



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



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Caracterização Mineralógica, Física e Termobarométrica de
Minérios de Grafita da Província Grafítica Bahia-Minas**

AUTOR: Juliane Belém

ORIENTAÇÃO: Antônio Carlos Pedrosa Soares

CO-ORIENTAÇÃO: Cristiane Castañeda

Nº80

**BELO HORIZONTE
DATA (27/06/06)**

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

**Caracterização Mineralógica, Física e Termobarométrica de
Minérios de Grafita da Província Grafítica Bahia-Minas**

Juliane Belém

Dissertação de Mestrado apresentada ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geologia.

Área de Concentração: Geologia Econômica

Orientador: Antônio Carlos Pedrosa Soares

Co-Orientadora: Cristiane Castañeda

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação de mestrado foi realizada com recursos financeiros do projeto de pesquisa “Evolução e Metalogênese do Arco Magmático da Faixa Araçuaí: Modelo de Orógeno Confinado” (CNPq, processo 470144/01-7, coordenador A. C. Pedrosa Soares), do *grant* associado à bolsa de produtividade em pesquisa de A. C. Pedrosa-Soares (CNPq, processo 301430/1984-5) e do projeto de bolsa PRODOC-CAPES de Cristiane Castañeda. Apoio para trabalho de campo e laboratorial se deve ao CPMTC-IGC-UFMG, aos laboratórios de Difração de Raios X e Raman Laser do Depto de Física da UFMG, e ao Laboratório de Microanálises do Consórcio Física-Geologia-Química/UFMG–CDTN/CNEM. A Magnesita S.A. deu apoio financeiro e de campo para a obtenção de amostras de minérios de grafita e confecção de suas lâminas polidas. A bolsa de mestrado da autora foi concedida pelo CAPES.

Gostaria de agradecer as seguintes a todos que apoiaram e incentivaram a realização deste trabalho, em especial:

- Ao orientador Antônio Carlos Pedrosa Soares, Calota, pela atenção, dedicação, compreensão, preocupação e acima de tudo, amizade;
- A co-orientadora e amiga Cristiane Castañeda, por sua disposição, pelas sugestões, horas de discussões e pelo companheirismo. Muito Obrigada!
- Ao Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC), pela estrutura oferecida;
- À Cia. Magnesita S.A., por todo apoio dado a este trabalho;
- Ao Willian do laboratório de microssonda do Departamento de Física da UFMG;
- Ao Garcia do laboratório de Mev do Departamento de Física da UFMG;
- Ao Nivaldo do laboratório de Difração do Departamento de Física da UFMG;

- Ao Marcos Pimenta do laboratório de Raman do Departamento de Física da UFMG;
- Ao Luiz Gustavo Caçado do laboratório de Raman do Departamento de Física da UFMG, pela paciência durante nossas discussões, pelo aprendizado, disponibilidade, atenção e amizade. Muito Obrigada!
- Ao geólogo Leonardo Figueiredo de Faria, Léo, pelo incentivo, amizade e por me deixar de herança as amostras de grafita;
- Ao professor e grande amigo Romano, por toda atenção, amizade e ajuda;
- À professora Lydiá Lobato, pela disponibilidade e atenção durante o uso do microscópio;
- Ao Luciano Cardoso, técnico de Mineração, e sua esposa Lurdinha, por toda a boa vontade durante minha estadia em Almenara. Muito obrigado por tudo.
- Ao Geólogo Bruno Daconti pela atenção e amizade;
- Aos funcionários da Magnesita em Almenara, Zé Dias (Botelho), Lau, Aldeir, Jardel, Zé Peí, e D.Branca, pela receptividade e amizade;
- Aos meus amigos e companheiros. Em especial Camila, Vanessa, Cristiane Maia, Cristina, Junior e Dirceu;
- Aos estagiários Tatiana, Daniel, Paulo, Tiago, Jorge, Luiz e Keciane pela colaboração e descontração!
- A minha mãe por me apoiar e incentivar. Aos meus irmãos: Cris e Bruno por me incentivarem, mesmo achando que geologia não serve pra nada e que eu estudo muito

para “catar” pedra, e Laninha que de tanto me ajudar a traduzir meus artigos já é quase uma geóloga;

- A minha família;
- Ao André, pelo amor, dedicação, companheirismo, amizade, disponibilidade e atenção, paciência, aprendizado. Em fim, por tudo.
- Ao João, meu cachorro, por estar sempre ao meu lado, ou melhor, aos meus pés, durante as intermináveis horas de trabalho;

A Deus!

Dedico esta dissertação à minha
mãe e minha avó Gaby.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caracterização geotermobarométrica das rochas silicáticas associadas às rochas grafitosas, tendo em vista as condições de pressão (P) e temperatura (T) que condicionaram o metamorfismo dos depósitos de grafita, sua influência nos graus de cristalinidade das diversas amostras de minérios de grafita e a existência de defeitos, desordens ou moléculas não pertencentes à estrutura deste mineral. Uma vez que sua economicidade como minério relaciona-se, dentre outros fatores, ao tamanho e características originais dos cristais de grafita e à sua adequação aos processos de beneficiamento para a produção dos muitos tipos de concentrados com teor de carbono e granulometria diversos, demandados pela indústria.

Do ponto de vista geológico, a grafita aparece em granulação maior apenas em rochas cristalizadas a temperaturas relativamente altas (minério do tipo grafita gnaiss) e em rochas de baixo grau metamórfico, fácies xisto verde, somente apresentam grafita muito fina ou apenas compostos carbonosos amorfos (minério do tipo grafita xisto). Neste sentido, a grafita é um mineral importante para a avaliação das temperaturas de cristalização das rochas e minérios que a contêm, devido ao fato de que a grafitização é um processo irreversível da matéria carbonosa. Neste contexto as temperaturas calculadas para a cristalização da grafita indicam que as amostras selecionadas pertencem ao intervalo de temperatura que vai de 705°C a 917°C. A menor temperatura (705°C) foi registrada para a região de Maiquinique, extremo nordeste de Minas Gerais e a maior temperatura (917°C) a região de Itamaraju, Sul da Bahia. Sendo assim as temperaturas calculadas para o metamorfismo regional indicam que as rochas adjacentes aos depósitos, jazidas ou ocorrências de grafita encontram-se na transição da fácies anfíbolito para a fácies granulito.

Nota-se que o minério do tipo grafita xisto possui maior tendência de cristais com morfologia do tipo farrapo, porém grande parte das palhetas apresenta-se em seções basais hexagonais. Por outro lado, o minério do tipo grafita gnaiss possui maior quantidade de cristais do tipo tabular ou tabular com pontas esfarrapadas. Em geral os cristais de grafita nos dois tipos de minério (xisto e gnaiss) apresentam-se lineares ou suavemente micro-dobrados (dobras abertas). Em cristais com morfologia do tipo tabular com pontas esfarrapadas ou farrapo é comum a presença de argilo-minerais (Arg), muscovita (Ms),

fibrolita (Sill) e óxido de ferro (OxFe) no esfarrapamento. O minério rico em palhetas esfarrapadas mostra-se ao MEV como cristais de geometria externa do tipo semi-esférica com superfície botrioidal, quando este é classificado macroscopicamente como farrapo, e com superfície lisa ou micro-porosa quando é observado macroscopicamente em seção basal hexagonal. O minério rico em palhetas tabulares exhibe geometria externa predominantemente sob forma semi-esférica ou esférica. Além disso, a superfície desses minérios é muito variável, podendo apresentar-se micro-porosa, fibrosa, lisa ou em agregados botrioidais. Porém, as bordas são frequentemente dobradas.

Em relação ao aspecto textural das amostras estudadas, nota-se que as amostras livres de grupos aniônicos e/ou moléculas do tipo C-H e FeO apresentam-se maciças e bem cristalizadas. Por outro lado, todas as amostras que apresentam maiores contribuições, principalmente de C-H, exibem hábito fibroso, ocorrem em agregados botrioidais ou apresentam superfícies porosas.

AGRADECIMENTOS

RESUMO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1. OBJETIVOS.....	01
1.2. LOCALIZAÇÃO.....	02
1.3. METODOLOGIA.....	05
Amostragem e Seleção das Amostras.....	05
Técnicas Aplicadas.....	07
2. GEOLOGIA REGIONAL.....	15
2.1. ESTRATIGRAFIA DA PROVINCIA GRAFÍTICA BAHIA-MINAS GERAIS.....	16
Grupo Macaúbas.....	16
Complexo Paragnáissico Jequitinhonha.....	18
Suítes Granitóides.....	19
3. GRAFITA.....	21
3.1. INTRODUÇÃO.....	21
3.2. PROPRIEDADES MINERALÓGICAS.....	22
3.3. APLICAÇÕES DA GRAFITA.....	23
3.4. OCORRÊNCIA.....	25
3.5. TIPOS DE DEPÓSITOS DE GRAFITA.....	25
3.6. CLASSIFICAÇÃO E NOMENCLATURA AS GRAFITA.....	26
3.7. GRAFITA NA PROVÍNCIA GRAFÍTICA BAHIA-MINAS GERAIS.....	27
4. PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL.....	30
4.1. GRAFITA XISTO E XISTOS PERALUMINOSO ASSOCIADO.....	30
4.2. GRAFITA GNAISSE E GNAISSES PERALUMINOSOS ASSOCIADOS.....	33
4.3. QUÍMICA MINERAL DOS GNAISSES PERALUMINOSOS.....	38
Granada.....	38
Biotita.....	42
Plagioclásio.....	44
Cordierita.....	44
4.4. QUÍMICA MINERAL DO XISTO PERALUMINOSO.....	45
Muscovita.....	45

Biotita.....	46
Plagioclásio.....	46
4.5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	47
5. CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, TEXTURAL, ESTRUTURAL E CRISTALOGRÁFICA DA GRAFITA.....	48
5.1. MICROSCOPIA ÓTICA.....	48
5.2. MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	52
5.3. DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	58
5.4. ESPECTROSCOPIA RAMAN.....	61
5.5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	68
6. TERMOMETRIA DOS MINÉRIOS DE GRAFITA E SUAS APLICAÇÕES.....	71
6.1. TERMOMETRIA DA GRAFITA.....	71
Calculo termométrico.....	73
6.2. CÁLCULO TERMOBAROMÉTRICO DAS ROCHAS SILICATADAS DE GRAFITA.....	78
6.3. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	83
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
9- ANEXOS	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de localização da província Grafitica Bahia-Minas.....	02
Figura 1.2: Mapa de localização dos pontos amostrados no nordeste de MG e sul BA	03
Figura 1.3: Representação gráfica em diagrama PxT mostrando geotermômetros e geobarômetros.....	07
Figura 1.4: Exemplo de grade petrogenética.....	08
Figura 1.5: Representação gráfica das fácies metamórficas.....	08
Figura 1.6: Sistemas NCKFMASH.....	09
Figura 1.7: Exemplo de cálculo efetuado pelo THERMOCALC para os cálculos termodinâmicos.....	10
Figura 1.8: Difratoograma de Raios X.....	12

Figura 1.9:	Representação gráfica da evolução da temperatura <i>versus</i> o parâmetro <i>c</i> da grafita.....	13
Figura 2.1:	Mapa geotectônico do Orógeno Araçuai.....	15
Figura 2.2:	Unidades Estratigráficas do Orógeno Araçuai.....	17
Figura 3.1:	Diagrama de fases do carbono.....	21
Figura 3.2:	Estrutura da Grafita.....	22
Figura 3.3:	Configuração espacial do carbono híbrido em sp^2	23
Figura 4.1:	Afloramento de xistos grafitosos na mina de Pouso Alegre, Mineração Carbo Grafite, Maiquinique, sul da Bahia.....	30
Figura 4.2:	Afloramento de fibrolita-grafita xisto da mina abandonada de Pedro Perdido.....	31
Figura 4.3:	Fotomicrografia de grafita xisto mostrando palhetas lamelares com pontas esfarrapadas.....	31
Figura 4.4:	Fotomicrografia de grafita xisto mostrando palhetas lamelares de grafita.....	31
Figura 4.5:	Fotografia de fibrolita-mica xisto do Grupo Macaúbas.....	32
Figura 4.6:	Fotomicrografia de grafita xisto mostrando palhetas lamelares de grafita	33
Figura 4.7:	Fotografia de grafita ganisse da Fazenda Pratinha, localidade de Santana.....	34
Figura 4.8:	Fotomicrografia de grafita gnaisse evidenciando a foliação.....	34
Figura 4.9:	Fotomicrografia de grafita gnaisse.....	34
Figura 4.10:	Fotomicrografia de grafita gnaisse mostrando palhetas lamelares de grafita.....	35
Figura 4.11:	Fotografia de migmatização paralela à foliação e discordantes dela, em afloramento de gnaisse kinzigítico.....	35
Figura 4.12:	Fotografia de grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaisse nos arredores de Almenara.....	35
Figura 4.13:	Fotomicrografia da lamina J4 mostrando cristais de plagioclásio e cordierita.....	36
Figura 4.14:	Fotomicrografia da lamina J4 mostrando cristal de cordierita apresentando textura poiquiloblástica.....	36

Figura 4.15:	Fotomicrografia da lamina J16 mostrando sillimanita fibrosa ao longo da foliação metamórfica.....	37
Figura 4.16:	Variação das proporções moleculares de almandina em cristais de granada dos gnaisses peraluminosos.....	39
Figura 4.17:	Variação das proporções moleculares de piropo, grossularia e esferassita em cristais de granada dos gnaisses peraluminosos.....	39
Figura 4.18:	Dispersão entre CaO + MnO e FeO + MgO, mostrando correlação negativa dos cristais de granada.....	40
Figura 4.19:	Correlação negativa entre os íons de Fe ²⁺ e Mg ²⁺ em cristais de granada.....	40
Figura 4.20:	Correlação negativa entre (Ca ²⁺ +Mn ²⁺) e Mg ²⁺ em cristais de granada.....	40
Figura 4.21:	Dispersão entre Fe ²⁺ e Mn ²⁺ em cristais de granada.....	41
Figura 4.22:	Zonamento químico interno em relação à razão Fe ²⁺ /Mg ²⁺ para todos os cristais analisados de granada.....	42
Figura 4.23:	Diagrama ternário para biotita mostrando a proporção entre os cátions de Fe ²⁺ , Mg ²⁺ e Al ²⁺	42
Figura 4.24:	Correlação negativa entre os íons de Fe ²⁺ e Mg ²⁺ em cristais de biotita.....	43
Figura 4.25:	Variação do titânio nas amostras estudadas.....	43
Figura 4.26:	Variação na composição dos cristais de plagioclásio.....	44
Figura 4.27:	Variação na composição dos cristais de biotita.....	46
Figura 4.28:	Variação da composição do cristal de plagioclásio da mina de grafita xisto de Maiquinique.....	46
Figura 5.1:	Fotomicrografia de grafita gnaisse mostrando palhetas tabulares e hexagonais.....	49
Figura 5.2:	Fotomicrografia de grafita xisto mostrando palhetas tabulares com pontas esfarrapadas.....	49

Figura 5.3:	Fotomicrografia de grafita xisto mostrando palhetas esfarrapadas.....	49
Figura 5.4:	Distribuição das variações morfológicas nos tipos de minérios de grafita.....	50
Figura 5.5:	Exemplos de feições observadas ao MEV em amostras de minérios de grafita.....	52
Figura 5.6:	Feições observadas ao MEV para a grafita da região de Maiquinique.....	54
Figura 5.7:	Feições observadas ao MEV para a grafita da região de Pedro Perdido.....	54
Figura 5.8:	Feições observadas ao MEV para a grafita da região de Pedro Perdido.....	55
Figura 5.9:	Feições observadas ao MEV para a grafita da região de Pedro Azul.....	55
Figura 5.10:	Feições observadas ao MEV para a grafita da região da Fazenda Lameiro.....	55
Figura 5.11:	Feições observadas ao MEV para a grafita da região de Almenara.....	55
Figura 5.12:	Feições observadas ao MEV para a grafita da Fazenda Pratinha.....	56
Figura 5.13:	Feições observadas ao MEV para a grafita da Fazenda Lameiro.....	56
Figura 5.14:	Feições observadas ao MEV para a grafita da Fazenda Lameiro.....	56
Figura 5.15:	Feições observadas ao MEV para a grafita da Fazenda Lameiro.....	56
Figura 5.16:	Feições observadas ao MEV para a grafita de Guaratinga.....	57
Figura 5.17:	Feições observadas ao MEV para a grafita de Nova Alegria.....	57
Figura 5.18:	Feições observadas ao MEV para a grafita de Itamaraju.....	57
Figura 5.19:	Relação entre o parâmetro a e c de cristais de grafita.....	59
Figura 5.20:	Volume da célula unitária da grafita.....	60
Figura 5.21:	Espectro Raman de cristal de grafita ordenada.....	63
Figura 5.22:	Espectro Raman de grafita desordenada.....	63
Figura 5.23:	Posição da banda G sem desvio.....	66
Figura 5.24:	Posição da banda G mostrando desvio.....	67
Figura 5.25:	Espectro Raman na região do C-H.....	67
Figura 5.26:	Espectro Raman na região do FeO.....	68
Figura 6.1:	Representação gráfica da evolução da temperatura <i>versus</i> o parâmetro c em grafita...	72

Figura 6.2:	Exemplo de Difração de Raios X em amostras de grafita.....	73
Figura 6.3:	Cálculo da temperatura de cristalização da grafita pela representação gráfica de Shengelia <i>et l.</i>	75
Figura 6.4:	Relação entre a temperatura de cristalização da grafita e o parâmetro a	76
Figura 6.5:	Representação gráfica para os diversos cálculos efetuados pelo TWEEQ.....	81
Figura 6.6:	Distribuição da temperatura ao longo do perfil de amostragem.....	81
Figura 6.7:	Distribuição da pressão ao longo do perfil de amostragem.....	82
Figura 6.8:	Gráfico comparando as temperaturas obtidas para a cristalização da grafita com as temperaturas do metamorfismo regional.....	82

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1:	Localização das amostras.....	04
Tabela 3.1:	Características mineralógicas da grafita.....	24
Tabela 4.1:	Percentuais das moléculas de esperssatita, almadina, piropo e grossulária em cristais de granada.....	38
Tabela 4.2:	Composição dos cristais de cordierita em termos dos percentuais de Mg e Fe.....	45
Tabela 4.3:	Composição de muscovita em termos de percentuais.....	45
Tabela 5.1:	Avaliação da granulação, morfologia, aspectos deformacionais e inclusões apresentados pelos cristais de grafita.....	51
Tabela 5.2:	Caracterização dos cristais de grafita e seus agregados segundo hábito, porosidade, tipo de superfície e geometria externa.....	53
Tabela 5.3:	Parâmetros unitários a e c calculados experimentalmente por meio de Difração de Raios X em concentrados de grafita.....	54
Tabela 5.4:	Números de ondas, intensidade das bandas do espectro Raman em concentrados de grafita.....	65
Tabela 5.5:	Caracterização das amostras de grafita estudadas em relação ao tamanho e porcentagem de carbono contido.....	70
Tabela 6.1:	Parâmetros da célula unitária da grafita e temperatura de cristalização calculada.....	74

Tabela 6.2:	Valores de temperatura e pressão calculados para as rochas silicatadas portadoras de grafita.....	78
Tabela 6.3:	Reações independentes utilizadas no cálculo das temperaturas e pressões do THERMOCALC e parte do diagnóstico para as amostras das rochas silicatadas da região estudada.....	79

I – INTRODUÇÃO

O objeto de estudo desta dissertação, a grafita, é de grande interesse para a mineração e indústria. A economicidade da grafita natural como minério relaciona-se, dentre outros fatores, ao tamanho e características originais dos cristais de grafita e à sua adequação aos processos de beneficiamento para a produção dos muitos tipos de concentrados com teor de carbono e granulometria diversos, demandados pela indústria. Do ponto de vista geológico, é fato notoriamente conhecido que a grafita aparece em granulação maior apenas em rochas cristalizadas a temperaturas relativamente altas, nas condições da fácies anfíbolito para cima. Rochas cristalizadas em temperaturas relativamente baixas (fácies xisto verde) apresentam somente grafita muito fina ou apenas compostos carbonosos amorfos. Neste sentido, além de sua importância econômica, a grafita é um mineral importante para a avaliação das temperaturas de cristalização das rochas e minérios que a contêm, devido ao fato de que a grafitização é um processo irreversível da matéria carbonosa.

A grafita, em particular a variedade denominada na indústria como grafita lamelar (*flake graphite*), ocorre em grandes depósitos no extremo nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia, na Província Grafítica Bahia-Minas (Fig. 1.1) que é, atualmente, uma das maiores produtoras de grafita *flake* do mundo (Lobato & Pedrosa-Soares 1993; Pedrosa-Soares *et al.*, 1999; Daconti 2004). Nesta província, os depósitos de grafita estão, essencialmente, em camadas de rochas do complexo kinzigítico e do Grupo Macaúbas (Fig. 1.2) e têm sido prospectados ou minerados por companhias diversas (Magnesita, Nacional de Grafite e outras).

Nos últimos doze anos, membros da equipe coordenada por A. C. Pedrosa-Soares realizaram trabalhos de graduação e dissertações de mestrado, com apoio da Magnesita, com o objetivo de conhecer os controles geológicos das rochas grafitosas e características de seus minérios (Almeida *et al.* 1994, Faria 1997, Reis 1999, Guimarães 2000, Soares & Silva 2002, Daconti 2004 e Queiroga & Figueiredo 2004).

A partir dos trabalhos anteriores da equipe, a presente dissertação aborda os estudos sistemáticos relativos à temperatura de cristalização da grafita e sua influência no tamanho e características das palhetas (*flakes*).

I.1 - Objetivos

O objetivo principal desta dissertação consiste na caracterização do minério de grafita do nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia, além de tentar estabelecer relação com o tipo de minério e

as condições de P - T do metamorfismo, já que é dito que existe relação direta entre qualidade do minério (tamanho e cristalinidade dos grãos) com a temperatura de cristalização e, conseqüente, condições do metamorfismo. Para tal lançou-se mão do estudo geotermométrico da grafita e geotermobarométrico das rochas silicáticas associadas às rochas grafitosas, tendo em vista estabelecer quantitativamente as condições de pressão (P) e temperatura (T) que condicionaram o metamorfismo dos depósitos de grafita, sua influência nos graus de cristalinidade das diversas amostras de minérios de grafita e a possível existência de defeitos, desordens ou moléculas não pertencentes à estrutura deste mineral.

Trabalhos anteriormente referidos demonstraram qualitativamente que o metamorfismo é o principal fator controlador do tamanho dos cristais de grafita (Faria *et al.* 1997, Reis 1999, Daconti 2004 e Queiroga & Figueiredo 2004). Por sua vez, como referido na Introdução, o tamanho e características internas destes cristais, genericamente chamados de palhetas ou lamelas (*flakes*), são fatores condicionantes da viabilidade econômica dos depósitos.

Desta forma, a presente dissertação busca trazer dados quantitativos e qualitativos potencialmente importantes para a geologia econômica, prospecção e beneficiamento de grafita na Província Gráfica Bahia-Minas.

I.2 – Localização da Amostragem

Os locais seleccionados para amostragem priorizaram os prospectos da Magnesita, minas em atividade e/ou suas vizinhanças e ocorrências, situadas nas regiões do extremo nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia (Fig. 1.1 e 1.2). Foram amostradas rochas grafitosas e silicáticas associadas a depósitos e ocorrências de grafita situadas nos municípios de Almenara, Bandeira, Divisópolis, Jacinto, Jordânia, Mata Verde, Pedra Azul e Salto da Divisa, no extremo nordeste de Minas Gerais, e Guaratinga e Itamaraju, no sul da Bahia (Fig. 1.1 e 1.2 e Tabela 1.1).

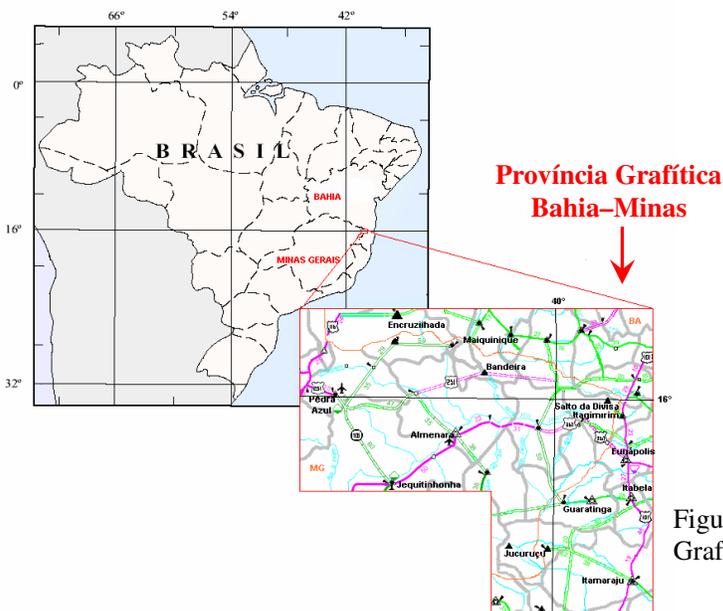


Figura 1.1: Localização da Província Gráfica Bahia-Minas.

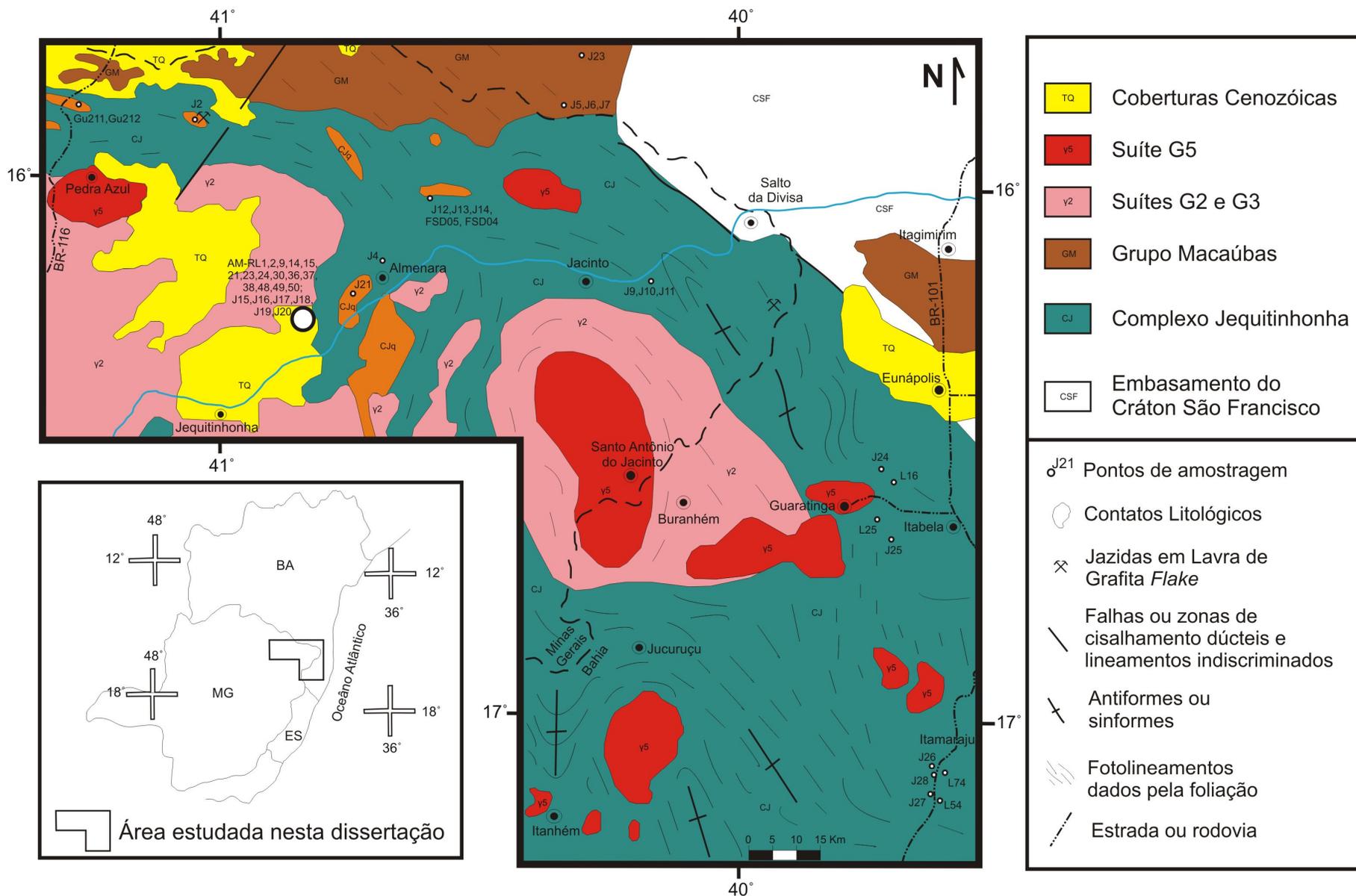


Figura 1.2: Mapa de localização dos pontos amostrados e estudados nesta dissertação. Modificado de Faria, 1997.

Tabela 1.1: Localização das amostras.

Número do Ponto	UTM N	UTM E	Localização
J23	8254633	356971	Mina Carbo-Grafite, Maiquinique
J5	8244362	354288	Pedro Perdido, Jordânia
J6	8244665	354287	Pedro Perdido, Jordânia
J7	8244483	354332	Pedro Perdido, Jordânia
J2	8244884	272635	Boqueirão da Salvação, Pedra Azul
GU211	8240150	240330	Grota do Urubu, Chapada do Barbado
GU212	8240151	240335	Grota do Urubu, Chapada do Barbado
AM-RL 01	8202275	297270	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 02	8202275	297270	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 09	8202045	297109	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 14	8201894	297246	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 15	8197094	299110	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 21	8197133	299082	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 23	8200693	301616	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 24	8201503	301453	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 30	8201809	297622	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 36	8201550	297741	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 37	8200729	295724	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 38	8199463	299439	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 48	8200550	297729	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 49	8200655	297717	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
AM-RL 50	8200635	297687	Distrito de São José do Prata, 40 km a SW de Almenara
J15	8200699	297687	Grota do Firmino, Fazenda Lameiro
J16	8200741	297757	Grota do Domingos, Fazenda Lameiro
J17	8201836	297576	Grota do Domingos, Fazenda Lameiro
J18	8200741	297757	Grota do Martelo, Fazenda Lameiro
J19	8201679	298280	Grota do Martelo, Fazenda Lameiro
J20	8201679	297757	Grota do Martelo, Fazenda Lameiro
J21	8209489	310564	Águas Belas, SW de Almenara
J4	8213857	318696	Pedreira de Almenara, Almenara
FSD-04	8229181	329413	São Domingos, Norte de Almenara
FSD-05	8229271	329371	São Domingos, Norte de Almenara
J12	8228955	329515	São Domingos, Norte de Almenara
J13	8229235	329389	São Domingos, Norte de Almenara
J14	8229184	329411	São Domingos, Norte de Almenara
J9	8215629	335431	Fazenda Pratinha-Santana, W de Salto da Divisa
J10	8220734	389265	Fazenda Pratinha-Santana, W de Salto da Divisa
J11	8220422	389600	Fazenda Pratinha-Santana, W de Salto da Divisa
L16	8161169	420420	Faz. Tuiuite, Barra Nova, Guaratinga
L25	8154481	420913	Faz. Anatácio, Guaratinga
J24	8164124	421744	Faz. Ademar Pinto-Barra Nova, Guaratinga
J25	8155512	426761	Faz. Ademar Pinto-Barra Nova, Guaratinga
L54	8093324	434043	Braço Norte do Rio Jucuruçu, Itamaraju
L74	8099720	434978	Faz. Boa Aventura, Itamaraju
J26	8100299	432335	Faz. Boa União, Itamaraju
J27	8094823	431542	Faz. São Domingos, Itamaraju.
J28	8099900	432750	Faz. Boa União, Itamaraju

I.3 – Metodologia

Para o desenvolvimento deste estudo foi feita uma revisão bibliográfica dos trabalhos referentes à geologia regional, com ênfase nas características das rochas grafitosas, bem como na gênese dos depósitos e mineralizações de grafita. Além disso, foram revisados trabalhos sobre geotermometria da grafita e geotermobarometria de minerais silicatados que utilizam química mineral, por meio de microanálises, dos minerais da paragênese das rochas para cálculos de parâmetros termodinâmicos e, conseqüentemente, condições de P e T . Foram também reunidos artigos específicos envolvendo técnicas estruturais tais como Difração de Raios X e espectroscopia Micro-Raman, assim como microscopia eletrônica de varredura (MeV) com vistas a englobar um número maior de ferramentas para auxiliar na caracterização estrutural e textural da grafita.

I.3.1 – Amostragem e seleção das amostras

As amostras foram coletadas segundo seu posicionamento em relação aos depósitos e ocorrências de grafita (Tabela 1.1). Foram selecionadas amostras de material compacto ou semicompacto para confecção de lâmina delgada polida, visando caracterização petrográfica e química mineral, e de material friável para concentração de grafita por meio de flotação, visando caracterização estrutural e textural dos cristais.

A caracterização petrográfica da grafita e dos litotipos associados aos depósitos e mineralizações foi feita com o objetivo de definir as paragêneses metamórficas e, conseqüentemente, a seleção de minerais em equilíbrio para cálculo das condições de pressão e temperatura. Foram realizadas análises químicas pontuais nos minerais em equilíbrio da paragênese por meio de microsonda eletrônica.

As amostras submetidas ao processo de flotação, utilizado para concentrar a grafita, foram encaminhadas para análise nos laboratórios de Difração de Raios X, Espectroscopia Micro-Raman e Microscopia Eletrônica de Varredura (MeV) do Departamento de Física da UFMG. O difratograma de Raios X permite obter o parâmetro c da célula unitária da grafita, o qual será utilizado para cálculo termométrico. A espectroscopia Micro-Raman detecta a possível existência de defeitos pontuais, fenômenos de desordens e presença de moléculas não pertencentes à estrutura deste mineral. O microscópio eletrônico de varredura (MeV) foi utilizado como técnica complementar das anteriores, fornecendo uma minuciosa caracterização morfológica e textural por meio de imagens eletrônicas geradas por emissão de elétrons secundários.

I.3.2 – Técnicas Aplicadas

As técnicas analíticas empregadas são, resumidamente, descritas adiante:

Microsonda Eletrônica

Para análises químicas pontuais quantitativas e qualitativas, comumente utilizadas na caracterização química das espécies minerais, a técnica mais utilizada é a microsonda eletrônica. Essa técnica baseia-se na detecção de Raios X característicos emitidos por amostra bombardeada por feixe de elétrons, o qual consegue excitar as linhas K, L ou M dos elementos presentes. O número de fótons e a correspondente energia dos Raios X emitidos são detectados por Espectrometria de Raios X por dispersão em energia (EDS) e Espectrometria de Raios X por dispersão em comprimento de onda (WDS). A Lei de *Moseley* é utilizada para identificar os elementos geradores da radiação por correlação entre energia e número atômico dos mesmos. A análise composicional é efetuada pela comparação da intensidade da linha de cada elemento na amostra desconhecida com a mesma linha em uma amostra padrão com composição conhecida.

A química mineral de associações minerais em equilíbrio vem sendo utilizada para cálculos geotermobarométricos. No caso específico, a caracterização da associação mineral em equilíbrio das rochas silicatadas portadoras de grafita foi feita em lâmina delgada polida para seleção dos minerais a serem analisados e suas composições usadas para geotermobarometria. Essa seleção levou em consideração a disponibilidade mineralógica da rocha, a adequação à faixa de condições de P e T para as condições de P e T estimadas para a região e a possível coexistência de produtos de fusão parcial nas rochas de alto grau. Foram selecionados os minerais da paragênese, cordierita, granada, biotita, plagioclásio, feldspato potássico, quartzo, sillimanita, grafita, cujos grãos encontravam-se, preferencialmente, em contato no conjunto da associação mineral. Além disso, foram selecionados alguns pares granada-biotita rotineiramente utilizados como geotermômetros. Os dados químicos para cada cristal correspondem à análise de 6 a 12 pontos escolhidos uniformemente em cada cristal (borda externa do cristal, centro do cristal e borda interna do cristal). As análises pontuais foram efetuadas em microsonda eletrônica JEOL JXA-8900RL, em rotina no Laboratório de microanálises da UFMG, utilizando 15 kV de voltagem de aceleração e 20 nA de corrente. O programa de correção de dados empregado foi *ZAF* e o conteúdo de ferro obtido pela microsonda foi considerado como FeO. Foram analisados diferentes elementos e utilizados padrões diversos, de acordo com o mineral e o elemento analisado: em granada, almandina (Al), esperssita (Mn), piropo (Si e Mg), olivina (Fe) e andradita (Ca). Em biotita, fluorita (F), olivina (Mn), albita (Si e Na), microclina (K), olivina (Fe e Mg), tugtupita (Cl), rutilo (Ti) e cianita (Al). Em cordierita,

albita (Si), cianita (Al), anortita (Ca), albita (Na), microclina (K), olivina (Fe, Mg e Mn), rutilo (Ti). Em plagioclásio, albita (Si), cianita (Al), anortita (Ca), albita (Na), microclina (K), olivina (Fe, Mg e Mn), rutilo (Ti).

Termobarometria de Rochas Silicatadas

Geotermobarometria é o nome dado para as técnicas que procuram estimar a temperatura e a pressão do metamorfismo através da sua dependência com a constante de equilíbrio (KD). O ponto central da termobarometria está no fato que o valor da constante de equilíbrio de uma reação pode ser determinado através da composição de minerais coexistentes em uma rocha, com a aplicação de modelos apropriados de atividade (*a*) (Spear, 1989).

Os valores de temperatura e pressão podem ser determinados através da energia livre de Gibbs e envolvem as reações químicas entre os membros finais de cada fase em equilíbrio (Yardley, *et al.* 1989). A variação da energia de Gibbs (ΔG°) nas reações dos membros finais de cada fase determina a constante de equilíbrio (KD) de acordo com a equação:

$$0 = \Delta G^\circ + R T \ln KD, \text{ onde}$$

R - constante dos gases

T - temperatura

KD - constante de equilíbrio determinada pela composição química dos minerais.

A constante de equilíbrio é usada para estabelecer um diagrama de pressão (P) *versus* temperatura (T) em que o cruzamento destas duas linhas representa às condições do pico metamórfico (Fig. 1.3).

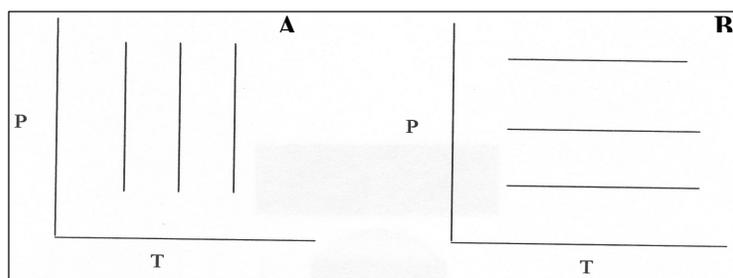


Figura 1.3: Representação gráfica em diagrama *P-T* mostrando: (a) geotermômetro e (b) geobarômetros (Spear 1989, 1995).

Os minerais considerados bons geotermômetros trocam elementos com raios iônicos semelhantes e em sítios cristalográficos de mesma coordenação. Isto envolve grande variação de entropia (ΔS) e pequena variação de volume ($\Delta V \cong 0$). Por outro lado os bons geobarômetros trocam elementos com raios iônicos muito diferentes e em sítios cristalográficos com configurações diferentes, envolvendo grande variação de volume. As duas reações de troca ocorrem em associações minerais que encontram o equilíbrio (Carswell & Harley, 1990).

Um dos principais métodos utilizados para estimar a temperatura e pressão de metamorfismo é o estudo feito por meio de grades petrogenéticas (Fig. 1.4). Estes diagramas mostram os campos de estabilidade de grande parte dos principais minerais metamórficos ou de uma paragênese. As grades petrogenéticas mais utilizadas foram elaboradas por Spear & Cheney (1989) e Holland & Powell (1990). Ambas foram destinadas ao estudo de rochas pelíticas e abrangem, desde a fácies xisto verde até a fácies anfibolito alto (Fig. 1.5).

É importante ressaltar que para se obter um geotermômetro ou um geobarômetro é necessário calibrar a reação metamórfica. Para tal, pode-se utilizar métodos experimentais, empíricos ou termodinâmicos.

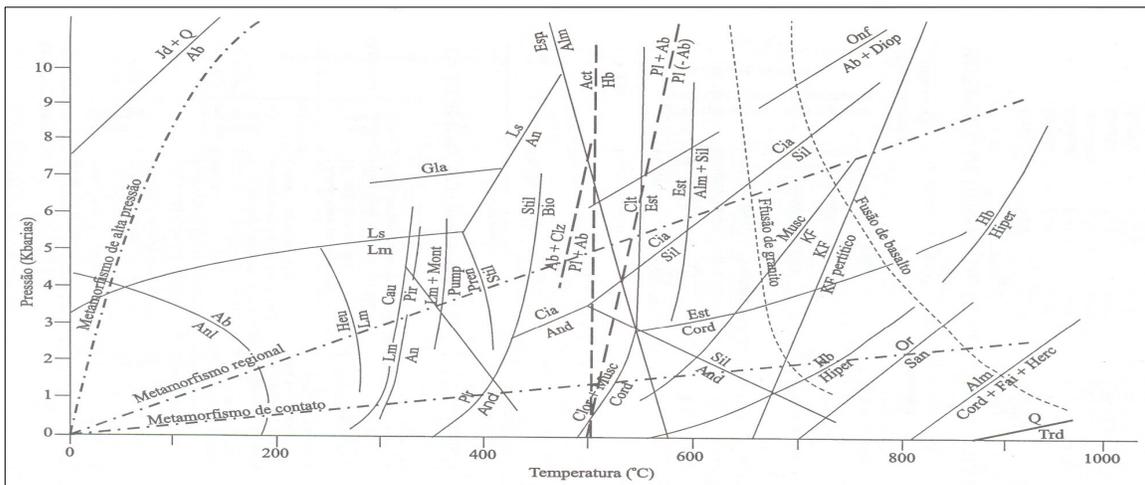


Figura 1.4: Exemplo de grade petrogenética. Caderneta de Campo – ADIMB.

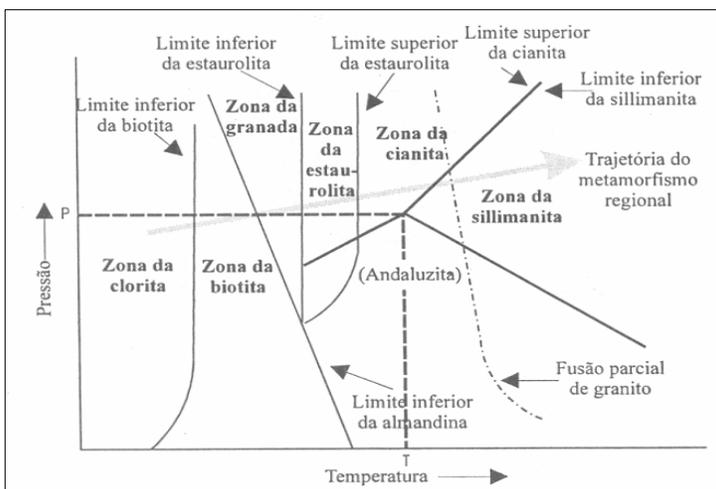


Figura 1.5: Representação gráfica das fácies metamórficas. Caderneta de Campo – ADIMB.

O programa THERMOCALC (Powell & Holland, 1994) foi utilizado para fornecer as condições de P e T das rochas portadoras de grafita.

O cálculo das fases em equilíbrio efetuado pelo THERMOCALC (Powell & Holland, 1994) é feito com base em um banco de dados termodinâmicos internamente consistentes. Este programa

usa estes dados termodinâmicos para gerar um conjunto de reações independentes que calculam as condições do pico do metamorfismo a que uma determinada rocha foi submetida.

Grande parte dos modelos termodinâmicos não apresentam uma descrição completa da química de rochas metamórficas de composição pelítica, que em sua maioria pertencem a sistema modelo NCKFMASH (Na₂O, CaO, K₂O, FeO, MgO, Al₂O₃, SiO₂, H₂O), pois alguns minerais utilizados para geotermobarometria possuem mais de um sítio cristalográfico onde as substituições podem ocorrer de forma independente. Piroxênio, granada, anfibólio, espinélio, epidoto e micas estão entre eles. Cada sítio pode ser ocupado por mais de um cátion, gerando soluções sólidas complexas. Tais soluções sólidas não são levadas em consideração na maioria dos modelos termodinâmicos mas o banco de dados termodinâmicos do THERMOCALC (Powell & Holland, 1994) tem os resultados de calibrações experimentais de uma série de reações que podem ser combinados para a obtenção dos dados termodinâmicos de reações não calibradas e que estão “presentes” na rocha estudada e permite o cálculo do equilíbrio entre as fases do sistema NCKFMASH (Fig.1.6).

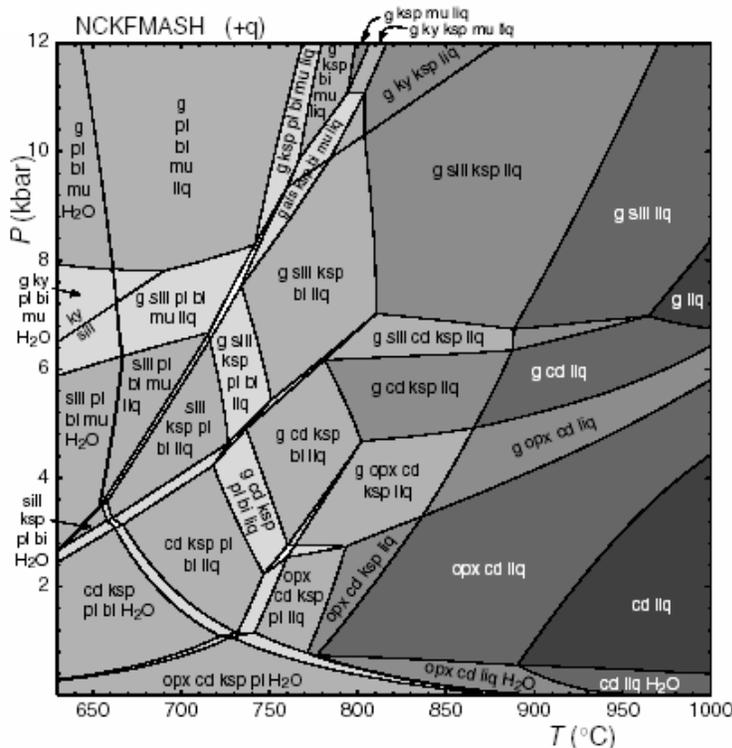
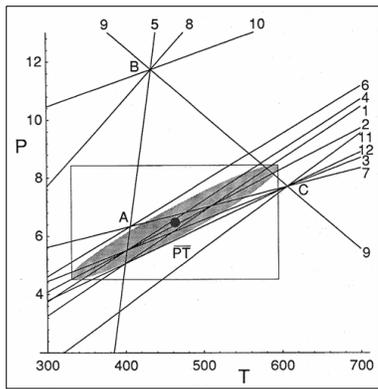


Figura 1.6: Sistema NCKFMASH. Powell *et. al.*, 1998.

Powell & Holland (1994) solucionaram também problemas relacionados com a fusão parcial nas condições da fácies anfibolito e granulito, pois estes autores adotaram um modelo termodinâmico para fusões silicatadas com adição de água, onde os membros finais usados são: albita (NaAlSi₃O₈), feldspato potássico (KAlSi₃O₈), anortita (CaAl₂Si₂O₈), quartzo (SiO₂) e sillimanita (Al₂SiO₅). Além dos membros finais forsterita (Mg₂SiO₄) e fayalita (Fe₂SiO₄) que são usados para introduzir o Mg e o Fe. Sendo assim, esse modelo termodinâmico calcula as condições P-T através de um conjunto de reações linearmente independentes (Fig. 1.7), usando todos os

minerais em equilíbrio e não um par ou um grupo de três ou quatro minerais. Tornando possível calcular fases em equilíbrio com composições mais próximas das composições das rochas.



$n = p - c$
 n – nº de reações
 p – nº de membros finais
 c – nº de componentes
 $n = 10 - 7 = 3$

Figura 1.7: Exemplo do cálculo efetuado pelo THERMOCALC para os cálculos termodinâmicos. Apresentado em aula pelo Dr. Renato Moraes e baseado em Powell & Holland (1994) e American Mineralogist, 79:120-133

O par granada-biotita geotermômetro foi utilizado, com restrições, em algumas amostras, e calculado no programa TWQ (Bermam R.G. 2007). Este termômetro é o mais usado em rochas pelíticas, isto é, rochas ricas em Al, que representam a recristalização de sedimentos com granulometria na fração argila. Baseia-se na troca Fe-Mg entre a granada e a biotita. Os modelos simulam a difusão Fe-Mg entre a granada e a biotita e assumem que a difusão Fe-Mg na biotita é rápida e que o volume de difusão da granada é limitado. Assim, os modelos de cinéticas de re-equilíbrio termométrico são controlados pela cinética de difusão da granada e assumem que com o aumento da temperatura, a granada cresce em equilíbrio químico com biotita.

Para este par existem diversas calibrações empíricas e experimentais, dentre elas ressaltam-se as de Thompson (1976), Ferry & Spear (1978), Hodges & Spear (1982), Perchuk & Lavrent'eva (1983), Ganguly & Saxena (1984), Indares & Martignole (1985) e Hoinkes (1986).

As primeiras calibrações de granada-biotita eram baseadas nos valores do coeficiente de distribuição entre granada e biotita, por exemplo: as calibrações de Thompson (1976) e Holdaway & Lee (1977) são para metapelitos com temperaturas variando entre 500 e 700°C. A primeira calibração experimental, de Ferry & Spear (1978) envolvia um sistema de KFMASH com biotita de baixo Al para um sistema entre 550-800°C.

Hodges & Spear (1982) avaliaram o geotermômetro combinando a calibração de Ferry & Spear (1978) com o modelo ideal para biotita de Ganguly & Kennedy (1974). Perchuk & Lavrent'eva (1983) empreenderam uma calibração experimental usando minerais naturais e biotita de alto Al. A equação trabalha com os minerais naturais em sistemas entre 600 e 725°C e pressões de 6 kbar para associação pelítica com biotita, granada e cordierita. Porém, não levaram em consideração o Ca e Mn em granada e o Ti em biotita, uma vez que os minerais podem apresentar variação composicional. Ganguly & Saxena (1984) fizeram melhorias significantes no tratamento para granada. Indares & Martignole (1985) apontaram para a importância de corrigir a substituição de Al por Ti em rochas da fácies granulito, principalmente em temperaturas entre 750-850°C.

Difração de Raios X

A Difração de Raios X é uma técnica bastante utilizada na caracterização e identificação dos minerais. A difração de Raios X pela estrutura cristalina resulta de um processo em que os Raios X são dispersos pelos elétrons dos átomos sem mudança de comprimento de onda. Ou seja, a dispersão é coerente e obedece a lei de Bragg: $\theta = \text{sen}(\lambda/2d)$. Desta maneira, a distância interplanar de um determinado mineral é característica e seu valor depende da dimensão da célula unitária, o que possibilita o estudo dos seus parâmetros, proporcionando portanto a identificação da presença ou não de desvios da estrutura cristalina. Em geral, os estudos por difração de Raios X são utilizados conjuntamente com outras técnicas, tais como a espectroscopia no infravermelho e Raman.

A preparação de amostras para análise em difratômetro envolve alguns cuidados técnicos especiais. Sendo assim, as amostras de rochas grafitosas friáveis foram desagregadas manualmente para não alterar a química ou a estrutura do cristal. Posteriormente todo o material foi peneirado (40 *mesh*) e misturado em água com querosene e óleo de peroba. Para cada litro de água coloca-se 1.0 ml da seguinte mistura: 3 partes de querosene para cada parte de óleo de peroba. A amostra selecionada deve permanecer em decantação por algumas horas (aproximadamente 3 horas). Após o período de decantação a grafita sobrenadante foi recolhida e encaminhada para a secagem em estufa a uma temperatura aproximada de 100°C. O concentrado de grafita resultante do processo descrito consiste em um material cinza escuro a preto, levemente oleoso, que foi montado em placas e estudado por Difração de Raios X.

Os difratogramas de Raios X foram obtidos pelo método de pó, num difratômetro automatizado Rigaku, modelo Geigerflex na geometria Bragg-Bretano, que utiliza radiação Cu K α , filtro de Cu em monocromador de grafita e condições de 40Kvolts e 30mA, em rotina do laboratório do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais. As amostras foram difratadas no modo 2 θ - θ , com 2 θ entre 4° e 140° em velocidade de 1 segundo por ponto.

Foram utilizados dois valores de passo angular para a coleta de dados, em dois conjuntos de amostras, a saber:

- amostras J2b, J5a1 e a2, J6, J5b: passo angular em 2 θ de 0,02°;
- amostras J12, J13a, J14, J15, J11, J17, J20, J23 GU211, GU212, L16, L25, L54, L74: passo angular em 2 θ de 0,04°.

Os parâmetros de rede foram obtidos fazendo-se refinamentos de estrutura empregando o método de Rietveld com o programa DBWS-9807 (Young *et al.*, 1998).

Termometria da Grafita

A termometria da grafita é realizada por meio da correlação entre o valor do parâmetro c da cela unitária com a temperatura (T) de cristalização da grafita, cuja relação é dada por uma função aproximadamente linear de c versus T . Esse método foi desenvolvido por Shengelia *et al.* (1977) e permite determinar a temperatura de cristalização de uma amostra de grafita uma vez que se tenha o valor do parâmetro c medido por difração de raios-X.

Diversos estudos qualitativos (Faria, 1997; Reis, 1999; Daconti, 2004) e quantitativos (French, 1964) indicam que a transformação da matéria orgânica em grafita e o crescimento dos cristais de grafita são controlados pelo aumento da temperatura durante o metamorfismo progressivo.

French (1964) examinou por difração de raios-X a matriz carbonosa da camada rica em matéria orgânica da formação ferrífera de Biwabik, nordeste de Minnesota, com o objetivo de determinar o grau de cristalinidade e detectar o possível desenvolvimento da grafita durante o metamorfismo. Resultou deste estudo a determinação dos diferentes graus de cristalinidade da matéria carbonosa, de acordo com as características (largura, ângulo de difração e intensidade) do pico de difração do carbono e definiu o pico da grafita cristalina (Fig. 1.8). A reflexão da grafita cristalina produz um pico que ocorre em $26,5^\circ$, com d_{002} igual a $3,36\text{\AA}$.

Shengelia *et al.* (1977) propuseram o uso da difração de raios-X para o estudo da grafita em condições de temperatura e pressão altas (Fig. 1.9). Malisa (1998) aplicou este método para o estudo da grafita como geotermômetro em rochas metamórficas no nordeste da Tanzânia, cuja temperatura foi calculada usando a calibração gráfica medida por Shengelia *et al.* (1977), (Figura 1.9).

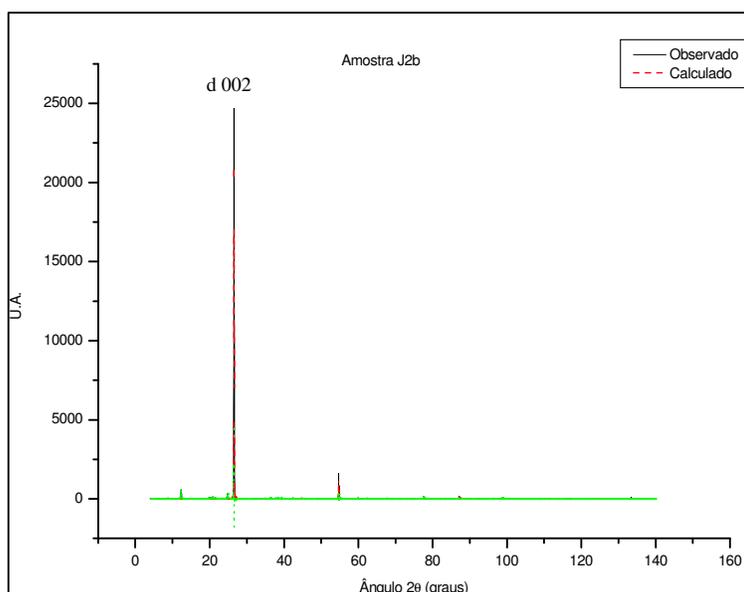


Figura 1.8: Difratograma de Raios X (observado em preto; calculado em vermelho) de grafita natural (amostra J2, região de Pedra Azul).

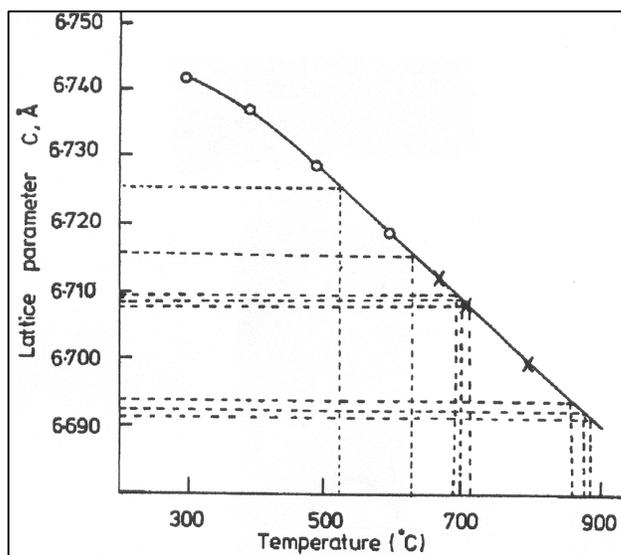


Figura 1.9: Representação gráfica da evolução da temperatura *versus* parâmetro *c* em grafita (Shengelia *et. al.* 1977; Malisa, 1998).

A representação gráfica é baseada no parâmetro *c* da célula unitária da grafita. Este parâmetro representa a distância entre as folhas de carbono ao longo do eixo *c* da célula unitária hexagonal da grafita. Uma vantagem deste método é a facilidade de determinação do parâmetro *c* pela difração de Raios X. Os estudos de Shengelia *et. al.* (1977) e Malisa (1998) também demonstram que o parâmetro *c* diminui com o aumento da temperatura (Fig. 1.9).

Espectroscopia Micro-Raman

A espectroscopia Micro-Raman é um dos métodos mais utilizados para estudar a grafita. Consiste na interação da radiação eletromagnética monocromática com a matéria a qual origina espalhamento inelástico da luz. A luz espalhada possui uma energia *e*, conseqüentemente, um comprimento de onda, diferente do da luz incidente. Em relação a fases cristalinas, essas diferenças correspondem às energias das vibrações moleculares e da rede cristalina. As energias destas vibrações estão, por sua vez, intrinsecamente relacionadas à simetria da estrutura cristalina ou à simetria das moléculas presentes no material. Uma vez que todo mineral possui uma rede cristalina com simetria bem definida, o espectro Raman permite uma identificação direta do material (Pimenta *et al.* 2000).

Os espectros Raman em monocristais polarizados foram medidos no Laboratório de Micro-Raman no Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais em um espectrômetro DILOR X-Y. A linha 514nm de um laser de Ar foi usada na excitação. Os espectros, a temperatura ambiente, foram obtidos em geometria de *backscattering*. O raio laser foi focalizado em um diâmetro de 2 µm com objetiva *Zeiss* de 80X. A maioria dos espectros foram medidos com potência de 10,6x25 mW. Os espectros experimentais foram ajustados com linhas Lorensianas no programa

peakfit sem nenhuma restrição. Foram verificadas as larguras a meia-altura das bandas ajustadas presentes em todas amostras.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MeV)

A microscopia eletrônica de varredura é utilizada, normalmente, como análise complementar de outras técnicas de caracterização. O microscópio eletrônico utiliza elétrons para iluminar um objeto, conseqüentemente utiliza detector de energia dispersiva de Raios X (EDS). Como os elétrons têm um comprimento de onda muito menor do que o da luz, podem mostrar objetos muito menores. O comprimento de onda dos elétrons utilizado nos microscópios eletrônicos é de cerca de 0,5 angströms. Um dos resultados da técnica é o registro fotográfico da imagem eletrônica gerada no MeV por meio da detecção de elétrons secundários. Desta maneira, pode-se determinar as espécies minerais, percentuais de cada espécie, morfologia e tamanhos de partículas, aspectos texturais e de associações minerais.

As imagens eletrônicas das palhetas de grafita foram efetuadas pelo laboratório de microscopia eletrônica do Departamento de Física da UFMG, em um microscópio JEOL.

