



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**MINERALOGIA DOS DIAMANTES DA TERRA INDÍGENA  
ROOSEVELT – RO**

**MARCOS PAULO ALENCAR DE CARVALHO BORGES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 260**

**BRASÍLIA, DF  
AGOSTO, 2009**

Universidade de Brasília  
Instituto de Geociências

MINERALOGIA DOS DIAMANTES DA TERRA INDÍGENA ROOSEVELT – RO

Marcos Paulo Alencar de Carvalho Borges

Orientadora:  
Márcia Abrahão Moura (UnB)

Co-orientadora:  
Sara Lais Rahal Lenharo (Polícia Federal)

Banca Examinadora:  
Débora Passos Araújo (UnB)  
Joachim Karfunkel (UFMG)

Dissertação de Mestrado N° 260

Brasília, DF  
Agosto, 2009

**MINERALOGIA DOS DIAMANTES DA TERRA INDÍGENA  
ROOSEVELT – RO**

**Marcos Paulo Alencar de Carvalho Borges**

**Brasília, DF  
Agosto, 2009**

*À querida Camila,  
companheira e mãe cuidadosa,  
e às pequenas, Ana Maria e Luciana,  
belas flores do nosso jardim*

# SUMÁRIO

---

Sumário	i
Índice de Figuras	iv
Índice de Tabelas	viii
Agradecimentos	ix
Resumo	x
<i>Abstract</i>	xii

---

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO**

---

1.1. APRESENTAÇÃO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ASPECTOS GERAIS DA REGIÃO PRODUTORA	2
1.3.1. Histórico e Localização	2
1.3.2. Contexto Geológico Regional	5
1.4. GÊNESE E CARACTERÍSTICAS DO DIAMANTE	11
1.4.1. Formação do Diamante	11
1.4.2. Fatores de Influência nas Características do Diamante	14
1.4.2.1. <u>Crescimento Cristalino</u>	14
1.4.2.2. <u>Deformação Plástica</u>	16
1.4.2.3. <u>Reabsorção e Corrosão</u>	16
1.4.2.4. <u>Fatores Mecânicos</u>	19
1.4.2.5. <u>Outros Fatores</u>	20
1.4.3. Características Óticas, Morfológicas e Texturais	22
1.4.3.1. <u>Feições Óticas</u>	22
1.4.3.2. <u>Morfologia</u>	23
1.4.3.3. <u>Texturas e Feições Superficiais</u>	24
1.4.4. Nitrogênio no Diamante	27
1.4.5. Luminescência	30
1.5. DIAMANTES DO SUDOESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO	32

1.6. METODOLOGIA	34
1.6.1. Descrição de Feições Óticas, Morfológicas e Texturais	34
1.6.2. Catodoluminescência	35
1.6.3. Espectroscopia de Infravermelho	36

---

---

## **CAPÍTULO 2 – DIAMANTES DA TERRA INDÍGENA ROOSEVELT**

---

---

2.1. FEIÇÕES ÓTICAS, MORFOLÓGICAS E TEXTURAIS	39
2.1.1. Cor e Transparência	39
2.1.2. Morfologia	41
2.1.3. Inclusões e Fraturas Internas	43
2.1.4. Texturas e Feições Superficiais	44
2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS CRISTAIS ESTUDADOS	63
2.3. DISCUSSÕES	69

---

---

## **CAPÍTULO 3 – TÉCNICAS ESPECTRAIS**

---

---

3.1. CATODOLUMINESCÊNCIA	73
3.1.1. Introdução	73
3.1.2. Resultados	73
3.1.3. Discussões	77
3.2. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO (FTIR)	80
3.2.1. Introdução	80
3.2.2. Nitrogênio	81
3.2.3. Outras Impurezas	87
3.2.4. Relações com a Catodoluminescência	88
3.2.5. Temperatura e Tempo de Residência Mantélica	89
3.2.6. <i>Platelets</i>	94
3.2.7. Discussões	96

<b>CAPÍTULO 4 – DISCUSSÃO</b>	<b>101</b>
4.1. CRESCIMENTO, TRANSPORTE E ALTERAÇÕES	101
4.2. FONTES	106
4.3. DETERMINAÇÃO DE PROVENIÊNCIA	109
4.3.1. Descrição de Características Óticas, Morfológicas e Texturais	110
4.3.2. Espectroscopia de Infravermelho	115
4.3.3. Outras Técnicas	116
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES</b>	<b>118</b>
<b>CAPÍTULO 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>130</b>
ANEXO I – Relação de Amostras por Grupos Característicos	130
ANEXO II – Microfotografias dos Diamantes da Terra Indígena Roosevelt – RO	134
ANEXO III – Imagens em MEV dos Diamantes da Terra Indígena Roosevelt – RO	144
ANEXO IV – Imagens de Catodoluminescência dos Diamantes da Terra Indígena Roosevelt – RO	151
ANEXO V – Espectros de Infravermelho dos Diamantes da Terra Indígena Roosevelt – RO	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1 – Mapa de localização da Terra Indígena Roosevelt e Parque Aripuanã em Rondônia e imagem Landsat 5 do ano de 2007 com destaque para a área degradada correspondente ao garimpo do Igarapé Lajes. 3
- Figura 1.2 – Fotografias aéreas do garimpo do Igarapé Lajes em novembro de 2008 (acima) e diamantes extraídos na área do garimpo (abaixo). 4
- Figura 1.3 – Mapa esquemático de distribuição das Províncias Geocronológicas e principais associações litológicas do Cráton Amazônico destacando a área de localização da Província Kimberlítica de Pimenta Bueno (Tassinari e Macambira 1999). 7
- Figura 1.4 – Mapa geológico simplificado com destaque para os kimberlitos da Província Kimberlítica de Pimenta Bueno e garimpo do Igarapé Lajes (Bulanova *et al.* 2008b). 10
- Figura 1.5 – Fontes de diamantes relacionadas ao manto superior, zona de transição e manto inferior. Notar a sobreposição do campo de estabilidade do diamante com as “raízes” cratônicas, região de onde é proveniente a maior parte dos diamantes, (Stachel 2003). 12
- Figura 1.6 – Esquema teórico de uma seção no limite astenosfera – litosfera mostrando a relação dos campos de estabilidade da grafita e diamante com as zonas tampão de ferro-wüstita (IW), wüstita-magnetita (WM) e faialita-magnetita-quartzo (FMQ). A zona hachurada destaca a relação de estabilidade entre grafita e diamante com CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>, mostrando que para haver nucleação de diamante é necessária redução de CO<sub>2</sub> ou oxidação de CH<sub>4</sub>, (Haggerty 1986). 13
- Figura 1.7 – Formas primárias de diamante sintético em função da pressão e temperatura (Burns e Davies 1992). 15
- Figura 1.8 – Figura ilustrativa da forma tetrahexaedróide (a), sua relação com a forma octaédrica (b) e comparação com um tetrahexaedro “verdadeiro” (c) (adaptado de Robinson 1980). 16
- Figura 1.9 – Estágios da conversão de um octaedro para tetrahexaedróide com classificação crescente proporcional à preservação do cristal, (McCallum *et al.* 1994). 17
- Figura 1.10 – Largos discos observados logo acima do limite de saturação de H<sub>2</sub>O no sistema, obtidos em experimentos de corrosão realizados por Fedortchouk *et al.* (2007). 18
- Figura 1.11 – Imagens de catodoluminescência de estruturas internas com aspecto brechado em diamantes de New South Wales, Austrália (Davies *et al.* 2002). 19
- Figura 1.12 – Imagem por microscopia de força atômica (AFM-scan) de domo associado a spot de radiação observado em diamante de Namaqualand, África do Sul (Nasdala *et al.* 2008). 21
- Figura 1.13 – Formas comuns do diamante: a) octaedro, b) a e) combinações entre octaedro e tetrahexaedróide, f) tetrahexaedróide, g) tetrahexaedróide achatado, h) tetrahexaedróide alongado, i) e j) maclas de octaedro e tetrahexaedróide respectivamente (geminção de contato), k) octaedro laminado e l) cubo com arestas reabsorvidas (Robinson 1980). 24
- Figura 1.14 – Orientações positivas e negativas para faces de cristais nas três formas mais comuns (Robinson 1980). 25
- Figura 1.15 – Esquema ilustrativo dos defeitos na estrutura do diamante. a) defeito C, b) defeito A, c) defeito B, d) defeito N3 (Fonte: Wikipedia). 29
- Figura 1.16 – Imagem de catodoluminescência mostrando um cristal octaédrico com abundância de estratificações nas bordas e núcleo com crescimento cúbico, evidenciando fases de crescimento (1 e 2) em condições distintas (Kaminsky e Khachatryan 2004). 31



