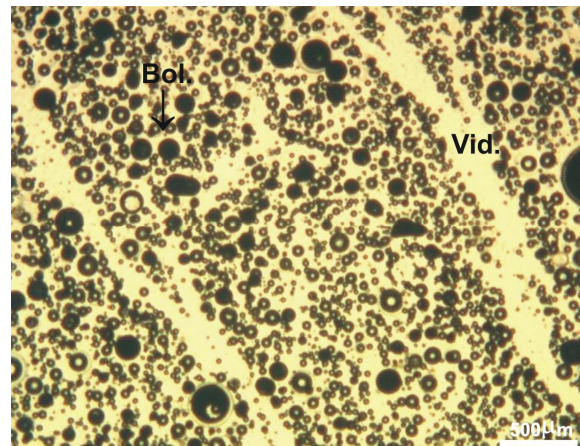
Fotomicrografia 9 ó Pegmatito Confusão, zona intermédia externa. Estrutura pertítica dada por arranjo regular e espaçado das barras de albita (Ab.) no microclínio (Mic.) maclado. Polarizador paralelo.



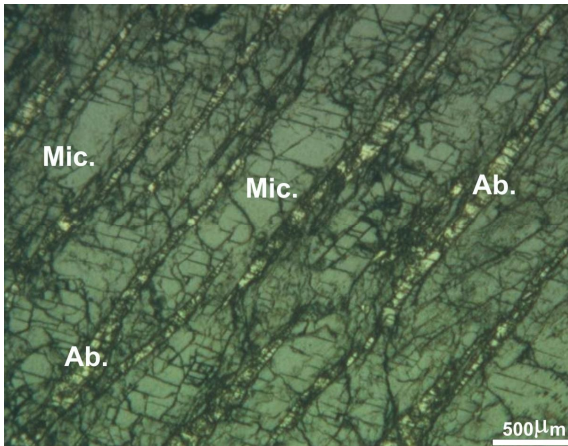
Fotomicrografia 10 ó Pegmatito Confusão, zona intermédia externa, pós-queima a 1.150°C. Barras de albita (Ab.) no microclínio (Mic.) espaçadas, estreitas e descontínuas. Polarizador cruzado.



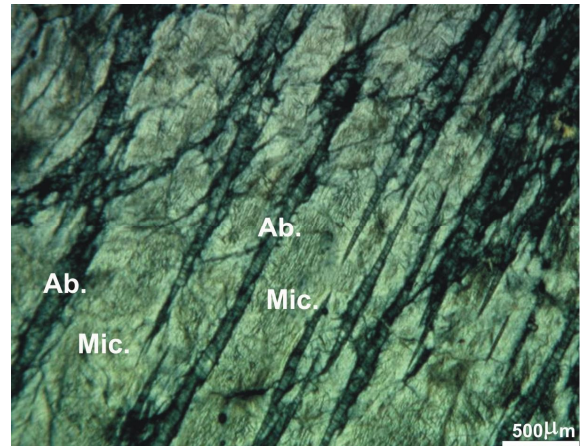
Fotomicrografia 11 ó Pegmatito Confusão, zona intermédia externa, pós-queima a 1.200°C. Vestígios de microclínio (Mic.), fase albita (Ab.) transformada em vidro (Vid.) e concentração de bolhas (Bol.) nos bordos das barras. Resquícios da estrutura pertítica. Polarizador paralelo.



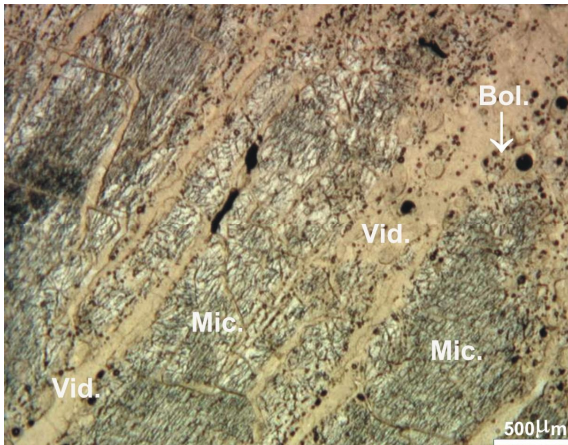
Fotomicrografia 12 ó Pegmatito Confusão, zona intermédia externa, pós-queima a 1.250°C. As fases cristalinas desaparecem na queima. Tem-se, agora, uma fase vítrea com grande quantidade de bolhas (Bol.). Resquícios da estrutura pertítica. Polarizador paralelo.



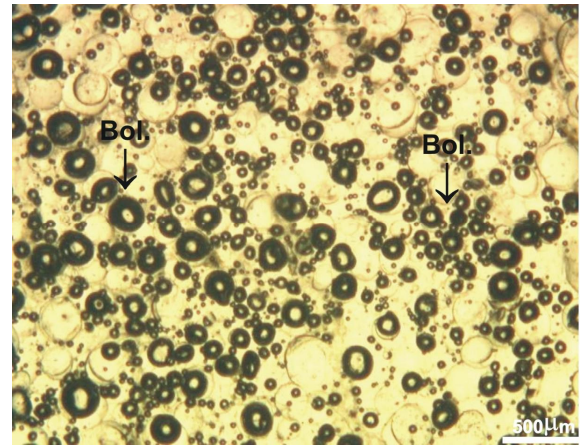
Fotomicrografia 13 ó Pegmatito Cristalão, zona intermédia interna. Estrutura pertítica dada por arranjo espaçado das barras de albita (Ab.) no microclínio (Mic.), traços de clivagem e fraturamento intenso. Polarizador cruzado.



Fotomicrografia 14 ó Pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, pós-queima a 1.150°C. Barras de albita (Ab.) no microclínio (Mic.), espaçadas, estreitas e descontínuas. Polarizador cruzado.



Fotomicrografia 15 ó Pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, pós-queima a 1.200°C. vestígios de microclínio (Mic.) e concentração de bolhas (Bol.) nos bordos das barras. Requícios da estrutura pertítica. Polarizador paralelo.



Fotomicrografia 16 ó Pegmatito Cristalão, zona intermédia interna, pós-queima a 1.250°C. As fases cristalinas desaparecem na queima. Tem-se, agora, uma fase vítrea com grande quantidade de bolhas (Bol.). Polarizador paralelo.

VII.1.5 ó Difractometria de raiosX

A determinação dos parâmetros axiais **a**, **b** e **c**, bem como os cálculos do volume da cela unitária foram realizados por meio do programa *Unit Cellö* (Holland & Redfern 1997). Os resultados obtidos estão listados na Tabela 12, na qual observa-se uma crescente diminuição do volume da cela unitária com a queima nas diferentes temperaturas. Entretanto, os valores dos parâmetros axiais, ângulos entre os eixos e volume da cela unitária, obtidos para o corpo de prova Confusão 1, zona intermédia externa, pós-queima (PQ), na temperatura $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$, são discrepantes em relação aqueles obtidos para os demais corpos de prova.

Tabela 12 ó Valores dos parâmetros axiais, ângulos entre os eixos e volume da cela unitária obtidos para os corpos de prova naturais (pré-queima.) , das lavras do Ácio, Confusão e Cristalão, zonas intermédias externa (1) e interna (2), e pós-queima nas temperaturas $T_1 = 1.150^{\circ}\text{C}$; $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$ e $T_3 = 1.250^{\circ}\text{C}$.

	a	b	c	alfa	beta	gama	Vol(Å^3)
Ácio1	8,6086	12,9759	7,1658	90,7313	116,3158	88,9453	717,3625
Ácio1T₁	8,4726	12,7380	7,1383	90,8950	115,0701	89,9477	697,7090
Ácio1T₂	8,5269	12,8847	7,1661	90,3648	116,3192	88,9944	705,5920
Ácio1T₃	Amorfo (Vitrificação Total)						
Ácio2	8,6050	12,9684	7,1427	91,6608	115,3522	88,7412	719,9746
Ácio2T₁	8,4729	12,8348	7,1180	91,2697	116,1313	89,4560	694,7876
Ácio2T₂	8,4253	12,6052	7,2269	90,9158	115,9124	89,4748	690,2523
Ácio2T₃	Amorfo (Vitrificação Total)						
Confusão1	8,5744	13,0495	7,1646	90,2118	115,6233	89,2243	722,7541
Confusão1T₁	8,5821	13,3228	6,9284	88,6414	115,5165	95,8888	710,9547
Confusão1T₂	7,3335	14,4949	8,1015	80,9594	130,9497	85,3094	622,3338
Confusão1T₃	Amorfo (Vitrificação Total)						
Confusão2	8,6239	13,0308	7,1703	90,8214	115,9675	88,9201	724,2718
Cristalão1	8,5637	12,9834	7,1576	90,8720	116,0652	88,6573	714,6746
Cristalão2	8,3523	13,0267	7,1464	89,3346	115,6286	90,1598	701,0062
Cristalão2T₁	8,4024	13,0220	7,0474	92,0615	118,6675	86,3516	675,1898
Cristalão2T₂	8,4459	12,9070	7,0929	92,1826	115,8095	88,0772	695,4488
Cristalão2T₃	Amorfo (Vitrificação Total)						

VII.2 ó Análises químicas

Sabendo que a indústria cerâmica estabelece parâmetros de aceitação da matéria-prima, procuramos detectar, nos corpos de prova selecionados, se estes se encontravam dentro dos limites aceitáveis para a sua utilização industrial.

VII.2.1 ó Gravimetria (perda ao fogo)

Os dados obtidos de perda ao fogo de amostras de feldspato potássico pertítico naturais (pré-queima) estão listados na Tabela 13 e mostram que os termos mais expansivos, Ácio e Cristalão, possuem valores de perda ao fogo cerca de duas vezes maior que o termo menos

expansivo Confusão. Entretanto, os valores obtidos nas frações pós-queima nas temperaturas planejadas não permitem a obtenção de dados conclusivos, uma vez que se mostram incompatíveis com os valores de perda ao fogo das amostras naturais (pré-queima). Contudo, estes valores estão listados nas Tabelas 13, 14 e 15.

VII.2.2 ó Espectroscopia por fluorescência de raiosóX

As análises efetuadas forneceram os valores percentuais expressos como óxidos dos elementos maiores e alguns traços presentes na composição química dos feldspatos potássicos pertíticos amostrados. Estes valores são compatíveis com os limites estimados para estes elementos para que esta matéria-óprima venha a ser utilizada na indústria cerâmica. Na Tabela 13 estão listados os percentuais obtidos para cada elemento presente na composição química destes minerais.

Tabela 13 ó Análise química quantitativa por fluorescência de raiosóX em amostras de feldspatos naturais (pré-queima), das lavras do Ácio, Confusão e Cristalão, coletadas nas zonas intermédias externa (1) e interna (2).

Corpo de prova	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Σ	PF
Ácio 1	65,20	16,80	0,03	<0,05	0,03	3,03	13,30	<0,05	0,31	98,33	0,60
Ácio 2	65,40	16,90	0,03	<0,05	0,03	3,23	13,40	<0,05	0,31	98,93	0,35
Confusão 1	65,60	16,70	0,04	<0,05	0,02	3,51	12,90	<0,05	0,36	98,71	0,28
Confusão 2	65,70	16,70	0,04	<0,05	0,02	3,20	13,30	<0,05	0,29	98,90	0,18
Cristalão 2	65,10	16,70	0,03	<0,05	0,02	2,68	13,90	<0,05	0,31	98,38	0,62

Após a execução dos ensaios de queima, novas frações foram selecionadas, para que uma estimativa da composição química fosse estabelecida. A Tabela 14 exhibe os percentuais obtidos para as frações dos corpos de prova da lavra do Ácio, queimados a diferentes temperaturas.

Tabela 14 ó Análise química quantitativa por fluorescência de raios-X em corpos de prova da lavra do Ácio, zona intermédia externa (1) e interna (2), queimados nas temperaturas T₁ = 1.150°C, T₂ = 1.200°C e T₃ = 1.250°C.

Corpo de prova	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Σ	PF
Ácio 1	63,70	19,72	0,04	<0,05	<0,03	2,65	12,74	<0,03	0,31	98,81	0,46
	65,00	19,07	0,04	<0,05	<0,03	2,74	12,75	<0,03	0,31	99,56	0,53
	65,50	19,64	0,04	<0,05	<0,03	2,70	12,67	<0,03	0,32	100,51	0,63
Ácio 2	65,10	19,20	0,04	<0,05	<0,03	2,77	12,71	<0,03	0,26	99,78	0,49
	65,00	19,26	0,03	<0,05	<0,03	2,79	12,67	<0,03	0,25	99,72	0,58
	65,20	19,00	0,04	<0,05	<0,03	2,85	12,72	<0,03	0,24	99,77	0,32

O mesmo procedimento de obtenção de uma estimativa da composição química das frações dos corpos de prova submetidos a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3 foi efetuada para as amostras dos pegmatitos Confusão e Cristalão. Os percentuais determinados se encontram listados na Tabela 17.

Tabela 15 ó Análise química quantitativa por fluorescência de raios-X em corpos de prova das lavras Confusão, zona intermédia externa (1) e interna (2), e Cristalão, zona intermédia interna (2), queimados nas temperaturas $T_1 = 1.150^\circ\text{C}$, $T_2 = 1.200^\circ\text{C}$ e $T_3 = 1.250^\circ\text{C}$.

Corpo de prova	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Σ	PF
Confusão 1	64,00	18,13	0,04	<0,05	<0,03	2,92	13,76	<0,03	0,25	98,81	0,48
	64,50	18,01	0,04	<0,05	<0,03	2,83	13,40	0,03	0,28	98,74	0,50
	64,90	17,96	0,05	<0,05	<0,03	2,96	13,11	<0,03	0,25	98,93	0,49
Confusão 2	66,00	18,05	0,04	<0,05	<0,03	2,73	13,01	<0,03	0,22	99,79	0,52
Cristalão 2	64,60	19,20	0,04	<0,05	<0,03	2,21	13,68	<0,03	0,34	99,69	0,58
	65,50	18,89	0,04	<0,05	<0,03	2,26	13,86	<0,03	0,31	100,51	0,48
	65,30	18,80	0,03	<0,05	<0,03	2,41	13,30	<0,03	0,30	99,81	0,43

A partir da composição química dos feldspatos, estimada pelas análises de espectroscopia de fluorescência de raios X, foi possível a determinação por meio de cálculos, dos percentuais para as moléculas de ortoclásio (Or), albita (Ab) e anortita (An), contidas nos feldspatos potássicos pertíticos amostrados. Os valores obtidos a partir destes cálculos estão listados na Tabela 16.

Tabela 16 ó Valores percentuais das moléculas de ortoclásio (Or), albita (Ab) e anortita (An) calculados a partir das análises químicas obtidas.

