



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE MINAS E CONSTRUÇÃO CIVIL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE MINAS

YURI CARILLI

CARACTERIZAÇÃO MINEROQUÍMICA DAS GRANADAS DO KIMBERLITO E DO
ALUVIÃO DIAMANTÍFERO DA REGIÃO DE SANTO INÁCIO, COROMANDEL –
MG.

Araxá/MG

2017

YURI CARILLI

CARACTERIZAÇÃO MINEROQUÍMICA DAS GRANADAS DO KIMBERLITO E DO
ALUVIÃO DIAMANTÍFERO DA REGIÃO DE SANTO INÁCIO, COROMANDEL –
MG.

Projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. Mauricio Antônio Carneiro – CEFET/ARAXÁ.

Co orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano – DEGEO/EM/UFOP.

Araxá/MG

2017

YURI CARILLI

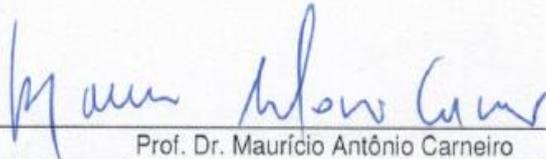
CARACTERIZAÇÃO MINEROQUÍMICA DAS GRANADAS DO KIMBERLITO E DO
ALUVIÃO DIAMANTÍFERO DA REGIÃO DE SANTO INÁCIO, COROMANDEL –
MG.

Projeto de trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Minas, do Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG,
como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia de Minas.

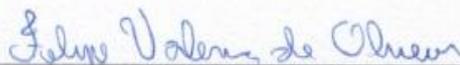
Orientador: Prof. Dr. Maurício Antônio Carneiro –
CEFET/ARAXÁ.

Coorientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano –
DEGEO/EM/UFOP.

Araxá, 22 de junho de 2017.



Prof. Dr. Maurício Antônio Carneiro
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



Prof. MSc. Felipe Valença de Oliveira
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá



Profa. Bruna Leticia dos Santos
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG – Unidade Araxá

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me conduzir, me dar sabedoria e disposição necessária para realizar mais este sonho.

Aos meus pais Cássia Almeida e Silvio Carvalho, por sempre me apoiarem e nunca me deixar desistir do objetivo de me tornar engenheiro. Ao meu tio Vicente, por ser meu espelho, minha inspiração e meu professor. Agradeço minha família por me propiciarem o que há de mais importante na vida: amor, carinho, confiança, entendimento e uma base consolidada.

Agradeço a minha namorada Lorenn pela paciência, pelo auxílio durante a elaboração deste trabalho e por sempre acreditar na minha capacidade.

Ao meu orientador, Maurício Antônio Carneiro, por acreditar em mim, se dispor diante as minhas dúvidas e conceder gentilmente sua amizade, conhecimento e profissionalismo, indispensáveis para a minha formação profissional. Obrigado pela paciência e dedicação!

A todos os professores do CEFET-MG, pela convivência, pelos ensinamentos, pela contribuição profissional. Estes que terão sempre meu respeito e admiração.

Ao técnico do Laboratório de Tratamento de Minérios, João Victor da Silva Alves, que sempre se disponibilizou em me auxiliar na etapa de preparação das amostras.

Enfim, agradeço a todos aqueles que colaboraram direta ou indiretamente na execução deste trabalho.

Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é que alguém acredite que ele possa ser realizado (Roberto Shinyashiki).

RESUMO

Ocorrem na região de Coromandel - MG, kimberlitos e cascalhos aluvionares diamantíferos. Especificamente na região do rio Santo Inácio, onde um garimpo da COOPERGAC (Cooperativa dos Garimpeiros da Região de Coromandel) lavra aluviões para extração de diamantes. Nessa mesma região tem-se um corpo de kimberlito que, em épocas passadas, também foi lavrado diamantes, apesar do baixo número de gemas encontradas. No intuito de compreender a gênese desse mineral e, ao mesmo tempo, buscar elementos de correlação genética entre os diamantes do aluvião e do kimberlito, foi realizado um estudo dos minerais pesados extraídos do aluvião e do kimberlito, mas especificamente às granadas. Após a coleta das amostras no campo e a sucessiva concentração dos minerais em laboratório, os espécimes escolhidos foram encaminhados para o DEGEO/EM/UFOP para determinação de sua composição química via MEV/EDS. Os resultados obtidos permitiram identificar vários tipos de granadas, (piropo, grossulária e almadina) sendo que, a maior variedade foi encontrada no kimberlito e, no aluvião, apenas o piropo foi identificado. Destaca-se também, a variabilidade de cores desses minerais onde, por exemplo, as grossulárias *sensu stricto* são verdes mas, alguns piropos enriquecidos em cálcio também são esverdeados, indicando que, não necessariamente a cor do mineral pode ser usada para sua caracterização.

Palavras - chave: Coromandel. Diamante. Grossulária. Piropo. Almandina.

ABSTRACT

Kimberlites exists in the up-state region of Brazil, in Coromandel, Minas Gerais State. It occurs specifically in the region of *Santo Inacio River*, where COOPERGAC (Cooperativa dos Garimpeiros da Região de Coromandel – *Coromandel Region Digging Cooperative*) prospects alluviums to mine diamonds. Kimberlites can also be found in this region where diamonds was mined in the past, inspite of a low quantity of gem found at that time.

In order to perceive the source of this mineral, as well as, search for genetic correlative elements between the diamonds from the alluvium and the kimberlites, it was made a research about the heavy mineral extracted from this allivium and the kimberlites, specifically about the garnets. After field sampling collection and successive mineral concentration in lab, chosen specimens were forwarded to DEGEO/EM/UFOP to determine its chemical composition through SEM-EDS. Results allowed the identification of several kinds of grenades (pyrope, grossular and almadine), and most of them was found in the kimberlite and, in the alluvium just the pyrope was identified. The variety of colors in these minerals are highlighted, for example at the grossular *sensu stricto* are green but, some calcium rich pyropes are also green, indicating that, not necessarily the color of the mineral can characterize it.

Keywords: Coromandel. Diamond. Grossular. Pyrope. Almandine

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 - Imagem dos planos de repetição sistemática de um retículo cristalino cúbico (Neumann <i>et al.</i> 2004, p. 66).	22
Figura 3.2 - Representação esquemática de um Difratorômetro de Raios X operando por método do pó (Neumann <i>et al.</i> 2004, p. 67).	23
Figura 3.3 - Representação esquemática dos níveis de energia e excitação eletrônica (Klauss. 2003, p. 17).	25
Figura 3.4 - Espectrômetro de Dispersão de Energia (EDS) (Klauss. 2003, p. 15)...25	
Figura 3.5 - Representação do equipamento espectrômetro de dispersão (Cavallaro. 2008, p. 61).	26
Figura 3.6 - Representação esquemática de um espectro (Cavallaro, 2008, p. 60)..27	
Figura 3.7 - Desenvolvimento da chaminé embrionária (Barbosa. 2006, p.10).....29	
Figura 3.8 - Escolha das porções fracionadas em diagonal (Sampaio et al. 2007, p.28).	31
Figura 3.9 - Método de amostragem em pilha cônica (Sampaio <i>et al.</i> 2007, p.28). ..31	
Figura 3.10 - Processo de amostragem no quarteador tipo Jones. (Sampaio et al. 2007, p. 30).	32
Figura 3.11 – Representação das unidades geológicas da folha Monte Carmelo e dos pontos de coleta das amostras.....	33
Figura 4.1 - Ponto de coleta das amostras aluvionares.	35
Figura 4.2 - Ponto de coleta das amostras kimberlíticas.....	36
Figura 4.3 - Fluxograma de preparação das amostras kimberlíticas.....	38

Figura 4.4 - Processo de despelotização.	38
Figura 4.5 - Pesagem das amostras úmidas.	39
Figura 4.6 - Processo de secagem na estufa.	39
Figura 4.7 - Pesagem da amostra seca.	40
Figura 4.8 - Amostra em processo de deslamagem.....	41
Figura 4.9 - Peneirador e peneiras para separação granulométrica.	42
Figura 4.10 - Etapa de separação magnética.....	43
Figura 4.11 - Concentração gravítica com utilização de uma bateia.	44
Figura 4.12 - Concentração em meio denso.	44
Figura 4.13 - Material em processo de evaporação na capela.....	45
Figura 4.14 - Equipamentos utilizados para catação manual.	46
Figura 4.15 - Minerais pesados armazenados em microtubos.	46
Figura 4.16 - Granadas representativas da amostra kimberlítica na lâmina.	47
Figura 4.17 - Granadas representativas das amostras kimberlíticas e aluvionares na lâmina.....	47
Figura 4.18 - Granadas representativas da amostra aluvionar na lâmina.	48
Figura 4.19 - Granadas representativas da amostra kimberlítica na lâmina.	48
Figura 4.20 - Fluxograma de preparação das amostras aluvionares.	49
Figura 5.1 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 1 (spectrum 10, 11, 12, 15, 16 e 17).	58

Figura 5.2 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 1 (spectrum 19, 20 e 21).....	59
Figura 5.3 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 2 (spectrum 35, 36, 40 e 45).....	61
Figura 5.4 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 2 (spectrum 46, 47, 48, 49 e 50).....	62
Figura 5.5 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 3 (spectrum 73, 74 e 75).....	64
Figura 5.6 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 4 (spectrum 88 e 89).....	65
Figura 5.7 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 4 (spectrum 90, 91, 92, 94, 95 e 96).....	66
Figura 5.8 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 4 (spectrum 97, 107, 108, 109, 110 e 111).....	67
Figura 5.9 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 4 (spectrum 112, 116, 117 e 118).....	68
Figura 6.1 – Diagrama de fases Ca-Mg-Fe das granadas kimberlíticas e aluvionares analisadas neste trabalho, em termos de suas composições piropo, almandina e grossulária.....	78
Figura 6.2 – Distribuição das granadas kimberlíticas e aluvionares, analisadas neste trabalho, no diagrama de fases Ca-Mg-Fe, considerando a variabilidades dos seus aspectos óticos (minerais verdes, vermelhos, laranja, rosa, arroxeados, etc.).....	79

Figura 6.3 - Distribuição das granadas kimberlíticas e aluvionares, analisadas neste trabalho, no diagrama de fases Ca-Mg-Fe, considerando a área de coleta e campo composicional.....80

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Descrição das unidades geológicas referente ao grupo e formação.	34
Tabela 4.1 - Coordenadas geográficas das amostras aluvionares.....	36
Tabela 4.2 - Coordenadas geográficas da amostra kimberlítica.	36
Tabela 4.3 - Relação das massas das amostras coletadas.	40
Tabela 4.4 - Relação das massas direcionadas para a concentração e deslamagem.	41
Tabela 4.5 - Descrição de peneiras utilizadas e suas respectivas aberturas.	41
Tabela 4.6 - Resultado das amostras após às etapas de deslamagem, separação granulométrica e extração magnética	42
Tabela 5.1 - Composição química das granadas da amostra kimberlítica (K1).....	52
Tabela 5.2 - Composição química das granadas (35, 36, 45, 46, 47, 48, 49 e 50) da amostra kimberlítica (k4) e da granada (40) da amostra aluvionar (J3).	53
Tabela 5.3 - Composição química das granadas da amostra aluvionar (J1).....	53
Tabela 5.4 - Composição química das granadas da amostra kimberlítica (K2).....	54
Tabela 5.5 - Composição química das granadas da amostra kimberlítica (K3).....	54
Tabela 5.6 - Determinação mineralógica das granadas da amostra kimberlítica (K1), em termos de sua composição molecular.	55
Tabela 5.7 - Determinação mineralógica das granadas (35, 36, 45, 46, 47, 48, 49 e 50) da amostra kimberlítica (K4), e da granada (40) da amostra aluvionar (J3) em termos de sua composição molecular.	55

Tabela 5.8 - Determinação mineralógica das granadas da amostra aluvionar (J1) em termos de sua composição molecular.	56
Tabela 5.9 - Determinação mineralógica das granadas da amostra kimberlítica (K2) em termos de sua composição molecular.	56
Tabela 5.10 - Determinação mineralógica das granadas da amostra kimberlítica (K3) em termos de sua composição molecular.	57
Tabela 6.1 - Fases composicionais das granadas da amostra kimberlítica K1, lâmina 1.	72
Tabela 6.2 - Fases composicionais das granadas da amostra kimberlítica K2, lâmina 4.	73
Tabela 6.3 - Fases composicionais das granadas da amostra kimberlítica K3, lâmina 4.	74
Tabela 6.4 - Fases composicionais das granadas da amostra kimberlítica K4, lâmina 2.	75
Tabela 6.5 - Fases composicionais das granadas da amostra aluvionar J1, lâmina 3.	76
Tabela 6.6 - Fases composicionais das granadas da amostra aluvionar J3, lâmina 2.	77

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVO	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3.1	CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE MINERAIS PESADOS	20
3.1.1	<i>Fracionamento das amostras</i>	20
3.1.2	<i>Caracterização óptica de minerais pesados</i>	21
3.2	MÉTODOS DE CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA	21
3.2.1	<i>Difração de Raios X</i>	21
3.2.2	<i>Fluorescência de Raios X</i>	23
3.2.3	<i>Microsonda Eletrônica</i>	23
3.2.4	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i>	24
3.2.4.1	<i>Microanálise por Energia Dispersiva (EDS)</i>	24
3.2.5	<i>Espectroscopia Raman</i>	26
3.3	GEOLOGIA DO DIAMANTE	27
3.3.1	<i>Características do diamante</i>	27
3.3.2	<i>Formas de ocorrência do diamante</i>	28
3.3.2.1	<i>Teoria do vulcanismo explosivo</i>	28

3.3.2.2	Teoria magmática (Fluidização).....	29
3.4	TEORIA DE AMOSTRAGEM.....	30
3.4.1	<i>Amostragem</i>	30
3.4.1.1	Técnicas de amostragem – Quarteamento.....	30
3.4.1.2	Método de pilhas cônicas	31
3.4.1.3	Método quarteador Jones	32
3.5	GEOLOGIA DA REGIÃO DO GARIMPO DE SANTO INÁCIO.....	32
4	DESENVOLVIMENTO	35
4.1	COLETA DE AMOSTRAS	35
4.2	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	37
4.2.1	<i>Amostras kimberlíticas</i>	37
4.2.2	<i>Amostras aluvionares</i>	49
5	CARACTERIZAÇÃO COMPOSICIONAL DAS GRANADAS.....	52
5.1	CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO MOLECULAR DAS GRANADAS DA LÂMINA 1	57
5.2	CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO MOLECULAR DAS GRANADAS DA LÂMINA 2	60
5.3	CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO MOLECULAR DAS GRANADAS DA LÂMINA 3	64
5.4	CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO MOLECULAR DAS GRANADAS DA LÂMINA 4	65
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES	72
6.1	GRANADAS DAS AMOSTRAS KIMBERLÍTICAS	72
6.2	GRANADAS ALUVIONARES	76

6.3	CONCLUSÕES.....	77
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

O trabalho aborda o tema da caracterização de minerais pesados das ocorrências aluvionares diamantíferas da região do Santo Inácio em Coromandel, MG, e, também, de uma intrusão kimberlítica situada na mesma região. A partir do tema, foi contextualizada a geologia da região de Coromandel, a qual ajudará a entender a pergunta problema que será proposta a seguir. Também será abordado assuntos relacionados a geologia do diamante em toda sua complexidade.

Seguindo a mesma linha proposta pelo tema, assuntos relacionados às técnicas de pesquisa mineral (amostragem) serão mencionados para auxiliar os estudos na parte de preparação das amostras coletadas. Serão apresentados os passos tomados para uma adequação das amostras à caracterização dos minerais pesados. Estudos relacionados à caracterização óptica e as técnicas vigentes serão expostas para entendermos qual a melhor técnica a ser utilizada para as propriedades e características intrínsecas das amostras coletadas.

Há muito tem sido estudado e explotado os diamantes na região do Santo Inácio e em demais regiões em Coromandel. Porém, poucos são os estudos realizados para identificar a origem dos diamantes da região. Sendo assim, o problema proposto por este trabalho é identificar, mediante análises dos minerais pesados das amostras coletadas do aluvião e kimberlito, se os diamantes aluvionares (transportados) explotados em Santo Inácio tem sua origem nos kimberlitos proximais ou não.

Como se sabe, os diamantes são formados à cerca de 150 km de profundidade na astenosfera, a qual representa a faixa de estabilidade para a sua formação (Barbosa, 2006). Para chegar à superfície, o magma kimberlítico transporta os diamantes já formados, em grandes velocidades e pulsos contínuos, originando os depósitos diamantíferos. A região de Santo Inácio tem intrusões kimberlíticas e, ao mesmo, diamantes aluvionares. Por essa razão, essas ocorrências se tornam

relevantes para serem estudadas, no sentido de determinar as paragêneses de minerais pesados dos kimberlitos e aluviões e as conseqüentes similaridades, ou não, entre elas.

A importância deste trabalho está relacionada, em termos pessoais, ao prosseguimento da minha carreira como Engenheiro de Minas. Para a comunidade científica espera-se que esta pesquisa contribua para elucidar a origem dos diamantes da região do Santo Inácio em Coromandel. Localmente, o aprofundamento dos estudos acerca dos diamantes poderá abrir novas fontes de pesquisa e exploração na região.