- Figura 2.1 – Spots marrons (esquerda), verdes e marrons em posição coincidente (meio) e verdes (direita). Notar relevo positivo (domos) dos spots (seta em vermelho). 40
- Figura 2.2 – Histograma de dimensões médias em milímetros (a) e de pesos em quilates (b) dos diamantes da TI Roosevelt, com indicação dos valores das médias e modas, bem como o número de exemplares necessários para somar um quilate. 41
- Figura 2.3 – Morfologias dos diamantes da Terra Indígena Roosevelt: a) Tetrahexaedróide, b) indeterminada, c) forma combinada entre octaedro e tetrahexaedróide e d) octaedro pouco reabsorvido. 42
- Figura 2.4 – Cristal com regularidade distorcida (esquerda) e cristal geminado segundo {111} (direita). 43
- Figura 2.5 – Inclusões pretas tabulares (esquerda) e de cores variadas com aspecto de percolação (direita). 43
- Figura 2.6 – Figuras de corrosão octaédricas dos diamantes da TI Roosevelt: a) laminação comum e serrilhada observada em lupa, b) laminação comum e serrilhada observadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), c) *trigons* observados em lupa, d) *trigons* em hexágono observados em MEV, e) hexágono observado em lupa, f) placas triangulares observadas em lupa. 47
- Figura 2.7 – Figuras de corrosão cúbicas dos diamantes da TI Roosevelt: a) *tetragons* e degraus observados em lupa, b) *tetragons* abundantes observados em MEV, c) *tetragon* em contato com *trigon* na junção de planos cúbicos e octaédricos observados em lupa, d) *tetragons* em degraus observados em MEV. 48
- Figura 2.8 – Figuras de corrosão tetrahexaedróides dos diamantes da TI Roosevelt: a) textura *shagreen* pouco proeminente observada em lupa, b) textura *shagreen* proeminente observada em MEV, c) *hillocks* piramidais arredondados e alongados observados em lupa. Notar “vergência” em direção ao vértice, d) *hillock* piramidal proeminente e triangular associado à textura *shagreen* e linhas de laminação, e) e f) terraços concêntricos em torno do ponto de emergência do eixo ternário (pseudosenário). 50
- Figura 2.9 – Figuras de corrosão tetrahexaedróides dos diamantes da TI Roosevelt: a) esculturas de corrosão com fundo estriado observada em lupa. Notar micro-discos entre as esculturas, b) depressões rasas observadas em MEV, c) micro-discos abundantes observados em lupa, d) micro-discos abundantes observados em MEV e e) formas em cunha observadas em lupa. 52
- Figura 2.10 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt: a) conjunto de linhas de laminação próximos ao vértice do eixo quaternário observadas em lupa, b) conjuntos cruzados de linhas de laminação associados à textura *shagreen* observados em lupa e c) conjunto de linhas de laminação truncando *microhillocks* da textura *shagreen* observados em MEV. 54
- Figura 2.11 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt: a) canais de corrosão observados em lupa, b) canal de corrosão observado em MEV, c) cavidade de inclusão com forma hexagonal observada em lupa, d) inclusão em superfície de clivagem observada em MEV. Notar em destaque (setas vermelhas) as fraturas radiais, e) superfície de clivagem com feições de dissolução observada em lupa e f) superfície de clivagem sem feições de dissolução observada em lupa. 56
- Figura 2.12 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt observadas em lupa: a) superfície polida associada a padrão em rede e marcas de percussão anelares em destaque (setas vermelhas), notar arredondamento das arestas e brilho intenso, b) detalhe do padrão em rede romboédrico em superfície polida com *spots* verdes e marrons, c) superfície polida com padrão