Corpo de prova	Zona intermédia	Temperatura (°C)	%Or	%Ab	%An
Ácio	Externa	Pré-queima	82,862141	16,869673	0,268186
		1.150	84,085893	15,630005	0,284102
		1.200	83,652625	16,064954	0,282421
		1.250	83,763852	15,951566	0,284582
	Interna	Pré-queima	82,060168	17,676230	0,263602
		1.150	83,462422	16,254916	0,282662
		1.200	83,418869	16,297725	0,283406
		1.250	83,083491	16,635348	0,281161
Confusão	Externa	Pré-queima	80,225383	19,506921	0,267696
		1.150	83,838764	15,898963	0,262273
		1.200	83,896672	15,833827	0,269501
		1.250	82,984131	16,743398	0,272471
	Interna	Pré-queima	82,085221	17,649111	0,265668
		1.150	83,975224	15,746936	0,277840
Cristalão	Interna	Pré-queima	85,077818	14,658713	0,263469
		1.150	87,144997	12,580797	0,274206
		1.200	87,045771	12,683888	0,270341
		1.250	87,324987	12,321560	0,353453

A observação do comportamento das moléculas de ortoclásio (Or), albíta (Ab) e anortita (An) é melhor visualizada no diagrama triangular da Figura 11, que confirma a natureza sódico potássica dos feldspatos amostrados. Como as composições são muito próximas, verifica-se uma tendência de superposição dos valores obtidos.

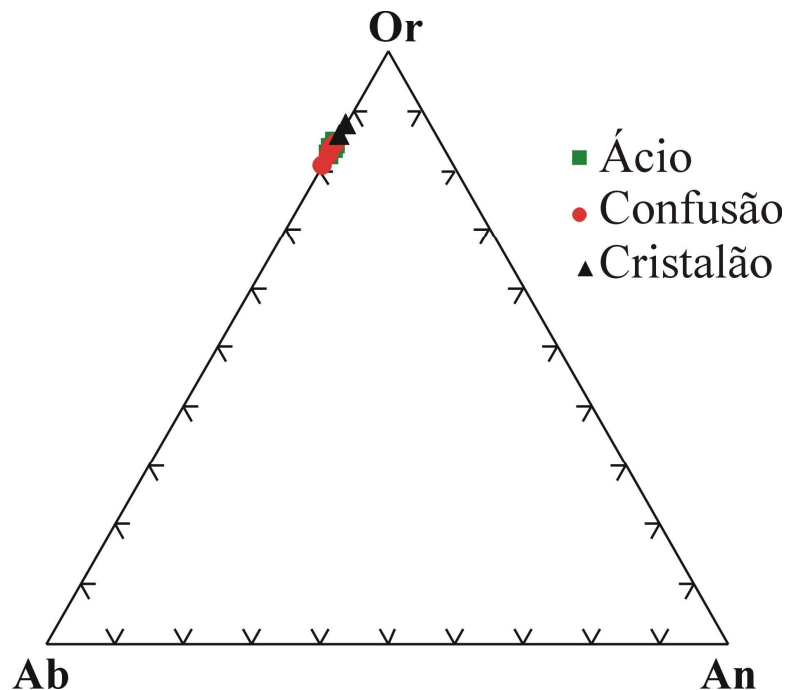


Figura 11 ó Relação entre as moléculas de ortoclásio (Or), albíta (Ab) e anortita (An) dos feldspatos amostrados.

As relações existentes entre os constituintes sódicos e potássicos foram examinadas e mostram claramente a natureza potássica dos feldspatos amostrados. Estas relações são mostradas no diagrama da Figura 12.

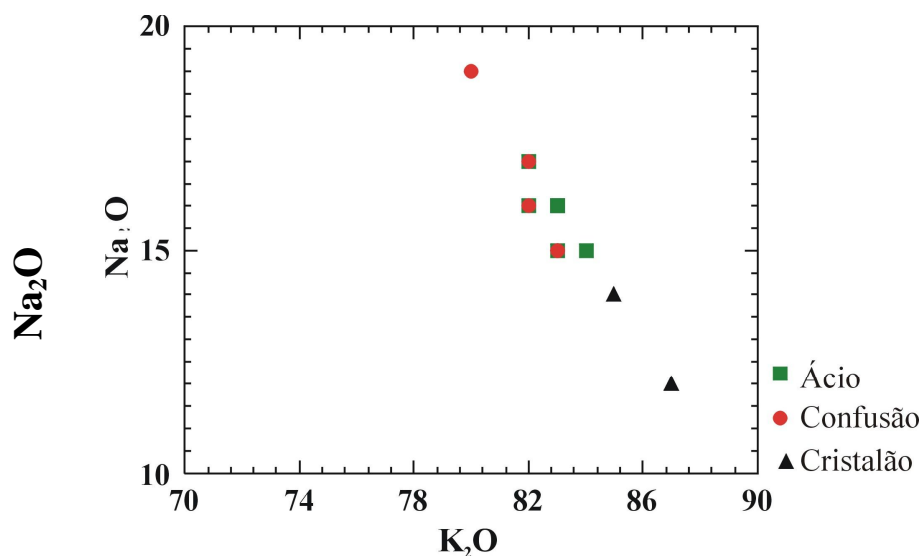


Figura 12 ó Relação entre os constituintes Na₂O e K₂O dos feldspatos amostrados.

É interessante avaliar o comportamento dos elementos presentes na composição química do mineral antes e depois da queima, pois percebe-se claramente que os conteúdos de SiO_2 (Figura 13) e Fe_2O_3 variam muito pouco, e os conteúdos de K_2O (Figuras 16, 17 e 20) sofrem pequenas variações e permanecem mais ou menos com o mesmo valor antes e depois da queima. Porém, verifica-se que houve um significativo decréscimo nos teores de Na_2O (Figuras 14, 17 e 18) e um substancial aumento nos teores de Al_2O_3 (Figura 15, 17 e 19). Tal fato parece sugerir que parte do conteúdo de Na_2O pode ter sido carregado junto com os fluidos expelidos durante a queima.

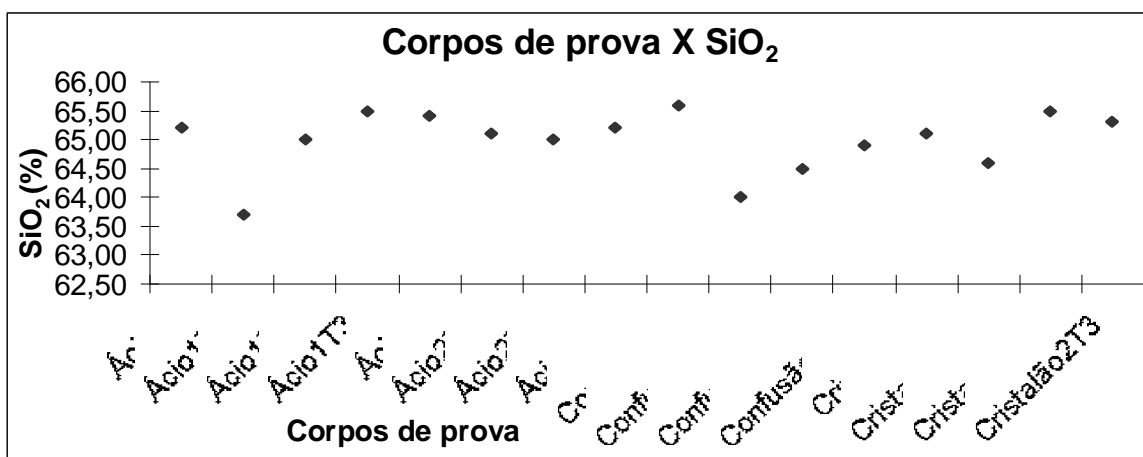


Figura 13 ó Relação entre os corpos de prova e o SiO_2 , mostrando a pequena variação dos teores de SiO_2 nos corpos de prova, com a queima às temperaturas T_1 , T_2 e T_3

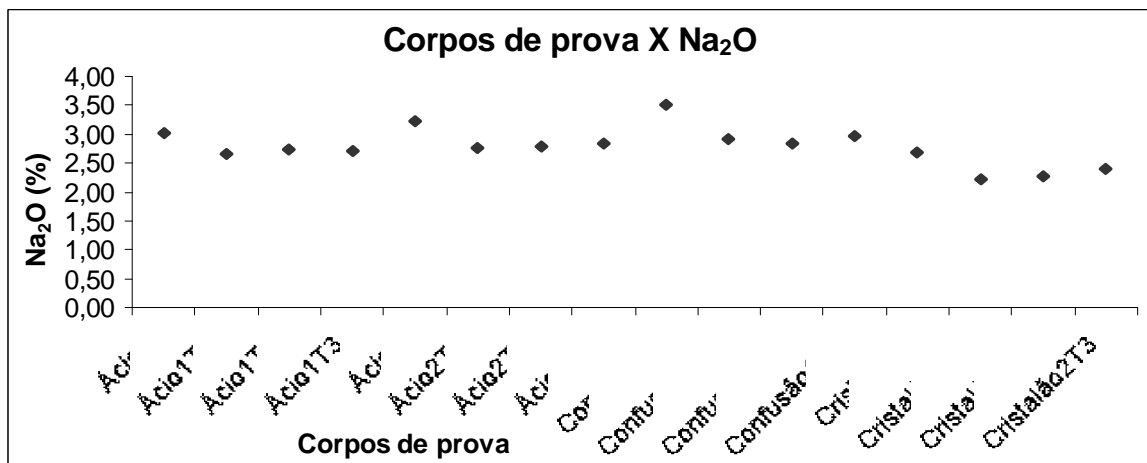


Figura 14 ó Relação entre os corpos de prova e o Na_2O , mostrando a diminuição dos teores de Na_2O nos corpos de prova, com a queima às temperaturas T_1 , T_2 e T_3 .

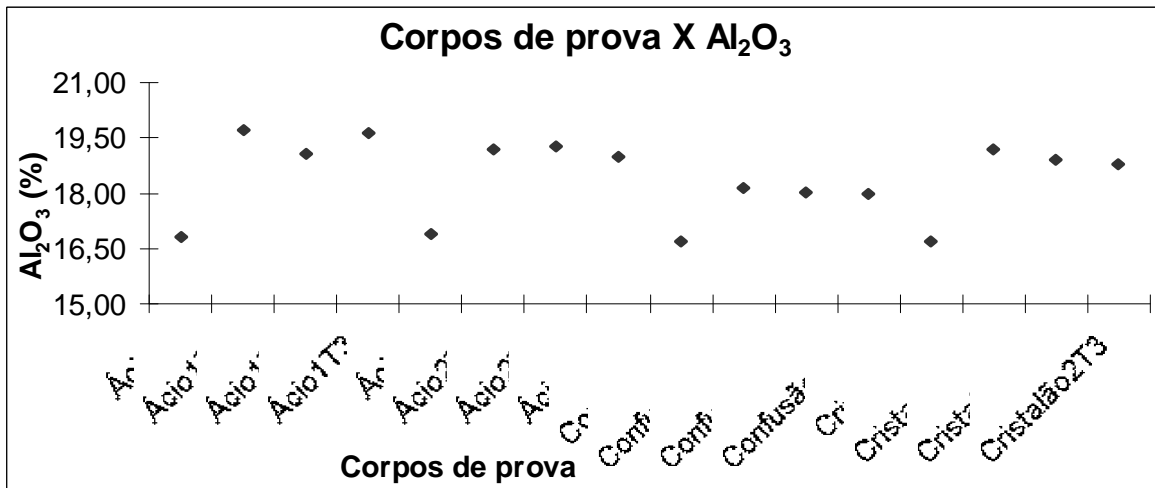


Figura 15 ó Relação entre os corpos de prova e o Al₂O₃, mostrando o aumento dos teores de Al₂O₃ nos corpos de prova, com a queima às temperaturas T₁, T₂ e T₃.

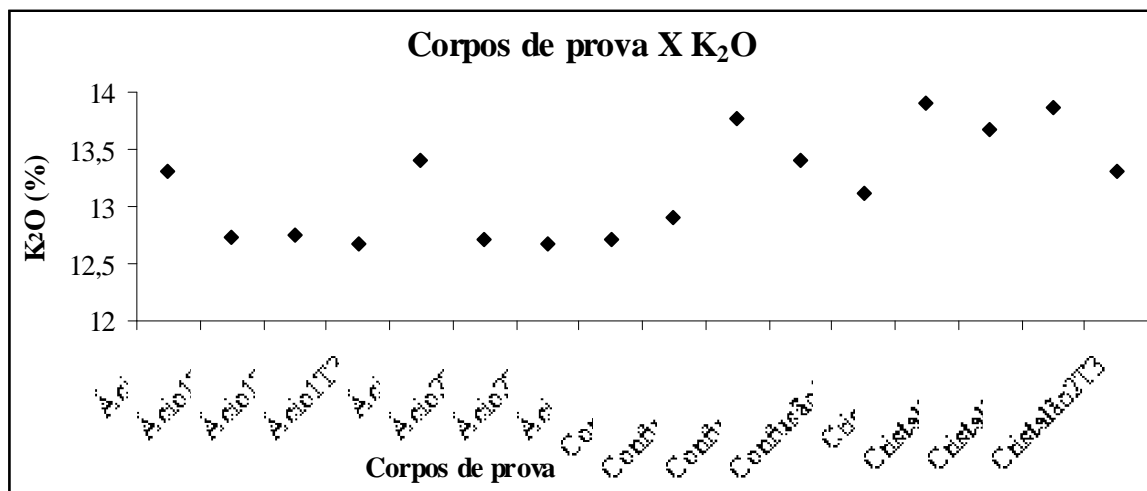


Figura 16 ó Relação entre os corpos de prova e o K₂O, mostrando a variação dos teores de K₂O nos corpos de prova, com a queima às temperaturas T₁, T₂ e T₃.