No geral, pode-se caracterizar a metodologia deste trabalho, como o estudo geológico de uma determinada região diamantífera, mencionada anteriormente. Os procedimentos metodológicos se iniciaram pela coleta de amostras do kimberlito e do aluvião, que posteriormente, passaram por processos de concentração distintos, porém ambas com o mesmo objetivo. Seguiu-se para a etapa de caracterização, específica das granadas do kimberlito e do aluvião, em virtude da grande variedade de fases minerais encontradas durante a concentração dos pesados. O restante do material, concentrado e analisado, por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), será objetivo de futuros trabalhos no sentido de continuar o estudo dos diamantes da região.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Realizar a caracterização mineralógica dos minerais pesados contidos nas amostras kimberlíticas e os minerais pesados contidos nas amostras aluvionares, com o intuito de avaliar a paragênese de formação de ambas as amostras. Neste sentido, após a concentração das fases dos minerais pesadas e sua análise por Microscopia Eletrônica, optou-se por tratar, especificamente as granadas, em virtude das grandes fases minerais e do volume analítico produzido pelas análises mineroquímicas.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar a paragênese dos minerais pesados das amostras aluvionares.
- ✓ Caracterizar a paragênese dos minerais pesados das amostras kimberlíticas.
- ✓ Comparar as paragêneses de ambas as amostras.
- ✓ Propor um modelo genético para ocorrência do depósito diamantífero de Santo Inácio.
- ✓ Comparar os paragêneses de pesados de Santo Inácio com outras brasileiras e mundiais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica abordou cinco diferentes tópicos, a saber: caracterização mineralógica de minerais pesados, métodos de caracterização mineralógica, geologia do diamante, teoria da amostragem e geologia da região do garimpo de Santo Inácio.

3.1 Caracterização Mineralógica de Minerais Pesados

Segundo Sales (2009), a caracterização de minerais tem como objetivo desvendar todas as informações do minério estudado, procurando resultados que irão gerar as principais propriedades e características do mesmo, levando em conta todos os problemas do material mediante algum estudo, processo industrial, entre outros. Com isso, o processo da caracterização busca o estudo e a compreensão do material em toda sua complexidade, sendo que, quando aplicado à minerais pesados possibilita uma melhor análise, devido aos minerais pesados possuírem suas fases mais bem retrabalhadas.

3.1.1 Fracionamento das amostras

De modo geral, uma das partes mais importantes para aperfeiçoar o processo de caracterização de minerais pesados, consiste em fracionar a amostra cujo objetivo é facilitar a análise e identificação dos minerais pesados presentes, estabelecer certas propriedades físicas e gerar uma melhor quantificação das fases. Com tudo, o fracionamento em geral, é realizado por suscetibilidade magnética se a propriedade diferenciadora for o magnetismo, ou por densidade que é a mais convencional. Assim, se consegue, nesta fase, determinar algumas propriedades físicas do mineral e restrições da amostra pela resposta dos minerais pesados ao fracionamento (Neumann *et al.* 2004).

3.1.2 Caracterização óptica de minerais pesados

A caracterização óptica representa uma gama de métodos utilizados para uma melhor descrição e detalhamento dos minerais pesados presentes na amostra. Desde o detalhamento nas figuras de superfície, nos hábitos, imperfeições e até mesmo inclusões nos diamantes. Elementos como o microscópio de polarização e lupa binocular estereoscópica, realizam este tipo de análise previamente, com o objetivo de ter uma noção das condições dos minerais pesados, antes mesmo de se levar a laboratórios que possuem métodos muito mais precisos e confiáveis como, Fluorescência de raios X, Microsonda eletrônica, Microscopia eletrônica de varredura (MEV), Difração de raios X e Espectroscopia Raman (Neumann *et al.*, 2004).

3.2 Métodos de caracterização mineralógica

3.2.1 Difração de Raios X

Este método é muito conhecido no âmbito da caracterização de minerais, devido sua grande utilização. Com isso, realizam-se emissões de ondas pelo equipamento cuja frequência das ondas está no intervalo das ondas de raios X, que se colidem com os planos de repetição sistemática do retículo cristalino da amostra, configurando assim, seu princípio de funcionamento e gerando um quadro de minerais pesados que compõem a amostra. Porém, este método tem uma grande desvantagem em relação aos demais, pois ele se aplica restritamente a minerais cristalinos, deixando de lado os minerais amorfos (Neumann *et al.* 2004).

É utilizado como embasamento teórico do método a fórmula: $\lambda = 2d \times \sin \Theta$, onde Θ corresponde ao ângulo de reflexão das ondas sobre o material, d são as distâncias interplanares presentes no retículo cristalino como mostrado anteriormente (Figura 3.1) e λ representa o comprimento de onda das ondas emitidas pelo difratômetro de raios x (Neumann *et al.* 2004).

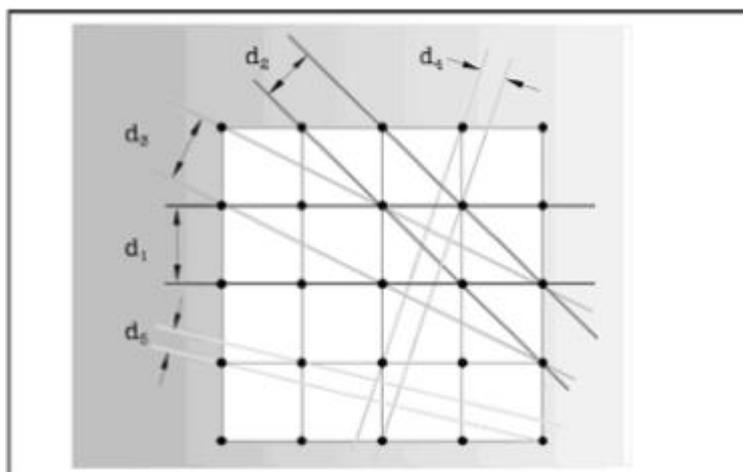


Figura 3.1 - Imagem dos planos de repetição sistemática de um retículo cristalino cúbico (Neumann *et al.* 2004, p. 66).

Citando Neumann *et al.* (2004), o difratômetro de raios X possui um vasto campo de configurações de acordo com a demanda, assim, pelo método do pó os minerais pesados já preparados anteriormente localizam-se no centro, e a fonte de onde são emitidas as ondas de raios X juntamente com a fenda do detector está equidistante uma em relação à outra (Figura 3.2).

Sendo assim, quando o difratômetro entra em operação o detector move-se com o dobro da velocidade angular (ω) da amostra, justamente para poder captar e contabilizar todas as ondas refletidas no retículo cristalino da mesma. Portanto, a interpretação realizada pelo difratômetro é justamente contabilizar as frentes de ondas refletidas em um determinado ângulo Θ , que a partir da formulação proposta anteriormente será convertida em distâncias interplanares (d) (Neumann *et al.* 2004).

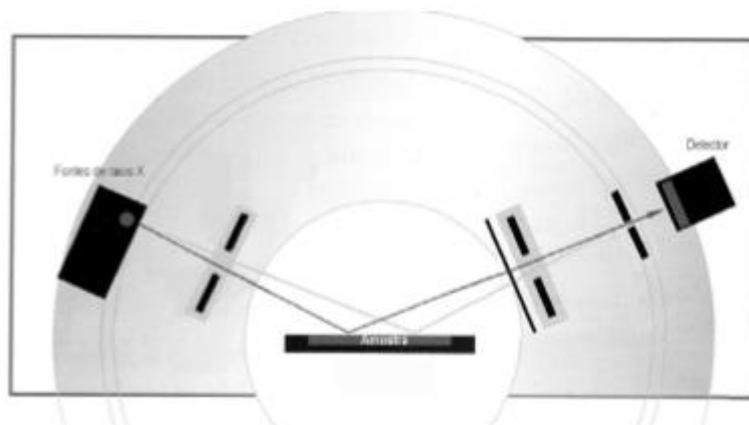


Figura 3.2 - Representação esquemática de um Difratômetro de Raios X operando por método do pó (Neumann *et al.* 2004, p. 67).

3.2.2 Fluorescência de Raios X

Citando Chaves (1997), a fluorescência de raios X é empregada na análise tanto das partículas maiores, quanto das partículas menores de minerais pesados de uma amostra. Sendo assim, seu princípio de funcionamento, consiste na emissão de feixes primários que serão absorvidos pela amostra, posteriormente, cada elemento (mineral) da amostra possui o seu espectro característico, com isso, a radiação emitida pela amostra permite descobrir os elementos presentes na mesma.

3.2.3 Microsonda Eletrônica

O método da microsonda eletrônica é um pouco mais específico que a Fluorescência de raios X, pois ela visa obter de forma quantitativa informações da composição química exata de pontos que ocupam micro volumes na amostra. Para estudos, onde há análise de inclusões, as partes alteradas da amostra não são importantes, a microsonda eletrônica é muito recomendada, devido ela conseguir eliminar todas as partes indesejáveis e focar justamente nos pontos ínfimos da amostra (Chaves 1997).

3.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

De acordo com Chaves (1997), esse método utiliza a interação de um feixe de elétrons colidindo com a amostra, assim, ele consegue visualizar imagens externas aos cristais dos minerais pesados compostos na amostra e ampliar a imagem gerada dos cristais em cerca de 100.000 vezes seu tamanho original. Com isso, a microscopia eletrônica de varredura (MEV) se consagrou um excelente método de caracterização de minerais, devido conseguir analisar as estruturas morfológicas dos minerais pesados e fotografar as mesmas em uma escala muito pequena.

3.2.4.1 Microanálise por Energia Dispersiva (EDS)

Este método consiste na aceleração de uma carga elétrica que provocará a emissão de radiação eletromagnética. A radiação eletromagnética produzida é direcionada diretamente para a amostra a ser analisada, cujo os elétrons da radiação produzida irão interagir com os elétrons dos orbitais atômicos dos elementos contidos na amostra, criando uma excitação eletrônica (Figura 3.3) na qual ocorrerá a ejeção de um determinado elétron para um orbital atômico mais externo. Portanto, após um tempo muito curto (Phaton segundo), o mesmo elétron excitado anteriormente retornará para seu estado básico de origem, que por sua vez, irá liberar energia pela transmissão de fótons com um determinado comprimento de onda (λ) (Klauss 2003).

De acordo com Klauss (2003), após a relaxação a quantidade de energia liberada depende fortemente do número atômico (Z) do elemento químico e do orbital envolvido no processo de ionização. Portanto, o equipamento (Figura 3.4) irá captar a energia liberada pela excitação em elétrons volts (ev) e transformar essa energia em um elemento químico específico da composição da amostra analisada.

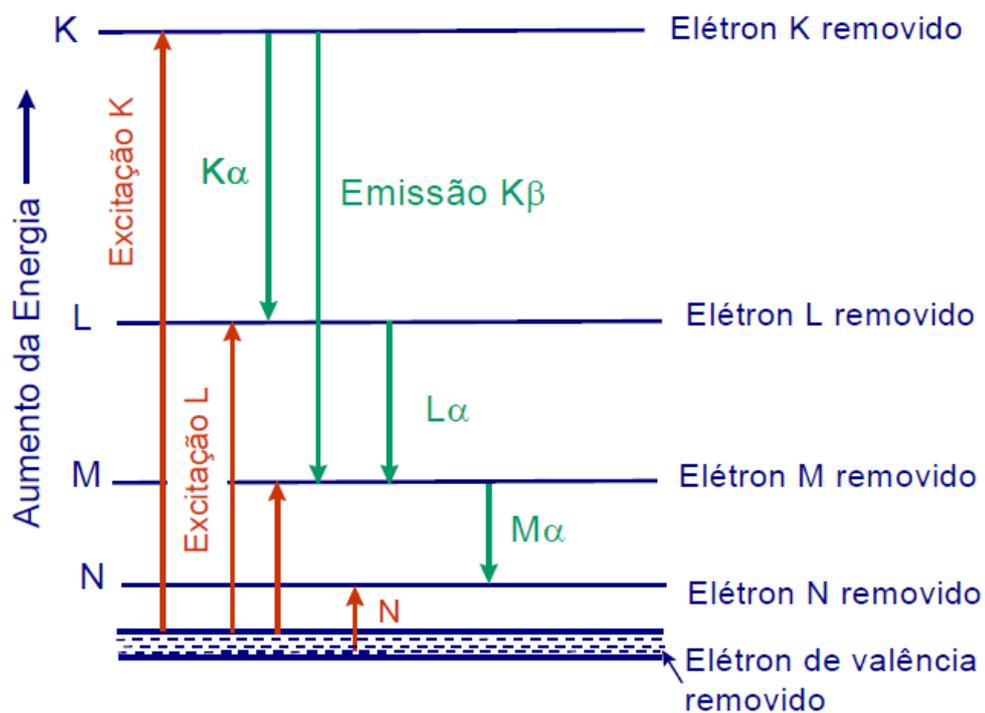


Figura 3.3 - Representação esquemática dos níveis de energia e excitação eletrônica (Klauss. 2003, p. 17).

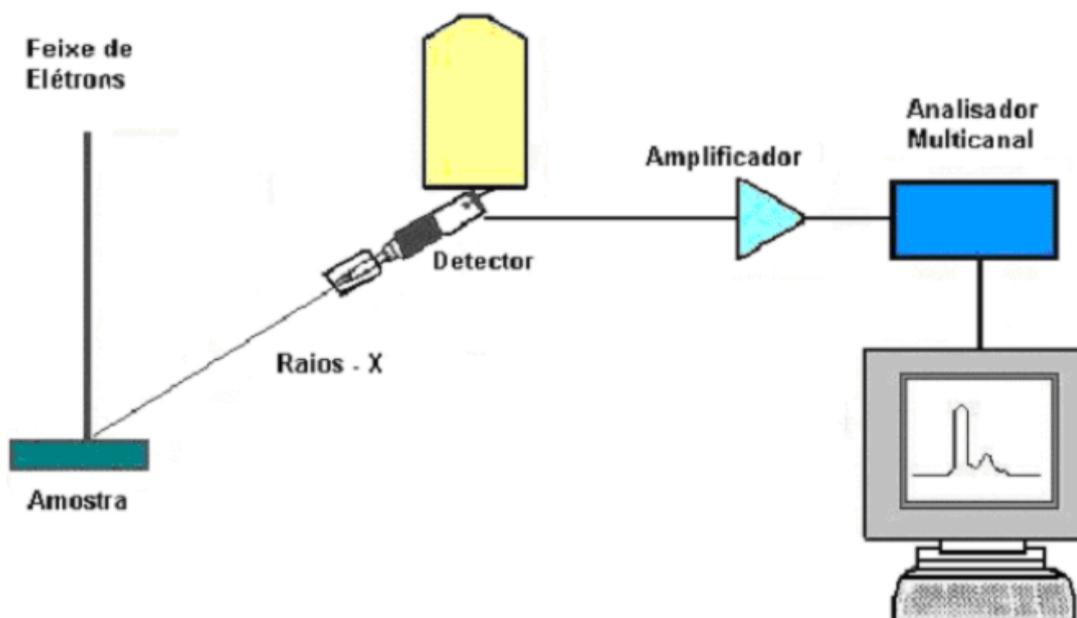


Figura 3.4 - Espectrômetro de Dispersão de Energia (EDS) (Klauss. 2003, p. 15).

3.2.5 Espectroscopia Raman

Espectroscopia é toda técnica que utiliza da transmissão, absorção ou reflexão de uma dada energia radiante sobre uma amostra, com o intuito de gerar informações físico-químicas (Cavallaro, 2008).

Segundo Belém (2006), a amostra está sujeita a receber radiação eletromagnética, cujo resultado do método (espectro) é caracterizado por um espalhamento inelástico da luz devido a interação da radiação eletromagnética e a superfície da amostra. Quando a radiação é espalhada, ela possui novas frequências, conhecidas como desvio Ramam, que são independentes da frequência da luz emitida pelo espectrômetro (Figura 3.5). Assim, as novas frequências aparecem no espectro em posições simétricas justamente em relação à linha de radiação excitante.



Figura 3.5 - Representação do equipamento espectrômetro de dispersão (Cavallaro. 2008, p. 61).

Após a realização do método, será gerado o espectro (Figura 3.6) que é representado por uma série de bandas que são caracterizadas baseando-se em três parâmetros principais: forma (estreita ou larga), intensidade (fraca, media ou forte) e posição (frequência ou número de ondas) (Belém, 2006).

Portanto, com os resultados gerados pelo espectro pode-se identificar a espécie mineral estudada, as estruturas moleculares, níveis de energia, defeitos cristalinos, ligações químicas, entre outros parâmetros (Belém, 2006).

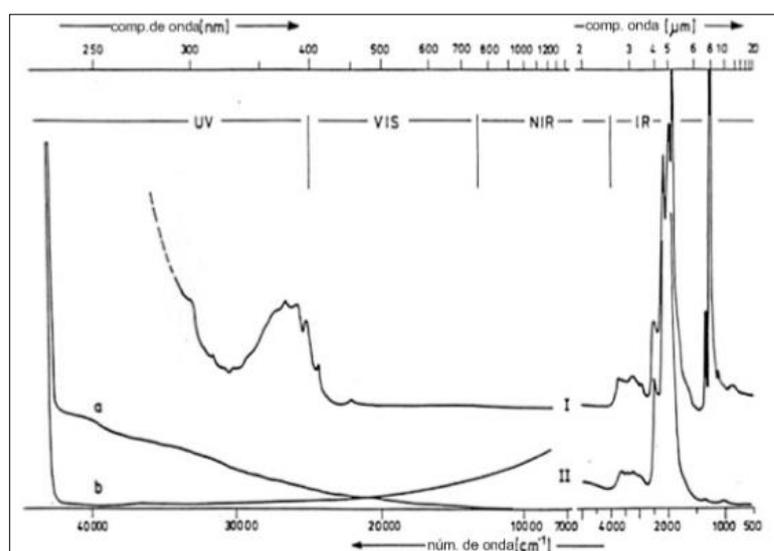


Figura 3.6 - Representação esquemática de um espectro (Cavallaro, 2008, p. 60).