II – GEOLOGIA REGIONAL

Este capítulo apresenta uma síntese do conhecimento geológico sobre a Província Grafítica do Nordeste de Minas Gerais e Sul da Bahia (Província Bahia-Minas), focalizando as características que permitem compreender a distribuição regional de temperaturas à época de formação dos depósitos de grafita.

A Província Bahia-Minas situa-se no extremo nordeste do Orógeno Araçuaí (Fig. 2.1), uma cadeia de montanhas edificada entre 630 e 500 Ma (Pedrosa-Soares & Wiedemann 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2005).

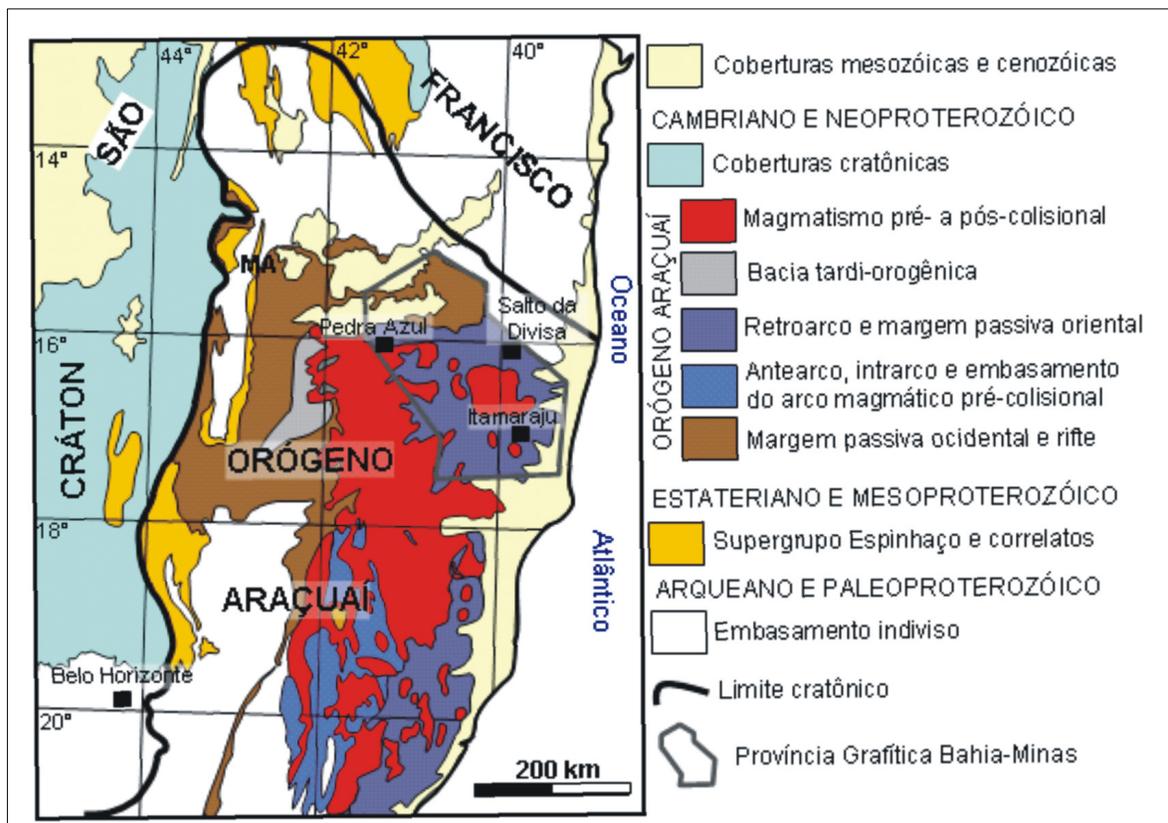


Figura 2.1: Mapa geotectônico do Orógeno Araçuaí, com a localização da Província Grafítica Bahia-Minas (Pedrosa-Soares *et al.* 2006).

O Orógeno Araçuaí subdivide-se em dois grandes domínios tectônicos (Pedrosa-Soares & Wiedemann 2000). O domínio externo (ocidental e extremo setentrional), caracterizado como faixa de dobramentos e empurrões, não tem interesse para a presente dissertação. A faixa de dobramentos e empurrões borda o limite oriental do Cráton do São Francisco. Nela estão esculpidos segmentos da Serra do Espinhaço e chapadas do norte-nordeste de Minas Gerais. Este é o domínio tectônico

externo do orógeno que se caracteriza por transporte tectônico para oeste, metamorfismo da fácies xisto verde a anfíbolito baixo nas rochas supracrustais e ausência de magmatismo orogênico.

O domínio tectônico interno do orógeno é seu núcleo metamórfico-anatético, rico em rochas graníticas e rochas metamórficas de fácies anfíbolito e granulito. Este domínio inclui também restos oceânicos neoproterozóicos, o arco magmático pré-colisional e todo o restante do magmatismo orogênico, desde os granitos sincolisionais ao plutonismo pós-colisional. Na parte ocidental do domínio interno predomina transporte tectônico para sudeste, mas na sua região oriental registra-se transporte para leste, caracterizando uma típica zona de transporte tectônico centrífugo (Pedrosa-Soares & Wiedemann 2000).

Os setores norte e nordeste do Orógeno Araçuaí apresentam uma saliência, com concavidade voltada para sul. Esta saliência contém segmentos dos dois domínios tectônicos, sendo que o domínio externo situa-se a norte e o domínio interno, na saliência, situa-se a sul. A saliência setentrional é o compartimento tectônico caracterizado pela grande curvatura do Orógeno Araçuaí, onde os traços estruturais infletem da direção norte-sul para leste. Nesta saliência, as condições de P e T aumentam para sul, desde a fácies xisto-verde, na zona limítrofe com o Cráton São Francisco, até a fácies anfíbolito alto, no núcleo metamórfico-anatético. O extremo norte da saliência desemboca no Aulacógeno Paramirim e se caracteriza por empurrões com transporte para norte. O ramo oriental da saliência é caracterizado por zonas oblíquas a transcorrentes, sinistrais, de direção NW-SE, com componentes de empurrão para leste (*e.g.*, zona de cisalhamento de Salto da Divisa). A província gráfitica ocupa todo o ramo oriental desta saliência (Fig. 2.1, Pedrosa-Soares *et al.* 2006).

II.1- Estratigrafia da Província Gráfitica Bahia-Minas Gerais

As unidades estratigráficas do Orógeno Araçuaí estão representadas na Figura 2.2. Serão aqui abordadas apenas as unidades que interessam diretamente à província gráfitica (Fig. 1.2).

II.1.1- Grupo Macaúbas

Na Província Gráfitica Bahia-Minas (Pedrosa-Soares & Wiedemann 2000, Pedrosa-Soares *et al.* 2001, 2005) o Grupo Macaúbas constitui uma faixa de direção NE, onde está representado por uma sucessão rica em metadiamicctitos glácio-marinhos (Formação Chapada Acauã), superposta por extensa e espessa sucessão de micaxistos, com intercalações de gráfito xisto e rocha cálcio-silicática, atribuídos à Formação Ribeirão da Folha (Fig. 2.2, Almeida *et al.* 1978, Pedrosa-Soares *et al.* 2005).

As paragêneses metamórficas dos micaxistos do Grupo Macaúbas, na saliência setentrional do Orógeno Araçuai, indicam temperaturas metamórficas aumentam no sentido sul, desde a zona da granada, no extremo norte, passando pela zona da estauroлита + cianita, na porção mediana do grupo, até a zona da sillimanita, próximo ao contato com o complexo paragnáissico (Almeida *et al.*, 1978).

É justamente na zona da sillimanita, onde se verifica migmatização expressiva, que ocorrem depósitos econômicos de grafita xisto no Grupo Macaúbas, a exemplo da jazida de Pouso Alegre, a sul de Maiquinique (Fig. 1.2, ponto J23). O grafita xisto desta unidade será descrito em detalhe no capítulo 4.

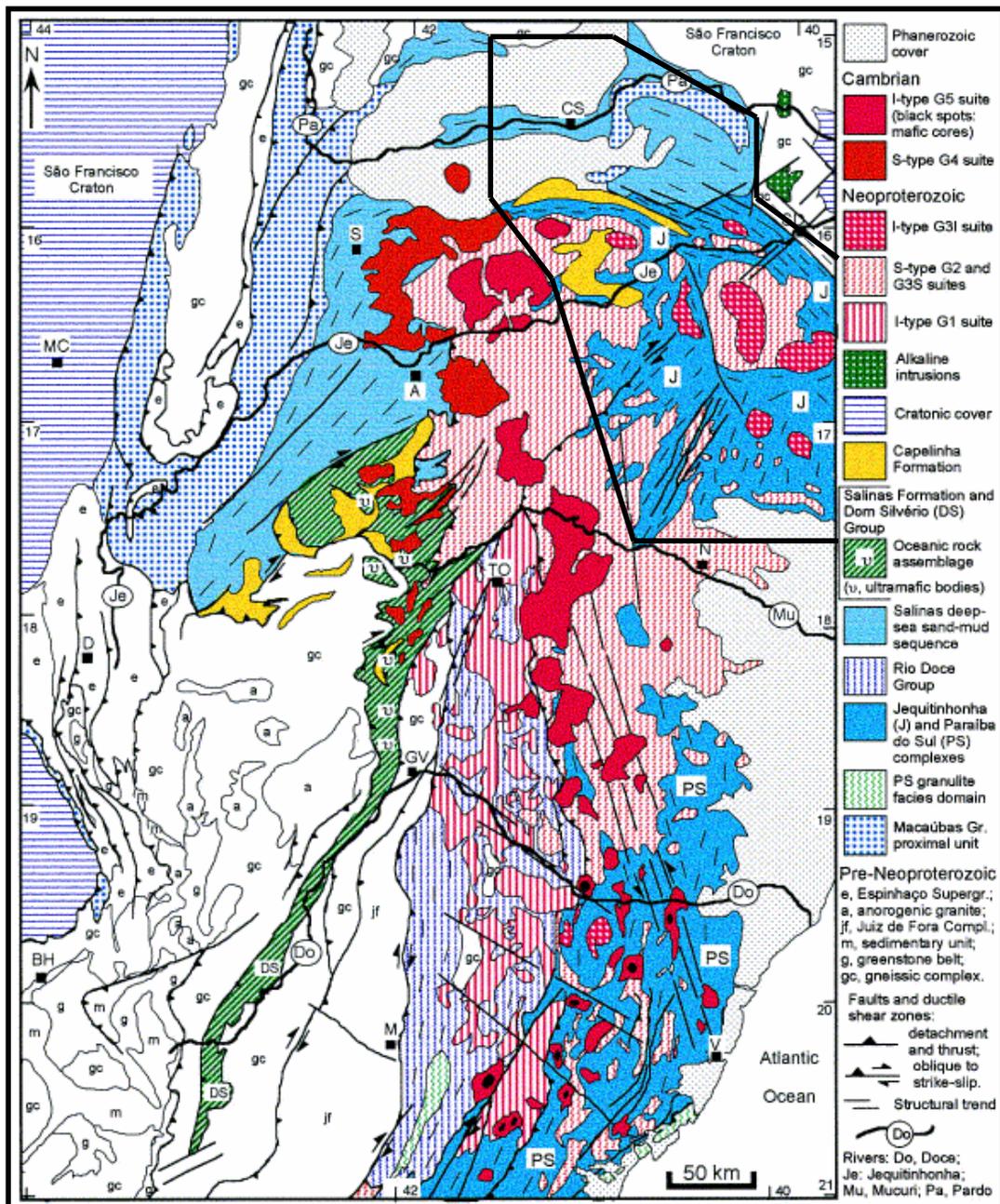


Figura 2.2: Unidades estratigráficas do Orógeno Araçuai, com a localização da Província Gráfica Bahia-Minas (Pedrosa-Soares *et al.* 2001).

II.1.2 - Complexo Paragnáissico Jequitinhonha

O Complexo Jequitinhonha (ou complexo paragnáissico, Fig. 1.2 e 2.2) é a unidade que ocupa maior área na Província Gráfica Bahia-Minas e que contém grande número de depósitos, com minas em atividade, e ocorrências de grafita lamelar (*flake*). Seus contatos com os metassedimentos do Grupo Macaúbas são tectônicos, por meio de zonas de cisalhamento oblíquas. Intrusões granitóides diversas são freqüentes. Sedimentos do Grupo Barreiras recobrem esta unidade discordantemente.

O Complexo Jequitinhonha, originalmente denominado por Almeida & Litwinski (1984), é uma sucessão de biotita paragnaisses bandados, variavelmente enriquecidos em granada e/ou cordierita e/ou sillimanita, com espessas intercalações de grafita gnaïsse e quartzito, e lentes de granulito cálcio-silicático (*e.g.*, Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos 2000, Daconti 2004, Queiroga & Figueiredo 2004, Sampaio *et al.* 2004).

A associação mineral associada que define a foliação dos paragnaisses (quartzo + biotita + plagioclásio + granada + cordierita + sillimanita + feldspato potássico), bem como os escassos dados geotermobarométricos quantitativos, evidenciam que a deformação regional ocorreu na transição de fácies anfíbolito-granulito (Faria 1997, Uhlein *et al.* 1998, Daconti 2004).

Faria (1997), Reis (1999) e Daconti (2004) abordam a relação regional dos depósitos de grafita com o Complexo Jequitinhonha, enfatizando que apenas a suíte kinzigítica deste complexo é a hospedeira dos depósitos de grafita *flake*. Esta suíte consiste de biotita gnaïsse, granada-biotita gnaïsse, cordierita-granada-biotita gnaïsse, grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaïsse (kinzigito *s.s.*) e grafita gnaïsse, que indicam conteúdos crescentes de fração argila (silicatos peraluminosos) e de fração carbonosa (grafita) nos protólitos sedimentares. De fato, a química dos kinzigitos é caracterizada por uma ampla variação composicional (SiO_2 entre 57 e 76%) que reflete, mesmo com os efeitos do metamorfismo de alto grau, a mistura entre dois componentes sedimentares: areia quartzosa e argila. Os paragnaisses mais ricos em Al, Mg e Fe são mais pobres em SiO_2 e caracterizam um protólito sedimentar mais argiloso. Os paragnaisses mais pobres em Al, Mg e Fe são mais ricos em SiO_2 e caracterizam protólitos mais arenosos.

O processo de migmatização encontra-se bem registrado regionalmente no Complexo Jequitinhonha. Caracteriza-se pela alternância de paleossoma gnáissico com neossoma granítico (leucossoma) e rico em biotita e granada (melanossoma). O leucossoma pode apresentar alguma grafita *flake* que tende à morfologia hexagonal. Corpos maiores de granito granatífero ocorrem onde a migmatização é mais acentuada em área e intensidade.

A idade do Complexo Jequitinhonha é uma questão ainda em aberto. Celino (1999), Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000) e Daconti (2004) apresentam idades-modelo Sm-Nd, entre

2 Ga e 1,5 Ga, que sugerem mistura de fontes de idades diversas, provavelmente paleoproterozóicas e neoproterozóicas, para os protólitos sedimentares do complexo. Noce *et al.* (2004) apresentam datações U-Pb (SHRIMP) de zircões detriticos do complexo paragnáissico do norte do Espírito Santo. Estes dados indicam que, naquela região, os protólitos sedimentares deste paragnaisse se depositaram entre 630 e 585 Ma e seus protólitos englobaram sedimentos provenientes do arco magmático do Orógeno Araçuaí. Como o complexo paragnáissico do norte do Espírito Santo (Complexo Paraíba do Sul, Silva *et al.* 1987; ou Complexo Nova Venécia, Pedrosa-Soares *et al.* 2006) pode ser correlato do Complexo Jequitinhonha é possível que este também inclua sedimentos derivados do arco magmático do Orógeno Araçuaí.

II.1.3 - Suítes Granitóides

O grande número de corpos graníticos presentes na Província Bahia-Minas e vizinhanças denunciam o intenso magmatismo que teve lugar no domínio interno (núcleo metamórfico-anatético) do Orógeno Araçuaí.

Os granitóides da Faixa Araçuaí (Fig. 4) foram agrupados em suítes regionais por Pedrosa-Soares *et al.* (2001, ver atualização em 2005). As suítes G1 e G2 são relacionadas aos estágios pré- e sincolisionais, respectivamente. A suíte G3 associa-se à fase tardi a pós-colisional. As suítes G4 e G5 são pós-colisionais. Uma descrição sucinta de cada suíte é apresentada a seguir:

- Suíte G1 (tipo I): É composta por corpos predominantemente tonalíticos e granodioritos, com idades entre 630 e 585 Ma. Dados geoquímicos de vários plútons G1 apontam para magmas cálcio-alcalinos, metaluminosos a ligeiramente peraluminosos, formados em sistema de arco vulcânico de margem continental ativa. Esta suíte não ocorre na província grafítica.
- Suíte G2 (tipo S): É composta por granitos foliados a milonitizados, de idade entre 585 e 560 Ma, que se originaram da fusão parcial de rochas metassedimentares. Esta suíte consiste principalmente de batólitos graníticos gnaissificados, peraluminosos, nos quais predominam granada-biotita granito com cordierita e/ou sillimanita freqüentes, e granito a duas micas. A granitogênese G2 relaciona-se à migmatização sincinemática à foliação regional, que ocorre generalizadamente no Complexo Jequitinhonha.
- Suíte G3 (tipo S): Corresponde à refusão da Suíte G2 e dos gnaisses paraderivados. Consiste de leucogranito com cordierita e/ou granada e/ou sillimanita, livre da foliação regional. As

poucas idades U-Pb disponíveis sugerem intervalo entre 540 e 510 Ma, para esta granitogênese.

- Suíte G4 (tipo S): Engloba intrusões graníticas peraluminosas a ligeiramente metaluminosas, em forma de balão. Estas intrusões são fontes de pegmatitos ricos em turmalina e minerais de Li. Zircões de uma das intrusões de granito G4 forneceram idade U-Pb de 500 Ma (Whittington *et al.*, 2001).
- Suíte G5 (tipo I): Engloba os plútons intrusivos compostos de biotita granito, geralmente porfirítico, com fácies charnockíticas e enderbíticas, freqüentes enclaves meso a melanocráticos e eventuais núcleos e bordas de composição básica. São cálcio-alcálicos, metaluminosos, de alto K e alto Fe. Datações U-Pb e Pb-Pb indicam cristalização magmática entre 520 e 500 Ma (Noce *et al.*, 2000; Whittington *et al.*, 2001; Martins *et al.*, 2004), em ambiente pós-colisional relacionado ao colapso extensional do Orógeno Araçuai (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001).

III – A GRAFITA

III.1- Introdução

O carbono, um elemento abundante na biosfera é conhecido desde tempos primordiais. A origem do nome é latina, da palavra *carbo* que significa carvão vegetal. Ele forma um enorme número de compostos, a maior parte dos quais constitui o grupo das substâncias orgânicas, ou seja, substâncias que contêm principalmente carbono, hidrogênio, nitrogênio e oxigênio. Conhecem-se milhões de compostos orgânicos. O carbono também forma um outro grupo, muito menos numeroso, de compostos inorgânicos naturais com sistema cristalino, no qual se encontra a grafita e, em menor quantidade, o diamante, que são os polímeros mais comuns do carbono.

Estes polímeros, apesar de possuírem composição química idêntica (teoricamente, seria carbono puro), apresentam propriedades físicas, estruturais e cristalógicas completamente distintas, em função das diferentes condições de pressão e temperatura em que se cristalizam. A grafita é estável em temperatura e pressão relativamente baixas, quando comparada com o diamante. Sendo assim, a estrutura cristalina da grafita é menos densa que a do diamante. A estabilidade entre diamante, grafita, carbono III e carbono líquido, em um sistema composto apenas por carbono, pode ser exemplificada por meio do diagrama de fases do carbono (Fig. 3.1).

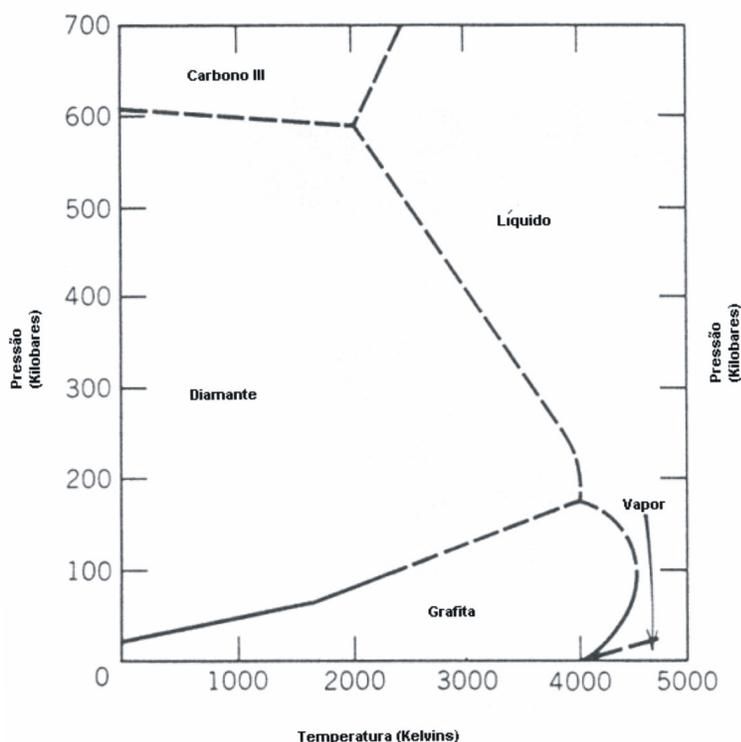


Figura 3.1: Diagrama de fases do carbono (Klein & Hurlbut, 1995).

III.2- Propriedades Físicas

A grafita se cristaliza no sistema hexagonal e é um mineral não metálico, inerte, composto essencialmente por carbono, que pode apresentar impurezas como sulfeto, óxido de ferro ou outras substâncias. Possui coloração preta a cinza metálico, peso específico entre 2,1 e 2,3 g/cm³, dureza entre 1 e 2 na escala Mohs, e brilho semi-metálico.

O hábito tabular reflete a estrutura cristalina hexagonal anisotrópica, com clivagem perfeita {0001}. A estrutura cristalina da grafita é representada por vários planos de átomos de carbono que se arranjam em uma rede com simetria hexagonal (Fig. 3.2).

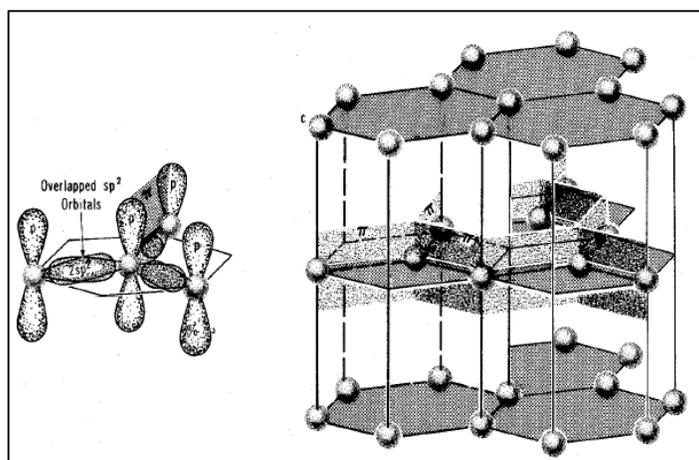


Figura 3.2: Estrutura da grafita. Feltre, 1994)

Nos planos, os átomos de carbono são unidos por ligações covalentes do tipo sp². Trata-se de carbono "insaturado" com uma ligação dupla e duas ligações simples (três ligações do tipo *sigma* e uma do tipo *pi*). Sendo assim três elétrons encontram-se igualmente distribuídos em três orbitais híbridos degenerados e simétricos (ligações σ), e o quarto elétron no orbital p é capaz de formar uma ligação π (p-p) com outro orbital p (Fig. 3.3). A configuração estrutural apresentada é do tipo trigonal plana (120°). A distância interplanar ao longo do eixo c é de 3,354 Å, entre dois planos de átomos de carbono cujas interações, entre os átomos de carbono de planos distintos, são feitas por forças de Van der Waals. Estas ligações fracas conferem a excepcional clivagem da grafita, que permite com suas folhas possam deslizar (na ausência de vácuo) umas sobre as outras, garantindo propriedades lubrificantes a este mineral (Feltre, 1994).

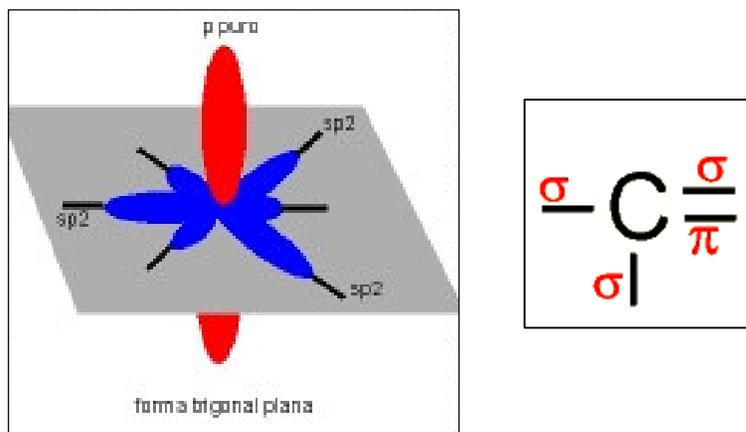


Figura 3.3: Configuração espacial do carbono híbrido em sp^2 (trigonal plana). Feltre, 1994.

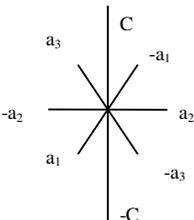
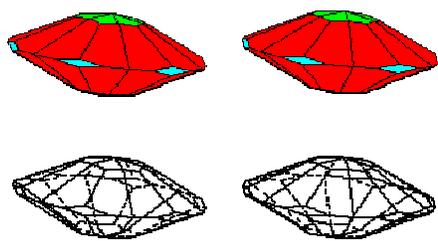
A grafita natural é excelente condutora de calor e eletricidade (paralelamente aos planos de clivagem), altamente refratária (ponto de fusão em 3650°C na presença de oxigênio), lubrificante, compressível e maleável, e tem grande resistência química, termal e à oxidação (Tab. 3.1).

III.3- Aplicações da Grafita

A grafita natural tem seu emprego na indústria em geral, em decorrência de suas propriedades físico-químicas como a clivagem, plasticidade, baixo coeficiente de atrito e alta temperatura de fusão (3.650°C) grafita é utilizada considerando-se uma dessas propriedades ou uma combinação delas, tais como baixo coeficiente de expansão térmica, efeito lubrificante, boa condutividade elétrica e de calor, flexibilidade e ductibilidade sobre uma larga faixa de temperatura, por ser quimicamente inerte e não tóxica, e ser uma fonte de carbono (Harben & Bates, 1995). As principais utilizações da grafita são listadas a seguir:

- Em cadinhos e outros refratários usados na fabricação de metais, devido a sua resistência ao ataque por reagentes químicos e elevado ponto de fusão e vaporização;
- Como lubrificantes, ingredientes para tintas, e em revestimentos para fornos, devido ao baixo coeficiente de atrito e maciez ao tato;
- Na fabricação de escovas de carbono para motores elétricos, devido à alta condutividade elétrica, maciez e propriedades lubrificantes;
- Por sua condutividade, é utilizada na produção de baterias e eletrodos de carbono nas indústrias metalúrgica e química;
- Na fabricação do aço é utilizada para aumentar o teor de carbono da liga;
- Na fabricação de lápis, lonas de freio, explosivos, fitas magnéticas e fertilizantes.

Tabela 3.1- Características mineralógicas da grafita.

Sistema Cristalino	Hexagonal
Classe	Dihexagonal dipiramidal (6/m 2/m 2/m)
Eixos Cristalográficos	
Cristalografia	 <p> HEXAGONAL Class =6/m2/m2/m Scale =1 a = 1 b = 1 c = 1 Scale step=1 Cut step=10 Rotation step=10 [2 1 4]: 76% [1 0 4]: 73% [1 0 0]: 30% </p>
Hábito	Palhetas, lâminas e fibras
Propriedades Físicas	<p>Clivagem: {0001} perfeita Cor: preto a cinza Traço: negro Brilho: sub-metálico Dureza: variando de 1 a 2 Mohs Densidade: 2,23 g/cm³ Propriedade Ótica: uniaxial negativo Anisotropia: forte Pleocroísmo: forte (vermelho) Densidade Elétrica: $\rho_{\text{electron}} = 2,25 \text{ gm/cc}$ Condutividade Térmica: 30 w.cm⁻¹.k⁻¹ Radioatividade: não é radioativa Ponto de Fusão: 3650°C Modo Raman mais intenso: 1581 cm⁻¹</p>
Composição Química	Carbono (C), podendo conter impurezas como óxido de ferro, alumínio, argila, fósforo e sulfetos.
Dimensões da Célula unitária	a: 2,464; c: 6,736; z:4; v:35,42
Difração de Raios-x	Intensidade (I/I ₀): 3,35(1), 1,675(0,8), 1,541(0,6)

III.4- Ocorrência

A grafita ocorre comumente em rochas metamórficas como xistos, gnaisses e mármore. Ela pode ser encontrada na forma de palhetas lamelares (*flakes*), disseminadas na rocha ou concentradas em bolsões e lentes. O termo *flake* é utilizado em referência ao *hábito* em forma de palheta ou lamela. Nestas rochas, a grafita é derivada de material carbonáceo de origem orgânica, que foi convertido em grafita durante o metamorfismo.

A grafita também ocorre em veios hidrotermais, associada com quartzo, biotita, feldspatos, turmalina, apatita, pirita e titanita. Nestes veios, a grafita se cristaliza a partir de carbono hidrotermal derivado das rochas adjacentes, introduzido durante o metamorfismo regional.

Grafita ocorre, ocasionalmente, como constituinte primário em rochas ígneas e também pode ser encontrada em alguns meteoritos na forma de nódulos carbonosos (Klein & Hurlbut, 1995).

Os principais países produtores de grafita natural são China, Rússia, Madagascar, Coreia, Índia, México e Brasil, onde apenas os estados de Minas Gerais e Bahia possuem reservas significativas (99% das reservas nacionais).

III.5- Tipos de Depósitos de Grafita

Os trabalhos de Harben & Bates (1990), Kuzvart (1984), Weis *et al.* (1981), Dissanayake (1994), Frost *et al.* (1989), Faria (1997), Pedrosa-Soares *et al.* (1999), Reis (1999), Guimarães (2000) e Daconti (2004), destacam-se no que se refere ao estudo da gênese e controle dos depósitos de grafita.

Harben & Bates (1990) concluem que a matéria orgânica existente nos sedimentos é transformada em grafita devido ao metamorfismo, seja ele regional ou de contato. Isto é, o material carbonoso da rocha se cristaliza como grafita à medida que o grau metamórfico evolui progressivamente (*i.e.*, a temperatura aumenta) e atinge o tamanho de grafita *flake* em fácies anfíbolito alto a granulito.

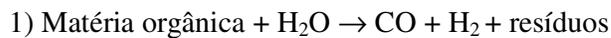
Quatro tipos genéticos de depósitos de grafita, além daqueles que ocorrem em função do enriquecimento residual, são descritos por Kurzvart (1984, com modificações introduzidas por trabalhos acima citados), a saber:

- Depósitos Magmáticos Primários - São depósitos extremamente raros, que apresentam material de alta qualidade, em que a grafita maciça predomina. Existem porções internas com ocorrência de grafita *flake*. O principal depósito é o de Botogol, na Rússia.
- Depósitos do Tipo Contato-Metassomáticos (Skarnitos) - São depósitos que se desenvolvem no contato entre rochas carbonáticas e intrusões ígneas, seja devido à cristalização do carbono ou

pela redução do CO₂. Normalmente, a grafita ocorre na forma de *stocks* ou disseminada em veios no *skarnito*. O principal exemplo é o depósito de Black Donald, no Canadá.

- Depósitos de Grafita em Veio - São concentrações de grafita geradas por soluções pós-magmáticas ricas em elementos voláteis, principalmente CO₂. Os depósitos ocorrem em forma de veios e lentes, e são confinados à zona de contato com a rocha encaixante. Depósitos descritos no Sri Lanka podem ser citados como os principais exemplos deste tipo, onde a grafita ocorre no contato de corpos ígneos com gnaisses, quartzitos e piroxenitos.

- Depósitos Metamórficos - São gerados por concentração e cristalização do carbono durante processos metamórficos regionais. São formados em rochas sedimentares que contêm concentração anômala de carbono, resultando em camadas ou lentes ricas em cristais de grafita disseminada em filito, xisto, quartzito, mármore, gnaisse e granulito. Originam-se durante o metamorfismo regional, desde a transição de fácies xisto verde-anfibolito (*ca.* 480° C) até a fácies granulito (> 800° C). A grafita é fina e microcristalina (*dust*) nas rochas de baixo grau metamórfico (*e.g.*, filito). A formação de grafita lamelar (*flake*) ocorreria a partir da fácies anfibolito intermediária (*ca.* 650° C). Os principais depósitos conhecidos de grafita *flake* são os de Sonora no México e os da Província Grafítica Bahia-Minas. As seguintes reações químicas acarretam a formação da grafita neste tipo de depósito:



III.6- Classificação e Nomenclatura da Grafita

Dependendo do modo de ocorrência e cristalinidade, a grafita natural pode ser classificada em três tipos: (i) cristalina lamelar ou *flake*, (ii) cristalina maciça ou *lump* e (iii) "amorfa", microcristalina ou *dust* (Harben & Bates, 1990; Hand, 1996). O termo comercial "cristalina" lamelar ou *flake* é utilizado em referência a palhetas ou lamelas de grafita disseminadas em rochas metamórficas de origem sedimentar. Lamelas podem ocorrer homoganeamente distribuídas em todo o corpo de minério, ou concentradas em bolsões e lentes (Harben & Bates, 1995).

A grafita tipo *lump* ocorre na forma de veios maciços, em rochas ígneas e metamórficas de alto grau.

O tipo "amorfo" ou microcristalino (*dust*) refere-se a qualquer grafita de granulacão muito fina, cuja cristalinidade é verificável somente ao microscópio ótico. A origem da grafita microcristalina se deve ao metamorfismo de baixo grau sobre seqüências sedimentares carbonosas (Harben & Bates, 1995).

III.7- Grafita na Província Grafítica Bahia-Minas Gerais

A Província Grafítica Bahia-Minas Gerais engloba os depósitos de grafita situados nos municípios de Almenara, Bandeira, Guaratinga, Itamaraju, Jacinto, Jordânia, Maiquinique, Mata Verde, Pedra Azul, Salto da Divisa e Santa Maria do Salto, dentre outros que se localizam no nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia (Fig. 1.2 e 2.2).

Faria (1997) discriminou os tipos de mineralizações de grafita que denominou Tipo Pedra Azul (PAZ) e Tipo Salto da Divisa-Itamaraju (SAI). As mineralizações de grafita do tipo PAZ têm granulação relativamente fina (*flake* fino a microcristalina). Estes depósitos se encontram em pacotes de xisto pelítico com intercalações de quartzito, correlacionáveis ao Grupo Macaúbas ou com posição estratigráfica indeterminada, a exemplo das jazidas das localidades de Grafite e Chapada do Barbado (Pedra Azul), Pedro Perdido (Jordânia) e Pouso Alegre (Maiquinique). Nas mineralizações do tipo PAZ considera-se que o metamorfismo atingiu temperaturas entre 600°C e 700°C. A grafita tem granulação geralmente menor que 1 mm e as maiores concentrações ocorrem em fibrolita-grafita xisto e grafita-quartzito xisto, associados com grande quantidade de veios e bolsões (mobilizados) graníticos.

As mineralizações de grafita do tipo SAI estão associadas à suíte kinzigítica do Complexo Jequitinhonha e foram separadas em três subtipos (Faria, 1997):

- Subtipo A - É o mais comum e abrange desde gnaisses pobres em grafita até xistos grossos muito ricos neste mineral. A principal característica são os *flakes* que definem a foliação regional (Sn), exclusivamente ou em conjunto com biotita e fibrolita. Deste modo, os cristais de grafita crescem durante a formação da foliação Sn e quanto mais grafitosa é a rocha, maior é a deformação nos *flakes* e em sua matriz. A granulação da grafita varia entre 1 e 3 mm, em média.
- Subtipo B - Ocorre em intercalações quartzo-feldspáticas portadoras de grafita, geradas por fusão parcial *in situ* no grafita gnaiss e grafita xisto da suíte kinzigítica. Estas fusões são concordantes com a foliação Sn. A grafita caracteriza-se por estar imersa em matriz de composição félsica, com textura ígnea preservada. Os *flakes* são maiores, atingindo 3 a 5 mm, em comparação com os cristais do subtipo SAI-A.
- Subtipo C - Trata-se do grafita xisto da suíte kinzigítica e encontra-se normalmente associado ao subtipo SAI-B. O grafita xisto é melanocrático, por ser composto majoritariamente por grafita *flake*, e apresenta xistosidade muito penetrativa.

Pedrosa-Soares *et al.* (1999) e Reis (1999) englobam os tipos de minério de grafita em Tipo Gnaisse e Tipo Xisto. O primeiro tipo, Grafita Gnaisse, associa-se ao Complexo Jequitinhonha e tem como maior exemplo as faixas grafitosas descritas como Tipo SAI por Faria (1997). O tipo Grafita Xisto associa-se ao Grupo Macaúbas e se caracteriza pelo pequeno tamanho relativo dos cristais de grafita (sub-milimétrica), que ocorrem na forma de palhetas tabulares ou palhetas tabulares esfarrapadas, marcando a xistosidade da rocha.

Daconti (2004) utilizou critérios geológicos, estruturais e, principalmente, o tipo de rocha hospedeira da mineralização de grafita para distinguir o Distrito Grafítico Almenara-Salto da Divisa (com minério do tipo grafita gnaisse) do Distrito Grafítico Pedra Azul-Bandeira (tipo grafita xisto). O Distrito Grafítico Almenara-Salto da Divisa, estende-se desde os arredores da cidade de Almenara até a divisa Minas-Bahia, a sudeste da cidade de Salto da Divisa. Situado principalmente nos domínios da suíte kinzigítica do Complexo Jequitinhonha e suítes graníticas neoproterozóicas, este distrito compreende os prospectos da Magnesita S.A. e ocorrências de grafita na região de Almenara, as ocorrências em torno do Granito Filinha (Reis, 1999) e a sucessão de afloramentos contendo grafita, alinhados na direção NW-SE, localizados nas proximidades da cidade de Salto da Divisa (Faria, 1997), com destaque para a Mina Fazenda Califórnia, pertencente a Cia. Nacional de Grafite Ltda. As principais características das zonas mineralizadas do Distrito Grafítico Almenara-Salto da Divisa são a predominância do litotipo grafita gnaisse em relação ao grafita xisto, a morfologia microscópica lamelar, subordinadamente esfarrapada, dos cristais de grafita, e palhetas (*flakes*) maiores que 1 milímetro.

O Distrito Grafítico Pedra Azul-Bandeira (Daconti, 2004) ocupa uma área de aproximadamente 2.500 km² e engloba parte dos municípios de Pedra Azul, Divisópolis, Mata Verde e Bandeira, a norte do paralelo 16°00'S. Os depósitos de grafita estão em rochas do Grupo Macaúbas e do Complexo Jequitinhonha, às vezes na região de contato entre essas unidades. De leste para oeste destacam-se cinco principais zonas mineralizadas em grafita: *i*) o prospecto Chapada do Barbado (explorado pela Magnesita); *ii*) as ocorrências de grafita à margem esquerda do Ribeirão São Francisco; *iii*) as jazidas do Boqueirão da Salvação (incluindo as minas da Paca e Paquinha lavradas pela Nacional de Grafite); *iv*) as ocorrências de grafita entre as cidades de Bandeira e Mata Verde; e *v*) a Jazida Pedro Perdido e a Mina de Grafite de Pouso Alegre (antiga Mamoré, atual Mineração Carbo Grafite). Nestas zonas mineralizadas, o litotipo grafita xisto é a rocha hospedeira e apresenta cristais de grafita principalmente sob a forma de farrapos (morfologia microscópica) e palhetas menores que 1 milímetro.

A distribuição dos tipos de minérios e depósitos acima referidos, em termos da granulação da grafita, mostra boa correlação com o aumento de temperatura do metamorfismo regional no sentido sul. Os depósitos com grafita mais fina estão geralmente intercalados em sillimanita-biotita xisto,

cuja temperatura de cristalização é estimada em torno de 650° C. No seu conjunto, os depósitos de grafita relativamente mais fina situam-se na parte norte da província, onde ocorrem, com mais frequência, os pacotes de sillimanita-biotita xisto do Grupo Macaúbas. Por outro lado, os depósitos de grafita gnaisse com granulação mais grossa estão intercalados na suíte kinzigítica do Complexo Jequitinhonha, cujas temperaturas metamórficas situam-se na transição de fácies anfibolito-granolito.

IV – PETROGRAFIA E QUÍMICA MINERAL

Neste capítulo são descritos os minérios de grafita e as rochas peraluminosas associadas, estudados nesta dissertação. Os minérios de grafita coletados são dos tipos xisto e gnaiss, que se associam a xisto e paragnaisse, peraluminosos, respectivamente. A caracterização da grafita nas diversas amostras de minério é detalhadamente abordada no Capítulo V e os estudos termométricos sobre estas amostras estão no Capítulo VI. Os dados químicos de minerais das rochas peraluminosas são aqui apresentados, como base aos estudos geotermobarométricos sobre silicatos e sua comparação com os dados obtidos em grafita (Capítulo VI). A estrutura deste capítulo consiste em apresentar os dados primeiramente e posteriormente discuti-los e relaciona-los.

IV.1- Grafita Xisto e Xisto Peraluminoso Associado

Regionalmente, os xistos grafitosos, correlacionados ao Grupo Macaúbas, englobam grafita xisto, fibrolita-grafita xisto, grafita-quartzo xisto, grafita-quartzo-feldspato xisto e grafita-quartzo-feldspato-fibrolita xisto, que podem conter intercalações de quartzito grafitoso ou não. Estes xistos têm coloração cinza escura com tons prateados e granulação variando desde muito fina a média. Em geral, apresentam-se intensamente dobrados (Fig. 4.1 e 4.2).

A textura dos xistos grafitosos é essencialmente lepidoblástica, com a foliação metamórfica marcada pela orientação de grafita e sillimanita fibrosa (fibrolita), e pelo quartzo alongado. Estas feições descritas acima e a forte lineação observada em campo sugerem que o quartzo está estirado.



Figura 4.1: Afloramento de xistos grafitosos na mina de Pouso Alegre, Mineração Carbo Grafite, Maiquinique, sul da Bahia. Observar os corpos quartzo-feldspático-muscovíticos, de cor clara, que se intercalam com o xisto, denunciando os efeitos da fusão parcial sobre intercalações ricas em muscovita, mas pobres em grafita.



Figura 4.2: Afloramento de fibrolita-grafita xisto da mina abandonada de Pedro Perdido, Jordânia, Minas Gerais. As vênulas e pequenos bolsões, brancos, são agregados quartzo-feldspáticos originados por fusão parcial localizada.

Sua composição mineralógica essencial consiste de quartzo, grafita, feldspato potássico, fibrolita e plagioclásio (Fig. 4.3). Os minerais acessórios são biotita (que pode estar presente em percentagem maior e se tornar mineral essencial), muscovita, zircão, rutilo, titanita, apatita, pirita, pirrotita e calcopirita. A mineralogia de alteração inclui carbonato, sericita, clorita e hidróxidos de ferro.

A grafita associa-se aos sulfetos e a fibrolita e ocorre intercrescida com biotita e pirita. O intemperismo é marcado pela forte caulinização do feldspato. A grafita apresenta-se principalmente na forma de palhetas com extremidades esfarrapadas e minoritariamente, como palhetas lamelares (Fig. 4.3 e 4.4).

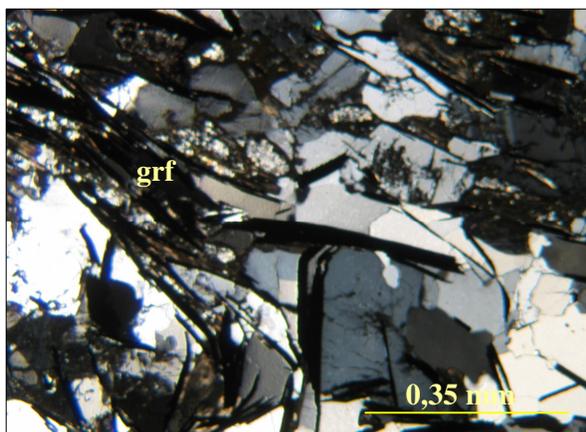


Figura 4.3: Fotomicrografia de grafita xisto, mostrando palhetas de grafita lamelares com pontas esfarrapadas (amostra J2, Pedra Azul, luz transmitida, nicóis cruzados). O comprimento das palhetas varia entre 0,20 e 0,35mm.

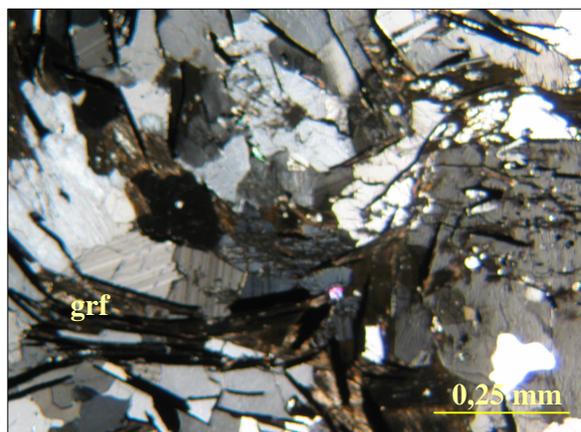


Figura 4.4: Fotomicrografia de grafita xisto, mostrando palhetas de grafita lamelares (amostra J7, Pedro Perdido, luz transmitida, nicóis cruzados). O comprimento médio das palhetas é entre 0,10 e 0,25mm.

O plagioclásio apresenta bordas de albitização. O feldspato potássico é pertítico e apresenta estrutura mirmequítica, além de maclas da microclina e de Carlsbad, deformadas. A sillimanita é fibrosa (fibrolita), distribui-se ao longo da foliação e pode formar agregados elipsoidais (novelos) ou estar inclusa, como feixes de fibras, nos cristais de feldspato.

O xisto peraluminoso se associa às camadas de xisto grafitoso. Este xisto peraluminoso, na região de Jordânia-Bandeira-Maiquinique é um fibrolita-mica xisto (Fig. 4.5) de coloração amarelada com e granulação variando de média a grossa. As micas são biotita, majoritariamente, e muscovita. Os demais minerais essenciais são quartzo, feldspato potássico e plagioclásio. Os acessórios são granada, zircão, apatita e opacos. Na presente dissertação não se conseguiu coletar amostra deste xisto adequada para análise de química mineral.

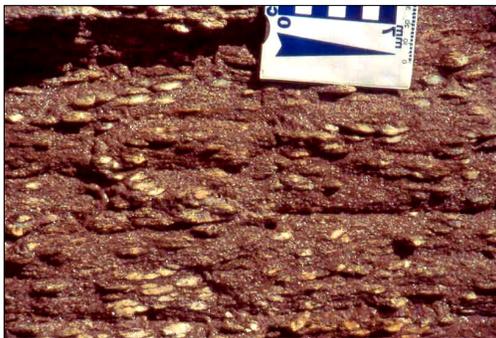


Fig. 4.5: Fibrolita-mica xisto do Grupo Macaúbas na região de Jordânia-Bandeira-Maiquinique. A fibrolita forma novelos branco-amarelados, elipsoidais, estirados paralelamente à foliação regional marcada pelas micas.

Aos xistos grafitosos e peraluminosos associam-se uma grande quantidade de intercalações quartzo-feldspático-muscovíticas, com formas de camadas, veios e bolsões, que denunciam a incidência de fusão parcial extensiva sobre rocha que teria sido provavelmente rica em muscovita, mas pobre em grafita. Esta interpretação faz alusão a camadas de pelito branco, muito pobres em ferro e que seriam depositadas entre as camadas ricas em matéria orgânica (responsáveis pelo ambiente redutor e conseqüente migração do ferro na forma de Fe^{2+}). As camadas de pelito branco seriam progressivamente recristalizadas em muscovita xisto (Fig. 4.6), até se tornarem mais susceptíveis à fusão parcial extensiva do que as camadas ricas em grafita. A migração do ferro, por seu turno, deixaria toda a pilha empobrecida neste elemento, fato que é evidenciado pela escassez de biotita e granada.

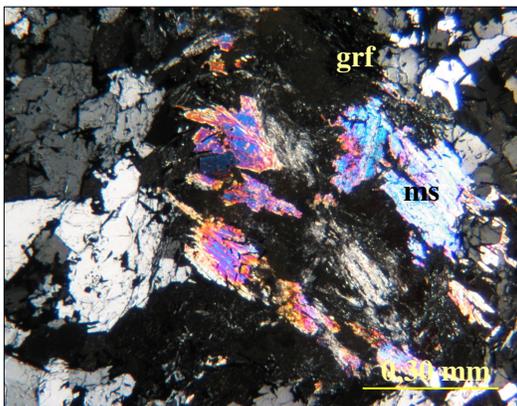


Figura 4.6: Fotomicrografia de grafita xisto, mostrando palhetas de grafita lamelares (amostra J23, Maiquinique, luz transmitida, nicóis cruzados). O comprimento das palhetas varia entre 0,20 e 0,30mm

No mesmo rumo pode-se interpretar a pequena quantidade de muscovita nos xistos grafitosos, uma vez que esta mica é um importante reagente das reações metamórficas em pelitos e pode ter sido quase inteiramente consumida, para dar origem à sillimanita mais a mistura quartzo-feldspática que se observa em vênulas e pequenos bolsões (Turner, 1981; Yardley, 1989).

O metamorfismo dos xistos grafitosos é caracterizado pela associação mineral que materializa as foliações regionais, dadas por quartzo + feldspatos + sillimanita + biotita ± muscovita. Esta associação é indicadora da fácies anfibolito e sua relação com a presença dos mobilizados quartzo-feldspático-muscovíticos sugere temperatura da ordem da primeira isógrada da anatexia (ca. 650-700° C), (Yardley, 1989).

Esta avaliação qualitativa das condições do metamorfismo é condizente com a associação metamórfica do xisto peraluminoso que se associa às camadas de xisto grafitoso.

IV.2- Grafita Gnaiss e Gnaisses Peraluminosos Associados

Grafita gnaiss é a principal rocha portadora dos minérios de grafita do Complexo Jequitinhonha (Fig. 4.7). Esta rocha constitui camadas intercaladas com gnaisses peraluminosos que podem conter grafita em quantidades muito inferiores às do grafita gnaiss. Enfatiza-se, entretanto, que os depósitos de grafita economicamente relevantes são restritos às camadas ricas em grafita gnaiss que, por estarem semi-intemperizadas, são friáveis. O intemperismo torna a rocha grafitosa mais facilmente desagregável, facilitando a liberação dos cristais de grafita durante o beneficiamento, e contribui para aumentar a concentração do minério em decorrência da lixiviação de outros componentes.



Figura 4.7: Foto de amostra do grafita gnaiss da Fazenda Pratinha, localidade de Santana, localizada cerca de 18 km a oeste de Salto da Divisa.

O grafita gnaiss possui coloração acinzentada e granulação variável de média a grossa, raramente fina. A textura é lepidoblástica e a estrutura é frequentemente dobrada (Fig. 4.8).

O grafita gnaisse consiste essencialmente de quartzo, grafita, feldspato potássico, plagioclásio e fibrolita isolada (Fig. 4.8) ou em novelos. Os minerais acessórios são cordierita, biotita, pirita, goethita, zircão, rutilo, titanita e apatita. Os processos de alteração são sericitização e saussuritização dos feldspatos, além de caulinição generalizada dos feldspatos e da fibrolita nas amostras de minério.

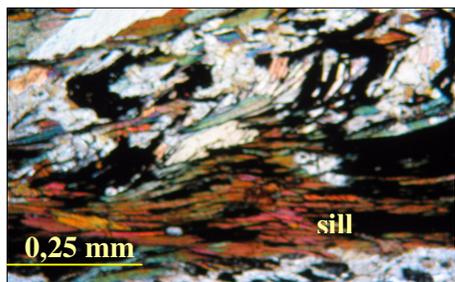


Figura 4.8: Fotomicrografia de grafita gnaisse evidenciando a foliação. Foto em luz transmitida, com nicóis cruzados. Amostra FSD 04, São Domingos.

A grafita associa-se a fibrolita e pode ocorrer intercrescida com biotita e pirita (Fig. 4.9). Apresenta-se na forma de palhetas lamelares (Fig. 4.10), com ou sem extremidades esfarrapadas. Descrições detalhadas das características da grafita serão apresentadas no Capítulo V.

O plagioclásio está geralmente geminado com dupla macla (Albita/Carlsbad), apresenta estrutura mirmequítica e contém inclusões de fibrolita.

O feldspato potássico é ortoclásio, geralmente pertítico, que raramente encontra-se maclado e quando geminado, a macla de Carlsbad está deformada. Contém inúmeras inclusões de fibrolita, grafita, quartzo, biotita e raramente de pequenos cristais de cordierita. Estas inclusões podem estar orientadas segundo a foliação.

A sillimanita ocorre na forma de fibrolita (sillimanita fibrosa). Distribui-se ao longo da foliação, podendo formar novelos elipsoidais ou estar contida, como feixes de fibras, em feldspato potássico e plagioclásio.

A cordierita, quando presente, ocorre como cristais de granulação predominantemente fina e livre de inclusões.

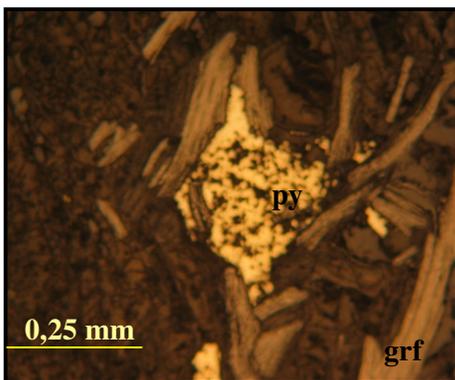


Figura 4.9: Fotomicrografia de grafita gnaisse. Foto em luz refletida, com nicóis cruzados. Amostra FSD 04, São Domingos. O comprimento médio das palhetas é de 1 a 3 mm.

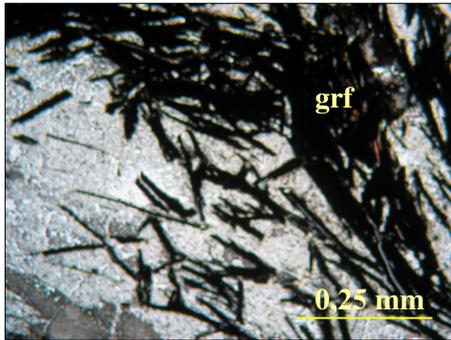


Figura 4.10: Fotomicrografia de grafita gnaisse, mostrando palhetas lamelares de grafita (amostra FSD 04, São Domingos, luz transmitida, nicóis descruzados). O comprimento médio das palhetas é 1 a 2,8 mm.

Grande volume de corpos quartzo-feldspáticos com textura, com ou sem moscovita, de granulação grossa a pegmatítica, na forma de camadas, veios e bolsões, associam-se ao grafita gnaisse e evidenciam a intensa migmatização sofrida pelo Complexo Jequitinhonha. A exemplo dos mobilizados anatéticos associados ao grafita xisto, pelo menos parte destes corpos quartzo-feldspáticos representariam a extensiva fusão parcial de camadas ricas em moscovita, cujo protólito sedimentar seria pelito branco (*i.e.*, livre de compostos ferríferos).

Os gnaisses peraluminosos são grafita-sillimanita-granada-biotita gnaisse e cordierita-granada-biotita gnaisse (ou gnaisses kinzigíticos), e grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaisse (kinzigito *stricto sensu*). Estes gnaisses têm coloração cinza-azulada e granulação média a grossa (Fig. 4.11). A textura varia de lepidoblástica a granoblástica, na dependência da quantidade de biotita. Migmatização em intensidade variada impõe estruturas estromática, flebítica ou *schöllén* (Fig. 4.11 e 4.12).



Fig. 4.11: Feições de migmatização paralela à foliação e discordantes dela, em afloramento de gnaisse kinzigítico, junto ao contato com o grafita gnaisse da Fazenda Pratinha, localidade de Santana, a oeste de Salto da Divisa.

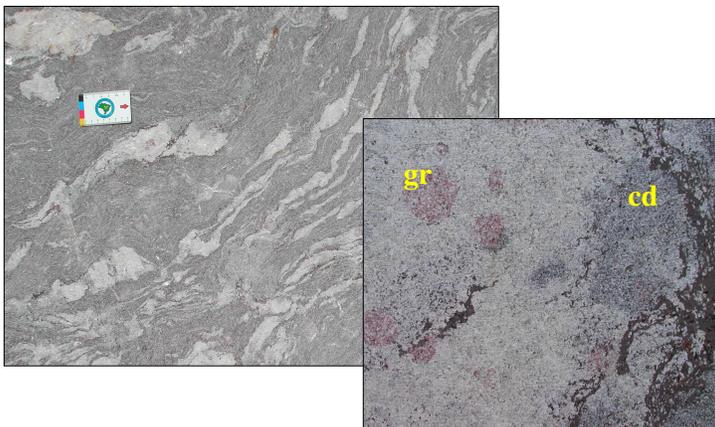


Figura 4.12: Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaisse ou kinzigito *s.s.*, em pedra nos arredores de Almenara. No destaque, ilustra-se uma banda rica em mobilizado granítico com granada.

Observam-se agregados e orientados, compostos por plagioclásio, quartzo, cordierita, granada e feldspato potássico, associados à biotita, fibrolita e grafita, os quais podem ocorrer intercrescidos.

Os gnaisses peraluminosos consistem essencialmente de quartzo, plagioclásio e biotita, com quantidades variáveis de granada, cordierita, sillimanita e feldspato potássico. Os minerais acessórios são apatita, zircão, rutilo, titanita, monazita, pirita, goethita e ilmenita. Os processos de alteração, incipientes, são saussuritização, sericitização e carbonatação de feldspatos, cloritização de biotita e pinitização de cordierita.

O plagioclásio ocorre em cristais maclados (Albita/Carlsbad) ou não e apresenta bordas de albitização e antipertita. Suas inúmeras inclusões de quartzo, biotita, cordierita e fibrolita caracterizam textura poiquiloblástica (Fig. 4.13).

O ortoclásio é geralmente pertítico e está raramente maclado. Quando geminado, a macla de Carlsbad está deformada.

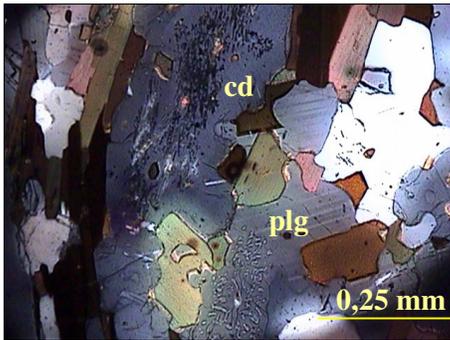


Figura 4.13: Cristais de plagioclásio (pl) e de cordierita (cd) com inclusões de quartzo, biotita e fibrolita, em fotomicrografia da lâmina J4 (Almenara), com nicois cruzados.

A cordierita ocorre principalmente orientada segundo a foliação regional. Grande número de inclusões de fibrolita e biotita concentram-se no centro dos cristais de cordierita, formando textura poiquiloblástica (Fig. 4.13 e 4.14). Esta textura é indicativa do processo da formação da fibrolita por reação de biotita, em que o excesso de ferro é consumido pela cordierita que sobrecreceu o mineral fibroso (Yardley, 1989).

A cordierita também pode estar presente nesses litotipos em cristais de granulação predominantemente fina e livre de inclusões, preenchendo interstícios da rocha. Ocasionalmente, ocorre intercrescida com cristais de granada.

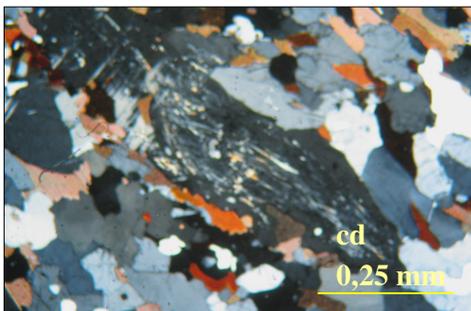


Figura 4.14: Cristal de cordierita (cd) estirado, apresentando textura poiquiloblástica, em contato com granada, quartzo e biotita. Fotomicrografia da lâmina J4 (Almenara), com nicois cruzados.