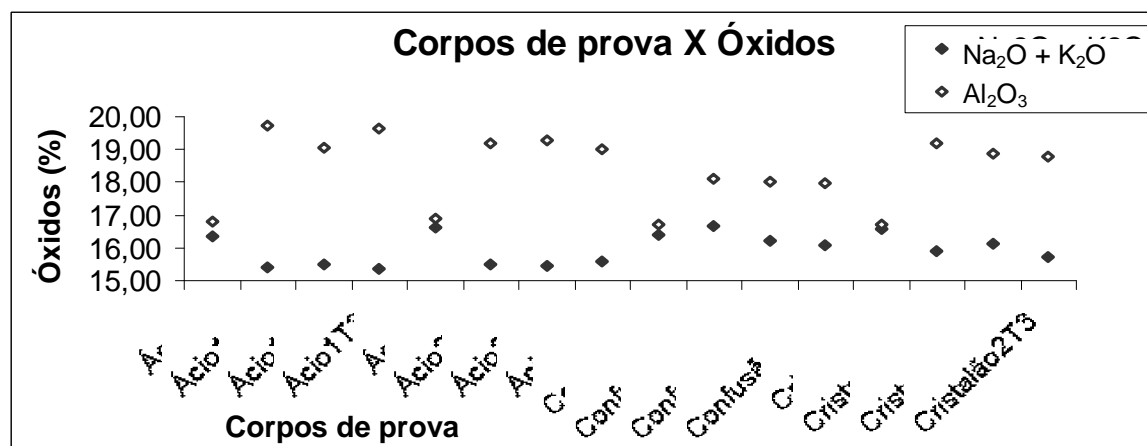


Figura 17 ó Relação entre os corpos de prova o Al₂O₃ e a soma dos óxidos (Na₂O + K₂O), mostrando o aumento dos teores de Al₂O₃ e a diminuição dos teores dos óxidos nos corpos de prova, com a queima às temperaturas T₁, T₂ e T₃.

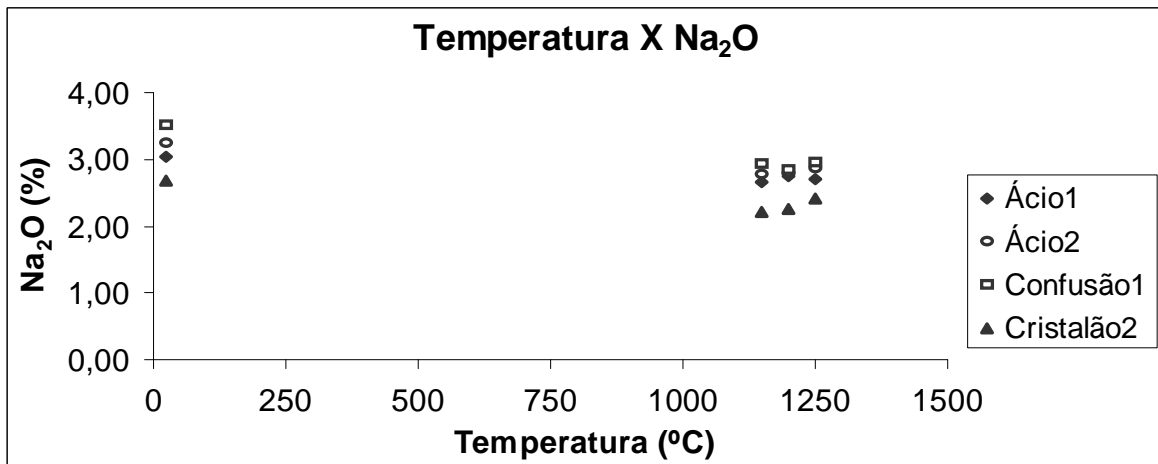


Figura 18 é Relação entre a temperatura e o Na₂O, mostrando a diminuição dos teores de Na₂O nos corpos de prova com a queima.

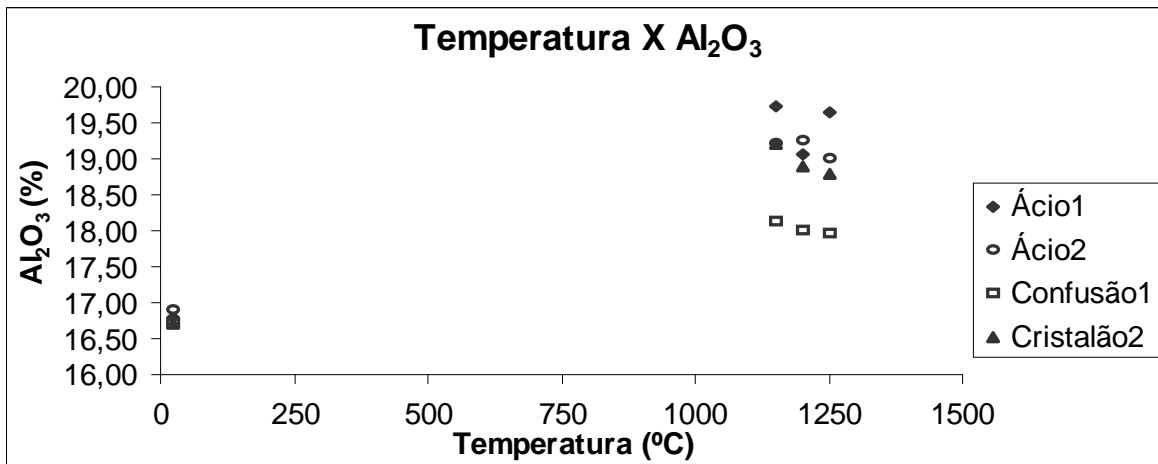


Figura 19 é Relação entre a temperatura e o Al₂O₃, mostrando o aumento dos teores de Al₂O₃ nos corpos de prova com a queima.

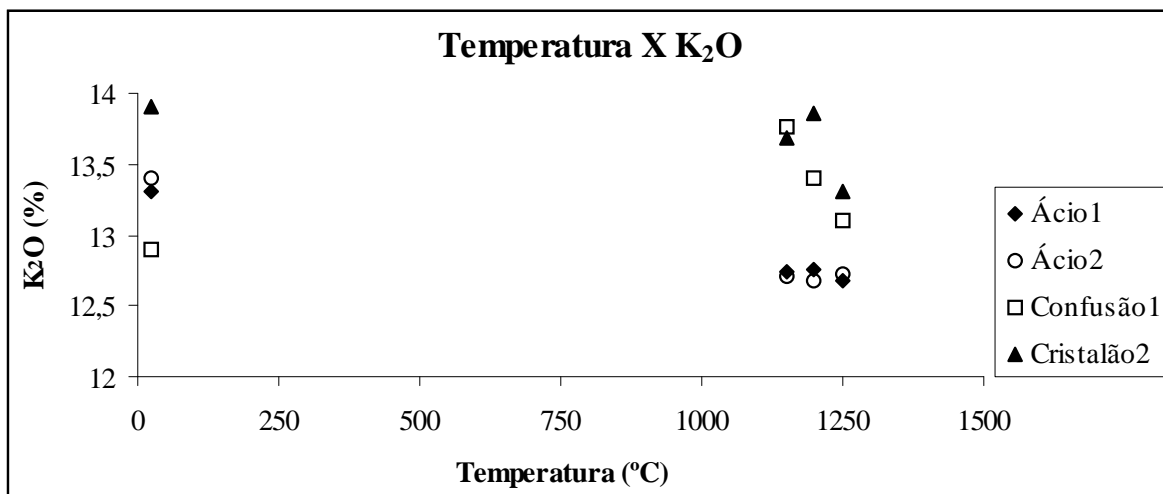


Figura 20 - Relação entre a temperatura e o K₂O, mostrando a variação dos teores de K₂O nos corpos de prova com a queima.

VII.2.3 ó Espectroscopia de absorção no infravermelho

Segundo Launer 1952 (in: Marciano 1985), o deslocamento da banda de absorção da ligação Si ó O, desde a subclasse menos polimerizada, onde o intervalo da banda é maior (tetraedros isolados SiO), até o grupo da sílica, onde o arranjo tridimensional dos tetraedros determina um deslocamento dessa banda para a região de menor comprimento de onda. A crescente complexidade do arranjo dos tetraedros nos silicatos está diretamente relacionada ao deslocamento da banda.

Nos feldspatos, a ligação Si ó O é fortemente absorvida na região próxima a 10 micra ou $1.000\text{cm}^{\acute{o}1}$ (Povarenikh, 1978). As vibrações de estiramento (östretchingö) que ocorrem entre 950 e $1.200\text{cm}^{\acute{o}1}$ são as mais nítidas, e caracterizam, tanto as ligações Si ó O ó Si, como as Si ó O ó Al e são assimétricas. A segunda região de mais fortes variações é aquela compreendida entre 400 e $550\text{cm}^{\acute{o}1}$. Estas vibrações são de deformação (öbendingö) das ligações O ó Si ó O.

Segundo Rossman (1993), fluidos aquosos são componentes menores de feldspatos, sendo observados no espectro de muitos feldspatos. A água em inclusões fluidas é a fase mais comumente encontrada. Contudo, moléculas de água e íons hidróxidos ocorrem em cristais não alterados. As maiores concentrações de ligações aquosas foram encontradas em pegmatitos graníticos. Os íons isolados $\text{OH}^{\acute{o}}$ têm um único movimento que absorve radiação infravermelha. É o movimento de estiramento do O ó H, que absorve energia na radiação $3.735\text{cm}^{\acute{o}1}$ (Rossman, 1985).

O estudo da região entre 2.800 e $3.900\text{cm}^{\acute{o}1}$ de vários feldspatos possibilitou a descoberta de três picos entre 3.400 e $3.600\text{cm}^{\acute{o}1}$, que foram identificadas pelo processo de deuteração como sendo bandas de OH (Wilkins & Sabine 1973).

Embora os espectros de infravermelho obtidos compreendam a região entre $4.000\text{cm}^{\acute{o}1}$ e $400\text{cm}^{\acute{o}1}$ (Figura 21), o estudo foi efetuado, segmentandoóse esta ampla faixa em intervalos menores que possibilitassem a observação de maiores detalhes para efeitos de interpretação dos resultados obtidos. As regiões de interesse para o estudo dos feldspatos são aquelas compreendidas entre 700 ó $800\text{cm}^{\acute{o}1}$, 1.000 ó $1.200\text{cm}^{\acute{o}1}$ e 3.400 ó $3.600\text{cm}^{\acute{o}1}$. Entretanto, um pico significativo na faixa entre 2.300 ó $2.400\text{cm}^{\acute{o}1}$ está presente em todos as amostras analisadas e pode ser correlacionado com vibrações de moléculas de CO_2 .

Em se tratando do tema em estudo, uma abordagem foi efetuada para observação do comportamento das ligações Al - O na estrutura do mineral, para as regiões do espectro compreendidas entre 700 ó $800\text{cm}^{\acute{o}1}$. A análise dessa porção do espectro mostra que tais ligações tendem a desaparecer com o aumento da temperatura de queima (Figura 22).

A observação do comportamento da estrutura do mineral, quanto às ligações Si - O para as regiões do espectro compreendidas entre 1.000 ó $1.200\text{cm}^{\acute{o}1}$, mostra, claramente, que, à medida que a temperatura de queima aumenta diminuem as vibrações das ligações Si ó O, denotando um menor grau de polimerização dos tetraedros SiO_2 (Figura 23).

Especial atenção foi dada à região compreendida entre 2.900 a 4.000 cm^{-1} , pois, nessa faixa estão concentrados os picos associados às ligações H_2O presentes na estrutura do mineral (Figura 24).

ÁCIO (zona intermédia externa)

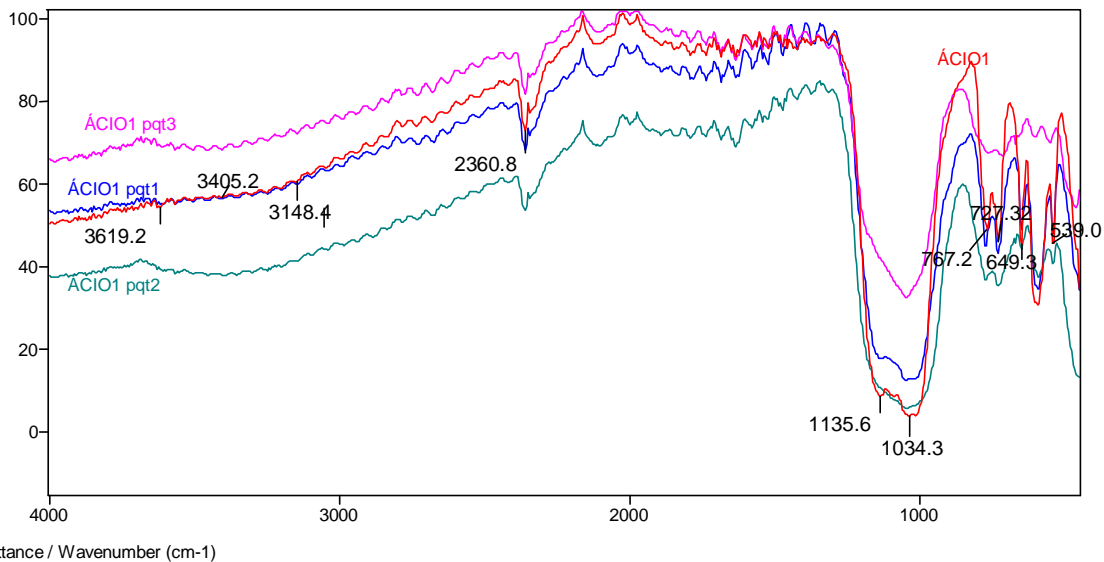


Figura 21 ó Espectros no infravermelho de amostras de feldspato potássico pertítico da lavra do Ácio, obtidos antes da queima (Ácio1) e pós-queima (Ácio1 pqt1, Ácio1 pqt2, Ácio1 pqt3), nas temperaturas $T_1 = 1.150^\circ\text{C}$; $T_2 = 1.200^\circ\text{C}$ e $T_3 = 1.250^\circ\text{C}$ no intervalo de 400 a 4.000 cm^{-1} .

ÁCIO (zona intermédia externa)

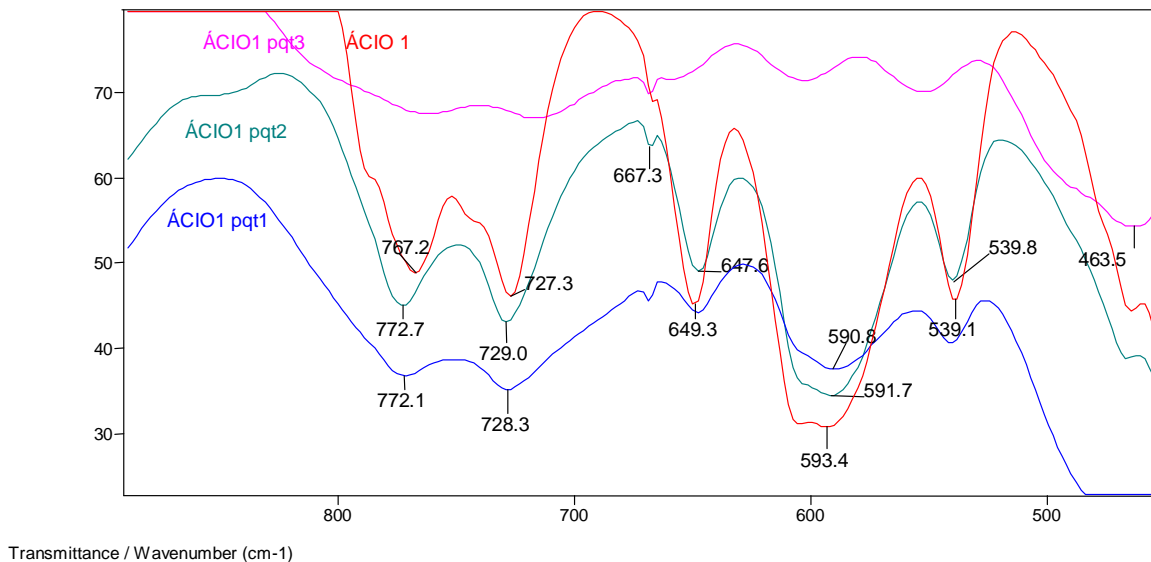


Figura 22 ó Espectros no infravermelho de feldspatos do pegmatito Ácio no intervalo de 400 a 1.000 cm^{-1} , mostrando a degeneração progressiva da estrutura a partir das ligações AlO_6 com a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3 .