3.3 Geologia do diamante

De acordo com Svizzero (2006), o diamante é formado pelo elemento químico carbono (C) sendo considerada uma variação polimórfica deste elemento. Existem outras variações polimórficas do carbono: a grafita e a lonsdaleita. A composição principal do diamante é o carbono (99,9%) e o restante são impurezas como: nitrogênio, oxigênio, enxofre, níquel, boro, cobre, entre outras.

Os diamantes são encontrados com maior frequência na forma monocristalina, onde os mesmos possuem cristais octaédricos ou romboédricos, cuja dissolução pode acabar variando o grau de curvatura das arestas (Svizzero, 2006).

3.3.1 Características do diamante

O diamante está na classe dos minerais gemológicos devido suas notáveis características próprias como: dureza; brilho e transparência. Seu brilho adamantino muito conhecido pelos garimpeiros é devido ao seu índice de refração (2,417), possui clivagem perfeita em quatro dimensões, demonstrando que diamantes podem se dividir em cristais menores. Entretanto, por causa da sua baixa tenacidade,

dependendo do impacto mecânico, ele pode partir em outras direções, que não necessariamente a clivagem. Por outro lado, uma das características únicas dos diamantes é sua dureza elevada, representada com o valor de 10 na escala de MOHS (Svizzero, 2006).

3.3.2 Formas de ocorrência do diamante

Para a formação do diamante é necessário altíssimas temperaturas e pressões. Estas são alcançadas à cerca de 150 km de profundidade no manto, onde se encontra a zona de estabilidade de formação de diamantes. Sendo assim, todos os diamantes existentes na Terra já foram criados, porém, se encontram a grandes profundidades, impossibilitando a sua extração mecânica.

Devido às correntes de convecção, os magmas kimberlíticos atuam como transportadores dos diamantes do manto para a crosta terrestre (superfície). Alguns modelos geológicos explicam a ascensão do magma kimberlítico até a superfície, que serão abordados a seguir.

3.3.2.1 Teoria do vulcanismo explosivo

Segundo Barbosa (2006), essa teoria se baseia no direcionamento de magmas kimberlíticos à pequenas profundidades. Neste caso, quando a resistência da rocha superior for menor que a pressão que a câmara magmática exerce, a mesma tende a romper o maciço rochoso gerando uma erupção e transportando todo o material produzido até a crosta terrestre.

Porém, com o passar do tempo notou-se por meio da atividade mineradora, que esta teoria não se sustenta por completo. Devido à falta de evidências em relação à existência de câmaras magmáticas intermediárias em pequenas profundidades (Barbosa, 2006).

3.3.2.2 Teoria magmática (Fluidização)

Citando Barbosa (2006), ao contrário da teoria anterior, a fluidização demonstra que o magma kimberlítico promove sua ascensão até a superfície em pequenas erupções (pulsos), denominados chaminés embrionárias (Figura 3.7). Sendo assim, em vários pulsos os voláteis atingirão profundidades extremamente rasas, onde poderão interpor a resistência do maciço e atingir a superfície, cujos fragmentos da rocha encaixante e os minerais irão se fluidizar ao longo de um tempo em um estado da matéria não muito definido.

Acredita-se que o processo de fluidização ocorre em um período muito curto, devido gerar fragmentos bem angulosos. Um fator muito importante a ser discutido, é o fato de obter vários ângulos de inclinação gerados pelas chaminés embrionárias. Assim o ângulo de inclinação está diretamente relacionado à configuração geológica em que o magma kimberlítico está inserido. Ou seja, se a rocha for bem competente (consolidada), irá gerar chaminés muito inclinadas (80° - 85°), por outro lado, se a configuração for de uma rocha mal consolidada, as chaminés embrionárias tenderão a formar ângulos de inclinação bem mais delicados (Barbosa, 2006).

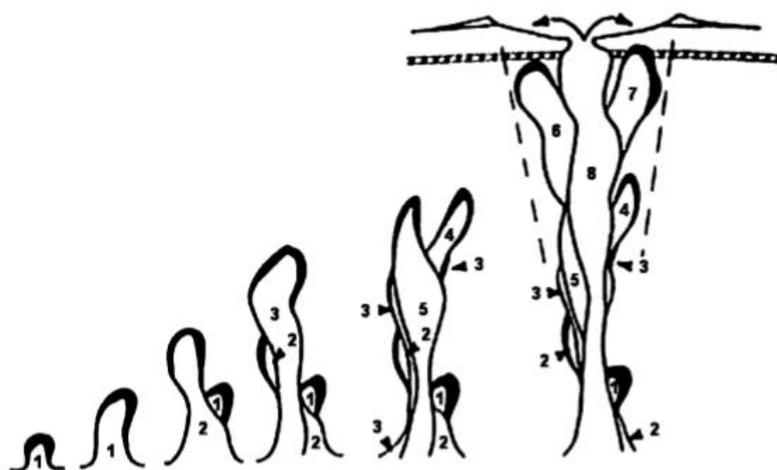


Figura 3.7 - Desenvolvimento da chaminé embrionária (Barbosa. 2006, p.10).

3.4 Teoria de Amostragem

É considerado metodologia de preparação de amostras, qualquer método desenvolvido que possibilite o estudo e a adequação das amostras às especificações laboratoriais. O primeiro passo dessa metodologia é a coleta e selecionamento das frações a serem estudadas, que será discutido nos próximos tópicos.

3.4.1 Amostragem

Segundo Sales (2009), a amostragem faz parte das técnicas de pesquisa mineral. Sendo considerado o método no qual será retirada uma pequena fração do material estudado em relação ao lote inicial. Portanto, a fração recolhida deverá representar todo o material em todas as suas características e propriedades, tornando assim, um método passível de muitos erros, tanto de representatividade, quanto de erro humano.

Na maioria dos casos, em geral, as propriedades físicas, físico-químicas e mineralógicas são heterogêneas em relação aos minerais. Assim, uma amostragem perfeita (ideal), conseguiria por métodos e técnicas de amostragem homogeneizar grandes volumes de amostras que seria representada por frações cujos pesos seriam ínfimos (Sales, 2009).

3.4.1.1 Técnicas de amostragem – Quarteamento

O processo de quarteamento está diretamente relacionado com o processo de amostragem, sendo que, ele consiste em subdividir as amostras primárias obtidas na coleta em alíquotas de menor massa, obtendo assim, um lote final que possa representar todo o universo desejado. Sendo esta técnica muito utilizada no âmbito laboratorial, por meio de equipamentos mecânicos (Sampaio *et al.* 2007).

3.4.1.2 Método de pilhas cônicas

É um método utilizado para minerais mais homogêneos e de granulometria não muito grosseira. Portanto, o método consiste em homogeneizar as amostras cuidadosamente gerando uma pilha cônica, na qual em relação ao vértice do cone os minerais estarão segregados simetricamente. Assim, o vértice do cone é achatado com o intuito de facilitar o processo de divisão do material em quatro porções simétricas (Figura 3.9). Sendo assim, são escolhidas duas frações em diagonal para serem analisadas como produto final e as demais frações são descartadas (Figura 3.8) (Sampaio *et al.* 2007).

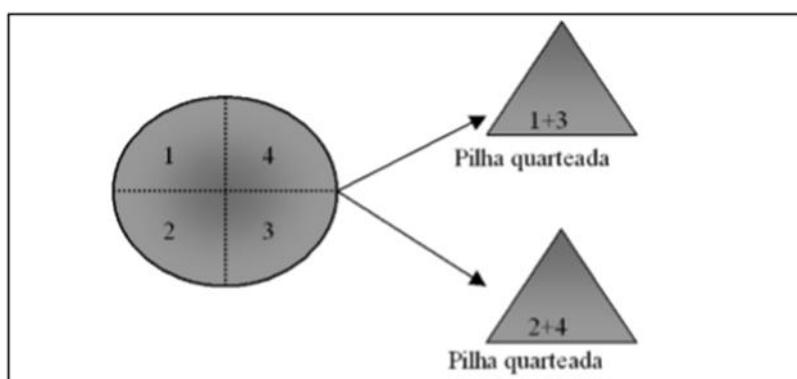


Figura 3.8 - Escolha das porções fracionadas em diagonal (Sampaio et al. 2007, p.28).

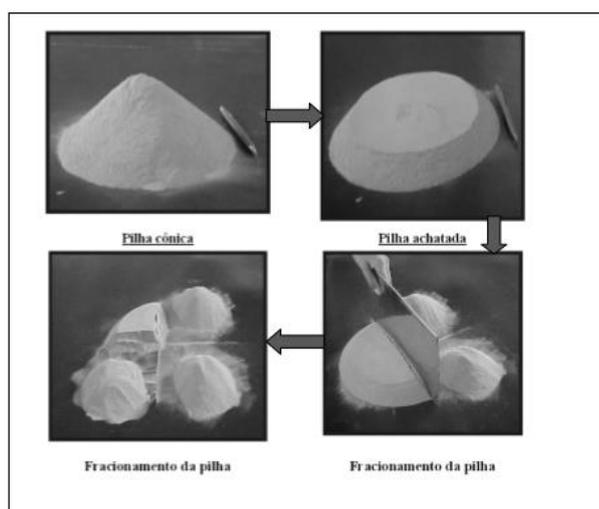


Figura 3.9 - Método de amostragem em pilha cônica (Sampaio *et al.* 2007, p.28).

3.4.1.3 Método quarteador Jones

Segundo Sampaio *et al.* (2007), o quarteador Jones é um equipamento que possui calhas com inclinação de aproximadamente 45°, que estão alternadas uma em relação as outras e tem o objetivo de direcionar as amostras somente para um lado do quarteador ou ambos, onde o material irá cair nas caixas de recolhimento (Figura 3.10). A adição das amostras ao equipamento deve ser realizada de forma uniforme, lenta e que as amostras inseridas sejam suficientes para cobrir todas as calhas do quarteador, para um melhor efeito da representatividade do lote inicial em relação ao seu universo.

Sendo assim, esse procedimento de inserção das amostras é realizado várias vezes para se obter uma adequada homogeneização do material. Por outro lado, é um método que exige muito cuidado e cautela, devido à adição do material na maioria dos casos serem feita por uma pessoa e não por um equipamento cuja precisão é muito maior (Sampaio *et al.* 2007).



Figura 3.10 - Processo de amostragem no quarteador tipo Jones. (Sampaio et al. 2007, p. 30).

3.5 Geologia da região do garimpo de Santo Inácio.

Segundo Guimarães (2006), a geologia da região compreende unidades rochosas dos grupos Canastra (formações Paracatu e Chapada dos Pilões), Vazante (Formação Serra do Garrote), Bambuí (Formação Santa Helena), kimberlitos e

depósitos aluviais do Quaternário (Figura 3.11). O nome das unidades da Figura 3.11 está representado na Tabela 3.1.

Os depósitos e terraços aluvionares do Quaternário compreendem sedimentos inconsolidados de natureza arenosa, areno-argilosa, argilo-síltica contendo, seixos e matacões, resultantes do retrabalhamento de coberturas antigas e redistribuídos em terraços mais recentes (Guimarães , 2006).

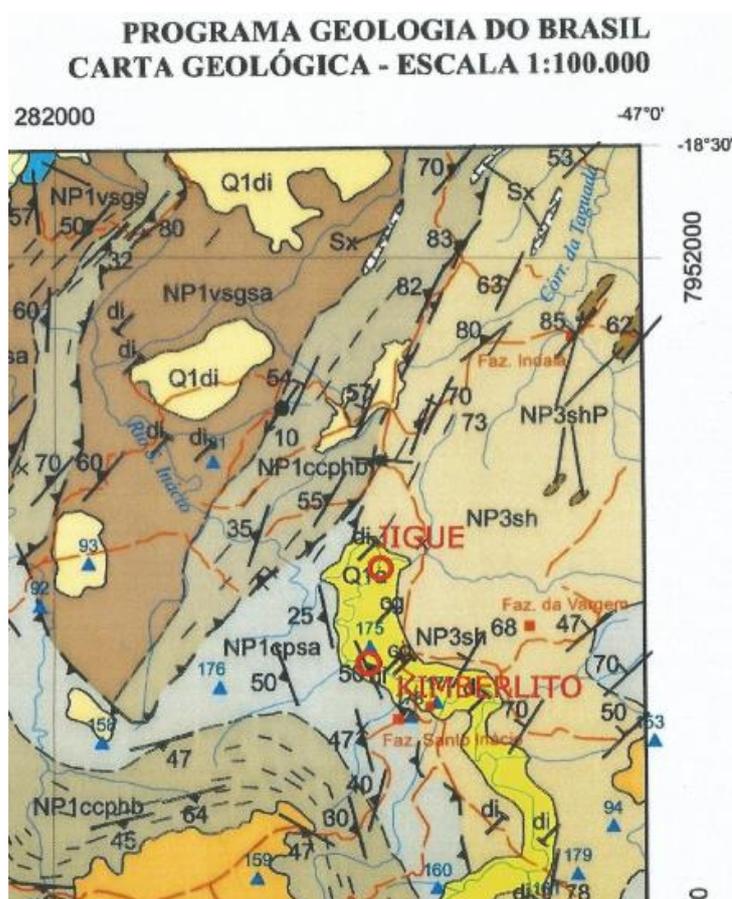


Figura 3.11 – Representação das unidades geológicas da folha Monte Carmelo e dos pontos de coleta das amostras (Fonte: CPRM – GEOBANK).

O grupo Vazante está representado na região pela formação Serra do Garrote, que possui intercalações entre unidades carbonáticas e pelíticas. As unidades carbonáticas são caracterizadas por calcários, brechas dolomíticas e biohermas. Por

outro lado, as unidades pelíticas apresentam filitos e ardósias como os principais elementos geológicas.

Tabela 3.1 – Descrição das unidades geológicas referente ao grupo e formação.

Unidade Geológica	Formação	Grupo
NP3sh	Santa Helena	Bambuí
NP1vsgsa	Serra do Garrote	Vazante
NP1ccphb	Chapada dos Pilões	Canastra
NP1cpsa	Paracatu	Canastra

O grupo Canastra está representado por duas formações distintas. A formação Paracatu é formada por filitos e xistos carbonosos. A formação Chapada dos Pilões, é composta por filitos e quartzitos na porção basal e, na porção do topo, apresenta somente quartzitos.

O grupo Bambuí está representado pela formação Santa Helena que, é formada por siltitos e folhelhos cinza-esverdeados, os quais possuem intercalações de arenitos finos.

Citando Guimarães (2006), existe uma controvérsia em relação aos kimberlitos encontrados na região. Alguns autores defendem a ideia de que eventos glaciogênicos do passado fizeram a dispersão dos diamantes da região de diamantina que, por sua vez, foram retrabalhados e transportados por grandes distâncias até a região de Coromandel. Por outro lado, alguns acreditam na existência de reais corpos kimberlíticos intrusivos na própria província, sendo considerada assim, um polo produtor de diamantes provenientes do kimberlito.

4 DESENVOLVIMENTO

Nesse capítulo trata-se dos aspectos metodológicos relacionados à coleta e tratamento das amostras aluvionares e kimberlíticas, visando a concentração de minerais pesados para sua caracterização mineralógica via Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

4.1 Coleta de amostras

As amostras, a serem estudadas neste trabalho, foram coletadas em área de extração de diamantes da empresa COOPERGAC (Cooperativa dos Garimpeiros da Região de Coromandel), com o consentimento da empresa sobre todos os atos e atitudes tomadas. O local de coleta denominado fazenda Santo Inácio está localizada no município de Coromandel – MG, na região do Alto Paranaíba.

Foram coletadas amostras em dois pontos distintos, sendo que, o primeiro ponto (Figura 4.1) de coleta foi realizado diretamente na planta de beneficiamento da empresa, cujo material era o próprio concentrado final de três jigues acoplados em série. A localização do aluvião já trabalhado tem as seguintes coordenadas geográficas (Tabela 4.1).



Figura 4.1 - Ponto de coleta das amostras aluvionares.

Tabela 4.1 - Coordenadas geográficas das amostras aluvionares.

Ponto de Coleta	Latitude	Longitude	UTM	UTM
Amostra Aluvionar	18° 32' 41,09" S	47° 01' 45,27" W	285812,462	7948337,352

O segundo ponto de coleta (Figura 4.2) foi realizado no local de ocorrência do kimberlito alterado e possui as seguintes coordenadas geográficas (Tabela 4.2).

O kimberlito alterado é um material de cor esverdeada gradando para esverdeado claro, muito fino, muito argiloso, sem a presença de minerais visíveis a olho nu, possui fragmentos maiores que lembra calcário ou sílica microcristalina. Acredita-se que, devido ao forte intemperismo regional, que se trata de um corpo de dimensões pequenas, por volta de 10 m² não mais do que isso.



Figura 4.2 - Ponto de coleta das amostras kimberlíticas.

Tabela 4.2 - Coordenadas geográficas da amostra kimberlítica.