- em rede, marcas de percussão anelares e superfícies de abrasão incipientes em algumas arestas e d) linhas de macla junto a plano de geminação. 59
- Figura 2.13 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt: a) micro-depressão circular em face tetrahexaédrica, b) detalhe da micro-depressão da figura a, c) micro-depressões circulares observadas em MEV, e d) micro-depressões circulares associadas a micro-depressões tetragonais observadas em MEV. 60
- Figura 2.14 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt observadas em lupa: a) frosting grosso composto por micro-depressões regulares em superfície tetrahexaédrica e b) asperezas em formato triangular associadas à laminação serrilhada e *trigons* abundantes. 61
- Figura 2.15 – Feições desconhecidas dos diamantes da TI Roosevelt: a) “nervuras” sobre superfícies tetrahexaédricas observadas em lupa e b) textura fina classificada como *shagreen* observada através de MEV. 62
- Figura 2.16 – Histogramas de pesos em quilates correspondentes a cada um dos grupos característicos (G1, G2, G3 e G4) dos diamantes da TI Roosevelt. Os valores das médias e modas, bem como o número de exemplares necessários para somar um quilate, estão indicados no canto superior direito. 69
- Figura 3.1 – Feições de catodoluminescência em cristais do grupo G1: a) emissão verde-amarelada de forte intensidade com manchas avermelhadas disseminadas e b) emissão azul de fraca intensidade destacando-se em amarelo alguns pontos de emissão vermelha e alaranjada. 74
- Figura 3.2 – Feições de catodoluminescência em cristais do grupo G2: a) emissão azul de fraca intensidade com linhas de emissão mais intensa coincidentes às linhas de laminação superficiais e b) emissão azul-esverdeada de intensidade moderada com faixas mais intensas de coloração amarela e azuis. 75
- Figura 3.3 – Feições de catodoluminescência em cristais do grupo G3: a) emissão azul homogênea de forte intensidade, b) emissão azul-esverdeada de intensidade moderada com faixas mais intensas de coloração amarela, azul e violeta e c) emissão verde-amarelada intensa em cristal também pertencente ao grupo G1 com manchas alaranjadas e azuis. 76
- Figura 3.4 – Feições de catodoluminescência em cristais do grupo G4: a) emissão azul de forte intensidade e b) exemplar com mesmo tipo de emissão, porém apresentando linhas mais intensas de coloração amarela. 77
- Figura 3.5 – Feições de catodoluminescência: a) linhas de crescimento octaédrico em cristal do grupo G1 com intensa emissão verde-amarelada, b) linhas de crescimento regulares truncadas por feições curvilíneas observadas em cristal do grupo G2 e c) planos octaédricos destacados por feições verde-amareladas observadas em superfície octaédrica planar de cristal do grupo G2. 79
- Figura 3.6 – Formas do espectro infravermelho de diamantes com absorções referentes aos seguintes fatores: a) presença do nitrogênio como impureza em seus principais defeitos (Davies 1984 in Boyd *et al.* 1994a); b) estrutura cristalina própria do diamante e c) presença do hidrogênio marcada por seus picos principais. 81
- Figura 3.7 – Exemplos de espectros de absorção decompostos obtidos em diamantes de tipos distintos da TI Roosevelt, com indicação do número da amostra bem como dos valores de concentração e percentual de agregação em relação aos defeitos B: a) IaA; b) IaAB e c) IaB. As linhas de cor verde representam a componente dos defeitos A, de cor azul dos defeitos B, de cor rosa dos

defeitos D, de cor preta o espectro original e de cor vermelha a melhor aproximação computacional ( <i>Best fit</i> ).	82
Figura 3.8 – Histogramas apresentando a frequência dos parâmetros observados para os diamantes da TI Roosevelt e sua distribuição em relação aos grupos característicos: a) distribuição das classes de diamantes definidas pelo teor de nitrogênio e agregação; b) frequência dos diamantes em relação aos intervalos de concentração de nitrogênio em ppm; c) frequência dos diamantes em relação as faixas de percentuais de agregação em defeitos B.	84
Figura 3.9 – Histogramas apresentando a frequência dos diamantes de cada grupo em relação aos intervalos de concentração de nitrogênio em ppm {a) até d)} e em relação às faixas de percentuais de agregação em defeitos B {e) até h)}.	86
Figura 3.10 – Variação dos valores integrados das absorções em $3107\text{ cm}^{-1}$ , correspondentes à presença de hidrogênio, em relação ao conteúdo de nitrogênio em ppm.	87
Figura 3.11 – Resultados do modelamento cinético da reação de agregação dos defeitos A para B com séries de isotermas em diagramas de conteúdo de nitrogênio versus percentual de defeitos B para tempos de residência mantélica de 0,4 Ga (A), 1,6 Ga (B) e 3,2 Ga. (Adaptado de Taylor <i>et al.</i> 1990).	90
Figura 3.12 – Populações termais identificadas nas amostras da TI Roosevelt de acordo com o modelo proposto por Taylor <i>et al.</i> 1990: a) distribuição de todos os diamantes; b) a e) em relação a cada grupo característico e f) a i) os campos delimitados pelas principais populações de cada grupo.	93
Figura 3.13 – Diagramas dos valores integrados das absorções em $1370\text{ cm}^{-1}$ {I(B')} versus coeficientes de absorção de defeitos A em $1282\text{ cm}^{-1}$ { $\mu$ (A)} divididos pelos coeficientes de absorção total { $\mu$ (T)} visando à identificação de diamantes irregulares (Woods 1986, Evans <i>et al.</i> 1995) nas amostras da TI Roosevelt: a) distribuição de todos os diamantes e b) a e) em relação a cada grupo característico. Zonas demarcadas em rosa na figura a), e em linhas tracejadas nas demais, são propostas por Taylor <i>et al.</i> 1990 como o campo de comportamento linear inverso dos diamantes regulares.	95
Figura 3.14 – Histogramas comparando as concentrações de nitrogênio de diamantes peridotíticos, eclogíticos e fibrosos. (Cartigny <i>et al.</i> 2001).	99
Figura 4.1 – Comparação entre o comportamento das populações de diamantes do kimberlito Carolina (Hunt <i>et al.</i> 2008a) e da TI Roosevelt com base na relação conteúdo de nitrogênio versus percentual de defeitos B. Notar o comportamento semelhante dos diamantes correspondentes ao grupo G4e G1 em relação aos do Carolina.	107
Figura 4.2 – Mapa geológico simplificado com destaque para os kimberlitos da Província Kimberlítica de Pimenta Bueno e garimpo do Igarapé Lajes e hidrografia da região (Bulanova <i>et al.</i> 2008b).	108
Figura 4.3 – Formulário para descrição sistematizada dos aspectos gerais e feições superficiais dos diamantes visando à construção de um banco de dados mineralógicos de depósitos diamantíferos	114
Figura 4.4 – Comparação entre o comportamento das populações de diamantes de diferentes localidades com base na relação conteúdo de nitrogênio versus percentual de defeitos B: a) TI Roosevelt, b) Jericho (De Stefano <i>et al.</i> 2009), c) Renard (Hunt <i>et al.</i> 2008b) e d) Nunavut (Banas <i>et al.</i> 2008).	116