ÁCIO (zona intermédia externa)

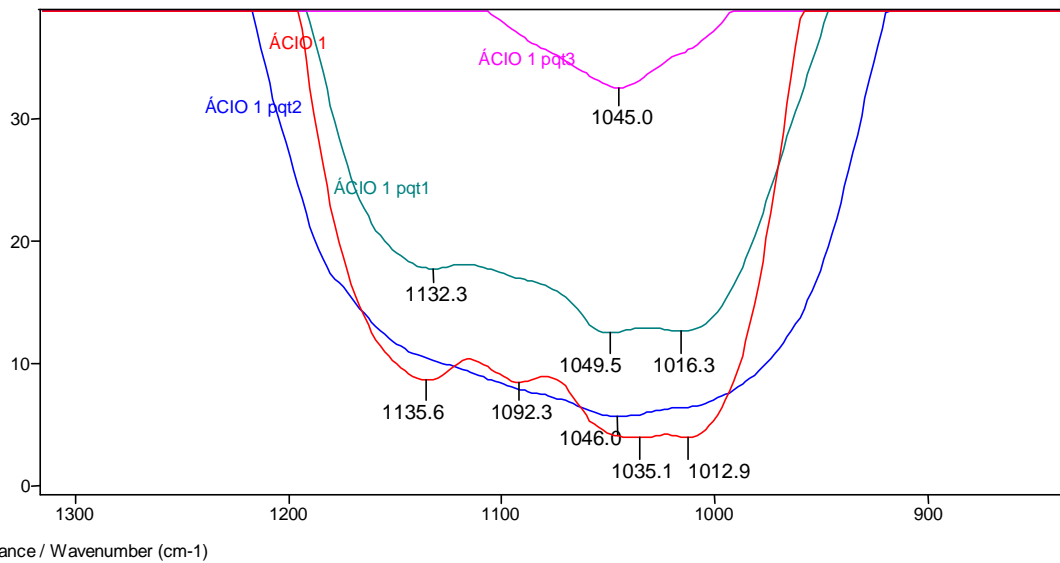


Figura 23 ó Espectros no infravermelho de amostras de feldspato do pegmatito Ácio no intervalo de $95061.200\text{cm}^{\delta 1}$, mostrando a degeneração progressiva da estrutura a partir das ligações SióO, com a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3 .

ÁCIO (zona intermédia externa)

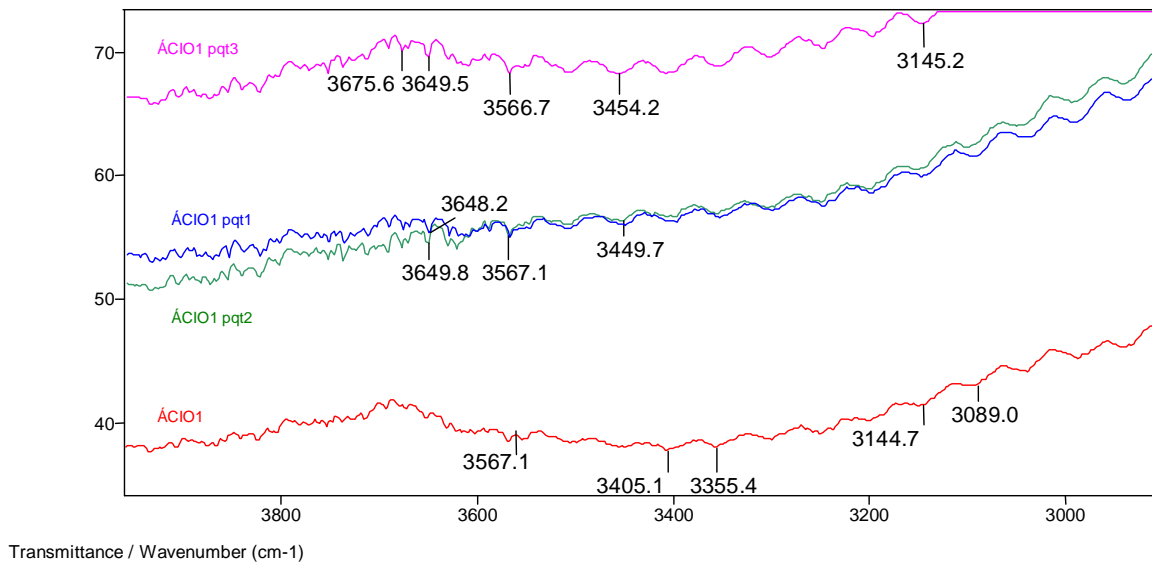


Figura 24 ó Espectros no infravermelho de feldspatos do pegmatito Ácio compreendido na faixa de $2.90064.000\text{cm}^{\delta 1}$, mostrando os picos das moléculas de H_2O .

A observação dos espectros no infravermelho obtidos para os corpos de prova do pegmatito Ácio, na zona intermédia interna, mostra comportamento análogo àqueles da zona intermédia externa e são exibidos nas Figuras 25, 26, 27 e 28.

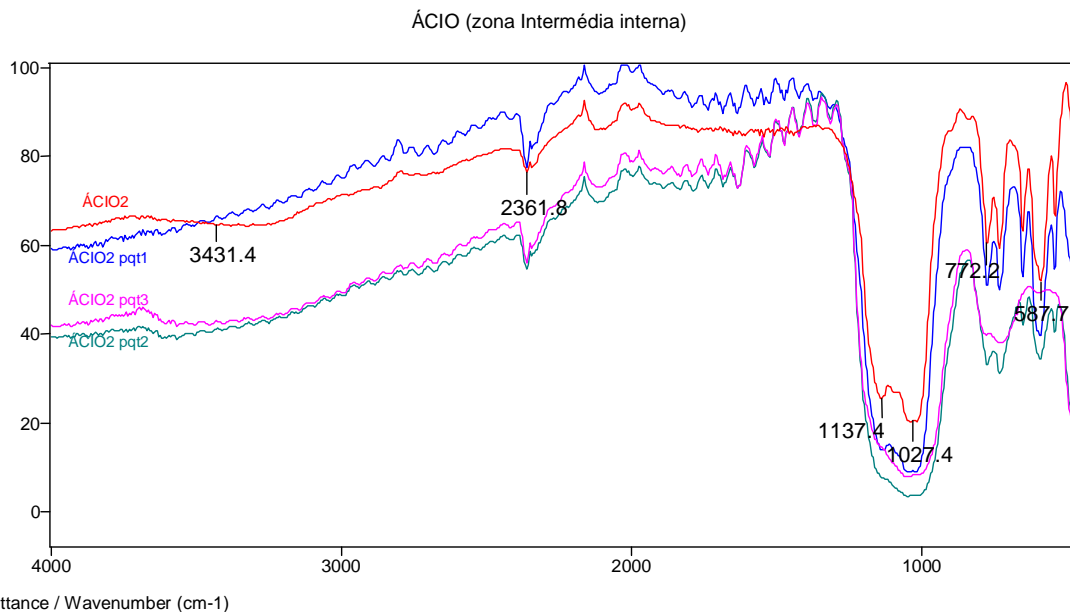


Figura 25 ó Espectros no infravermelho de amostras de feldspato potássico pertítico da lavra do Ácio, obtidos antes da queima (Ácio 2) e pósqueima (Ácio2 pqt1, Ácio2 pqt2, Ácio2 pqt3), nas temperaturas $T_1 = 1.150^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 1.200^{\circ}\text{C}$ e $T_3 = 1.250^{\circ}\text{C}$ no intervalo de $400\text{ó}4.000\text{cm}^{-1}$.

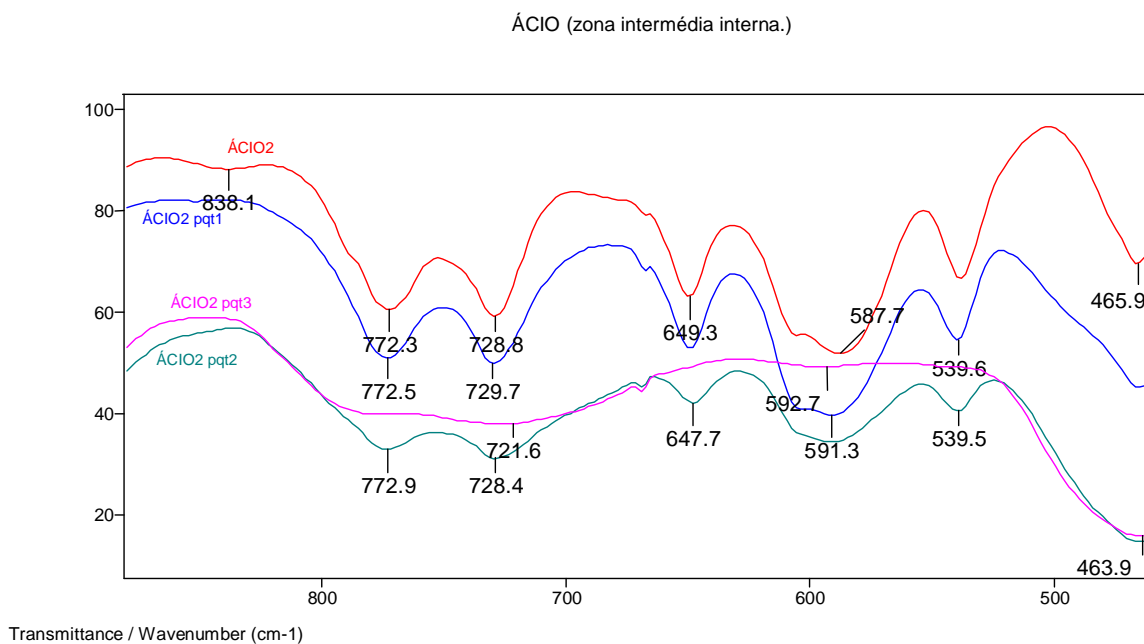


Figura 26 ó Espectros no infravermelho exibindo os picos relativos às vibrações das ligações Si-O-Si e Al-O-Si, no intervalo de $500\text{ó}800\text{cm}^{-1}$, e o seu desaparecimento progressivo com a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3 .

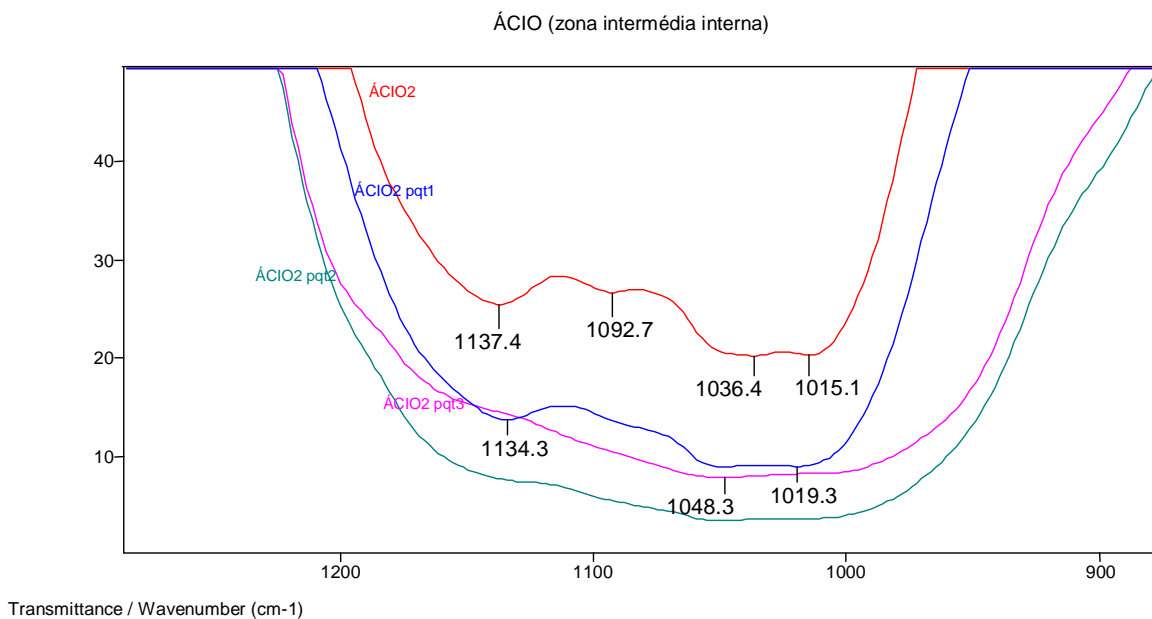


Figura 27 ó Espectros no infravermelho exibindo os picos relativos às vibrações das ligações na molécula de Si-O, no intervalo de $1.000\text{ó}1.200\text{cm}^{\text{ó}1}$, e o seu desaparecimento progressivo com a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3 .