A granada encontra-se envolta pela foliação, geralmente rotacionada e com sombras de pressão, o que evidencia seu caráter sincinemático. Distinguem-se três gerações deste mineral: *i*) poiquiloblastos de granulação média a grossa, com inclusões de sillimanita, biotita e apatita, por vezes, orientadas segundo a foliação; *ii*) cristais de granulação fina, livres de inclusões; e *iii*) cristais de granulação fina a média, muito fraturados e livres de inclusões.

A sillimanita ocorre principalmente na forma de fibrolita (sillimanita fibrosa). Distribui-se ao longo da foliação juntamente com a cordierita, biotita, grafita, e demais minerais estirados, mas também pode formar agregados (novelos) elipsoidais ou feixes de fibras no interior de poiquiloblastos de cordierita, granada e plagioclásio (Fig. 4.15).



Figura 4.15: Sillimanita fibrosa ao longo da foliação metamórfica, em fotomicrografia com luz transmitida, nicóis descruzados, lâmina J16 localizada no alvo Fazenda Lameiro.

O metamorfismo progressivo dos gnaisses peraluminosos é caracterizado pela associação mineral: quartzo + biotita + granada + cordierita + plagioclásio + sillimanita \pm feldspato potássico (Fig. 4.13 e 4.14), todos sincinemáticos à foliação regional. Esta associação é típica da transição da fácies anfibolito alto para granulito, zona da cordierita-granada-feldspato potássico (Yardley, 1989), embora nem sempre todos esses minerais ocorram necessariamente juntos. As associações resultam de reações tais como:

- biotita + sillimanita + quartzo \rightarrow K-feldspato + cordierita + fusão granítica
- biotita + sillimanita + quartzo \rightarrow K-feldspato + granada + fusão granítica

IV.3- Química dos Minerais dos Gnaisses Peraluminosos

Este item aborda a química mineral de granada, biotita, plagioclásio e cordierita, sincinemáticos à foliação regional de gnaisses do Complexo Jequitinhonha, tendo em vista a avaliação qualitativa e quantitativa das condições de pressão e temperatura nos gnaisses peraluminosos associados a depósitos e ocorrências de grafita (ver também Capítulo 6). As análises em microsonda eletrônica foram efetuadas sobre lâminas polidas de nove amostras coletadas nas regiões nordeste de Minas Gerais (J16, J21, J4, J13b, J10) e extremo sul da Bahia (J25, J26, J27, J28), cuja localização encontra-se na Figura 1.2 e Tabela 4.1.

IV.3.1- Química da granada

Nas nove lâminas de amostras de gnaisses do Complexo Jequitinhonha (J16, J21, J4, J13b, J10, J25, J26, J27, J28; Fig. 1.2), foram selecionados quatorze cristais para micro-análise (dados no Anexo 1). Em cada cristal foram efetuadas de três a dez análises pontuais. As proporções moleculares dos membros finais para cada cristal de granada, calculadas com base na média das análises obtidas, uma vez que todos os cristais analisados não apresentam zonação química, estão na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Percentuais das moléculas de espessartita (spe), almandina (alm), piropo (py) e grossulária (gro) em cristais de granada de gnaisses do Complexo Jequitinhonha. Da primeira à última linha da tabela, as amostras estão organizadas conforme sua localização no terreno, de oeste para leste e de norte para sul, com o objetivo de se ter dados referenciados para avaliação do metamorfismo regional (vide Fig. 1.2).

spe(Mn)	alm(Fe)	py(Mg)	gro(Ca)	Amostra	Rocha / Localização
4,87	72,75	19,42	2,95	J16	Cordierita-granada-biotita gnaiss / Fazenda Lameiro, 35 km a W de Almenara, MG
14,79	64,06	16,23	4,92	J21	Granada-biotita gnaiss / Águas Belas, 10 km a W de Almenara, MG
9,36	77,53	11,07	2,03	J4	Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss / Pedreira de rocha ornamental, 5 km a norte de Almenara, MG
15,90	66,78	13,13	4,20	J13	Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss / São Domingos, 40 km a NNW de Almenara, MG
2,98	75,01	19,89	2,12	J10	Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss / Fazenda Pratinha-Santana, 25 km a W de Salto da Divisa, MG
2,98	84,63	10,51	1,99	J25	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / 15 km a SE de Guaratinga, BA
2,98	83,66	11,18	2,18	J26	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / 15-20 km a SSW de Itamaraju, BA
2,37	77,01	18,31	2,31	J27	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / 15-20 km a SSW de Itamaraju, BA
5,04	83,07	9,51	2,38	J28	Granada-cordierita-biotita gnaiss / 15-20 km a SW de Itamaraju

A Tabela 4.1 mostra que todos os cristais de granada analisados são ricos na molécula de almandina (64 a 85%) e, à exceção da amostra J13 (67alm/16spe/13py/4gro), têm piropo (9 a 20%), espessartita (2 a 15%) e grossulária (2 a 5%) em ordem decrescente de termos minoritários.

A distribuição das amostras na província grafitica (Fig. 1.2), cotejada com os dados dos cristais de granada (Tabela 4.1; Fig. 4.16 e 4.17), indicam que:

- A proporção molecular de almandina aumenta de noroeste para sudeste, desde a região de Almenara (nordeste de Minas) para a região de Guaratinga-Itamaraju (extremo sul da Bahia).
- As proporções moleculares de espessartita e grossulária decrescem no mesmo rumo.
- A amostra J10, situada a meio caminho entre estas regiões, apresenta composição intermediária (75alm/3spe/20py/2gro) entre os dois conjuntos de cristais de granada e não foi incluída no cálculo dos conteúdos médios abaixo comentados.
- O conteúdo médio da molécula de almandina na região de Almenara (70,3%) é significativamente inferior à média do extremo sul da Bahia (82%).
- Ao contrário, os conteúdos médios de espessartita (11,2%) e grossulária (3,5%) são mais elevados na região de Almenara, em relação a Guaratinga-Itamaraju (3,3% e 2,2%, respectivamente).
- O conteúdo médio da molécula de piropo varia muito, particularmente na região de Almenara cuja média (15%) supera o extremo sul da Bahia (12,4%).

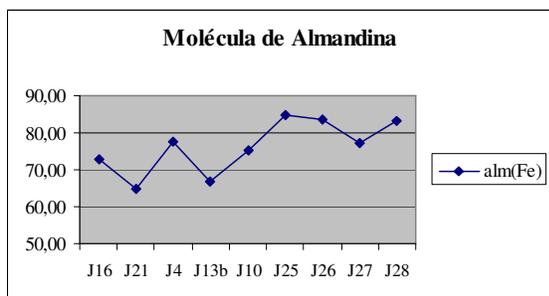


Figura 4.16: Variações das proporções moleculares de almandina em cristais de granada dos gnaisses peraluminosos.

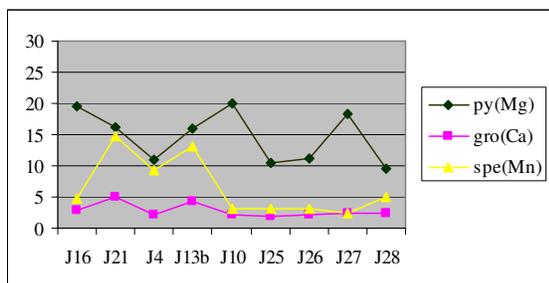


Figura 4.17: Variações das médias das proporções moleculares de piropo, grossulária e espessartita em cristais de granada dos gnaisses peraluminosos.

Os dados acima apresentados sugerem que os gnaisses peraluminosos do extremo sul da Bahia atingiram maior temperatura no metamorfismo regional em relação à região de Almenara. A composição intermediária da amostra J10, localizada entre estas regiões, levanta a possibilidade de aumento progressivo da temperatura de uma à outra região. Por outro lado, o menor conteúdo

médio da molécula de piropro na granada, aliada ao predomínio de cordierita sobre granada, dos gnaisses de Guaratinga-Itamaraju, sugerem pressão baixa relativamente à região de Almenara.

Entretanto, em decorrência do padrão centrípeto do aumento do metamorfismo regional rumo ao núcleo do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental (*e.g.*, Pedrosa-Soares *et al.*, 2001), o Complexo Jequitinhonha representa um setor crustal profundo, hoje exposto pela erosão cenozóica. Desta forma, é de se esperar que as variações de pressão e temperatura neste complexo sejam de pouca amplitude, salvo eventuais descobertas de novos fatos geológicos.

Os diagramas químicos (Fig. 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21) revelam dois agrupamentos de cristais de granada, relativamente bem definidos, que são: agrupamento 1, Águas Belas-São Domingos (J21, J13); e agrupamento 2, Guaratinga-Itamaraju (J25, J26, J27 e J28). As amostras J16, J4 e J10 (Fazenda Lameiro-Pedreira Almenara-Fazenda Pratinha) tendem a delinear um terceiro agrupamento, muito mais disperso que os outros dois.

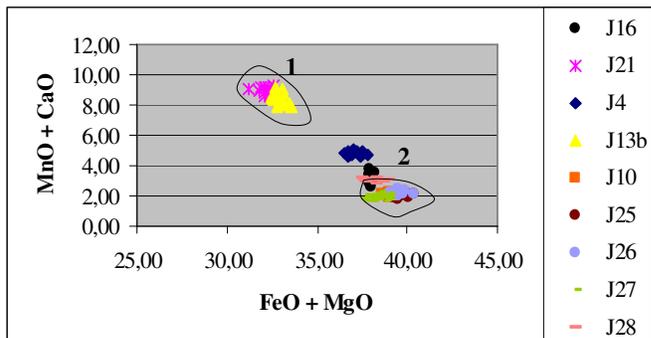


Figura 4.18: Dispersão entre CaO + MnO e FeO + MgO, mostrando a correlação negativa dos cristais de granada. Agrupamentos: 1, Águas Belas-São Domingos; 2, Guaratinga-Itamaraju.

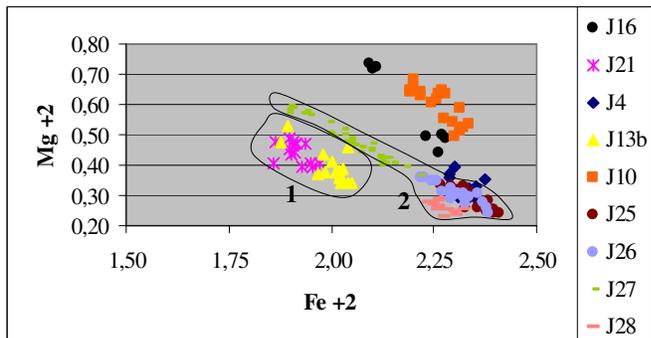


Figura 4.19: Correlações negativas entre Fe²⁺ e Mg²⁺, em cristais de granada. Agrupamentos: 1, Águas Belas-São Domingos; 2, Guaratinga-Itamaraju.

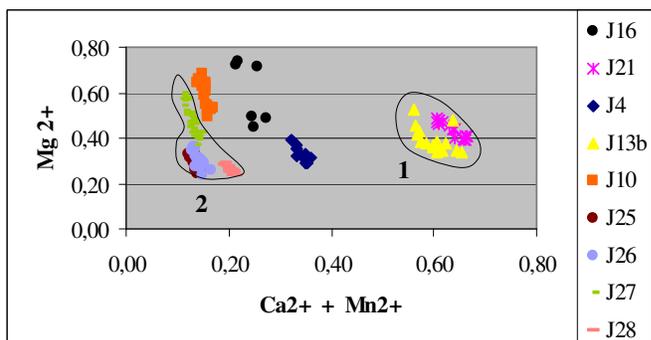


Figura 4.20: Correlações negativas entre (Ca²⁺ + Mn²⁺) e Mg²⁺ em cristais de granada. Agrupamentos: 1, Águas Belas-São Domingos; 2, Guaratinga-Itamaraju.

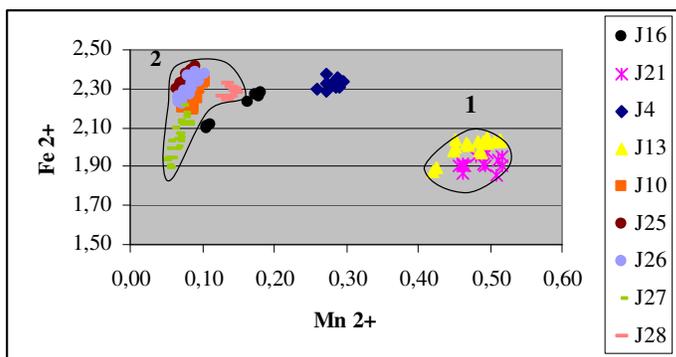


Figura 4.21: Dispersão entre Fe^{2+} e Mn^{2+} em cristais de granada. Agrupamentos: 1, Águas Belas-São Domingos; 2, Guaratinga-Itamaraju.

Em conjunto (Fig. 4.18), os cristais de granada mostram correlação negativa que evidencia o enriquecimento em Fe e Mg, contra o empobrecimento em Mn e Ca, a partir dos cristais da região de Almenara até o agrupamento Guaratinga-Itamaraju. Este diagrama (Fig. 4.18) também sugere que a região de Guaratinga-Itamaraju teria experimentado temperatura mais alta que a região de Almenara, durante o metamorfismo sincinemático à foliação regional.

As correlações internas aos agrupamentos e a dispersão dos pontos analíticos de cada cristal são mais bem destacadas em diagramas catiônicos (Fig. 4.19, 4.20 e 4.21). As razões $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, $(\text{Ca}^{2+}+\text{Mn}^{2+})/\text{Mg}^{2+}$ e $\text{Fe}^{2+}/\text{Mn}^{2+}$ mostram variações mais ou menos marcantes em todos os agrupamentos e cristais, indicando que, em maior ou menor medida, todas as granadas analisadas apresentam dispersão catiônica.

A maior variação da razão $\text{Fe}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ é dada pelo agrupamento 2 (Guaratinga-Itamaraju), particularmente em decorrência da amostra J27 que lhe impõe aparente enriquecimento em Mg. Sem a amostra J27, como também indica a Figura 4.18, o agrupamento Guaratinga-Itamaraju teria a maior razão Fe/Mg no conjunto das granadas analisadas. Como os gnaisses de Guaratinga-Itamaraju têm mais cordierita que granada, a alta razão Fe/Mg é mais um indício de cristalização à pressão mais baixa, em relação aos gnaisses da região de Almenara.

Os dados representados nas figuras 4.18, 4.19, 4.20 e 4.21 evidenciam que os cristais de granada analisados mostram heterogeneidade química interna, em decorrência de zoneamento ou mudança progressiva de composição. Os cristais de granada heterogeneidade química interna mais acentuada são J16 (Lameiro), J10 (Pratinha), J13 (São Domingos) e J27 (Itamaraju), ao passo que os menos heterogêneos são J4 (Pedreira Almenara), J21 (Águas Belas), J25 (Guaratinga), J26 (Itamaraju) e J28 (Itamaraju).

Todos os cristais de granada mostram, em maior ou menor proporção, enriquecimento em magnésio na borda do cristal e ferro no núcleo (Fig. 4.22), quando o cristal está em contato com a biotita. Ao mesmo passo, todos os cristais apresentam manganês e cálcio mais ou menos constantes. Sendo importante ressaltar que as amostras J16 e J10 são as que apresentam maiores variações

composicionais, levando-se em consideração as diferenças entre bordas e centros dos cristais de granada.

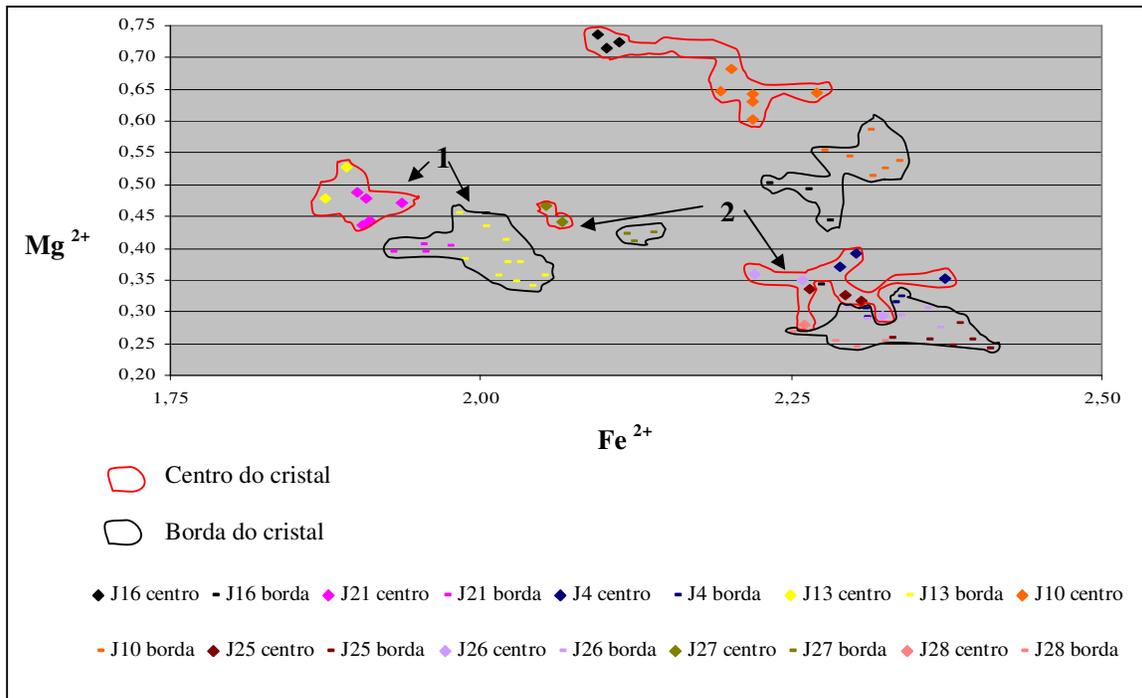


Figura 4.22: Zonamento químico interno em relação à razão Fe^{2+}/Mg^{2+} para todos os cristais analisados de granada.

IV.3.2- Química da biotita

Foram selecionados doze cristais para micro-análises, em lâminas polidas das amostras J16, J21, J4, J13b e J10, da região nordeste de Minas Gerais, e J25, J26, J27 e J28, do extremo sul da Bahia (Anexo 1), obtendo-se de três a dez análises pontuais em cada cristal.

Os cristais de biotita analisados mostram composição intermediária na solução sólida biotita-flogopita (Fig. 4.23).

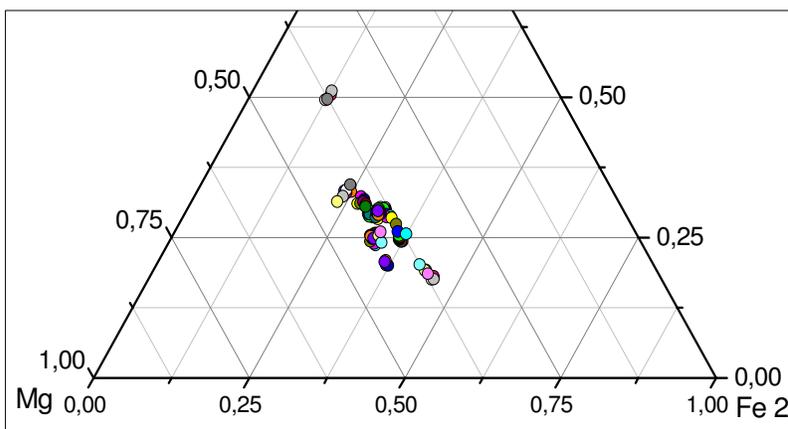


Figura 4.23: Proporção entre os cátions Fe^{2+} , Mg^{2+} e Al^{3+} para cada amostra de mica negra analisada, pertencentes à série flogopita-biotita

A variação nos conteúdos de ferro e magnésio mostra correlação negativa geral e substituições regulares entre os íons Fe^{2+} e Mg^{2+} (Fig. 4.24). Entretanto, não são observados os agrupamentos delineados pelos cristais de granada. As distribuições dos pontos analíticos dos cristais de biotita indicam inexistência de relação com as regiões amostradas. As amostras do extremo sul da Bahia estão distribuídas ao longo de toda a faixa de dispersão, mas apresentam as menores razões Fe/Mg, ou seja, no conjunto, são as mais magnesianas.

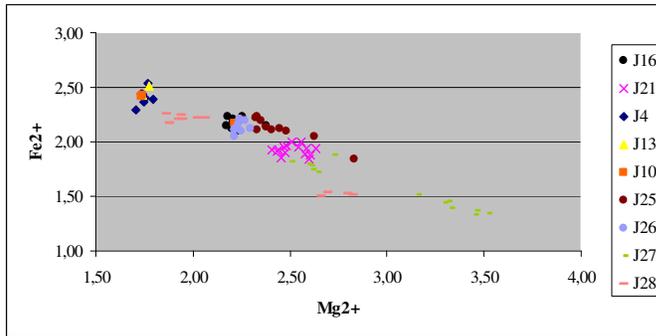


Figura 4.24: Correlação negativa entre Fe^{2+} e Mg^{2+} nos cristais de biotita provenientes de paragneisses do Complexo Jequitinhonha.

O titânio sofre pequenas variações, mas mostra padrão regular para os gnaisses com cordierita, sillimanita e traços de grafita, do Complexo Jequitinhonha (Fig. 4.25).

Entretanto, a escassez de titânio apresentada pela biotita da amostra J21 (Águas Belas) reforça a suspeita de que esta rocha não é um paragneisse peraluminoso (Fig. 4.25). A amostra J21 é um granada-biotita gnaissado coletado na base de um furo de sonda, sem que se pudesse ter segurança das suas relações litológicas no terreno. O empobrecimento em titânio, comum nos granada-biotita granitos foliados (G2) da região norte do Orógeno Araçuaí (Celino 1999, Castañeda *et al.* 2006), aliado à ausência de sillimanita, cordierita e grafita, sugere que a amostra J21 seja, de fato, representante de um veio granítico foliado. Ou seja, um veio de granito peraluminoso, que representa fusão sin a tardi-cinemática em relação à foliação regional, tal como inúmeros outros encaixados no Complexo Jequitinhonha.

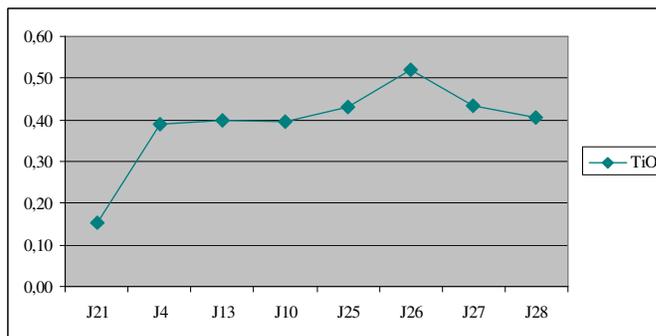


Figura 4.25: Variação do titânio. Comparação entre as amostras estudadas. Os óxidos presentes são ilmenita e rutilo.

IV.3.3- Química do plagioclásio

Foram analisados sete cristais de plagioclásio de paragnaisses peraluminosos da região nordeste de Minas Gerais (J4 e J13b) e sul da Bahia (J25, J26, J27, J28). Foram obtidas de três a dez análises pontuais em cada cristal (Anexo 1).

A variação de composição dos cristais de plagioclásio é ilustrada na Figura 4.26. A grande maioria dos cristais é oligoclásio e apresentam em média 23% de anortita e 77% em albita. , mas alguns são andesina e possuem em média 41% de anortita e 57% de albita.

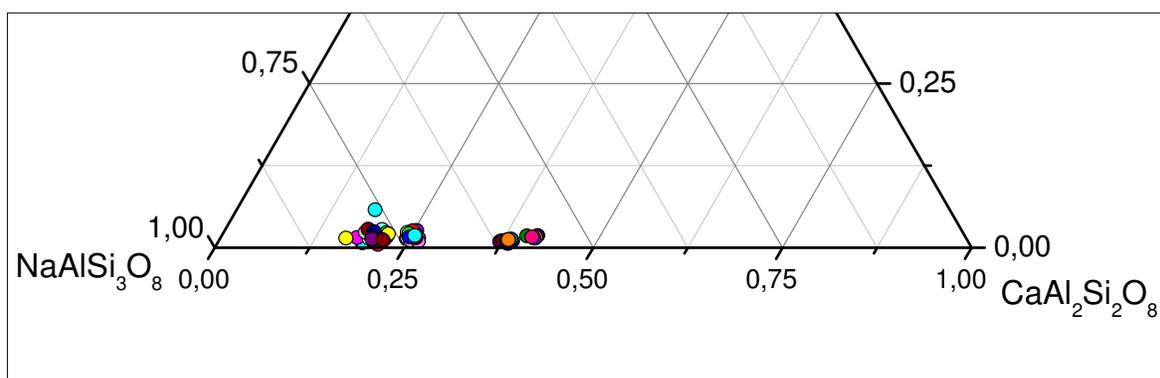


Figura 4.26: Variação da composição dos cristais de plagioclásio.

As análises revelam que os conteúdos de sódio, cálcio e potássio não apresentam variações significativas, mantendo-se constantes ao longo dos cristais.

IV.3.4- Química da cordierita

Foram selecionados nove cristais de cordierita nas lâminas das amostras J4, J13b e J10, do nordeste de Minas Gerais, e J25, J26, J27 e J28, do extremo sul da Bahia. Foram obtidas de três a dez análises pontuais em cada cristal (Anexo 1).

Os cristais de cordierita analisados são classificados como ferro-magnesianos (Tabela 4.2). Os conteúdos de magnésio e ferro são praticamente constantes em todos os cristais. As concentrações de Al e Si são similares às de uma cordierita ferro-magnésiana e também invariáveis, distinguindo-se portanto somente uma tendência geral.

Em média, os cristais de cordierita dos paragnaisses da região de Almenara são mais pobres em magnésio (61%), em relação ao extremo sul da Bahia (65%).

Tabela 4.2 - Composição dos cristais de cordierita, em termos de percentuais de Mg e Fe. As amostras estão listadas conforme sua localização no terreno, de oeste para leste e de norte para sul.

X_{Mg}	X_{Fe}	Amostra	Rocha/Localização
58,12	41,88	J4	Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss / Pedreira de rocha ornamental, 5 km a norte de Almenara, MG
64,08	35,92	J13b	Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss / São Domingos, 40 km a NNW de Almenara
65,47	34,53	J10	Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss / Fazenda Pratinha-Santana, 25 km a W de Salto da Divisa, MG
60,33	39,67	J25	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / 15 km a SE de Guaratinga, BA
65,21	34,79	J26	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / 15-20 km a SSW de Itamaraju, BA
71,54	28,46	J27	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / 15-20 km a SSW de Itamaraju, BA
62,72	37,28	J28	Granada-cordierita-biotita gnaiss / 15-20 km a SW de Itamaraju

IV.4- Química Mineral do Xisto Peraluminoso

Este item aborda a química mineral de muscovita, biotita e plagioclásio, tendo em vista a avaliação qualitativa e quantitativa das condições de pressão e temperatura nos xistos peraluminosos associados a depósitos e ocorrências de grafita (ver também Capítulo 6). As análises em microsonda eletrônica foram efetuadas sobre lâminas polidas amostra coletada na região nordeste de Minas Gerais (J23), cuja localização encontra-se na Figura 1.2.

IV.4.1- Química da muscovita

Foi selecionado um cristal de muscovita na lâmina da amostra J23, do nordeste de Minas Gerais, região da mina de Maiquinique. Foram obtidas de doze análises pontuais neste cristal (Anexo 1).

A tabela 4.3 mostra a distribuição nos conteúdos de ferro, magnésio, manganês, cálcio, sódio e potássio neste cristal são praticamente constantes. Não são observados agrupamentos dos pontos analíticos no cristal de muscovita.

Tabela 4.3: Composição da muscovita em termos de percentuais. A amostra foi coletada na mina de grafita Xisto da região de Maiquinique.

FeO	0,73	0,60	0,53	0,71	0,63	0,58	0,55	0,58	0,64	0,63	0,65	0,58
MgO	1,20	1,11	1,01	1,06	0,98	0,97	1,05	1,03	1,03	1,02	0,99	1,03
MnO	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,04	0,09	0,00	0,15
CaO	0,00	0,01	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02
Na₂O	0,40	0,40	0,37	0,45	0,47	0,44	0,39	0,48	0,48	0,41	0,36	0,46
K₂O	10,76	10,58	10,44	10,58	10,52	10,55	10,48	10,70	10,37	10,68	10,71	10,67

IV.4.1- Química da biotita

Foi selecionado um cristal para micro-análise, em lâminas polidas das amostras J23 região nordeste de Minas Gerais (Anexo 1). Foram obtidas de quatro análises pontuais deste cristal.

O cristal de biotita analisado mostra composição intermediária na solução sólida biotita-flogopita (Fig. 4.27).

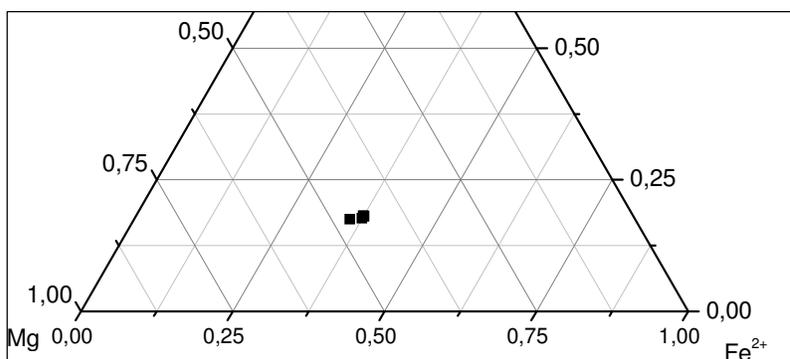


Figura 4.27: Proporção entre os cátions Fe^{2+} e Mg^{2+} para cada cristal de biotita analisado.

O titânio sofre pequenas variações, mas mostra padrão regular.

IV.4.2- Química mineral do plagioclásio

Foi analisado um cristal de plagioclásio de xisto peraluminoso da região nordeste de Minas Gerais (J23). Esta amostra foi obtida por sondagem na Mina de Maiquinique. Foram obtidas de oito análises pontuais (Anexo 1).

A variação de composição dos cristais de plagioclásio é ilustrada na Figura 4.28 e mostra que este plagioclásio é quimicamente classificado como oligoclásio..

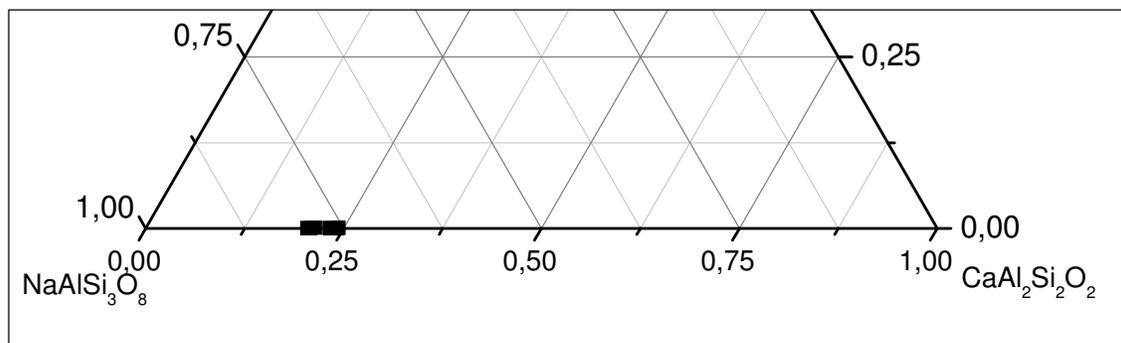


Figura 4.28: Variação da composição do cristal de plagioclásio da mina de Maiquinique.

IV.5- Discussão dos Resultados

As associações minerais de fácies granulito pertencem a gnaisses com microestruturas e associação mineral apontando para um metamorfismo progressivo, embora mostrem uma pequena evolução retrógrada evidenciada pela muscovitização e carbonatação. Entretanto, em geral, as associações minerais mostram uma variação química pequena, o que nos permite usar um modelo petrogenético construído para sistemas do tipo NCKFMASH (Powel *et. al.*, 1998).

As associações minerais de fácies anfibolito pertencem a xistos com microestruturas apontando para um metamorfismo retrógrado fraco e que mostram uma evolução progressiva marcada por uma associação mineral que sofre pouca variação química. Pelo mesmo motivo citado acima, pode-se então lançar mão de um modelo petrogenético construído para sistemas do tipo KCFMASH (Powell *et. al.*, 1998) e interpretar as temperaturas mínimas de cristalização dos xistos e gnaisses peraluminosos. Sendo assim, a T mínima para os xistos seria próxima aos 650°C e os gnaisses em torno dos 750°C.

A grafita apresenta caráter sincinemático formando a foliação juntamente com a sillimanita em ambas as rochas descritas acima. Sendo assim, pode-se concluir que este mineral seguiu o mesmo caminho metamórfico de suas rochas encaixantes e portanto experimentou as mesmas condições de temperatura e pressão destas.

V – CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, TEXTURAL, ESTRUTURAL E CRISTALOGRÁFICA DA GRAFITA

Este capítulo apresenta a caracterização da grafita, por meio de microscopia ótica, microscopia eletrônica de varredura (MEV), difração de Raios X e espectroscopia Raman, de amostras de minérios de diversas localidades da Província Grafítica Bahia-Minas. Estes estudos abordam análises morfológicas, texturais e da estrutura deformacional dos cristais e seus agregados, e a avaliação da estrutura cristalina para identificação de eventuais defeitos, desordens locais e impurezas. Tais estudos podem ser úteis para o entendimento de problemas referentes ao beneficiamento (flotação) da grafita e aplicações posteriores. Assim como o capítulo anterior, a estrutura deste capítulo consiste em apresentar os dados primeiramente para posteriormente discutí-los e relacioná-los.

V.1 Microscopia Ótica

Para a coleta dos grãos de grafita no campo foram selecionadas amostras em estado saprolítico proveniente de camadas com teor aparente de grafita mais alto em relação às adjacentes. Vinte amostras foram escolhidas pelo maior teor de grafita e maior distribuição espacial com base na observação a olho nu. Realizou-se a caracterização microscópica em lâmina polida orientada ortogonalmente à foliação em 41 amostras de minérios de grafita. Enfatizou-se a avaliação da granulação, morfologia, aspectos deformacionais apresentados pelos cristais de grafita e impurezas associadas, cujos resultados estão resumidos na Tabela 5.1.

A avaliação granulométrica foi efetuada considerando-se dois parâmetros principais: a medida de maior dimensão da palheta e a espessura como a menor dimensão. Granulação fina a média predomina nos minérios do tipo grafita xisto enquanto, granulação média a grossa, nos do tipo grafita gnaisse. Morfológicamente, os *flakes* ou lamelas de grafita são classificados em três tipos: (i) palhetas tabulares (Fig 5.1), que em seções basais apresentam contornos hexagonais; (ii) palhetas tabulares com pontas esfarrapadas (Fig 5.2) e (iii) farrapos (Fig. 5.3). Palhetas tabulares caracterizam-se por formas retangulares bem delimitadas, extremidades preservadas e ausência de inclusões.

As seções basais hexagonais são bem definidas. A palheta tabular com pontas esfarrapadas possui forma retangular, porém apresenta extremidades mal delimitadas, geralmente com intercalações descontínuas entre grafita e outros minerais. As palhetas em forma de farrapo não possuem formas definidas, são mal delimitadas e apresentam intensas intercalações descontínuas

entre grafita e outros minerais. Segundo Soares & Silva (2002) os dois últimos tipos morfológicos de grafita mostram problemas no aproveitamento do minério devido ao alto teor de impurezas. A Figura 5.4 mostra um diagnóstico das variações morfológicas apresentadas nas amostras estudadas.

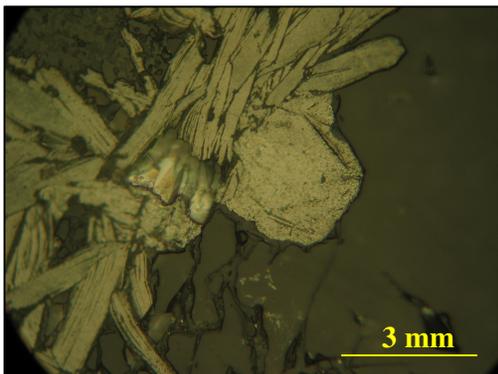


Figura 5.1: Fotomicrografia da lâmina J11, Fazenda Pratinha. Grafita em palhetas tabulares e hexagonal. Cristais lineares

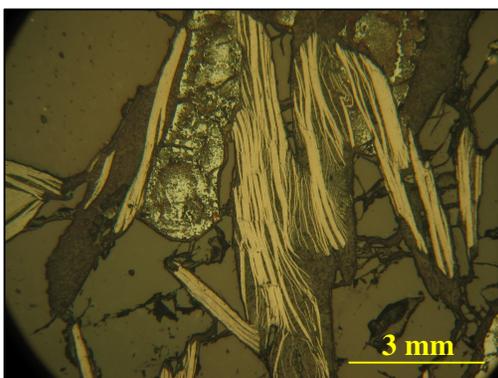


Figura 5.2: Fotomicrografia da lâmina J7, Fazenda Pratinha. Grafita em palhetas tabulares com pontas esfarrapadas. Cristais lineares.



Figura 5.3: Fotomicrografia da lâmina J2, Pedra Azul. Grafita em palhetas esfarrapadas. Cristais com dobramentos suaves.

Quanto aos aspectos deformaçionais ou microestruturais, os *flakes* ou lamelas foram classificados como cristais lineares (Fig. 5.1 e 5.2), cristais com dobramentos suaves ou dobras abertas (Fig. 5.3), cristais com dobramentos intensos ou dobras fechadas e cristais com crenulação. Além desses aspectos foram verificadas presenças de impurezas ou inclusões tais como sulfetos, micas, fibrolita, quartzo, material argiloso e hidróxidos de ferro e manganês.

Nota-se que o minério do tipo grafita xisto apresenta maior tendência de cristais com morfologia do tipo farrapo, porém grande parte das palhetas apresenta-se em seções basais hexagonais. Por outro lado, o minério do tipo grafita gnaissé possui maior quantidade de cristais do tipo tabular ou

tabular com pontas esfarrapadas (Fig. 5.4). Em geral os cristais de grafita nos dois tipos de minério (xisto e gnaiss) apresentam-se lineares ou suavemente micro-dobrados (dobras abertas), com exceção da amostra J11 do tipo gnaiss (Fazenda Pratinha), que se mostra intensamente crenulado. Em cristais com morfologia do tipo tabular com pontas esfarrapadas ou farrapo é comum a presença de argilo-minerais (Arg), muscovita (Ms), fibrolita (Sill) e óxido de ferro (OxFe) no esfarrapamento.

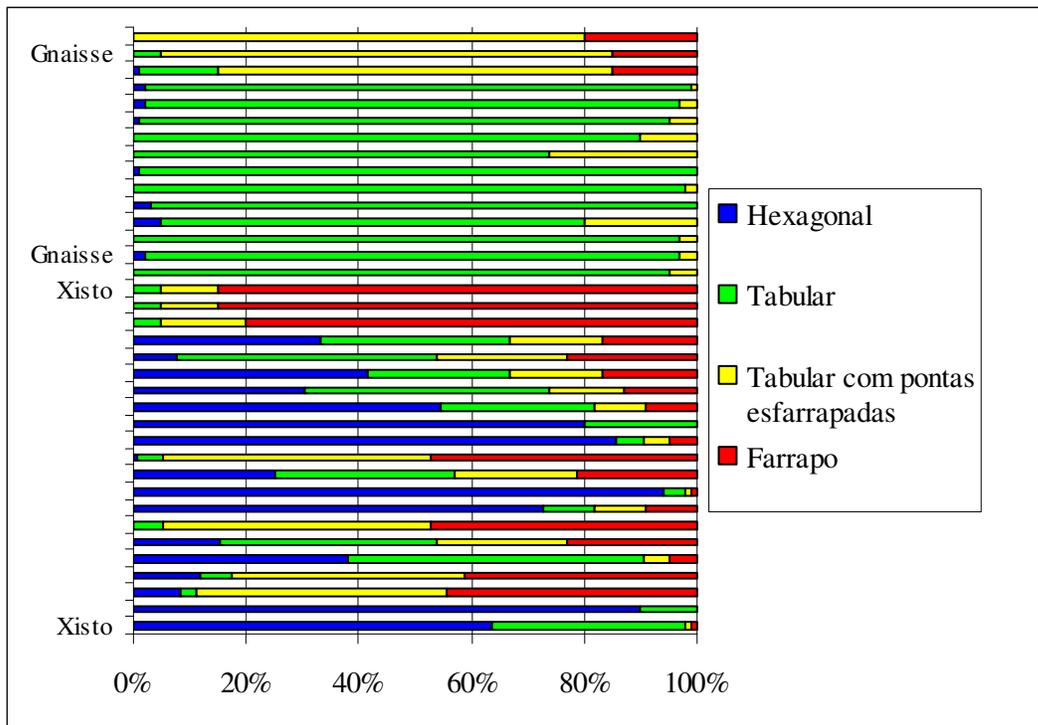


Figura 5.4: Distribuição das variações morfológicas nos tipos de minérios de grafita.

Tabela 5.1: Avaliação da granulação, morfologia, aspectos deformacionais e inclusões apresentados pelos cristais de grafita nos minério do tipo xisto e gnaïsse.

Amostra	Localização	Tipo de Minério	Granulação	Comprimento da palheta (mm)	Largura da Palheta (mm)	Morfologia (%)				Aspectos Deformacionais	Impurezas ou inclusões
						Seção basal hexagonal	Tabular	Tabular com pontas esfarrapadas	Farrapo		
J23	Maiquinique	Xisto	Fin	0,2-0,3	0,1	0	95	5	0	Lineares	Arg+Ms+Sill
J5	Pedro Perdido	Xisto	Fino	0,2-1,0	0,1	0	5	10	85	Dobra aberta/Linear	Arg+Sill+OxFe
J6	Pedro Perdido	Xisto	Fino	0,2-1,0	0,1	0	5	10	85	Dobra aberta/Linear	Arg+Sill+OxFe
J2	Pedra Azul	Xisto	Fino	0,2-1,0	0,1	0	5	15	80	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+OxFe
GU211*	Faz. Lameiro	Xisto	Fino-Médio	0,2-0,80	0,5	-	-	-	-	Dobra aberta/Linear	-
GU212*	Faz. Lameiro	Xisto	Fino-Médio	0,5-0,80	0,3	-	-	-	-	Dobra aberta/Linear	-
AM-RL 1	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,16-2,3	0,01-0,23	0	90	10	0	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+OxFe
AM-RL 2	S. J. do Prata	Xisto	Fino	0,05-4,0	0,02-1,0	0	15	5	80	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 3	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,05-1,5	0,06-0,8	0	20	10	70	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 9	S. J. do Prata	Xisto	Médio	0,06-2,3	0,02-0,4	0	40	55	5	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 14	S. J. do Prata	Xisto	Fino	0,08-1,0	0,02-1,0	0	20	50	30	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 15	S. J. do Prata	Xisto	Médio	0,06-0,4	0,02-0,06	0	0	10	90	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 21	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,04-3,0	0,02-0,2	0	80	10	10	Dobra aberta/Linear	-
AM-RL 21	S. J. do Prata	Xisto	Fino	0,04-0,6	0,01-0,06	0	95	4	1	Dobra aberta/Linear	-
AM-RL 23	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,2-4,0	0,02-0,4	0	35	45	30	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 24	S. J. do Prata	Xisto	Médio	0,1-3,5	0,02-0,4	0	1	9	90	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 30	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,1-0,4	0,02-0,6	0	90	5	5	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 36	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,12-1,2	0,02-0,08	0	80	20	0	Dobra aberta/Linear	-
AM-RL 37	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,9-2,5	0,01-0,1	0	60	30	10	Dobra aberta/Linear	-
AM-RL 38	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,2-2,0	0,02-0,15	0	35	50	15	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 48	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,1-3,0	0,03-0,2	0	50	30	20	Dobra aberta/Linear	-
AM-RL 49	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,16-4,0	0,03-0,4	0	10	60	30	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
AM-RL 50	S. J. do Prata	Xisto	Fino-Médio	0,14-5,0	0,02-0,4	0	40	40	20	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
J15	Faz. Lameiro	Gnaïsse	Fino-Médio	0,2-1,0	0,1	1	14	70	15	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
J17	Faz. Lameiro	Gnaïsse	Fino-Médio	0,5-1,2	0,1	0	5	80	15	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
J20	Faz. Lameiro	Gnaïsse	Fino-Médio	0,2-1,2	0,1	0	0	80	20	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
FSD04/16	São Domingos	Gnaïsse	Médio	1,2-2,8	0,4	2	95	3	0	Dobra aberta/Linear	-
FSD04/17	São Domingos	Gnaïsse	Médio	0,5-2,4	0,2	0	95	3	0	Dobra aberta/Linear	-
FSD04/18	São Domingos	Gnaïsse	Médio	0,4-3,2	0,2	5	75	20	0	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms+Sill
FSD05/19	São Domingos	Gnaïsse	Médio	1,2-2,4	0,1	3	97	0	0	Dobra aberta/Linear	-
FSD05/20	São Domingos	Gnaïsse	Médio	1,2-3,2	0,1	0	98	2	0	Dobra aberta/Linear	-
FSD05/21	São Domingos	Gnaïsse	Fino-Médio	0,7-1,2	0,1	1	99	0	0	Dobra aberta/Linear	Arg+Ms
J12	São Domingos	Gnaïsse	Médio-Grosso	0,4-3,2	0,2	1	95	5	0	Dobra aberta/Linear	-
J13	São Domingos	Gnaïsse	Médio-Grosso	1,2-3,2	0,1	2	95	3	0	Dobra aberta/Linear	-
J14	São Domingos	Gnaïsse	Médio-Grosso	0,4-3,2	0,3	2	97	1	0	Dobra aberta/Linear	-
J11	Faz. Pratinha	Gnaïsse	Grosso	1,0-3,0	0,5	0	90	10	0	Crenulação	Arg+Ms+Sill
L25*	Guaratinga	Gnaïsse	Médio-Grosso	0,3-1,0	0,5	-	-	-	-	Dobra aberta/Linear	-
L54*	Itamaraju	Lump	Fino	0,1-0,3	0,1	-	-	-	-	Lineares	-
L74*	Itamaraju	Gnaïsse	Grosso	0,5-1,5	0,6	-	-	-	-	Dobra aberta/Linear	-

V.2 Microscopia Eletrônica de Varredura

Foram selecionadas 16 amostras de minérios de grafita a partir das amostras estudadas no item anterior e listadas na Tabela 5.1.

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi utilizada com o objetivo de caracterizar detalhadamente os cristais de grafita e seus agregados, levando em consideração aspectos tais como *hábito*, porosidade, tipo de superfície e geometria externa, tendo em vista correlações com demais informações obtidas nesta tese e constantes da literatura corrente.

Os cristais de grafita observados ao MEV foram classificados conforme os seguintes critérios (Fig. 5.5):

- i) Quanto ao *hábito*: grafita maciça, grafita fibrosa e agregado botrioidal;
- ii) Quanto à geometria externa ou seção basal: grafita circular ou semi-circular e hexagonal;
- iii) Quanto às feições da superfície do cristal: grafita micro-porosa ou porosa, lisa e recoberta por micro-agregado botrioidal.

Ressalta-se que os cristais de grafita podem apresentar mais de uma dessas feições texturais, caracterizando-se como cristais mistos (Fig 5.5 F).

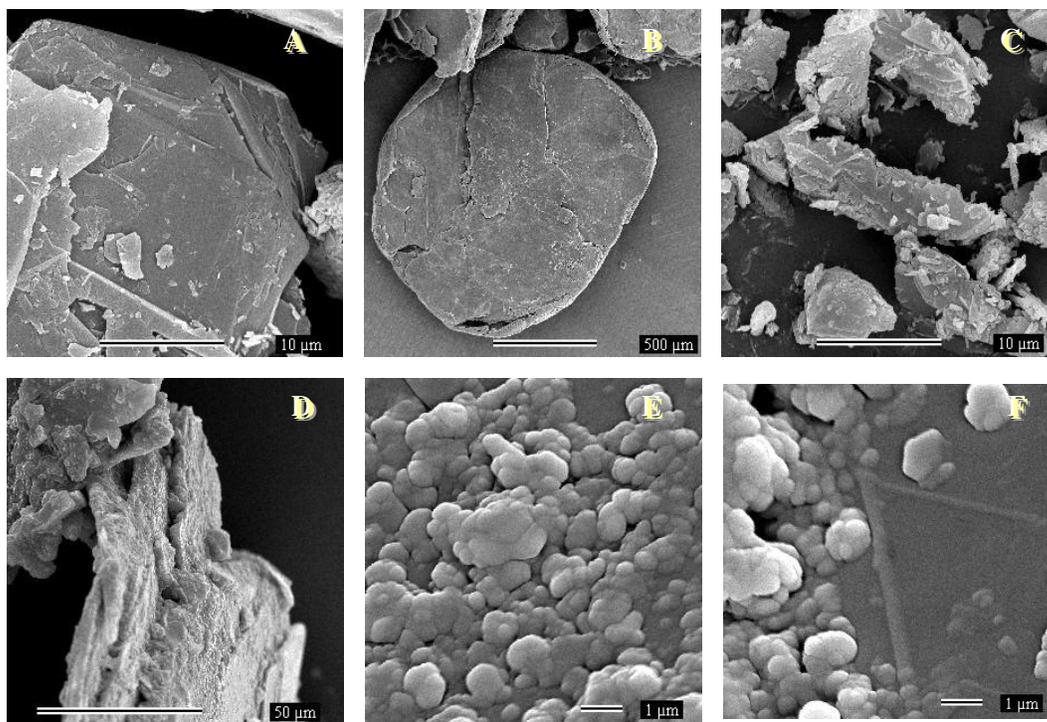


Figura 5.5: Exemplos de feições observadas ao MEV em amostras de minérios de grafita (Tabela 5.2): (a) *hábito* maciço e superfície lisa, amostra J23; (b) *hábito* maciço com seção basal circular e superfície lisa, amostra L74; (c) *hábito* fibroso, amostra L54; (d) superfície micro-porosa, amostra Gu212; (e) superfície recomposta por micro-agregado botrioidal, amostra J5; (f) cristal misto, amostra J2.

Os resultados obtidos dos estudos ao MEV estão resumidos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2: Caracterização dos cristais de grafita e seus agregados segundo o *hábito*, porosidade, tipo de superfície e geometria externa.

Amostra	Localização	Tipo de Minério	Granulação	Comprimento da Palheta (mm)	Largura da Palheta (mm)	Espessura da Palheta (mm)	Hábito	Geometria Externa ou Seção Basal	Feições da Superfície do Cristal	Feições da Borda do Cristal	Classificação da Textura	Número da Figura
J23	Maiquinique	Xisto	Fino	0,20-0,30	0,08-0,20	-	Maciço	Hexagonal	Lisa	-	Maciça	Figura 5.6
J5	Pedro Perdido	Xisto	Fino	0,10-0,25	0,10-0,20	0,01-0,03	Maciço	Semi-circular	Agregados Botrioidais	-	Mista	Figura 5.7
J6	Pedro Perdido	Xisto	Fino	0,15-0,25	0,15-0,25	0,01	-	Circular	Agregados Botrioidais	-	Botrioidal	Figura 5.8
J2	Pedra Azul	Xisto	Fino	0,20-0,35	0,15-0,30	0,03	Maciço	Semi-circular	Agregados Botrioidais	Dobrada	Mista	Figura 5.9
GU212	Faz. Lameiro	Xisto	Fino-Grosso	0,20-0,80	0,15-0,50	0,05	Maciço	Semi-circular	Micro-porosa	Dobrada	Mista	Figura 5.10
J15	Faz. Lameiro	Gnaisse	Médio-Grosso	0,30-0,55	0,20-0,35	0,04	Fibroso	-	Maciça-fibrosa	Dobrada	Mista	Figura 5.13
J17	Faz. Lameiro	Gnaisse	Médio-grosso	0,55-0,74	0,30-0,45	0,25	Fibroso	-	Maciça-fibrosa	Dobrada	Mista	Figura 5.14
J20	Faz. Lameiro	Gnaisse	Médio-Grosso	0,40-1,00	0,25-0,50	-	Botriodal	-	Agregados Botrioidais	Dobrada	Mista	Figura 5.15
J13	São Domingos	Gnaisse	Médio-Grosso	0,60-0,85	0,15-0,45	0,17	Maciço	Semi-circular	Lisa	Dobrada	Maciça	Figura 5.11
J11	Faz. Pratinha	Gnaisse	Médio-Grosso	0,40-0,70	0,30-0,50	0,03	Maciço	-	Micro-porosa	Dobrada	Mista	Figura 5.12
L25	Guaratinga	Gnaisse	Médio-Grosso	0,30-0,95	0,20-0,55	0,03	Maciço	Circular	Micro-porosa	Dobrada	Mista	Figura 5.16
L54	Itamaraju	Lump	Fino	0,02-0,20	0,01-0,10	0,09	Fibroso	-	Porosa	-	Mista	Figura 5.17
L74	Itamaraju	Gnaisse	Grosso	0,85-1,00	0,75-0,90	0,04	Maciço	Circular	Lisa	Micro-porosa	Maciça	Figura 5.18

A grafita dos minérios de granulação fina, tais como Pouso Alegre e Pedro Perdido, apresentam em média, comprimentos variando entre 0,10 a 0,30 mm, com larguras entre 0,08 e 0,25 mm e espessura entre 0,01 e 0,05mm. A geometria externa dos cristais de grafita do tipo xisto, quando observados ao microscópio eletrônico de varredura é do tipo semi-circular ou hexagonal, apresentando, principalmente, a superfície recoberta por micro-agregados botrioidais, e, subordinadamente, lisa ou micro-porosa. Por outro lado, a grafita dos minérios de granulação mais grossa, tais como Itamaraju e Guaratinga, apresentam cristais com comprimentos variando entre 0,30 mm e 1,00 cm, com larguras entre 0,15 e 0,90 mm e espessura entre 0,03 e 0,25 mm. Quanto à geometria externa do cristal existe o predomínio da forma semi-esferoidal ou circular. Além disso, a superfície desses minérios é muito variável, podendo apresentar-se micro-porosa, fibrosa, lisa ou em agregados botrioidais.

Na caracterização do tipo de borda dos minérios estudados, nota-se uma diferença marcante entre o minério do tipo gnaiss e o minério tipo grafita xisto. O tipo gnaiss apresenta-se com freqüência com as bordas dobradas, enquanto a grafita do tipo xisto não mostra este tipo de feição, apresentando essencialmente bordas retilíneas.

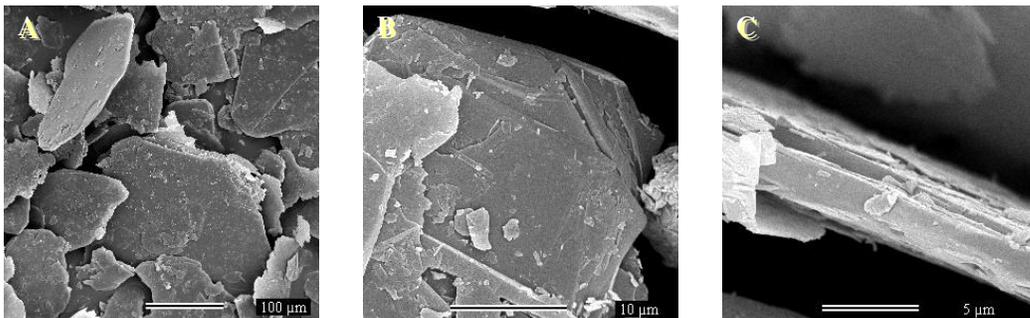


Figura 5.6: Grafita da região de Maiquinique (amostra J23): (a) hábito maciço e seções circulares, (b) hábito maciço e seções hexagonais e (c) detalhe da borda maciça.

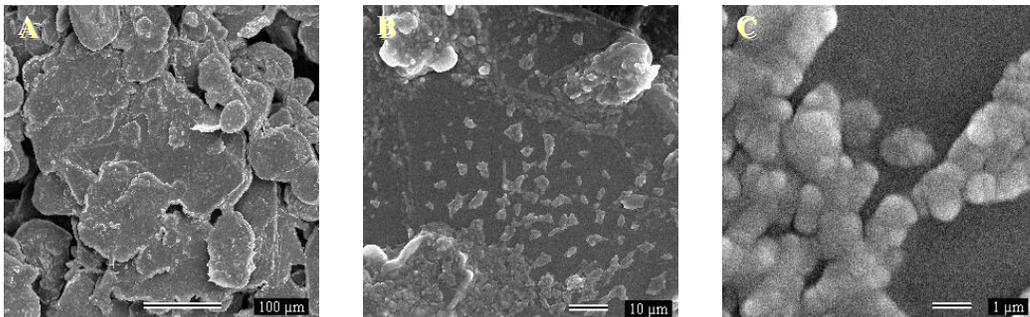


Figura 5.7: Grafita da jazida de Pedro Perdido (amostra J5): (a) hábito maciço, (b) superfície mista e (c) detalhe do agregado botrioidal.

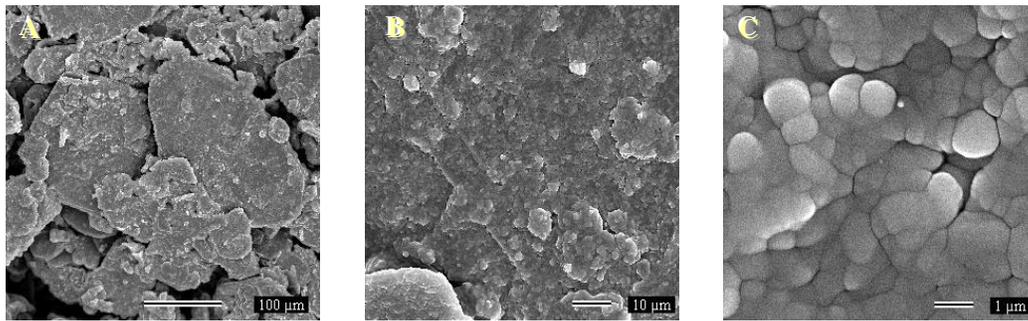


Figura 5.8: Grafita da região de Pedro Pedido (amostra J6): (a) seção basal semi-circular, (b) e (c) detalhe dos micro-agregados botrioidais sobre a superfície dos grãos.

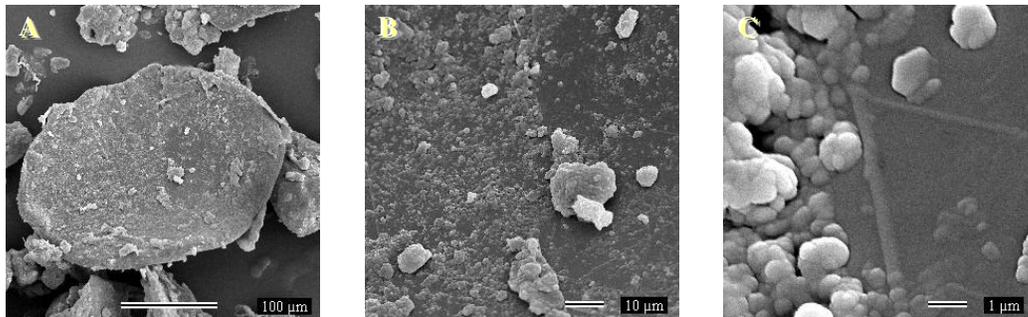


Figura 5.9: Grafita da região de Pedra Azul (amostra J2): (a) seção basal semi-circular, (b) superfície mista (maciça e botrioidal) e (c) detalhe da superfície mista com marcas triangulares.

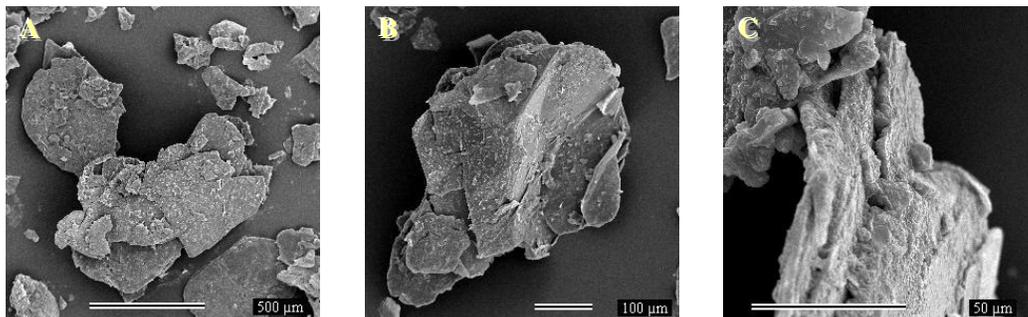


Figura 5.10: Grafita da região da Fazenda Lameiro (amostra GU212): (a) grafita microporosa, (b) grafita microporosa, (c) detalhe da borda microporosa.