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Cores dos diamantes naturais e causas relacionadas (modificada de Fritsch 1997 in Araújo 2002).	22
Tabela 1.2 – Texturas e feições superficiais observadas em diamantes.	26
Tabela 2.1 – Resumo dos aspectos gerais observados nos diamantes da Terra Indígena Roosevelt.	40
Tabela 2.2 – Resumo das feições superficiais observadas nos diamantes da Terra Indígena Roosevelt.	45
Tabela 2.3 – Resumo das características dos diamantes do grupo G1.	63
Tabela 2.4 – Resumo das características dos diamantes do grupo G2.	64
Tabela 2.5 – Resumo das características dos diamantes do grupo G3.	65
Tabela 2.6 – Resumo das características dos diamantes do grupo G4.	66
Tabela 2.7 – Aspectos gerais dos diamantes da Terra Indígena Roosevelt de acordo com sua classificação grupal.	67
Tabela 2.8 – Feições superficiais dos diamantes da Terra Indígena Roosevelt de acordo com sua classificação grupal.	68
Tabela 3.1 – Resultados das análises de infravermelho dos diamantes da Terra Indígena Roosevelt com relação ao conteúdo de nitrogênio total e restrito aos defeitos “B”, e estado de agregação em relação ao percentual correspondente.	83
Tabela 3.2 – Temperaturas estimadas com base no modelamento cinético proposto por Taylor <i>et al.</i> (1990) para os diamantes da TI Roosevelt considerando a idade de 2.4 Ga.	97
Tabela 4.1 – Comparação de características entre diamantes dos depósitos da Província Kimberlítica de Juína-MT (Araújo 2002) e da Terra Indígena Roosevelt-RO. A coluna destacada em verde refere-se aos dados da TI Roosevelt.	110
Tabela 4.2 – Comparação de características entre diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO com os de depósitos do Rio Macaúbas-MG (Karfunkel <i>et al.</i> 2001) e Coromandel-MG referentes ao sistema do Rio da Prata (região norte e área do Ribeirão do Peixe {RPx}) (Kaminsky <i>et al.</i> 2001b). A coluna destacada em verde refere-se aos dados da TI Roosevelt.	111
Tabela 4.3 – Comparação de características entre diamantes dos depósitos do kimberlito AK06 em Botswana (Chinn <i>et al.</i> 2008) e da Terra Indígena Roosevelt-RO. As colunas destacadas em verde referem-se aos dados da TI Roosevelt.	111
Tabela 4.4 – Comparação das características granulométricas entre diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO e do médio rio Jequitinhonha-MG (Chaves e Chambel 2004). As colunas destacadas em verde referem-se aos dados da TI Roosevelt.	112
Tabela 4.5 – Comparação das características comerciais em relação ao peso e número de pedras entre diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO e do médio rio Jequitinhonha-MG (Chaves e Chambel 2004). As linhas destacadas em verde referem-se aos dados da TI Roosevelt.	113

## AGRADECIMENTOS

---

- Ao Grande Mestre arquiteto deste Universo que desenhou toda essa natureza pra que possamos conhecer e aprender com ela;
- À minha família querida, Camila, Ana Maria e Luciana, que mesmo enfrentando a ausência do Pai, sempre deram incentivo, carinho e apoio, sendo fundamentais para a conquista desta vitória;
- Às doutoras Márcia Abrahão Moura e Sara Laís Rahal Lenharo, respectivamente orientadora e co-orientadora deste trabalho pela amizade, incentivo e apoio durante sua realização;
- À Polícia Federal com destaque ao Diretor Técnico-Científico, Paulo Roberto Fagundes, Diretor do Instituto Nacional de Criminalística, Clênio Guimarães Belluco, Superintendente Regional no Estado de Rondônia, Ney Ferreira de Sousa, Chefes do Setor Técnico-Científico da SR/RO, Francisco Artur Cabral Gonçalves e Mauro Lúcio Resende Neves pela disponibilização das amostras, infra-estrutura do Órgão e pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho;
- Ao colega Perito Criminal Federal Fábio Augusto da Silva Salvador pelo incentivo inicial para o desenvolvimento desta pesquisa;
- Ao Prof. Nilson Francisquini Botelho pela disponibilização dos equipamentos de catodoluminescência do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília - UnB e orientação na realização das imagens;
- Aos professores Roberto Luiz Moreira e Ariete Righi do Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG pela disponibilização da estrutura do Laboratório de Ótica e orientação na realização das análises de espectroscopia de infravermelho (FTIR) e tratamento dos dados;
- À Dr<sup>a</sup> Cristiane Castañeda pelo intermédio junto à UFMG para a realização das análises de espectroscopia de infravermelho (FTIR);
- À Dr<sup>a</sup> Débora Passos Araújo (UnB) pelo material cedido e pela disponibilização do programa de decomposição espectral do infravermelho desenvolvido por David Fisher (Diamond Trade Company) e orientação na sua utilização;
- Ao colega Perito Criminal Federal Luciano Ferreira Petinati pelo apoio no processamento dos dados;
- À Professora Yana Fedortchouk (Dalhousie University, Canadá) pelo auxílio na interpretação das feições superficiais e
- A todos que de alguma forma tenham contribuído para a realização deste trabalho.

## RESUMO

---

As Terras Indígenas Roosevelt e Parque Aripuanã, localizadas no sudeste de Rondônia, atualmente hospedam o principal depósito diamantífero da região (garimpo Igarapé Lajes), conhecida pela ocorrência freqüente de kimberlitos aflorantes principalmente nos municípios de Pimenta Bueno e Espigão D'Oeste. Os corpos intrudem na borda sudoeste do Cráton Amazônico (Província Rio Negro-Juruena) e os sedimentos da Bacia dos Parecis, contudo, até o momento não são conhecidos depósitos primários economicamente viáveis. Além disso, poucos estudos foram realizados sobre a região e seus diamantes.