Ponto de Coleta	Latitude	Longitude	UTM	UTM
Amostra Kimberlítica	18° 33' 17,633 S	47° 01' 45,270" W	285677,000	7947212,000

4.2 Preparação das amostras

O material utilizado na preparação deste trabalho corresponde às amostras coletadas na área explotada pela empresa COOPERGAC, em Coromandel – MG. Algumas correspondem à rocha alterada, caracterizada como kimberlito e outras correspondem ao cascalho aluvionar já processado pela empresa, onde foi utilizado somente métodos gravíticos de separação. Sendo assim, foi necessário iniciar um processo de preparação para as amostras kimberlíticas e continuar o processo para as amostras já processadas gravimetricamente. A preparação foi realizada no Laboratório de Tratamento de Minérios – CEFET/MG, envolvendo operações de despelotização, pesagem, secagem, peneiramento, deslamagem, concentração gravítica, concentração em meio denso e catação manual via estereomicroscópio.

4.2.1 Amostras kimberlíticas

A sequência de procedimentos analíticos, na qual as amostras kimberlíticas foram submetidas, podem ser observadas no fluxograma da Figura 4.3.

As amostras se encontravam muito pelotizadas e úmidas, assim, foi necessário realizar a despelotização da amostra, cujo método utilizado foi colocar uma quantidade de amostra dentro de um saco de dimensões 80 cm por 35 cm, e com um rolo, passar várias vezes pelo saco, desfazendo-se das pelotas (Figura 4.4).

Em seguida, as amostras foram colocadas em formas de alumínio e pesadas em uma balança UPX modelo C6MT, com o intuito de mensurar a quantidade de material coletado e disponível para testes (Figura 4.5).

Após a pesagem, o material foi submetido ao processo de desidratação, para eliminar o excesso de umidade. Assim, cada forma de alumínio contendo a amostra permaneceu na estufa a uma temperatura de 100° C por 24 horas, com o objetivo de retirar toda a umidade residual que estava presente nas amostras (Figura 4.6).

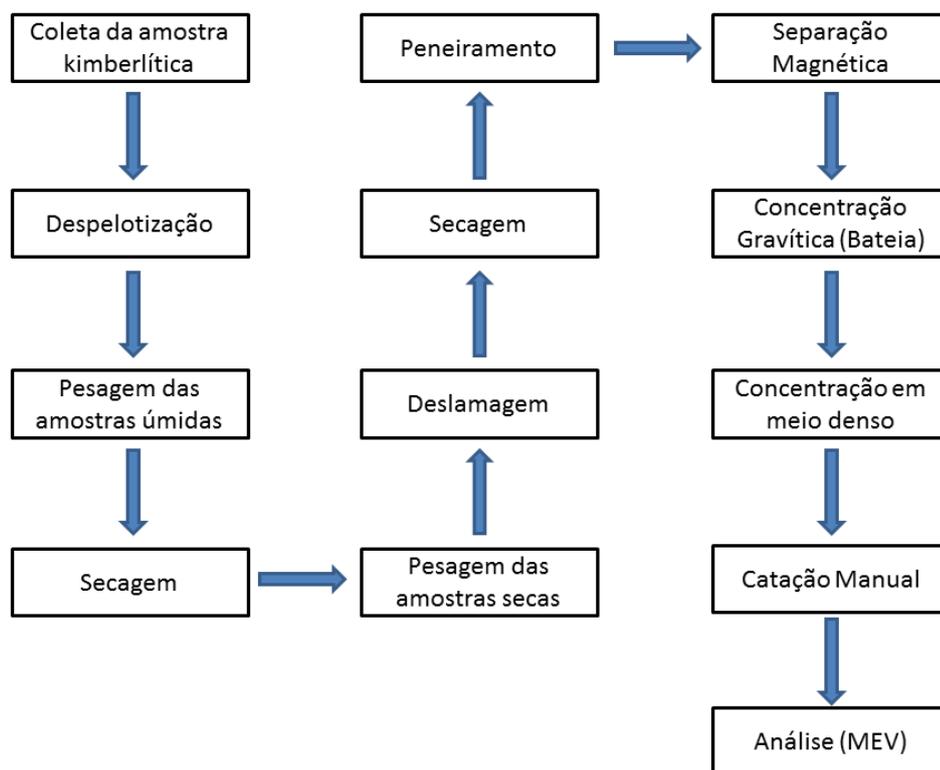


Figura 4.3 - Fluxograma de preparação das amostras kimberlíticas.



Figura 4.4 - Processo de despelotização.

Posteriormente, retornou-se com todas as amostras já secas da estufa para outro processo de pesagem, para se calcular a quantidade de umidade perdida pelas

amostras e obter o peso real de amostras coletadas (Figura 4.7). Os valores obtidos estão apresentados a seguir (Tabela 4.3 e Tabela 4.4).



Figura 4.5 - Pesagem das amostras úmidas.



Figura 4.6 - Processo de secagem na estufa.

Em seguida, o material foi submetido à etapa de deslamagem para a retirada de partículas finas. A deslamagem foi realizada em um balde de quinze litros, onde a amostra foi colocada e adicionou-se água. Agitou-se a mistura com um agitador

manual por 30 segundos e ao final da agitação deixou-se o material decantar por 60 segundos para o devido efeito da deslamagem. Após o tempo de decantação, a água juntamente com as lamelas foram descartadas e o material denso que decantou foi separado para as fases seguintes (Figura 4.8).



Figura 4.7 - Pesagem da amostra seca.

Tabela 4.3 - Relação das massas das amostras coletadas.

TIPO	MASSA INICIAL (KG)	MASSA FINAL (KG)	MASSA PERDIDA (KG)	MASSA PERDIDA (%)
AMOSTRA 3A	18,90	15,06	3,83	20,26
AMOSTRA 3B	17,88	13,40	4,47	25
AMOSTRA 2(C)	9,25	7,50	1,74	18,81
AMOSTRA 1(C)	22,32	18,63	3,69	16,53
TOTAL	68,35	54,59	13,73	20,08

Legenda:

3A – Amostra de kimberlito 2(C) – Amostra do concentrado do jigge 2

3B – Amostra de kimberlito 1(C) – Amostra do concentrado do jigge 1

Após a deslamagem, a amostra foi submetida à etapa de separação granulométrica, considerando as especificações para a caracterização mineralógica.

A separação foi realizada através do processo de peneiramento, utilizando três peneiras circulares das quais duas são da marca Granutest (Figura 4.9) e uma da marca Bronzinox, cuja abertura e a malha estão apresentadas a seguir (Tabela 4.5).

Tabela 4.4 - Relação das massas direcionadas para a concentração e deslamagem.

TIPO	MASSA DISPONÍVEL PARA CONCENTRAÇÃO (KG)	MASSA DISPONÍVEL PARA DESLAMAGEM (KG)
AMOSTRA 3A	X	15,06
AMOSTRA 3B	X	13,40
AMOSTRA 2(C)	7,50	X
AMOSTRA 1(C)	18,63	X
TOTAL	26,13	28,46

Legenda:

3A – Amostra de kimberlito 2(C) – Amostra do concentrado do jigge 2

3B – Amostra de kimberlito 1(C) – Amostra do concentrado do jigge 1



Figura 4.8 - Amostra em processo de deslamagem

Tabela 4.5 - Descrição de peneiras utilizadas e suas respectivas aberturas.

Tipo	Abertura (mm)	Malha (mesh) – Série Tyler
Granutest	0,84	20
Bronzinox	0,60	30
Granutest	0,42	35
Fundo		-35



Figura 4.9 - Peneirador e peneiras para separação granulométrica.

Depois da etapa de separação/classificação granulométrica, a amostra da deslamagem, que ficou retida na peneira de 35 #, foi direcionado para a etapa de separação magnética (Figura 4.10). Com uma espátula, o material foi distribuído sobre um saco plástico e com a utilização de um ímã de mão, envolvido em outro saco plástico, esse foi passado várias vezes por sobre a amostra, para a extração dos magnéticos.

A tabela 4.6 apresenta o peso das amostras depois das etapas de deslamagem, separação granulométrica e extração magnética.

Tabela 4.6 - Resultado das amostras após às etapas de deslamagem, separação granulométrica e extração magnética

Amostras	Pós Desmalagem	Peneiramento (35#)	Magnéticos
Kimberlito – 1	222,65 g	34,30 g	4,05 g
Kimberlito – 2	235,20 g	45,80 g	4,79 g
Kimberlito – 3	467,46 g	75,59 g	8,13 g
Kimberlito – 4	388,66 g	65,31 g	7,75 g



Figura 4.10 - Etapa de separação magnética.

Posteriormente, a fração selecionada e destituída de minerais magnéticos foi submetida ao processo de concentração gravítica com a utilização de uma bateia de fibra de vidro com superfície lisa (Figura 4.11), para aumentar a concentração de minerais pesados.

A amostra, após a concentração gravítica, foi secada em estufa à temperatura de 100 °C por um período de 72 horas (Figura 4.6). Seguindo diretamente para a etapa de concentração em meio denso, na qual foi utilizado um líquido de alta densidade (Bromofórmio puríssimo CHBF) em sua pureza máxima e densidade 2,83 g/cm³. Para realização deste procedimento contou-se com o auxílio de um suporte universal, funil de decantação, funil de vidro comum, béquer, Erlenmeyer, papel de filtro e bastão de vidro (Figura 4.12).



Figura 4.11 - Concentração gravítica com utilização de uma bateia.



Figura 4.12 - Concentração em meio denso.

Tanto o material denso, que ficou retido no papel filtro, quanto o material leve que ficou retido no funil de decantação, foram colocados na capela (Figura 4.13) para

a evaporação do bromofórmio, num período de 24 horas. Os utensílios utilizados foram todos lavados com Acetona cuja fórmula é $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ em solução com 58,08% e densidade de $0,79 \text{ g/cm}^3$ para recuperar o bromofórmio das superfícies das vidrarias e do papel filtro, essa solução residual foi guardada para posterior extração de bromofórmio.



Figura 4.13 - Material em processo de evaporação na capela.

Após a evaporação do bromofórmio, as amostras leves foram armazenadas em sacos plásticos e as amostras densas foram direcionadas para a etapa de catação manual sob um estereomicroscópio, disponível no laboratório de tratamento de minérios da unidade CEFET/ARAXÁ. Nesse procedimento, além do estereomicroscópio, utilizaram-se pinça, placas de petri e álcool etílico para escolha dos minerais pesados para análise química, visando sua identificação (Figura 4.14) e microtubos tipo eppendorf de volume 500 ul para o seu devido armazenamento (Figura 4.15).

Dentre as fases minerais pesadas, aquelas que opticamente em função de suas propriedades ópticas imediatas, mostraram mais favoráveis ao caso em estudo, foram separadas e montadas em uma lâmina com fita adesiva dupla face (Figura 4.16 até 4.19), para serem enviados ao professor Dr. Ricardo Augusto Scholz Cipriano, do

DEGEO/EM/UFOP, para determinação da composição mineral por Microscopia Eletrônica de Varredura.



Figura 4.14 - Equipamentos utilizados para catação manual.



Figura 4.15 - Minerais pesados armazenados em microtubos.



Figura 4.16 - Granadas representativas da amostra kimberlítica na lâmina.

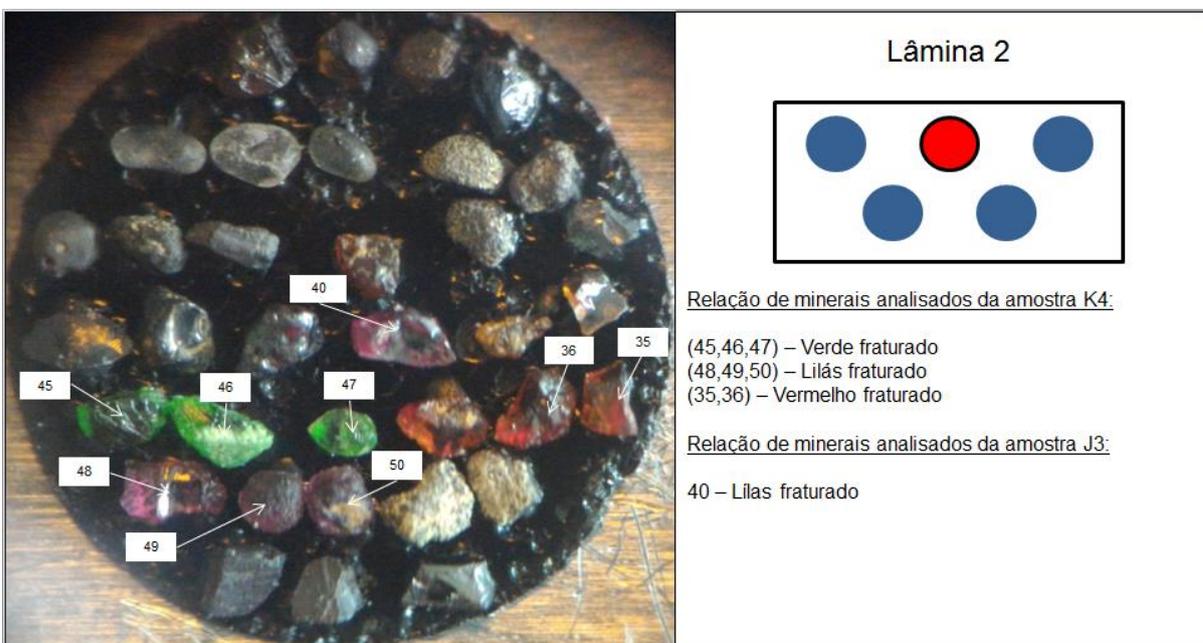


Figura 4.17 - Granadas representativas das amostras kimberlíticas e aluvionares na lâmina.



Figura 4.18 - Granadas representativas da amostra aluvionar na lâmina.

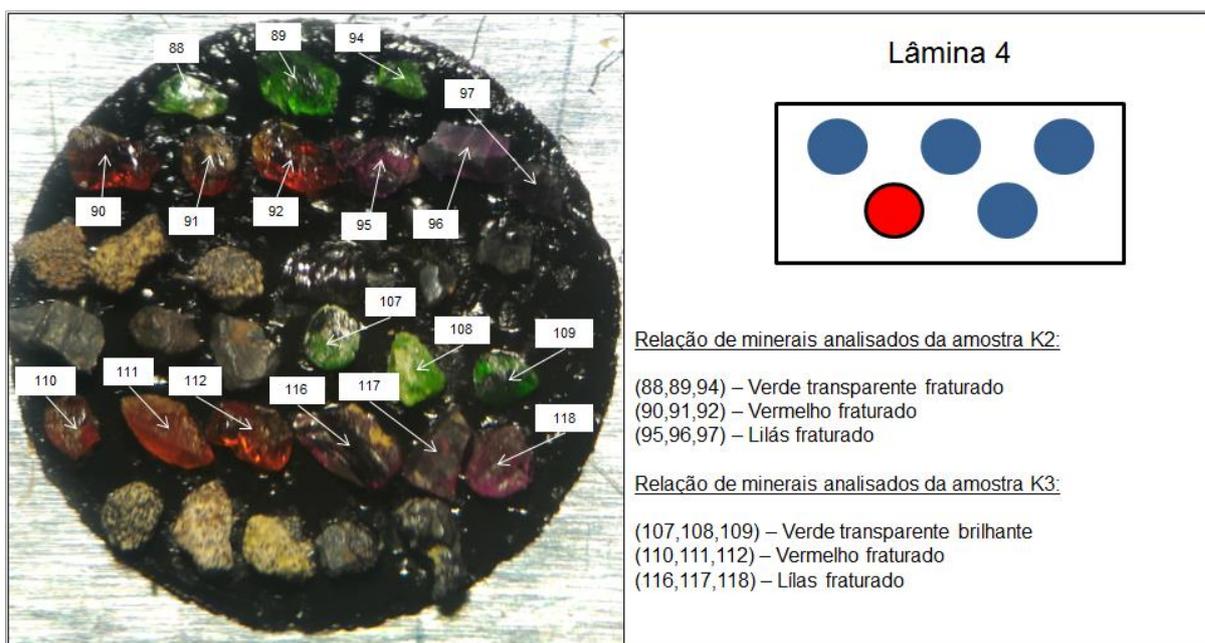


Figura 4.19 - Granadas representativas da amostra kimberlítica na lâmina.

4.2.2 Amostras aluvionares

A sequência de procedimentos analíticos, submetidos às amostras aluvionares pode ser observado no fluxograma a seguir (Figura 4.20).

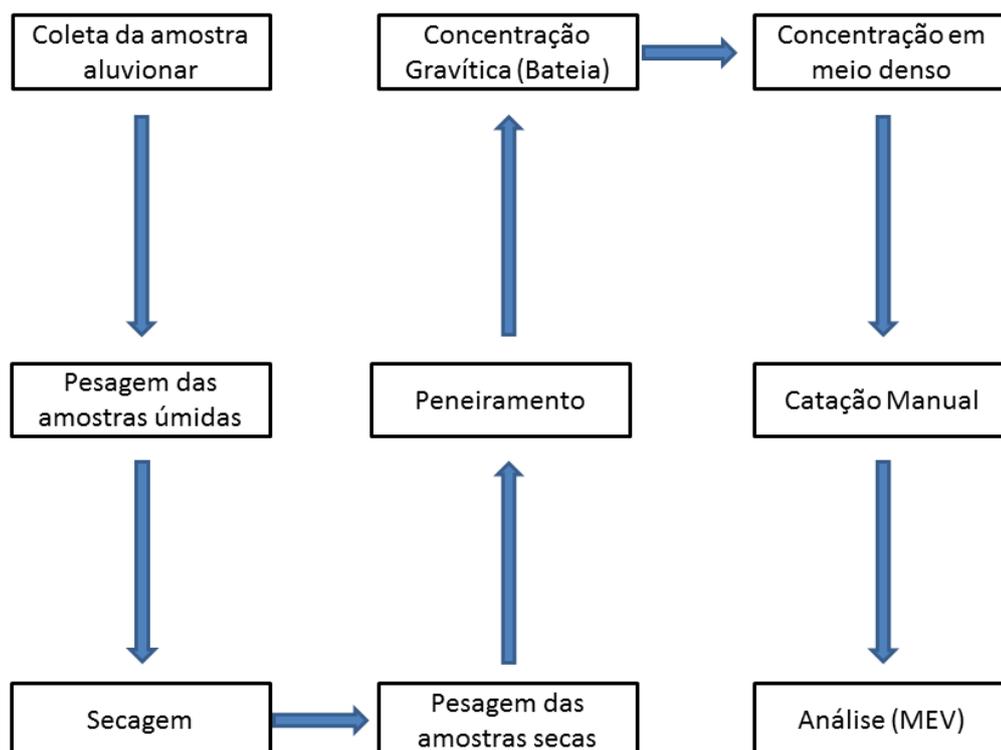


Figura 4.20 - Fluxograma de preparação das amostras aluvionares.