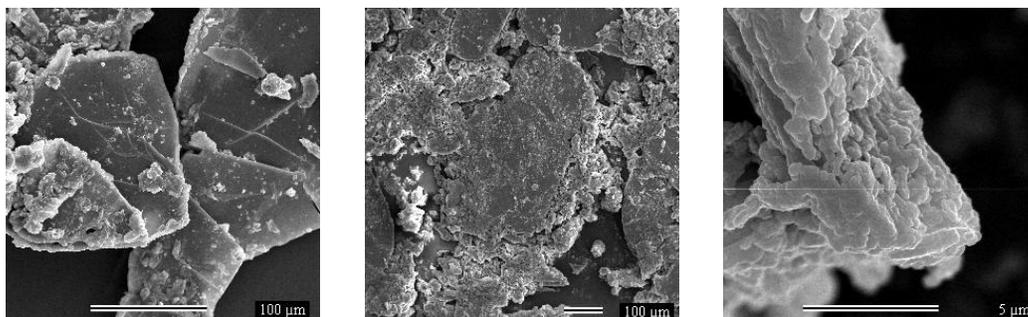


Figura 5.13: Grafita da região da Fazenda Lameiro (amostra J15): (a) hábito maciço, (b) borda fibrosa, e (c) detalhe da borda fibrosa.

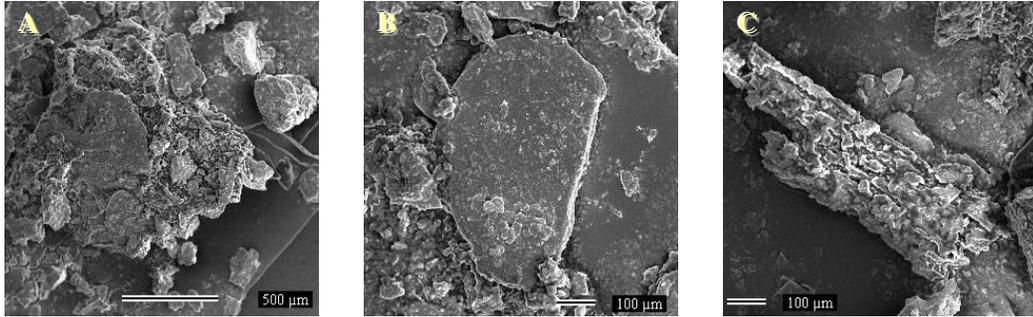


Figura 5.14: Grafita da região da Fazenda Lameiro (amostra J17): (a) borda fibrosa, (b) maciça no centro do cristal e (c) detalhe da borda fibrosa.

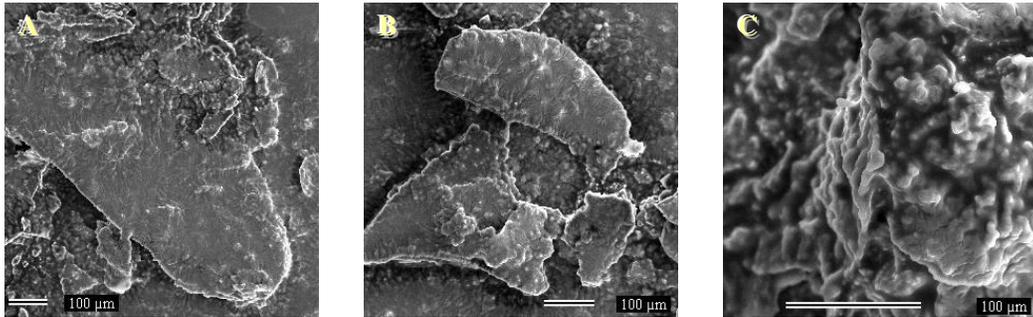


Figura 5.15: Grafita da região da Fazenda Lameiro (amostra J20): (a) aspecto botrioidal da parte central do grão, (b) borda botrioidal, (c) detalhe da borda.

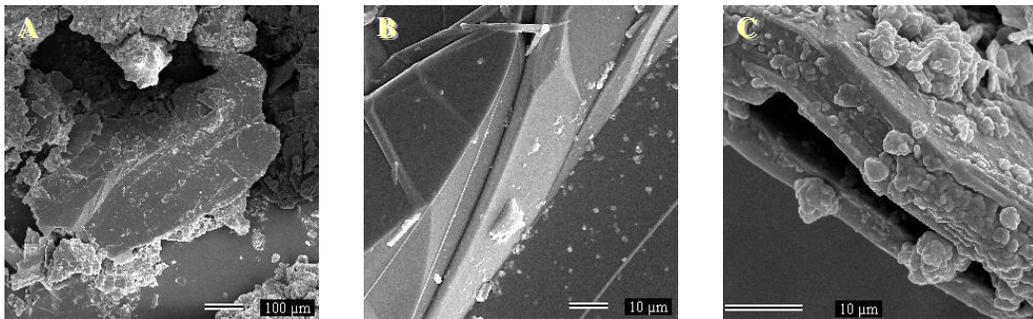


Figura 5.11: Grafita da região de Almenara (amostra J13): (a) hábito maciço, (b) detalhe de uma superfície lisa, (c) detalhe da borda mostrando micro-agregados esféricos.

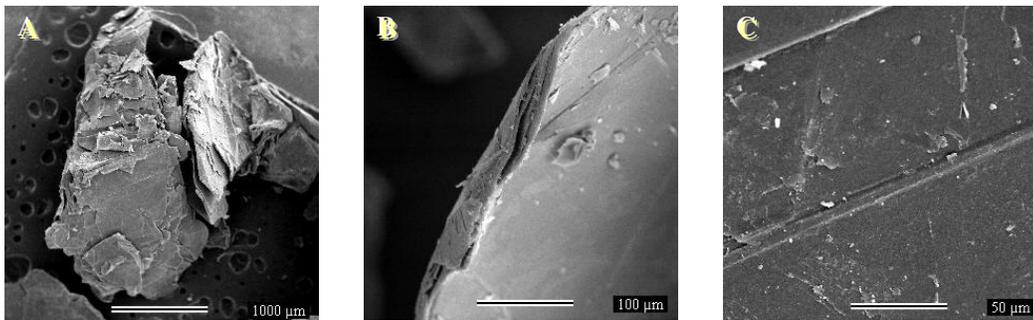


Figura 5.12: Grafita da região da Fazenda Pratinha (amostra J11): (a) bordas dobradas, (b) hábito maciço e (c) detalhe da superfície.

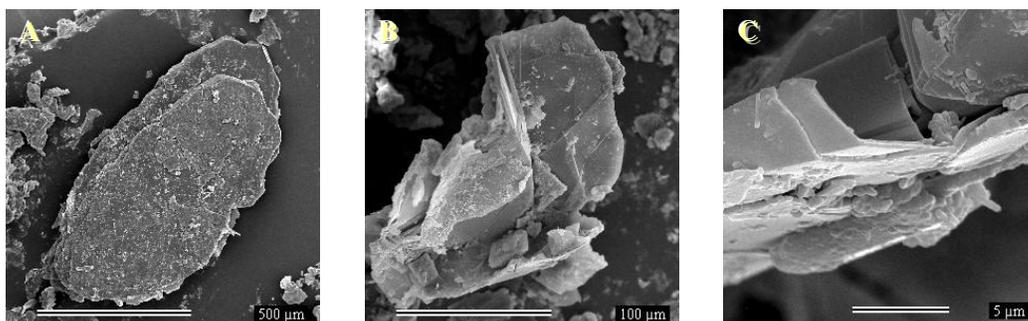


Figura 5.16: Grafita da região de Guaratinga (amostra L25): (a) cristal com seção basal circular, (b) borda dobrada e (c) detalhe da borda.

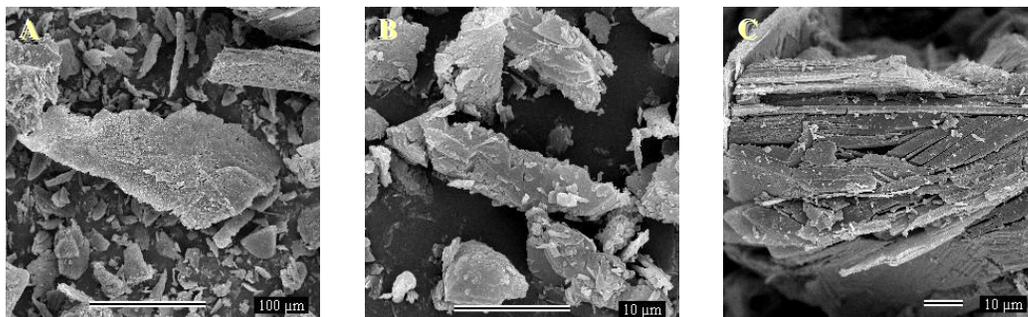


Figura 5.17: Grafita da região de Nova Alegria (amostra L54): (a) e (b) grafita *lump* fibrosa, (c) detalhe da borda.

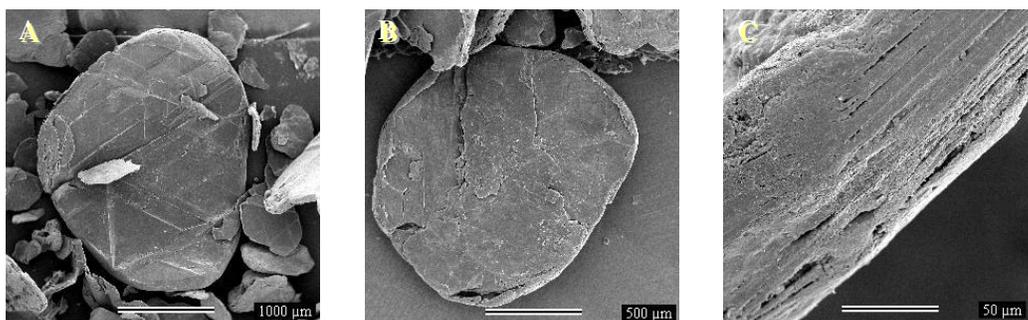


Figura 5.18: Grafita da região de Itamaraju (amostra L74): (a) seção esférica apresentando marcas triangulares, (b) seção esférica, (c) detalhe da borda microporosa.

V.3 – Difração de Raios X

A Difração de raios-X é utilizada na caracterização da estrutura cristalina e identificação dos minerais, uma vez que determina os parâmetros da célula unitária e as reflexões d (distância interplanar) dos cristais.

À distância interplanar é característica para cada mineral, pois seu valor depende da dimensão da célula unitária. A célula unitária da grafita possui quatro dimensões ou quatro eixos cristalográficos (Bravis, 1851). Três desses eixos são designados de a_1 , a_2 e a_3 e, nesta dissertação, serão denominados simplesmente de a . Esses eixos cristalográficos são horizontais e fazem ângulos de 120° entre si. O quarto eixo é chamado de c e é vertical.

Os parâmetros unitários a e c foram medidos em concentrados de grafita (Tabela 5.3), com a finalidade de avaliar e correlacionar suas dimensões nos diversos minérios amostrados.

Levando em consideração a cela unitária da grafita, os valores determinados experimentalmente para os parâmetros a e c foram avaliados em um gráfico de dispersão (Tabela 5.3; Fig. 5.16) para averiguar uma provável relação entre estes parâmetros (a e c) e os tipos de minérios de grafita calculou-se o valor r^2 . Este valor pode ser interpretado como a proporção da variância em x (parâmetro a) que pode ser atribuída à variância em y (parâmetro c). Para tal, desconsiderou-se os dois valores discrepantes, o maior e o menor, as amostras J20 e J17 respectivamente. Sendo assim o valor r^2 para os dois grupos de minérios: tipo grafita xisto e tipo grafita gnaisse foi calculado. O grupo do minério do tipo grafita gnaisse obteve valor para r^2 de 0,131564 e o valor r^2 para o grupo do minério do tipo grafita xisto foi de 0,731047. A figura 5.16 mostra uma correlação negativa entre estes parâmetros, a e c , na qual a maior variação é dada pelos valores do parâmetro c . Grosseiramente, verificam-se dois grupos com coeficientes de correlação distintos coincidindo com os dois tipos de grafita; tipo grafita xisto e tipo grafita gnaisse. A dispersão dos parâmetros dos cristais de grafita do tipo xisto é caracterizada pela maior variação dos valores de a , enquanto que a grafita do tipo gnaisse mostra maior dispersão do parâmetro c . Conseqüentemente, o volume da célula unitária das grafitas dos vários tipos de minérios (Fig. 5.19) apresenta, com poucas exceções, pequena variação, uma vez que esses parâmetros são inversamente proporcionais, existe portanto uma compensação.

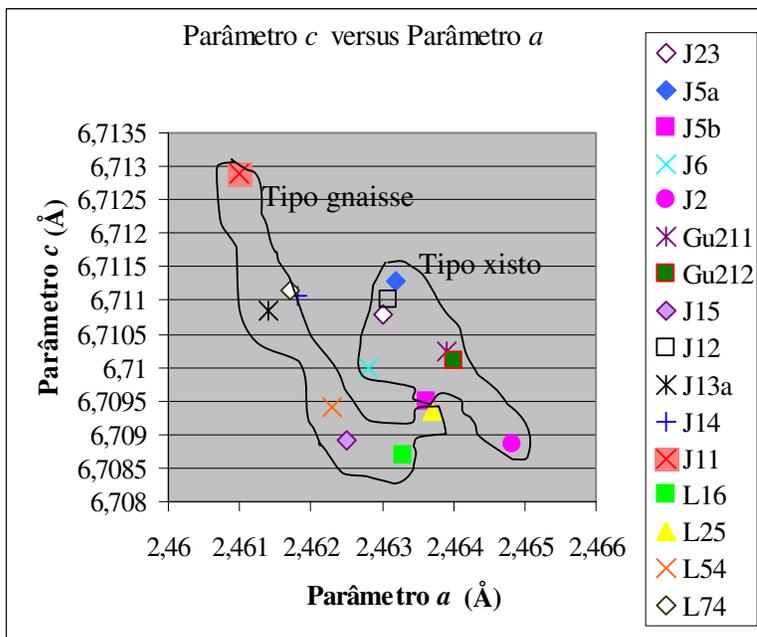


Figura 5.19: Relação entre o parâmetro c e a de cristais de grafita. Tipo Xisto: J23, J5a, J5b, J6, J2b, Gu211, Gu212. Tipo Gnaisse: J12, J13a, J14, J11, J15, L16, L25, L54 e L74.

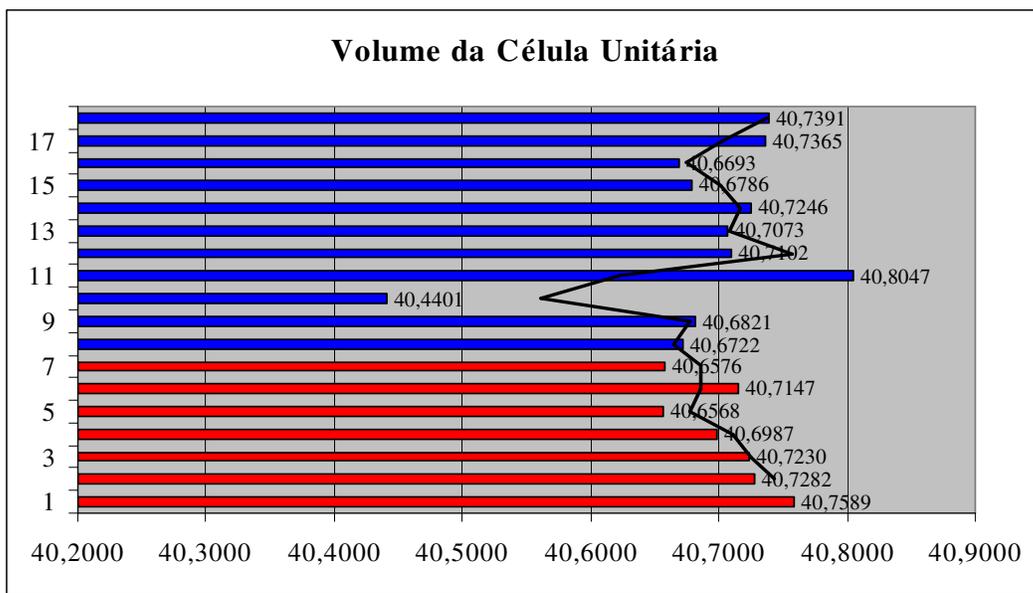


Figura 5.20: Volume da célula unitária para os minérios de grafita.

- Grafita do tipo gnaisse
- Grafita do tipo xisto

Tabela 5.3: Parâmetros unitários a e c calculados experimentalmente por meio de difratogramas de raios-X em concentrados de grafita.

Amostra	Localização	Tipo de Minério	Granulação	Parâmetro a	Parâmetro c	Volume da Célula Unitária
J23	Mina Carbo-Grafite, Maiquinique	Xisto	Fino	2,4648	6,7089	40,7589
J5a	Pedro Perdido, Jordânia	Xisto	Fino	2,4636	6,7105	40,7282
J5b	Pedro Perdido, Jordânia	Xisto	Fino	2,4636	6,7095	40,7230
J6	Pedro Perdido, Jordânia	Xisto	Fino	2,4628	6,7100	40,6987
J2b	Boqueirão da Salvação, Pedra Azul	Xisto	Fino	2,4610	6,7129	40,6568
GU211	Grota do Urubu, Chapada do Barbado	Xisto	Médio-Grosso	2,4631	6,7110	40,7147
GU212	Grota do Urubu, Chapada do Barbado	Xisto	Médio-Grosso	2,4614	6,7109	40,6576
J15	Grota do Firmino, Fazenda Lameiro	Gnaisse	Médio-Grosso	2,4656	6,7122	40,8047
J17	Grota do Domingos, Fazenda Lameiro	Gnaisse	Médio-Grosso	2,4630	6,7108	40,7102
J20	Grota do Martelo, Fazenda Lameiro	Gnaisse	Médio-Grosso	2,4633	6,7087	40,7073
J12	São Domingos, Norte de Almenara	Gnaisse	Médio-Grosso	2,4618	6,7111	40,6722
J13a	São Domingos, Norte de Almenara	Gnaisse	Médio-Grosso	2,4625	6,7089	40,6821
J14	São Domingos, Norte de Almenara	Gnaisse	Médio-Grosso	2,4550	6,7098	40,4401
J11	Fazenda Pratinha-Santana, W de Salto	Gnaisse	Médio-Grosso	2,4637	6,7094	40,7246
L16	Barra Nova, Guaratinga	Gnaisse	Médio-Grosso	2,4623	6,7094	40,6786
L25	Faz. Anatócio, Guaratinga	Gnaisse	Médio-Grosso	2,4617	6,7111	40,6693
L54	Braço Norte do Rio Jucuruçu, Itamaraju	Gnaisse	Fino	2,4639	6,7102	40,7365
L74	Faz. Boa Aventura, Itamaraju	Gnaisse	Grosso	2,4640	6,7101	40,7391

V.2.1 – Espectroscopia Raman

A espectroscopia Raman permite a identificação direta das espécies minerais além da caracterização de defeitos cristalinos, estruturas moleculares, níveis de energia e ligações químicas, uma vez que todo mineral possui uma rede cristalina com simetria bem definida. Neste contexto, a espectroscopia Raman foi utilizada para identificar grupos aniônicos incomuns à estrutura da grafita de minérios diversos, além de caracterizar defeitos e desordem estruturais (Tabela 5.4).

O espectro de espalhamento Raman é apresentado como um conjunto de bandas que podem ser caracterizadas em relação a três parâmetros: *i*) posição (número de onda ou frequência cm^{-1}), *ii*) intensidade (muito fraca, fraca, média, forte e muito forte) e *iii*) forma (estreita ou larga). O espectro é o resultado de um espalhamento inelástico devido à interação da energia incidente da radiação eletromagnética sobre a amostra, o que aumenta a energia inicial. Um fóton de luz incidindo em uma molécula é espalhado por ela. Se a molécula espalhadora não se abalar, o espalhamento é elástico Rayleigh. Se o espalhamento de luz é inelástico, ou seja, a molécula absorve ou emite fônons, este espalhamento é chamado espalhamento Raman. No espalhamento Raman a luz espalhada possui novas frequências $\nu_0 + \nu'$ e $\nu_0 - \nu'$, onde ν' é independente de ν_0 . Esta nova frequência é conhecida como desvio Raman. Essas duas novas frequências aparecem no espectro em posições simétricas com relação à linha de radiação excitante. São os Stokes ($\nu - \nu'$) e os Anti-Stokes ($\nu + \nu'$). Desta forma, o espalhamento Raman está fortemente relacionado com a natureza das ligações químicas e com as estruturas geométricas envolvidas (Sala, 1985; Dantas *et al.* 2000).

Um espectro vibracional experimental consiste de um conjunto de picos ou sobreposição de bandas em função da frequência, como explicado anteriormente. Para a maioria das aplicações da espectroscopia vibracional é necessário atribuir os tipos particulares de vibração atômica. A identificação das bandas com os modos vibracionais individuais é referida como atribuição de bandas e é usada nos estudos estruturais dos minerais nos quais os espectros vibracionais são interpretados para dar informações das propriedades estruturais tais como, comprimento de ligação e ângulos, número de coordenação, ambiente local, fenômenos de ordem e desordem, etc.

Em muitos casos é possível usar a simetria do cristal para atribuir os espectros experimentais. Por exemplo, se apenas um modo vibracional aparece dentro de uma dada espécie, então os deslocamentos atômicos de tal modo são completamente restringidos pela simetria e o espectro atribuído é único. Este é o caso da banda para o modo ativo no Raman do diamante, em que pode ser descrito como vibração de estiramento C-C com um carbono movimentando-se contra o outro. Para materiais cristalinos, os deslocamentos vibracionais de cada átomo sobre sua posição de equilíbrio são examinados em relação ao sítio de simetria do átomo dentro da cela unitária para obter as espécies de simetria das vibrações da rede cristalina. Se a espécie molecular pode ser

identificada dentro do cristal, as espécies de simetria das vibrações de cada grupo molecular podem ser correlacionadas com aquelas da molécula livre para analisar o efeito do campo cristalino nas vibrações do grupo molecular.

Os modos vibracionais ativos de redes cristalinas, ou seja, as bandas de espalhamento Raman presentes nos espectros de minerais, podem apresentar relações com fenômenos de ordem-desordem locais na estrutura cristalina das espécies, uma vez que se pode predeterminar a precisão dos espectros quanto ao número de modos vibracionais por meio da teoria de grupo (Fateley *et al.* 1972). Além disso, desvios das frequências desses modos vibracionais podem, também, indicar perturbações do ambiente local.

Nesta dissertação, a região espectral investigada envolve a região de vibração intramolecular entre 300 e 3000 cm^{-1} . Nessa região foram observadas impurezas, além de identificar defeitos estruturais na estrutura da grafita, os quais podem interferir no ambiente local favorecendo uma desordem estrutural.

O espectro Raman da grafita apresenta duas bandas: uma de frequência bem baixa centrada em 40 cm^{-1} , devida às forças interplanares do tipo Van der Waals; e outra de frequência alta centrada em 1580 cm^{-1} devida aos deslocamentos intraplanares, denominada **banda G** (Fig. 5.21). A banda G é a marca registrada do espectro Raman da grafita. As bandas denominadas G'_1 e G'_2 correspondem aos *Stokes* da banda G, são os espectros de segunda ordem desta banda. Outra banda pode ocorrer quando existe uma desordem ou defeito na estrutura da grafita. Esta banda é denominada **banda D**, ocorre centrada aproximadamente em 1350 cm^{-1} e é devida à quebra de simetria translacional da rede cristalina da grafita. Em se tratando de monocristais de tamanho finito (na ordem de dezenas, centenas ou milhares de ângstrons) esta quebra de simetria dá origem a uma banda de intensidade considerável no espectro da grafita (Fig. 5.22). Ela é usada para determinar o tamanho do monocristal de grafitas desordenadas (Tuinstra & Koenig, 1970). A banda D' centrada aproximadamente em 1620 cm^{-1} é o *Stokes* da banda D, ou seja, seu espectro de segunda ordem.

Tuinstra & Koenig (1970) demonstraram que o tamanho médio do monocristal da grafita (L_a) é inversamente proporcional à razão entre as intensidades integradas das bandas G e D, multiplicado por uma constante de proporcionalidade k , obtida empiricamente, na forma da equação: $L_a = k [I_D/I_G]^{-1}$. Esta constante de proporcionalidade é resultado da comparação entre as medidas de monocristais (L_a) em difração de raios-X e a razão entre I_D/I_G obtida por espectroscopia Raman. Desta forma esta constante foi estimada em torno de 44Å.

No caso da ausência da banda D, ou seja, ausência desta quebra de simetria translacional da rede cristalina e neste caso de uma grafita ordenada, o espectro Raman apresenta apenas a banda G, isto significa que o monocristal de grafita possui tamanho infinito (L_a : infinito) ou com tamanho superior ao limite detectável pelo Raman (5.20).

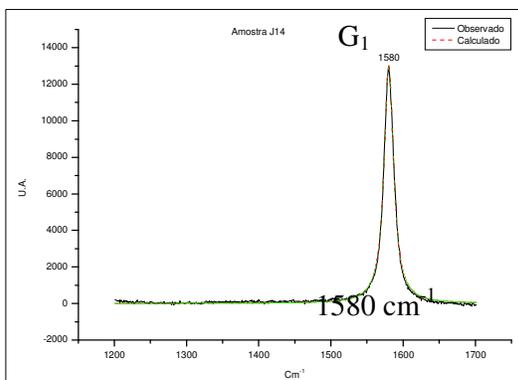


Figura 5.21: Espectro Raman de um cristal de grafita. Amostra J14 da região de Almenara. Espectro Raman em torno da banda G (1580 cm^{-1}).

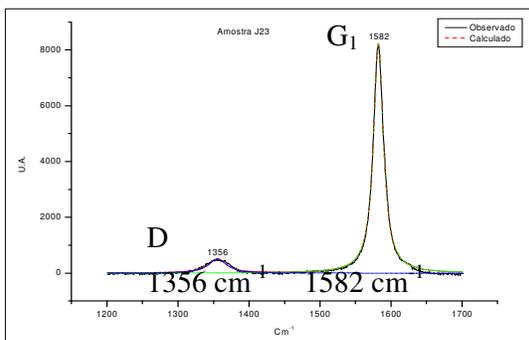


Figura 5.22: Amostra J23 da região de Maiquinique. Espectro Raman de uma grafita desordenada na região em torno da banda G (1582 cm^{-1}) e D (1356 cm^{-1}).

A Tabela 5.4 apresenta as atribuições das bandas dos espectros Raman das grafitas estudadas. Os espectros Raman de todas as amostras estudadas encontram-se em anexo. De acordo com a presença das bandas G e D, as grafitas foram classificadas em grafitas ordenadas, pela presença somente da banda G, e grafitas desordenadas, pela banda D adicional. Foram também observadas bandas suplementares atribuídas à presença de grupos aniônicos e/ou moléculas do tipo C-H e de FeO. Nesta tabela foram considerados os seguintes aspectos e abreviaturas:

Para a Grafita Cristalina e ordenada:

- Banda G: 1580 cm^{-1} ;
- Banda G_1 : 2695 cm^{-1} ;
- Banda G_2 : 2735 cm^{-1} .

Para a Grafita Cristalina e desordenada:

- Banda G: 1580 cm^{-1} ;
- Banda D: entre 1250 e 1400 cm^{-1} , em geral 1350 cm^{-1} ;
- Banda D': aproximadamente 1620 cm^{-1} . Ombro da banda D.

Para todas as amostras de grafita:

- SA: sem análise. Muita luminescência.
- : com análise, mas com resultado negativo.

I: intensidade relativa das bandas:

- Forte:** banda G sem a presença da banda D;
 - Média:** banda G acima de 1000 com banda D entre 50 e 100;
 - Fraca:** banda G abaixo de 1000 com banda D entre 50 e 100;
 - Muito fraca:** banda G abaixo de 1000 com banda D entre 100 e 500.
- Forma: em relação à largura do pico a meia altura
- Fino ou estreito:** largura da banda G abaixo de 15 e sem a banda D;

Médio: largura da banda G abaixo de 15 e com a banda D apresentando uma largura abaixo 24;

Larga: largura da banda G acima de 15 e com a banda D apresentando uma largura acima de 24.

Tabela 5.4: Número de ondas (cm⁻¹), intensidades das bandas. F: forte, M: média, F: fraca e Fr: muito fraca e forma do pico. F: fino, L: largo.

Tipo de Minério	Grafita Ordenada (somente banda G)					Grafita Desordenada (presença da banda D)										
	J5a	J5b	J12	J13	J14	J11 centro	J23	J6	Gu212	J17	J20	J11 borda	L16	L25	L54	L74 borda/centro
	Xisto	Xisto	Gnaisse	Gnaisse		Gnaisse	Xisto	Xisto	Xisto	Gnaisse	Gnaisse	Gnaisse	Gnaisse	Gnaisse	Gnaisse	Gnaisse
	Gnaisse															
Granulometria	F	F	M-G	M-G	M-G	M-G	F	F	M-G	M-G	M-G	M-G	M-G	M-G	F	G
G	1581	1584	1582	1584	1580	1583	1582	1567	1583	1583	1583	1582	1582	1580	1569	1581
D	-	-	-	-	-	-	1356	1358	1354	14xx	1355	1359	1353	1353	1349	1354
Intensidade	F	F	F	F	F	F	Mf		M	M	Fr	M	M	M	M	M
Forma	F	F	F	F	F	F	L	L	M	M	L	M	M	M	L	L
G ₁ '	2675	2674	2675	2677	SA	SA	2679	-	2689	2677	2679	SA	2680	2685	2665	SA
	2792	2691	2692	2696			2702			2696	2698		2700		2688	
G ₂ '	2727	2730	2730	2729	SA	SA	2723	-	2731	2730	2730	SA	2728	2728	-	SA
							2733									
D'	-	-	-	-	SA	SA	-	1600	-	-	-	SA	-	-	-	SA
Estiramento	-	-	-	-	-	SA	-	-	2859	2855	2855	SA	-	-	-	SA
C-H									2877	2875	2874					
									2900	2919	2900					
									2930		2932					
											2962					
Vibrações de rede do C-H	788		650	-	-	674	-	-	840	-	-	674	-	-	687	644
															762	
															864	
FeO	-	-	-	-	530	408	-		540	-	-	408	-	-	-	530
La (Å)	∞	∞	∞	∞	∞	∞	398	63,34	1651	1619	2003	1432	1958	1801	764	875

Levando-se em consideração o comportamento espectral da banda G observa-se pequeno desvio da frequência (Fig. 5.23 e 5.24), porém significativo, uma vez que esta banda possui caráter não dispersivo. Esse aspecto pode apontar fenômenos de desordem estrutural localizados em relação ao ambiente local dos átomos de carbono, provavelmente devido à presença das impurezas observadas.

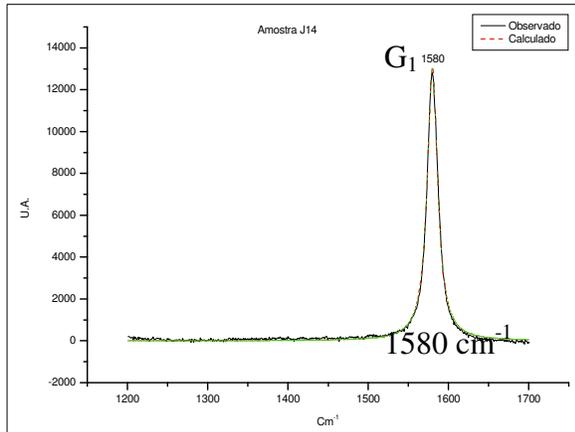


Figura 5.23: Posição da banda G sem desvio (centrada em 1580 cm⁻¹).

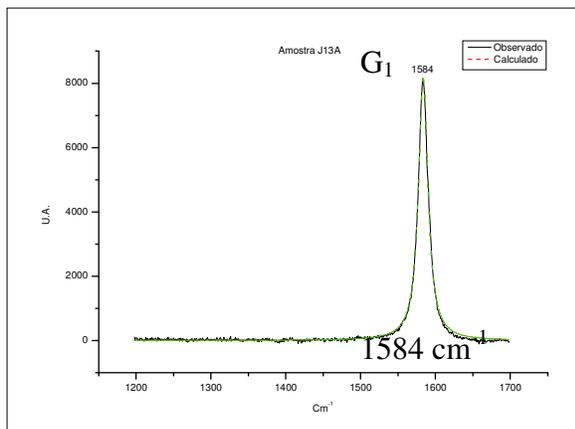


Figura 5.24: Posição da banda G mostrando desvio (centrada 1584 cm⁻¹).

A presença de impurezas, tais como grupo aniônicos e/ou moléculas do tipo C-H, foram identificadas nas grafitas J5A, J11, J12, J11, L54, L74, J17, J20 e GU212 (Tab. 5.1). Nas seis primeiras foram identificadas as vibrações de rede do C-H, enquanto nas demais, foi observado o estiramento C-H. A Figura 5.24 apresenta o espectro Raman da amostra Gu 212 na região do estiramento C-H. Esse espectro foi ajustado com o uso de modelo com linhas Gaussianas e apresenta fator $r^2 \sim 0,999$, sem restrição de ajuste. Foram identificadas quatro bandas relativas ao estiramento do C-H centradas próxima a 2900 cm⁻¹ e caracterizadas pelas linhas coloridas Gaussianas relativas a bandas ajustadas (sub-espectros 2859, 2877, 2900 e 2930 cm⁻¹). Em geral, as bandas referentes aos estiramentos do C-H apresentam-se largas e desdobradas (Ryberg, 1981). A Figura 5.24 mostra o espectro Raman da amostra Gu212 na região das vibrações de rede do C-H entre 1000 e 650 cm⁻¹. Tal comportamento espectral pode ser devido a presença de tipos diferentes de configurações de C-H.

Traços de óxido de ferro (FeO) foram diagnosticados pela presença das bandas em torno de 540 cm^{-1} e 390 cm^{-1} de acordo com as atribuições de Glotch, *et. al.* (2003) (Fig. 5.25). Essas bandas normalmente apresentam intensidade muito fraca. Nenhuma banda na região do estiramento O-H foi observada.

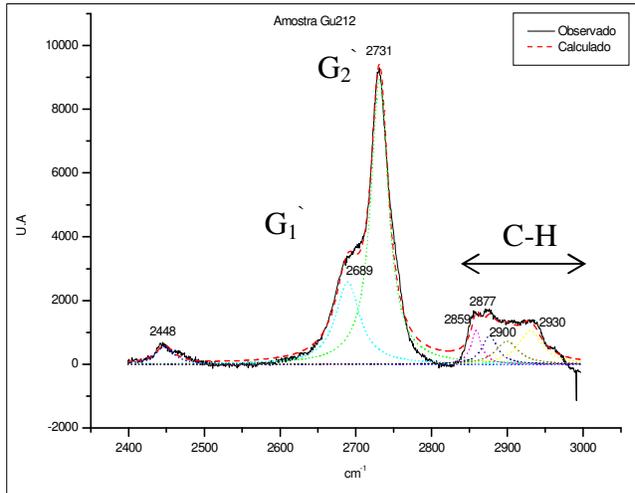


Figura 5.25: Amostra Gu 212 (Grotta do Urubu). Região da banda do C-H

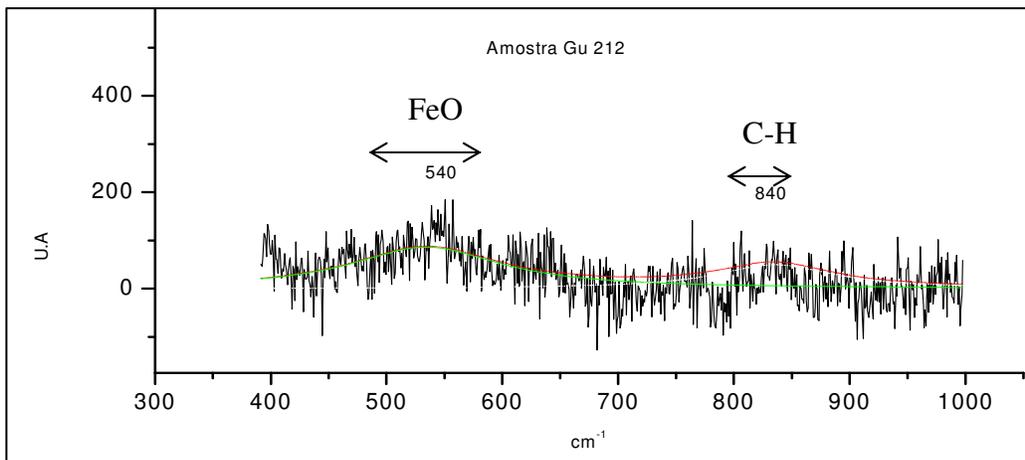


Figura 5.26: Amostra Gu 212 (Grotta do Urubu). Região da banda do FeO.

Diante da apresentação dos dados espectrais foram observados dois comportamentos, um relativo à presença da banda D que caracteriza desordem estrutural e outro relativo à presença de impurezas, as quais podem desviar a simetria do ambiente local dos átomos de carbono, o que, também, indica um fenômeno de desordem, porém uma desordem local. Neste contexto as amostras de gnaisses apresentam maior desordem local em comparação às de xistos. Por outro lado ambas apresentam um certo grau de desordem estrutural.

Nota-se que as maiores contribuições de grupos aniônicos e/ou moléculas do tipo C-H são observadas em amostras de grafita do tipo gnaïsse refletindo maior desordem local. Este fenômeno parece estar relacionado também com o tamanho do monocristal de grafita, uma vez que estas amostras também mostram maior tamanho de palhetas lamelares ou *flake*.

V.5 – Discussão dos Resultados

Com a integração dos dados obtidos na caracterização morfológica, textural, estrutural e cristalográfica da grafita por meio das técnicas utilizadas e de dados complementares de carbono contido nas grafitas (Daconti, 2004) foi formulada a Tabela 5.2.

De acordo com trabalhos anteriores (Faria 1997), Reis (1999), Guimarães (2000), Esper & França (2000), Silva & Soares (2002), Daconti (2004) e Queiroga & Figueiredo (2004), o tipo grafita xisto apresenta palhetas lamelares de grafita ou grafita *flake* com dimensões inferiores às do tipo grafita gnaïsse. O estudo pela microscopia eletrônica de varredura (MEV) comprovou esta interpretação, além de demonstrá-la de modo mais preciso (Figuras 5.6 e 5.9 para o grafita xisto; 5.16 e 5.18 para o grafita gnaïsse e Tabela 5.1). Sendo assim, o tipo grafita xisto apresenta comprimentos variando em média de 0,10mm a 0,30 mm, exceto no caso da grafita amostrada na Fazenda Lameiro – Grota do Urubu, que possui maior variação (entre 0,20mm e 0,80mm). As larguras desse tipo estão entre 0,10mm e 0,25mm. Da mesma forma, o tipo grafita gnaïsse apresenta maior tamanho de palhetas lamelas de grafita ou grafita *flake*, os comprimentos variam, em média, de 0,30mm a 1,00mm com larguras variando entre 0,15mm e 0,90mm.

O minério rico em palhetas esfarrapadas mostra-se ao MEV como cristais de geometria externa do tipo semi-circular com superfície botrioidal, quando este é classificado macroscopicamente como farrapo, e com superfície lisa ou micro-porosa quando é observado macroscopicamente em seção basal hexagonal. O minério rico em palhetas tabulares exibe geometria externa predominantemente sob forma semi-circular ou circular. Além disso, a superfície desses minérios é muito variável, podendo apresentar-se micro-porosa, fibrosa, lisa ou em agregados botrioidais. Porém, as bordas são freqüentemente dobradas.

Em relação ao aspecto textural das amostras estudadas, nota-se que as amostras livres de grupos aniônicos e/ou moléculas do tipo C-H e FeO apresentam-se maciças e bem cristalizadas. Sendo o caso da amostra J23, da região de Maiquinique e J13, da região de Almenara. Por outro lado, todas as amostras que apresentam maiores contribuições, principalmente de C-H, exibem hábito fibroso, ocorrem em agregados botrioidais ou apresentam superfícies porosas.

Outro aspecto interessante é a relação entre o tamanho do monocristal (La), com o tamanho da palheta de grafita. O tamanho da palheta de grafita ou *flake* tende a refletir o tamanho do monocristal (La). Sendo assim o La dos minérios do tipo grafita xisto tende a ser menor que o La do tipo grafita gnaisse, que tende a ser maior. Isto influencia também quando pensamos na entrada de moléculas ou impurezas (FeO e C-H) nestes tipo de minérios. Em grafitas do tipo xisto (La menor) as moléculas tendem a ocupar o espaço entre as folhas de carbono, pois o parâmetro c é maior. Nos grafita gnaisse, o La é maior, portanto, estas moléculas tendem a ocupar este espaço. Existindo sempre uma compensação entre estes parâmetros. Quanto à presença destas impurezas e a banda D, nota-se que as grafitas desordenadas estruturalmente (banda D) são também as que apresentam moléculas de C-H e FeO. Por outro lado, as moléculas de C-H mostram apenas vibrações de estiramento, podendo ser específico de um tipo de grupo aniônico, molécula, ou configuração de CH específica.

Quanto à temperatura, trabalhos anteriores demonstraram qualitativamente que a temperatura de metamorfismo é o principal fator controlador do tamanho dos cristais de grafita. Neste trabalho, pode-se observar que esta relação é incontestável e será discutida no próximo capítulo.

Tabela 5.5: Caracterização das amostras de grafita estudadas, relação de tamanho e porcentagem de carbono contido. O conteúdo de carbono foi retirado de Daconti (2004).

	Grafita Xisto						Grafita Gnaisse						
	J2	J5a	J5b	J23	Gu212	J11	J13	J14	J17	J20	L25	L54 (Lump)	L74
Comprimento (mm)	0,20- 0,30	0,10- 0,25	0,15- 0,25	0,20- 0,30	0,20- 0,80	0,40- 0,70	0,60- 0,70	0,30- 0,55	0,55- 0,74	0,40- 1,00	0,30- 0,90	0,02- 0,20	0,75- 0,90
Largura (mm)	0,15- 0,30	0,10- 0,20	0,15- 0,25	0,08- 0,20	0,15- 0,50	0,30- 0,50	0,15- 0,45	0,20- 0,35	0,30- 0,45	0,25- 0,50	0,20- 0,55	0,01- 0,10	0,75- 0,90
Classificação	M,B	M,B	B	M	P	M,P	M	F	F	B	M,P	F	M,P
Ordem/Desordem	SA	O	O	D	D	D	O	O	D	D	D	D	D
Carbono contido	SA	42%	42%	SA	79%	91%	77%	77%	62%	62%	88%	SA	89%
L_a (Å)	-	-	-	398	1651	1432	-	-	1619	2003	1801	764	875

Nesta tabela foram considerados os seguintes aspectos e abreviaturas:

- M: Maciça
- B: Botrioidal
- P: Porosa ou Micro-porosa
- F: Fibrosa
- O: Grafita ordenada
- D: Grafita desordenada
- SA: Sem análise

VI – TERMOMETRIA DOS MINÉRIOS DE GRAFITA E SUAS IMPLICAÇÕES

Este capítulo apresenta os resultados dos estudos quantitativos sobre termometria de minérios de grafita, aplicados pela primeira vez a depósitos de grafita no Brasil. Os resultados obtidos são cotejados com dados geotermobarométricos dos xistos e gnaisses ferro-aluminosos associados àqueles minérios, com o objetivo de investigar a possível existência de algum padrão de variação regional ou local e suas possíveis relações com a granulação dos minérios de grafita.

A estrutura deste capítulo consiste em apresentar os dados primeiramente e posteriormente no item discussão dos resultados, correlacioná-los e interpretá-los.

Shengelia (1977) propôs o uso da Difração de Raios-x para o estudo da grafita em condições de temperatura e pressão altas e Malisa (1998) aplicou este método para o estudo da grafita como geotermômetro em rochas metamórficas no nordeste da Tanzânia, cuja a temperatura foi calculada usando a calibração gráfica medida por Shengelia *et al.* (1977) ilustrada na figura 8. Os resultados obtidos por Malisa (1998) mostraram temperaturas entre 690°C e 715°C, sofrendo uma variação de 10°C a cada 12m, mostrando que o metamorfismo na área estudada por este autor, aumenta de leste para oeste.

Pressões e temperaturas estimadas para gnaisses ferro-aluminosos granulizados e/ou migmatizados portadores de grafita ou não, estão geralmente entre 6,5-8,5 Kbar e 800-900°C calculados por métodos termobarométricos convencionais (Spear 1993). Na região do complexo kinzigítico do leste mineiro, Uhlein *et al.* (1998) estimaram pressões entre 4-5 Kbar e temperaturas entre 715-790°C para essas rochas em áreas adjacentes ao plútom de Rubim.

De acordo com a grade petrogenética (Powel *et al.*, 1998) apresentada no Capítulo 1 (Fig. 1.6) os xistos estudados nesta dissertação apresentam T mínima próxima aos 650°C e os gnaisses mostram temperatura mínima em torno dos 750°C.

VI.1- Termometria da Grafita

Em um trabalho pioneiro, Shengelia *et al.* (1977), por meio de dados experimentais, demonstraram a relação entre o parâmetro c da célula unitária da grafita e a temperatura de cristalização deste mineral (Fig. 6.1). Esses autores propuseram uma representação gráfica para cálculo da temperatura de cristalização da grafita a partir do conhecimento do valor do parâmetro c . Nessa relação, é evidente que o parâmetro c diminui com o aumento da temperatura o que corrobora com a correlação negativa entre os valores determinados para os parâmetros a e c da grafita

estudada neste trabalho que foram avaliados no capítulo anterior em um gráfico de dispersão (Fig. 5.16).

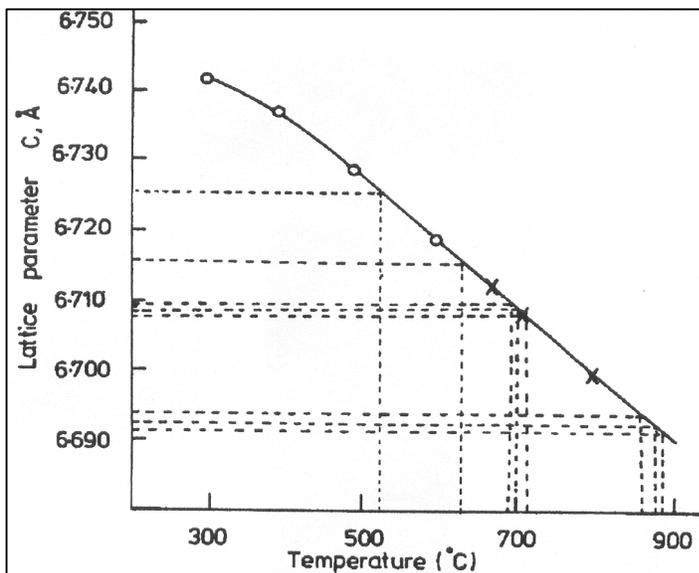


Figura 6.1: Representação gráfica da evolução da temperatura *versus* parâmetro *c* em grafita (Shengelia *et al.* 1977; Malisa, 1998).

VI.1.1- Cálculo Termométrico

A grafita cristaliza-se na classe piramidal do sistema hexagonal (Bravis, 1851), cujo grupo espacial é representado por $P6_3/mmc$ e apresenta como valores aproximados para os parâmetros *a* e *c* da célula unitária respectivamente 2,46Å e 6,74Å.

Neste trabalho as dimensões da célula unitária da grafita foram calculadas por difração de raios-X. No difratograma o parâmetro unitário *c* aparece como um “pico” forte em 26,5 graus (Fig. 6.2) que corresponde à reflexão d_{002} (French, 1964). A Tabela 6.1 lista as amostras utilizadas, suas localizações e tipo de minério, os parâmetros da célula unitária e a temperatura de cristalização das grafitas analisadas.

O parâmetro *c* estimado por meio da difração de raios-X foi utilizado no cálculo da temperatura de cristalização da grafita (Fig. 6.3), de acordo com a representação gráfica de Shengelia *et al.* (1977). É importante ressaltar que, para facilitar os cálculos das temperaturas, considerou-se como uma reta o pequeno intervalo do gráfico onde estão distribuídos os valores de *c* das amostras estudadas.

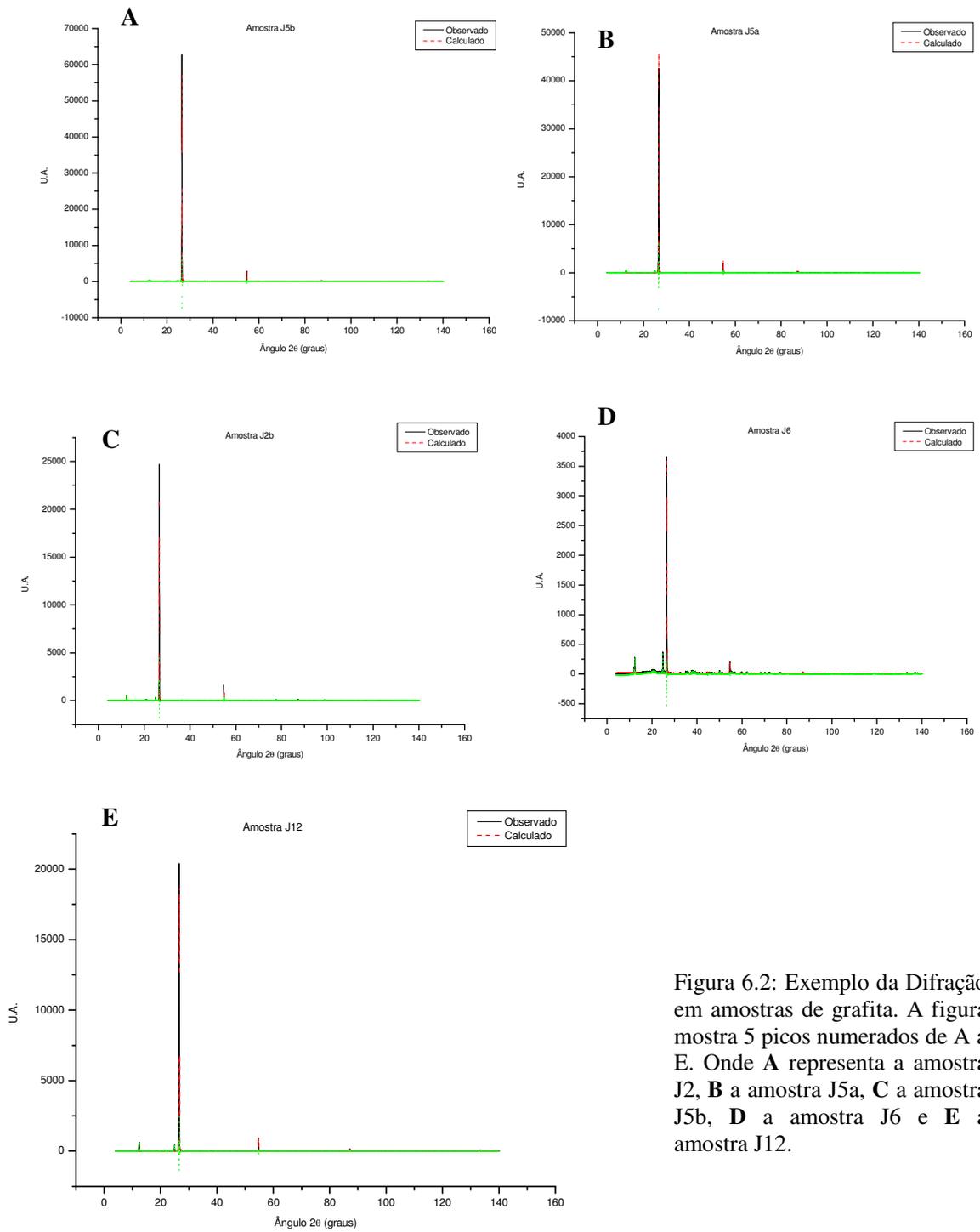


Figura 6.2: Exemplo da Difração em amostras de grafita. A figura mostra 5 picos numerados de A a E. Onde **A** representa a amostra J2, **B** a amostra J5a, **C** a amostra J5b, **D** a amostra J6 e **E** a amostra J12.

Tabela 6.1 – Parâmetros da cela unitárias da grafita dos diversos minérios estudados e a temperatura de cristalização estimada no gráfico de Shengelia *et al.* (1977).

Amostra	Localização	Tipo de Minério	Granulação	Parâmetro a	Parâmetro c	Volume da Célula Unitária	Temperatura calculada (°C)
J23	Pouso Alegre, Maiquinique	Xisto	Fino	2,4648	6,7089	40,7589	683
J5a	Pedro Perdido, Jordânia	Xisto	Fino	2,4636	6,7105	40,7282	686
J5b	Pedro Perdido, Jordânia	Xisto	Fino	2,4636	6,7095	40,7230	697
J6	Pedro Perdido, Jordânia	Xisto	Fino	2,4628	6,7100	40,6987	692
J2b	Boqueirão da Salvação, Pedra Azul	Xisto	Fino	2,4610	6,7129	40,6568	704
GU211	Grota do Urubu, Chapada do Barbado	Xisto	Médio-Grosso	2,4631	6,7110	40,7147	689
GU212	Grota do Urubu, Chapada do Barbado	Xisto	Médio-Grosso	2,4614	6,7109	40,6576	690
J12	São Domingos, Norte de Almenara	Gnaiss	Médio-Grosso	2,4618	6,7111	40,6722	680
J13a	São Domingos, Norte de Almenara	Gnaiss	Médio-Grosso	2,4625	6,7089	40,6821	682
J14	São Domingos, Norte de Almenara	Gnaiss	Médio-Grosso	2,4550	6,7098	40,4401	680
J15	Grota do Firmino, Fazenda Lameiro	Gnaiss	Médio-Grosso	2,4656	6,7122	40,8047	704
J17	Grota do Domingos, Fazenda Lameiro	Gnaiss	Médio-Grosso	2,4630	6,7108	40,7102	694
J20	Grota do Martelo, Fazenda Lameiro	Gnaiss	Médio-Grosso	2,4633	6,7087	40,7073	667
J11	Fazenda Pratinha-Santana, W de Salto	Gnaiss	Médio-Grosso	2,4637	6,7094	40,7246	659
L16	Barra Nova-Guaratinga	Gnaiss	Médio-Grosso	2,4623	6,7094	40,6786	706
L25	Guaratinga	Gnaiss	Médio-Grosso	2,4617	6,7111	40,6693	699
L54	Itamaraju	Gnaiss	Fino	2,4639	6,7102	40,7365	698
L74	Itamaraju	Gnaiss	Grosso	2,4640	6,7101	40,7391	679

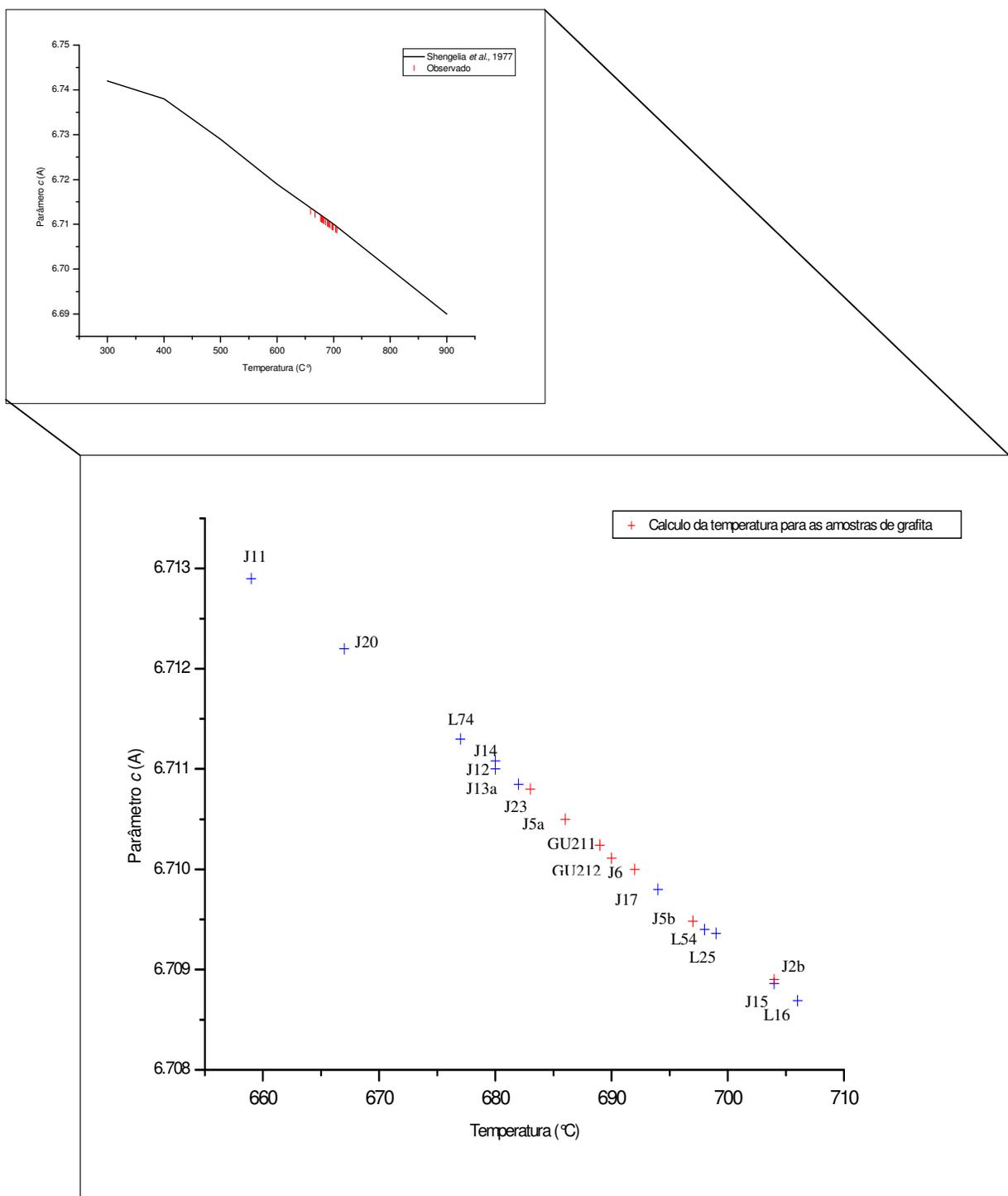


Figura 6.3: Cálculo da temperatura de cristalização da grafita pela representação gráfica de Shengelia *et al.*(1977). As cruces em azul indicam as temperaturas calculadas para as amostras de grafita do tipo gnaisse e as cruces em vermelho indicam as temperaturas calculadas para as amostras de grafita do tipo xisto.

De acordo com os cálculos efetuados mostram que as temperaturas obtidas para os grãos de grafitas do tipo gnaisse variam de 659 A 706°C (vide Tabela 6.1), obtendo uma variação em torno de 50°C. Já nos minérios do tipo xisto essa variação diminui para 20 °C (683 e 704°C).

Segundo Riley (1945) e Simmons (1965), a estrutura cristalina da grafita sofre expansão induzida por variações de temperatura. Esta expansão é denominada **coeficiente termal de expansão** (CTE). Seguindo este raciocínio e tendo em vista os resultados obtidos para a temperatura, relacionou-se o parâmetro a (calculado no capítulo 5) com a temperatura de cristalização da grafita obtida. A figura 6.4 mostra essa relação a qual apresenta uma correlação positiva entre o parâmetro a e a temperatura de cristalização da grafita. Analogamente à figura 5.15 do capítulo anterior, dois grupos podem ser distinguidos: um referente aos cristais de grafita do tipo gnaisse, que apresentam dispersão entre 2,461 a 2,463 Å do parâmetro a em relação ao intervalo de temperatura de cristalização entre 659 e 706°C; e os cristais de grafita do tipo xisto, que apresentam valores de a maior que 2,463 Å e intervalo de temperatura entre 683 e 704°C. Ou seja, quanto maior a temperatura de cristalização da grafita, maior será o valor do parâmetro a e menor será sua dispersão.