No presente trabalho, foram investigados 660 cristais de diamante provenientes do garimpo Igarapé Lajes, segundo suas características morfológicas, óticas e superficiais, utilizando técnicas de microscopia ótica e eletrônica de varredura (MEV), catodoluminescência e espectroscopia de infravermelho (FTIR).

As análises demonstraram a predominância de cristais altamente reabsorvidos, com morfologia tetrahexaedróide e alta freqüência de feições de corrosão superficiais, sendo geralmente incolores a levemente amarelados com uma parcela expressiva de coloração marrom. Em virtude da associação de características de origem diferenciada, 4 grupos distintos (G1, G2, G3 e G4) foram identificados, revelando a contribuição de mais de um tipo de fonte ao depósito estudado.

O grupo G1 apresenta características típicas de fontes secundárias, tais como: marcas de percussão, padrão em rede, spots de radiação verdes e marrons e superfícies de abrasão. Os grupos G2 e G4 apresentam apenas características primárias, que evidenciam ambientes de formação e transporte diferenciados. O grupo G2 exibe alta freqüência de feições deformacionais (linhas de laminação, coloração marrom, distorções morfológicas), de corrosão (shagreen proeminente, trígons e hexágonos) e superfícies foscas, enquanto o G4 compõe-se de cristais incolores, relativamente mais regulares e de maior granulometria, com superfícies lisas e poucas feições de corrosão proeminentes (terraços e hillocks). O grupo G3 possui feições típicas dos demais grupos, porém, apresenta exemplares menos reabsorvidos, com morfologia primária (octaédrica) relativamente preservada, indicando menor tempo de exposição aos efeitos de dissolução.

As feições de catodoluminescência e resultados da espectroscopia de infravermelho (conteúdo e estado de agregação do nitrogênio) confirmam a existência de grupos geneticamente distintos e/ou que sofreram alterações (reabsorção, corrosão, abrasão etc.) em ambientes diferenciados. O grupo G2 se destaca pelas emissões de luminescência associadas às feições de deformação plástica e predominância de cristais de baixo teor de N (< 100 ppm e tipo II) e alta agregação (IaB). O G4 apresenta emissões azuis homogêneas, alto teor de N (entre 700 e 1000 ppm) e agregação intermediária (IaAB). O grupo G1 apresentou luminescência fortemente influenciada pelos efeitos da radiação superficial (intensa emissão verde amarelada) e revelou populações com conteúdo e agregação de nitrogênio nos mesmos intervalos dos grupos de origem essencialmente primária (G2 e G4). Estas características constituem um indicativo de que as fontes primárias de G2 e G4 sejam as mesmas que contribuíram para a formação do depósito secundário responsável pelo aporte dos diamantes do grupo G1 na Terra Indígena Roosevelt. O grupo G3 novamente

apresentou resultados compatíveis com os demais grupos, porém são pouco representativos devido ao reduzido número de exemplares analisados por catodoluminescência e FTIR.

Baseando-se na relação conteúdo de nitrogênio versus estado de agregação do elemento, as populações identificadas evidenciam a predominância de temperaturas de formação mais elevadas para o grupo G2 e menores para o grupo G4. Este fator, associado à maior frequência de diamantes do tipo II, à presença de feições de deformação plástica e coloração marrom dos cristais, sugere que as pedras do grupo G2 sejam oriundas de porções mantélicas profundas (zona de transição e manto inferior), cuja ocorrência já foi descrita em depósitos relativamente próximos à Terra Indígena Roosevelt (Rio Machado-RO) e principalmente na Província Kimberlítica de Juína, sendo todos restritos à mesma porção do Cráton Amazônico.

Além dos dados relacionados às condições de crescimento e alterações dos cristais examinados, as técnicas empregadas mostraram-se eficientes para a identificação de diferenças entre os diamantes de Rondônia e de outras regiões. Deste modo, tal metodologia, associada à análise estatística de informações armazenadas em um banco de dados pode ser utilizada para a implementação de procedimentos regulares de identificação e certificação da proveniência de lotes de diamantes de proveniência desconhecida.

## ABSTRACT

---

The Roosevelt and Aripuanã Park indigenous lands in southeastern Rondônia State, Brazil, host the main diamond deposit of the region (Igarapé Lajes Diggings), known for the frequent occurrence of kimberlites located mainly in the districts of Pimenta Bueno and Espigão D'Oeste. These pipes intrude the southwestern border of the Amazon Craton (Rio Negro-Juruena Province) and sediments of the Parecis Basin, however, so far economically viable primary deposits are not known. Moreover, few studies were realized about the region and its diamonds.

In the present study, 660 diamond crystals were investigated according to their morphological, optical and surface characteristics using optical and scanning electron microscopy (SEM), cathodoluminescence and infrared spectroscopy (FTIR).

The results demonstrated a predominance of highly resorbed crystals, with tetrahexaedroid morphology and high frequency of surface corrosion features, being generally colorless to slightly yellow with an expressive amount of brown stones. Due to the association of genetically distinct characteristics, four different groups (G1, G2, G3 and G4) were identified, revealing a contribution of more than one source to the studied deposit.

The G1 group presents typical characteristics of secondary sources, such as: percussion marks, network pattern, green and brown radiation spots and abrasion surfaces. The G2 and G4 groups present only primary characteristics, which show different formation and transport environments. The G2 group has high frequency of deformational features (lamination lines, brown coloration and morphological distortions), of corrosion (prominent shagreen, trigons and hexagons) and frosted surfaces, while the G4 is composed of colorless crystals, relatively more regular and with higher granulometry, with smooth surfaces and few prominent corrosion features (terraces and hillocks). The G3 group has typical features of the other groups, however, is composed of less reabsorbed specimens with primary morphology (octahedral) relatively preserved, indicating shorter time of exposition to the dissolution effects.

The cathodoluminescence features and results of the infrared spectroscopy (nitrogen content and aggregation state) confirm the existence of genetically distinct groups and/or which suffered alterations (resorption, corrosion, abrasion, etc.) in different environments. The G2 group is highlighted by the emissions of luminescence associated to the features of plastic deformation and to the predominance of crystals with low contents of nitrogen (<100 ppm and type II) and highly aggregated (IaB). The G4 group shows homogeneous blue emissions, high contents of nitrogen (between 700 and 1000 ppm) and intermediate aggregation state (IaAB). The G1 group presented luminescence strongly influenced by the radiation effects (intense green-yellow emission) and revealed populations with contents and aggregation of nitrogen in the same intervals of the groups of essentially primary origin (G2 e G4). These characteristics are an indication that the primary sources of G2 and G4 are the same that contributed for the formation of the secondary deposit responsible for supply of diamonds of the G1 group in the Roosevelt Indigenous Land.