As amostras aluvionares foram coletadas após o processamento gravítico da empresa, realizado por meio de uma sequência de três jiques acoplados em série, cujo o segundo e o terceiro jique atuam como cleaner e recleaner, respectivamente. Portanto, elas se encontram com bastante umidade, sendo assim, as amostras foram colocadas em formas de alumínio para pesagem (Figura 4.5) e prosseguimento dos procedimentos analíticos.

Posteriormente à etapa de pesagem, as amostras foram colocadas em estufa a uma temperatura de 100° C, por 72h, para retirar o excesso de umidade (Figura 4.6).

Em seguida, após o resfriamento, as amostras foram pesadas e encaminhadas para o processo de separação granulométrica, de modo a escolher as faixas granulométricas para a caracterização mineralógica. Na separação granulométrica foram utilizadas três peneiras circulares, sendo que, duas são da marca Granutest e uma da marca Bronzinox (Figura 4.9). As malhas e aberturas já foram mencionadas anteriormente (Tabela 4.5).

Após a separação granulométrica, as amostras que ficaram retidas em 35 mesh foram direcionadas para a etapa de concentração gravítica, no qual foi utilizada uma bateia de fibra de vidro com superfície lisa como instrumento concentrador, com o intuito de criar um corte preciso e separar as partículas pesadas, das partículas leves. As partículas pesadas serão usadas de fato na caracterização mineralógica, e as partículas leves descartadas (Figura 4.11).

Posteriormente, depois do processo de concentração gravítica levou-se as amostras em polpa para a estufa (Figura 4.6), onde elas permaneceram à 100° C, por 24h, até secarem, evitando assim, a oxidação do material.

Em seguida, as amostras secas passaram por mais uma etapa de concentração na qual foi utilizado um líquido de alta densidade chamado Bromofórmio (puríssimo CHBF), para a realização deste procedimento. A concentração em meio denso (Figura 4.12) refinou ainda mais as amostras, separando os minerais leves dos minerais pesados que serão utilizados no processo de caracterização mineralógica. As amostras e os utensílios utilizados foram lavados com Acetona, cuja fórmula química é $(\text{CH}_3)_2\text{CO}$ em solução com 58,08% para retirada do excesso de bromofórmio. A solução foi guardada para que posteriormente pudesse ocorrer o refinamento e extração de bromofórmio puro.

Posteriormente, os concentrados em meio denso ficaram secando na capela (Figura 4.13) por 24 horas, para que o líquido residual (Bromofórmio) evaporasse completamente. Possibilitando assim, o prosseguimento da preparação das amostras.

O concentrado leve foi colocado em sacos plásticos e armazenado e as amostras de minerais pesados seguiram para a parte final da preparação que consistiu em realizar a catação estereomicroscópica dos mesmos com as mesmas propriedades morfológicas e características ópticas imediatas. Cujo foi utilizado um estereomicroscópio, pinça, álcool etílico e placas de petri (Figura 4.14) para a separação dos minerais em microtubos (Figura 4.15) tipo eppendorf de volume 500 ul para o seu devido armazenamento.

Finalmente, dentre os minerais separados na catação manual com características similares, foram escolhidos os mais representativos para serem analisados. Portanto, os minerais representativos foram colocados em lâminas dupla face (Figura 4.16 até 4.19) para que fossem encaminhados à análise em Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

Tabela 5.2 - Composição química das granadas (35, 36, 45, 46, 47, 48, 49 e 50) da amostra kimberlítica (k4) e da granada (40) da amostra aluvionar (J3).

Óxidos	LÂMINA 2								
	Granadas								
	(35)	(36)	(40)	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(50)
SiO ₂	40,61%	40,27%	40,28%	69,93%	54,35%	56,84%	40,86%	46,99%	38,08%
TiO ₂	1,27%	1,48%	0,49%	0,81%	0,32%	0,22%	-	-	-
Al ₂ O ₃	23,01%	21,43%	18,64%	1,45%	-	-	18,89%	16,62%	14,87%
Cr ₂ O ₃	1,84%	2,94%	6,64%	1,36%	2,37%	1,04%	5,47%	5,73%	10,13%
FeO	9,2%	10,16%	9,12%	2,10%	2,30%	2,61%	9,36%	7,11%	13,37%
MnO	-	-	-	-	-	-	-	0,53%	0,95%
MgO	19,87%	18,91%	18,86%	9,47%	17,31%	18,45%	18,13%	17,78%	15,75%
CaO	4,19%	4,81%	5,98%	13,92%	17,62%	19,71%	5,32%	5,24%	6,85%
NaO	-	-	-	0,77%	2,49%	-	-	-	-
SbO	-	-	-	-	1,17%	1,14%	-	-	-
GeO	-	-	-	-	-	-	1,98%	-	-
Total	100%	100%	100%	100%	97,92%	100%	100%	100%	100%

Tabela 5.3 - Composição química das granadas da amostra aluvionar (J1).

Óxidos	LÂMINA 3		
	Granadas		
	(73)	(74)	(75)
SiO ₂	39,55%	41,21%	44,28%
TiO ₂	1,10%	0,76%	0,97%
Al ₂ O ₃	22,11%	21,72%	18,68%
Cr ₂ O ₃	3,24%	3,06%	4,81%
FeO	10,75%	9,66%	8,08%
MnO	-	-	0,61%
MgO	19,47%	19,43%	18,70%
CaO	3,77%	4,17%	3,86%
Total	100%	100%	100%

Tabela 5.10 - Determinação mineralógica das granadas da amostra kimberlítica (K3) em termos de sua composição molecular.

Composição	LÂMINA 4								
	Granadas								
	(107)	(108)	(109)	(110)	(111)	(112)	(116)	(117)	(118)
Almandina	5,14%	6,18%	4,94%	18,54%	16,85%	16,79%	16,64%	14,07%	19,24%
Piropo	50,81%	56,45%	60,79%	68,06%	72,19%	71,66%	64,68%	71,60%	63,67%
Grossulária	44,05%	37,37%	34,27%	12,67%	10,29%	11,55%	17,33%	13,60%	15,71%
Esspartita	-	-	-	0,74%	0,67%	-	1,34%	0,73%	1,38%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

5.1 Cálculo da composição molecular das granadas da lâmina 1

A Tabela 5.1, relativa a lâmina 1, que contém os minerais pesados da amostra kimberlítica um (K1), apresenta os resultados químicos de nove minerais analisados que, originalmente, foram identificados como granadas e serão apresentados a seguir, juntamente com seus respectivos espectros analíticos (Figuras 5.1 e 5.2).

Observa-se na Tabela 5.1, que a composição do mineral 10 (Figura 4.16) apresenta valor mais elevado de Ca, em detrimento à Mg e Fe. Nesse sentido, ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.6), determina-se uma granada cuja molécula grossulária perfaz 53,44% do mineral, seguida da molécula de piropo com 29,12% e da molécula de almandina com 17,44%. Tratando-se, portanto, de uma grossulária.

A composição do mineral 11 (Figura 4.16) referente à Tabela 5.1, apresenta valores similares de Ca e Mg e valor baixo de Fe. Ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.6), chegou-se a uma granada com 53,61% da molécula piropo, seguida de 40,96% da molécula grossulária e 5,43% da molécula almandina. Tratando-se, portanto, de um piropo.

A composição do mineral 12 (Figura 4.16) na Tabela 5.1, apresenta valor de Ca levemente superior em relação ao Mg e muito superior em relação ao Fe. Ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.6), concluiu-se que é uma granada com 50,89% de molécula piropo, seguida de 45,06% de molécula grossulária e 4,05% de molécula almandina. Tratando-se, portanto, de um piropo.

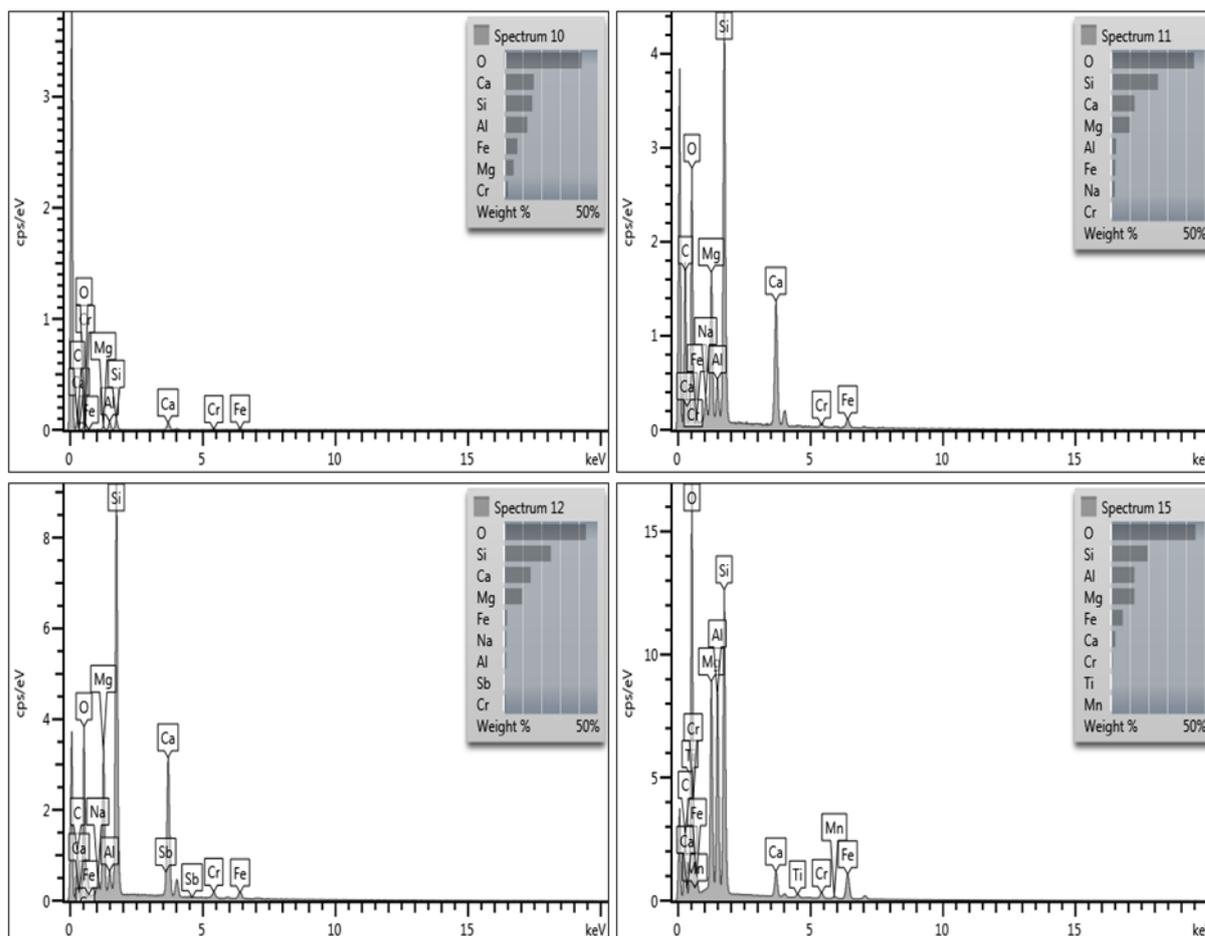


Figura 5.1 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 1 (spectrum 10, 11, 12 e 15).

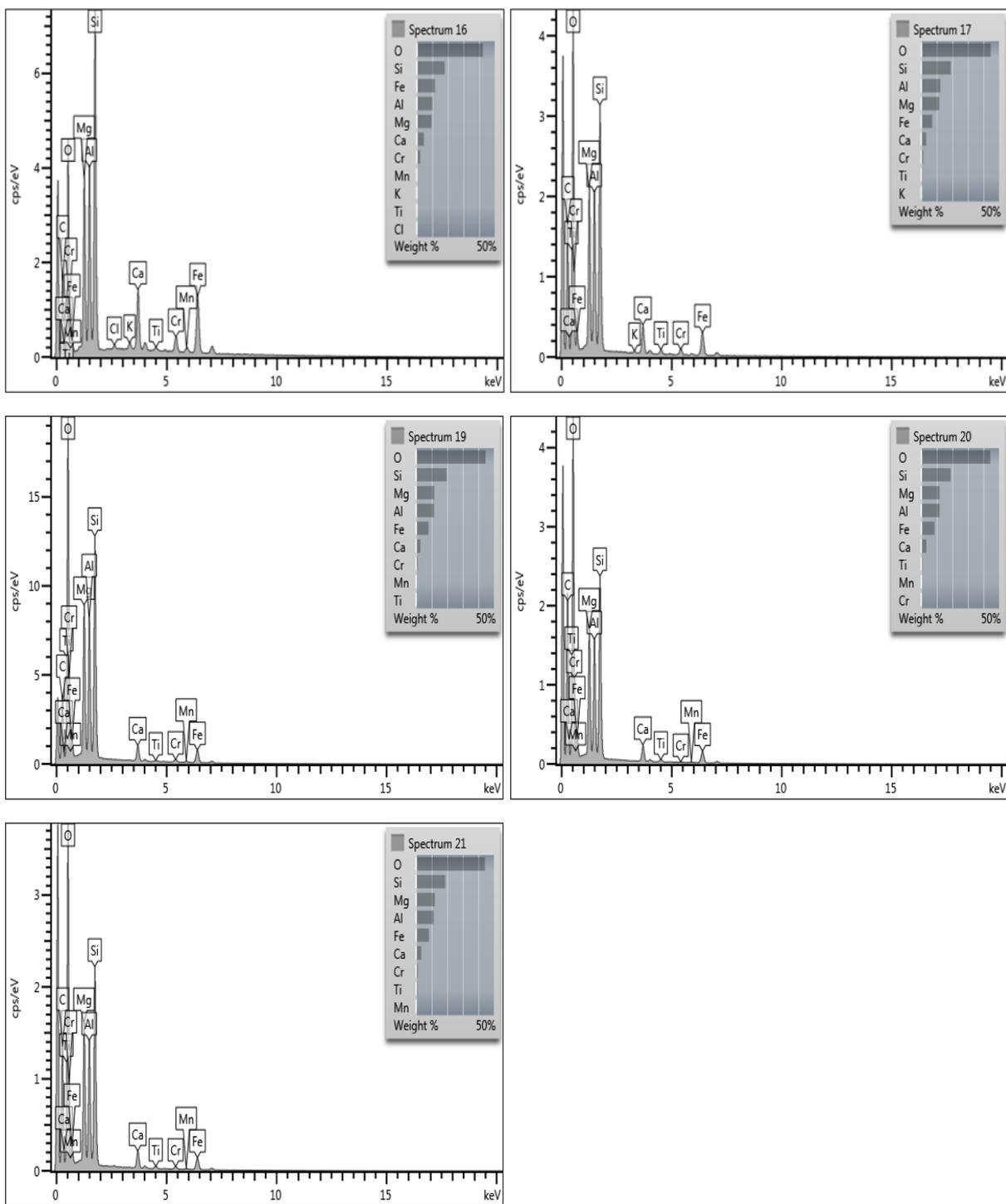


Figura 5.2 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 1 (spectrum 16, 17, 19, 20 e 21).

A composição do mineral 15 (Figura 4.16) referente à Tabela 5.1, apresenta valor mais elevado de Mg, em relação ao Ca e Fe. Nesse sentido, ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.6), determinou-se uma granada com 74,52% da molécula piropo, seguida de 16,31% da molécula almandina, 8,39% da molécula grossulária e 0,78% da molécula do tipo esperssatita. Tratando-se, portanto, de uma granada predominantemente piropo.

A composição do mineral 16 (Figura 4.16) referente à Tabela 5.1, apresenta valores de Fe e Mg bem próximos e valor de Ca baixo. A fórmula química calculada dessa espécie (Tabela 5.6) determina uma granada com 60,85% da molécula piropo, seguida de 19,95% da molécula almandina, 17,63% da molécula grossulária e 1,57% da molécula esperssatita. Tratando-se, portanto, de um piropo.

A composição dos minerais 17, 20 e 21 (Figura 4.16) na Tabela 5.1, apresenta valores elevados de Mg, em detrimento à Ca e Fe. A composição química desses espécimes (Tabela 5.6), determina serem granadas predominantemente piropo com, respectivamente, 70,23%, 70,46% e 72,33% dessa molécula. Observa-se, ainda, que os conteúdos de almandina desses minerais são sistematicamente mais elevados que os conteúdos de grossulária.