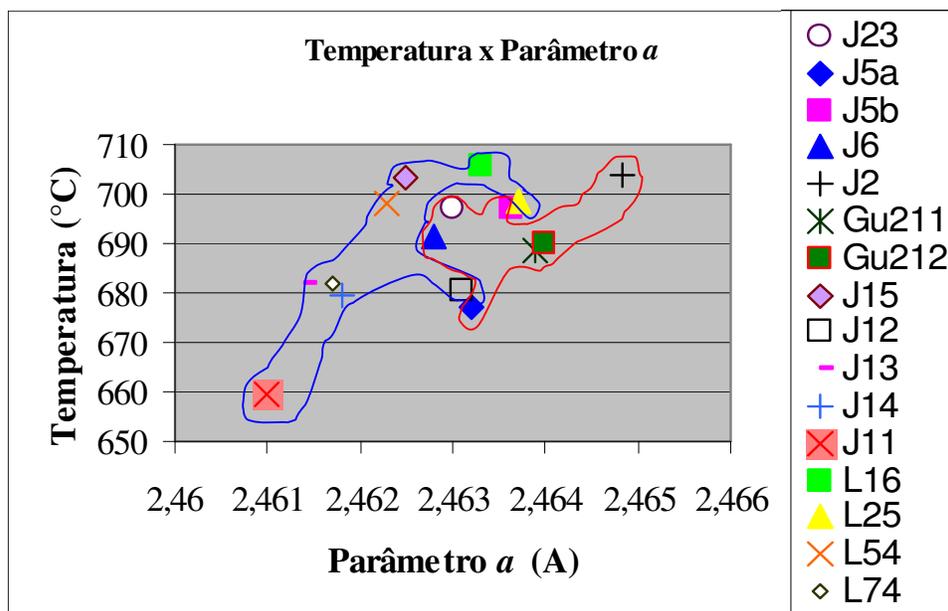


Figura 6.4: Temperatura de cristalização da grafita e o parâmetro unitário a .

-  Grafita do tipo gnaisse
-  Grafita do tipo xisto

Tsang *et. al.* (2005), mostram que o coeficiente termal de expansão (CTE) aumenta proporcionalmente ao intervalo de temperatura. Sendo assim, seria esperado que a grafita do tipo gnaisse apresentasse maior CTE, o que corrobora com os dados apresentados acima. Os resultados

obtidos corroboram, também, a proposição de expansão da estrutura cristalina da grafita segundo as hipóteses dos autores citados anteriormente. Entretanto, esta expansão ou coeficiente termal de expansão (CTE) tende a ocorrer na direção do parâmetro a , ao longo dos três eixos designados de a_1 , a_2 e a_3 , uma vez que esta expansão não foi observada o entre o parâmetro c e a temperatura de cristalização da grafita. O parâmetro c como observado na figura 5.15, em que a grafita do tipo gnaisse apresenta grande variação. Esta variação poderia ser devida à incorporação de moléculas durante a cristalização. Esta suposição será verificada durante este trabalho e discutida no item 5.5 deste capítulo.

VI.1.1- Cálculo Termobarométrico das rochas silicatadas portadoras de grafita.

O programa THERMOCALC versão 3.1 (Powell & Holland,1994) foi utilizado para fornecer as condições de P e T das rochas silicatadas portadoras de grafita. De maneira alternativa, o geotermômetro granada-biotita foi utilizado, com restrições, em algumas amostras, e a temperatura foi calculada no programa TWEEQU (Berman, 2007), o qual utiliza sete calibrações (Thompson, 1976; Holdaway & Lee, 1977; Ferry & Spear, 1978; Perchuk & Lavrent'eva, 1983). Para a escolha das análises químicas usadas nos cálculos de P e T e o entendimento da química dos minerais foram efetuados vários pontos de análise ao longo de todo o mineral. Destas análises pontuais foram escolhidas para os cálculos P - T as que melhor representavam a química mineral, em geral pontos próximos ao centro, e concomitantemente as que apresentavam balanço estequiométrico perfeito.

Para efetuar os cálculos termodinâmicos do THERMOCALC foram consideradas pressões entre 5,5-6,5 Kbar e temperatura de 800 ou 850°C para os cálculos das atividades de cada membro final integrante das soluções sólidas presentes na paragênese dos gnaisses, enquanto que para os xistos foram consideradas pressão de 4 Kbar e temperatura de 600°C. Os valores considerados são condizentes com as condições da fácies granulito e anfibolito inferior, respectivamente vigente na região estudada. A composição do fluido (X_{H_2O} e X_{CO_2}) foi considerada nos cálculos de acordo com a predominância do Fe-aluminossilicato. Para amostras portadoras essencialmente de granada, foi utilizado um valor de X_{H_2O} igual a 0,50, enquanto que para amostras com predomínio de cordierita, um valor de 0,20 foi escolhido nos cálculos ($X_{H_2O}=0,2$ e $X_{CO_2}=0,8$). Estes valores foram inicialmente idealizados e posteriormente testados e comparados a outras razões de H_2O e CO_2 com o objetivo de obter números que melhor expressassem a composição dos fluidos destas rochas. Os valores calculados para as temperaturas e pressões encontram-se na Tabela 6.2.

Tabela 6.2: Valores de temperatura e pressão calculados para as rochas silicatadas portadoras de grafita da região estudada.

Amostra	Rocha/Localização	Método Usado	Temperatura (°C)	Pressão (kbar)
J23	Grafita-quartzo-feldspato-fibrolita xisto	THERMOCALC	705	-
J16	Cordierita-granada-biotita gnaiss / Fazenda Lameiro, 35 km a W de Almenara, MG	TWEEQU	860	-
J21	Granada-biotita gnaiss / Águas Belas, 10 km a W de Almenara, MG	TWEEQU	630	-
J4	Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss / Pedreira de rocha ornamental, 5 km a norte de Almenara, MG a	THERMOCALC	791 ±42	4,98 ±0,45
J13b	Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss / São Domingos, 40 km a NNW de Almenara, MG	THERMOCALC	800 ±47	5,20 ±0,48
J10	Grafita-sillimanita-cordierita-granada-biotita gnaiss / Fazenda Pratinha-Santana, 25 km a W de Salto da Divisa, MG	TWEEQU	850	-
J24	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / Barra Nova-Guaratinga, BA.	THERMOCALC	831 ±42	5,94 ±0,47
J25	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / 15 km a SE de Guaratinga, BA	THERMOCALC	841 ±46	6,56 ±0,52
J26	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / 15-20 km a SSW de Itamaraju, BA	THERMOCALC	917 ±52	7,35 ±0,61
J27	Grafita-sillimanita-granada-cordierita-biotita gnaiss / 15-20 km a SSW de Itamaraju, BA	THERMOCALC	893 ±52	6,66 ±0,56
J28	Granada-cordierita-biotita gnaiss / 15-20 km a SW de Itamaraju	THERMOCALC	824 ±46	5,38 ±0,49

Para o cálculo termobarométrico usando o THERMOCALC foram estabelecidas, no mínimo, cinco reações independentes para cada temperatura e pressão calculadas. Estas reações independentes encontram-se listadas na Tabela 6.3 abaixo. Para a avaliação da qualidade dos cálculos, e principalmente, investigar a influência dos dados químicos escolhidos, os parâmetros de diagnósticos foram levados em consideração para a escolha do resultado. Foram considerados valores de menor desvio padrão, melhor ajuste, a influência do membro final e o grau de incertezas das atividades dos membros medidas (Powell & Holland, 1994).

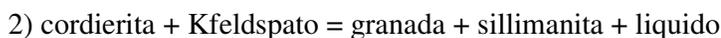
Tabela 6.3: Reações independentes utilizadas no cálculo das temperaturas e pressões do THERMOCALC e parte do seu diagnóstico para as amostras das rochas silicatadas da região estudada.

Amostra	Reações Independentes para	Diagnóstico	Reações Independentes	Diagnóstico
	Temperatura		para Pressão	
J23	1) $\mu + 2\text{phl} + 2\text{sill} = 3\text{east} + 5\text{q}$ 2) $2\text{pa} + 3\text{cel} = 2\mu + \text{phl} + 2\text{ab} + 3\text{q} + 2\text{H}_2\text{O}$ 3) $2\text{pa} + 2\text{cel} = \mu + \text{east} + 2\text{ab} + 3\text{q} + 2\text{H}_2\text{O}$	av sd fit 705 15 0.88	-	-
J4	1) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 2) $2\text{phl} + 4\text{sill} = 2\text{east} + \text{crd} + \text{q}$ 3) $\text{py} + 2\text{gr} + 3\text{east} + 6\text{q} = 3\text{phl} + 6\text{an}$ 4) $8\text{alm} + 15\text{phl} + 36\text{sill} = 5\text{py} + 15\text{east} + 12\text{ferd}$ 5) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 791 42 0.80	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{py} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 4) $\text{py} + \text{east} + 3\text{q} = \text{phl} + \text{crd}$ 5) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 4.98 0.45 0.85
J13	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{py} + 3\text{mncrd} = 2\text{spss} + 3\text{crd}$ 4) $\text{py} + 2\text{gr} + 3\text{east} + 6\text{q} = 3\text{phl} + 6\text{an}$ 5) $\text{py} + \text{ann} = \text{alm} + \text{phl}$ 6) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 824 48 0.90	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{py} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 4) $2\text{spss} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{mncrd}$ 5) $\text{py} + \text{east} + 3\text{q} = \text{phl} + \text{crd}$ 6) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 5.48 0.50 0.99
J24	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{py} + 3\text{ferd} = 2\text{alm} + 3\text{crd}$ 4) $\text{py} + \text{phl} + 6\text{an} = 2\text{gr} + \text{east} + 2\text{crd}$ 5) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 831 42 0.84	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{py} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 4) $\text{py} + \text{east} + 3\text{q} = \text{phl} + \text{crd}$ 5) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 5.94 0.47 0.85
J25	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{py} + 3\text{ferd} = 2\text{alm} + 3\text{crd}$ 4) $2\text{phl} + 4\text{sill} = 2\text{east} + \text{crd} + \text{q}$ 5) $\text{py} + \text{ann} = \text{alm} + \text{phl}$	av sd fit 841 46 0.89	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{py} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 4) $\text{py} + \text{east} + 3\text{q} = \text{phl} + \text{crd}$ 5) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 6.56 0.52 0.95
J26	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{py} + 3\text{ferd} = 2\text{alm} + 3\text{crd}$ 4) $\text{py} + 5\text{phl} + 12\text{sill} = 5\text{east} + 4\text{crd}$ 5) $\text{py} + \text{ann} = \text{alm} + \text{phl}$	av sd fit 917 52 0.55	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{py} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $5\text{gr} + 3\text{ferd} + 6\text{sill} = 2\text{alm} + 15\text{an}$ 4) $\text{py} + \text{east} + 3\text{q} = \text{phl} + \text{crd}$ 5) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 7.35 0.61 0.63
J27	1) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 2) $5\text{gr} + 3\text{crd} + 6\text{sill} = 2\text{py} + 15\text{an}$ 3) $2\text{py} + 3\text{ferd} = 2\text{alm} + 3\text{crd}$ 4) $2\text{phl} + 4\text{sill} = 2\text{east} + \text{crd} + \text{q}$ 5) $\text{py} + \text{ann} = \text{alm} + \text{phl}$	av sd fit 893 52 0.97	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{py} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $5\text{gr} + 3\text{ferd} + 6\text{sill} = 2\text{alm} + 15\text{an}$ 4) $\text{py} + \text{east} + 3\text{q} = \text{phl} + \text{crd}$ 5) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 6.66 0.56 0.76
J28	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{phl} + 4\text{sill} = 2\text{east} + \text{crd} + \text{q}$ 4) $\text{py} + 2\text{gr} + 3\text{east} + 6\text{q} = 3\text{phl} + 6\text{an}$ 5) $\text{py} + \text{ann} = \text{alm} + \text{phl}$	av sd fit 824 46 0.87	1) $\text{gr} + \text{q} + 2\text{sill} = 3\text{an}$ 2) $2\text{py} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 3) $2\text{alm} + 5\text{q} + 4\text{sill} = 3\text{ferd}$ 4) $\text{py} + 5\text{phl} + 12\text{sill} = 5\text{east} + 4\text{crd}$ 5) $\text{alm} + \text{east} + 3\text{q} = \text{ann} + \text{crd}$	av sd fit 5.38 0.49 0.94

O xisto peraluminoso associado ao minério do tipo grafita xisto apresenta associação mineral característica da fácies metamórfica anfíbolito. Estas rochas são ricas em quartzo e sillimanita e que possuem uma associação mineral do tipo: biotita, muscovita, plagioclásio e quartzo. As reações abaixo mostram que a temperatura é controlada pelas reações: $\mu + 2\text{phl} + 2\text{sill} = 3\text{east} + 5\text{q}$, $2\text{pa} + 3\text{cel} = 2\mu + \text{phl} + 2\text{ab} + 3\text{q} + 2\text{H}_2\text{O}$, $2\text{pa} + 2\text{cel} = \mu + \text{east} + 2\text{ab} + 3\text{q} + 2\text{H}_2\text{O}$. As reações que controlam a pressão não foram calculadas.

Os gnaisses peraluminosos associados ao minério do tipo grafita gnaissado apresentam uma associação mineral característica de alta temperatura e, portanto, da fácies metamórfica granulito. Os minerais que formam esta associação mineral (cordierita-granada-biotita-feldspato potássico-plagioclásio e quartzo) ocorrem em praticamente todas as amostras selecionadas, exceto na amostra J21 (Água Belas) que será explicada a diante. Nos gnaisses migmatíticos a foliação metamórfica é marcada pela biotita, sillimanita e grafita. Esta foliação é anastomosada entre os níveis de quartzo, feldspato potássico micropertítico e plagioclásio antipertítico, definindo uma matriz, de onde sobressaem porfiroblastos de granada e cordierita. Estes porfiroblastos ocorrem em todas as amostras estudadas. A cordierita tende a ser quimicamente homogênea e não apresenta evidências texturais que indiquem reações de reabsorção significativas, já a granada encontra-se zonada. Estas rochas são ricas em quartzo e sillimanita, sendo que esta última ocorre frequentemente como inclusão em granada e cordierita e muito pouco na matriz das rochas.

As amostras J24 e J28 (Itamaraju-Sul da Bahia), discordam das condições de P - T regionais, uma explicação seria uma geração de cordierita diferente, mostrando um caminho de decompressão. Nestas amostras existe grande ocorrência de leucossomas. O leucossoma pode sugerir um caminho isotermal do tipo decompressional, ou seja, a pressão diminui mais rápido que o resfriamento. Pode ser o caso do sul da Bahia. As características do percurso metamórfico retrogressivo podem ser analisadas sob a perspectiva do esquema petrogenético representado na Figura 1.5 (Cap. 1), onde o intercrescimento de cordierita + sillimanita e os porfiroblastos de granada \pm cordierita em leucossomas, indicam que o processo retrogressivo foi condicionado predominantemente pelas reações abaixo, com envolvimento de decompressão inicial (Munhá *et al.*, 2005).



A amostra J21 (Águas Belas) apresenta empobrecimento em titânio e ausência de sillimanita, cordierita e grafita. Como explicado anteriormente no capítulo 4, representa um veio granítico foliado peraluminoso. Trata-se de fusão sin a tardi-cinemática, muito comum no Complexo Jequitinhonha. A temperatura 630°C calculada corrobora perfeitamente com a paragênese observada pela microscopia ótica e análise química.

Para todas as amostras onde a temperatura foi calculada pelo TWEEQU, é apresentada grande discrepância para as diversas calibrações, porém esta discrepância se mostra constante em todos os cálculos. Ou seja, em todos os casos a calibração de Hodges & Spear, 1982, mostra os valores mais elevados de temperatura, sendo as que mais se aproximam dos valores de temperaturas calculados com o THERMOCALC (Fig. 6.5).

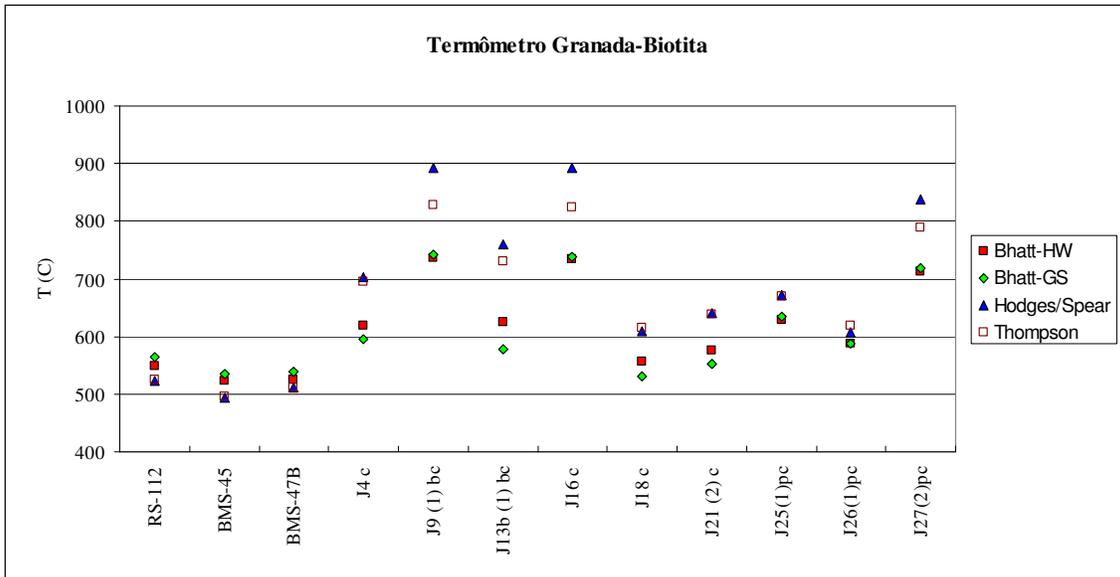


Figura 6.5: Representação gráfica para os diversos cálculos efetuados pelo TWEEQ

Os cálculos termométricos mostram um aumento gradativo da temperatura de oeste para leste da área estudada. Além disso, é possível notar dois grupos distintos de pressões, um formado pelas amostras selecionadas na região de Almenara nordeste de Minas Gerais, com pressões em torno dos 5,0 e temperaturas em torno dos 800°C. E outro formado pelas amostras do sul da Bahia com pressões entre 6,5 e 7,5 kbar e temperaturas entre 850°C e 900°C (Fig. 6.5 e 6.6). As amostra J24 e J28, selecionadas também no sul da Bahia, região de Guaratinga e Itamaraju, respectivamente, formam um grupo a parte, devido aos fatores explicados acima.

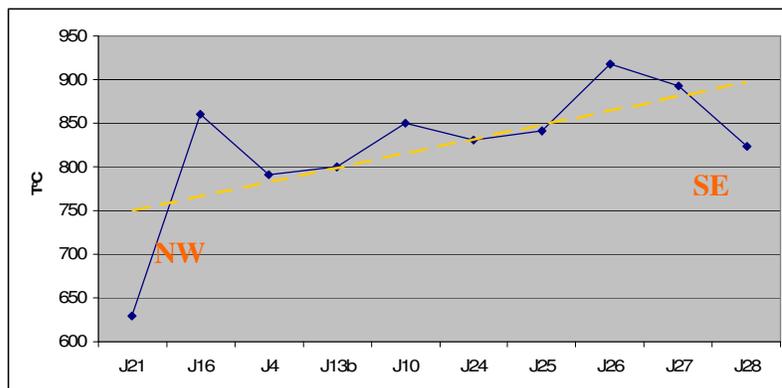


Figura 6.6: Distribuição da temperatura ao longo do perfil de amostragem.

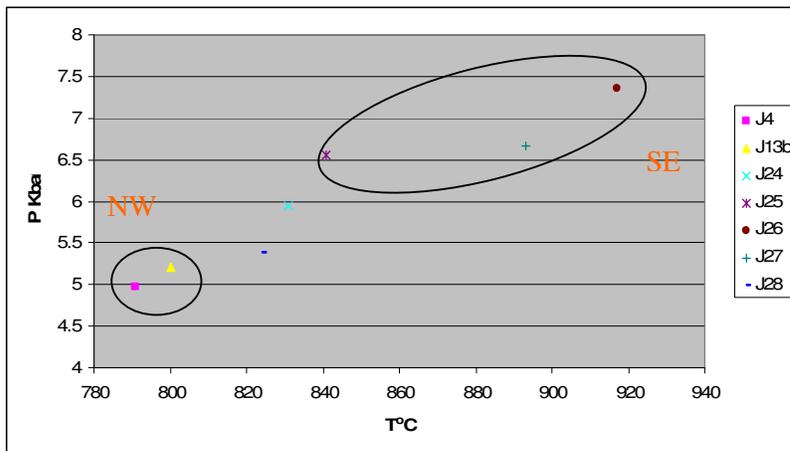


Figura 6.7: Distribuição da pressão ao longo do perfil

VI.2.4- Discussão dos resultados

As temperaturas calculadas para a cristalização da grafita indicam que as amostras selecionadas pertencem ao intervalo de temperatura que vai de 659°C a 706°C. Estas temperaturas mostram uma cristalização na fácies metamórfica anfibolito e se encontra no intervalo esperado para este setor do Orógeno Araçuaí.

Trabalhos anteriores demonstraram qualitativamente que a temperatura de metamorfismo é o principal fator controlador do tamanho dos cristais de grafita. Neste trabalho, pode-se observar que esta relação é incontestável. A grafita provavelmente experimentou temperaturas tão elevadas quanto às do metamorfismo regional, porém não registrou a temperatura do pico metamórfico e sim a temperatura pós-pico metamórfico. Mas, por outro lado, esta grande variação da temperatura facilitaria a expansão da estrutura cristalina deste mineral, facilitando a entrada de moléculas como o FeO, por exemplo, na estrutura da grafita, uma vez que o coeficiente termal de expansão aumenta proporcionalmente ao intervalo de temperatura (Tsang *et al.*, 2005). Desta forma, quanto maiores forem às palhetas, mais desordenadas elas tendem a ser e com maior quantidade de impurezas. Um exemplo seria a amostra Gu 212, que por se tratar de um minério de tipo xisto, apresenta dimensões bastante elevadas, podendo alcançar até 0,80 mm de comprimento e 0,05 mm de largura. Dimensões compatíveis ao minério do tipo gnaiss. Mostrando-se desordenada quando analisada ao Raman, com impurezas de FeO e C-H (Fig. 5.24 e 5.25 e Tabela 5.5).

As temperaturas calculadas para os gnaisses peraluminosos associados aos depósitos e ocorrências de minério de grafita do tipo gnaiss encontram-se no intervalo de 790°C a 917°C. A menor temperatura (790°C) foi registrada para a amostra J4, pertencente à região da Almenara, nordeste de Minas Gerais e a maior temperatura (917°C) para a amostra J26, pertencente à região de Itamaraju, Sul da Bahia. Sendo assim as temperaturas calculadas para o metamorfismo regional indicam que as rochas adjacentes aos depósitos, jazidas ou ocorrências de grafita encontram-se na

fácies granulito, com temperaturas variando de 790°C a 917°C e fusões peraluminosas em 630°C, representadas por granada-biotita gnaiss. Estas temperaturas corroboram com os setores norte e nordeste do Orógeno Araçuaí apresentam uma saliência, com concavidade voltada para sul onde o metamorfismo cresce de norte para sul, e de oeste para leste (Fig. 6.5), desde a fácies xisto-verde, na zona limítrofe com o Cráton São Francisco, até a fácies anfibolito alto a granulito, no núcleo metamórfico-anatético.

Nota-se que quando se compara a temperaturas obtidas para a cristalização grafita com as temperaturas das rochas granulíticas, estas são mais baixas. (Fig. 6.11), embora os padrões de variação das temperaturas sejam semelhantes. Quando se compara a temperaturas esperadas para as rochas xistosas com as temperaturas de cristalização da grafita (fácies anfibolito – zona da sillimanita, amostra J23 – Maiquinique, 705°C) percebe-se que estas encontram-se dentro do intervalo esperado.

A temperatura calculada para o xisto peraluminosos associados aos depósitos e ocorrências de minério de grafita do tipo xisto é de 705°C e esta dentro do intervalo esperado para a fácies metamórfica anfibolito.

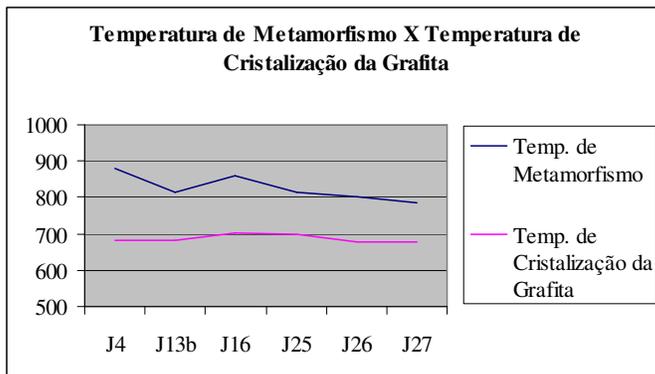


Figura 6.8: Gráfico comparando algumas temperaturas obtidas para a cristalização grafita com as temperaturas do metamorfismo regional.

Uma hipótese seria a possibilidade do termômetro grafita não ser eficiente para temperaturas elevadas, outra seria o possível registro das temperaturas após o pico metamórfico. Porém, o fato da grafita do leste mineiro e do sul da Bahia estar presente em rochas metamórficas as quais variam desde a fácies anfibolito inferior (xistos) a granulitos (kinzigitos) corrobora com os dados obtidos para o cálculo da temperatura da grafita.

VII – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um dos objetivos principais desta dissertação consistiu no estudo geotermométrico da grafita e geotermobarométrico das rochas silicáticas (gnaisses e xistos) associadas às rochas grafitosas tendo em vista estabelecer quantitativamente as condições de P e T que condicionaram o metamorfismo dos depósitos de grafita. As temperaturas calculadas para a cristalização da grafita indicam que as amostras selecionadas pertencem ao intervalo de temperatura que vai de 659°C a 706°C. Estas temperaturas mostram uma cristalização na fácies metamórfica anfibolito e se encontra no intervalo esperado para este setor do Orógeno Araçuai. Já as temperaturas calculadas para o metamorfismo regional (gnaisses e xistos) peraluminosos associados aos depósitos e ocorrências de minério de grafita encontram-se no intervalo de 705°C a 917°C. A menor temperatura (705°C) foi registrada para a amostra J23, pertencente à região de Maiquinique, extremo nordeste de Minas Gerais e a maior temperatura (917°C) para a amostra J26, pertencente à região de Itamaraju, Sul da Bahia. Sendo assim as temperaturas calculadas para o metamorfismo regional indicam que as rochas adjacentes aos depósitos, jazidas ou ocorrências de grafita encontram-se na transição da fácies anfibolito para a fácies granulito, com temperaturas variando de 705°C a 917°C e fusões peraluminosas em 630°C, representadas por granada-biotita gnaiss. Estas temperaturas corroboram com os setores norte e nordeste do Orógeno Araçuai apresentam uma saliência, com concavidade voltada para sul onde o metamorfismo cresce de norte para sul, e de oeste para leste (Fig. 6.5), desde a fácies xisto-verde, na zona limítrofe com o Cráton São Francisco, até a fácies anfibolito alto a granulito, no núcleo metamórfico-anatético.

Levando em consideração o caráter sincinemático da grafita em relação à foliação regional e portanto, às paragêneses silicatadas não seria esperado temperaturas divergentes entre a grafita e suas rochas encaixantes. Mas quando comparamos as temperaturas das rochas granulíticas com as temperaturas obtidas pelo termômetro grafita notamos que são bastante. Ou seja, as temperaturas calculadas para os gnaisses peraluminosos associados à grafita tipo gnaiss são mais elevadas que as temperaturas calculadas para a grafita do tipo gnaiss. O mesmo não ocorre quando se compara às temperaturas de cristalização da grafita do tipo xisto com as temperaturas esperadas para as rochas xistosas (fácies anfibolito – zona da sillimanita), estas se encontram dentro do intervalo esperado. Este fato poderia ser explicado de duas formas, uma seria a possibilidade do termômetro grafita não ser eficiente para temperaturas elevadas, outra seria o possível registro das temperaturas após o pico metamórfico. Outro objetivo desta dissertação consistia na caracterização mineralógica e física de minérios de grafita. Neste contexto o minério rico em palhetas esfarrapadas mostra-se ao MEV como cristais de geometria externa do tipo semi-esférica com superfície botrioidal, quando

este é classificado macroscopicamente como farrapo, e com superfície lisa ou micro-porosa quando é observado macroscopicamente em seção basal hexagonal. O minério rico em palhetas tabulares exibe geometria externa predominantemente sob forma semi-esférica ou esférica. Além disso, a superfície desses minérios é muito variável, podendo apresentar-se micro-porosa, fibrosa, lisa ou em agregados botrioidais. Porém, as bordas são freqüentemente dobradas.

Em relação ao aspecto textural das amostras estudadas, nota-se que as amostras livres de grupos aniônicos e/ou moléculas do tipo C-H e FeO apresentam-se maciças e bem cristalizadas. Sendo o caso da amostra J23, da região de Maiquinique e J13, da região de Almenara. Por outro lado, todas as amostras que apresentam maiores contribuições, principalmente de C-H, exibem *habitus* fibroso, ocorrem em agregados botrioidais ou apresentam superfícies porosas.

Outro aspecto interessante é a relação entre o tamanho do monocristal (La), com o tamanho da palheta de grafita. O tamanho da palheta de grafita ou *flake* tende a refletir o tamanho do monocristal (La). Sendo assim o La dos minérios do tipo grafita xisto tende a ser menor que o La do tipo grafita gnaïsse, que tende a ser maior. Isto influencia também quando pensamos na entrada de moléculas ou impurezas (FeO e C-H) nestes tipo de minérios. Em grafitas do tipo xisto (La menor) as moléculas tendem a ocupar o espaço entre as folhas de carbono, pois o parâmetro c é maior. Nos grafita gnaïsse, o La é maior, portanto o parâmetro a é maior, estas moléculas tendem a ocupar este espaço. Existindo sempre uma compensação entre estes parâmetros. Quanto à presença destas impurezas e a banda D, nota-se que as grafitas desordenadas estruturalmente (banda D) são também as que apresentam moléculas de C-H e FeO. Por outro lado, as moléculas de C-H mostram apenas vibrações de estiramento, podendo ser específico de um tipo de grupo aniônico, molécula, ou configuração de CH específica.

Quanto à temperatura, trabalhos anteriores demonstraram qualitativamente que a temperatura de metamorfismo é o principal fator controlador do tamanho dos cristais de grafita. Neste trabalho, pode-se observar que esta relação é incontestável. A grafita provavelmente experimentou temperaturas tão elevadas quanto às do metamorfismo regional, porém não registrou a temperatura do pico metamórfico e sim a temperatura pós-pico metamórfico. Mas, por outro lado, esta grande variação da temperatura facilitaria a expansão da estrutura cristalina deste mineral, facilitando a entrada de moléculas como o FeO, por exemplo, na estrutura da grafita, uma vez que o coeficiente termal de expansão aumenta proporcionalmente ao intervalo de temperatura (Tsang *et al.*, 2005). Desta forma, quanto maiores forem as palhetas, mais desordenadas elas tendem a ser e com maior quantidade de impurezas. Um exemplo seria a amostra Gu 212, que por se tratar de um minério de tipo xisto, apresenta dimensões bastante elevadas, podendo alcançar até 0,80 mm de comprimento e 0,05 mm de largura. Dimensões compatíveis ao minério do tipo gnaïsse. Mostrando-se desordenada quando analisada ao Raman, com impurezas de FeO e C-H.

VIII- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alkmim F.F. & Martins-Neto M.A. 2001. A Bacia Intracratônica do São Francisco: Arcabouço Estrutural e Cenários Evolutivos. *In: C.P. Pinto & M.A. Martins-Neto (eds.) Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais*. Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo Minas Gerais, Belo Horizonte, pp. 9-30.
- Alkmim F.F., Marshak S, Pedrosa-Soares A.C., Peres G.G., Cruz, S., Whittington A. 2003. Tectônica quebra-nozes e a gênese do Orógeno Araçuai-Congo Ocidental. *In: SBG, Simp. Nac. Est. Tect.*, 9, Búzios, *Anais*, p. 40-43.
- Almeida D.C., Faria L.F., Souza Lima L.A., Oliveira S.F. 1994. *Mapeamento geológico da área da Chapada do Barbado, Cachoeira do Pajeú, Minas Gerais*. Trabalho de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 45 p..
- Almeida F.F.M. 1978. O Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, 7:349-364.
- Almeida F.F.M. & Litwinski N. 1984. Província Mantiqueira: setor setentrional. *In: F.F.M. de Almeida e Y. Hasui (eds.) O Pré-Cambriano do Brasil*. Editora Edgar Blücher, São Paulo, pp.: 282-307.
- Araujo M.C. 2000. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Projeto Leste, Jacinto/Salto da Divisa/Itarantim. Folhas SE.24-V-B-I/SE.24-V-B-II/SD.24-Y-D-IV*. Belo Horizonte, CPRM, 74p.
- Berman, R. G. 2007. TWQ (version 2.3): a software package for performing internally-consistent thermobarometric calculations. *Geological Survey of Canada, Open File 5462*, (ed. 2.32) 2007; 41 pages.
- Branco P.C.A. 1984. Principais depósitos minerais: conceitos, metodologia e listagem. *In: C. Schobbenhaus, D. de A. Campos, G.R. Derze, H.E. Asmus (eds.) Geologia do Brasil*. DNPM, Brasília, pp.: 359-421.
- Brito-Neves B.B. 1993. De Rodínia a Gondwana São Francisco/Congo: Placa, Continente/Península, Cráton e Antepaís. *In: Simp. Cráton São Francisco*, 2, Salvador, *Anais*, p. 3-5.
- Brito-Neves B.B., Campos-Neto M.C., Fuck R.A. 1999. From Rodinia to Western Gondwana: an approach to the Brasiliano-Pan African cycle and orogenic collage. *Episodes*, 22:155-166.
- Carvalho J.B. & Pereira L.M.M. 1997. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Projeto Leste, Petrografia, Relatório Integrado, Etapa I. Folhas SE.24-V, SE.23-Z, SE.24-Y (partes)*. Belo Horizonte, CPRM, 93p.
- Carswell, D.A., Harley, S.L., 1990, Mineral barometry and thermometry, in Carswell, D.A., ed., *Eclogite facies rocks: Glasgow, Blackie*, p. 83–110.

- Castañeda, C.; Vieira, V. S.; Belém, J.; Pedrosa-Soares, A. C. . Geotermobarometria de metapelitos e granitos do setor central do Orógeno Araçuaí. In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia, 2006, Aracajú. XLIII Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador : SBG, 2006.
- Celino J.J. 1999. *Variação composicional em suítes de granitóides neoproterozóicos e sua implicação na evolução do Orógeno Araçuaí (Brasil) – Oeste Congolês (África)*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 266 p.
- Costa M.T. da & Romano A.W. 1976. *Mapa geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1/1.000.000 e nota explicativa*. Instituto de Geociências Aplicadas, Belo Horizonte.
- Daconti B.C. 2004. *Contexto geológico, controle e correlação regional das mineralizações de grafita da região de almenara, Província grafítica do nordeste de Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 95p.
- Dissanayake C.B. 1994. Origin of vein graphite in high-grade metamorphic terrains. Role of organic matter and sediment subduction. *Miner. Depos.*, **29**:57-67.
- Fateley W.G., Dollishi F.R., McDevitt N.T., Bentley F.F. 1972. Infrared and Raman selection rules for molecular and lattice vibrations. *The Correlation Method*. New York, Wiley-Interscience. 230p.
- Faria L.F. 1997. *Controle e tipologia de mineralizações de grafita flake do nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia: uma abordagem regional*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 102 p.
- Feltre R. 1994. Fundamentos da Química. Vol.3. *Editora Moderna*, 448 p.
- Fernandes M.S.L. 1991. *Geologia, petrografia e geoquímica de rochas granitóides da região de Pedra Azul, MG*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 191 p.
- Ferry, J.M. & Spear, F.S. 1978. Experimental calibration of the partitioning of Fe na Mg between biotite and garnet. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. **66**: 113-117.
- Fleischer R. & Oliveira S.A. 1994. Depósito de Grafita da Fazenda Traíras (BA): um exemplo de Rombocasco Desenvolvido em uma Zona de Cisalhamento. *Geon*. **2**:33-41.
- Fontes C.Q., Ferrari P.G., Pereira A.D.C., Netto C., Pereira F.S., Lima L.O., Costa M.R.A., Baltazar O.F., Silva S.L., Vieira V.S., Ramalho R. 1978. *Projeto Jequitinhonha*. DNPM/CPRM, 543 p.
- França A.V. M. & Esper E.L. 2000. *Mapeamento Geológico na Área de Águas Belas, Almenara, MG, com ênfase nas mineralizações de grafita*. Trabalho de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 52 p.
- French, B.M. 1964. Graphitization of organic material in a progressively metamorphosed Precambrian iron formation. *Science*, 146: 917-918.

- Frost, B.R.; Fyfe, W.S.; Tasaki, K.; Chan, Y. (1989). Grain-boundary graphite in rocks and implications of high electrical conductivity in the lower crust. *Nature*, 340: 134-136.
- Ganguly, J. & Saxena, S.K. 1984. Mixing properties of aluminosilicate garnet. Constraints from natural and experimental data, and applications to geothermo-barometry. *Am. Mineral.* 69: 88-97.
- Ganguly, J. & Kennedy, G. C. 1974. The energetics of natural garnet solid solution: I. Mixing of the aluminosilicate end members. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 48, 137-148.
- Glotch, T. D., R. V. Morris, T. G. Sharp, and P. R. Christensen. Fine-grained goethite as a precursor for martian gray hematite. *Sixth International Conference on Mars*, Abstract 3188, 2003.
- Grossi-Sad J.H., Motta E.G.M., Baars F.J. 1993. Formação Capelinha: uma nova entidade litoestratigráfica do Grupo Macaúbas Superior. In: SBG, Simp. Geol. Minas Gerais, 7, Belo Horizonte, *Anais*, p. 30-33.
- Grossi-Sad J.H., Lobato L.M., Pedrosa-Soares A.C., Soares-Filho B.S. (Eds.) 1997. *Projeto Espinhaço em CD-ROM*. Companhia Mineradora de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2693 pp.
- Guimarães F.R. 2000. *Uso de Imagem de Satélite Landsat 5/TM e Sistema de Informações Geográficas no Estudo Geológico da Província Grafítica Minas-Bahia: Setor Noroeste*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 106p.
- Guimarães M.A. 1973. *Perfil analítico da grafita*. Rio de Janeiro, DNPM, Boletim 16, 22 p.
- Haraly N.L.E., Casaes, L.E., Secco, P.R. 1996. Tectônica e Geologia das Ocorrências de Grafita na Região de Pedra Azul, MG. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 39, Salvador, *Anais*, p. 329-330.
- Hand, G.P. (1996). Graphite: applications & developments. *Industrial Minerals*, 342: 69-72.
- Harben P.W. & Bates R.L. (Eds.) 1990. Industrial minerals geology and world deposit. Industrial Minerals Division, Metal Bulletin, Londres, 312 pp.
- Hodges K. V. & Spear F.S. 1982. Geothermometry, geobarometry and the $AlSiO_5$ triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire. *American mineralogist*, 67: 1118 -1134.
- Hoinkes, G. 1986. Effect of grossular-content in garnet on the partitioning of Fe and Mg between garnet and biotite. *Contrib. Mineral. Petrol.* 92: 393-399.
- Holdaway, M.J. & Lee, S.M. 1977. Fe-Mg cordierite stability in highgrade pelitic rocks based on experimental, theoretical, and natural observations. *Contrib. Mineral. Petrol.* 63:175-198.
- Holland, T. J. B. / Powell, R. 1990. An enlarged and updated internally consistent thermodynamic dataset with uncertainties and correlations: the system $K_2O-Na_2O-CaO-MgO-MnO-FeO-Fe_2O_3-Al_2O_3-TiO_2-SiO_2-C-H_2O_2$. *Journal of Metamorphic Geology*. 8: 89-124

- Holland, T.J.B. and Powell, R., 2000. The effect of TiO₂ and Fe₂O₃ on metapelitic assemblages at greenschist and amphibolite facies conditions: mineral equilibria calculations in the system K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-TiO₂-Fe₂O₃. *Journal of Metamorphic Geology*. 18:497-511.
- Indares, A. & Matignole, J. 1985. Biotite-garnet geothermometry in the granulite facies: the influence of Ti and Al in biotite. *Am. Mineral.* 70: 272-278.
- Karfunkel J. & Hoppe A. 1988. Late Proterozoic glaciation in central-eastern Brazil: synthesis and model. *Palaeogeog., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 65:1-21.
- Klein C.; Hurlbut C.S.Jr. 1995. Manual of Mineralogy (*after James Dana*).
- Koziol, A.M. and Newton, R.C. 1988. Recalibration of anorthite breakdown reaction and improvement of the plagioclase-garnet-Al₂SiO₅-quartz geobarometer. *Am. Mineral.* 73: 316-323.
- Kuzvart M. (Ed.) 1984. *Industrial minerals and rocks*. Elsevier, Amsterdã, 454 pp.
- Leonardos O.H. 1938. Grafita no Estado de Minas Gerais. *Miner. e Metal.*, 2:303-310.
- Lima S.A.A., Martins-Neto M.A., Pedrosa-Soares A.C., Cordani U.G., Nutman A. (2002). A Formação Salinas na área-tipo, NE de Minas Gerais: uma proposta de revisão da estratigrafia da Faixa Araçuaí com base em evidências sedimentares, metamórficas e de idades U-Pb SHRIMP. *Rev. Bras. Geoc.*, 32:491-500.
- Litwinski N. 1984. *Geocronologia da região dos municípios de Itinga, Itaobim, Jequitinhonha, Almenara e Joáima – Minas Gerais*. Tema 2, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 34 p.
- Litwinski N. 1985. *Evolução tectono-termal da região nordeste de Minas Gerais e sul da Bahia*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 207 p.
- Lobato L.M. & Pedrosa-Soares A.C. 1993. Síntese dos Recursos Minerais do Cráton do São Francisco e Faixas Marginais em Minas Gerais. *Geon.*, 1:51-64.
- Malisa, E. 1987. Geology of the Tanzanite Gemstone Deposit in the Leletema Area, Ne Tanzania. *Ph. D. Thesis* 160p. Annales Academicæ Scintiarum Fennicæ III, Geologica-Geographica.
- Martignole, J. & Sissi, J.C. 1981. Cordierite – garnet – H₂O equilibrium: a geological thermometer, barometer and water fugacity indicator. *Contribution to Mineralogy and petrology*. 77: 38-46.
- Martins-Neto, M.A.; Hervo, C.M. 2001. Sedimentation and tectonic setting of Early Neoproterozoic glacial deposits in southeastern Brasil: In: Altermann, W.; Corcoran, P.; Rosing, M. (eds). *Precambrian sedimentary environments and how do they differ from or resemble Phanerozoic and modern conditions*. Intern. Assoc. Sedimentol., Spec. Publ., Blackwell
- Martins V.T.S., Teixeira W., Noce C.M., Pedrosa-Soares A.C. 2004. Sr and Nd characteristics of Brasiliano/Pan-African granitoid plutons of the Araçuaí Orogen, southeastern Brazil: tectonic implications. *Gond. Res.*, 7:75-89.

- Mascarenhas J.F., Pedreira A.J.C.L, Gil C.A.A., Neves J.P., Oliveira J.E., Silva Filho M. A., Marinho M.M. 1976. *Geologia da região centro oriental da Bahia*. Salvador, CPRM, Relatório Integrado I, 324 p.
- Mehnert K.R. (Ed.) 1971. *Migmatites and the origin of granitic rocks*. Elsevier, Amsterdã, 405 pp.
- Morais E.N. 1997. Geologia da grafita. *In: C. Schobbenhaus, E.T. de Queiroz, G.R., C.E.S. Coelho (eds.) Principais depósitos minerais do Brasil*. DNPM/CPRM, Brasília, pp.: 179-183.
- Moreira P.R.S. & Nery M.A.C. 1997. Depósitos de grafita de Maiquinique, Bahia. *In: C. Schobbenhaus, E.T. de Queiroz, G.R., C.E.S. Coelho (eds.) Principais depósitos minerais do Brasil*. DNPM/CPRM, Brasília, pp.: 197-201.
- Newton, R.C. & Hasleton, H.T. 1981. Thermodynamic of the garnet-plagioclase- Al_2SiO_5 -quartz geobarometer. *In R.C. Newton, A. Navrotsky & B.J. Wood (eds) Thermodynamics of Minerals and Melts*. Springer Verlag. Nova York, pp.131-148
- Noce C.M., Pedrosa-Soares A.C., Grossi-Sad J.H., Baars F.J., Guimarães M.L.V., Mourão M.A.A., Oliveira M.J.R, Roque N.C. 1997. Nova subdivisão estratigráfica regional do Grupo Macaúbas na Faixa Araçuaí: o registro de uma bacia neoproterozóica. *In: SBG, Simp. Geol. Minas Gerais, 9, Ouro Preto, Anais*, p. 29-31.
- Noce C.M., Pedrosa-Soares A.C., Campos C.M., Medeiros S., Armstrong R. 2004. U-Pb SHRIMP dating of detrital zircons from a kinzigite of the Jequitinhonha/Paraíba do Sul Complex: evidence of syncollisional sedimentation in the Araçuaí Orogen. *Rev. Bras. Geoc.* (no prelo).
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Vidal Ph. 1990. Caracterização de uma seqüência vulcano-sedimentar distal na Faixa Araçuaí, MG: bacia oceânica restrita? *In: SBG, Cong. Bras. Geol. 36, Natal, Abstracts*, 292.
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Vidal Ph., Monteiro R.L.B.P., Leonardos O.H. 1992. Toward a new tectonic model for the Late Proterozoic Araçuaí (SE Brazil)-West Congolian (SW Africa) Belt. *Jour. Sout. Amer. Ear. Scien.*, **6**:33-47.
- Pedrosa-Soares A.C., Dardenne M.A., Hasui Y., Castro F.D.C. 1994a. *Mapa geológico do Estado de Minas Gerais, 1/1.000.000*. Belo Horizonte, SEME-COMIG.
- Pedrosa-Soares A.C., Dardenne M.A., Hasui Y., Castro F.D.C., Carvalho M.V.A. 1994b. *Nota Explicativa dos Mapas Geológico, Metalogenético e de Ocorrências Minerais do Estado de Minas Gerais, 1/1.000.000*. Belo Horizonte, SEME-COMIG, 97 p.
- Pedrosa-Soares A.C. 1995. *Potencial aurífero do Vale do Araçuaí, Minas Gerais: história da exploração, geologia e controle tectono-metamórfico*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 177 p.

- Pedrosa-Soares A.C. & Oliveira M.J.R. 1997. Geologia da Folha Salinas. *In: J.H. Grossi-Sad, L.M. Lobato, A.C. Pedrosa-Soares, B.S. Soares-Filho (eds.) Projeto Espinhaço em CD-ROM. Companhia Mineradora de Minas Gerais, Belo Horizonte, pp.: 419-541.*
- Pedrosa-Soares A.C. & Noce C.M. 1998. Where is the suture zone of the Neoproterozoic Araçuaí-West-Congo orogen? *In: UFOP, International Conference on Basement Tectonics, Ouro Preto. Abstracts, 35-37.*
- Pedrosa-Soares A.C., Vidal Ph., Leonardos O.H., Brito-Neves B.B. 1998. Neoproterozoic oceanic remnants in eastern Brazil: Further evidence and refutation of an exclusively evolution for the Araçuaí-West Congo Orogen. *Geology, 26: 519-522.*
- Pedrosa-Soares A.C., Faria L.F., Reis L.B. 1999. The Minas-Bahia Graphite Province, eastern Brazil: mineralization controls and types. *In: European Union Geosciences, Strasbourg. Abstract H04 : 4A/09 : F5, p. 493.*
- Pedrosa-Soares A.C. & Wiedemann-Leonardos C. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. *In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds.) Tectonic evolution of South America. Rio de Janeiro, 265-285.*
- 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. *Prec. Res., 110:307-323.*
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Alkmim F.F., Silva L.C., Cordani U.G., Marshak S., Whittington A., Martins-Neto M.A., Campos C.M.P. 2003. Orógeno confinado: conceito, exemplo e candidatos. *In: SBG, Simp. Nac. Est. Tect., 9, Búzios, Anais, p. 36-39.*
- Pedrosa-Soares A.C.; Noce C.M.; Silva L.C. ; Cordani U.G.; Alkmim F.F.; Babinski M. 2005. Orógeno Araçuaí: Estágio atual do conhecimento geotectônico.. *In: Simpósio Cráton do São Francisco, 3, Salvador. Anais, SBG, p. 243-246*
- Pedrosa-Soares A.C.; Queiroga G.N.; Gradim C.T.; Roncato J.G.; Novo T.A.; Jacobsohn T.; Lima K.S. 2006. Geologia da Folha Mantena, 1:100.000. Programa Geologia do Brasil, UFMG-CPRM, 45 p.
- Perchuk, L.L. & Lavrent'eva, I.V. 1983. Experimental investigation of Exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite. *In Kinetics and Equilibrium in Mineral Reactions (S.K. Saxena, ed). Springer-Verlag, New York 199-239.*
- Perillo I.A. 1995. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Almenara. Folha SE.24-V-A. Brasília, CPRM, 79 p.*
- Pimenta M. A., Dantas M. S. S., C. F. Leite, M. Souza, A. Jorio, P. Corio, G. Dresselhaus, M. S. Dresselhaus 2000. Espalhamento Raman em nanotubos de carbono: Espectros de segunda ordem, efeito SERS e espalhamento anti-stokes.

- Pinto C.P., Pedrosa-Soares A.C., Wiedemann C. 1998. Mapa geológico da porção brasileira do Orógeno Araçuaí-Oeste-Congo. *In: SBG, Congr. Bras. Geol., 40, Belo Horizonte, Abstracts, 37.*
- Powell, R. and Holland, T.J.B. 1994. *Optimal geothermometry and geobarometry.* American Mineralogist, 79, 120-133.
- Powell, R., Holland, T. and Worley, B. (1998). Calculating phase diagrams involving solid solutions via non-linear equations, with examples using THERMOCALC. *Journal of Metamorphic Geology, 16, 577-588.*
- Powell, R. and Holland, T. J. B. (1988). An internally consistent dataset with uncertainties and correlations; 3, Applications to geobarometry, worked examples and a computer program. *Journal of Metamorphic Geology, 6, 173-204*
- Queiroga G.N. & Figueiredo J. B. 2004. *Geologia da área de Marobá-São Domingos, nordeste de Almenara (MG), com ênfase no depósito de grafita.* Trabalho de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 63 p.
- Reis L.B. 1999. *Estudos de mineralizações de grafita no extremo nordeste de Minas Gerais.* Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 87p.
- Resende E.P. & Varella J.C.S. 1997. Província gráfitica de Itapacerica e Pedra Azul, Minas Gerais. *In: C. Schobbenhaus, E.T. de Queiroz, G.R., C.E.S. Coelho (eds.) Principais depósitos minerais do Brasil.* DNPM/CPRM, Brasília, pp.: 185-195.
- Riley D.P. 1945. The thermal expansion of graphite Part II: *Theoretical Proc Phys Soc London.* 57:486-95.
- Rocha, G.M.F. (1995). Minerais industriais - Diagnóstico da grafita e as ocorrências no Estado da Bahia. Salvador, SGM/CEPED, 26 p.
- Ryberg R. 1981. CH stretch vibrations of adsorbed molecules studied by infrared spectroscopy; CH₃O on Cu(100). *Chemical Physics Letters, Volume 83, Issue 3, p.423-426.*
- Shengelia, D.M., Akvlediane, R.A. and Ketskhoveli, D.N. 1977. Graftovyy termometry *Doklady Akademii Nauka SSR.* 235: 1407-1409.
- Siga Jr. O. 1986. *A evolução geocronológica da porção nordeste de Minas Gerais, com base em interpretações geocronológicas.* Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 140 p.
- Silva Filho M. A., Filho O.M., Gil C.A.A., Santos R.A. 1974. *Geologia da Folha SD.24-Y-D.* Salvador, CPRM, Relatório Final I, 79 p.
- Silva J.M.R., Lima M.I.C., Veronese V.F., Ribeiro JR R.N., Rocha R.M., Siga Jr. O. 1987. *Levantamento de Recursos Naturais, Folha SE 24, Rio Doce: Geologia.* *In: Projeto RADAMBRASIL, Rio de Janeiro, IBGE, 34: 23-172.*

- Simmons J.H.W. 1965. Radiation damage in graphite. *Pergamon Press*.
- Spear, F.S. 1989. Petrologic determination of metamorphic pressure-temperature-time paths. In: Spear, F.; Peacock, S.M. (eds), *Metamorphic Pressure-Temperature-Time Paths, Short Course in Geology*, vol. 7. International Geology Congress, Washington, DC, pp: 1-55.
- Spear, F.S. 1993. *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*. Mineralogical Society of America Monograph Series, 799 p.
- Spear, F.S. 1995. *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure Temperature Time Paths*, 799pp. Mineral Soc. Of Am. Washington, DC.
- Spear, F.S.; Cheney, J.T. 1989. A petrogenetic grid for pelitic schists in the system $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-MgO-K}_2\text{O-H}_2\text{O}$. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 101:149-164.
- Soares L.M. & Silva R.N. 2002. *Geologia e Caracterização dos Depósitos de Grafita da Fazenda Lameiro, São José do Prata, Almenara – Minas Gerais*. Trabalho de Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, 64 p.
- Thompson, A.B. 1976. Mineral reactions in pelitic rocks: Parts I and II. *American Journal of Scienc.* 271: 79-92.
- Trompette R. (Ed.) 1994. *Geology of Western Gondwana (2000-500 Ma: Pan-African-Brasiliano aggregation of South America and Africa)*. Balkema, Amsterdã, 350 pp.
- Tsang D.K.L., Marsdem B.J., Fok S.L., Hall 2005. Graphite thermal expansion relationship for different temperature ranges. *Carbon*. 2005.06.009.
- Tuinstra F. & Koenig J. L. 1970. Raman spectrum of graphite. *J. Chem. Phys.* 53, 1126.
- Turner F.J. (Ed.) 1981. *Metamorphic Petrology: Mineralogical, Field, and Tectonic Aspects*. McGraw-Hill Book Company, Nova York, 524 pp.
- Uhlein A., Egydio-Silva M., Bouchez J.L., Vauchez A. 1998a. The Rubim pluton (Minas Gerais, Brazil): a petrostructural and magnetic fabric study. *Jour. Sout. Amer. Ear. Scien.*, 11:179-189.
- Uhlein A., Trompette R., Egydio-Silva M. 1998b. Proterozoic rifting and closure, SE border of the São Francisco Craton, Brazil. *Jour. Sout. Amer. Ear. Scien.*, 11:191-203.
- Uhlein A.; Trompette, R; Alvarenga, C.J.S. 1999. Neoproterozoic glacial and bgravitacional sedimentation on continental rifted margin: the Jequitai-Macaúbas sequence (Minas Gerias, Brasil). *Journ. South Am. Earth Sci.*, 12: 435-451.
- Weis P.L., Friedman I., Gleason J.P. 1981. The origin of epigenetic graphite: evidence from isotopes. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45:2325-2332.
- Whittington A., Connelly J., Pedrosa-Soares A.C., Marshak S., Alkmim F.F. 2001. Collapse and melting in a confined orogenic belt: Preliminary results from the Neoproterozoic Araçuaí belt of eastern Brazil. In: American Geophysical Union Meeting, 2001, San Francisco. Abstract T32B-0895., v. 82., p.1181-1182.