## ABSTRACT

---

The G3 group again showed consistent results with the other groups, although they are somewhat representative due to the low number of specimens examined by these techniques.

Based primarily on the relationship of nitrogen content versus aggregation state of the element, the identified populations show the predominance of higher temperatures of formation for the G2 group and lower for the G4 group. This factor, associated to the increased frequency of type II diamonds, the presence of plastic deformational features and the brown coloration of the crystals, suggests that the stones of the G2 group are originated in the deep portions of the mantle (transition zone and lower mantle), whose occurrence was reported in relatively near deposits to the Roosevelt Indigenous Land (Machado River) and mainly in the Juína Kimberlite Province, being all restricted to the same portion of the Amazon Craton.

In addition to the data related to the growth and alterations conditions of the examined crystals, the employed techniques were effective for the identification of differences between the diamonds from Rondônia and from other localities. Therefore, such methodology associated to the statistical analyses of the information stored in a data bank, can be used for the implementation of regular procedures of identification and certification of the provenance of diamond samples from unknown origin.

# CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

---

---

## 1.1. APRESENTAÇÃO

O diamante é um importante e valioso recurso mineral que tem sido objeto de exploração há milênios, cujo comércio movimentava bilhões de dólares por ano. Suas propriedades físicas o tornam um mineral próprio tanto para utilização como gema, como para material industrial. Uma das propriedades que permite a utilização do mineral nesses dois segmentos é a sua dureza extremamente alta (10 na escala de Mohs), o que confere durabilidade à gema e o torna uma ferramenta muito eficiente na indústria de materiais cortantes e abrasivos. Adicionalmente, suas propriedades óticas, que produzem um brilho excepcional ao mineral, fazem com que o mesmo seja considerado por alguns como a gema mais bela de todas as existentes.

Além das aplicações relacionadas ao seu uso cotidiano, o diamante tem sido cada vez mais utilizado como ferramenta para estudos científicos que buscam o melhor entendimento dos processos físico-químicos atuantes no manto terrestre, já que sua origem está principalmente associada a esse ambiente geológico. Para tanto, diversas técnicas de análises mineralógicas são empregadas no estudo e caracterização dos cristais de diamantes, bem como de suas inclusões.

Outra consideração importante é a necessidade de se conhecer e estabelecer parâmetros mineralógicos que sirvam como uma indicação para se apontar a proveniência do mineral. Tal necessidade advém do fato de que a exploração ilegal e indiscriminada dos diamantes, em alguns casos, gera graves problemas sócio-econômico-ambientais, que vão desde a disputa de jazidas entre garimpeiros e índios até o financiamento de guerras civis. Esses acontecimentos culminaram com a implantação, em 2003, do “Sistema de Certificação do Processo de Kimberley” (SCPK) que visa a controlar o comércio internacional de diamantes a partir da certificação da origem do mineral.

No Brasil, um dos maiores expoentes desse tipo de situação corresponde ao garimpo do Igarapé Lajes, localizado no interior da Terra Indígena Parque Aripuanã no estado de Rondônia, que tem sido explorado por garimpeiros e índios da Terra Indígena Roosevelt desde meados do ano 2000. Por se tratar de um depósito onde a extração de diamantes ocorre de maneira ilegal e conflituosa e também por não haver até o momento nenhum trabalho publicado sobre os

diamantes da região, a área foi escolhida para a realização dos estudos que serão aqui apresentados.

Neste sentido, o presente trabalho é de interesse da Ciência e do Departamento de Polícia Federal (DPF), órgão vinculado ao Ministério da Justiça (MJ), pois além de contribuir para a capacitação técnica dos profissionais que atuam nessa área, tal estudo cria a possibilidade de identificação da proveniência de diamantes com características semelhantes aos oriundos da Terra Indígena Roosevelt em outros lotes apreendidos, bem como de outros depósitos brasileiros. Por este motivo o DPF disponibilizou sua infra-estrutura laboratorial, assim como um lote de 660 cristais de diamante brutos apreendidos na área de exploração, para a realização das análises necessárias ao desenvolvimento desta dissertação.

## **1.2. OBJETIVOS**

Os seguintes objetivos nortearam o presente estudo:

- Caracterização mineralógica em detalhe dos diamantes da Terra Indígena Roosevelt com base em seus aspectos óticos, morfológicos e texturais;
- Definição das condições de gênese, crescimento e alteração dos cristais estudados, bem como das possíveis fontes do depósito de origem;
- Determinação de parâmetros da proveniência regional dos diamantes;
- Criação de padrões de comparação com diamantes de outros depósitos descritos na literatura.

## **1.3. ASPECTOS GERAIS DA REGIÃO PRODUTORA**

### **1.3.1. Histórico e Localização**

Os diamantes da Terra Indígena Roosevelt, como são nacionalmente conhecidos, na realidade são extraídos do interior da Terra Indígena Parque Aripuanã, adjacente à primeira (Figura 1.1), em uma região cujo interesse de garimpeiros e empresas de mineração nacionais e estrangeiras remonta desde a década de 1970, quando foram descobertas as primeiras

ocorrências. Neste sentido, atualmente são relacionadas pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM mais de 20 ocorrências no estado de Rondônia, sendo as principais localizadas na região sudeste do estado no alto da bacia do Rio Roosevelt próximo à divisa com o Mato Grosso (GEOBANK-CPRM). Destas ocorrências, a de maior destaque é o garimpo do Igarapé Lajes, situado no interior da terra indígena supracitada, cuja abertura no terceiro trimestre do ano 2000 promoveu uma intensificação das atividades garimpeiras em virtude da abundância de diamantes de boa qualidade gemológica (Figura 1.2). Desde então, a área tem sido procurada por garimpeiros e compradores de diamantes, que, juntamente com integrantes dos índios Cinta-Larga, exploram a região de maneira ilegal, promovendo uma série de ações criminosas, que culminaram com o assassinato de 29 garimpeiros no interior da reserva no ano de 2004.