A composição do mineral 19 (Figura 4.16) referente à Tabela 5.1, apresenta valor mais elevado de Mg, em detrimento à Ca e Fe. Portanto, ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.6), concluiu-se que é uma granada cuja molécula piropo perfaz 68,76%, seguida de 20,29% da molécula almandina, 9,77% da molécula grossulária e 1,18% da molécula esperssatita. Tratando-se, portanto, de um piropo.

5.2 Cálculo da composição molecular das granadas da lâmina 2

A Tabela 5.2, relativo a lâmina 2, cujo os minerais 35, 36, 45, 46, 47, 48, 49 e 50 representam a amostra kimberlítica quatro (K4) e o mineral 40 representa a amostra aluvionar três (J3). Portanto, a seguir se apresenta os resultados químicos e

os espectros (Figura 5.3 e 5.4) de nove minerais analisados que, originalmente, foram identificados como granadas.

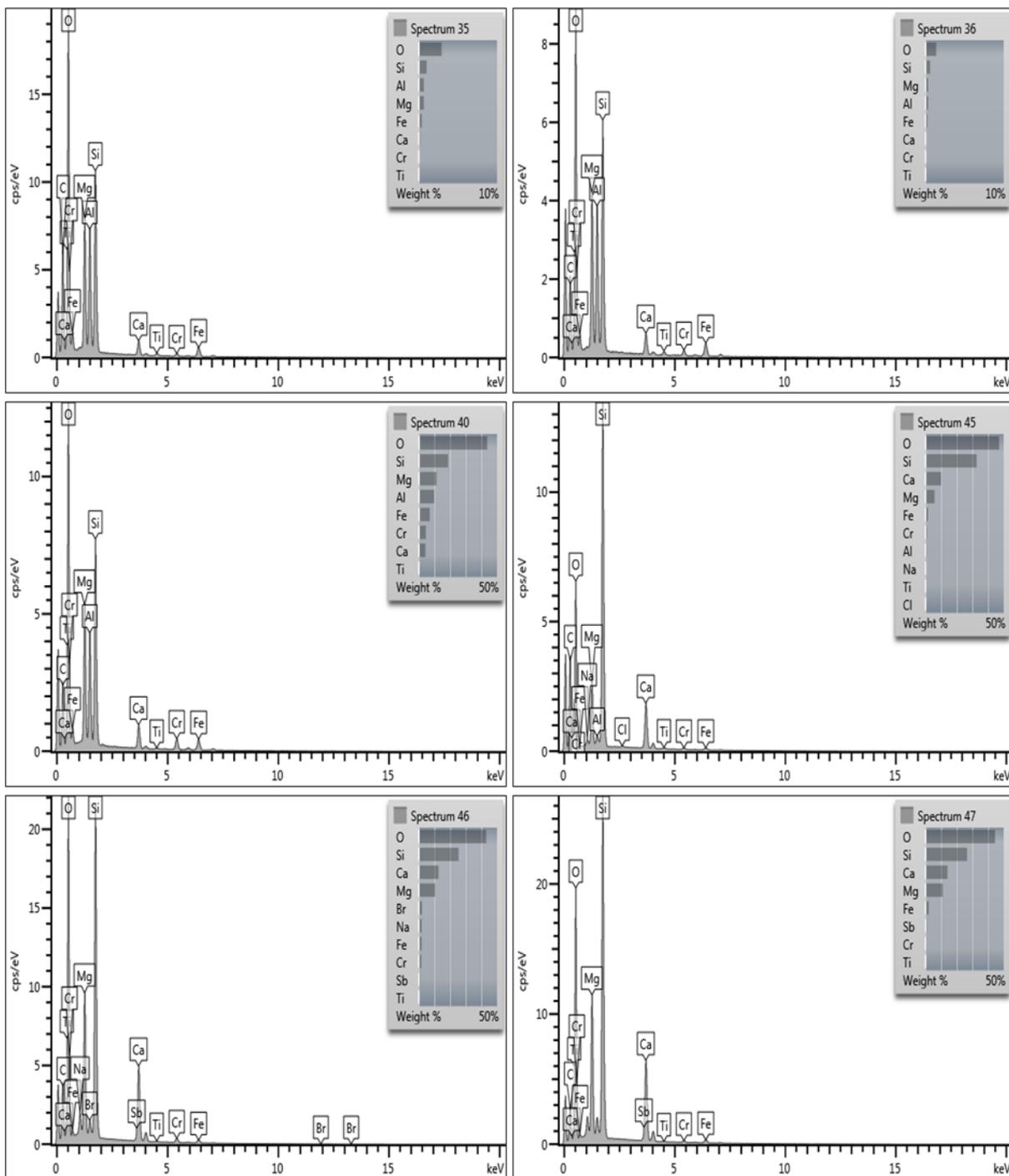


Figura 5.3 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 2 (spectrum 35, 36, 40, 45, 46 e 47).

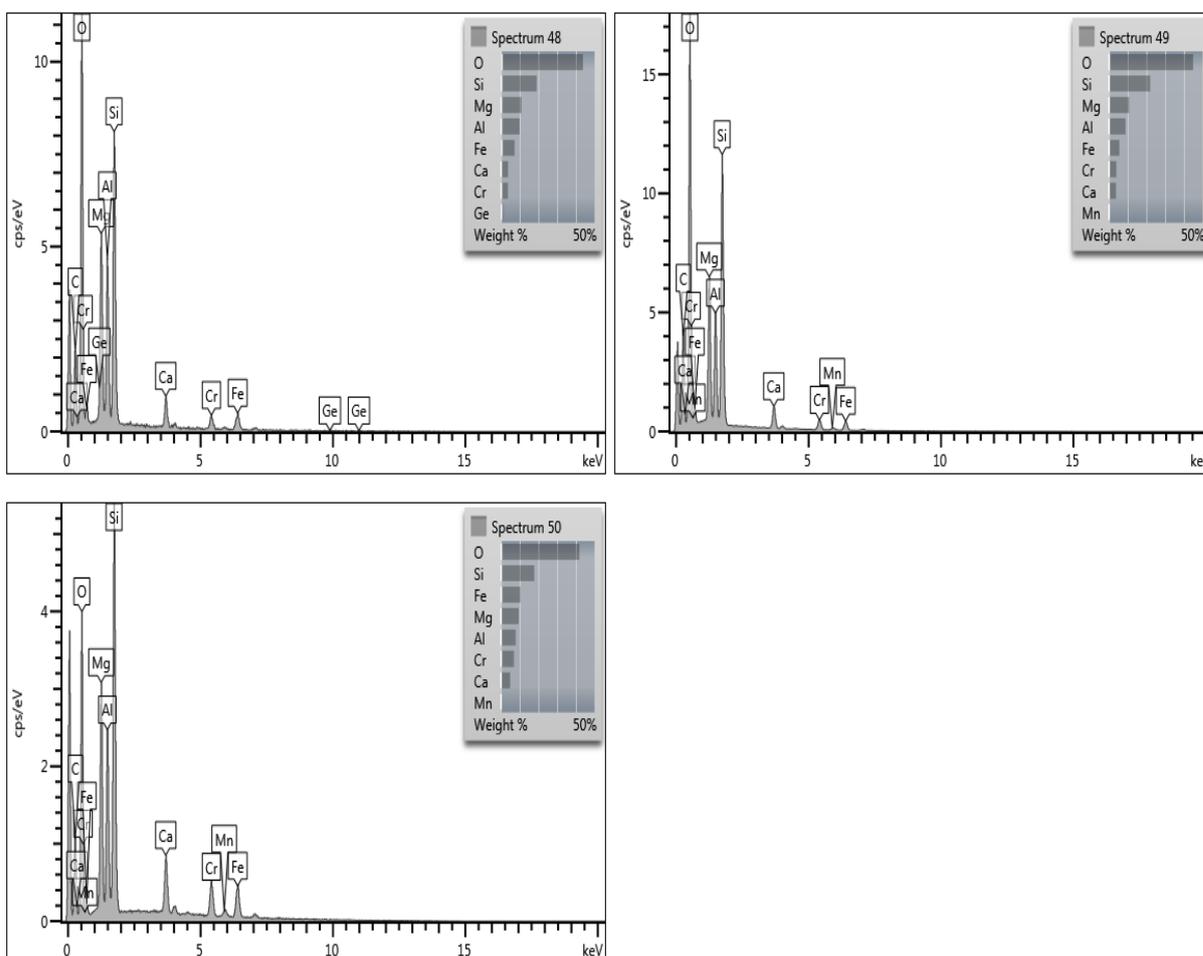


Figura 5.4 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 2 (spectrum 48, 49 e 50).

A composição dos minerais 35, 36 e 40 (Figura 4.17) na Tabela 5.2, apresentam valores elevados de Mg em relação ao Fe e o Ca. Portanto, ao se calcular a fórmula química desses espécimes (Tabela 5.7), determinou-se que são granadas predominantemente piropo, cuja as moléculas perfazem 71,27%, 68,12% e 69,17% da composição do mineral, respectivamente. Entretanto, os conteúdos de almandina presente nos minerais são sistematicamente mais elevados que os conteúdos de grossulária.

A composição do mineral 45 (Figura 4.17) referente à Tabela 5.2, apresenta valor de Ca superior ao valor de Mg e Fe. Nesse sentido, ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.7), concluiu-se que é uma granada cuja as moléculas do tipo grossulária perfazem 48,44%, seguida de 45,85% de moléculas do tipo piropo e 5,70% de moléculas do tipo almandina. Tratando-se, portanto, de uma grossulária.

A composição do mineral 46 (Figura 4.17), na Tabela 5.2, apresenta valor de Ca e Mg praticamente idênticos e baixa quantidade de Fe. Sendo assim, ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.7), chegou-se a uma granada cuja as moléculas do tipo piropo perfazem 55,37%, seguida de 40,51% de moléculas do tipo grossulária e 4,13% de moléculas do tipo almandina. Portanto, tratando-se de um piropo.

A composição do mineral 47 (Figura 4.17) presente na Tabela 5.2, apresenta valor de Ca levemente superior em relação ao Mg e valor baixíssimo de Fe. Portanto, ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.7), determinou-se que é uma granada cuja as moléculas do tipo piropo perfazem 54,14%, seguida de 41,57% de moléculas do tipo grossulária e 4,30% de moléculas do tipo almandina. Tratando-se, portanto, de um piropo.

A composição dos minerais 48 e 49 (Figura 4.17) referente à Tabela 5.2, apresentam valores elevados de Mg, em detrimento à Ca e Fe. Com tudo, ao se calcular a fórmula química desses espécimes (Tabela 5.7), concluiu-se que são granadas predominantemente do tipo piropo, cuja molécula perfaz 66,64% e 68,82% da composição do mineral, respectivamente. Destaca-se que, a porcentagem de molécula de almandina presente nos minerais é sistematicamente maior que a porcentagem de molécula de grossulária.

A composição do mineral 50 (Figura 4.17) na Tabela 5.2, apresenta valor de Mg suavemente superior em relação ao Fe e valor baixo de Ca. Sendo assim, ao se

calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.7), determinou-se que é uma granada cuja as moléculas do tipo piropo perfazem 61,66%, seguida de 19,27% de moléculas do tipo grossulária, 16,96% de moléculas do tipo almandina e 2,11% de moléculas do tipo esperssatita. Tratando-se, portanto, de um piropo.

5.3 Cálculo da composição molecular das granadas da lâmina 3

A Tabela 5.3, relativa a lâmina 3, cujo os minerais 73, 74 e 75 são referentes à amostra aluvionar três (J3). A seguir apresentam-se os resultados químicos e os espectros (Figura 5.5) de três minerais analisados que, originalmente, foram identificados como granadas.

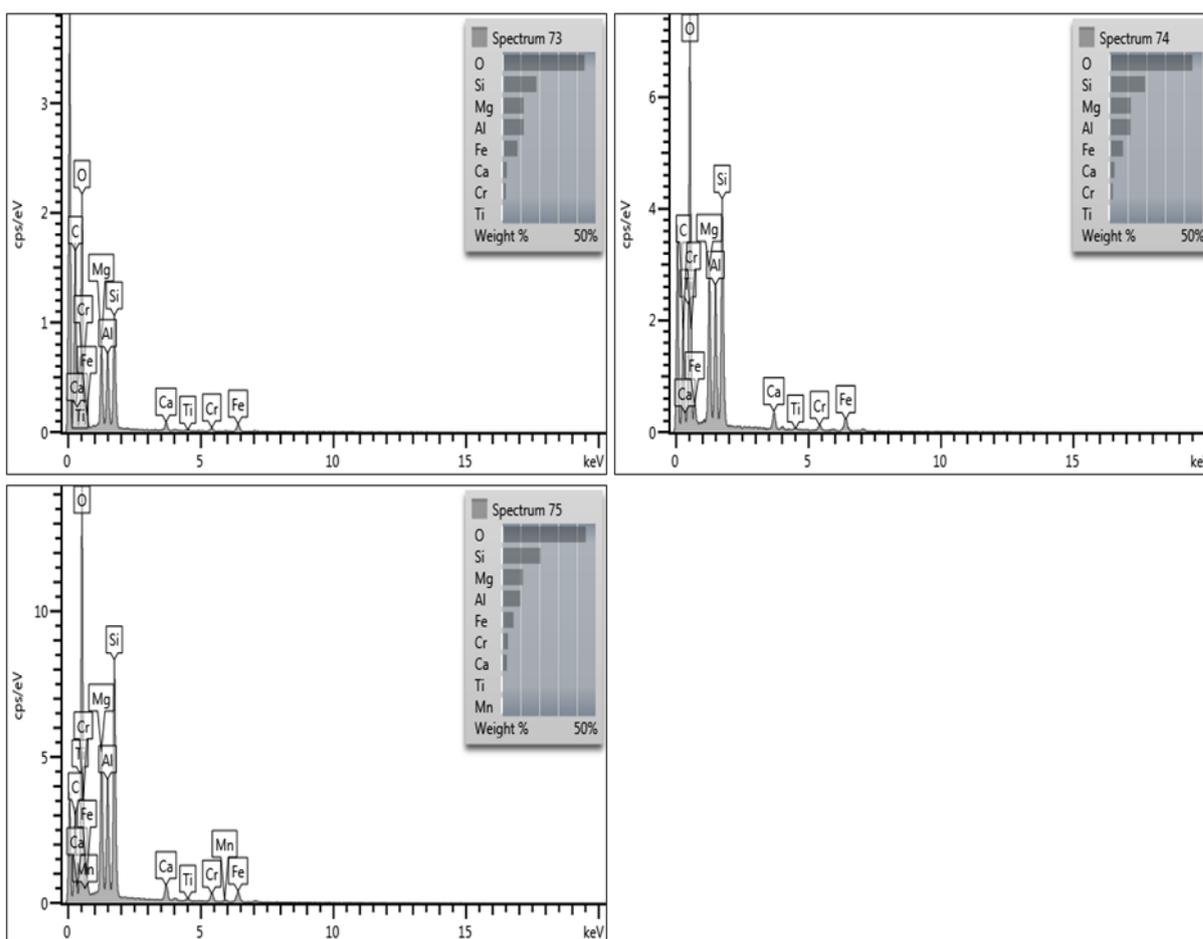


Figura 5.5 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 3 (spectrum 73, 74 e 75).

A composição dos minerais 73, 74 e 75 (Figura 4.18), referente à Tabela 5.3, apresentam valores de Mg elevados em relação aos valores de Fe e Ca. A composição química calculada desses espécimes (Tabela 5.8), indica granadas predominantemente do tipo piropo, cuja as moléculas perfazem 71,88%, 69,78% e 70,96% da composição do mineral, respectivamente. Sendo que, as porcentagens de moléculas do tipo almandina são sistematicamente superiores em relação às moléculas do tipo grossulária.

5.4 Cálculo da composição molecular das granadas da lâmina 4

As Tabelas 5.4 e 5.5, relativas à lâmina 4, apresentam o resultado químico de dezoito minerais, que originalmente foram classificados como granadas, onde os minerais 88, 89, 90, 91, 92, 94, 95, 96 e 97 são da amostra kimberlítica dois (K2) e os minerais 107, 108, 109, 110, 111, 112, 116, 117 e 118 são da amostra kimberlítica três (K3). Os espectros dessas análises estão apresentados nas Figuras 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9.

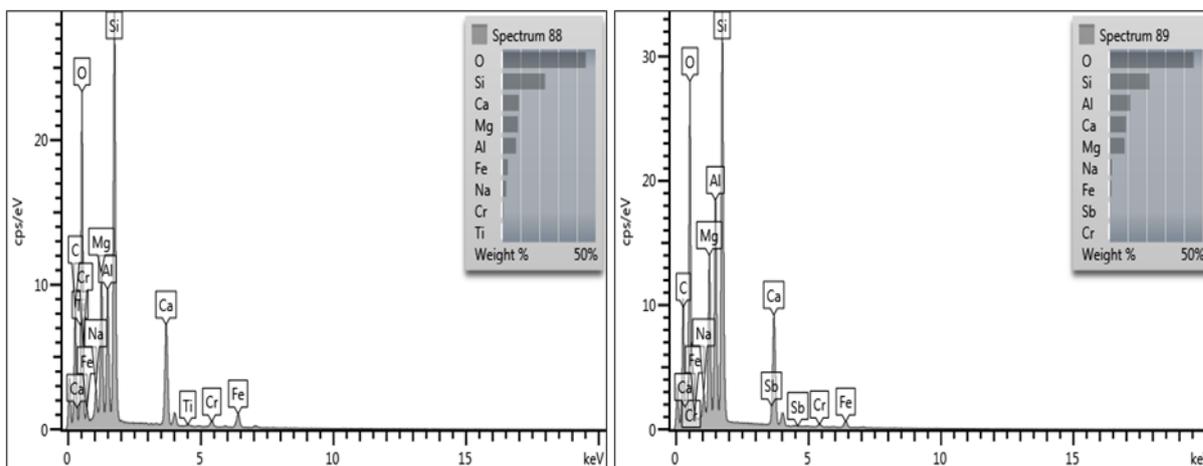


Figura 5.6 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 4 (spectrum 88 e 89).