- Whittington A., Connelly J., Pedrosa-Soares A.C., Marshak S., Alkmim F.F. 2002. Extensional collapse of a small orogenic plateau and the production of voluminous post-collisional granite: an example from the Neoproterozoic Araçuaí Orogen, eastern Brazil. *In: Geological Society of America Annual Meeting, Denver. Abstract: www.geosociety.org.*
- Wilson M. (Ed.) 1989. *Igneous petrogenesis*. Chapman & Hall, Londres, 466 pp.
- Winkler H. G. F. (Ed.) 1974. *Petrogêneses das rochas metamórficas*. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 254 pp.
- Yardley B.W.D. (Ed.) 1989. *An introduction to metamorphic petrology*. Longman Earth Science Series, 248 pp.
- Young R.A. 1995. Introduction to the Rietveld method. *The Rietveld method*. International Union of Crystallography, Cap 1, p.1-38. (IUCr Monographs on Crystallography, V.5)

10- ANEXOS.....	95
10.1. Análises de granada	96
10.2. Análises de mica.....	117
10.3. Análises de cordierita.....	129
10.4. Análises de plagioclásio.....	139
10.5. Difrátogramas.....	148
10.6. Análises de Micro-Raman.....	152

Anexo IX.1.1- Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J4 bcd	J4 bcd	J4 bcd	J4 bcd	J4 c	J4 c	J4 c	J4 bbt
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
SiO ₂	37.16	36.84	37.31	36.87	36.42	37.16	37.04	36.88
Al ₂ O ₃	21.10	21.15	20.98	20.94	21.02	21.03	21.03	20.91
FeO	34.78	34.82	33.87	34.09	34.91	34.14	33.80	34.35
MnO	4.26	4.22	3.97	3.95	3.95	3.81	3.98	4.11
MgO	2.44	2.72	2.96	2.67	2.92	3.27	3.08	2.67
CaO	0.71	0.68	0.72	0.68	0.70	0.74	0.70	0.71
Total	100.45	100.44	99.82	99.20	99.91	100.14	99.63	99.63
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.62	0.61	0.62	0.61	0.61	0.62	0.62	0.61
Al ₂ O ₃	0.41	0.42	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
FeO	0.48	0.49	0.47	0.47	0.49	0.48	0.47	0.48
MnO	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06
MgO	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	3.00	2.98	3.01	3.00	2.96	2.99	3.00	3.00
Al _{IV}	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.00
Al _{VI}	2.01	1.99	2.00	2.01	1.97	1.99	2.00	2.00
Fe ²⁺	2.35	2.35	2.29	2.32	2.37	2.30	2.29	2.34
Mn	0.29	0.29	0.27	0.27	0.27	0.26	0.27	0.28
Mg	0.29	0.33	0.36	0.32	0.35	0.39	0.37	0.32
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Soma íons	2.99	3.03	2.98	2.98	3.06	3.02	2.99	3.00
Total Si	3.00	2.98	3.01	3.00	2.96	2.99	3.00	3.00
Total Al	2.01	1.99	2.00	2.01	1.97	1.99	2.00	2.00
alm(Fe)	78.45	77.71	76.82	77.99	77.59	76.27	76.46	77.75
spe(Mn)	9.72	9.54	9.12	9.14	8.87	8.61	9.12	9.41
py(Mg)	9.78	10.80	11.97	10.88	11.54	13.01	12.40	10.78
gro(Ca)	2.05	1.95	2.09	1.98	2.00	2.11	2.02	2.06
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J4 bbt	J4 bbt	J4 bbt	J10(1) bcd	J10(1) bcd	J10(1) bcd	J10 (1) c	J10 (1) c
	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
SiO ₂	37.25	36.91	37.80	37.26	37.97	37.50	37.02	37.98
Al ₂ O ₃	20.86	21.10	20.88	21.18	21.39	21.41	21.49	21.28
FeO	33.98	34.44	34.30	34.11	34.30	34.61	34.05	33.46
MnO	4.17	4.32	4.30	1.42	1.36	1.42	1.37	1.32
MgO	2.53	2.61	2.43	4.53	4.68	4.32	5.44	5.33
CaO	0.71	0.73	0.66	0.72	0.75	0.74	0.76	0.73
Total	99.50	100.10	100.36	99.23	100.44	99.99	100.12	100.10
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.62	0.61	0.63	0.62	0.63	0.62	0.62	0.63
Al ₂ O ₃	0.41	0.41	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
FeO	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47
MnO	0.06	0.06	0.06	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.06	0.06	0.06	0.11	0.12	0.11	0.13	0.13
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	3.02	2.99	3.04	3.00	3.01	3.00	2.95	3.01
Al _{IV}	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
Al _{VI}	1.99	2.00	1.98	2.00	2.00	2.01	1.97	1.99
Fe ²⁺	2.31	2.33	2.31	2.30	2.28	2.31	2.27	2.22
Mn	0.29	0.30	0.29	0.10	0.09	0.10	0.09	0.09
Mg	0.31	0.31	0.29	0.54	0.55	0.51	0.65	0.63
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Soma íons	2.96	3.01	2.95	3.00	2.98	2.99	3.07	3.00
Total Si	3.02	2.99	3.04	3.00	3.01	3.00	2.95	3.01
Total Al	1.99	2.00	1.98	2.00	2.00	2.01	1.97	1.99
alm(Fe)	77.93	77.58	78.28	76.58	76.27	77.47	73.89	73.98
spe(Mn)	9.67	9.84	9.92	3.22	3.06	3.21	3.00	2.95
py(Mg)	10.31	10.47	9.88	18.13	18.53	17.21	21.01	21.00
gro(Ca)	2.08	2.10	1.92	2.07	2.14	2.11	2.10	2.06
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J10 (1) c	J10(1) bpl	J10(1) bpl	J10(1) bcd	J10(2) bpl	J10(2) bcd	J10(2) bcd	J10(2) c
	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
SiO ₂	38.52	38.25	37.08	36.56	37.63	38.34	38.29	38.86
Al ₂ O ₃	21.22	21.43	21.53	21.44	21.34	21.35	21.39	21.09
FeO	34.17	33.24	33.87	33.88	33.99	33.43	34.78	33.87
MnO	1.39	1.31	1.32	1.30	1.31	1.10	1.43	1.10
MgO	5.16	5.45	5.36	5.32	5.21	5.61	4.21	5.51
CaO	0.74	0.75	0.74	0.77	0.78	0.80	0.76	0.77
Total	101.19	100.43	99.89	99.27	100.26	100.63	100.85	101.20
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.64	0.64	0.62	0.61	0.63	0.64	0.64	0.65
Al ₂ O ₃	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.41
FeO	0.48	0.46	0.47	0.47	0.47	0.47	0.48	0.47
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.14	0.10	0.14
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	3.02	3.01	2.96	2.94	2.99	3.02	3.03	3.04
Al _{IV}	0.00	0.00	0.04	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00
Al _{VI}	1.96	1.99	1.98	1.97	1.98	1.98	1.99	1.95
Fe ²⁺	2.25	2.19	2.26	2.28	2.26	2.20	2.30	2.22
Mn	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.07	0.10	0.07
Mg	0.60	0.64	0.64	0.64	0.62	0.66	0.50	0.64
Ca	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06
Soma íons	3.00	2.98	3.05	3.07	3.03	3.00	2.96	3.00
Total Si	3.02	3.01	2.96	2.94	2.99	3.02	3.03	3.04
Total Al	1.96	1.99	1.98	1.97	1.98	1.98	1.99	1.95
alm(Fe)	74.76	73.48	74.13	74.22	74.54	73.37	77.83	73.98
spe(Mn)	3.09	2.92	2.92	2.87	2.91	2.45	3.23	2.43
py(Mg)	20.09	21.47	20.88	20.76	20.36	21.92	16.76	21.44
gro(Ca)	2.06	2.13	2.07	2.15	2.19	2.26	2.18	2.14
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J10(2) c	J10 (2) c	J10(2) bcd	J10(2) bcd	J10(2) bcd	J13b (1) bcd	J13b (1) bcd	J13b (1) bcd
	25	26	27	28	29	30	31	32
SiO ₂	37.87	38.22	37.33	36.64	36.74	36.74	37.46	37.07
Al ₂ O ₃	21.36	21.46	21.26	21.17	21.20	21.00	20.99	21.09
FeO	33.31	33.25	34.69	34.18	34.55	29.68	29.85	29.83
MnO	1.31	1.28	1.50	1.28	1.50	7.01	6.90	7.25
MgO	5.80	5.50	4.41	4.87	4.46	2.94	3.16	2.96
CaO	0.74	0.74	0.75	0.74	0.76	1.31	1.34	1.28
Total	100.38	100.45	99.94	98.87	99.21	98.68	99.69	99.50
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.63	0.64	0.62	0.61	0.61	0.61	0.62	0.62
Al ₂ O ₃	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41
FeO	0.46	0.46	0.48	0.48	0.48	0.41	0.42	0.42
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.10	0.10	0.10
MgO	0.14	0.14	0.11	0.12	0.11	0.07	0.08	0.07
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.99	3.01	2.99	2.96	2.97	3.00	3.02	3.00
Al _{IV}	0.01	0.00	0.01	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00
Al _{VI}	1.98	1.99	1.99	1.98	1.98	2.01	1.99	2.01
Fe ²⁺	2.20	2.19	2.32	2.31	2.33	2.03	2.01	2.02
Mn	0.09	0.09	0.10	0.09	0.10	0.48	0.47	0.50
Mg	0.68	0.65	0.53	0.59	0.54	0.36	0.38	0.36
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.11	0.12	0.11
Soma íons	3.03	2.99	3.02	3.05	3.04	2.98	2.98	2.98
Total Si	2.99	3.01	2.99	2.96	2.97	3.00	3.02	3.00
Total Al	1.98	1.99	1.99	1.98	1.98	2.01	1.99	2.01
alm(Fe)	72.56	73.41	77.05	75.81	76.81	67.93	67.59	67.66
spe(Mn)	2.89	2.86	3.36	2.88	3.38	16.24	15.81	16.65
py(Mg)	22.48	21.63	17.45	19.22	17.64	11.98	12.73	11.97
gro(Ca)	2.07	2.10	2.14	2.09	2.17	3.85	3.87	3.72
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J13b (1) bcd	J13b (1) c	J13b (1) c	J13b (1) bcd	J13b (1) bcd	J13b (2) bcd	J13b (2) bcd	J13b (2) bpl
	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO ₂	36.59	36.12	37.84	36.90	37.52	38.23	36.41	36.65
Al ₂ O ₃	20.79	21.06	20.94	20.92	20.74	20.94	21.09	21.13
FeO	29.92	29.85	29.59	29.40	29.86	29.86	29.66	29.86
MnO	7.16	6.55	6.62	6.57	6.82	7.24	7.31	7.14
MgO	2.79	3.75	3.65	3.40	3.17	3.20	2.85	3.21
CaO	1.27	1.29	1.43	1.30	1.27	1.62	1.26	1.34
Total	98.51	98.62	100.06	98.49	99.38	101.09	98.58	99.33
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.61	0.60	0.63	0.61	0.62	0.64	0.61	0.61
Al ₂ O ₃	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
FeO	0.42	0.42	0.41	0.41	0.42	0.42	0.41	0.42
MnO	0.10	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10
MgO	0.07	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08
CaO	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02
Si	3.00	2.95	3.03	3.00	3.03	3.04	2.98	2.97
Al _{IV}	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
Al _{VI}	2.00	1.98	1.97	2.01	1.97	1.96	2.01	1.99
Fe ²⁺	2.05	2.04	1.98	2.00	2.02	1.98	2.03	2.03
Mn	0.50	0.45	0.45	0.45	0.47	0.49	0.51	0.49
Mg	0.34	0.46	0.43	0.41	0.38	0.38	0.35	0.39
Ca	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.14	0.11	0.12
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Soma íons	3.00	3.06	2.99	2.98	2.98	2.99	3.00	3.02
Total Si	3.00	2.95	3.03	3.00	3.03	3.04	2.98	2.97
Total Al	2.00	1.98	1.97	2.01	1.97	1.96	2.01	1.99
alm(Fe)	68.40	66.61	66.33	67.18	67.81	66.44	67.78	67.08
spe(Mn)	16.56	14.80	15.02	15.19	15.68	16.30	16.91	16.23
py(Mg)	11.34	14.90	14.56	13.83	12.82	12.66	11.61	12.83
gro(Ca)	3.70	3.69	4.10	3.80	3.69	4.60	3.69	3.87
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J13b (2) c	J13b (2) c	J13b (2) bcd	J13b (2) bcd	J13b (2) bcd	J16 bbt	J16 bbt	J16 bbt
	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>
SiO ₂	39.01	38.78	37.80	36.79	36.91	37.13	38.44	38.26
Al ₂ O ₃	21.18	21.13	21.26	21.11	21.08	21.15	21.04	21.24
FeO	28.96	28.58	29.36	29.87	30.21	33.75	33.68	34.19
MnO	6.46	6.34	7.19	7.50	7.52	2.55	2.45	2.68
MgO	4.54	4.09	3.10	2.81	2.85	4.19	4.19	3.76
CaO	1.61	2.56	1.32	1.64	1.52	0.82	1.01	1.12
Total	101.75	101.47	100.03	99.71	100.08	99.59	100.81	101.25
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.65	0.65	0.63	0.61	0.61	0.62	0.64	0.64
Al ₂ O ₃	0.42	0.41	0.42	0.41	0.41	0.42	0.41	0.42
FeO	0.40	0.40	0.41	0.42	0.42	0.47	0.47	0.48
MnO	0.09	0.09	0.10	0.11	0.11	0.04	0.03	0.04
MgO	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.10	0.10	0.09
CaO	0.03	0.05	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	3.05	3.04	3.03	2.98	2.98	2.99	3.04	3.02
Al _{IV}	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00
Al _{VI}	1.95	1.95	2.01	1.99	1.99	1.99	1.96	1.98
Fe ²⁺	1.89	1.88	1.97	2.02	2.04	2.27	2.23	2.26
Mn	0.43	0.42	0.49	0.51	0.51	0.17	0.16	0.18
Mg	0.53	0.48	0.37	0.34	0.34	0.50	0.49	0.44
Ca	0.13	0.22	0.11	0.14	0.13	0.07	0.09	0.09
Soma íons	2.98	2.99	2.94	3.02	3.03	3.02	2.97	2.98
Total Si	3.05	3.04	3.03	2.98	2.98	2.99	3.04	3.02
Total Al	1.95	1.95	2.01	1.99	1.99	1.99	1.96	1.98
alm(Fe)	63.46	62.74	66.98	67.04	67.38	75.26	74.99	75.91
spe(Mn)	14.32	14.09	16.59	17.03	16.97	5.76	5.53	6.03
py(Mg)	17.70	15.98	12.57	11.22	11.31	16.63	16.60	14.87
gro(Ca)	4.52	7.20	3.86	4.70	4.34	2.35	2.89	3.19
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J16 c	J16 c	J16 c	J18 bbt				
	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>	<i>52</i>	<i>53</i>	<i>54</i>	<i>55</i>	<i>56</i>
SiO ₂	38.19	37.73	37.69	37.79	38.20	37.92	38.00	38.08
Al ₂ O ₃	21.47	21.40	21.41	20.85	21.02	20.48	20.47	21.15
FeO	32.01	31.66	31.84	26.58	27.07	26.57	26.60	27.97
MnO	1.62	1.59	1.67	9.86	10.17	9.95	10.25	9.53
MgO	6.12	6.26	6.14	2.78	2.27	2.50	2.42	2.48
CaO	1.30	1.29	0.96	1.55	1.26	1.53	1.42	0.96
Total	100.71	99.93	99.71	99.40	99.99	98.95	99.16	100.17
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.64	0.63	0.63	0.63	0.64	0.63	0.63	0.63
Al ₂ O ₃	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.41
FeO	0.45	0.44	0.44	0.37	0.38	0.37	0.37	0.39
MnO	0.02	0.02	0.02	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13
MgO	0.15	0.16	0.15	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06
CaO	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.99	2.98	2.99	3.05	3.06	3.07	3.08	3.05
Al _{IV}	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al _{VI}	1.98	1.98	2.00	1.98	1.99	1.96	1.95	2.00
Fe ²⁺	2.10	2.09	2.11	1.79	1.82	1.80	1.80	1.88
Mn	0.11	0.11	0.11	0.67	0.69	0.68	0.70	0.65
Mg	0.71	0.74	0.72	0.33	0.27	0.30	0.29	0.30
Ca	0.11	0.11	0.08	0.13	0.11	0.13	0.12	0.08
Soma íons	3.03	3.05	3.03	2.93	2.89	2.92	2.92	2.90
Total Si	2.99	2.98	2.99	3.05	3.06	3.07	3.08	3.05
Total Al	1.98	1.98	2.00	1.98	1.99	1.96	1.95	2.00
alm(Fe)	69.28	68.73	69.70	61.13	62.94	61.72	61.72	64.66
spe(Mn)	3.55	3.50	3.71	22.94	23.93	23.41	24.07	22.30
py(Mg)	23.57	24.19	23.92	11.37	9.38	10.32	9.99	10.21
gro(Ca)	3.60	3.58	2.68	4.56	3.75	4.55	4.22	2.84
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J18 c	J18 c	J19 (1) bbt	J19 (1) bbt	J19 (1) bbt	J19 (1) bbt	J19 (1) c	J19 (1) bbt
	<i>57</i>	<i>58</i>	<i>59</i>	<i>60</i>	<i>61</i>	<i>62</i>	<i>63</i>	<i>64</i>
SiO2	37.26	37.32	38.64	37.90	38.91	38.57	38.63	38.60
Al2O3	21.08	21.10	20.09	20.29	20.59	20.01	20.19	20.53
FeO	27.32	27.59	23.11	23.75	24.37	25.35	28.92	29.15
MnO	8.15	7.86	10.11	9.68	9.74	8.22	6.67	6.82
MgO	3.98	3.98	0.38	0.42	0.48	0.55	0.83	0.91
CaO	1.37	1.66	8.17	7.80	6.49	7.16	4.92	4.89
Total	99.16	99.50	100.50	99.84	100.57	99.87	100.16	100.90
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO2	0.62	0.62	0.64	0.63	0.65	0.64	0.64	0.64
Al2O3	0.41	0.41	0.39	0.40	0.40	0.39	0.40	0.40
FeO	0.38	0.38	0.32	0.33	0.34	0.35	0.40	0.41
MnO	0.11	0.11	0.14	0.14	0.14	0.12	0.09	0.10
MgO	0.10	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
CaO	0.02	0.03	0.15	0.14	0.12	0.13	0.09	0.09
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	3.00	3.00	3.09	3.06	3.10	3.10	3.10	3.08
AlIV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AlVI	2.00	1.99	1.89	1.93	1.94	1.90	1.91	1.93
Fe2+	1.84	1.85	1.55	1.60	1.63	1.71	1.95	1.95
Mn	0.56	0.53	0.68	0.66	0.66	0.56	0.45	0.46
Mg	0.48	0.48	0.05	0.05	0.06	0.07	0.10	0.11
Ca	0.12	0.14	0.70	0.67	0.55	0.62	0.42	0.42
Soma íons	2.99	3.01	2.98	2.99	2.89	2.95	2.92	2.94
Total Si	3.00	3.00	3.09	3.06	3.10	3.10	3.10	3.08
Total Al	2.00	1.99	1.89	1.93	1.94	1.90	1.91	1.93
alm(Fe)	61.53	61.63	51.95	53.63	56.18	57.85	66.57	66.34
spe(Mn)	18.57	17.78	23.01	22.13	22.72	18.98	15.53	15.71
py(Mg)	15.96	15.85	1.52	1.69	1.96	2.23	3.41	3.69
gro(Ca)	3.94	4.74	23.52	22.55	19.15	20.93	14.50	14.26
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J19 (1) bbt	J21 (1) c						
	65	66	67	68	69	70	71	72
SiO ₂	37.44	36.89	37.64	37.78	36.91	37.58	37.34	37.16
Al ₂ O ₃	20.06	20.03	20.11	20.88	21.21	21.21	21.17	21.02
FeO	22.19	22.17	22.20	28.68	28.71	28.75	28.43	28.71
MnO	10.19	10.50	10.16	7.29	7.66	7.26	7.42	6.68
MgO	0.37	0.36	0.37	3.34	3.36	3.44	3.50	3.93
CaO	8.97	8.97	8.89	1.68	1.73	1.64	1.61	1.73
Total	99.22	98.92	99.37	99.64	99.58	99.89	99.48	99.22
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.62	0.61	0.63	0.63	0.61	0.63	0.62	0.62
Al ₂ O ₃	0.39	0.39	0.39	0.41	0.42	0.42	0.42	0.41
FeO	0.31	0.31	0.31	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
MnO	0.14	0.15	0.14	0.10	0.11	0.10	0.10	0.09
MgO	0.01	0.01	0.01	0.08	0.08	0.09	0.09	0.10
CaO	0.16	0.16	0.16	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	3.04	3.02	3.05	3.03	2.98	3.01	3.00	2.99
Al _{IV}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
Al _{VI}	1.92	1.93	1.92	1.98	2.00	2.00	2.01	1.99
Fe ²⁺	1.51	1.52	1.51	1.93	1.94	1.93	1.91	1.94
Mn	0.70	0.73	0.70	0.50	0.52	0.49	0.51	0.46
Mg	0.04	0.04	0.04	0.40	0.40	0.41	0.42	0.47
Ca	0.78	0.79	0.77	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15
Soma íons	3.03	3.07	3.02	2.97	3.02	2.97	2.98	3.01
Total Si	3.04	3.02	3.05	3.03	2.98	3.01	3.00	2.99
Total Al	1.92	1.93	1.92	1.98	2.00	2.00	2.01	1.99
alm(Fe)	49.70	49.35	49.88	64.96	64.28	64.86	64.26	64.25
spe(Mn)	23.11	23.66	23.11	16.70	17.35	16.57	16.98	15.13
py(Mg)	1.46	1.43	1.46	13.48	13.41	13.82	14.10	15.66
gro(Ca)	25.73	25.56	25.55	4.86	4.96	4.75	4.66	4.95
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J21 (1) c	J21 (1) bpl	J21 (1) bpl	J21 (2) bbt				
	73	74	75	76	77	78	79	80
SiO ₂	37.96	37.78	37.71	37.62	38.37	35.97	36.99	37.29
Al ₂ O ₃	21.08	21.09	20.98	21.00	21.13	21.41	21.02	21.15
FeO	28.54	28.53	28.33	29.18	27.85	28.91	28.86	28.61
MnO	6.86	6.86	7.09	7.51	7.36	7.49	7.48	7.56
MgO	4.11	3.91	3.81	3.41	3.39	3.33	3.28	3.29
CaO	1.69	1.69	1.76	1.78	1.66	1.71	1.71	1.67
Total	100.24	99.86	99.67	100.50	99.76	98.82	99.33	99.57
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.63	0.63	0.63	0.63	0.64	0.60	0.62	0.62
Al ₂ O ₃	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.42	0.41	0.41
FeO	0.40	0.40	0.39	0.41	0.39	0.40	0.40	0.40
MnO	0.10	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11
MgO	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
CaO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	3.02	3.02	3.02	3.01	3.06	2.93	2.99	3.00
Al _{IV}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00
Al _{VI}	1.98	1.99	1.98	1.98	1.99	1.99	2.00	2.01
Fe ²⁺	1.90	1.91	1.90	1.95	1.86	1.97	1.95	1.93
Mn	0.46	0.46	0.48	0.51	0.50	0.52	0.51	0.52
Mg	0.49	0.47	0.45	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40
Ca	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14
Soma íons	2.99	2.98	2.99	3.02	2.90	3.04	3.01	2.98
Total Si	3.02	3.02	3.02	3.01	3.06	2.93	2.99	3.00
Total Al	1.98	1.99	1.98	1.98	1.99	1.99	2.00	2.01
alm(Fe)	63.47	63.97	63.61	64.66	64.07	64.81	64.92	64.64
spe(Mn)	15.44	15.57	16.11	16.83	17.14	17.00	17.04	17.29
py(Mg)	16.27	15.61	15.23	13.46	13.90	13.29	13.13	13.25
gro(Ca)	4.81	4.85	5.05	5.05	4.90	4.90	4.91	4.83
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J21 (2) c	J21 (2) c	J21 (2) c	J21 (2) bpl	J21 (2) bpl	J25(1)bbt	J25(1)bbt	J25(1)bbt
	81	82	83	84	85	86	87	88
SiO ₂	37.27	37.48	37.46	38.25	37.29	37.62	37.35	37.20
Al ₂ O ₃	21.09	21.22	21.21	21.30	21.12	21.12	21.12	20.95
FeO	28.21	28.52	28.45	28.08	28.47	34.80	36.13	35.69
MnO	7.19	7.26	6.82	6.90	6.89	1.24	1.38	1.29
MgO	3.64	3.71	4.00	4.04	3.95	3.86	3.62	3.81
CaO	1.70	1.73	1.69	1.71	1.72	0.80	0.80	0.82
Total	99.10	99.91	99.63	100.27	99.42	99.44	100.39	99.76
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.62	0.62	0.62	0.64	0.62	0.63	0.62	0.62
Al ₂ O ₃	0.41	0.42	0.42	0.42	0.41	0.70	0.70	0.70
FeO	0.39	0.40	0.40	0.39	0.40	0.58	0.60	0.59
MnO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.02	0.02	0.02
MgO	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10	0.06	0.06	0.06
CaO	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	3.01	3.00	3.00	3.03	3.00	2.52	2.49	2.50
Al _{IV}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.51	0.50
Al _{VI}	2.01	2.00	2.00	1.99	2.00	2.35	2.31	2.31
Fe ²⁺	1.90	1.91	1.91	1.86	1.91	2.33	2.41	2.39
Mn	0.49	0.49	0.46	0.46	0.47	0.08	0.09	0.09
Mg	0.44	0.44	0.48	0.48	0.47	0.26	0.24	0.26
Ca	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15	0.05	0.05	0.06
Soma íons	2.98	2.99	2.99	2.95	3.01	2.72	2.79	2.79
Total Si	3.01	3.00	3.00	3.03	3.00	2.52	2.49	2.50
Total Al	2.01	2.00	2.00	1.99	2.00	2.35	2.31	2.31
alm(Fe)	63.92	63.82	63.73	63.20	63.72	85.50	86.19	85.76
spe(Mn)	16.49	16.45	15.46	15.71	15.60	3.04	3.28	3.11
py(Mg)	14.67	14.78	15.96	16.17	15.75	9.49	8.63	9.16
gro(Ca)	4.93	4.95	4.85	4.91	4.93	1.96	1.90	1.97
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J25(1) bbt	J25(1) bbt	J25(1) bbt	J25(1) pbbt	J25(1) pbbt	J25(1) pbbt	J25(1) bbt	J25(1) pc
	89	90	91	92	93	94	95	96
SiO ₂	37.74	37.80	37.45	37.50	37.57	37.78	37.09	37.70
Al ₂ O ₃	21.14	21.18	21.32	21.13	21.02	21.34	21.02	21.23
FeO	35.47	36.07	35.74	35.99	35.16	35.16	35.35	34.41
MnO	1.34	1.27	1.24	1.28	1.17	1.22	1.17	1.11
MgO	3.86	4.26	3.71	3.62	4.56	4.97	3.91	4.70
CaO	0.85	0.86	0.85	0.85	0.84	0.84	0.84	0.84
Total	100.41	101.44	100.30	100.38	100.33	101.30	99.38	99.99
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.63	0.63	0.62	0.62	0.63	0.63	0.62	0.63
Al ₂ O ₃	0.70	0.71	0.71	0.70	0.70	0.71	0.70	0.71
FeO	0.59	0.60	0.59	0.60	0.59	0.59	0.59	0.57
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.06	0.07	0.06	0.06	0.08	0.08	0.07	0.08
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.51	2.50	2.49	2.50	2.51	2.49	2.49	2.51
Al _{IV}	0.49	0.50	0.51	0.50	0.49	0.51	0.51	0.49
Al _{VI}	2.32	2.30	2.33	2.31	2.31	2.31	2.32	2.34
Fe ²⁺	2.36	2.38	2.38	2.40	2.34	2.32	2.38	2.29
Mn	0.09	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.07
Mg	0.26	0.28	0.25	0.24	0.30	0.33	0.26	0.31
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Soma íons	2.76	2.81	2.76	2.78	2.78	2.79	2.77	2.73
Total Si	2.51	2.50	2.49	2.50	2.51	2.49	2.49	2.51
Total Al	2.32	2.30	2.33	2.31	2.31	2.31	2.32	2.34
alm(Fe)	85.43	84.96	86.05	86.22	84.24	83.34	85.64	83.81
spe(Mn)	3.23	2.98	2.99	3.07	2.81	2.89	2.84	2.70
py(Mg)	9.30	10.04	8.92	8.68	10.93	11.77	9.48	11.45
gro(Ca)	2.04	2.02	2.04	2.02	2.01	1.99	2.03	2.04
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J25(1)c	J25(1)c	J25(1)pc	J25(1)pc	J25(1)pcd	J25(1)bcd	J26(1)bbt	J26(1)bbt
	<i>97</i>	<i>98</i>	<i>99</i>	<i>100</i>	<i>101</i>	<i>102</i>	<i>103</i>	<i>104</i>
SiO ₂	37.72	37.69	37.74	37.89	37.77	37.69	37.90	37.83
Al ₂ O ₃	21.23	21.36	21.36	21.42	21.34	21.10	21.61	21.57
FeO	34.01	34.54	35.19	34.43	35.22	34.32	34.78	35.10
MnO	1.17	0.97	1.08	1.13	1.14	1.07	1.30	1.29
MgO	5.04	4.93	4.91	4.77	4.35	4.83	4.38	4.67
CaO	0.81	0.84	0.82	0.77	0.82	0.84	0.83	0.92
Total	99.99	100.31	101.10	100.40	100.66	99.85	100.81	101.37
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63
Al ₂ O ₃	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.70	0.72	0.72
FeO	0.57	0.57	0.59	0.57	0.59	0.57	0.58	0.58
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.08
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.51	2.50	2.49	2.51	2.50	2.52	2.50	2.49
Al _{IV}	0.49	0.50	0.51	0.49	0.50	0.48	0.50	0.51
Al _{VI}	2.34	2.34	2.32	2.35	2.33	2.33	2.35	2.33
Fe ²⁺	2.27	2.29	2.33	2.28	2.33	2.29	2.29	2.31
Mn	0.08	0.06	0.07	0.08	0.08	0.07	0.09	0.08
Mg	0.34	0.33	0.32	0.32	0.29	0.32	0.29	0.31
Ca	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06
Soma íons	2.73	2.74	2.78	2.72	2.75	2.74	2.72	2.76
Total Si	2.51	2.50	2.49	2.51	2.50	2.52	2.50	2.49
Total Al	2.34	2.34	2.32	2.35	2.33	2.33	2.35	2.33
alm(Fe)	82.88	83.69	83.78	83.77	84.79	83.58	84.22	83.63
spe(Mn)	2.85	2.35	2.57	2.76	2.75	2.61	3.15	3.07
py(Mg)	12.29	11.94	11.70	11.60	10.48	11.77	10.62	11.13
gro(Ca)	1.97	2.02	1.95	1.87	1.98	2.03	2.02	2.18
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J26(1)bcd	J26(1)bcd	J26(1)bcd	J26(1)bcd	J26(1) bcd	J26(1)bcd	J26(1)bbt	J26(1)c
	<i>105</i>	<i>106</i>	<i>107</i>	<i>108</i>	<i>109</i>	<i>110</i>	<i>111</i>	<i>112</i>
SiO ₂	37.55	37.70	37.52	37.35	38.20	38.02	37.63	37.84
Al ₂ O ₃	21.37	21.38	21.45	21.01	21.64	21.47	21.35	21.48
FeO	34.67	35.11	34.57	35.54	34.19	33.72	34.46	34.21
MnO	1.28	1.29	1.14	1.34	1.11	1.04	1.16	1.03
MgO	4.53	4.67	4.89	3.57	5.28	5.43	4.59	5.29
CaO	0.94	0.89	0.91	0.89	0.86	0.97	0.99	1.00
Total	100.34	101.03	100.48	99.70	101.28	100.65	100.18	100.85
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.62	0.63	0.62	0.62	0.64	0.63	0.63	0.63
Al ₂ O ₃	0.71	0.71	0.71	0.70	0.72	0.71	0.71	0.71
FeO	0.58	0.58	0.58	0.59	0.57	0.56	0.57	0.57
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.08	0.08	0.08	0.06	0.09	0.09	0.08	0.09
CaO	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.49	2.49	2.49	2.50	2.51	2.51	2.50	2.50
Al _{IV}	0.51	0.51	0.51	0.50	0.49	0.49	0.50	0.50
Al _{VI}	2.33	2.32	2.34	2.32	2.35	2.35	2.34	2.34
Fe ²⁺	2.30	2.32	2.29	2.38	2.24	2.23	2.29	2.26
Mn	0.09	0.09	0.08	0.09	0.07	0.07	0.08	0.07
Mg	0.30	0.31	0.32	0.24	0.35	0.36	0.31	0.35
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07
Soma íons	2.75	2.77	2.75	2.77	2.72	2.72	2.74	2.74
Total Si	2.49	2.49	2.49	2.50	2.51	2.51	2.50	2.50
Total Al	2.33	2.32	2.34	2.32	2.35	2.35	2.34	2.34
alm(Fe)	83.70	83.69	83.30	85.96	82.50	81.92	83.64	82.36
spe(Mn)	3.10	3.07	2.74	3.25	2.68	2.53	2.81	2.48
py(Mg)	10.95	11.13	11.77	8.63	12.75	13.19	11.15	12.74
gro(Ca)	2.26	2.12	2.19	2.16	2.08	2.36	2.41	2.42
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J26(1)c	JJ26(1)c	J26(1)pc	J26(1)pc	J26(1)pc	J26(1)bcd	J26(1)bbt	J26(1)bbt
	<i>113</i>	<i>114</i>	<i>115</i>	<i>116</i>	<i>117</i>	<i>118</i>	<i>119</i>	<i>120</i>
SiO ₂	37.82	37.59	37.30	37.67	37.70	37.73	37.64	36.92
Al ₂ O ₃	21.67	21.29	21.14	21.59	21.53	21.47	21.48	21.18
FeO	33.62	34.98	35.66	34.08	34.27	35.14	35.42	35.29
MnO	1.11	1.29	1.55	1.01	1.27	1.34	1.47	1.19
MgO	5.45	4.43	3.84	5.27	4.72	4.05	4.45	4.11
CaO	0.93	0.97	0.94	0.97	0.88	0.84	0.86	0.81
Total	100.59	100.55	100.43	100.59	100.37	100.56	101.32	99.49
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.63	0.63	0.62	0.63	0.63	0.63	0.63	0.61
Al ₂ O ₃	0.72	0.71	0.70	0.72	0.72	0.71	0.71	0.70
FeO	0.56	0.58	0.59	0.57	0.57	0.58	0.59	0.59
MnO	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.09	0.07	0.06	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07
CaO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.50	2.50	2.49	2.49	2.50	2.50	2.48	2.48
Al _{IV}	0.50	0.50	0.51	0.51	0.50	0.50	0.52	0.52
Al _{VI}	2.36	2.32	2.30	2.35	2.35	2.34	2.32	2.32
Fe ²⁺	2.22	2.32	2.38	2.25	2.27	2.33	2.34	2.37
Mn	0.07	0.09	0.10	0.07	0.08	0.09	0.10	0.08
Mg	0.36	0.29	0.26	0.35	0.31	0.27	0.29	0.28
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05
Soma íons	2.71	2.77	2.80	2.73	2.73	2.74	2.78	2.78
Total Si	2.50	2.50	2.49	2.49	2.50	2.50	2.48	2.48
Total Al	2.36	2.32	2.30	2.35	2.35	2.34	2.32	2.32
alm(Fe)	81.80	83.95	84.91	82.43	83.32	84.95	83.93	85.25
spe(Mn)	2.69	3.09	3.69	2.45	3.08	3.23	3.49	2.87
py(Mg)	13.25	10.64	9.15	12.76	11.48	9.78	10.55	9.93
gro(Ca)	2.26	2.32	2.24	2.35	2.13	2.04	2.03	1.95
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J26(1)bbt	J27(1)bcd	J27(1)bcd	J27(1)bcd	J27(1)bcd	J27(1)bcd	J27(1)bcd	J27(1)pc
	<i>121</i>	<i>122</i>	<i>123</i>	<i>124</i>	<i>125</i>	<i>126</i>	<i>127</i>	<i>128</i>
SiO ₂	37.39	38.26	38.22	38.31	38.69	38.44	38.65	38.72
Al ₂ O ₃	21.49	21.64	21.81	21.85	21.88	21.82	21.87	21.92
FeO	35.70	32.27	31.78	30.84	31.06	30.27	29.33	29.62
MnO	1.31	1.07	0.91	1.01	0.82	0.96	0.73	0.88
MgO	4.62	6.42	6.75	7.23	7.90	7.69	8.66	8.79
CaO	0.79	0.98	0.92	0.91	0.91	0.92	0.90	0.93
Total	101.30	100.64	100.38	100.16	101.27	100.10	100.15	100.87
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.62	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
Al ₂ O ₃	0.72	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
FeO	0.59	0.54	0.53	0.51	0.52	0.50	0.49	0.49
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01
MgO	0.08	0.11	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15
CaO	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.47	2.52	2.52	2.52	2.53	2.53	2.54	2.53
Al _{IV}	0.53	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47	0.46	0.47
Al _{VI}	2.31	2.37	2.39	2.40	2.39	2.41	2.42	2.40
Fe ²⁺	2.36	2.13	2.09	2.03	2.03	1.99	1.93	1.94
Mn	0.09	0.07	0.06	0.07	0.05	0.06	0.05	0.06
Mg	0.31	0.42	0.44	0.48	0.52	0.51	0.57	0.58
Ca	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Soma íons	2.80	2.68	2.66	2.63	2.66	2.62	2.60	2.63
Total Si	2.47	2.52	2.52	2.52	2.53	2.53	2.54	2.53
Total Al	2.31	2.37	2.39	2.40	2.39	2.41	2.42	2.40
alm(Fe)	84.17	79.22	78.75	77.11	76.33	75.99	74.03	73.65
spe(Mn)	3.08	2.62	2.26	2.52	2.02	2.41	1.83	2.20
py(Mg)	10.89	15.75	16.72	18.09	19.41	19.30	21.86	21.85
gro(Ca)	1.86	2.41	2.27	2.28	2.24	2.30	2.28	2.30
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J27(1)bcd	J27(1)bcd	J27(1)c	J27(1)bcd	J27(1)bcd	J27(1)pc	J27(1)bcd	J27(1)bcd
	<i>129</i>	<i>130</i>	<i>131</i>	<i>132</i>	<i>133</i>	<i>134</i>	<i>135</i>	<i>136</i>
SiO ₂	38.40	38.95	38.86	38.69	39.03	38.77	37.97	38.08
Al ₂ O ₃	21.64	21.85	21.95	21.82	21.87	21.95	21.66	21.72
FeO	31.76	28.85	29.03	28.73	29.58	28.97	30.72	30.63
MnO	0.89	0.83	0.78	0.81	0.77	0.79	0.94	0.83
MgO	6.86	8.66	8.96	8.88	8.75	9.10	7.09	7.59
CaO	0.95	0.95	0.93	0.89	0.98	0.89	0.96	0.91
Total	100.49	100.07	100.51	99.81	100.97	100.47	99.34	99.76
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.64	0.65	0.65	0.64	0.65	0.65	0.63	0.63
Al ₂ O ₃	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72	0.72
FeO	0.53	0.48	0.48	0.48	0.49	0.48	0.51	0.51
MnO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
MgO	0.11	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.12	0.13
CaO	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.53	2.56	2.54	2.55	2.55	2.54	2.52	2.52
Al _{IV}	0.47	0.44	0.46	0.45	0.45	0.46	0.48	0.48
Al _V I	2.38	2.43	2.42	2.42	2.41	2.42	2.40	2.40
Fe ²⁺	2.09	1.89	1.90	1.89	1.93	1.90	2.04	2.03
Mn	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06
Mg	0.45	0.57	0.59	0.58	0.57	0.60	0.47	0.50
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Soma íons	2.66	2.58	2.60	2.59	2.62	2.60	2.64	2.64
Total Si	2.53	2.56	2.54	2.55	2.55	2.54	2.52	2.52
Total Al	2.38	2.43	2.42	2.42	2.41	2.42	2.40	2.40
alm(Fe)	78.51	73.44	73.14	73.11	73.82	72.88	77.36	76.65
spe(Mn)	2.20	2.10	1.96	2.05	1.91	1.98	2.37	2.08
py(Mg)	16.95	22.05	22.57	22.59	21.84	22.90	17.86	18.99
gro(Ca)	2.35	2.41	2.33	2.25	2.43	2.24	2.40	2.28
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J27(1)bcd	J27(1)bcd	J27(2)bcd	J27(2)bbt	J27(2)bbt	J27(2)bcd	J27(2)- bbt	J27(2)bcd
	<i>137</i>	<i>138</i>	<i>139</i>	<i>140</i>	<i>141</i>	<i>142</i>	<i>143</i>	<i>144</i>
SiO ₂	39.02	38.74	38.33	38.12	38.48	38.38	38.21	38.03
Al ₂ O ₃	21.81	21.80	21.56	21.60	21.52	21.55	21.59	21.48
FeO	30.57	29.63	32.03	32.07	32.13	32.64	32.39	31.97
MnO	0.81	0.76	1.13	1.20	1.21	1.13	1.02	1.03
MgO	8.27	8.56	6.48	6.21	6.40	6.13	6.44	6.09
CaO	0.89	0.95	0.98	0.92	0.97	0.90	0.90	0.91
Total	101.36	100.43	100.50	100.12	100.71	100.74	100.55	99.51
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.65	0.64	0.64	0.63	0.64	0.64	0.64	0.63
Al ₂ O ₃	0.73	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.71
FeO	0.51	0.49	0.53	0.53	0.53	0.54	0.54	0.53
MnO	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.14	0.14	0.11	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10
CaO	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.54	2.54	2.53	2.52	2.53	2.53	2.52	2.53
Al _{IV}	0.46	0.46	0.47	0.48	0.47	0.47	0.48	0.47
Al _{VI}	2.39	2.41	2.37	2.38	2.37	2.37	2.37	2.38
Fe ²⁺	1.99	1.95	2.11	2.12	2.12	2.15	2.14	2.13
Mn	0.05	0.05	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07
Mg	0.54	0.56	0.43	0.41	0.42	0.40	0.42	0.40
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Soma íons	2.64	2.62	2.68	2.67	2.68	2.69	2.69	2.66
Total Si	2.54	2.54	2.53	2.52	2.53	2.53	2.52	2.53
Total Al	2.39	2.41	2.37	2.38	2.37	2.37	2.37	2.38
alm(Fe)	75.41	74.27	78.86	79.39	78.91	80.00	79.49	79.92
spe(Mn)	2.00	1.89	2.78	2.97	2.98	2.77	2.50	2.57
py(Mg)	20.39	21.45	15.94	15.37	15.72	15.03	15.81	15.22
gro(Ca)	2.20	2.39	2.42	2.27	2.39	2.21	2.20	2.28
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J27(2)pc	J27(2)c	J27(2)pc	J27(2)bcd	J27(2)bcd	J27(2)bcd	J27(2)bcd	J27(2)bcd
	<i>145</i>	<i>146</i>	<i>147</i>	<i>148</i>	<i>149</i>	<i>150</i>	<i>151</i>	<i>152</i>
SiO ₂	38.31	38.27	38.31	38.20	38.22	38.62	37.88	38.10
Al ₂ O ₃	21.53	21.55	21.48	21.50	21.74	21.61	21.47	21.42
FeO	30.95	30.99	31.11	33.03	31.42	30.37	33.43	31.81
MnO	1.02	1.03	0.98	1.16	1.04	0.98	1.11	1.06
MgO	7.38	7.03	6.64	5.95	7.00	7.49	5.54	6.00
CaO	0.91	0.96	0.97	0.95	0.92	0.93	0.92	0.96
Total	100.10	99.83	99.49	100.80	100.34	100.01	100.36	99.34
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63	0.63
Al ₂ O ₃	0.72	0.72	0.71	0.72	0.72	0.72	0.71	0.71
FeO	0.51	0.52	0.52	0.55	0.52	0.51	0.56	0.53
MnO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
MgO	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12	0.12	0.09	0.10
CaO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.53	2.53	2.54	2.52	2.52	2.55	2.51	2.54
Al _{IV}	0.47	0.47	0.46	0.48	0.48	0.45	0.49	0.46
Al _{VI}	2.38	2.39	2.40	2.35	2.39	2.40	2.35	2.39
Fe ²⁺	2.05	2.05	2.07	2.18	2.07	2.00	2.21	2.12
Mn	0.07	0.07	0.06	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07
Mg	0.49	0.47	0.44	0.39	0.46	0.49	0.37	0.40
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Soma íons	2.66	2.65	2.64	2.71	2.66	2.62	2.72	2.65
Total Si	2.53	2.53	2.54	2.52	2.52	2.55	2.51	2.54
Total Al	2.38	2.39	2.40	2.35	2.39	2.40	2.35	2.39
alm(Fe)	76.88	77.46	78.37	80.38	77.82	76.36	81.54	79.87
spe(Mn)	2.54	2.57	2.46	2.83	2.57	2.47	2.70	2.65
py(Mg)	18.33	17.57	16.72	14.48	17.33	18.83	13.52	15.06
gro(Ca)	2.26	2.40	2.45	2.31	2.28	2.33	2.25	2.42
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J28(1)bpl	J28(1)bpl	J28(1)bcd	J28(1)bcd	J28(1)bcd	J28(1)bcd	J28(1)c	J28(1)bpl
	153	154	155	156	157	158	159	160
SiO ₂	37.66	37.90	37.65	37.63	37.76	37.51	37.85	37.89
Al ₂ O ₃	21.32	21.27	21.41	21.42	21.20	21.48	21.36	21.49
FeO	33.95	33.62	34.45	33.80	34.62	35.13	34.09	34.29
MnO	2.10	2.04	2.19	2.03	2.18	2.04	1.93	1.96
MgO	3.93	4.12	3.82	4.03	3.68	3.83	4.23	4.37
CaO	1.00	0.92	1.00	1.00	0.96	1.00	0.94	0.99
Total	99.95	99.87	100.52	99.91	100.39	100.99	100.40	100.99
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.62	0.63	0.63
Al ₂ O ₃	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.72
FeO	0.57	0.56	0.57	0.56	0.58	0.58	0.57	0.57
MnO	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03
MgO	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07
CaO	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	2.51	2.52	2.50	2.50	2.51	2.48	2.51	2.50
Al _{IV}	0.49	0.48	0.50	0.50	0.49	0.52	0.49	0.50
Al _{VI}	2.35	2.35	2.34	2.35	2.33	2.32	2.34	2.34
Fe ²⁺	2.26	2.24	2.28	2.25	2.30	2.32	2.26	2.26
Mn	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13
Mg	0.26	0.27	0.25	0.27	0.24	0.25	0.28	0.29
Ca	0.07	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07
Soma íons	2.73	2.71	2.75	2.72	2.75	2.78	2.73	2.75
Total Si	2.51	2.52	2.50	2.50	2.51	2.48	2.51	2.50
Total Al	2.35	2.35	2.34	2.35	2.33	2.32	2.34	2.34
alm(Fe)	82.85	82.60	83.10	82.73	83.56	83.65	82.78	82.41
spe(Mn)	5.11	5.01	5.27	4.97	5.26	4.85	4.68	4.72
py(Mg)	9.60	10.13	9.21	9.86	8.88	9.12	10.27	10.50
gro(Ca)	2.44	2.26	2.42	2.44	2.31	2.39	2.27	2.37
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.1- Continuação das Análises de Granada

Porcentagem em óxidos	J28(1)bpl	J28(1)bpl	J28(1)bpl	J28(1)bpl
	<i>161</i>	<i>162</i>	<i>163</i>	<i>164</i>
SiO ₂	37.50	37.96	37.58	37.64
Al ₂ O ₃	21.30	21.26	21.23	21.38
FeO	34.08	34.83	33.79	33.88
MnO	2.22	2.14	2.07	2.05
MgO	3.47	3.53	3.82	3.90
CaO	1.00	0.98	0.99	0.98
Total	99.56	100.70	99.47	99.82
<i>Número de cátions normalizados para 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>				
SiO ₂	0.62	0.63	0.63	0.63
Al ₂ O ₃	0.71	0.71	0.71	0.71
FeO	0.57	0.58	0.56	0.56
MnO	0.04	0.04	0.03	0.03
MgO	0.06	0.06	0.06	0.06
CaO	0.02	0.02	0.02	0.02
<i>Número de íons com base em 12 oxigênios por unidade de fórmula</i>				
Si	2.50	2.51	2.51	2.51
Al _{IV}	0.50	0.49	0.49	0.49
Al _{VI}	2.35	2.33	2.35	2.35
Fe ²⁺	2.28	2.31	2.26	2.26
Mn	0.15	0.14	0.14	0.14
Mg	0.23	0.23	0.26	0.26
Ca	0.07	0.06	0.07	0.07
Soma íons	2.72	2.75	2.72	2.72
Total Si	2.50	2.51	2.51	2.51
Total Al	2.35	2.33	2.35	2.35
alm(Fe)	83.60	83.97	83.09	83.02
spe(Mn)	5.45	5.15	5.09	5.02
py(Mg)	8.50	8.52	9.39	9.54
gro(Ca)	2.45	2.36	2.44	2.41
Soma	100.00	100.00	100.00	100.00

Anexo IX.1.2- Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J4 bgd	J4 bgd	J4 bgd	J4 c	J4 c	J4 c	J4 bcd	J4 bcd
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	36.77	36.48	35.48	35.87	35.77	34.86	35.24	36.56
TiO ₂	3.64	3.61	3.63	3.76	3.82	3.70	3.60	3.14
Al ₂ O ₃	18.40	18.07	18.64	18.58	18.42	18.75	17.94	19.84
FeO	20.45	20.06	20.32	20.03	20.37	19.50	20.93	19.37
MnO	0.07	0.03	0.04	0.11	0.12	0.09	0.01	0.06
MgO	8.28	8.47	8.11	8.24	8.16	8.10	8.21	8.12
CaO	0.02	0.03	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05
Na ₂ O	0.19	0.19	0.17	0.20	0.22	0.21	0.15	0.23
K ₂ O	8.52	8.52	8.50	8.51	8.67	8.77	8.50	8.69
F	0.17	0.20	0.22	0.38	0.38	0.39	0.34	0.38
Cl	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
O=F	0.07	0.08	0.09	0.16	0.16	0.16	0.14	0.16
O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	4.17	4.12	4.08	4.01	4.01	3.95	3.98	4.06
Total	100.62	99.71	99.15	99.53	99.78	98.17	98.77	100.35
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.18	5.19	5.08	5.13	5.12	5.05	5.10	5.16
TiO ₂	0.39	0.39	0.39	0.40	0.41	0.40	0.39	0.33
Al ₂ O ₃	3.06	3.03	3.15	3.13	3.11	3.21	3.06	3.30
FeO	2.41	2.39	2.44	2.40	2.44	2.37	2.53	2.29
MnO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
MgO	1.74	1.79	1.73	1.76	1.74	1.75	1.77	1.71
CaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na ₂ O	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.04	0.06
K ₂ O	1.53	1.55	1.55	1.55	1.58	1.62	1.57	1.57
H ₂ O	3.92	3.91	3.90	3.83	3.83	3.82	3.84	3.83
F	0.07	0.09	0.10	0.17	0.17	0.18	0.16	0.17
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
%H ₂ O	4.17	4.12	4.08	4.01	4.01	3.95	3.98	4.06
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X	1.59	1.60	1.61	1.61	1.64	1.68	1.61	1.64
Y	4.16	4.18	4.17	4.17	4.19	4.13	4.30	4.01
AlZ(iv)	2.82	2.81	2.92	2.87	2.88	2.95	2.90	2.84
AlY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TY	4.55	4.57	4.56	4.57	4.60	4.53	4.70	4.34
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	4.16	4.18	4.17	4.17	4.19	4.13	4.30	4.01
M2	0.39	0.39	0.39	0.40	0.41	0.40	0.39	0.33
Classificação	Biotita							

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J10(1)		J10(1)		J13b bcd	J13b c	J16 bbt	J16 bbt	J16 bbt
	J10(1) c	bgd	bgd	bgd					
	9	10	11	12	13	14	15	16	
SiO ₂	35.69	36.77	35.49	35.30	35.71	37.04	35.75	36.36	
TiO ₂	3.80	3.67	3.65	3.62	3.79	2.85	2.78	2.79	
Al ₂ O ₃	18.72	18.40	18.34	17.95	18.70	18.08	18.24	18.33	
FeO	20.35	20.42	18.32	20.84	20.35	17.83	18.71	18.93	
MnO	0.12	0.07	0.11	0.02	0.12	0.06	0.02	0.03	
MgO	8.17	8.25	10.51	8.26	8.17	10.67	10.63	10.38	
CaO	0.01	0.02	0.06	0.02	0.01	0.05	0.06	0.08	
Na ₂ O	0.22	0.19	0.15	0.17	0.22	0.15	0.10	0.14	
K ₂ O	8.67	8.52	9.05	8.81	8.67	8.66	8.65	8.57	
F	0.38	0.17	0.08	0.37	0.38	0.04	0.14	0.12	
Cl	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
O=F	0.16	0.07	0.03	0.16	0.16	0.02	0.06	0.05	
O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
H ₂ O ⁺	4.02	4.17	4.20	3.97	4.02	4.25	4.14	4.19	
Total	99.99	100.59	99.92	99.18	99.98	99.65	99.15	99.84	
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>									
SiO ₂	5.10	5.19	5.02	5.10	5.10	5.20	5.09	5.13	
TiO ₂	0.41	0.39	0.39	0.39	0.41	0.30	0.30	0.30	
Al ₂ O ₃	3.15	3.06	3.06	3.06	3.15	2.99	3.06	3.05	
FeO	2.43	2.41	2.17	2.52	2.43	2.10	2.23	2.24	
MnO	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	
MgO	1.74	1.73	2.22	1.78	1.74	2.23	2.25	2.18	
CaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	
Na ₂ O	0.06	0.05	0.04	0.05	0.06	0.04	0.03	0.04	
K ₂ O	1.58	1.53	1.63	1.62	1.58	1.55	1.57	1.54	
H ₂ O	3.83	3.92	3.97	3.83	3.83	3.98	3.94	3.95	
F	0.17	0.07	0.03	0.17	0.17	0.02	0.06	0.05	
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
%H ₂ O	4.02	4.17	4.20	3.97	4.02	4.25	4.14	4.19	
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	
X	1.64	1.59	1.68	1.67	1.64	1.60	1.61	1.59	
Y	4.18	4.15	4.40	4.30	4.18	4.34	4.48	4.42	
AlZ(iv)	2.90	2.81	2.98	2.90	2.90	2.80	2.91	2.87	
AlY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
TY	4.59	4.54	4.78	4.69	4.59	4.64	4.78	4.72	
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	
M1	4.18	4.15	4.40	4.30	4.18	4.34	4.48	4.42	
M2	0.41	0.39	0.39	0.39	0.41	0.30	0.30	0.30	
Classificação	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J16 bbt	J16 c	J16 c	J16 c	J16 bpl	J16 bpl	J18 bbt	J18 bbt
	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	36.59	36.65	35.03	34.67	35.68	35.75	35.29	36.39
TiO ₂	2.90	3.53	3.49	3.48	2.63	3.38	1.25	1.02
Al ₂ O ₃	18.39	18.40	17.96	18.28	18.12	18.33	19.48	19.75
FeO	17.98	18.32	18.40	18.32	17.97	18.42	16.75	16.05
MnO	0.01	0.06	0.00	0.11	0.08	0.11	0.07	0.25
MgO	10.48	10.40	10.31	10.51	11.21	10.48	12.26	12.82
CaO	0.05	0.03	0.06	0.06	0.06	0.08	0.03	0.05
Na ₂ O	0.08	0.11	0.14	0.15	0.19	0.21	0.25	0.25
K ₂ O	9.14	9.10	8.99	9.05	8.56	8.83	8.92	8.34
F	0.09	0.21	0.24	0.08	0.10	0.16	0.79	0.97
Cl	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.20
O=F	0.04	0.09	0.10	0.03	0.04	0.07	0.33	0.41
O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05
H ₂ O ⁺	4.21	4.18	4.06	4.15	4.16	4.16	3.73	3.69
Total	99.87	100.91	98.57	98.82	98.71	99.82	98.66	99.33
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.15	5.13	5.03	4.96	5.08	5.06	5.09	5.19
TiO ₂	0.31	0.37	0.38	0.37	0.28	0.36	0.14	0.11
Al ₂ O ₃	3.05	3.04	3.04	3.08	3.04	3.06	3.31	3.32
FeO	2.12	2.15	2.21	2.19	2.14	2.18	2.02	1.92
MnO	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
MgO	2.20	2.17	2.21	2.24	2.38	2.21	2.64	2.72
CaO	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
Na ₂ O	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07
K ₂ O	1.64	1.63	1.65	1.65	1.55	1.59	1.64	1.52
H ₂ O	3.96	3.91	3.89	3.97	3.96	3.93	3.59	3.51
F	0.04	0.09	0.11	0.03	0.04	0.07	0.36	0.44
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05
%H ₂ O	4.21	4.18	4.06	4.15	4.16	4.16	3.73	3.69
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X	1.67	1.66	1.70	1.70	1.61	1.66	1.72	1.60
Y	4.32	4.33	4.42	4.45	4.53	4.40	4.67	4.67
AlZ(iv)	2.85	2.87	2.97	3.04	2.92	2.94	2.91	2.81
AlY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TY	4.63	4.70	4.80	4.82	4.81	4.76	4.80	4.78
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	4.32	4.33	4.42	4.45	4.53	4.40	4.67	4.67
M2	0.31	0.37	0.38	0.37	0.28	0.36	0.14	0.11
Classificação	Biotita							

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J19(1) bgd	J19(1) bgd	J19(1) bgd	J19 (1) c	J19(1) c	J21 (2) bgd	J21 (2) bgd	J21 (2) bgd
	25	26	27	28	29	30	31	32
SiO ₂	35.46	35.33	35.48	35.89	34.84	34.96	35.72	36.37
TiO ₂	4.41	4.08	5.11	4.49	4.74	1.30	1.27	1.20
Al ₂ O ₃	14.79	15.28	14.70	14.51	15.05	20.61	20.19	20.43
FeO	28.00	29.49	26.92	28.76	27.92	16.34	16.48	16.26
MnO	0.31	0.25	0.29	0.33	0.29	0.13	0.25	0.04
MgO	4.01	4.24	3.81	4.02	4.03	12.49	12.36	12.46
CaO	0.09	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
Na ₂ O	0.05	0.06	0.07	0.07	0.04	0.15	0.11	0.14
K ₂ O	8.19	7.24	8.87	8.75	8.86	9.15	9.10	9.13
F	0.30	0.27	0.11	0.28	0.32	0.38	0.18	0.05
Cl	0.02	0.04	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00
O=F	0.13	0.11	0.05	0.12	0.13	0.16	0.08	0.02
O=Cl	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	3.89	3.93	3.99	3.94	3.88	4.05	4.18	4.29
Total	99.39	100.11	99.37	100.96	99.88	99.45	99.80	100.40
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.26	5.21	5.24	5.27	5.17	4.95	5.02	5.05
TiO ₂	0.49	0.45	0.57	0.50	0.53	0.14	0.13	0.13
Al ₂ O ₃	2.59	2.65	2.56	2.51	2.63	3.44	3.34	3.35
FeO	3.48	3.64	3.33	3.54	3.47	1.94	1.94	1.89
MnO	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.03	0.00
MgO	0.89	0.93	0.84	0.88	0.89	2.63	2.59	2.58
CaO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
Na ₂ O	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.03	0.04
K ₂ O	1.55	1.36	1.67	1.64	1.68	1.65	1.63	1.62
H ₂ O	3.85	3.86	3.94	3.87	3.84	3.83	3.92	3.98
F	0.14	0.13	0.05	0.13	0.15	0.17	0.08	0.02
Cl	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
%H ₂ O	3.89	3.93	3.99	3.94	3.88	4.05	4.18	4.29
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X	1.58	1.38	1.70	1.67	1.69	1.70	1.66	1.66
Y	4.40	4.60	4.20	4.46	4.39	4.58	4.55	4.47
AlZ(iv)	2.74	2.79	2.76	2.73	2.83	3.05	2.98	2.95
AlY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TY	4.89	5.05	4.77	4.95	4.92	4.72	4.69	4.60
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	4.40	4.60	4.20	4.46	4.39	4.58	4.55	4.47
M2	0.49	0.45	0.57	0.50	0.53	0.14	0.13	0.13
Classificação	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J21 (2) bgd	J21 (2) bgd	J21 (2) c	J21 (2) c	J21 (2) bpl	J21(2) bpl	J21 (1) bgd	J21 (1) bgd
	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO ₂	36.57	35.53	37.07	37.38	36.33	36.90	36.05	37.72
TiO ₂	1.23	1.24	1.51	1.44	1.65	1.62	1.58	1.54
Al ₂ O ₃	20.25	20.25	19.87	20.13	19.39	20.00	19.51	20.17
FeO	15.74	15.93	16.51	15.93	16.25	16.34	16.94	16.83
MnO	0.12	0.21	0.09	0.06	0.02	0.09	0.18	0.22
MgO	12.49	12.37	11.77	11.86	11.36	11.95	11.91	12.06
CaO	0.05	0.04	0.04	0.05	0.08	0.05	0.07	0.03
Na ₂ O	0.13	0.13	0.16	0.17	0.15	0.11	0.08	0.12
K ₂ O	9.03	9.01	9.11	9.20	8.99	9.12	8.15	9.23
F	0.28	0.21	0.12	0.33	0.36	0.21	0.15	0.37
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00
O=F	0.12	0.09	0.05	0.14	0.15	0.09	0.06	0.15
O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	4.16	4.14	4.25	4.16	4.04	4.20	4.17	2.98
Total	99.93	98.96	100.45	100.56	98.47	100.53	98.74	101.11
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.11	5.02	5.15	5.20	5.16	5.13	5.09	5.37
TiO ₂	0.13	0.13	0.16	0.15	0.18	0.17	0.17	0.17
Al ₂ O ₃	3.33	3.37	3.26	3.30	3.25	3.28	3.25	3.39
FeO	1.84	1.88	1.92	1.85	1.93	1.90	2.00	2.01
MnO	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.03
MgO	2.60	2.60	2.44	2.46	2.41	2.48	2.51	2.56
CaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Na ₂ O	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	0.02	0.03
K ₂ O	1.61	1.62	1.62	1.63	1.63	1.62	1.47	1.68
H ₂ O	3.88	3.91	3.95	3.86	3.84	3.90	3.93	2.83
F	0.12	0.09	0.05	0.14	0.16	0.09	0.07	0.16
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
%H ₂ O	4.16	4.14	4.25	4.16	4.04	4.20	4.17	2.98
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.00
X	1.65	1.66	1.66	1.68	1.68	1.66	1.50	1.71
Y	4.46	4.51	4.37	4.32	4.34	4.39	4.53	4.59
AlZ(iv)	2.89	2.98	2.85	2.80	2.84	2.87	2.91	2.63
AlY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TY	4.59	4.64	4.53	4.47	4.52	4.56	4.70	4.76
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	4.46	4.51	4.37	4.32	4.34	4.39	4.53	4.59
M2	0.13	0.13	0.16	0.15	0.18	0.17	0.17	0.17
Classificação	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J21 (1) bgd	J21 (1) bgd	J21 (1) c	J23 bpl	J23 c	J23 c	J23 bms	J23 bbt
	41	42	43	44	45	46	47	48
SiO ₂	37.47	37.19	36.94	38.09	38.45	38.42	39.46	46.66
TiO ₂	1.48	1.53	1.57	1.61	1.55	1.56	1.51	0.76
Al ₂ O ₃	19.86	20.12	19.92	19.41	19.52	19.80	20.89	35.39
FeO	16.93	17.00	16.49	7.91	7.97	7.79	7.76	0.73
MnO	0.13	0.02	0.09	0.28	0.23	0.23	0.27	0.00
MgO	11.99	12.09	11.73	16.38	16.58	16.55	15.83	1.20
CaO	0.04	0.03	0.06	0.04	0.03	0.06	0.07	0.00
Na ₂ O	0.16	0.15	0.16	0.13	0.13	0.13	0.10	0.40
K ₂ O	9.07	9.22	9.35	10.08	9.91	9.71	9.45	10.76
F	0.20	0.19	0.17	0.87	0.90	0.98	0.91	0.11
Cl	0.01	0.00	0.00	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
O=F	0.08	0.08	0.07	0.37	0.38	0.41	0.38	0.04
O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
H ₂ O ⁺	4.24	4.25	4.23	3.85	3.86	3.82	3.92	4.67
Total	101.50	101.70	100.62	98.35	98.83	98.71	99.87	100.71
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.17	5.13	5.14	5.32	5.34	5.34	5.39	5.89
TiO ₂	0.15	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16	0.16	0.07
Al ₂ O ₃	3.23	3.27	3.27	3.20	3.20	3.24	3.37	5.26
FeO	1.96	1.96	1.92	0.92	0.93	0.91	0.89	0.08
MnO	0.01	0.00	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
MgO	2.47	2.48	2.43	3.41	3.43	3.43	3.22	0.23
CaO	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
Na ₂ O	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.10
K ₂ O	1.60	1.62	1.66	1.80	1.76	1.72	1.65	1.73
H ₂ O	3.91	3.92	3.93	3.59	3.58	3.54	3.58	3.93
F	0.09	0.08	0.07	0.39	0.39	0.43	0.40	0.04
Cl	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
%H ₂ O	4.24	4.25	4.23	3.85	3.86	3.82	3.92	4.67
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X	1.65	1.67	1.71	1.84	1.79	1.77	1.68	1.83
Y	4.44	4.45	4.36	4.37	4.39	4.36	4.14	0.30
AlZ(iv)	2.83	2.87	2.86	2.68	2.66	2.66	2.61	2.11
AlY	0.00	0.00	0.00	0.51	0.54	0.58	0.76	3.15
TY	4.59	4.61	4.53	5.05	5.08	5.10	5.06	3.53
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	4.44	4.45	4.36	4.37	4.39	4.36	4.14	0.30
M2	0.15	0.16	0.16	0.68	0.70	0.75	0.91	3.22
Classificação	Biotita	Biotita	Biotita	Mg- biotita	Mg- biotita	Mg- biotita	Mg- biotita	Muscovita