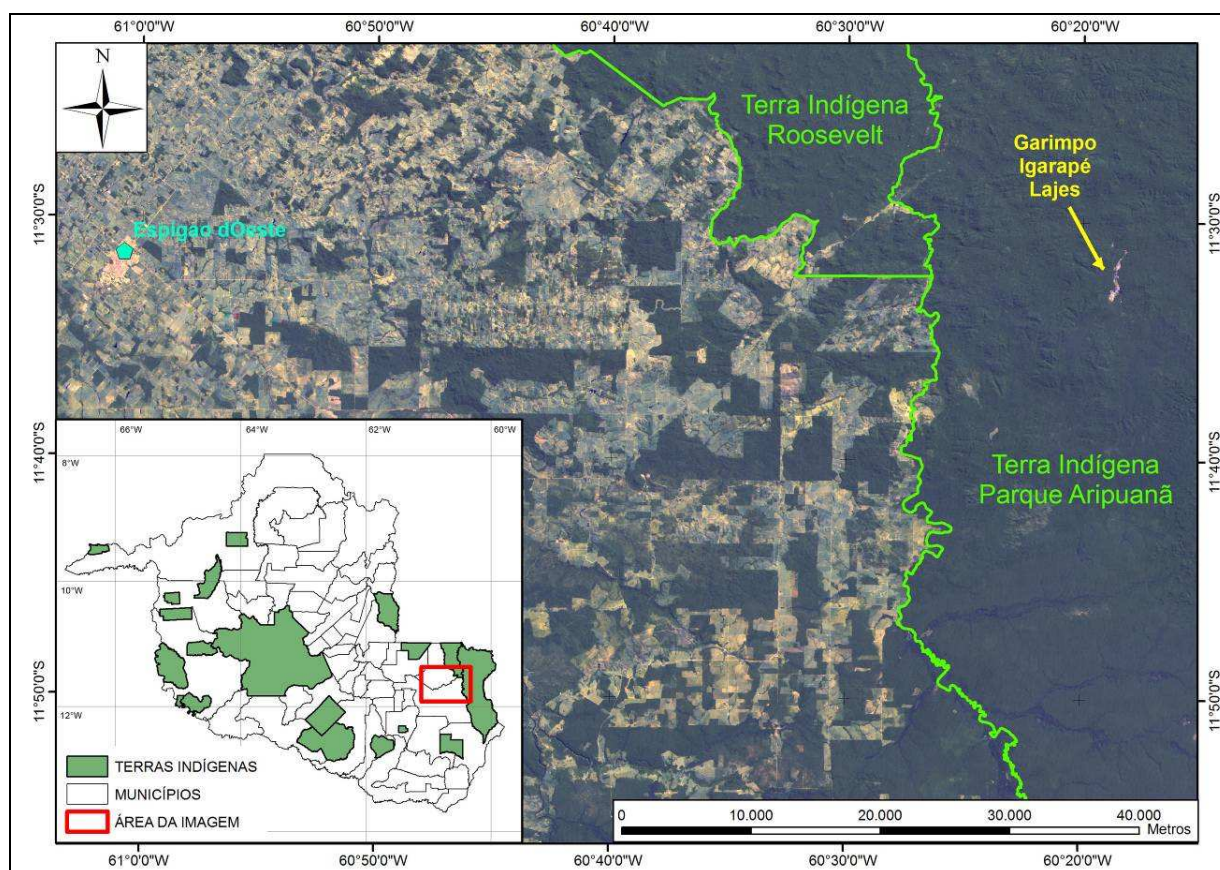


Figura 1.1 – Mapa de localização da Terra Indígena Roosevelt e Parque Aripuanã em Rondônia e imagem Landsat 5 do ano de 2007 com destaque para a área degradada correspondente ao garimpo do Igarapé Lajes.



Figura 1.2 – Fotografias aéreas do garimpo do Igarapé Lajes em novembro de 2008 (acima) e diamantes extraídos na área do garimpo (abaixo).

As Terras Indígenas Roosevelt e Parque Aripuanã abrangem uma vasta área natural que, de oeste para leste, incluem os municípios de Espigão D'Oeste e Vilhena no sudeste de Rondônia, e o Município de Juína no noroeste de Mato Grosso, sendo este último um conhecido pólo de comercialização de diamantes. Por outro lado, a maior parte da produção do mineral na região provém das terras indígenas, estimando-se que cerca de US\$ 20 milhões de diamantes da Roosevelt saiam ilegalmente do País todos os meses (Polícia Federal).

Após a chacina dos garimpeiros em Rondônia, foi deflagrada pelo DPF em 2004 a operação Roosevelt, com o objetivo de fechar o garimpo do Igarapé Lajes e fiscalizar continuamente os acessos à unidade, evitando a entrada de garimpeiros e a ocorrência de novos conflitos. Neste contexto, é que foram apreendidas no ano de 2006 as 660 pedras disponibilizadas para este estudo. Contudo, mesmo com tais apreensões e com as demais atividades da operação, a

grande extensão da área, conjugada ao caráter inóspito do ambiente amazônico, tem dificultado o alcance desses objetivos de forma que o garimpo ainda continua em operação.

### 1.3.2. Contexto Geológico Regional

A região produtora insere-se no contexto geológico da Província Kimberlítica de Pimenta Bueno, onde já foram localizados mais de noventa kimberlitos principalmente dentro dos municípios de Pimenta Bueno e Espigão d'Oeste (Rizzoto *et al.* 2007, Masun e Smith 2008). Contudo, até o presente momento a produção garimpeira provém de aluviões e elúvios recentes a sub-recentes de concentração natural detrítica, embora exista um forte potencial para mineralizações primárias nos kimberlitos da província. No caso específico do garimpo do Igarapé Lajes, a fonte dos diamantes ainda é desconhecida, não sendo descartada, porém, a possibilidade de contribuição primária.

A Província Kimberlítica de Pimenta Bueno, assim como a Província Kimberlítica de Juína em Mato Grosso, está intrudida em rochas granito-gnáissicas da borda sudoeste do Cráton Amazônico, que constituem o embasamento das rochas fanerozóicas do extremo norte da Bacia dos Parecis, as quais também são intrudidas pelos kimberlitos (Rizzoto *et al.* 2007, Araújo 2002, Masun e Smith 2008, Bulanova *et al.* 2008a) (Figuras 1.3 e 1.4).