Figura 5.7 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 4 (spectrum 90, 91, 92, 94, 95 e 96)

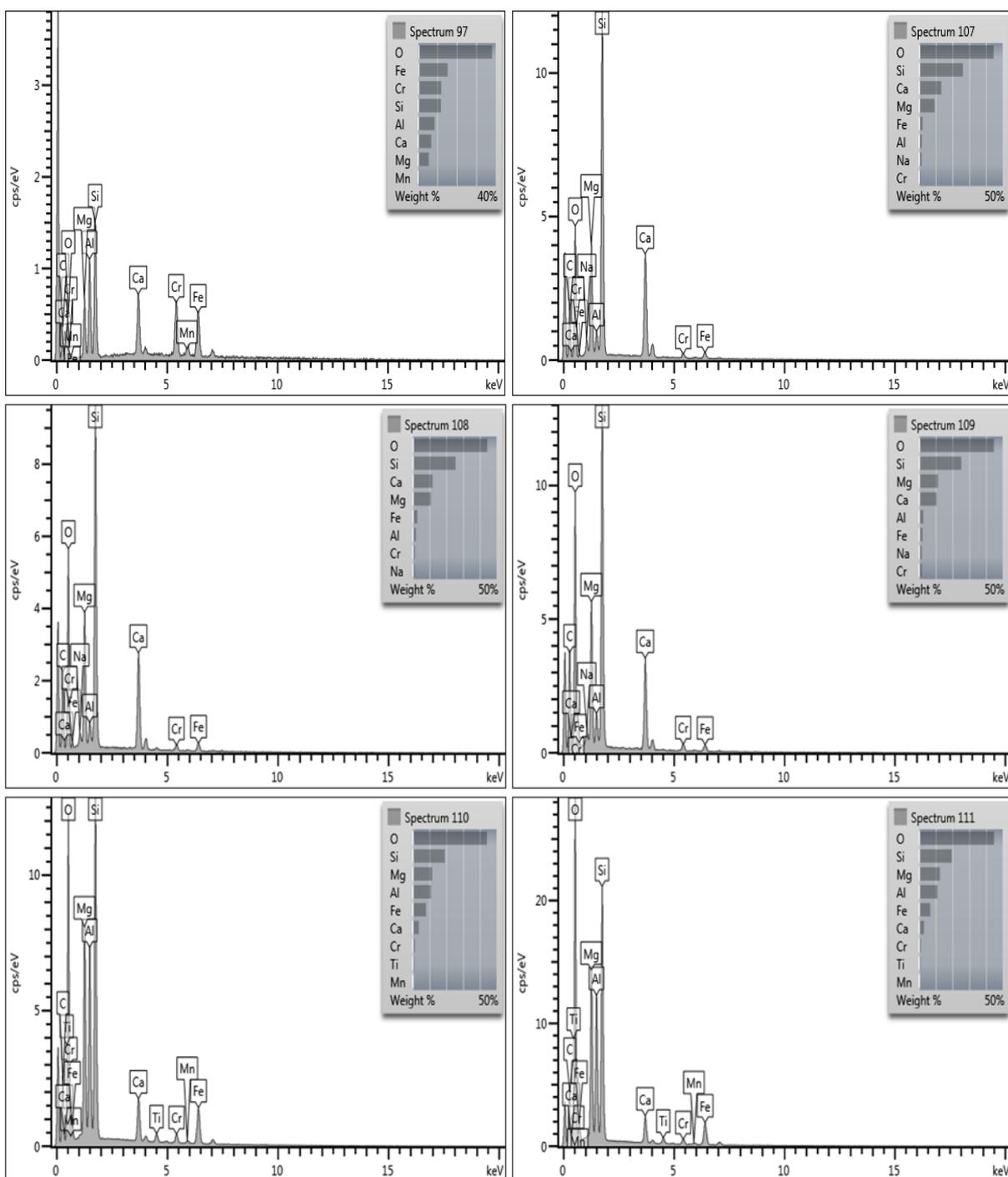


Figura 5.8 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 4 (spectrum 97, 107, 108, 109, 110 e 111).

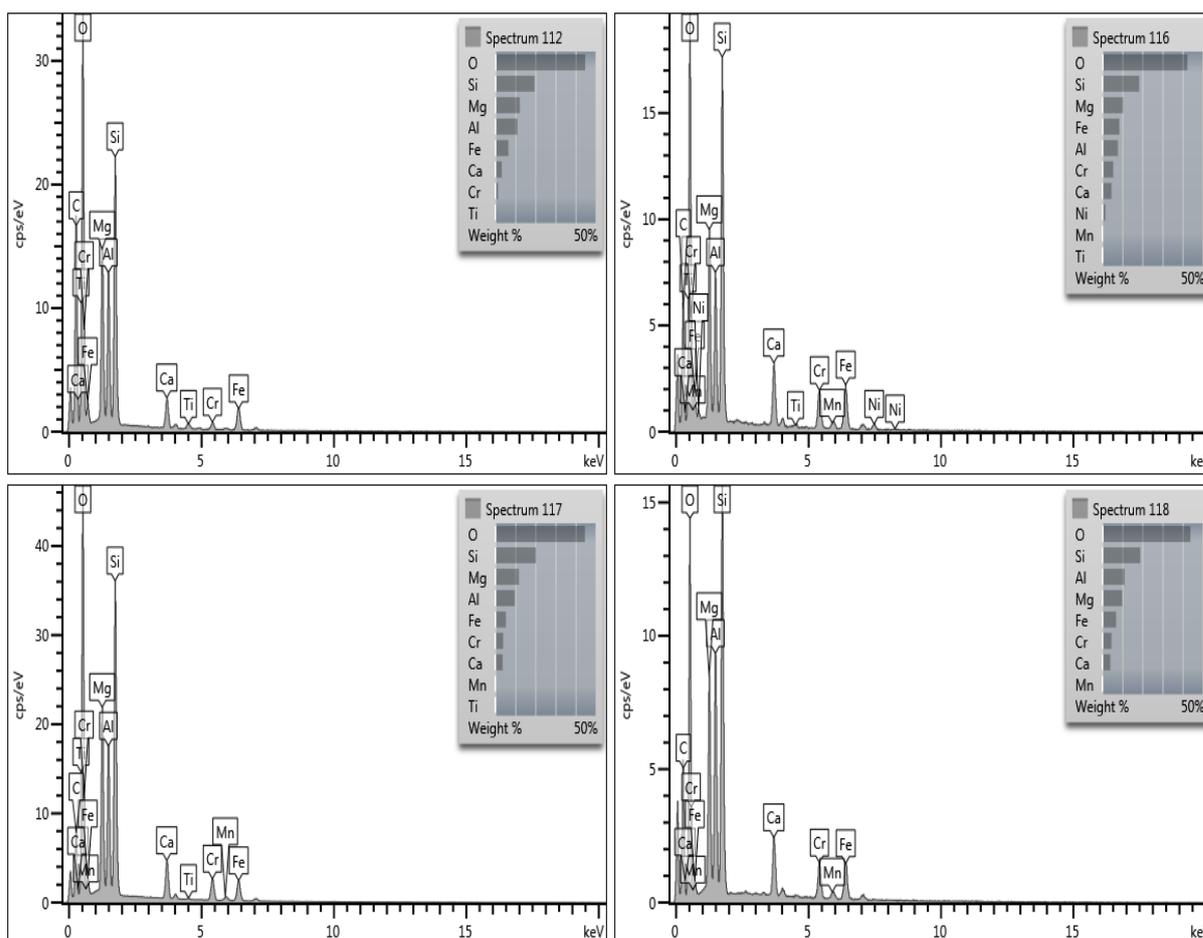


Figura 5.9 - Espectro analítico por EDS das granadas da lâmina 4 (spectrum 112, 116, 117 e 118).

A composição dos minerais 88 e 89 (Figura 4.19) referente à Tabela 5.4, mostram valores bem similares de Ca e Mg. Por outro lado, possuem baixa quantidade de Fe. Sendo assim, ao se calcular a fórmula química desses espécimes (Tabela 5.9), concluiu-se que são granadas predominantemente piropo, cuja molécula perfaz 55,54% e 57,82% da composição mineral, respectivamente. Observa-se também, que o conteúdo da molécula de grossulária presente nesses minerais é bem superior ao conteúdo da molécula de almandina.

A composição do mineral 90 (Figura 4.19) na Tabela 5.4, apresenta valor de Fe muito elevado em detrimento aos valores de Ca e Mg. Portanto, ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.9), chegou-se a uma granada do tipo

almandina cuja molécula representa 68,12%, seguida de 24,22% da molécula piropo e 7,66% da molécula grossulária. Tratando-se, portanto, de uma almandina.

A composição dos minerais 91 e 92 (Figura 4.19) na Tabela 5.4, apresentam porcentagens de Mg superiores às porcentagens de Fe e Ca. Nesse sentido, ao se calcular a fórmula química desses espécimes (Tabela 5.9), determinou-se que são granadas, predominantemente, do tipo piropo, cuja a molécula perfaz 68,17% e 69,07% da composição dos minerais, respectivamente. Os conteúdos de almandina presente nesses minerais são sistematicamente superiores aos conteúdos de moléculas grossulária.

A composição do mineral 94 (Figura 4.19) referente à Tabela 5.4, apresenta valor de Ca e Mg praticamente idênticos, por outro lado, possui baixa quantidade de Fe. Por causa disso, ao se calcular a fórmula química dessa espécie (Tabela 5.9), chegou-se a uma granada do tipo piropo com 55,45% dessa molécula, seguida de 40,56% da molécula de grossulária e 3,99% da molécula de almandina. Tratando-se, portanto, de um piropo.

A composição do mineral 95 (Figura 4.19) na Tabela 5.4, apresenta valor de Mg superior ao valor de Fe e Ca. A fórmula química dessa espécie (Tabela 5.9), indica uma granada do tipo piropo com 66,24% dessa molécula, seguida de 18,48% da molécula do tipo grossulária, 13,78% da molécula do tipo almandina e 1,49% da molécula do tipo esperssatita. Tratando-se, portanto, de um piropo.

A composição do mineral 96 (Figura 4.19) presente na Tabela 5.4, apresenta valor de Mg levemente superior ao Ca e Fe. A partir do cálculo da fórmula química dessa espécie (Tabela 5.9), chegou-se a uma granada com 68,44% da molécula piropo, seguida de 16,18% da molécula almandina e 15,38% da molécula grossulária. Tratando-se, portanto, de um piropo.

A composição do mineral 97 (Figura 4.19) referente à Tabela 5.4, apresenta porcentagem de Fe superior às porcentagens de Ca e Mg. A fórmula química dessa espécie (Tabela 5.9), determina uma granada tipo almandina com 39,12% dessa molécula, seguida de 33,39% da molécula piropo, 24,68% da molécula grossulária e 2,82% da molécula esferissatita. Portanto, trata-se de uma almandina.

A composição do mineral 107 (Figura 4.19) na Tabela 5.5, apresenta valor de Ca levemente superior em relação ao Mg, mas, por outro lado, apresenta baixo valor de Fe. Sendo assim, a partir do cálculo da fórmula química da espécie analisada (Tabela 5.10), determinou-se a composição da granada cuja molécula piropo perfaz 50,81% do mineral, seguida de 44,05% da molécula grossulária e 5,14% da molécula almandina. Portanto, trata-se de um piropo.

A composição dos minerais 108 e 109 (Figura 4.19) referente à Tabela 5.5, apresenta valores superiores de Mg em detrimento aos valores de Ca e baixíssimos valores de Fe. O cálculo da fórmula química desses espécimes (Tabela 5.10), determinou que são granadas do tipo piropo, cuja molécula perfaz 56,45% e 60,79% da composição mineral, respectivamente. Além disso, as porcentagens de grossulária nesses minerais são sistematicamente mais elevadas do que as porcentagens de almandina.

A composição do mineral 110 (Figura 4.19) na Tabela 5.5, exibe valor elevado de Mg, em detrimento à Ca e Fe. O cálculo da fórmula química do mineral analisado (Tabela 5.10), determina uma granada cuja molécula piropo representa 68,06% do mineral, seguida de 18,54% da molécula almandina, 12,67% da molécula grossulária e 0,74% da molécula esferissatita. Tratando-se, portanto, de um piropo.

A composição dos minerais 111 e 112 (Figura 4.19) presente na Tabela 5.5, apresenta elevadas porcentagens de Mg em relação a Fe e Ca. O cálculo da fórmula química desses espécimes (Tabela 5.10), indicou granadas predominantemente do tipo piropo, cuja as moléculas apresentam 72,19% e 71,66% da composição dos

minerais, respectivamente. Por outro lado, os conteúdos de almandina presente nos minerais são superiores aos conteúdos de grossulária.

A composição dos minerais 116, 117 e 118 (Figura 4.19) referente à Tabela 5.5, apresenta valores elevados de Mg, em detrimento à Ca e Fe. O cálculo da fórmula química desses espécimes (Tabela 5.10), indica serem granadas predominantemente do tipo piropo, cuja molécula perfaz 64,68%, 71,60% e 63,67% da composição total desses minerais, respectivamente. Além disso, o conteúdo de almandina é levemente superior ao conteúdo de grossulária, exceto no mineral 116 que ocorre uma inversão desses valores.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

6.1 Granadas das amostras kimberlíticas

A síntese dos resultados mineroquímicos, relativa à identificação das fases composicionais das granadas das amostras kimberlíticas, está apresentada nas Tabelas 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4.

No caso das granadas kimberlíticas da amostra k1, observa-se uma predominância de fases composicionais do piropo (minerais 11, 12, 15, 16, 17, 19, 20 e 21; Tabela 6.1) e uma de composição de grossulária (mineral 10; Figura 4.16).

Tabela 6.1 - Fases composicionais das granadas da amostra kimberlítica K1, lâmina 1.

Fases composicionais	Minerais analisados
Piropo	11, 12, 15, 16, 17, 19, 20 e 21
Grossulária	10
Almandina	Não identificada
Espessartita	Não identificada

De acordo com a Tabela 5.1, o teor de sílica dos piropos da amostra K1 varia de 38,42% até 53,78%, o alumínio de 2,63% até 23,75%, o ferro de 2,31% até 15,09%, o magnésio de 15,85% até 20,74% e cálcio de 3,25% até 20,07%. Portanto, fica claro que o fator composicional determinante para a classificação desses piropos, foram os elevados teores de magnésio e a variação não muito expressiva desse elemento pelos minerais analisados.

Os minerais da amostra kimberlítica K1, apresentam aspectos ópticos distintos. Os minerais 15, 16 e 19 (Figura 4.16) apresentam uma coloração vermelho claro tendendo à rosa. Os minerais 17, 20 e 21 (Figura 4.16) são mais intensamente avermelhados. Já os minerais 11 e 12, (Figura 4.16) possuem uma coloração verde claro.

Além dos piropos descritos acima, uma das granadas analisadas da amostra kimberlítica K1, referente à lâmina 1, apresentou composição de grossulária (mineral 10; Figura 4.16). De acordo com a Tabela 5.1, a composição química dessa grossulária perfaz 32,56% de sílica, 23,73% de alumínio, 9,35% de ferro, 8,76% de magnésio e 22,37% de cálcio. A elevada porcentagem de cálcio e a baixa porcentagem de magnésio presente no mineral 10, que difere de todas as outras granadas da lâmina 1, foi determinante para que o mesmo fosse classificado como grossulária. Portanto, visualmente essa granada possui aspectos similares aos minerais 11 e 12, que são óticamente esverdeados e possuem conteúdo elevado de Ca (17,68% e 20,07%, respectivamente, Tabela 5.1) mas que, em função do teor elevado de magnésio, foi classificado como piropo.

As granadas da amostra kimberlítica K2 possuem uma predominância de fases composicionais do piropo (minerais 88, 89, 91, 92, 94, 95 e 96; Tabela 6.2).

Tabela 6.2 - Fases composicionais das granadas da amostra kimberlítica K2, lâmina 4.

Fases composicionais	Minerais analisados
Piropo	88, 89, 91, 92, 94, 95 e 96
Grossulária	Não identificada
Almandina	90, 97
Espessartita	Não identificada

O teor de sílica dos piropos varia de 18,95% até 50,21%, o de alumínio de 13,34% até 65,68%, o de ferro de 1,94% até 9,80%, o de magnésio de 7,07% até 19,54% e o de cálcio de 2,21% até 15,41%. Assim, o fator composicional determinante para a classificação dessas granadas como piropo, foram os elevados teores de magnésio.

Os minerais da amostra kimberlítica K2, apresentam aspectos ópticos distintos. Os minerais 88, 89 e 94 (Figura 4.19) apresentam uma coloração verde clara bem evidente, demonstram possuir um aspecto transparente e um brilho vítreo.

Curiosamente, essas granadas esverdeadas apresentam teores elevados de Ca (12,78%; 12,78%; 15,41%, Tabela 5.9), muito embora sejam piropos.

Em contrapartida, os minerais 95, 96 e 97 (Figura 4.19) mostram uma coloração roxo escuro, principalmente o mineral 97, e não são transparentes, exceto o mineral 95. Por último, os minerais 90, 91 e 92 (Figura 4.19) têm uma coloração mais avermelhada e também são transparentes.