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J23 bbt	J23 c	J23 c	J23 c	J23 bpl	J23 bpl	J23 bbt	J23 bbt
	49	50	51	52	53	54	55	56
SiO ₂	46.41	46.74	46.60	46.70	46.31	46.93	46.66	46.96
TiO ₂	1.08	1.05	0.79	0.27	0.26	0.43	0.26	0.15
Al ₂ O ₃	34.95	35.20	35.23	35.71	36.11	35.78	35.82	36.43
FeO	0.60	0.53	0.71	0.63	0.58	0.55	0.58	0.64
MnO	0.04	0.02	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.04
MgO	1.11	1.01	1.06	0.98	0.97	1.05	1.03	1.03
CaO	0.01	0.03	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01
Na ₂ O	0.40	0.37	0.45	0.47	0.44	0.39	0.48	0.48
K ₂ O	10.58	10.44	10.58	10.52	10.55	10.48	10.70	10.37
F	0.27	0.01	0.14	0.09	0.05	0.03	0.12	0.05
Cl	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
O=F	0.11	0.00	0.06	0.04	0.02	0.01	0.05	0.02
O=Cl	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
H ₂ O ⁺	4.55	4.72	4.63	4.67	4.69	4.71	4.65	4.73
Total	99.98	100.19	100.22	100.07	100.12	100.44	100.36	100.95
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.91	5.90	5.90	5.91	5.86	5.91	5.90	5.89
TiO ₂	0.10	0.10	0.08	0.03	0.02	0.04	0.02	0.01
Al ₂ O ₃	5.24	5.24	5.26	5.33	5.39	5.31	5.34	5.38
FeO	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
MgO	0.21	0.19	0.20	0.18	0.18	0.20	0.19	0.19
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.10	0.09	0.11	0.11	0.11	0.09	0.12	0.12
K ₂ O	1.72	1.68	1.71	1.70	1.70	1.68	1.73	1.66
H ₂ O	3.87	3.97	3.92	3.94	3.96	3.96	3.93	3.96
F	0.11	0.00	0.06	0.03	0.02	0.01	0.05	0.02
Cl	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
%H ₂ O	4.55	4.72	4.63	4.67	4.69	4.71	4.65	4.73
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X	1.82	1.78	1.82	1.81	1.81	1.78	1.85	1.78
Y	0.28	0.25	0.28	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26
AlZ(iv)	2.09	2.10	2.10	2.09	2.14	2.09	2.10	2.11
AlY	3.15	3.14	3.16	3.24	3.24	3.22	3.24	3.27
TY	3.53	3.48	3.51	3.51	3.52	3.52	3.52	3.55
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	0.28	0.25	0.28	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26
M2	3.25	3.24	3.24	3.26	3.27	3.26	3.26	3.28
Classificação	Muscovita							

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J23 bqz							
	57	58	59	60	61	62	63	64
SiO ₂	47.29	46.69	46.46	37.13	37.16	37.22	35.63	36.87
TiO ₂	0.42	0.57	0.24	4.10	4.14	3.61	4.51	4.93
Al ₂ O ₃	36.24	36.07	35.88	17.12	16.76	17.02	16.81	17.09
FeO	0.63	0.65	0.58	17.90	17.76	17.31	17.57	18.04
MnO	0.09	0.00	0.15	0.04	0.00	0.01	0.01	0.13
MgO	1.02	0.99	1.03	11.47	11.78	12.47	10.69	10.60
CaO	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.41	0.36	0.46	0.14	0.13	0.09	0.13	0.20
K ₂ O	10.68	10.71	10.67	9.30	9.55	9.27	9.49	9.68
F	0.22	0.03	0.12	0.80	0.94	0.98	0.54	0.38
Cl	0.11	0.11	0.11	0.06	0.09	0.05	0.09	0.11
O=F	0.09	0.01	0.05	0.33	0.40	0.41	0.23	0.16
O=Cl	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	4.66	4.73	4.65	3.87	3.79	3.78	3.91	4.10
Total	101.64	100.88	100.30	101.59	101.70	101.39	99.15	101.98
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.92	5.87	5.88	5.23	5.25	5.26	5.13	5.16
TiO ₂	0.04	0.05	0.02	0.43	0.44	0.38	0.49	0.52
Al ₂ O ₃	5.35	5.34	5.35	2.84	2.79	2.83	2.85	2.82
FeO	0.07	0.07	0.06	2.11	2.10	2.05	2.12	2.11
MnO	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
MgO	0.19	0.18	0.20	2.41	2.48	2.62	2.29	2.21
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.10	0.09	0.11	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05
K ₂ O	1.70	1.72	1.72	1.67	1.72	1.67	1.74	1.73
H ₂ O	3.89	3.97	3.93	3.65	3.58	3.56	3.75	3.83
F	0.09	0.01	0.05	0.35	0.42	0.44	0.25	0.17
Cl	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
%H ₂ O	4.66	4.73	4.65	3.87	3.79	3.78	3.91	4.10
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X	1.80	1.81	1.84	1.71	1.76	1.70	1.78	1.78
Y	0.27	0.25	0.27	4.53	4.58	4.67	4.41	4.34
AlZ(iv)	2.08	2.13	2.12	2.77	2.75	2.74	2.87	2.84
AlY	3.26	3.21	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TY	3.57	3.52	3.53	4.96	5.02	5.06	4.90	4.86
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	0.27	0.25	0.27	4.53	4.58	4.67	4.41	4.34
M2	3.30	3.26	3.26	0.43	0.44	0.38	0.49	0.52
Classificação	Muscovita	Muscovita	Muscovita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J26(1)bgd	J26(1)c	J26(1)c	J26(1)bbt	J26(1)bbt	J27(1)bgd	J27(1)c	J27(1)bgz
	65	66	67	68	69	70	71	72
SiO ₂	36.20	36.44	35.93	36.42	36.25	38.41	38.44	38.40
TiO ₂	4.86	4.97	4.82	4.93	5.07	3.13	3.21	2.86
Al ₂ O ₃	17.08	17.35	17.16	17.18	17.31	16.69	16.99	17.02
FeO	18.54	17.39	17.84	17.70	18.35	11.64	11.37	11.50
MnO	0.00	0.00	0.07	0.10	0.05	0.02	0.06	0.03
MgO	10.60	10.54	10.45	10.67	10.69	16.51	16.53	16.87
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.14	0.21	0.19	0.19	0.21	0.13	0.12	0.10
K ₂ O	9.54	9.51	9.39	9.77	9.65	9.40	9.64	9.42
F	0.71	0.42	0.51	0.57	0.47	1.43	1.49	1.46
Cl	0.10	0.13	0.09	0.13	0.09	0.08	0.05	0.03
O=F	0.30	0.18	0.21	0.24	0.20	0.60	0.63	0.62
O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	3.88	4.04	3.96	3.97	4.04	3.59	3.58	3.59
Total	101.36	100.83	100.19	101.39	101.98	100.42	100.84	100.67
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.14	5.14	5.12	5.15	5.09	5.39	5.38	5.38
TiO ₂	0.52	0.53	0.52	0.52	0.54	0.33	0.34	0.30
Al ₂ O ₃	2.86	2.89	2.88	2.86	2.87	2.76	2.80	2.81
FeO	2.20	2.05	2.13	2.09	2.16	1.37	1.33	1.35
MnO	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
MgO	2.24	2.22	2.22	2.25	2.24	3.46	3.45	3.52
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.04	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.03	0.03
K ₂ O	1.73	1.71	1.71	1.76	1.73	1.68	1.72	1.68
H ₂ O	3.68	3.81	3.77	3.74	3.79	3.36	3.34	3.35
F	0.32	0.19	0.23	0.26	0.21	0.64	0.66	0.65
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
%H ₂ O	3.88	4.04	3.96	3.97	4.04	3.59	3.58	3.59
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X	1.77	1.77	1.76	1.81	1.79	1.72	1.75	1.71
Y	4.45	4.27	4.35	4.35	4.40	4.83	4.79	4.87
AlZ(iv)	2.86	2.86	2.88	2.85	2.91	2.61	2.62	2.62
AlY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TY	4.96	4.80	4.87	4.88	4.94	5.16	5.12	5.17
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	4.45	4.27	4.35	4.35	4.40	4.83	4.79	4.87
M2	0.52	0.53	0.52	0.52	0.54	0.33	0.34	0.30
Classificação	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J27(1)bgd		J27(1)bgz		J27(2)bcd		J27(2)bpl	
	73	74	75	76	77	78	79	80
SiO ₂	38.54	38.63	37.89	38.40	37.45	37.83	37.81	38.28
TiO ₂	3.21	3.29	3.63	3.29	5.47	5.24	5.46	5.05
Al ₂ O ₃	17.15	17.01	17.09	16.81	16.48	16.61	16.50	16.77
FeO	12.47	12.35	12.92	11.85	14.64	14.91	15.28	15.58
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.01	0.01
MgO	16.02	15.83	15.21	15.96	12.58	12.52	12.54	12.62
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.13	0.12	0.14	0.16	0.14	0.16	0.18	0.18
K ₂ O	9.51	9.84	9.97	9.74	9.73	9.67	9.68	9.75
F	1.15	1.44	0.98	1.28	0.95	0.87	0.76	0.51
Cl	0.06	0.08	0.08	0.06	0.10	0.08	0.10	0.10
O=F	0.49	0.61	0.41	0.54	0.40	0.37	0.32	0.22
O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	3.77	3.61	3.84	3.67	3.81	3.87	3.94	4.11
Total	101.52	101.59	101.32	100.68	100.97	101.37	101.93	102.72
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.34	5.39	5.28	5.38	5.27	5.29	5.27	5.27
TiO ₂	0.34	0.35	0.38	0.35	0.58	0.55	0.57	0.52
Al ₂ O ₃	2.80	2.80	2.81	2.78	2.73	2.74	2.71	2.72
FeO	1.45	1.44	1.51	1.39	1.72	1.75	1.78	1.80
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
MgO	3.31	3.29	3.16	3.33	2.64	2.61	2.60	2.59
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
K ₂ O	1.68	1.75	1.77	1.74	1.75	1.73	1.72	1.71
H ₂ O	3.49	3.36	3.57	3.43	3.58	3.61	3.66	3.78
F	0.51	0.64	0.43	0.57	0.42	0.39	0.34	0.22
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
%H ₂ O	3.77	3.61	3.84	3.67	3.81	3.87	3.94	4.11
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X	1.72	1.79	1.81	1.78	1.78	1.77	1.77	1.76
Y	4.76	4.74	4.66	4.72	4.37	4.36	4.39	4.39
AlZ(iv)	2.66	2.61	2.72	2.62	2.73	2.71	2.73	2.73
AlY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TY	5.09	5.08	5.04	5.06	4.95	4.91	4.96	4.91
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	4.76	4.74	4.66	4.72	4.37	4.36	4.39	4.39
M2	0.34	0.35	0.38	0.35	0.58	0.55	0.57	0.52
Classificação	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita

Anexo IX.1.2- Continuação das Análises de Mica

Porcentagem em óxidos	J27(2)bgd	J27(2)cd	J28(1)bcd	J28(1)bcd	J28(1)bcd	J28(1)bbt	J28(1)bcd	J28(1)bcd
	81	82	83	84	85	86	87	88
SiO ₂	37.34	37.03	36.57	37.28	36.71	37.11	37.08	36.96
TiO ₂	4.88	4.75	5.67	5.30	5.10	4.97	4.61	4.00
Al ₂ O ₃	15.89	16.27	17.15	17.78	17.61	17.16	17.45	17.82
FeO	15.33	15.88	19.07	18.51	18.58	18.96	18.72	18.72
MnO	0.06	0.15	0.17	0.04	0.06	0.09	0.11	0.14
MgO	11.84	12.97	8.88	8.99	9.14	9.22	9.60	9.79
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.13	0.23	0.16	0.10	0.11	0.12	0.16	0.11
K ₂ O	9.43	9.33	9.64	9.22	9.61	9.74	9.69	9.50
F	0.49	0.83	0.42	0.59	0.68	0.64	0.79	0.67
Cl	0.11	0.05	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.04
O=F	0.21	0.35	0.18	0.25	0.28	0.27	0.33	0.28
O=Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	3.99	3.85	4.05	3.99	3.91	3.94	3.86	3.92
Total	99.27	101.00	101.67	101.62	101.30	101.77	101.83	101.40
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	5.30	5.22	5.16	5.23	5.20	5.24	5.24	5.22
TiO ₂	0.52	0.50	0.60	0.56	0.54	0.53	0.49	0.42
Al ₂ O ₃	2.66	2.70	2.85	2.94	2.94	2.86	2.91	2.97
FeO	1.82	1.87	2.25	2.17	2.20	2.24	2.21	2.21
MnO	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
MgO	2.50	2.73	1.87	1.88	1.93	1.94	2.02	2.06
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.03	0.06	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03
K ₂ O	1.71	1.68	1.73	1.65	1.74	1.76	1.75	1.71
H ₂ O	3.78	3.63	3.81	3.74	3.70	3.72	3.65	3.70
F	0.22	0.37	0.19	0.26	0.30	0.28	0.35	0.30
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
%H ₂ O	3.99	3.85	4.05	3.99	3.91	3.94	3.86	3.92
TOH	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
X	1.74	1.74	1.78	1.68	1.77	1.79	1.79	1.74
Y	4.33	4.62	4.14	4.06	4.14	4.19	4.25	4.29
AlZ(iv)	2.70	2.78	2.84	2.77	2.80	2.76	2.76	2.78
AlY	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TY	4.85	5.12	4.74	4.62	4.68	4.72	4.74	4.72
TZ	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
M1	4.33	4.62	4.14	4.06	4.14	4.19	4.25	4.29
M2	0.52	0.50	0.60	0.56	0.54	0.53	0.49	0.42
Classificação	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita	Biotita

**Anexo IX.1.2- Continuação das
Análises de Mica**

Porcentagem em óxidos	J28(1) pc
	89
SiO ₂	38.24
TiO ₂	1.35
Al ₂ O ₃	20.14
FeO	13.30
MnO	0.33
MgO	13.75
CaO	0.00
Na ₂ O	0.11
K ₂ O	9.80
F	0.26
Cl	0.03
O=F	0.11
O=Cl	0.00
H ₂ O ⁺	4.26
Total	101.44
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>	
SiO ₂	5.23
TiO ₂	0.14
Al ₂ O ₃	3.25
FeO	1.52
MnO	0.04
MgO	2.80
CaO	0.00
Na ₂ O	0.03
K ₂ O	1.71
H ₂ O	3.89
F	0.11
Cl	0.00
%H ₂ O	4.26
TOH	4.00
X	1.74
Y	4.36
AlZ(iv)	2.77
AlY	0.00
TY	4.50
TZ	8.00
M1	4.36
M2	0.14
Classificação	Biotita

Anexo IX.1.3- Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J4 (1) bgd	J4 (1) bgd	J4 (1) bgd	J4 (1) bgd	J4 (1) c	J4 (1) c	J4 (2) bpl	J4 (2) bpl
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	48.45	48.48	48.17	47.77	48.18	48.25	48.06	47.94
TiO ₂	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	33.19	33.19	33.13	33.25	33.09	32.97	33.64	33.85
FeO	9.14	9.88	9.86	10.31	10.04	10.15	9.36	9.44
MnO	0.02	0.33	0.30	0.30	0.29	0.03	0.33	0.32
MgO	7.50	7.40	7.48	7.38	7.34	7.35	7.67	7.72
CaO	0.14	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02
Na ₂ O	0.14	0.12	0.11	0.07	0.15	0.16	0.15	0.14
K ₂ O	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01
Total	98.63	99.43	99.08	99.12	99.11	98.96	99.25	99.42
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	4.99	4.98	4.96	4.93	4.97	4.98	4.93	4.92
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.03	4.02	4.02	4.05	4.02	4.01	4.07	4.09
FeO	0.79	0.85	0.85	0.89	0.87	0.88	0.80	0.81
MnO	0.00	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.03	0.03
MgO	1.15	1.13	1.15	1.14	1.13	1.13	1.17	1.18
CaO	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	4.99	4.98	4.96	4.93	4.97	4.98	4.93	4.92
Al ^{IV}	1.01	1.02	1.04	1.07	1.03	1.02	1.07	1.08
Tring	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	3.02	2.99	2.99	2.98	2.99	2.99	3.01	3.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.15	1.13	1.15	1.14	1.13	1.13	1.17	1.18
Fe ²⁺	0.79	0.85	0.85	0.89	0.87	0.88	0.80	0.81
Mn ²⁺	0.00	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.03	0.03
T ^{VI}	1.94	2.01	2.02	2.05	2.02	2.01	2.01	2.02
Ca ²⁺	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.03	0.03
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03
XMg	59.38	57.15	57.46	56.05	56.56	56.34	59.33	59.29
XFe	40.62	42.85	42.54	43.95	43.44	43.66	40.67	40.71

Anexo IX.1.3- Continuação das Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J4 (2) bpl	J4 (2) bpl	J4 (2) c	J4 (2) c	J4 (2) bbt	J10 (1) bgd	J10 (1) bgd	J10 (1) bgd
	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	47.31	48.10	47.75	47.71	48.27	48.30	47.99	47.91
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	33.66	33.68	33.81	33.63	33.65	33.73	34.00	34.03
FeO	9.70	9.81	9.70	9.53	9.39	7.68	8.16	8.24
MnO	0.32	0.21	0.31	0.34	0.33	0.03	0.13	0.03
MgO	7.78	7.74	7.74	7.65	7.66	9.00	8.92	8.92
CaO	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02
Na ₂ O	0.16	0.18	0.12	0.12	0.14	0.11	0.06	0.13
K ₂ O	0.00	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Total	98.96	99.74	99.45	99.00	99.49	98.89	99.27	99.27
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	4.89	4.92	4.90	4.92	4.94	4.93	4.90	4.89
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.10	4.06	4.09	4.09	4.06	4.06	4.09	4.10
FeO	0.84	0.84	0.83	0.82	0.80	0.66	0.70	0.70
MnO	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00
MgO	1.20	1.18	1.18	1.18	1.17	1.37	1.36	1.36
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	4.89	4.92	4.90	4.92	4.94	4.93	4.90	4.89
Al ^{IV}	1.11	1.08	1.10	1.08	1.06	1.07	1.10	1.11
Tring	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	2.98	2.99	2.99	3.00	3.01	2.99	2.99	2.98
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.20	1.18	1.18	1.18	1.17	1.37	1.36	1.36
Fe ²⁺	0.84	0.84	0.83	0.82	0.80	0.66	0.70	0.70
Mn ²⁺	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.00	0.01	0.00
T ^{VI}	2.06	2.04	2.04	2.03	2.00	2.03	2.06	2.06
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.04	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.03
XMg	58.83	58.40	58.69	58.86	59.23	67.60	66.04	65.86
XFe	41.17	41.60	41.31	41.14	40.77	32.40	33.96	34.14

Anexo IX.1.3- Continuação das Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J10 (1) c	J10 (1) c	J10(2) bgd	J10(2) bgd	J10(2) bgd	J10(2) bgd	J13b(1) bgd	J13b(1) bgd
	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	48.00	47.71	47.82	48.34	47.81	48.30	48.44	48.45
TiO ₂	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	33.80	33.72	34.23	33.84	33.86	34.02	33.91	34.15
FeO	8.27	8.91	8.13	7.62	8.25	8.52	8.36	8.10
MnO	0.12	0.01	0.06	0.15	0.01	0.06	0.59	0.47
MgO	8.50	8.16	8.76	9.02	8.40	8.88	8.37	8.50
CaO	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.05
Na ₂ O	0.10	0.07	0.07	0.09	0.09	0.13	0.12	0.14
K ₂ O	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Total	98.81	98.72	99.10	99.08	98.46	99.94	99.80	99.85
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	4.92	4.91	4.89	4.93	4.92	4.90	4.93	4.92
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.08	4.09	4.12	4.07	4.10	4.07	4.07	4.09
FeO	0.71	0.77	0.69	0.65	0.71	0.72	0.71	0.69
MnO	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.04
MgO	1.30	1.25	1.33	1.37	1.29	1.34	1.27	1.29
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	4.92	4.91	4.89	4.93	4.92	4.90	4.93	4.92
Al ^{IV}	1.08	1.09	1.11	1.07	1.08	1.10	1.07	1.08
Tring	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	3.01	3.01	3.01	2.99	3.02	2.97	2.99	3.01
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.30	1.25	1.33	1.37	1.29	1.34	1.27	1.29
Fe ²⁺	0.71	0.77	0.69	0.65	0.71	0.72	0.71	0.69
Mn ²⁺	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.04
T ^{VI}	2.02	2.02	2.03	2.03	2.00	2.07	2.03	2.01
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Na ⁺	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
XMg	64.65	62.00	65.76	67.83	64.47	64.99	64.06	65.14
XFe	35.35	38.00	34.24	32.17	35.53	35.01	35.94	34.86

Anexo IX.1.3- Continuação das Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J13b(1) bgd	J13b(1) bgd	J13b(1) c	J13b(1) c	J13b(2) bgd	J13b(2) bgd	J13b(2) bgd	J13b(2) bgd
	25	26	27	28	29	30	31	32
SiO ₂	48.57	47.89	48.08	48.43	48.64	48.53	47.89	49.11
TiO ₂	0.00	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02
Al ₂ O ₃	33.82	33.97	33.58	33.97	33.88	33.78	33.53	33.99
FeO	8.52	8.36	8.54	8.40	8.01	8.29	8.14	8.55
MnO	0.58	0.60	0.50	0.58	0.50	0.54	0.48	0.40
MgO	8.25	8.49	8.27	8.20	8.61	8.44	8.15	8.52
CaO	0.01	0.02	0.02	0.03	0.01	0.00	0.06	0.02
Na ₂ O	0.13	0.01	0.17	0.17	0.10	0.11	0.09	0.08
K ₂ O	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
Total	99.89	99.47	99.18	99.79	99.77	99.71	98.36	100.68
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	4.94	4.90	4.93	4.93	4.94	4.94	4.94	4.95
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.05	4.09	4.06	4.08	4.05	4.05	4.08	4.04
FeO	0.73	0.72	0.73	0.72	0.68	0.71	0.70	0.72
MnO	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03
MgO	1.25	1.29	1.26	1.24	1.30	1.28	1.25	1.28
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Na ₂ O	0.03	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	4.94	4.90	4.93	4.93	4.94	4.94	4.94	4.95
Al ^{IV}	1.06	1.10	1.07	1.07	1.06	1.06	1.06	1.05
Tring	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	2.99	2.99	2.98	3.00	2.99	2.99	3.01	2.99
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.25	1.29	1.26	1.24	1.30	1.28	1.25	1.28
Fe ²⁺	0.73	0.72	0.73	0.72	0.68	0.71	0.70	0.72
Mn ²⁺	0.05	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.03
T ^{VI}	2.02	2.06	2.04	2.01	2.03	2.03	2.00	2.03
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Na ⁺	0.03	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.03	0.00	0.04	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02
XMg	63.29	64.39	63.28	63.48	65.67	64.43	64.07	63.97
XFe	36.71	35.61	36.72	36.52	34.33	35.57	35.93	36.03

Anexo IX.1.3- Continuação das Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J13b(2) bgd	J13b(2) bpl	J13b(2) bpl	J13b(2) bpl	J13b(2) bpl	J25(1)bbt	J25(1)pc	J25(1)c
	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO ₂	47.55	47.80	48.03	47.78	47.83	48.36	48.60	48.12
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	34.05	33.91	33.60	33.97	34.16	33.45	33.84	33.21
FeO	8.56	8.34	8.21	8.15	8.47	8.84	9.14	9.06
MnO	0.44	0.58	0.64	0.60	0.50	0.12	0.14	0.12
MgO	8.42	8.24	8.24	8.29	8.27	7.70	8.01	7.68
CaO	0.02	0.03	0.01	0.04	0.03	0.00	0.02	0.01
Na ₂ O	0.10	0.12	0.10	0.12	0.09	0.09	0.10	0.09
K ₂ O	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01
Total	99.15	99.02	98.84	98.94	99.36	98.57	99.85	98.29
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	4.88	4.90	4.93	4.90	4.89	4.98	4.95	4.97
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.12	4.10	4.07	4.11	4.12	4.06	4.06	4.05
FeO	0.74	0.72	0.71	0.70	0.72	0.76	0.78	0.78
MnO	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04	0.01	0.01	0.01
MgO	1.29	1.26	1.26	1.27	1.26	1.18	1.22	1.18
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	4.88	4.90	4.93	4.90	4.89	4.98	4.95	4.97
Al ^{IV}	1.12	1.10	1.07	1.10	1.11	1.02	1.05	1.03
Tring	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	2.99	3.00	3.00	3.01	3.01	3.03	3.01	3.02
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.29	1.26	1.26	1.27	1.26	1.18	1.22	1.18
Fe ²⁺	0.74	0.72	0.71	0.70	0.72	0.76	0.78	0.78
Mn ²⁺	0.04	0.05	0.06	0.05	0.04	0.01	0.01	0.01
T ^{VI}	2.06	2.03	2.02	2.02	2.03	1.95	2.01	1.98
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
XMg	63.65	63.76	64.11	64.42	63.49	60.80	60.97	60.16
XFe	36.35	36.24	35.89	35.58	36.51	39.20	39.03	39.84

Anexo IX.1.3- Continuação das Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J25(1)bbt	J25(1)pc	J25(1)c	J25(1)bzq	J25(1)pc	J25(1)c	J25(1)bbt	J26(1)bgd
	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>
SiO ₂	47.98	47.93	48.10	48.24	48.49	47.76	48.05	48.37
TiO ₂	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	33.49	33.30	33.37	33.45	33.70	33.41	33.18	33.66
FeO	9.81	8.90	8.61	9.02	9.22	8.92	8.98	7.96
MnO	0.13	0.10	0.09	0.03	0.12	0.09	0.13	0.09
MgO	7.62	7.63	7.86	7.70	7.68	7.68	7.70	8.45
CaO	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.04
Na ₂ O	0.02	0.06	0.05	0.01	0.05	0.06	0.04	0.11
K ₂ O	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
Total	99.09	97.92	98.09	98.47	99.29	97.92	98.10	98.70
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	4.94	4.97	4.97	4.97	4.96	4.95	4.97	4.95
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.06	4.07	4.06	4.06	4.07	4.08	4.05	4.06
FeO	0.84	0.77	0.74	0.78	0.79	0.77	0.78	0.68
MnO	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	1.17	1.18	1.21	1.18	1.17	1.19	1.19	1.29
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	4.94	4.97	4.97	4.97	4.96	4.95	4.97	4.95
Al ^{IV}	1.06	1.03	1.03	1.03	1.04	1.05	1.03	1.05
Tring	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	3.00	3.03	3.03	3.03	3.03	3.03	3.02	3.02
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.17	1.18	1.21	1.18	1.17	1.19	1.19	1.29
Fe ²⁺	0.84	0.77	0.74	0.78	0.79	0.77	0.78	0.68
Mn ²⁺	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
T ^{VI}	2.02	1.96	1.96	1.96	1.97	1.97	1.98	1.98
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03
XMg	58.03	60.41	61.91	60.33	59.71	60.53	60.43	65.38
XFe	41.97	39.59	38.09	39.67	40.29	39.47	39.57	34.62

Anexo IX.1.3- Continuação das Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J26(1)bgd	J26(1)bgd	J26(1)bgd	J26(1)pc	J26(1)c	J26(1)bbt	J27(1)bbt	J27(1)bgd
	49	50	51	52	53	54	55	56
SiO ₂	48.17	48.24	48.38	48.47	48.22	48.71	48.81	48.71
TiO ₂	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	33.76	33.62	33.61	33.40	33.33	33.68	33.77	33.98
FeO	7.42	8.01	8.12	8.03	7.85	8.17	6.28	6.31
MnO	0.08	0.13	0.03	0.16	0.01	0.13	0.00	0.03
MgO	8.71	8.51	8.27	8.01	8.14	8.42	9.00	9.16
CaO	0.04	0.01	0.02	0.03	0.02	0.01	0.02	0.00
Na ₂ O	0.08	0.10	0.13	0.10	0.14	0.09	0.08	0.09
K ₂ O	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	98.26	98.65	98.56	98.20	97.70	99.20	97.96	98.28
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	4.94	4.95	4.96	4.99	4.98	4.97	4.99	4.97
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.08	4.06	4.06	4.05	4.06	4.05	4.07	4.08
FeO	0.64	0.69	0.70	0.69	0.68	0.70	0.54	0.54
MnO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
MgO	1.33	1.30	1.26	1.23	1.25	1.28	1.37	1.39
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	4.94	4.95	4.96	4.99	4.98	4.97	4.99	4.97
Al ^{IV}	1.06	1.05	1.04	1.01	1.02	1.03	1.01	1.03
Tring	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	3.03	3.01	3.03	3.04	3.04	3.01	3.06	3.05
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.33	1.30	1.26	1.23	1.25	1.28	1.37	1.39
Fe ²⁺	0.64	0.69	0.70	0.69	0.68	0.70	0.54	0.54
Mn ²⁺	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
T ^{VI}	1.98	2.00	1.96	1.93	1.93	1.99	1.91	1.93
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02
XMg	67.62	65.41	64.46	64.00	64.87	64.73	71.86	72.10
XFe	32.38	34.59	35.54	36.00	35.13	35.27	28.14	27.90

Anexo IX.1.3- Continuação das Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J27(1)bgd	J27(1)bgd	J27(1)bgd	J27(1)pc	J27(1)c	J27(1)c	J27(1)bbt	J27(2)bgd
	57	58	59	60	61	62	63	64
SiO ₂	48.75	48.47	48.35	48.76	48.47	48.27	48.51	48.20
TiO ₂	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03
Al ₂ O ₃	34.05	33.73	33.76	33.75	33.57	33.67	33.54	33.53
FeO	6.42	6.96	7.07	6.91	6.68	6.54	6.70	6.15
MnO	0.06	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	0.07	0.03
MgO	9.41	8.76	8.76	8.98	8.78	9.19	9.16	9.27
CaO	0.00	0.03	0.03	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02
Na ₂ O	0.08	0.07	0.07	0.07	0.09	0.05	0.06	0.11
K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01
Total	98.78	98.07	98.08	98.51	97.64	97.78	98.04	97.33
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	4.95	4.97	4.96	4.97	4.98	4.95	4.97	4.96
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.08	4.08	4.08	4.06	4.07	4.07	4.05	4.07
FeO	0.55	0.60	0.61	0.59	0.57	0.56	0.57	0.53
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
MgO	1.42	1.34	1.34	1.37	1.34	1.41	1.40	1.42
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	4.95	4.97	4.96	4.97	4.98	4.95	4.97	4.96
Al ^{IV}	1.05	1.03	1.04	1.03	1.02	1.05	1.03	1.04
Tring	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	3.03	3.04	3.04	3.03	3.05	3.03	3.02	3.03
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.42	1.34	1.34	1.37	1.34	1.41	1.40	1.42
Fe ²⁺	0.55	0.60	0.61	0.59	0.57	0.56	0.57	0.53
Mn ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
T ^{VI}	1.97	1.94	1.95	1.96	1.92	1.97	1.98	1.95
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03
XMg	72.32	69.16	68.81	69.84	70.05	71.44	70.90	72.86
XFe	27.68	30.84	31.19	30.16	29.95	28.56	29.10	27.14

Anexo IX.1.3- Continuação das Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J27(2)bgd	J27(2)bbt	J27(2)bgz	J27(2)c	J27(2)bgd	J28(2)bgd	J28(2)bgd	J28(2)bgd
	65	66	67	68	69	70	71	72
SiO ₂	48.35	47.81	47.92	47.82	47.76	47.66	47.88	47.50
TiO ₂	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02
Al ₂ O ₃	33.67	33.44	33.75	33.61	33.51	33.54	33.29	33.63
FeO	6.03	6.26	6.13	6.04	6.05	7.62	8.53	8.82
MnO	0.06	0.07	0.00	0.02	0.04	0.22	0.11	0.20
MgO	9.32	8.94	9.22	9.29	8.99	8.31	7.80	7.93
CaO	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.03
Na ₂ O	0.10	0.11	0.10	0.09	0.06	0.08	0.09	0.07
K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01
Total	97.54	96.66	97.16	96.89	96.45	97.47	97.73	98.19
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
SiO ₂	4.96	4.96	4.94	4.94	4.96	4.94	4.96	4.92
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.08	4.09	4.10	4.10	4.10	4.10	4.07	4.10
FeO	0.52	0.54	0.53	0.52	0.53	0.66	0.74	0.76
MnO	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02
MgO	1.43	1.38	1.42	1.43	1.39	1.28	1.20	1.22
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	4.96	4.96	4.94	4.94	4.96	4.94	4.96	4.92
Al ^{IV}	1.04	1.04	1.06	1.06	1.04	1.06	1.04	1.08
Tring	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	3.04	3.05	3.05	3.04	3.06	3.04	3.03	3.02
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.43	1.38	1.42	1.43	1.39	1.28	1.20	1.22
Fe ²⁺	0.52	0.54	0.53	0.52	0.53	0.66	0.74	0.76
Mn ²⁺	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02
T ^{VI}	1.95	1.93	1.95	1.96	1.92	1.96	1.95	2.00
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
K ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
XMg	73.33	71.78	72.81	73.25	72.57	66.02	61.94	61.57
XFe	26.67	28.22	27.19	26.75	27.43	33.98	38.06	38.43

Anexo IX.1.3- Continuação das Análises de Cordierita

Porcentagem em óxidos	J28(2)pc	J28(2)c	J28(2)bpl
	74	75	76
SiO ₂	47.98	47.54	47.37
TiO ₂	0.13	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	33.74	33.26	33.58
FeO	8.19	8.90	8.68
MnO	0.19	0.18	0.14
MgO	8.12	7.75	7.78
CaO	0.00	0.01	0.01
Na ₂ O	0.05	0.09	0.14
K ₂ O	0.01	0.02	0.00
Total	98.41	97.77	97.70
<i>Número de íons normalizados para 24 oxigênios por unidade de fórmula</i>			
SiO ₂	4.94	4.94	4.92
TiO ₂	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	4.09	4.08	4.11
FeO	0.70	0.77	0.76
MnO	0.02	0.02	0.01
MgO	1.24	1.20	1.20
CaO	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.01	0.02	0.03
K ₂ O	0.00	0.00	0.00
Si	4.94	4.94	4.92
Al ^{IV}	1.06	1.06	1.08
Tring	6.00	6.00	6.00
Al ^{IV} link	3.03	3.02	3.03
Ti	0.01	0.00	0.00
Mg ²⁺	1.24	1.20	1.20
Fe ²⁺	0.70	0.77	0.76
Mn ²⁺	0.02	0.02	0.01
T ^{VI}	1.97	1.99	1.97
Ca ²⁺	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.01	0.02	0.03
K ⁺	0.00	0.00	0.00
T alcalis	0.01	0.02	0.03
XMg	63.85	60.80	61.47
XFe	36.15	39.20	38.53

Anexo IX.1.4- Análises de Plagioclásio

Porcentagem em óxidos	J4(2) bcd	J4(2) bcd	J4(2) bcd	J4(2) bcd	J4 (2) c	J4 (2) c	J13b(2) bcd	J13b(2) bcd
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
SiO ₂	62.88	62.32	62.93	62.88	62.32	62.93	62.14	63.30
TiO ₂	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	23.89	23.35	23.57	23.89	23.35	23.57	23.45	23.32
FeO	0.21	0.34	0.21	0.18	0.02	0.00	0.05	0.08
MnO	0.00	0.00	0.00	0.05	0.04	0.00	0.02	0.04
MgO	0.00	0.16	0.08	0.12	0.00	0.00	0.00	0.01
CaO	4.35	4.16	4.21	4.20	4.06	3.70	8.15	8.42
Na ₂ O	8.81	8.59	8.81	8.82	9.05	9.14	6.79	6.52
K ₂ O	0.08	0.11	0.08	0.10	0.17	0.16	0.10	0.11
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.23	99.03	99.88	99.05	99.96	99.26	99.95	99.99
<i>Número de íons normalizados com base em 32 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	11.09	9.59	9.60	9.55	9.59	9.61	9.48	9.57
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	4.97	7.19	7.19	7.26	7.19	7.20	7.16	7.05
Fe ²⁺	0.03	0.05	0.03	0.03	0.00	0.00	0.01	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.04	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.82	0.64	0.64	0.64	0.62	0.57	1.24	1.27
Na	3.01	2.65	2.69	2.68	2.78	2.79	2.07	1.97
K	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.05	0.03	0.03
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X=1	0.97	0.85	0.85	0.85	0.87	0.85	0.84	0.82
Z=4	4.01	4.20	4.20	4.20	4.19	4.20	4.16	4.15
Xca=Ano	21.33	19.28	19.14	19.08	18.03	16.62	37.20	38.84
Xna=Ab	78.21	79.72	80.15	80.05	80.44	81.98	61.94	60.14
XK=Or	0.47	1.00	0.71	0.87	1.53	1.40	0.87	1.02

Anexo IX.1.4- Continuação das Análises de Plagioclásio

Porcentagem em óxidos	J13b (2) bcd	J13b (2) bcd	J13b (2) bgd	J13b (2) c	J13b (2) bgd	J13b (2) bgd	J19 (1) ban	J19 (1) ban
	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	63.27	57.93	57.75	58.19	58.25	58.16	57.88	57.91
TiO ₂	0.04	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	22.98	26.91	27.07	26.94	26.88	27.03	26.99	26.96
FeO	0.09	0.04	0.04	0.06	0.11	0.01	0.19	0.42
MnO	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.04	0.00	0.00
MgO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00
CaO	8.31	8.24	8.22	8.37	8.35	8.29	4.69	4.51
Na ₂ O	6.88	6.75	6.58	6.55	6.62	6.58	8.99	8.89
K ₂ O	0.11	0.12	0.12	0.14	0.06	0.13	0.17	0.17
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02
Total	100.55	100.29	100.15	100.10	100.03	99.76	100.59	99.68
<i>Número de íons normalizados com base em 32 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	9.60	8.76	8.73	8.77	8.78	8.76	8.79	8.79
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	6.98	8.13	8.19	8.12	8.10	8.14	8.19	8.19
Fe ²⁺	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.03	0.06
Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	1.26	1.25	1.24	1.26	1.26	1.25	0.71	0.69
Na	2.09	2.04	1.99	1.98	2.00	1.98	2.73	2.70
K	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.05	0.05
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X=1	0.85	0.83	0.82	0.83	0.82	0.82	0.88	0.88
Z=4	4.14	4.22	4.23	4.22	4.22	4.23	4.25	4.25
X _{ca} =Ano	37.29	37.51	38.02	38.46	38.43	38.19	20.38	19.94
X _{na} =Ab	61.74	61.40	60.85	60.24	61.00	60.63	78.18	78.58
X _K =Or	0.97	1.09	1.13	1.31	0.57	1.18	1.43	1.48

Anexo IX.1.4- Continuação das Análises de Plagioclásio

Porcentagem em óxidos	J19 (1) ban	J19 (1) ban	J19 (1) ban	J19 (1) c	J19 (1) c	J19 (2) ban	J19 (2) ban	J19 (2) ban
	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	57.90	61.99	61.20	61.26	60.68	60.99	60.94	61.12
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	26.78	24.75	24.95	24.83	24.77	25.00	24.76	24.59
FeO	0.14	0.24	0.21	0.09	0.42	0.14	0.08	0.19
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	4.55	4.22	4.70	4.69	4.59	4.83	4.51	4.78
Na ₂ O	9.11	8.90	8.94	8.72	8.47	8.69	8.74	8.70
K ₂ O	0.16	0.26	0.13	0.22	0.30	0.18	0.17	0.14
BaO	0.04	0.00	0.05	0.07	0.11	0.02	0.04	0.00
Total	100.59	100.36	100.16	99.88	99.33	99.84	99.24	99.52
<i>Número de íons normalizados com base em 32 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	8.82	9.36	9.27	9.30	9.27	9.26	9.30	9.32
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	8.16	7.48	7.56	7.54	7.57	7.59	7.56	7.50
Fe ²⁺	0.02	0.04	0.03	0.01	0.06	0.02	0.01	0.03
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.69	0.64	0.71	0.71	0.70	0.73	0.69	0.73
Na	2.78	2.69	2.71	2.65	2.59	2.64	2.67	2.65
K	0.05	0.08	0.04	0.07	0.09	0.05	0.05	0.04
Ba	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00
X=1	0.89	0.86	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
Z=4	4.24	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21	4.21
X _{ca} =Ano	19.71	18.75	20.60	20.78	20.74	21.40	20.21	21.28
X _{na} =Ab	78.91	78.96	78.31	77.24	76.54	77.01	78.31	77.47
X _K =Or	1.38	2.29	1.10	1.98	2.72	1.60	1.48	1.25

Anexo IX.1.4- Continuação das Análises de Plagioclásio

Porcentagem em óxidos	J19 (2) ban	J19 (2) ban	J19 (2) ban	J19 (2) ban	J19 (2) c	J19 (2) c	J23bbt	J23bbt
	25	26	27	28	29	30	31	32
SiO ₂	60.49	60.11	60.42	60.87	60.83	60.81	62.84	61.88
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	25.52	25.63	25.27	25.00	24.91	24.70	22.92	23.84
FeO	0.35	0.25	0.24	0.22	0.04	0.10	0.00	0.00
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	4.85	4.84	4.81	4.10	4.88	4.84	4.47	4.96
Na ₂ O	8.58	8.57	8.72	8.51	8.53	8.41	9.40	9.06
K ₂ O	0.13	0.26	0.10	0.64	0.18	0.23	0.01	0.01
BaO	0.00	0.01	0.00	0.06	0.05	0.06	0.00	0.00
Total	99.92	99.67	99.56	99.41	99.42	99.15	99.63	99.75
<i>Número de íons normalizados com base em 32 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	9.15	9.11	9.18	9.26	9.27	9.30	11.17	11.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	7.72	7.77	7.68	7.61	7.59	7.55	4.80	5.00
Fe ²⁺	0.05	0.04	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.73	0.73	0.73	0.62	0.74	0.74	0.85	0.94
Na	2.60	2.60	2.65	2.59	2.60	2.57	3.24	3.12
K	0.04	0.08	0.03	0.20	0.05	0.07	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
X=1	0.86	0.86	0.86	0.86	0.85	0.85	1.02	1.02
Z=4	4.22	4.22	4.22	4.22	4.21	4.21	3.99	4.00
Xca=Ano	21.77	21.53	21.41	18.31	21.90	21.87	20.78	23.20
Xna=Ab	77.06	76.20	77.66	75.94	76.53	76.05	79.17	76.72
XK=Or	1.18	2.27	0.93	5.75	1.57	2.08	0.05	0.08

Anexo IX.1.4- Continuação das Análises de Plagioclásio

Porcentagem em óxidos	J23c	J23c	J23bms	J23bms	J23bms	J23bms	J25(2)bbt	J25(2)bbt
	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO ₂	62.69	61.04	62.13	61.60	61.57	62.14	62.54	61.91
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	23.27	23.84	23.66	23.82	24.45	24.37	24.00	23.93
FeO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.17
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	4.27	5.14	4.59	4.98	5.27	5.21	4.77	4.70
Na ₂ O	9.20	9.07	9.33	9.01	9.05	8.96	9.07	9.08
K ₂ O	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.11	0.16
BaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	99.44	99.10	99.74	99.41	100.35	100.67	100.63	99.96
<i>Número de íons normalizados com base em 32 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	11.14	10.94	11.04	10.99	10.90	10.95	9.48	9.45
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	4.88	5.04	4.96	5.01	5.10	5.06	7.27	7.30
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.81	0.99	0.87	0.95	1.00	0.98	0.72	0.72
Na	3.17	3.15	3.22	3.12	3.10	3.06	2.75	2.77
K	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X=1	1.00	1.03	1.02	1.02	1.03	1.01	0.88	0.89
Z=4	4.00	3.99	4.00	4.00	4.00	4.00	4.19	4.19
Xca=Ano	20.41	23.84	21.35	23.40	24.35	24.33	20.64	20.27
Xna=Ab	79.55	76.16	78.51	76.60	75.57	75.67	78.43	78.36
XK=Or	0.03	0.00	0.13	0.00	0.09	0.00	0.93	1.37

Anexo IX.1.4- Continuação das Análises de Plagioclásio

Porcentagem em óxidos	J25(2)bbt	J25(2)c	J25(2)bqz	J25(2)bbt	J25(2)bbt	J27(1)pc	J27(1)bgd	J27(1)bbt
	<i>41</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>44</i>	<i>45</i>	<i>46</i>	<i>47</i>	<i>48</i>
SiO ₂	62.24	62.81	61.82	62.21	62.41	62.10	62.16	62.42
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	24.19	23.72	23.64	23.92	23.90	24.68	24.69	24.59
FeO	0.15	0.05	0.13	0.13	0.00	0.22	0.12	0.01
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	4.92	4.39	4.83	4.63	4.62	5.72	5.75	5.71
Na ₂ O	8.98	9.12	9.13	8.99	9.07	8.41	8.16	8.58
K ₂ O	0.15	0.33	0.18	0.21	0.28	0.24	0.29	0.16
BaO	0.00	0.00	0.02	0.00	0.11	0.03	0.02	0.00
Total	100.63	100.42	99.75	100.11	100.39	101.39	101.19	101.46
<i>Número de íons normalizados com base em 32 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	9.43	9.54	9.47	9.47	9.48	9.34	9.35	9.37
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	7.33	7.21	7.25	7.28	7.26	7.42	7.43	7.39
Fe ²⁺	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.75	0.67	0.74	0.71	0.70	0.86	0.86	0.86
Na	2.72	2.77	2.80	2.74	2.76	2.53	2.46	2.58
K	0.05	0.10	0.05	0.07	0.09	0.07	0.09	0.05
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
X=1	0.88	0.89	0.90	0.88	0.89	0.87	0.86	0.87
Z=4	4.19	4.19	4.18	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19
Xca=Ano	21.24	18.88	20.62	20.10	19.79	24.84	25.37	24.64
Xna=Ab	77.46	78.32	77.87	78.05	77.78	73.07	72.05	74.02
XK=Or	1.29	2.80	1.52	1.86	2.43	2.09	2.59	1.34

Anexo IX.1.4- Continuação das Análises de Plagioclásio

Porcentagem em óxidos	J27(1)bbt	J27(1)c	J27(1)bgd	J27(1)bbt	J27(1)c	J27(1)bcd	J28(1)bbt	J28(1)bcd
	<i>49</i>	<i>50</i>	<i>51</i>	<i>52</i>	<i>53</i>	<i>54</i>	<i>55</i>	<i>56</i>
SiO ₂	62.33	61.79	62.29	62.13	62.26	61.46	61.56	61.52
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	24.84	24.54	24.82	24.66	24.63	25.21	24.94	24.96
FeO	0.18	0.00	0.04	0.00	0.08	0.21	0.08	0.09
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	5.65	5.70	5.84	5.53	5.65	5.91	5.77	5.86
Na ₂ O	8.40	8.30	8.07	8.36	8.25	8.12	8.22	8.24
K ₂ O	0.16	0.12	0.16	0.26	0.29	0.11	0.23	0.17
BaO	0.00	0.04	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.04
Total	101.56	100.49	101.26	100.94	101.17	101.01	100.81	100.86
<i>Número de íons normalizados com base em 32 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	9.34	9.35	9.35	9.36	9.37	9.24	9.28	9.27
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	7.44	7.43	7.45	7.43	7.41	7.58	7.52	7.52
Fe ²⁺	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.85	0.86	0.88	0.83	0.85	0.89	0.87	0.88
Na	2.52	2.51	2.42	2.52	2.48	2.44	2.48	2.48
K	0.05	0.04	0.05	0.08	0.09	0.03	0.07	0.05
Ba	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
X=1	0.86	0.85	0.84	0.86	0.86	0.85	0.86	0.86
Z=4	4.20	4.20	4.20	4.20	4.19	4.20	4.20	4.20
Xca=Ano	24.79	25.28	26.20	24.30	24.86	26.41	25.44	25.84
Xna=Ab	73.82	73.62	72.40	73.39	72.58	72.63	72.50	72.69
XK=Or	1.39	1.10	1.40	2.31	2.56	0.96	2.06	1.46

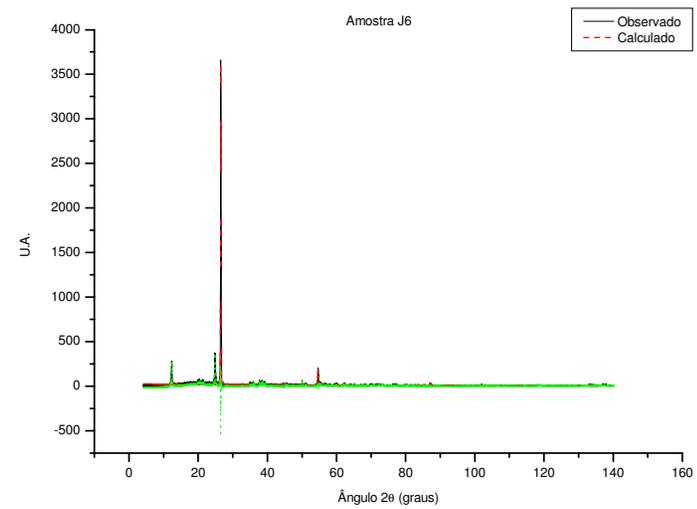
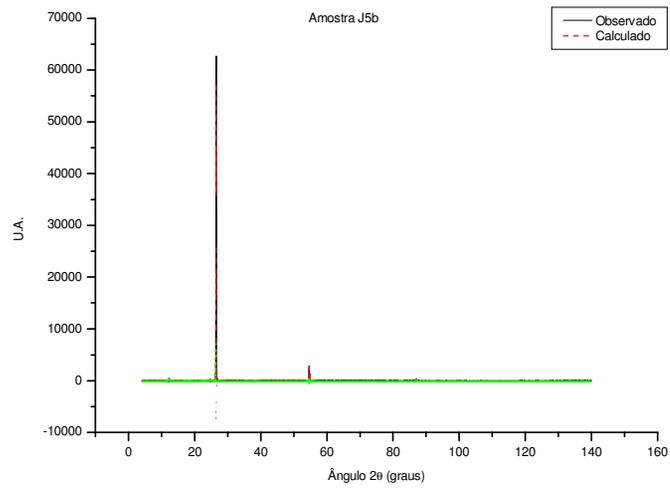
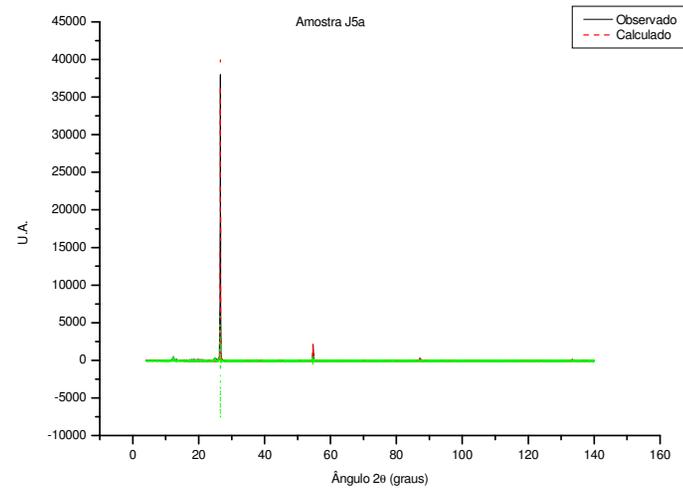
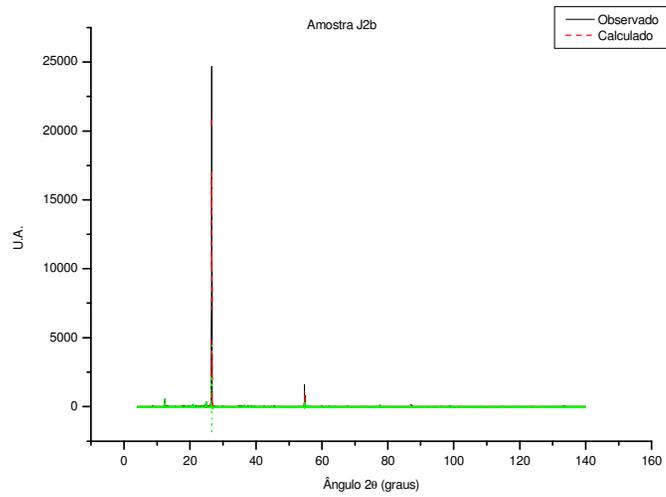
Anexo IX.1.4- Continuação das Análises de Plagioclásio

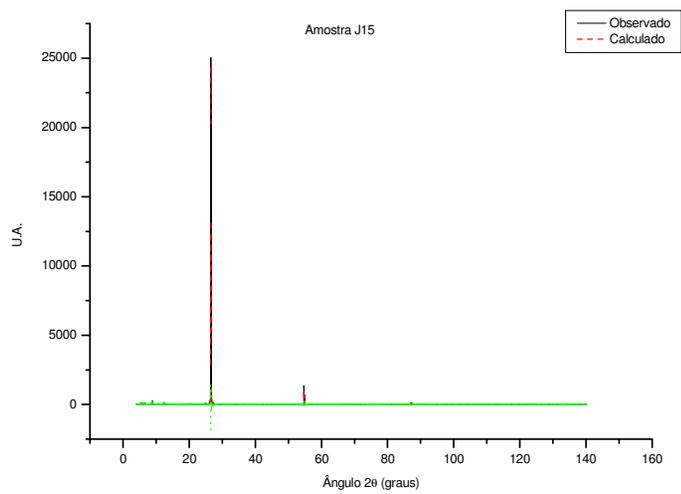
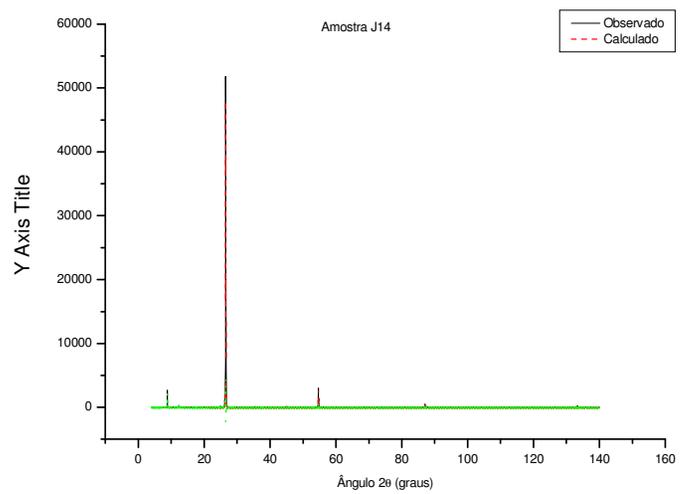
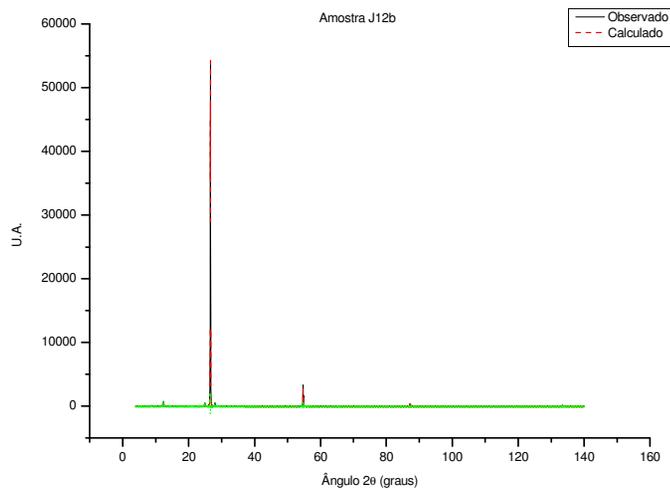
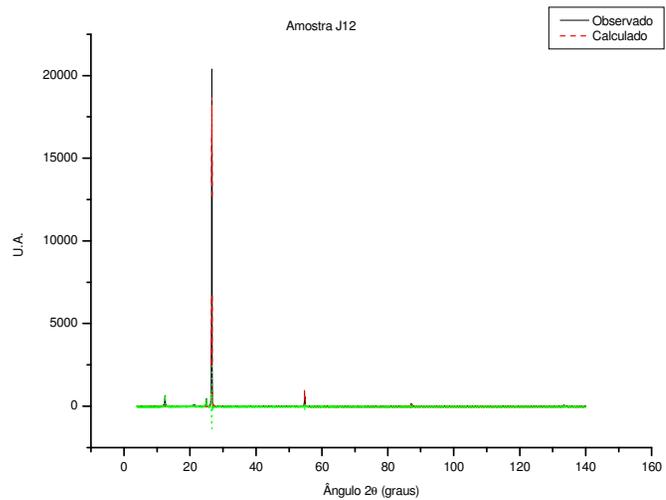
Porcentagem em óxidos	J28(1)c	J28(1)bbt	J28(1)bbt	J28(1)bcd	J26(1)bbt	J26(1)bbt	J26(1)bbt	J26(1)bkfd
	57	58	59	60	61	62	63	64
SiO ₂	61.20	61.61	61.32	61.14	60.98	61.89	61.16	61.72
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	24.54	24.75	24.61	24.69	24.17	24.05	23.80	23.96
FeO	0.05	0.09	0.06	0.01	0.17	0.06	0.20	0.14
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	5.57	5.62	5.70	5.82	4.81	4.76	5.05	4.68
Na ₂ O	8.14	8.38	8.42	8.30	9.12	9.31	9.02	9.11
K ₂ O	0.28	0.24	0.18	0.21	0.16	0.17	0.13	0.20
BaO	0.00	0.01	0.04	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00
Total	99.79	100.70	100.32	100.19	99.41	100.25	99.35	99.81
<i>Número de íons normalizados com base em 32 oxigênios por unidade de fórmula</i>								
Si	9.32	9.31	9.31	9.29	9.35	9.42	9.40	9.43
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	7.48	7.48	7.47	7.50	7.41	7.32	7.32	7.32
Fe ²⁺	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	0.03	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.85	0.85	0.87	0.88	0.74	0.72	0.78	0.72
Na	2.48	2.53	2.55	2.52	2.80	2.83	2.77	2.78
K	0.09	0.07	0.05	0.06	0.05	0.05	0.04	0.06
Ba	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X=1	0.86	0.87	0.87	0.87	0.90	0.91	0.90	0.89
Z=4	4.20	4.20	4.19	4.20	4.19	4.19	4.18	4.19
Xca=Ano	24.87	24.58	24.91	25.48	20.57	20.08	21.65	20.10
Xna=Ab	72.61	73.28	73.52	72.69	78.06	78.52	77.28	78.21
XK=Or	2.53	2.13	1.57	1.83	1.37	1.39	1.07	1.69