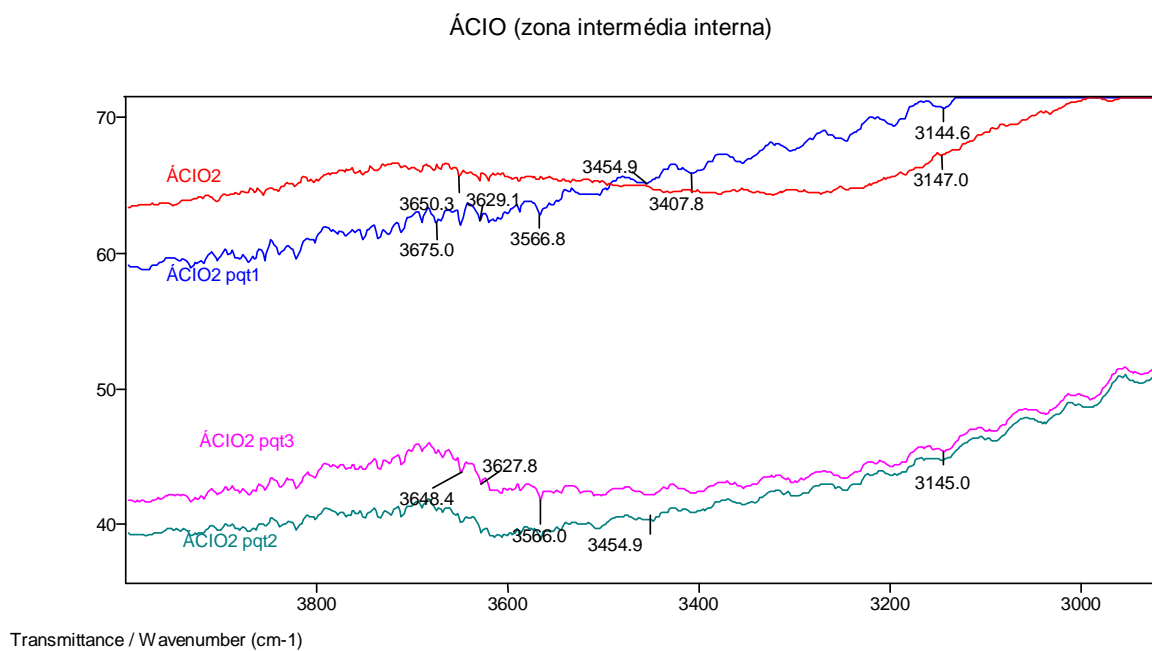


Figura 28 ó Espectros no infravermelho exibindo os picos relativos às vibrações das ligações na molécula de H_2O , no intervalo de $3.400\text{ó}3.700\text{cm}^{\text{ó}1}$.

Os espectros no infravermelho, obtidos dos corpos de prova do pegmatito Confusão (zona intermediária externa), foram avaliados quanto ao comportamento das vibrações das ligações nas moléculas de SiO_2 e AlO_4 (Figuras 29, 30 e 31) relacionadas com a estrutura do mineral, bem como quanto as vibrações nas moléculas de H_2O (Figura 32).

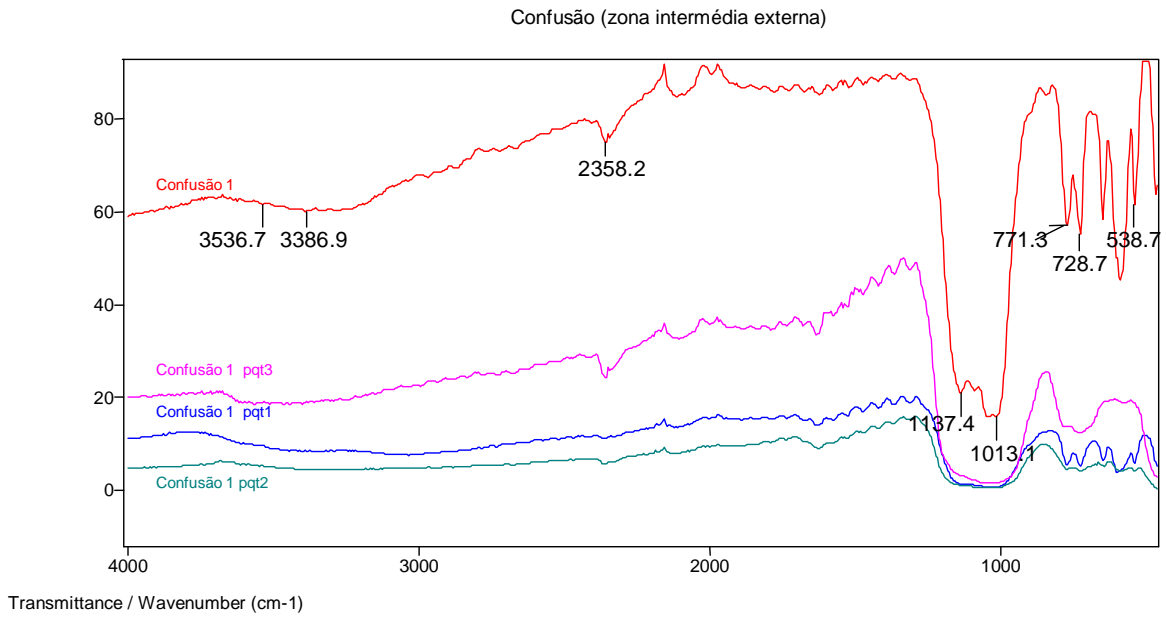


Figura 29 ó Espectros de absorção no infravermelho de amostras de feldspato potássico pertítico da lavra Confusão, obtidos antes da queima (Confusão 1) e pós-queima (Confusão1 ppt₁, Confusão1 ppt₂, Confusão1 ppt₃), nas temperaturas T₁ = 1.150°C; T₂ = 1.200°C e T₃ = 1.250°C, no intervalo de 40064.000cm^{ó1}.

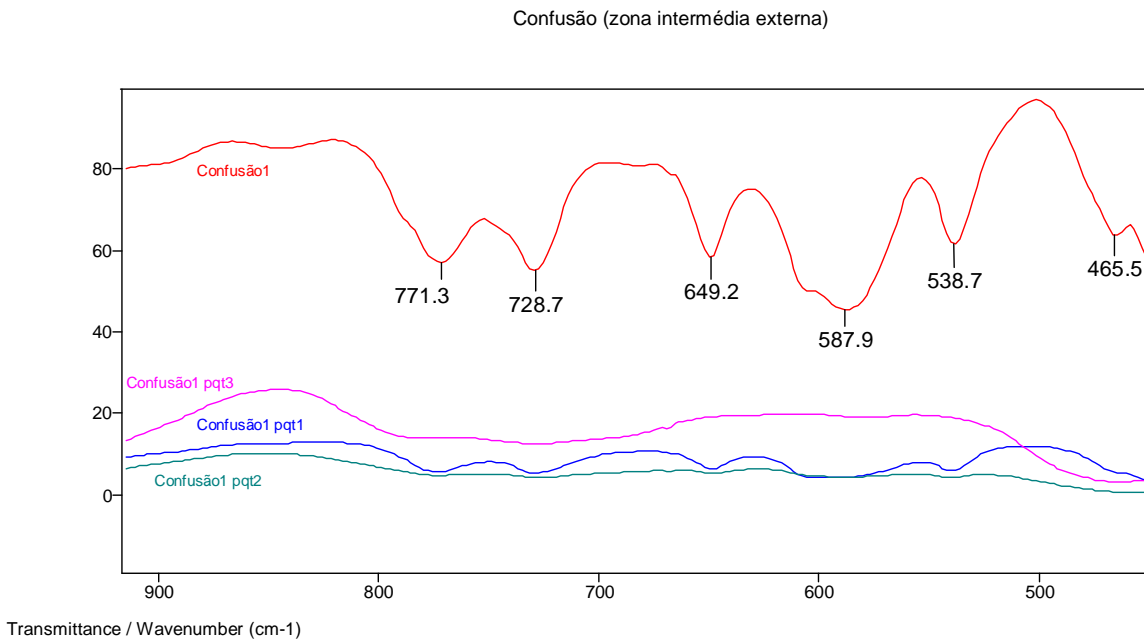


Figura 30 ó Espectros no infravermelho exibindo os picos relativos às vibrações das ligações na molécula de Al - O, no intervalo de 5006800cm^{ó1}, e o seu desaparecimento progressivo com a queima nas temperaturas T₁, T₂ e T₃.

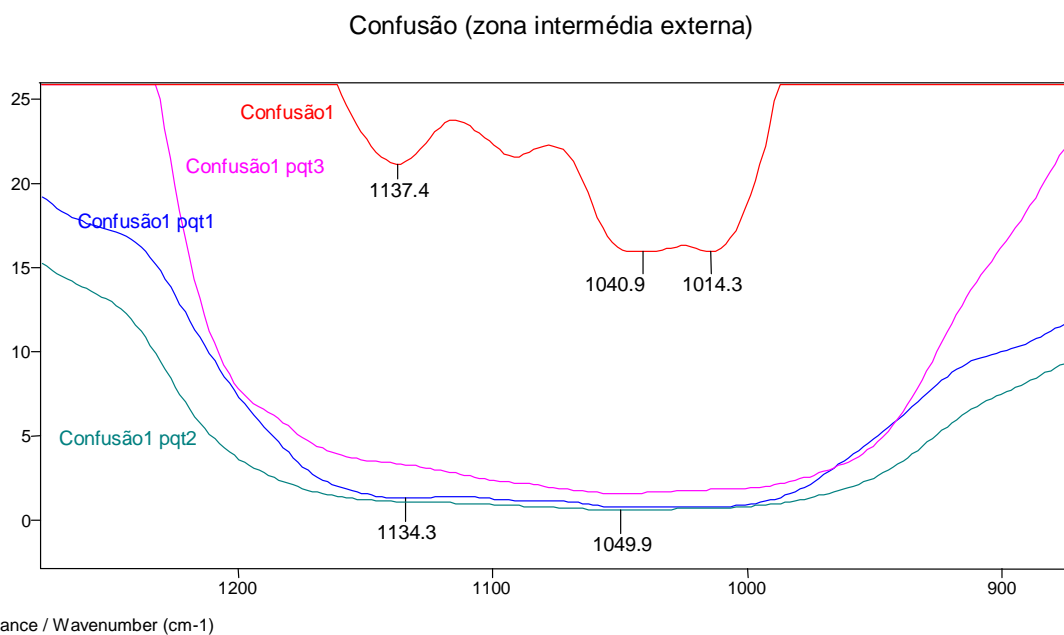


Figura 31 ó Espectros no infravermelho exibindo os picos relativos às vibrações das ligações Si - O, no intervalo de $1.000\hat{6}1.200\text{cm}^{\hat{0}1}$ e o seu desaparecimento progressivo com a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3 .

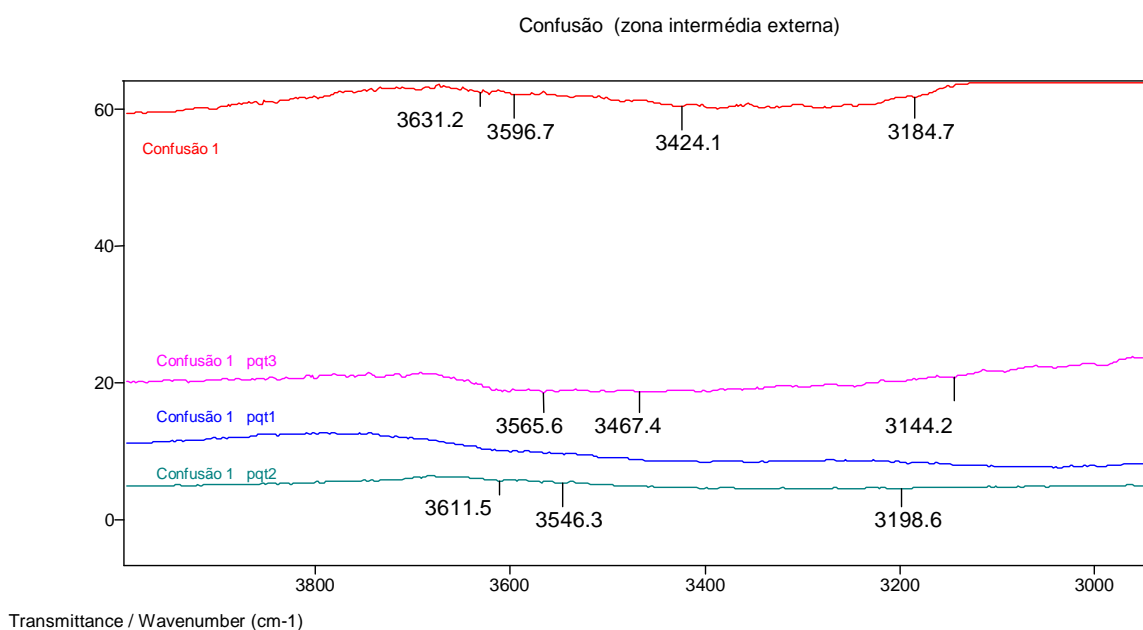
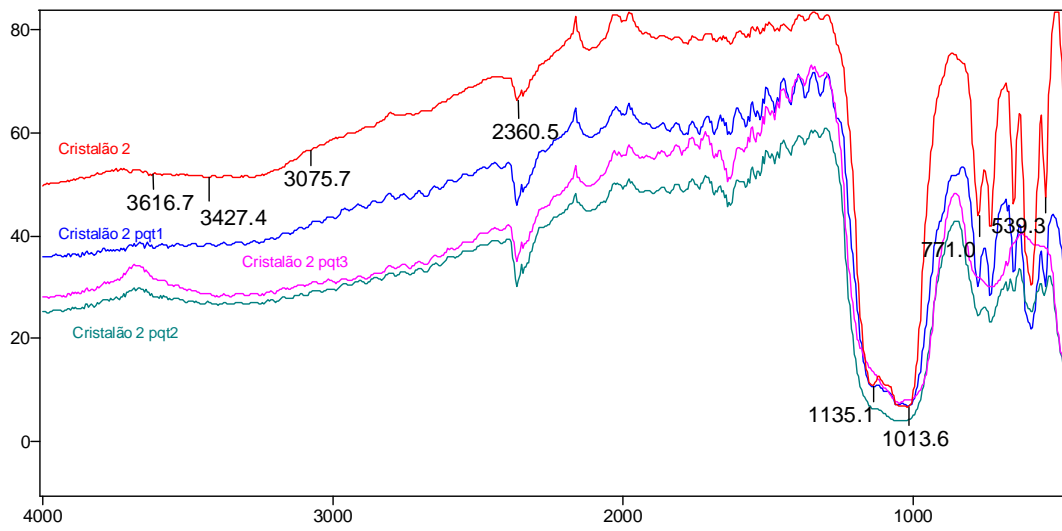


Figura 32 ó Espectros no infravermelho exibindo os picos relativos às vibrações das ligações na molécula de H_2O , no intervalo de $3.400\hat{6}3.700\text{cm}^{\hat{0}1}$.

Os espectros no infravermelho, obtidos de feldspatos do pegmatito Cristalão, foram avaliados quanto ao comportamento das vibrações das ligações nas moléculas de SiO_2 e AlO_4 , na estrutura do mineral, bem como vibrações das ligações nas moléculas de H_2O .