Os minerais 90 e 97 da amostra kimberlítica K2, referente à lâmina 4, apresentaram composição molecular de almandina. A composição química do mineral 90 perfaz 14,38% de sílica, 23,23% de alumínio, 41,36% de ferro, 8,25% de magnésio e 3,63% de cálcio e a composição química do mineral 97 apresenta 25,49% de sílica, 16,46% de alumínio, 19,77% de ferro, 9,47% de magnésio e 9,74% de cálcio. Portanto, a elevada porcentagem de ferro em ambos os minerais, foi determinante para classifica-los como almandina.

As granadas da amostra kimberlítica K3, possuem uma total predominância de fases composicionais do piropo (minerais 107, 108, 109, 110, 111, 112, 116, 117 e 118; Tabela 6.3).

Tabela 6.3 - Fases composicionais das granadas da amostra kimberlítica K3, lâmina 4.

Fases composicionais	Minerais analisados
Piropo	107, 108, 109, 110, 111, 112, 116, 117 e 118
Grossulária	Não identificada
Almandina	Não identificada
Espessartita	Não identificada

O teor de sílica desses piropos varia de 39,42% até 56,18%, o alumínio de 3,40% até 21,06%, o ferro de 2,79% até 10,93%, o magnésio de 15,41% até 20,72% e o cálcio de 4,11% até 18,59%. O fator preponderante para a classificação desses

minerais como piropo, foram os elevados teores de magnésio e o pequeno percentual de variação de magnésio entres os espécimes analisados.

Os minerais da amostra kimberlítica K3 apresentam características óticas diferentes. As espécies 107, 108 e 109 (Figura 4.19) mostram uma coloração esverdeado claro, transparentes e brilho vítreo. E, como nos casos anteriores, os teores de Ca desses piropos verdes são elevados (18,59%,16,58% e 14,77%, respectivamente, Tabela 5.4).

Já os minerais 110, 111 e 112 (Figura 4.19) apresentam uma coloração vermelho claro tendendo para o laranja, e também são transparentes, especialmente o mineral 112. Por último, os minerais 116, 117 e 118 (Figura 4.19) apresentam uma coloração roxo escuro e não são transparentes nem o seu brilho é vítreo.

Nas granadas da amostra kimberlítica K4, referentes à lâmina 2, tem-se predominância das fases composicionais do piropo (minerais 35, 36, 46, 47, 48, 49 e 50; Tabela 6.4).

Tabela 6.4 - Fases composicionais das granadas da amostra kimberlítica K4, lâmina 2.

Fases composicionais	Minerais analisados
Piropo	35, 36, 46, 47, 48, 49 e 50
Grossulária	45
Almandina	Não identificada
Espessartita	Não identificada

O teor de sílica desses piropos varia de 38,08% até 69,93%, o alumínio de 1,45% até 23,01%, o ferro de 2,10% a 13,37%, o magnésio de 9,47% até 19,87% e o cálcio de 4,19% até 19,71%. O fator preponderante para a classificação desses minerais como piropo, foram os elevados valores de magnésio.

As granadas da amostra kimberlítica K4 apresentam aspectos ópticos distintos. Os minerais 35 e 36 (Figura 4.17) apresentam uma coloração vermelho com variação

entre vermelho claro e vermelho escuro. Já os minerais 48, 49 e 50 (Figura 4.17), possuem um aspecto cristalino, principalmente o mineral 48, e uma coloração roxo claro. Os minerais 46 e 47 (Figura 4.17) são transparentes e tem uma coloração verde claro e, como sempre, o teor de cálcio nos minerais 46 e 47 são elevados (17,62% e 19,71%, respectivamente).

Uma das granadas da amostra kimberlítica K4, referente à lâmina 2, apresentou composição de grossulária (mineral 45; Figura 4.17). Visualmente ela possui características ópticas similares aos minerais 46 e 47. Adicionalmente, a composição química dessa grossulária perfaz 69,93% de sílica; 1,45% de alumínio; 2,10% de ferro; 9,47% de magnésio e 13,92% de cálcio (Tabela 5.2). A elevada porcentagem de cálcio, foi determinante para que essa granada fosse classificada como grossulária e não piropo.

6.2 Granadas aluvionares

A síntese dos resultados mineroquímicos, relativa a identificação das fases composicionais das granadas referente às amostras aluvionares, está apresentada a seguir nas Tabelas 6.5 e 6.6.

As granadas da amostra aluvionar J1, relativo à lâmina 3, apresenta total predominância das fases composicionais do piropo (minerais 73, 74 e 75; Tabela 6.5).

Tabela 6.5 - Fases composicionais das granadas da amostra aluvionar J1, lâmina 3.

Fases composicionais	Minerais analisados
Piropo	73, 74 e 75
Grossulária	Não identificada
Almandina	Não identificada
Espessartita	Não identificada

O teor de sílica desses piropos varia de 39,55% até 44,28%, o alumínio de 18,68% até 22,11%, o ferro de 8,08% até 10,75%, o magnésio de 18,07% até 19,47%

e o cálcio de 3,77% até 4,17%. Portanto, as elevadas porcentagens de magnésio e sua baixa variação percentual nos espécimes analisados foi determinante para que as granadas da amostra aluvionar J1 fossem classificados como piropos.

As granadas da amostra aluvionar J1, apresentam aspectos ópticos idênticos. Os minerais 73, 74 e 75 (Figura 4.18) exibem uma coloração roxa tendendo para o lilás e meio opacos.

Por último, a única granada proveniente da amostra aluvionar J3, relativo à lâmina 2, também apresenta predominância da fase composicional do piropo (mineral 40; Tabela 6.6).

Tabela 6.6 - Fases composicionais das granadas da amostra aluvionar J3, lâmina 2.

Fases composicionais	Minerais analisados
Piropo	40
Grossulária	Não identificada
Almandina	Não identificada
Espessartita	Não identificada

A composição química dessa granada perfaz 40,28% de sílica, 18,64% de alumínio, 9,12% de ferro, 18,86% de magnésio e 5,98% de cálcio. Devido a elevada porcentagem de magnésio presente nesta granada, e a sua baixa porcentagem de cálcio, foram determinantes para que ela fosse classificada como piropo.

6.3 Conclusões

Curiosamente, as amostras kimberlíticas forneceram uma quantidade maior de granadas em relação às amostras aluvionares, totalizando 35 contra, apenas, 4 granadas proveniente das amostras aluvionares. O esperado seria os aluviões, por receberem sedimentos de várias fontes e idades, tivessem uma variedade mais expressiva de granadas. Mas esse não foi o presente caso. Além disso, as amostras

kimberlíticas também, curiosamente, forneceram uma variedade de granadas composicionalmente maior, exibindo piropo, grossulária e almandina. Nas amostras aluvionares, apenas, o piropo se fez presente.

Em termos composicionais, os diagramas de fase, em termos de Ca-Mg-Fe (Figuras 6.1 a 6.3), mostram a variabilidade de todas as granadas analisadas (kimberlíticas e aluvionares). Adicionalmente, esses diagramas também permitem tecer considerações acerca de suas características óticas e composicionais.

Neste sentido, observa-se na Figura 6.1 três campos distintos nos quais estão representadas as composições das granadas do tipo piropo (campo vermelho), grossulária (campo verde) e almandina (campo amarelo).

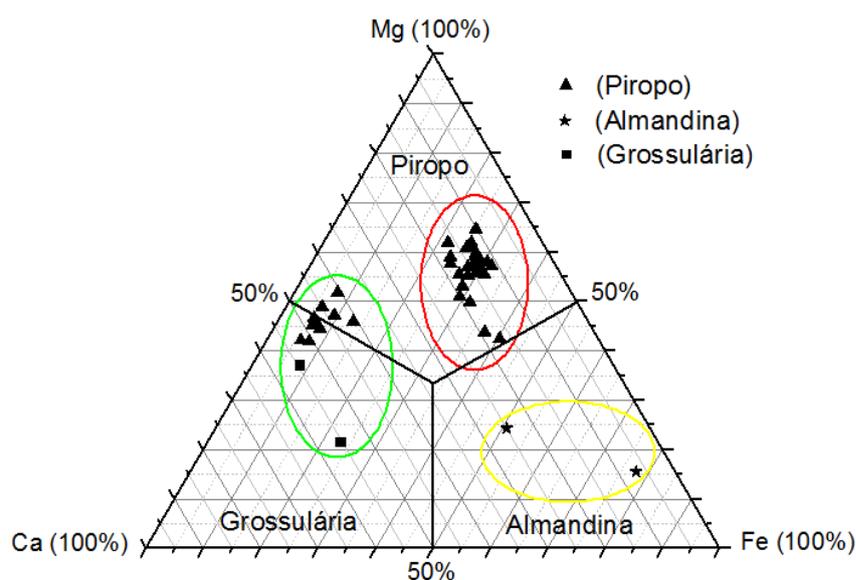


Figura 6.1 – Diagrama de fases Ca-Mg-Fe das granadas kimberlíticas e aluvionares analisadas neste trabalho, em termos de suas composições piropo, almandina e grossulária.

Para um mesmo teor de Mg (entre 40 e 60 %, por exemplo) os piropos ora são mais ricos em Ca, deslocando-se para o limite da solução sólida Ca-Mg, ora são mais ricos em Fe, deslocando-se para o limite da solução sólida Mg-Fe.

Observa-se, ainda, nesse diagrama que no campo verde estão, respectivamente, as grossulárias *sensu stricto*, que são ricas em cálcio e vários piropos que, apesar de serem composicionalmente classificados como tal, apresentam teores elevados de Ca.

Representativamente, apenas duas almandinas foram identificadas e nelas o conteúdo de Fe é substancialmente mais elevado que Mg e Ca. De modo que o seu campo composicional é bem distintos dos demais.

Em função de suas características ópticas, todas as granadas de cor esverdeada, nas quais se incluem as duas grossulárias identificadas nesse trabalho, se localizam no campo verde do diagrama de fases Ca-Mg-Fe da Figura 6.2.

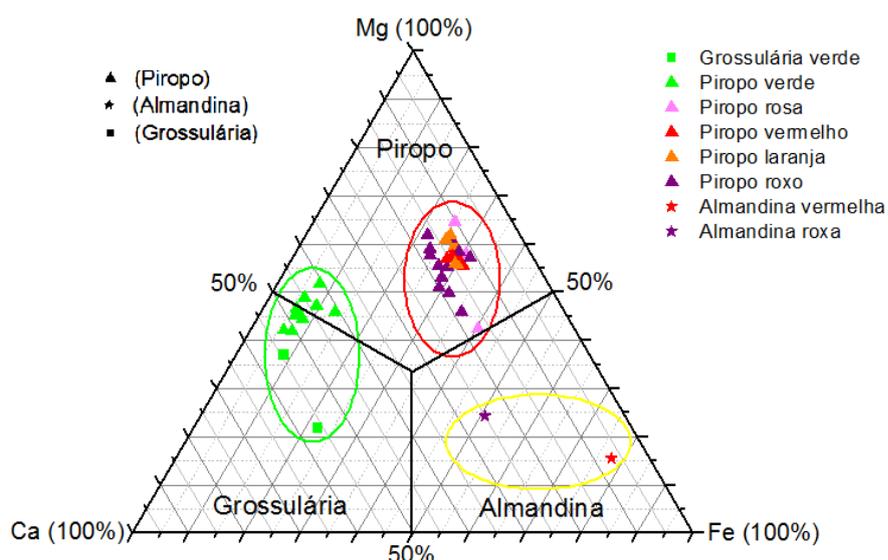


Figura 6.2 – Distribuição das granadas kimberlíticas e aluvionares, analisadas neste trabalho, no diagrama de fases Ca-Mg-Fe, considerando a variabilidades dos seus aspectos óticos (minerais verdes, vermelhos, laranja, rosa, arroxeados, etc.).

No entanto, os piropos que apresentaram teores elevados de Ca, acompanham as granadas grossulárias *sensu stricto* e caem no campo verde, demonstrando que a cor dos piropos está relacionada à sua variabilidade composicional em termos de Mg e Ca. De modo que os piropos com teores mais elevados de Ca adquirem cores

esverdeadas. Portanto, considerando os espécimes analisados neste trabalho, não necessariamente, uma granada verde pode ser opticamente classificada como grossulária e, muito menos, somente as granadas vermelhas e arroxeadas seriam piropo *sensu stricto*.

Exceção feita aos piropos verdes, os demais, independentemente de serem vermelho (claro, escuro), laranja, arroxeadado, caem no campo vermelho e são, composicionalmente, piropos *sensu stricto*.

As almandinas, embora tenham cores diferentes entre si, estão posicionadas, apenas, no campo amarelo

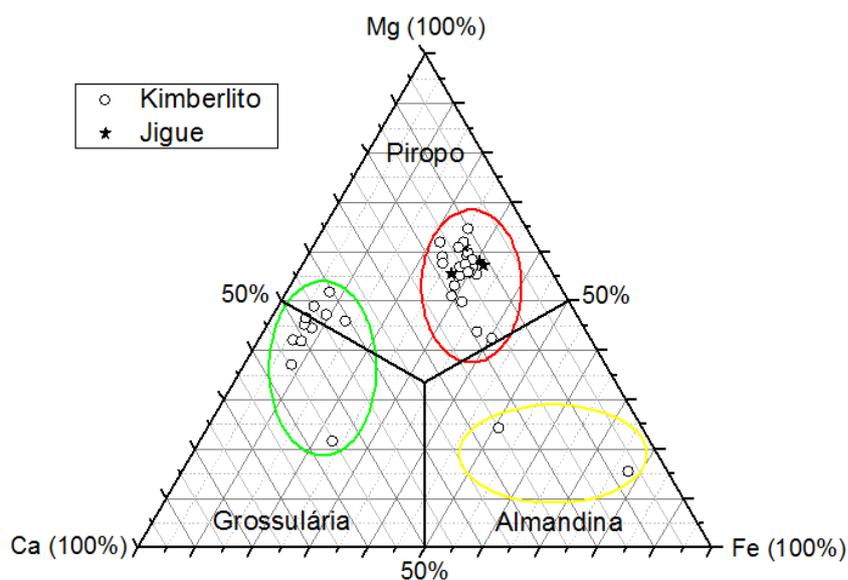


Figura 6.3 - Distribuição das granadas kimberlíticas e aluvionares, analisadas neste trabalho, no diagrama de fases Ca-Mg-Fe, considerando a área de coleta e campo composicional.

Finalmente, a Figura 6.3, mostra no diagrama de fases Ca-Mg-Fe, a distribuição das granadas analisadas neste trabalho por área de coleta e campo composicional. As granadas das amostras kimberlíticas estão distribuídas pelos campos da grossulária (região verde), piropo (região vermelha) e almandina (região amarela), independentes de suas cores ópticas. Já as granadas das amostras do aluvião se

posicionam, apenas, no campo dos piropos, indicando a sua pouca variedade em termos composicionais.

Concluindo, fica claro que, dificilmente, os aluviões diamantíferos de Santo Inácio receberam sedimentos oriundo dos kimberlitos da região pois, se assim o fosse, deveriam apresentar as mesmas variedades de granadas. Isso somente não seria possível se as grossulárias e almandinas fossem mais susceptíveis a alterações intempéricas, o que não parece ser o caso, ainda mais considerando que a distância entre o corpo kimberlítico e os aluviões é muito reduzida.

Claro que ainda existem mais de uma centena de minerais coletados e analisados na região e que, por questão do reduzido tempo de elaboração deste TCC não puderam ser tratados. Mas, com certeza, novos e interessantes resultados, após o tratamento desses irão emergir e contribuir para o conhecimento geológico acerca da origem dos diamantes da região do garimpo de Santo Inácio.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, R. C. Kimberlito: morfologia, formação e kimberlitos diamantíferos e Minas Gerais. **Universidade Federal de Minas Gerais**, Minas Gerais, 27 abr. 2006. P. 9 – 10.

BELÉM, J. **Caracterização mineralógica, física e termobarométrica de minérios de grafita da Província Grafítica Bahia – Minas**. 2006. 164f. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

CAVALLARO, T. R. **Caracterização física, mineralógica e gemológica de diamantes coloridos da coleção do museu de geociências**. 2008. 133f. Tese (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CHAVES, M. L. S. C. **Geologia e mineralogia do diamante da Serra do Espinhaço em Minas Gerais**. 1997. 289f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

NEUMANN, R. et al. Caracterização Tecnológica de Minérios. IN: **Tratamento de minérios 4ª Edição**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. P. 55 – 75.

SALES, C. G. **Caracterização Mineralógica e Tecnológica de Minérios**. Universidade do Estado de Minas Gerais, 2009. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABVuIAG/apostila-caracterizacao-cap1e2>>. Acesso em: 14 out. 2016.

SAMPAIO, J. A. et al. Tratamento de minérios: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. 557 p.

SVIZZERO, D. P. As múltiplas facetas do diamante. **Revista USP**, São Paulo, n. 71, p. 52 – 69, setembro/novembro, 2006.

GUIMARÃES, L. **Metodologia geofísica para discriminação de corpos intrusivos na Província Alcalina do Alto Paranaíba - MG**. 2006. Tese (Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2006.

GREW, Edward S. et al. **Nomenclature of the garnet supergroup**. 2013. 785 - 811 p. v. 98. Disponível em: <http://rruff.info/uploads/AM98_785.pdf>. Acesso em: 23 jul. 2017.

Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/>>. Acesso em 11 de junho de 2017.