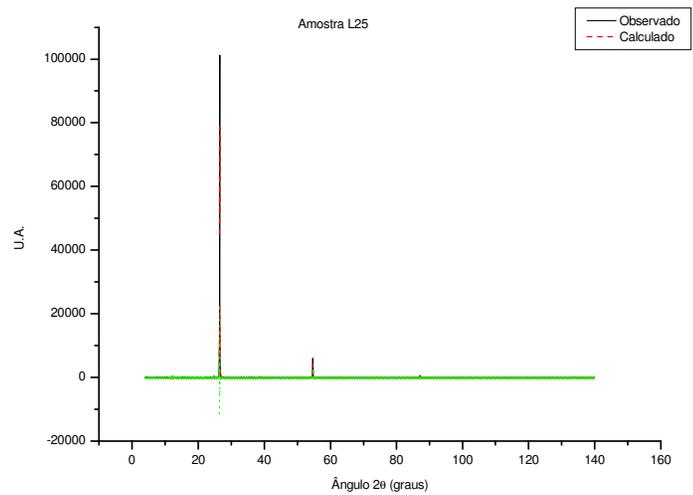
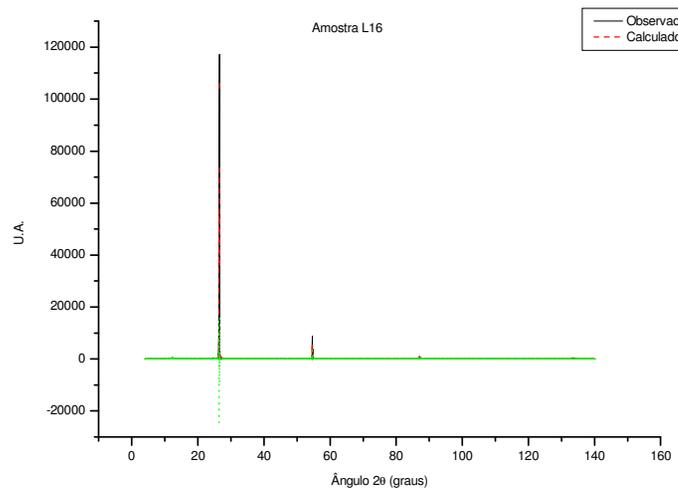
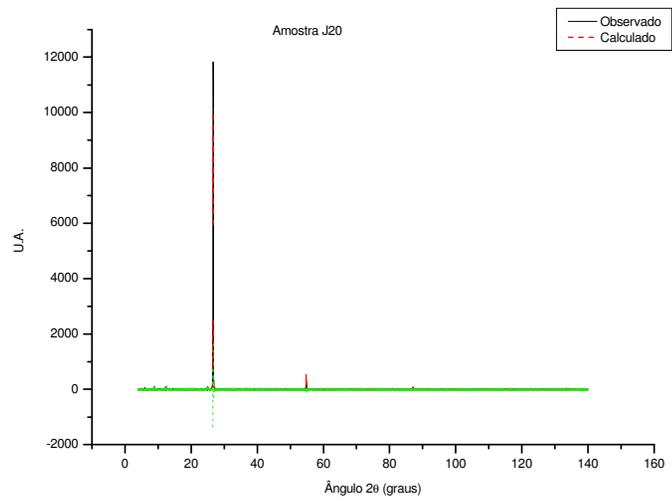
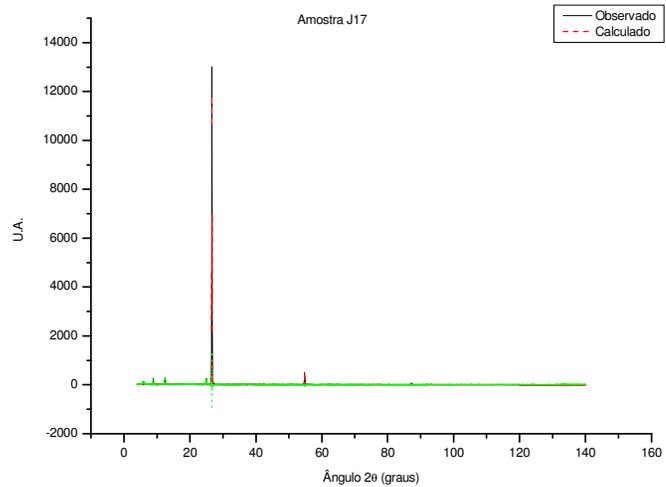
**Anexo IX.1.4- Continuação das Análises de
Plagioclásio**

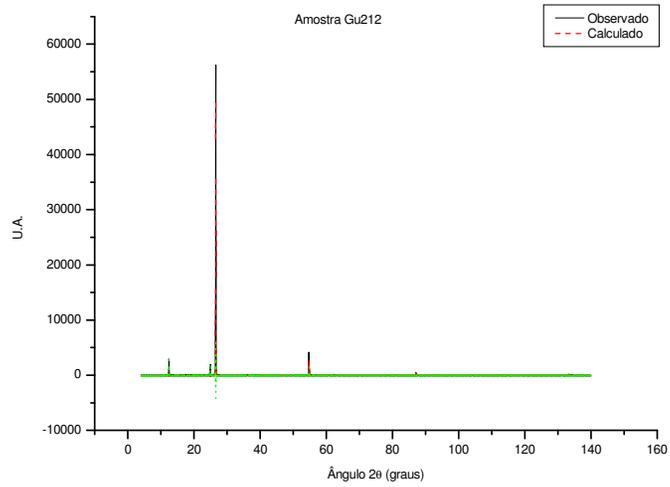
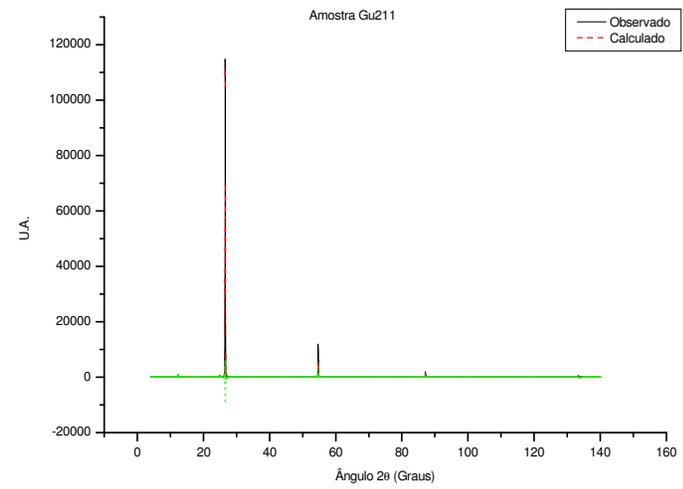
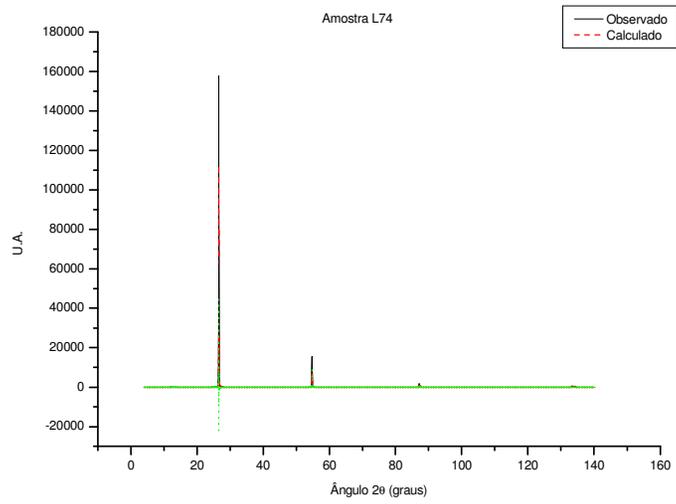
Porcentagem em óxidos	J26(1)bkfd	J26(1)bbt
	65	66
SiO ₂	61.56	61.66
TiO ₂	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	23.60	23.97
FeO	0.01	0.13
MnO	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00
CaO	4.67	4.94
Na ₂ O	9.13	8.81
K ₂ O	0.15	0.13
BaO	0.00	0.00
Total	99.12	99.64
<i>Número de íons normalizados com base em 32 oxigênios por unidade de fórmula</i>		
Si	9.48	9.43
Ti	0.00	0.00
Al	7.27	7.33
Fe ²⁺	0.00	0.02
Mn	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00
Ca	0.72	0.76
Na	2.81	2.69
K	0.05	0.04
Ba	0.00	0.00
X=1	0.89	0.88
Z=4	4.19	4.19
Xca=Ano	20.11	21.65
Xna=Ab	78.60	77.21
XK=Or	1.29	1.14

Difração de Raios X

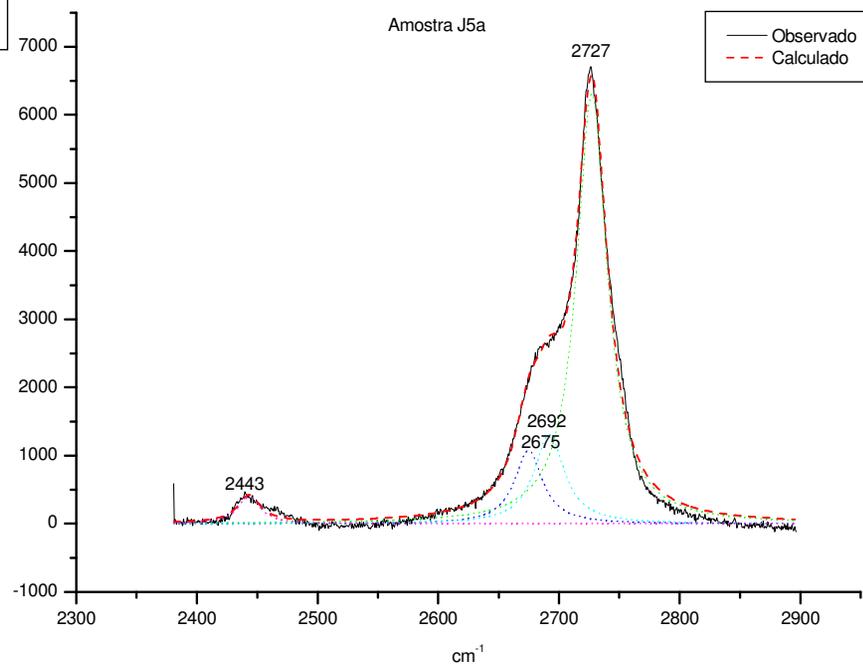
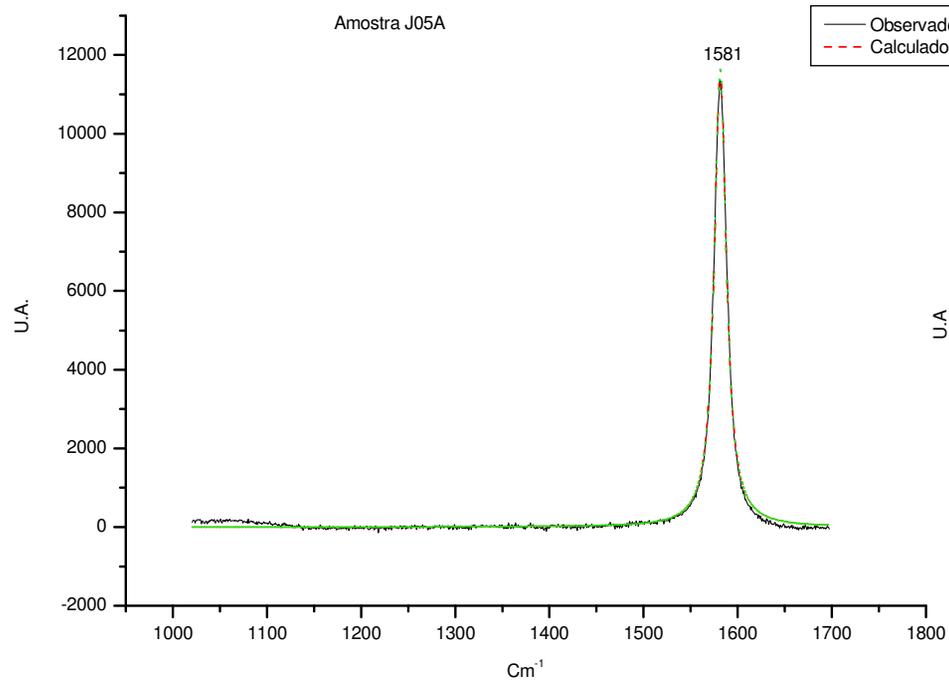






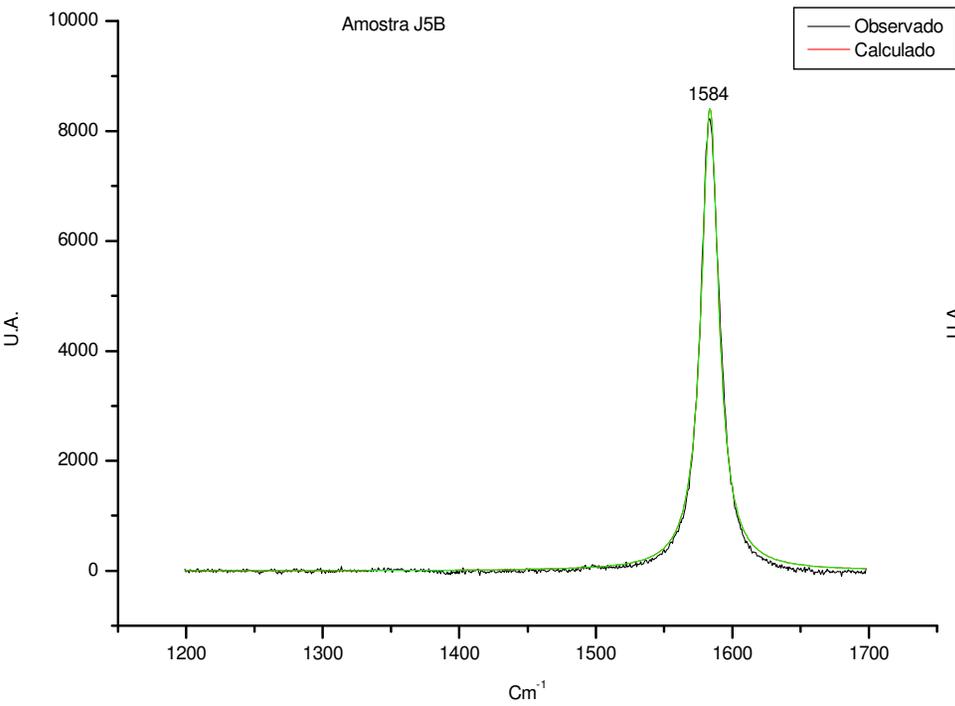


Análise Micro-Raman

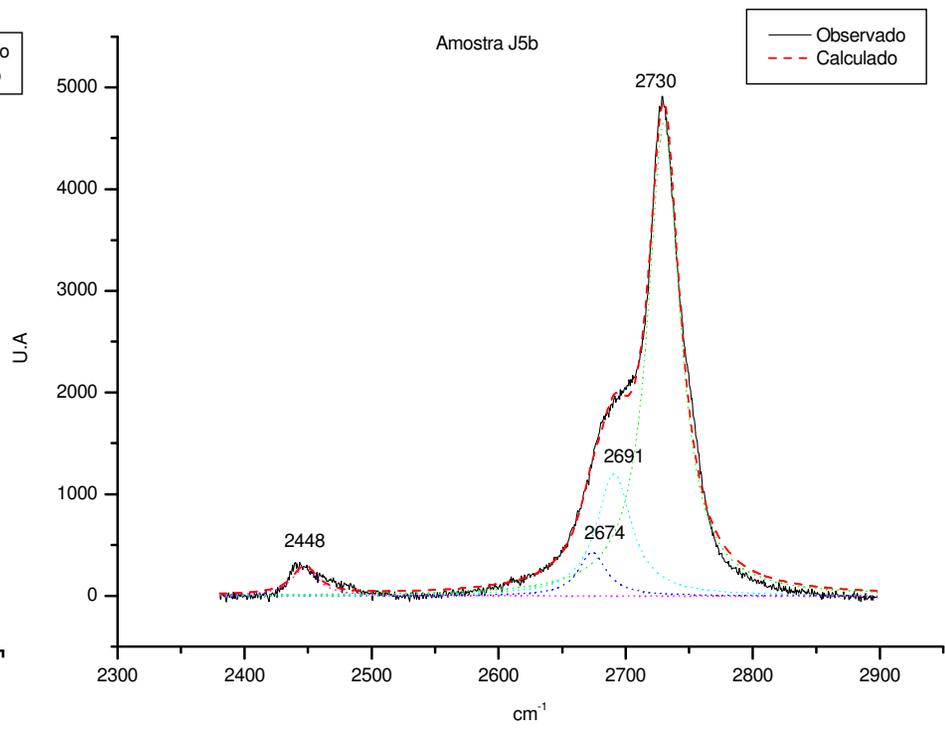


Peak	Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1	Lorentz Amp	11639.1238	1581.62084	15.2109565	100.00

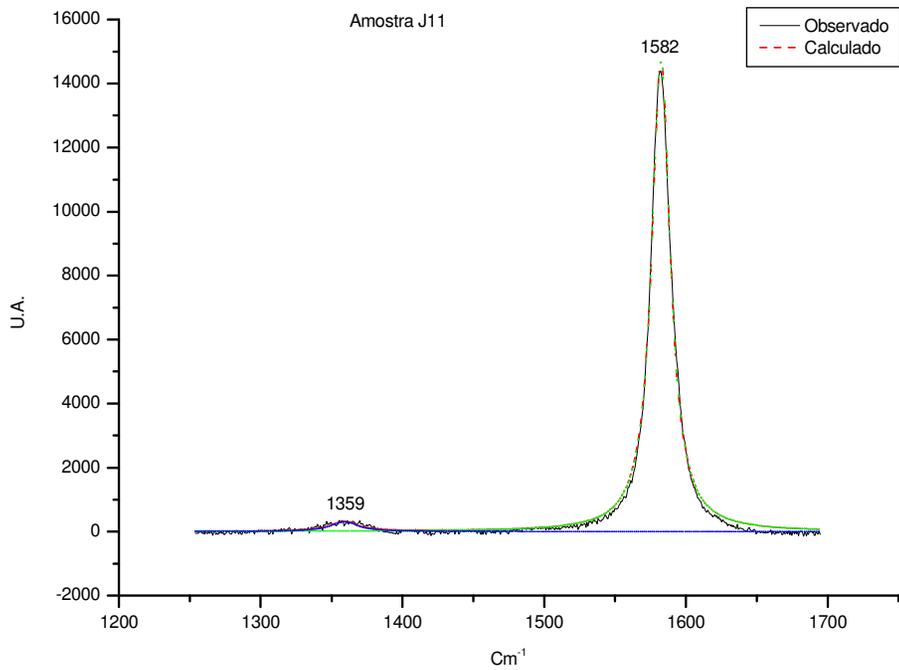
Peak	Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1	Lorentz Amp	397.703431	2443.18619	22.5923440	3.20094877
2	Lorentz Amp	1075.57791	2674.77478	28.1201198	11.1134500
3	Lorentz Amp	1309.10055	2691.93791	30.3474536	14.5415904
4	Lorentz Amp	6314.45445	2727.29815	30.9134296	71.1440408



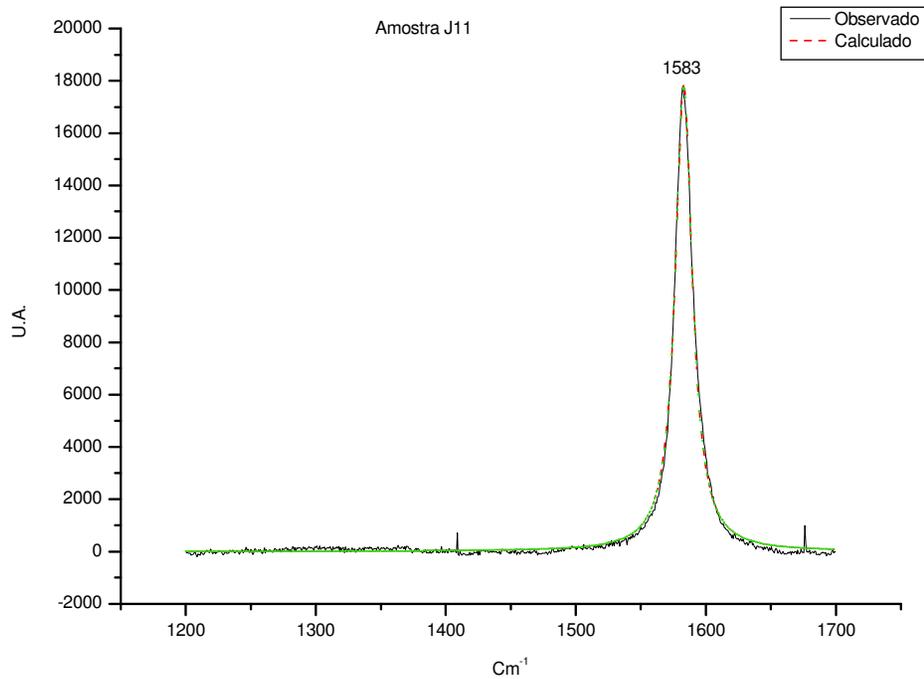
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	8411.55054	1583.65593	15.3362684	100.000000



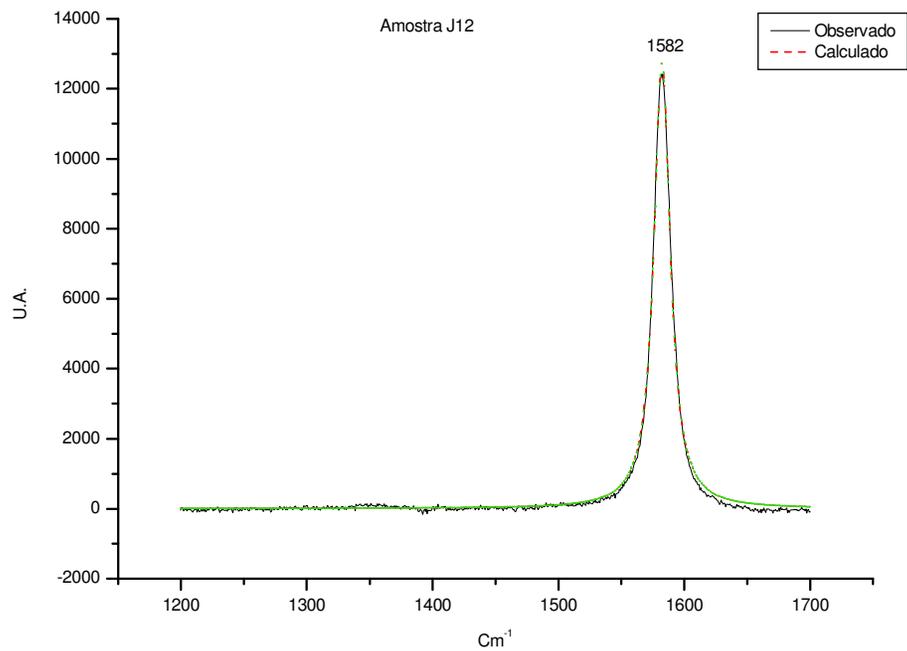
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	278.661071	2447.48530	24.8763580	3.3191982
2 Lorentz Amp	429.980542	2673.78648	26.0916993	5.6425148
3 Lorentz Amp	1202.51014	2690.86646	32.9993739	19.760895
4 Lorentz Amp	4658.43274	2730.16105	30.7336348	71.2346698



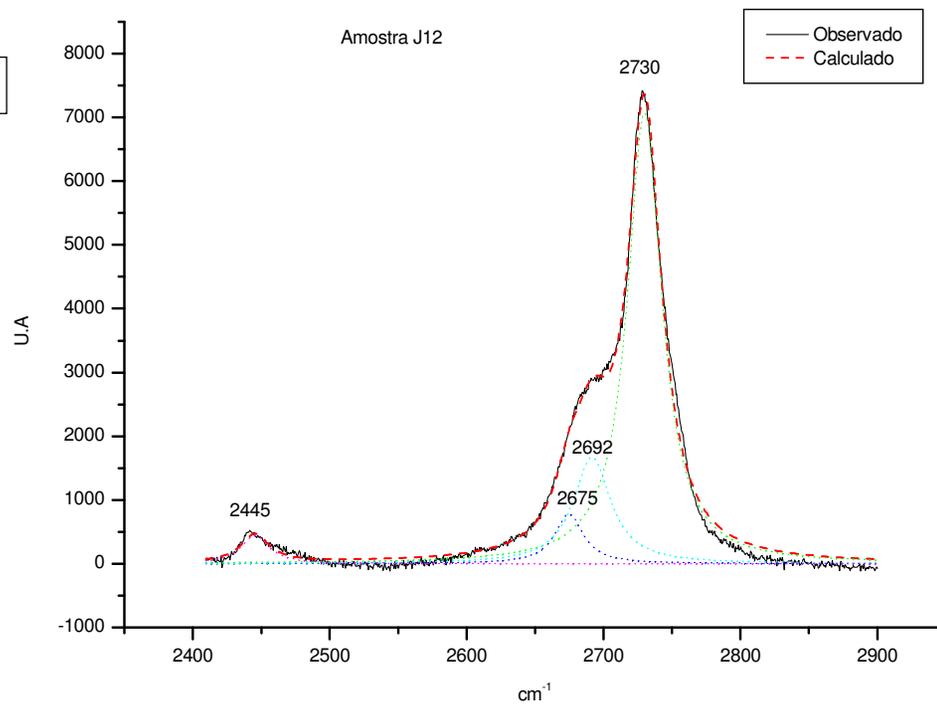
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	305.430503	1358.95407	23.8560217	2.98076289
2 Lorentz Amp	14698.2405	1582.39837	15.8503147	97.0192371



Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	17840.9092	1583.00214	15.9420463	100.000000

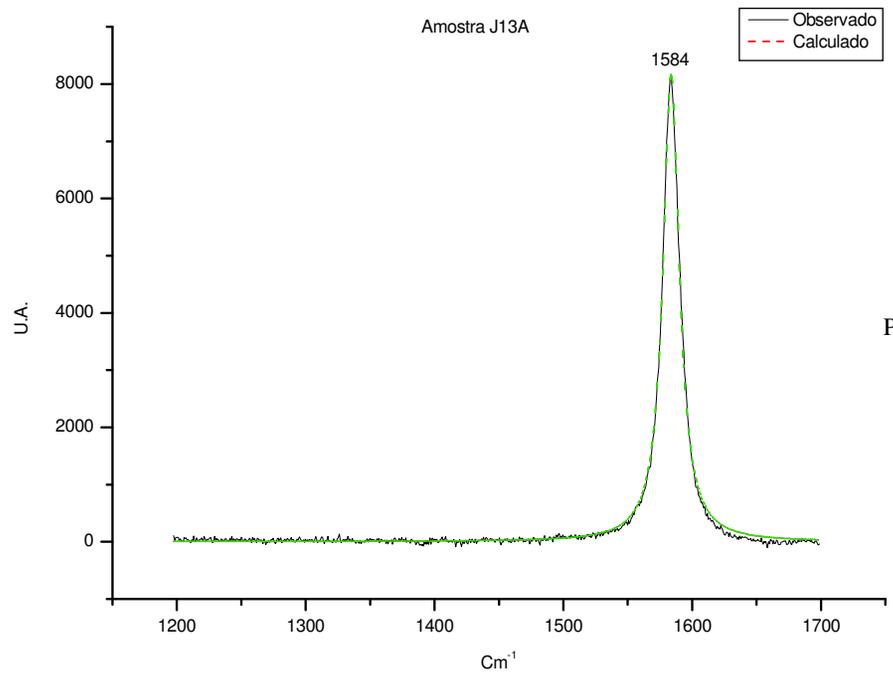


Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	12745.7992	1582.32958	15.4613254	100.000000



Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	442.926270	2445.39965	24.9252315	3.39900439
2 Lorentz Amp	777.615753	2674.89273	25.2061577	6.59131397
3 Lorentz Amp	1669.91540	2691.65264	33.0182974	18.3335210
4 Lorentz Amp	7069.79038	2730.02888	30.4851833	71.6761060

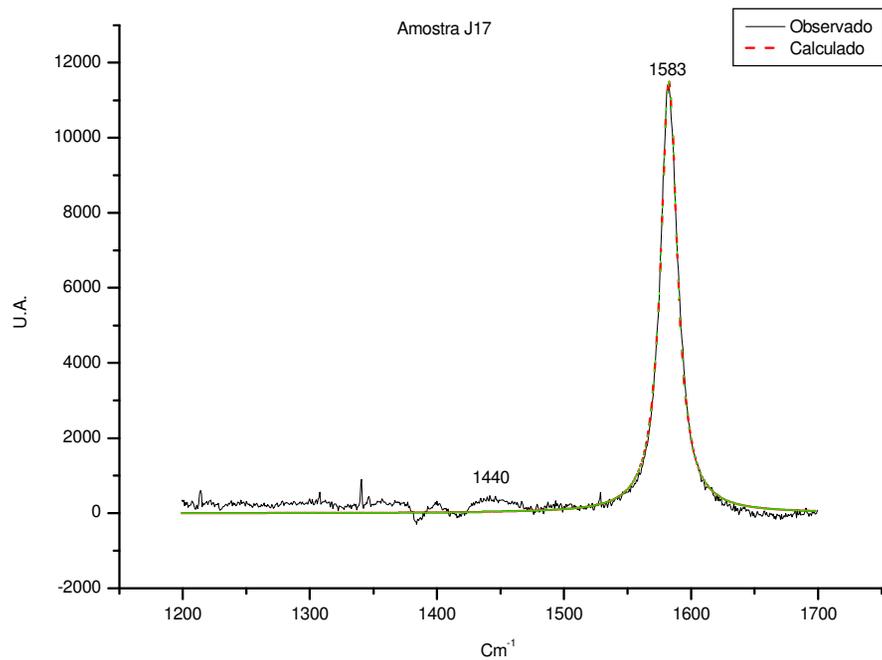
Amostra J13A



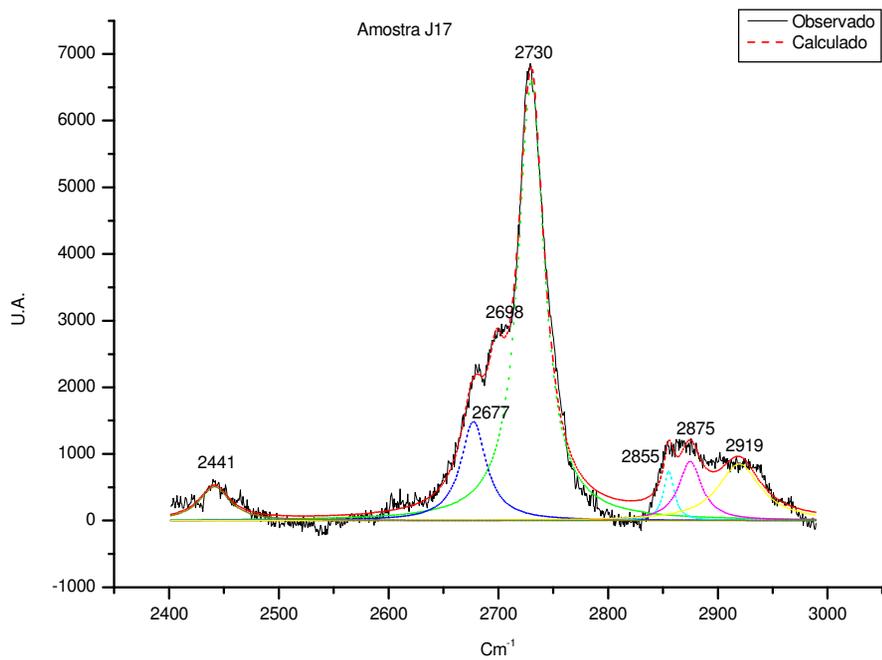
1584

— Observado
- - - Calculado

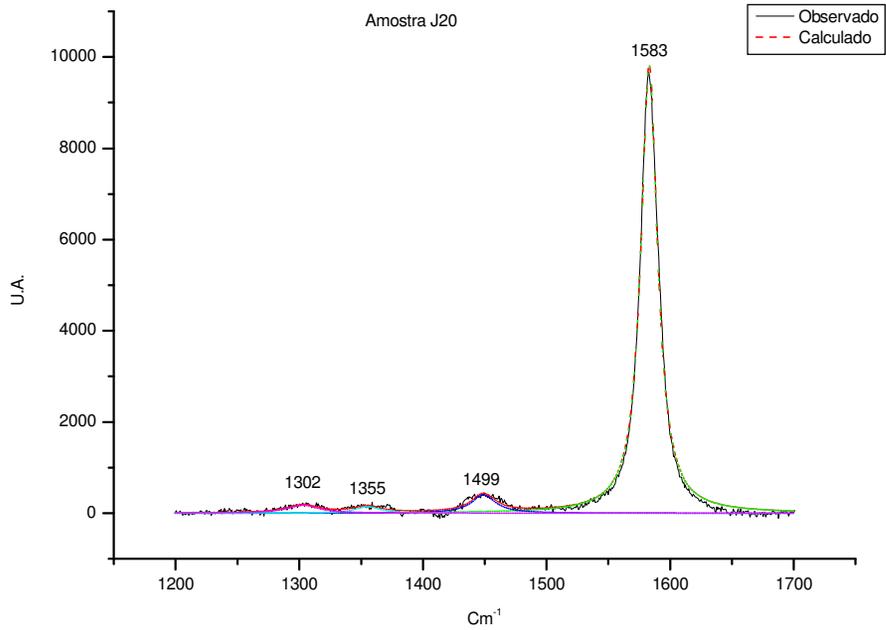
Peak	Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1	Lorentz Amp	8179.53739	1583.62170	15.1958475	100.000000



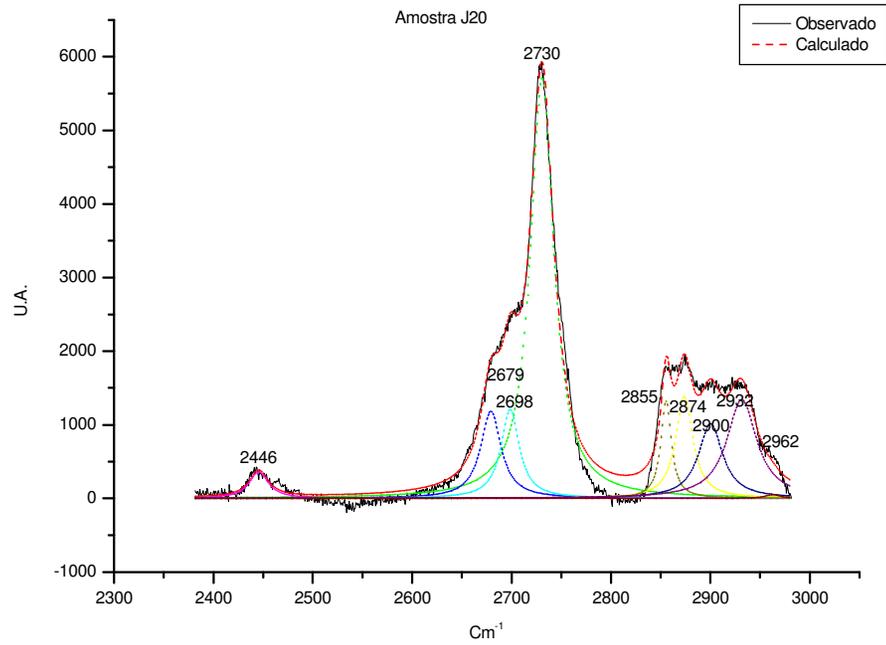
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	544.838296	1439.44088	41.7633002	10.1547367
2 Lorentz Amp	10665.6246	1582.75201	18.4802361	89.8452633



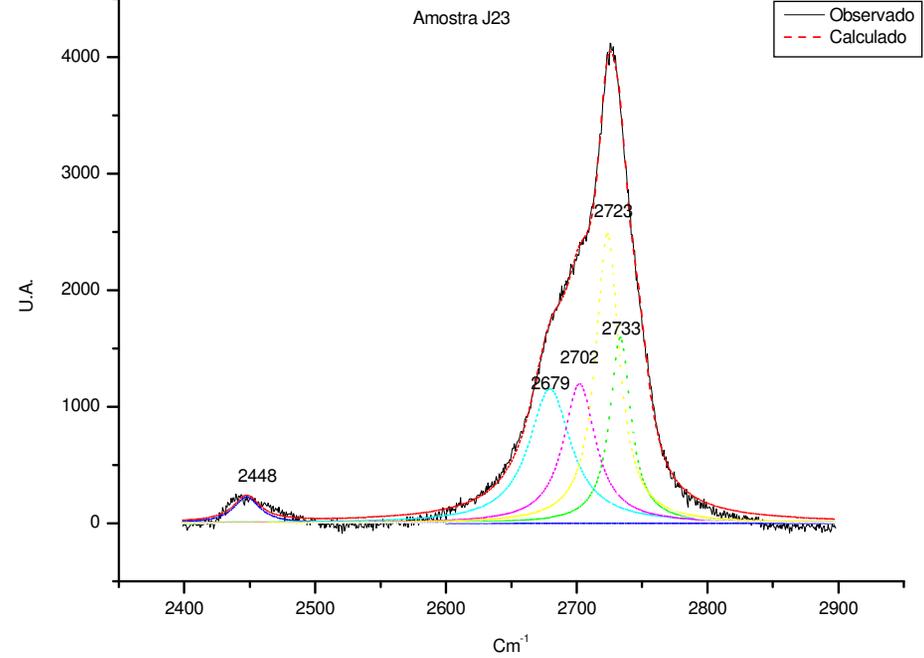
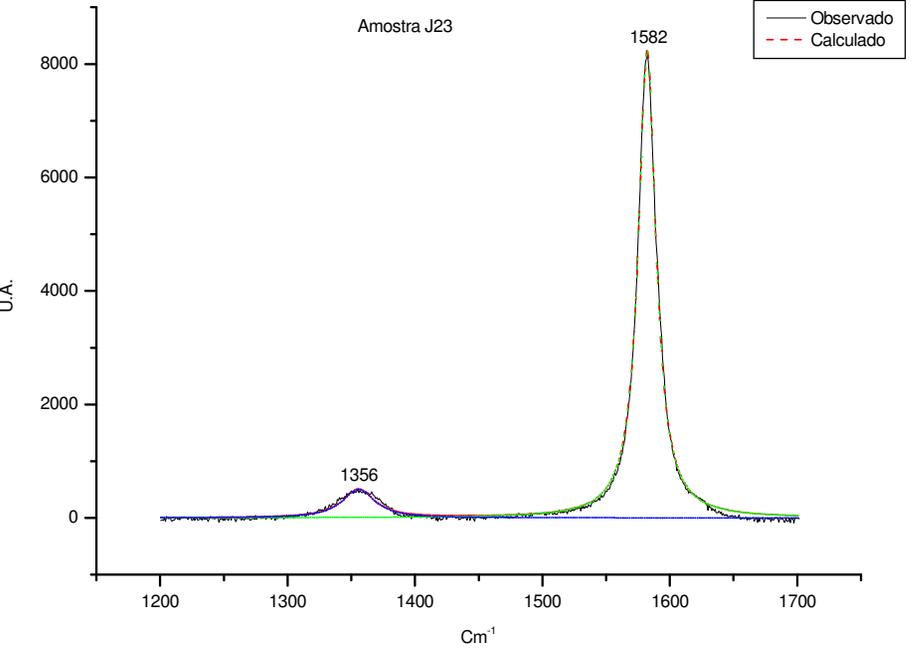
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	508.896249	2441.49496	33.6418486	4.53149397
2 Lorentz Amp	1484.69307	2677.50519	28.0866694	12.3955048
3 Lorentz Amp	1276.25661	2698.18227	17.5300928	6.72948751
4 Lorentz Amp	6600.07357	2730.12056	28.7273916	56.3014130
5 Lorentz Amp	739.392814	2855.46612	11.7584060	2.61748841
6 Lorentz Amp	887.403496	2874.96040	25.3268471	6.59095545
7 Lorentz Amp	847.705887	2919.59696	47.2692480	10.8336569



Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	171.867648	1302.97517	31.1524030	2.92764898
2 Lorentz Amp	139.194682	1355.18153	25.2987959	1.97191105
3 Lorentz Amp	394.647330	1449.00193	23.9300972	5.32738050
4 Lorentz Amp	9805.33832	1583.15103	16.2004461	89.7730595

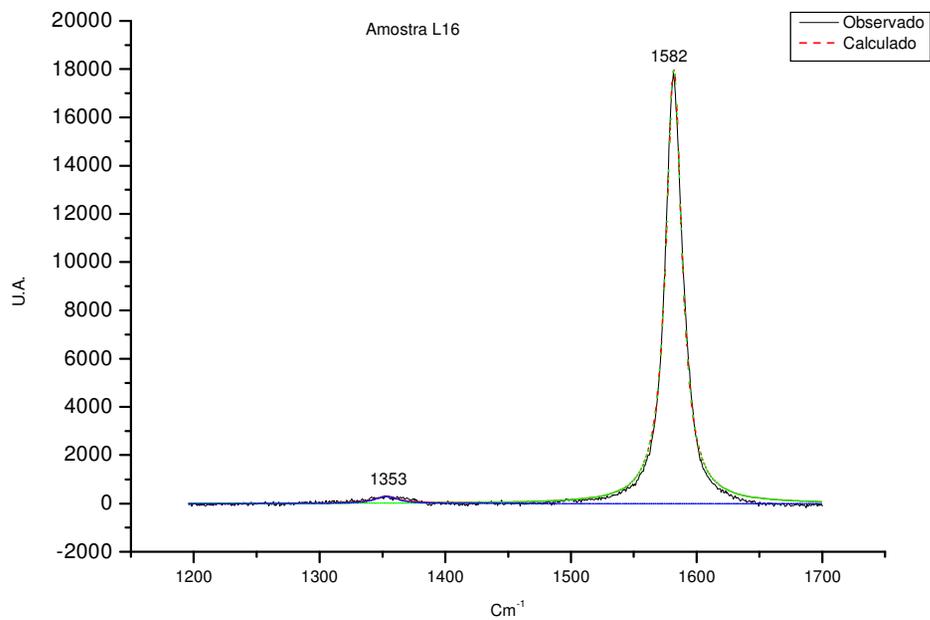


Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	362.275902	2445.50403	23.2101932	2.33911545
2 Lorentz Amp	1186.67271	2679.10707	24.8363721	8.52788134
3 Lorentz Amp	1213.58969	2698.50382	22.0553292	7.76759407
4 Lorentz Amp	5710.66696	2730.58420	28.4013925	46.7082631
5 Lorentz Amp	1325.48315	2855.57454	12.7470079	4.91879713
6 Lorentz Amp	1388.30245	2873.88574	20.9555729	8.32022165
7 Lorentz Amp	1016.54149	2900.29934	29.5729336	8.34117436
8 Lorentz Amp	1343.72781	2931.64179	36.6421645	12.8404310
9 Lorentz Amp	50.6919296	2962.58112	18.4414767	0.23652190

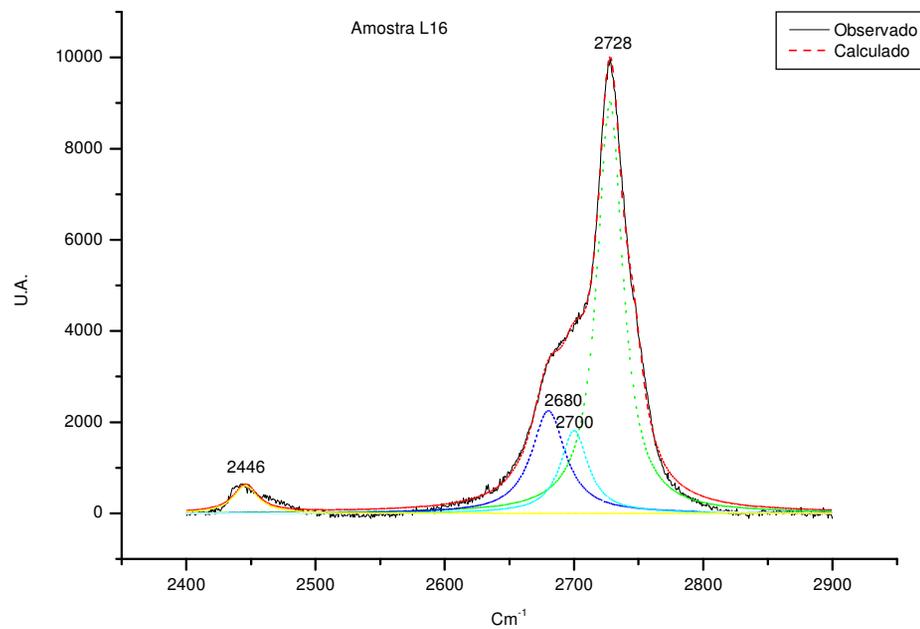


Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	506.274063	1355.69818	30.5919758	9.95409054
2 Lorentz Amp	8245.84511	1582.21948	16.7090350	90.0459095

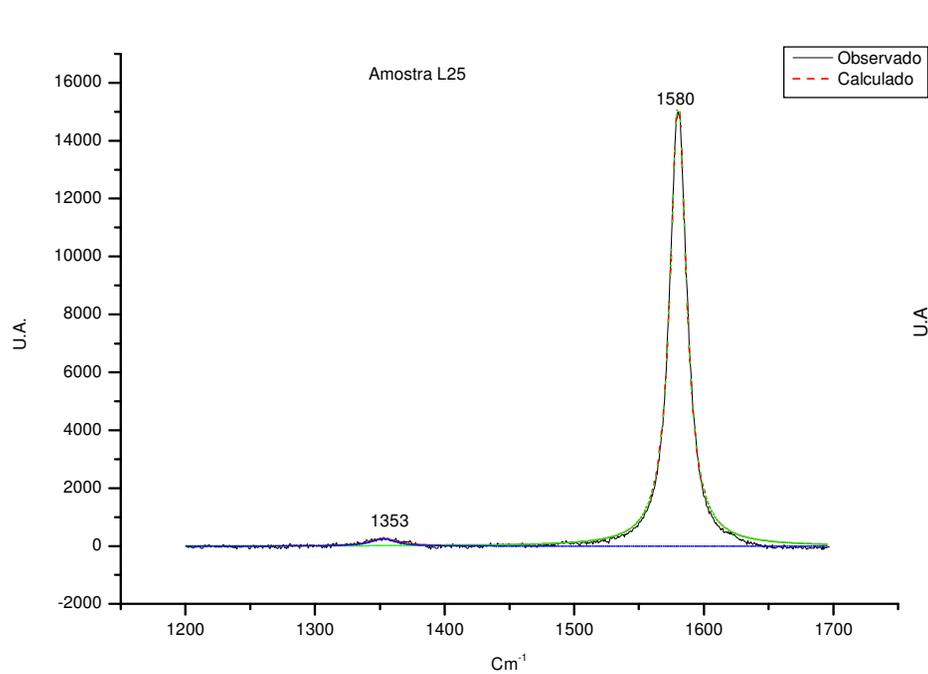
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	222.382947	2447.68145	24.5699931	2.74125224
2 Lorentz Amp	1153.24414	2679.53017	39.1230217	23.5458968
3 Lorentz Amp	1197.08790	2702.20857	29.9585424	18.9240474
4 Lorentz Amp	2486.60942	2723.47982	21.7400478	28.8095531
5 Lorentz Amp	1598.54220	2733.34002	19.2564952	16.4505027
6 Lorentz Amp	871.188781	2747.23298	20.5355924	9.52874777



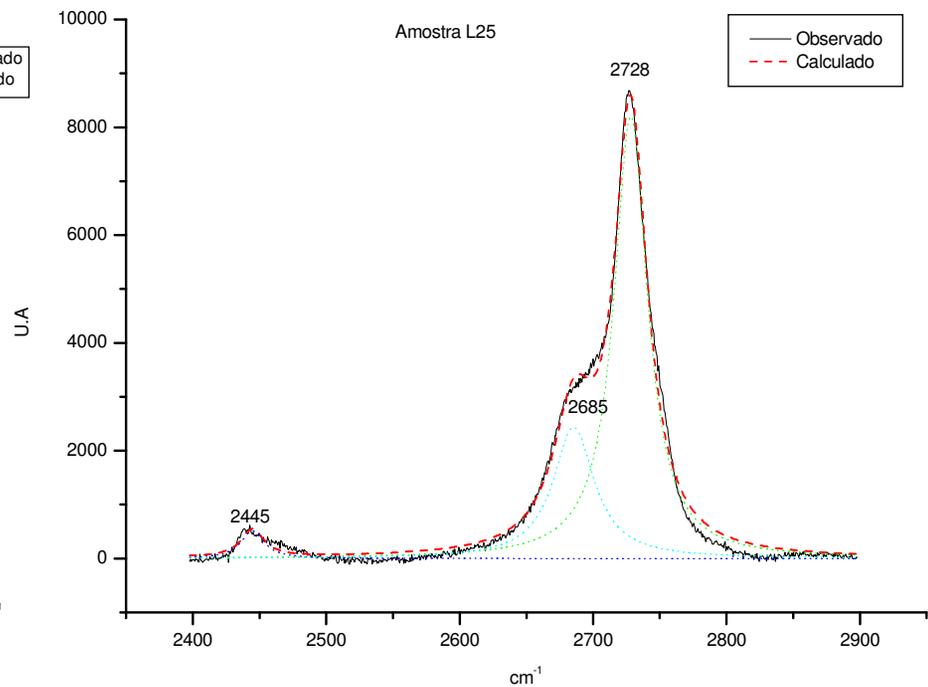
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	295.869650	1353.18133	20.9818734	2.19753879
2 Lorentz Amp	17985.1476	1581.95619	15.2990212	97.8024612



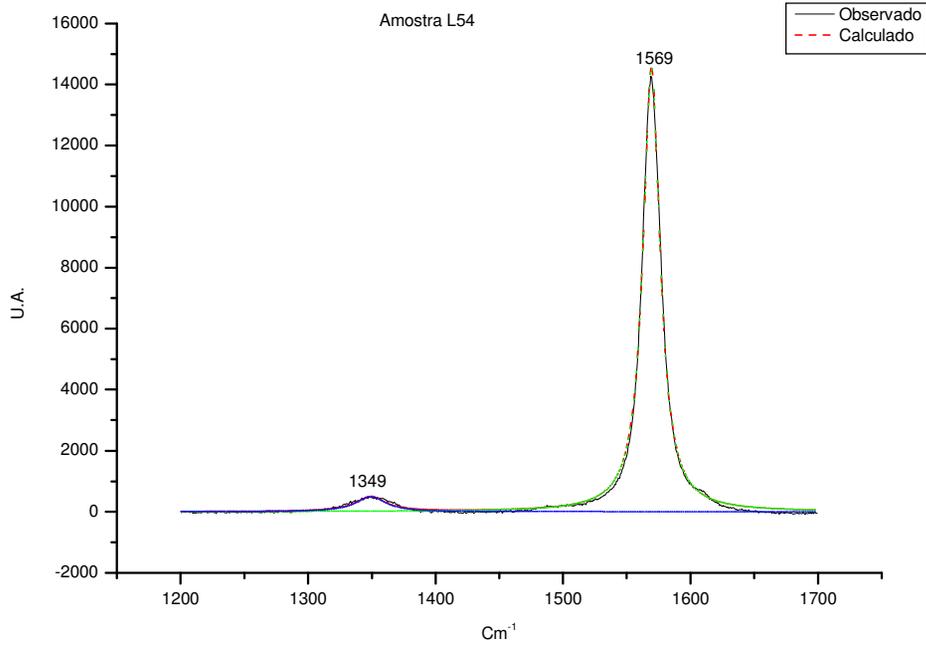
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	608.953582	2445.78351	23.5028026	3.49210193
2 Lorentz Amp	2256.64578	2680.21574	31.7313946	18.3876809
3 Lorentz Amp	1817.01673	2700.19196	26.0114739	12.2185779
4 Lorentz Amp	9032.47654	2727.87067	24.0397949	56.1711643
5 Lorentz Amp	1918.45149	2746.08467	19.5110981	9.73047502



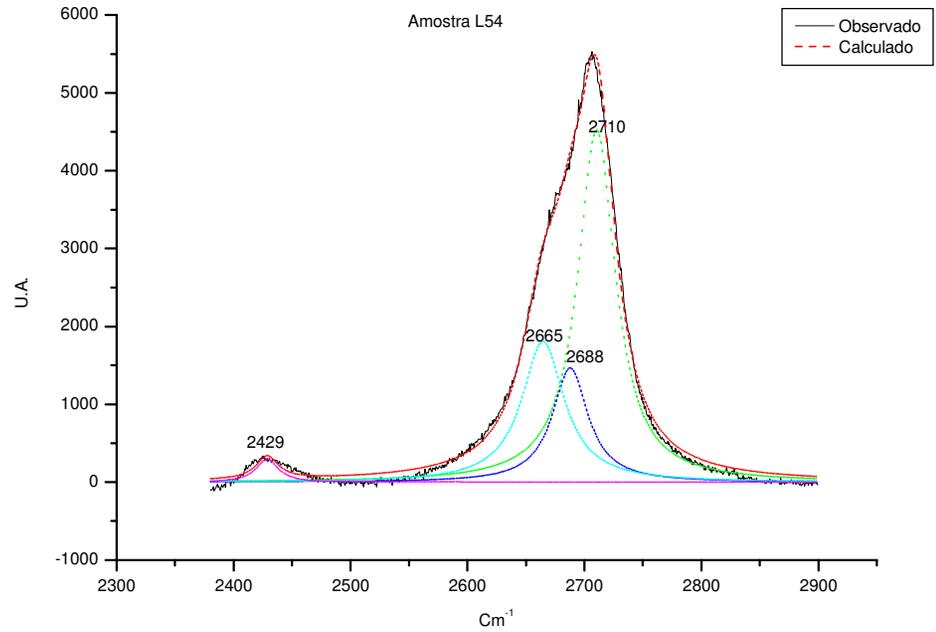
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	253.706499	1352.72194	22.4243726	2.38477369
2 Lorentz Amp	15348.1562	1580.25610	15.0653642	97.6152263



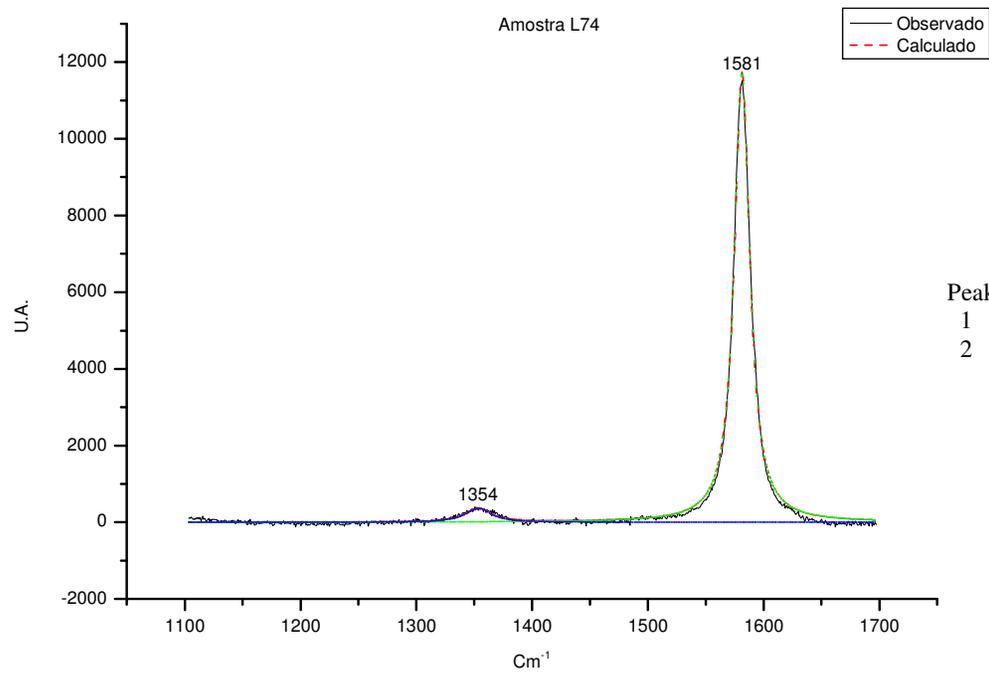
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	510.056059	2444.69604	20.9104854	2.93238688
2 Lorentz Amp	2435.40731	2685.45612	37.6433041	25.9725223
3 Lorentz Amp	8205.25989	2728.24551	30.3965366	71.0950908



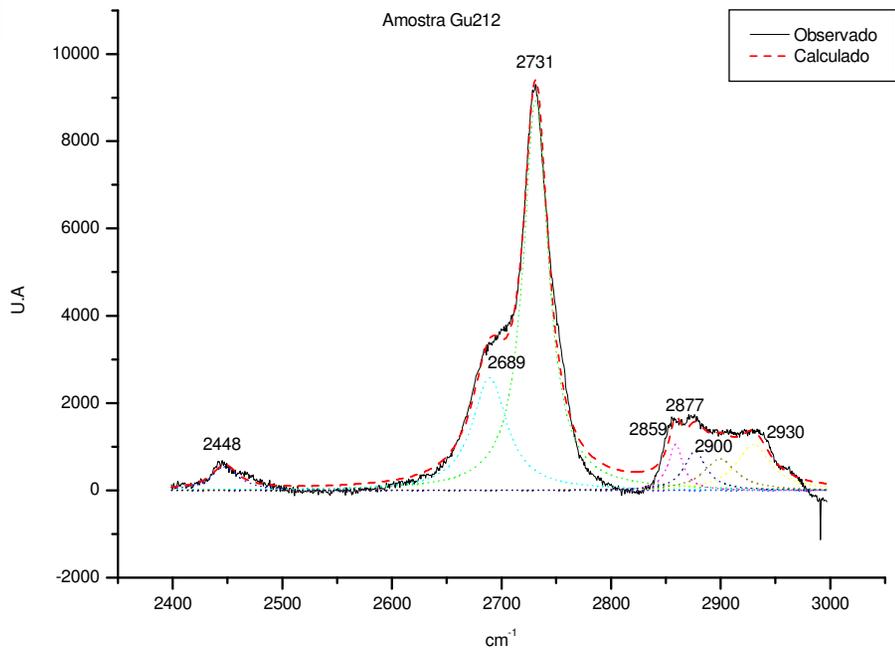
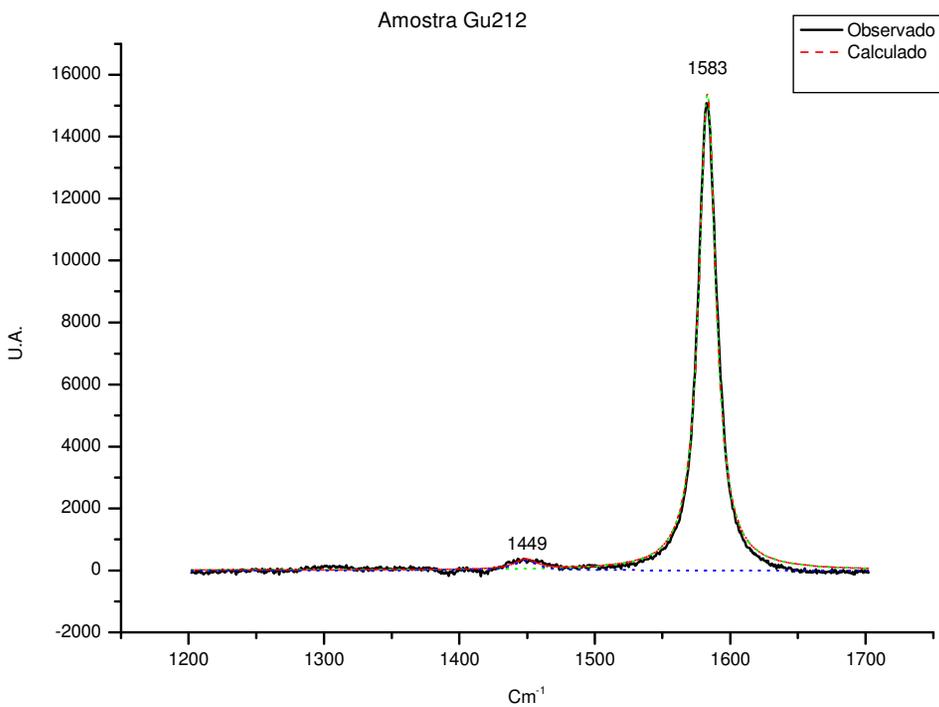
Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	485.943923	1349.27525	28.2235303	5.44328058
2 Lorentz Amp	14558.1698	1569.44954	16.0911765	94.5567194



Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	294.853075	2428.73776	23.1918758	2.08834466
2 Lorentz Amp	1804.70746	2664.60488	44.1521365	25.0820068
3 Lorentz Amp	1466.76235	2687.89142	36.9205403	17.1854736
4 Lorentz Amp	4521.31661	2710.45765	38.9730074	55.6441750



Peak	Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1	Lorentz Amp	441.816580	1353.83946	32.6408392	6.17932765
2	Lorentz Amp	13498.0393	1581.37484	15.8757873	93.8206723



Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	319.738087	1448.95449	19.6468697	2.59475899
2 Lorentz Amp	15390.7027	1583.12624	15.3519710	97.4052410

Peak Type	Amplitude	Center	FWHM	% Area
1 Lorentz Amp	544.950941	2447.66338	29.5011108	3.21657434
2 Lorentz Amp	2582.37127	2689.27468	38.7104604	21.3533972
3 Lorentz Amp	8932.68995	2731.43190	27.8543936	53.7686543
4 Lorentz Amp	1062.39701	2858.94218	15.9721357	3.68990483
5 Lorentz Amp	898.246220	2876.83709	24.1349925	4.63698195
6 Lorentz Amp	721.036306	2899.45945	35.9869409	5.37871965
7 Lorentz Amp	1056.36793	2930.14499	37.4924049	7.95576775