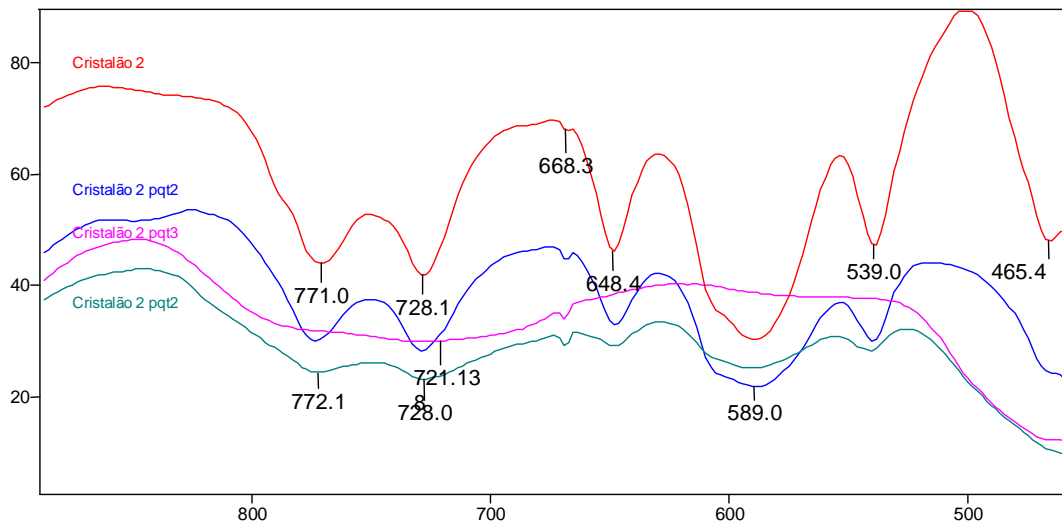
Cristalão (zona intermédia interna)



Transmittance / Wavenumber (cm-1)

Figura 33 ó Espectros de absorção no infravermelho de amostras de feldspato potássico pertítico da lavra Cristalão, obtidos antes da queima (Cristalão 2) e pós-queima (Cristalão2 ppt₁, Cristalão2 ppt₂, Cristalão2 ppt₃), nas temperaturas T₁ = 1.150°C; T₂ = 1.200°C e T₃ = 1.250°C, no intervalo de 40064.000cm^{ó1}.

Cristalão (zona intermédia interna)



Transmittance / Wavenumber (cm-1)

Figura 34 ó Espectros no infravermelho, exibindo os picos relativos às vibrações das ligações Al - O, no intervalo de 5006800cm^{ó1}e o seu desaparecimento progressivo com a queima nas temperaturas T₁, T₂ e T₃.

Cristalão (zona intermédia interna)

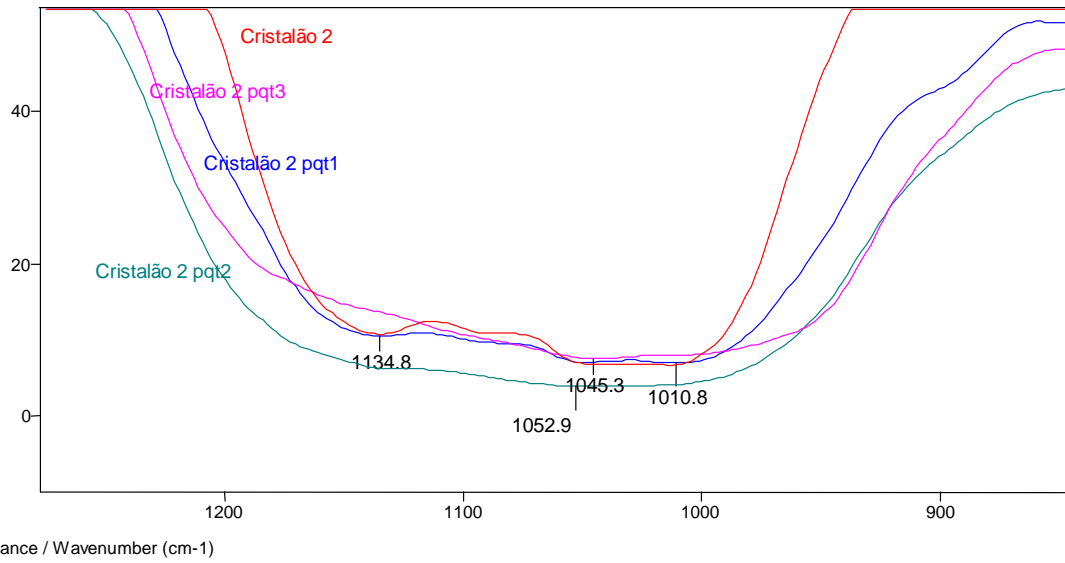


Figura 35 ó Espectros no infravermelho, exibindo os picos relativos às vibrações das ligações Si ó O no intervalo de $1.000\text{6}1.200\text{cm}^{-1}$ e o seu desaparecimento com a queima nas temperaturas T_1 , T_2 e T_3 .

Cristalão (zona intermédia interna)

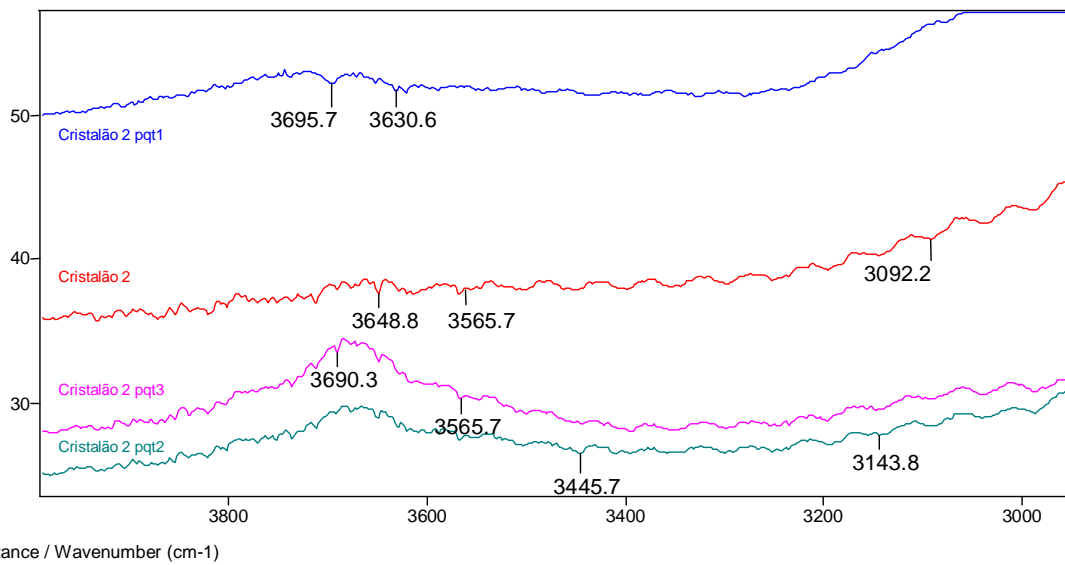


Figura 36 ó Espectros no infravermelho exibindo os picos relativos às vibrações das ligações nas moléculas de H_2O , no intervalo de $3.400\text{6}3.700\text{cm}^{-1}$.

CAPÍTULO VIII ó CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DE FELDSPATOS PARA USO CERÂMICO

VIII.1 ó Introdução

Em termos comerciais, a designação dos feldspatos é dada pela sua composição química: feldspato potássico, feldspato sódico, feldspato cálcio-sódico, feldspato cálcico e feldspato bórico (Neves *et al.* 1997).

O feldspato sódico contém mais de 4% de Na₂O e serve à indústria do vidro, esmaltes e porcelanas. Na fabricação de vidro, o feldspato aumenta a aplicabilidade do vidro fundido, ao fornecer alumina. Já o feldspato potássico contém menos de 4% de teor de Na₂O e é utilizado na cerâmica, pois com seu ponto de fusão a 1.200°C, ele pode servir como fundente, além de ser agente de fluxo. São vários os setores desta indústria que consomem feldspato: cerâmica elétrica e técnica, filtros, louças sanitárias, ladrilhos e azulejos. Por outro lado, todo o segmento da indústria vidreira necessita de feldspato (bulbos de televisores, fibra de vidro, vidros planos, iluminação, vidros especiais) (Moraes & Hecht 1997).

Os feldspatos constituem matérias-primas complementares para massas de revestimentos cerâmicos. Eles são introduzidos na composição como materiais inertes ou refratários para facilitar a eliminação de compostos voláteis que se desenvolvem durante processo de queima (Novaes de Oliveira 2000).

Segundo Hlayá (1983) dentre as propriedades dos feldspatos, menção deve ser feita em particular ao seu comportamento em torno do ponto de fusão. As transformações polimórficas tornam-se de menor importância por que os álcali-feldspatos geralmente fundem e viram vidro após o resfriamento.

Existem algumas normas para especificações do feldspato para o vidro, feita pela Associação Tecnológica Brasileira das Indústrias e Artefatos do Vidro ó ATBIAV. Mas há outras especificações, menos frequentes, na utilização industrial do feldspato (Tabela 6). Pelo exposto na tabela, verifica-se que os principais segmentos industriais responsáveis pelo consumo de feldspato são a indústria de vidro e a indústria cerâmica. Secundariamente, os feldspatos são empregados na formulação de esmaltes porcelanizados, rebolos e eletrodos para solda.

Moura (1997) obteve dados a partir de análises químicas de feldspatos do Pegmatito Urucum e verificou que estes podem ser utilizados na indústria do vidro e na massa cerâmica.

As técnicas de beneficiamento adequadas a feldspatos provenientes de pegmatitos constituem-se de britagem, moagem em moinhos de bolas recobertas de sílica, e retirada do ferro por métodos eletromagnéticos (Neves *et al.* 1997).

Tabela 17 ó Principais especificações para uso industrial do feldspato (in Silva *et al.* 1996)

Indústria	Composição química								Granulometria	Perda ao fogo	Observações
Cerâmica	1ª Qualidade	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \geq 13,0\%$ $\text{Al}_2\text{O}_3 > 18\%$ $\text{SiO}_2 \leq 67\%$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0,1\%$ $\text{TiO}_2 < 0,2\%$ $\text{CaO} \text{ e } \text{MgO} \leq 0,3\%$							Varia desde 100% passante na malha 30# até 100% na malha 200#	0,5% máx	O feldspato, tanto sódico como potássico é utilizado como fundente, devido a presença de álcalis nos setores de louça sanitária, louça de mesa, pastilhas, ladrilhos cerâmicos, cerâmicos elétricos, cerâmica técnica e industrial, canelos, cacinhos, velas e filtros
	2ª Qualidade	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \geq 10,0\%$ $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15,0\%$ $\text{SiO}_2 < 71,0\%$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0,51\%$							Varia desde 100% passante na malha 10# até 100% na malha 200#	1,0% máx	
Vidreira ATBIAV		K_2O	Na_2O	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	100% passante em #16mesh 2% retido em # 20 mesh 10% a 80% retido em # 140mesh	1,0% máx 1,0% máx 1,5% máx ó	Os feldspatos são utilizados em todos os tipos de vidros (embalagem, plano, iluminação, cinescópio doméstico e vidros especiais). Sua função é fornecer alumina, além de incorporar o sódio e potássio.
	A	11,0 a 12,6	2,5 a 3,5	64,5 a 65,5	19,0 a 20,0	0,10	0,04	Tr			
	B	13,5	ó	67,0	17,5	0,10	ó	ó			
	C	12,0	ó	70,0	15,0	0,30	ó	ó			
	D	11,5	ó	70,5	14,5	0,35	ó	ó			
Tintas e vernizes	Potássico	$\text{SiO}_2 \leq 65,0\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20,0\%$; Na_2O , 10,0%; $\text{K}_2\text{O} > 9$ a 12,0%; $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0,20\%$							100% passante na # 200 mesh	1,0% máx	Os feldspatos são utilizados na formulação de esmaltes porcelanizados (fitas metálicas) atuando como fundente
	Sódico	$\text{SiO}_2 \leq 65,0\%$; $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 20,0\%$; $\text{Na}_2\text{O} < 10,0\%$; $\text{K}_2\text{O} > 3,0\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0,20\%$							100% passante na # 200 mesh	1,0% máx	
Abrasivos	SiO_2	63,6% a 66,3%							98% passante na # 200 mesh	0,92% a 1,2% máx	Os feldspatos agregam-se à liga vitrificada que mantém os grãos abrasivos na forma do rebolo.
	Al_2O_3	16,8% a 20,8%									
	Na_2O	1,0% a 4,6%									
	K_2O	8,4% a 13,6%									
	$\text{CaO} \leq 1,2\%$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0,35\%$; $\text{MgO} \leq 1,2\%$										
Eletrodos para Solda		SiO_2	K_2O	Al_2O_3	K_2O	Na_2O			100% passante em #80mesh 80% passante em #325mesh	1,5% máx	Os feldspatos são utilizados como estabilizantes do arco volcico, como escorificante e para transferência de cromo, molibdcnio, níquel e manganés para o material base.
	Potássico	65 ó70%	12ó13%	15ó20%	12ó13%						
	Sódico	62ó67%	03ó06%	17ó19%	03ó06%	05ó10%			100% passante em #325mesh		

VIII.2 ó Estudos do processo de piroexpansão (õfervuraõ) em feldspatos

Segundo PedrosaóSoares *et al.* (1993) as causas da expansão estariam associadas a fatores que interagem diferencialmente em função da temperatura máxima e do tempo de queima e que seriam as seguintes:

- Conteúdo de fluidos contidos em impurezas minerais hidratadas e/ou hidroxiladas, resultantes de processos de alteração intempéricos ou hidrotermais, e/ou contidos em inclusões fluidas;
- Quantidade da fase albítica;
- Densidade da distribuição da fase albítica em meio à matriz potássica.

PedrosaóSoares *et al.* (1993) estudaram amostras de feldspato sódicoópotássico pertítico do Distrito Pegmatítico de Marilac, na região de Governador Valadares. Todas as amostras apresentam fase sódica, na forma de albita, minoritária e exsolvida da matriz potássica, constituindo estruturas de pertita dadas por arranjos variados de albita em meio ao feldspato potássico.

As frações queimadas mostram graus variáveis de expansão (õfervuraõ), desde exemplares praticamente não expansíveis até extremamente expansíveis, com vários termos intermediários.

Segundo Marino & Boschi (1998a e b), além das variações dimensionais devem-se considerar também as reações químicas que ocorrem durante a queima. Essas reações é que vão dar origem às fases que estarão presentes no produto final e, dessa forma, influenciarão, consideravelmente, as propriedades dos mesmos. A importância de se conhecer as reações que ocorrem durante a queima, está relacionada ao fato de que as propriedades do produto final são uma consequência das fases presentes e da sua microestrutura.

VIII.3 ó Ensaios tecnológicos

De acordo com Manning (1995) a queima de minerais industriais é necessariamente um processo de energia intensiva, cobrindo um intervalo de temperatura de 150°C (em plásticos manufaturados) a 1.600°C (em vidros manufaturados).

Segundo Trein (1997), nos ensaios de queima de feldspato, importa observar, primordialmente, as seguintes características no produto final:

- a) cor de queima a diferentes temperaturas;
- b) susceptibilidade e modo de fusão do material, e a que temperatura se processa.

Os testes de queima são da maior importância para a qualificação do material para a indústria da cerâmica branca e para a indústria do vidro, devendo ser objeto de preocupação especial, face ao seu caráter decisivo.

Trein (1997) executou testes de queima em dois níveis: em escala de laboratório e, em escala industrial. Os testes de queima em laboratório foram feitos com o material moído em malha 35 e 200mesh. A malha 35 tem por objetivo a observação, após a queima, de impurezas na forma de pontos escuros de minerais pigmentantes à base de ferro ou manganês. A malha 200 representa o ensaio normal, nas condições industriais. Todos os corpos de prova foram queimados a cone Orton nº 7 (aproximadamente 1.250°C) e a cone nº 566 (1.220 °C). Este autor observou que um corpo de prova queimado no Cone nº 7 (1.250°C), produziu grande formação de fase vítrea, com visível deformação dos corpos de prova e atribuiu tal característica à presença de plagioclásio, que forma eutéticos de baixa temperatura e baixa viscosidade.

Gandini *et al.* (1998) e Gandini (1999), estudaram feldspatos do Campo Pegmatítico da Golconda, a noroeste da cidade de Governador Valadares, pertencentes ao Distrito Pegmatítico de Marilac, e verificaram que os teores em Fe, Mn e Ti estão muito próximos aos limites de detecção das análises. Observaram, ainda, que os testes de queima até 1.220°C exibiram cor branca para os cones de prova. Entretanto, estes feldspatos são piroexpansíveis, apresentando esta propriedade em intensidades diferentes, ocasionando deformação destes cones, o que os impede de serem utilizados na indústria de cerâmica branca. Esses feldspatos são aplicáveis à indústria de vidro em suas várias especificações.

Hlayá (1983) observou que os feldspatos potássicos fundem incongruentemente a temperaturas de 1.150°C e possuem viscosidade elevada, sendo utilizados em particular em cerâmica. A albíta funde a 1.118°C e possui viscosidade baixa sendo mais utilizada na indústria de vidros.

Almada & Vıcek (2000), sabendo que os feldspatos da região de Governador Valadares sofriam restrições mercadológicas, devido ao conhecido processo de piroexpansão, adotaram o conceito de pilhas de homogeneização (blending) e estabeleceram parâmetros para a formação destas, tais como: análises de Fe₂O₃, Na₂O, K₂O, cor de queima e impurezas (pontos pretos) (Tabela 7).

Tabela 18 ó Especificações para recebimento de matéria prima da empresa Prominex Mineração Ltda (Almada & Vıcek, 2000).

Grau de Expansão (%)				Composição Química (%)						Cor de Queima	Pontos Pretos
Classe	Min.	Máx.	Fe ₂ O ₃		Na ₂ O		K ₂ O				
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.			
Vidreira	VA	ó	ó	0,000	0,100	1,80	4,00	10,00	15,00	ó	ó
	VB		ó	0,000	0,180	1,50	5,00	8,00	14,00	ó	ó
	VC	ó	ó	0,000	0,300	1,50	5,00	6,00	13,00	ó	ó
Cerâmica	CA	0	25	0,000	0,080	2,50	4,00	10,00	15,00	Branca/Vítrea	Muito Poucos
	CB	0	50	0,000	0,100	2,00	3,50	10,00	14,00	Branca	Poucos
	CC	ó	ó	0,000	0,500	2,00	5,00	5,00	12,00	Cinza Claro	Vários
	AA	ó	ó	0,000	0,100	8,00	11,80	0,00	1,50	Branca/Vítrea	Muito Poucos
	AB	ó	ó	0,000	0,250	7,00	11,50	0,00	2,50	Branca	Poucos

Moura (2001, comunicação verbal) esclarece que este conceito de homogeneização já foi utilizado quando a METAMIG desenvolveu projeto de caracterização de feldspatos para a indústria cerâmica na década de 80, ressaltando, entretanto, que não basta separar as pilhas por jazida, sendo necessária a separação do material proveniente dos pegmatitos, respeitando-se o zoneamento dos corpos, visto que o quimismo varia neste sentido.

Para Souza *et al.* (2000), a padronização da matéria-prima mineral utilizada na massa cerâmica, demanda o estabelecimento de procedimentos que envolvam a pesquisa geológica, a lavra, a homogeneização e o estoque dessa matéria-prima através de controles simplificados, que possibilitem sua implementação, na maioria das vezes, por pequenas minerações fornecedoras das indústrias de revestimentos cerâmicos.

CAPÍTULO IX 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

IX.1 6 Discussão e interpretação dos resultados

O conjunto de dados apresentados evidencia que o processo de expansão dos feldspatos potássicos pertíticos é causado e controlado por mais de um fator. Entretanto, devido ao fato do mineral ser constituído por intercrescimento entre fase rica em sódio e fase rica em potássio (predominante), concentramos as nossas atenções no comportamento da fase albítica (sódica) em meio à matriz potássica, durante os ensaios de queima nas diferentes temperaturas planejadas.

Porém, esta variação do grau de expansão dos corpos de prova pode estar relacionada, também, com os diferentes graus de alteração hidrotermal (sericita) e intempérica (caulim) das amostras, ressaltando que esta observação é muito mais macroscópica do que microscópica, visto que a avaliação dos percentuais em seção delgada é dificultada pela distribuição e conteúdo destes minerais. Dessa maneira, a avaliação do grau de alteração se reflete na observação das superfícies de clivagem do mineral, bem como no brilho apresentado, pois os termos mais expansíveis tendem a apresentar superfícies mais embaçadas e foscas.

Nos testes de queima efetuados verificamos que o aumento do volume dos termos expansíveis com a temperatura de queima produz, a 1.250°C, um material esponjoso, devido ao grande número de bolhas (canalículos preenchidos com resina) resultante da expulsão de fluidos durante o processo. Este aspecto dos corpos de prova coincide com o estado de vitrificação total do material observado nos estudos de microscopia, de difratometria de raios-X e de espectroscopia de absorção no infravermelho.

Os ensaios de densidade relativa (d) efetuados mostram, com grande propriedade, o comportamento dos corpos de prova queimados na temperatura extrema ($T_3 = 1.250^\circ\text{C}$) ao serem colocados no líquido (água), ou seja, os termos mais expansíveis tornam-se tão leves que chegam a flutuar. Isto se deve ao fato da expulsão de fluidos e consequente perda de massa. Entretanto, mesmo trabalhando somente com amostras expansíveis, podemos observar que este grau de expansibilidade é variável. Assim sendo, consideramos a variação negativa da densidade como um parâmetro hierarquizador da ordem crescente de expansão.

As análises microscópicas exibem, com muita propriedade, esta sequência crescente de expansão e consequente vitrificação dos corpos de prova. A 1.150°C, as fases minerais ainda estão preservadas, porém, verifica-se já uma tendência das barras de albita ao estreitamento, fato este comprovado nas cerca de 200 medidas efetuadas por meio do software Quantimet 600, para cada corpo de prova pré-queima e pós-queima. A estrutura pertítica nos corpos de prova expansíveis é salientada na queima nas temperaturas de 1.150°C e 1.200°C. Isto nos leva a supor que a fusão das duas fases constituintes não se realiza toda de uma só vez, evidenciado muito baixa miscibilidade

das fases sódica e potássica. Esta fusão incongruente das fases permite que a fuga de fluidos durante a queima ocorra preferencialmente em torno das unidades albíticas dispostas em barras que constituem a estrutura pertítica, porém, verifica-se fuga também a partir dos filetes de albita que estão dispostos no microclínio em menor quantidade.

As análises efetuadas por meio da difratometria de raios-X mostram que os picos representativos da fase albítica são preservados até queimas da ordem de 1.150°C. A temperaturas da ordem de 1.200°C, verifica-se, nos espectros, o surgimento de reflexões residuais representativas da sanidina (K,Na)[AlSi₃O₈], espécie de alta temperatura dos feldspatos potássicos. Entretanto, verificam-se, ainda, resíduos da estrutura cristalina na matriz potássica na forma de reflexões representativas do microclínio (predominantes), indicando o menor grau de vitrificação desta fase em relação a fase albítica. Os corpos de prova, submetidos à queima a 1.250°C, exibem características de materiais que não apresentam estrutura cristalina ordenada, ou seja, são materiais nitidamente amorfos (vidros), como verificado nas análises microscópicas (fotomicrografias), de difratometria de raios-X e de espectroscopia de absorção no infravermelho. Ainda em relação aos dados de difratometria, verificam-se mudanças nas dimensões dos parâmetros cristalográficos com o crescente aumento da temperatura de queima acarretando, assim, modificações no volume da cela unitária dos corpos de prova analisados.

Os dados, obtidos por meio dos ensaios de perda ao fogo, deveriam apresentar valores das frações pós-queima menores do que aqueles das frações queimadas, porém não é isto que se verifica nos resultados obtidos, provavelmente, devido a erros nas medidas de perda ao fogo, ou em função de o material moído absorver água (umidade) do ambiente.

As análises químicas efetuadas mostram que a proporção relativa entre os constituintes K₂O e Na₂O, por si só, não é determinante do grau de expansão. Ainda assim, observamos que o termo mais rico em Na₂O (Confusão) tende a ser menos expansivo que aqueles mais pobres em Na₂O (Ácio e Cristalão). É fato notório a diminuição do conteúdo de Na₂O durante a queima, o que nos leva a supor que o Na (pelo menos em parte) pode ter sido carregado junto com os fluidos que foram perdidos, e, em consequência disso o conteúdo de Al₂O₃ deve ter aumentado. Verificamos o comportamento dos teores de K₂O e constatamos que o corpo de prova Confusão sofre uma variação percentual positiva no teor de K₂O, enquanto os corpos de prova Ácio e Cristalão apresentam variação percentual negativa.

As observações efetuadas a partir dos espectros de absorção no infravermelho dos corpos de prova ensaiados mostram a crescente mudança de estrutura do mineral com a queima nas diferentes temperaturas. Entretanto, verifica-se que mesmo os corpos de prova ensaiados na temperatura extrema (1.250°C) ainda exibem picos representativos de vibrações de ligações de H - O - H e O - C - O.

O que nos leva a crer que a expulsão completa de fluidos pode ocorrer, aumentando-se o tempo de queima nesta faixa de temperatura.

IX.2 ó Conclusões

Os ensaios de queima efetuados mostraram, com muita propriedade, que a expansão observada nos corpos de prova permitem a caracterização da matéria-prima para o seu emprego nos diferentes setores da indústria, que utilizam estes materiais, tais como o segmento cerâmico e vidro. Este parâmetro surge como um fator determinante no seu emprego, pois verifica-se que não basta a matéria-prima ter conteúdos aceitáveis de K_2O , Na_2O , Al_2O_3 , Si_2O , PF, etc. Assim sendo, torna-se necessária a caracterização da matéria-prima quanto a sua expansibilidade, uma vez que este item é de fundamental importância na aceitação por parte das indústrias que utilizam feldspato potássico perítico provenientes de pegmatitos da região leste de Minas Gerais.

Assim sendo, o controle da matéria-prima para uso industrial deve ser analisado como um conjunto de fatores indicadores da qualidade, e que devem ser atentamente monitorados. Dentre as características que devem ser observadas, podemos citar: a cor apresentada pelo mineral; o brilho superficial do mineral, refletindo o estado de alteração das amostras; a avaliação microscópica das amostras, pois, na observação das lâminas delgadas, constatamos que a estrutura cristalina típica do microclínio é uma feição característica dos corpos de prova expansíveis, e que fazem surgir nas frações queimadas formas de aspecto rombóide. Deve ser avaliado, também, na estrutura perítica, o espaçamento e espessura das unidades albiticas na matriz potássica, pois, dependendo da densidade de distribuição das fases constituintes, podemos separar os materiais quanto ao seu grau de expansão. Salientamos, mais uma vez, que os testes de queima são imprescindíveis, porém, sugerimos que a nível industrial sejam observadas as modificações resultantes de queima entre as temperaturas de $1.200^{\circ}C$ e $1.250^{\circ}C$, pois acreditamos que as maiores transformações ocorram durante esta fase, uma vez que a $1.250^{\circ}C$ todas as amostras denotam estado de vitrificação total.

CAPÍTULO 10 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMADA, M.M de & VICEK, T.F. 2000. Pilhas de Homogeneização: uma Nova Visão para Feldspato Cerâmico. *Cerâmica Industrial*, **5**(4), 31634.
- BARBOSA, A. L. de M.; GROSSI SAD, J.H. 1964. Levantamento Geológico na área do Vale do Médio Rio Doce. Belo Horizonte, DNPM, 6p (Relatório).
- BILAL, E.; NALINI JR., H.A.; CORREIAóNEVES, J.M. 1998b. Fosfatos do pegmatito Sapucaia, norte da região de Galiléia, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., XL, Belo Horizonte, 1998, *Anais...* Belo Horizonte, SBG. p. 279.
- BILAL, E.; NALINI JR., H.A.; HORN, H.; CORREIAóNEVES, J.M.; GIRET, A.; FUZIKAWA, K.; FERNANDES, M.L.; MELLO,F.; MOUTTE, J. 1998a. Granitóides neoproterozóicos da região do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. In: CONGR. BRAS. GEOL., XL, Belo Horizonte, *Anais...* Belo Horizonte, SBG. p. 512.
- BILAL, E.; CORREIA NEVES, J. M.; FUZIKAWA, K.; HORN, A. H.; MARCIANO, V. R. P. R. O.; SOUZA FERNANDES, M. L. MOUTTE, J.; MELLO, F. M.; NASROUI, M. 2000. Pegmatites in Southeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*. **30**(2), 2346237.
- CAMERON, E.N.; JAHNS, R.H.; McNAIR, A.H.; PAGE, E.L.R. 1949. *Internal structure of granitic pegmatites*. *Economic Geology*., Monograph 2: 115p.
- CASSEDANNE, J. 1983. Famous mineral localities: the Córrego Frio and vicinity, Minas Gerais, Brazil. *Mineralogical Rec.*, **14**(4): 2276237.
- CASTAÑEDA, C. 1997. *Caracterização Mineralógica das Turmalinas do Distrito Pegmatítico de Araçuaí, MG*. Dissertação de Mestrado. 149p. (DEGEOóUFOP).
- ERNÝ, P. 1982a. Petrogenesis of Granitic Pegmatites. In: Granitic pegmatites in science and industry. Winnipeg, Mac. Short Course, Handbook, **8**: 4056461.
- ERNÝ, P. 1982b. Anatomy and classification of granitic pegmatites. In: Granitic pegmatites in science and industry. Winnipeg, Mac. Short Course, Handbook, **8**, 1639.
- ERNÝ, P. 1991a. RareóElement Granitic Pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatites deposits. *Geoscience Canada*, **18**: 49667.
- ERNÝ, P. 1991b. RareóElement Granitic Pegmatites. Part II: Regional to global enviroments and petrogenesis. *Geoscience Canada*, **18**, 68681.
- ERNY, P. 1993. Evolution of Feldspars in Granitic Pegmatites. In: Feldspars and their reactions. Edited by Ian Parsons. NATO ASI Series. Series C: Mathematical and Physical Sciences. Chapter 12. v. 421. p.5016539.
- CORREIA NEVES, J.M. 1997. Província Pegmatítica Oriental do Brasil. In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.T. & COELHO, C.E.S. eds. Principais Depósitos Minerais do Brasil: Rochas e Minerais Industriais. Parte B. Brasília DNPM/CPRM. v. 4. Parte B. p.343 ó 362.

- CORREIA NEVES, J.M.; PEDROSA SOARES, A.C.; MARCIANO, V.R.P.R.O. 1986. A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. *Revista Brasileira de Geociências*. **16**(1), p.106-118.
- CORREIA NEVES, J.M. 1981. Interesse Petrológico dos Feldspatos Alcalinos. Seminário apresentado em concurso para um lugar de Professor Titular da Universidade Federal de Minas Gerais, 70p (IGC/UFMG).
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1966. *Minerais Constituintes das Rochas ó Uma Introdução*. 2 ed., Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 558p.
- FANTON, J.J; ARIOLLI, E. A.; MOURA, O.J.M. 1978. Pegmatitos da região de Galiléia/Mendes Pimentel. In: CONGR. BRAS. GEOL., XXX. Recife, 1978. *Anais... Recife*, SBG. v.4, p.177-178.
- FERSMAN, A.E 1931. Les Pegmatites, leur importance scientifique et pratique. *Academy of Science of URSS*. Traduzido para o francês por R. du Trien de Terdonck e J.Thoureau, Universidade de Louvain, Bélgica 1951. **3**, 675p.
- GAINES, R.V.; SKINNER, H.C.W.; FOORD, E.E.; MASON, B.; ROSENZWEIG, A. 1997. *Dana's New Mineralogy*. Eighth Edition. New York. John Wiley & Sons, Inc. 1595-1617.
- GANDINI, A.L. 1999. *Aspectos da mineralogia, geoquímica, gênese e potencialidade econômica do campo pegmatítico de Marilac, Minas Gerais*. Tese de Doutorado, 261p. (IGC/USP).
- GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; SVISERO, D.P. 1998. Quimismo e Aplicação Industrial de Feldspatos do Campo Pegmatítico de Marilac, Região de Governador Valadares, Minas Gerais. In: CONGR. BRAS. GEOL., XL. Belo Horizonte 1998. *Anais... Belo Horizonte*, SBG. p. 323.
- GINSBURG, A. I.; TIMOFEYEV, I. N.; FELDMAN, L. G. 1979. Principles of geology of the granitic pegmatites. In: *XXVII International Geological Congress*, Canada, Manitoba, 1984. **15**: 245-260.
- GOMES, C.B. (coord.) 1984. *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia*. São Paulo, Edgard Blucher, 218p.
- HLAYÁČ, J. 1983. *The Technology of Glass and Ceramics ó An Introduction*. Glass Science and Technology, 4. Scientific Publishing Company. New York. 430p.
- HOLLAND, T. J. B. & REDFERN, S. A. T. 1997. Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics. *Mineralogical Magazine*, **61**: 65-77.
- ISSA FILHO, A.; MOURA, O.J.M. de; FANTON, J.J. 1980. Reconhecimento de pegmatitos da Província pegmatítica oriental Brasileira entre Aimorés e Itambacuri ó MG. In: CONGR. BRAS. GEOL., XXXI. Camboriú 1980. *Anais... Camboriú*, SBG. v.3, p. 155-156.
- JAHNS, R.H. 1955. The study of pegmatites. *Econ. Geol.*, Anniversary Volume, Part II, **50**: 1025-1130.
- JAHNS, R.H. & BURNHAM, C.W. 1969. Experimental studies of pegmatite genesis: I. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. *Econ. Geol.*, **64** (8), 843-864.

- JAHNS, R.H. 1982. Internal evolution of pegmatite bodies. *In: Granitic pegmatites in science and industry*. Winnipeg, Mac. Short Course, Handbook, **8**: 293-327.
- KLEIN, C. & HURLBUT JR., C. S. 1993. Manual of Mineralogy. 21st ed. John Wiley & Sons, Inc. 681p.
- LOBATO, L.M. & PEDROSA-SOARES, A.C. 1993. Síntese dos recursos minerais do Cráton São Francisco e Faixas Marginais em Minas Gerais. *Geonomos*, **1**: 51-64.
- LONDON, D. 1986. Magmatic-hydrothermal transition in the Tanco rare-element pegmatite: Evidence from fluid inclusions and phase-equilibrium experiments. *American Mineralogist*. **71**: 376-395.
- LONDON, D. 1992. The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatites. *Canadian Mineralogist*, **30**: 499-540.
- MANNING, D. A. C. 1995. Introduction to Industrial Minerals. CHAPMAN & HALL. London. 275p.
- MARCIANO, V.R.P.R.O. 1985. *Contribuição ao estudo da mineralogia e geoquímica de pegmatitos da região de Governador Valadares Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado 213p. (IGC-USP).
- MARCIANO, V.R.P.R.O.; CORREIA NEVES, J.M.; SVISERO, D.P.; QUINTÃO, N.H.; SILVA, L.C.T. da. 1992. Pegmatitos do bordo sudeste do cráton do São Francisco, em Minas Gerais: localização, características morfoestruturais e mineralogia. *Revista da Escola de Minas*. **45**(1, 2):199-201.
- MARINO, L.F.B. & BOSCHI, A.O. 1998a. A Expansão Térmica de Materiais Cerâmicos Parte I: Introdução, Aplicações e Composição da Massa. *Cerâmica Industrial*, **3**(1, 2): 17-21.
- MARINO, L.F.B. & BOSCHI, A.O. 1998b. A Expansão Térmica de Materiais Cerâmicos Parte II. Efeito das Condições de Fabricação. *Cerâmica Industrial*, **3**(3): 23-33.
- MORAES, R de O. & HECHT, C. 1997. Geologia do Feldspato. *In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.T. & COELHO, C.E.S. eds. Principais Depósitos Minerais do Brasil: Rochas e Minerais Industriais*. Brasília, DNPM/CPRM. v.4. Parte B. p. 319-326.
- MORTEANI, G.; PREINFALK, C.; HORN, A. H. 2000. Classification and mineralization potential of the pegmatites of the Eastern Brazilian pegmatite Province. *Mineralium Deposita*. **35**: 638-655.
- MOURA, O.J.M. de 1997. Depósitos de feldspato e Mica de Pomaroli, Urucum e Golconda, Minas Gerais. *In: SCHOBENHAUS, C. QUEIROZ, E.T. & COELHO, C.E.S. eds. Principais Depósitos Minerais do Brasil: Rochas e Minerais Industriais*. Brasília, DNPM/CPRM. v.4. Parte B. p. 363-371.
- MOURA, O.J.; FANTON, J.J.; ARIOLI, E.A. 1978. Geologia da região de Galiléia-Mendes Pimentel, M. G. *In: CONGR. BRAS. GEOL., XXX, Recife 1978. Anais... Recife, SBG. v.1, p.266-37.*

- NALINI JR., H.A. 1997. *Caractérisation des Suites Magmatiques Néoproterozoïques de la Région de Conselheiro Pena et Galiléia (Minas Gerais, Brésil): Etude Géochimique et Structurale des Suites Galiléia et Urucum et Relation avec les pegmatites à éléments rares associés*. Ecole Nationale Supérieure des Mines, Saint Etienne, France, Dr. Thesis, 230p.
- NALINI JR., H.A.; BILAL, E.; CORREIA NEVES, J.M.; MOUTTE, J.; GIRET, A. 1997. Granitóides Neoproterozóicos da região do Médio Rio Doce, Leste do Estado de Minas Gerais, Brasil. Actas X Semana de Geoquímica. Congresso de Geoquímica dos Países de Língua portuguesa, 4, Braga, *Anais...* 2: 1116114.
- NALINI JR., H.A.; BILAL, E.; CORREIA NEVES, J.M. 1998. Mineralogical, Geochemical and Isotopic Constraints of Neoproterozoic Granitoids (Urucum and Galileia Suites), Eastern Minas Gerais State, Brazil. *In: International Conference on Basement Tectonic*, 14, Ouro Preto, *Abstracts*, p.44666.
- NETTO, C.; ARAÚJO, M.C. PINTO, C.P.; DRUMOND, J.B.V. 1999. Projeto Leste : Cadastramento de Ocorrências Minerais e Pegmatitos. Belo Horizonte: SEME/COMIG/CPRM. 217p.
- NEVES, M.R.; ETCHEBEHERE, M.L.; RUIZ, M.S. 1997. Depósito de Feldspato do Estado de São Paulo. *In: SCHOBENHAUS, C. QUEIROZ, E.T. & COELHO, C.E.S. eds. Principais Depósitos Minerais do Brasil: Rochas e Minerais Industriais*. Brasília, DNPM/CPRM. v.4. Parte B. p. 3636371
- NOVAES DE OLIVEIRA, A. P. 2000. Tecnologia de Fabricação de Revestimentos Cerâmicos. *Cerâmica Industrial*. 5(6):37647.
- PAIVA, G. de 1946. Províncias Pegmatíticas do Brasil. **Boletim. DNPM/DFPM**, n.78, p.13621.
- PAPIKE, J.J. & CAMERON, M. 1976. Crystal chemistry of Silicate Minerals of Geophysical interest. *Reviews of Geophysics and Space Physics*. 14(1): 65670.
- PEDROSA SOARES, A. C.; NOCE, C. M.; WIEDEMANN, C. M.; PINTO, C. P. 2001. The Araçuaí West Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian Research* 110, p.3076323.
- PEDROSA SOARES, A. C.; WIEDEMANN LEONARDOS, C. M. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its Connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. *In: Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro. 31st International Geological Congress, p.2656285.
- PEDROSA-SOARES, A. C.; DARDENNE, M. A.; HASUI, Y. J.; CASTRO, F. D.; CARVALHO, M. V. A. 1994. Nota explicativa dos mapas geológico, metalogenético e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais. Escala: 1/1.000.000. Belo Horizonte. SEME/COMIG, 97p.
- PEDROSA SOARES, A.C.; MARCIANO, V. R. P. R. O.; COSTA, A. G. 1993. Estudo aplicado do processo de piroexpansão (Fervura) de feldspatos de Governador Valadares. COMIG/CPMTC/IGC/FUNDEP. 45p.
- PEDROSA SOARES, A.C.; MONTEIRO, R.L.B.P.; CORREIA NEVES, J.M.; LEONARDOS, H. 1990. Tipologia dos Pegmatitos de Coronel Murta Virgem da Lapa, Médio Jequitinhonha, Minas Gerais. *Revista da Escola de Minas*, 43(4): 44659.

- PINTO, G. P. 2001. Projeto Leste. Província Pegmatítica Oriental. Mapeamento geológico e cadastramento de recursos minerais da região leste de Minas Gerais. SEME/COMIG/MME/CPRM. CDóROM.
- POVARENENYKH, A. S. 1978. The use of infrared spectra for the determination of minerals. *American Mineralogist*, **63**:(9,10). 9566959.
- PUTNIS, A. 1992. Introduction to mineral sciences. Cambridge University Press. New York. 475p.
- RIBBE, P. H. 1983. The Chemistry, Structure and Nomenclature of Feldspars. *In: Reviews in Mineralogy*, v. 2, p. 1619.
- RIBEIRO, S.H. 1996. *Caracterização mineralógica da região de Divino das Laranjeiras ó Mendes Pimentel (MG) com ênfase a seus depósitos gemíferos e minerais de coleção*. Dissertação de Mestrado, 115p. (IGC6UFMG).
- ROSSMAN, G. R. 1993. Vibrational Spectroscopy of Hydrous Components. *In: Feldspars and their reactions*. Edited by Ian Parsons. NATO ASI Series. Series C: Mathematical and Physical Sciences. Chapter 6, v. 421, p.1936206.
- SCHOLZ, R.; KARFUNKEL, J.; QUÉMENEUR, J.; ADDAD, J.; MARTINS, M. S.; FIGUEIREDO, J. C. D.; COSTA, L. A.; PARREIRA, J. E.; SOUZA, L. A. C.; PIMENTA, M.; FIRMINO, J. A. 2000. Caracterização de berilonitas gemológicas da região de Divino das Laranjeiras, Minas Gerais, através de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) e microscopia Raman. I Simpósio Brasileiro de Tratamento e Caracterização de Gemas. *Resumos*. Ouro Preto. p. 32.
- SILVA, E.F.A. da; CUNHA, J.C.; MARINHO, M.M. 1996. Pegmatitos da região de Itambé, Bahia: geologia e potencialidade econômica. (Série Arquivos Abertos; 10). Salvador: CBPM. 30p.
- SHMAKIN, B.M. 1979. Composition and structural state of Kófeldspars from some U.S. pegmatites. *American Mineralogist*, **64**: 49656.
- SMITH, J.V.; BROWN, W.L. 1988. Feldspars Minerals. 1. Crystal Structures, Physical. Chemical and Microtextural Properties. Second Revise and extend Edition. SpringeróVerlag. Berlin. 828p.
- SOUZA, P.E.C. de; CHRISTOFOLETTI, S.R.; MORENO, M.M.T.; CARVALHO, S.G. de 2000. Proposta de Controle da MatériaóPrima Mineral Utilizada na Indústria de Revestimento Cerâmico. *Cerâmica Industrial*. **5**(1): 51654.
- TREIN, E. 1997. Depósito de Feldspato de Colônia Castelhanos, São José dos Pinhais, Paraná. *In: SCHOBENHAUS, C.; QUEIROZ, E.T. & COELHO, C.E.S. eds. Principais Depósitos Minerais do Brasil: Rochas e Minerais Industriais*. Brasília, DNPM/CPRM. v.4. Parte B. p. 4316439.
- UEBEL, P. J. 1977. Internal Structure of Pegmatites, its Origin and Nomenclature. *N. Jb. Miner, Abh.*, **131**(1):836113.
- VARLAMOFF, N. 1972. Matériaux pour l'établissement des types et de la zonéographie des pegmatites granitiques à métaux rares de Madagascar. *Academie Royale des Sciences d'Outre Mer. Sciences Natureles, Medicinales*, N. S., v. 18-6, 72p.

WILKINS, R. W. T. & SABINE, W. 1973. Water Content of Some Nominally Anhydrous Silicates. *American Mineralogist*, **58**: 508-516.