#### Cráton Amazônico

O Cráton Amazônico é uma das maiores áreas cratônicas do planeta, cujo entendimento da evolução geotectônica tem despertado o interesse de diversos pesquisadores e se mostrado cada vez mais complexa com o avanço dos estudos geocronológicos. Alguns desses autores (p.ex. Almeida 1978, Hasui *et al.* 1984, Costa e Hasui 1997) sugerem modelos de formação restritos aos períodos Arqueano e Paleoproterozóico sobrepostos por retrabalhamentos posteriores. Porém, o modelo mais aceito atualmente considera um processo contínuo de acreção e retrabalhamento de material crustal em torno de um bloco arqueano desde este período até o início do neoproterozóico (Litherland e Bloomfield 1981, Cordani e Brito Neves 1982, Teixeira *et al.* 1989, Brito Neves e Cordani 1991, Sato e Tassinari 1997, Tassinari e Macambira 1999). Neste modelo, os padrões geocronológicos obtidos em diferentes unidades litológicas por meio de métodos variados serviram para se definir províncias geocronológicas distintas evidenciando que

cada uma se formou por processos orogenéticos subsequentes que resultaram em diferenças de idade, metamorfismo, tipos litológicos e história geológica. Além das determinações de idade tal definição também se baseia em dados estruturais, evidências geofísicas e na proporção relativa dos litotipos em cada província.

O Cráton Amazônico é atualmente subdividido em 6 províncias geocronológicas correspondentes a intervalos de formação diferenciados quais sejam: Amazônia Central (>2,3 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2,25-1,95 Ga), Ventuari-Tapajós (2,0-1,8 Ga), Rio Negro-Juruena (1,8-1,55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1,55-1,3 Ga) e Sunsás (1,3-1,0 Ga), conforme mapa geológico da Figura 1.3.

A Província Amazônia Central, composta predominantemente por rochas granito-gnáissicas, corresponde ao núcleo arqueano-paleoproterozóico que serviu de anteparo para a acreção contínua das faixas paleoproterozóicas adjacentes e que não foi afetado pela orogênese transamazônica (Tassinari e Macambira 1999). Localizado no centro-leste do Cráton Amazônico, constitui-se de dois blocos principais que a norte abrangem parte do Estado de Roraima (Bloco Roraima) e a sul, parte do Estado do Pará englobando a região de Carajás (Bloco Carajás-Iricoumé), conhecida por sua diversidade metalogenética.

A leste e a norte, abrangendo territórios do Suriname, Guiana e Venezuela, além de parte dos estados do Amapá e Pará no Brasil, o núcleo arqueano é circundado pelas rochas metavulcânicas e metassedimentares que compõem a Província Maroni-Itacaiúnas. Com idades paleoproterozóicas determinadas entre 2,2 e 1,95 Ga, estas rochas se apresentam deformadas e metamorfizadas principalmente sob fácies xisto verde a anfíbolito, ocorrendo ainda terrenos gnáissico-migmatíticos e granulíticos. Neste caso, as idades coincidem com os eventos relacionados à orogênese transamazônica, sendo ainda encontrados terrenos arqueanos alóctones altamente metamorfizados sugerindo um caráter parcialmente ensialico da evolução da Província Maroni-Itacaiúnas (Teixeira *et al.* 1989).

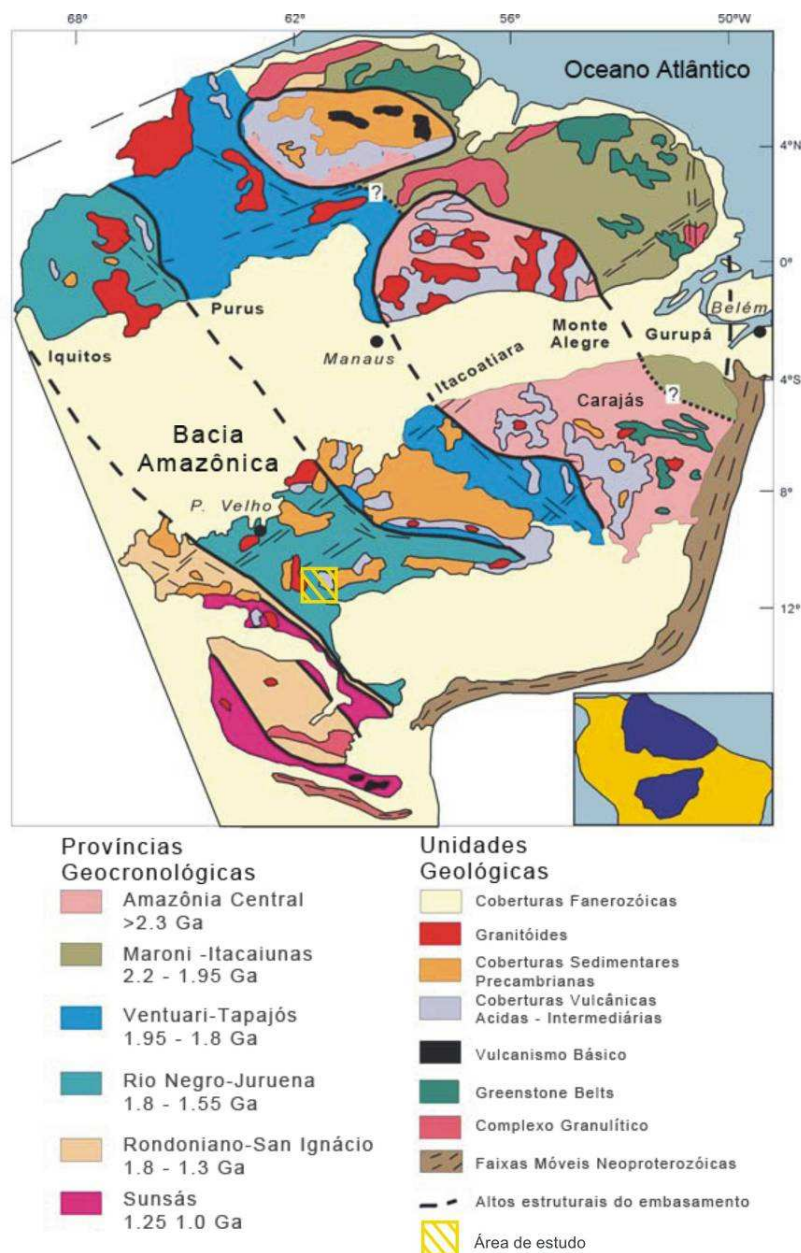


Figura 1.3 – Mapa esquemático de distribuição das Províncias Geocronológicas e principais associações litológicas do Cráton Amazônico destacando a área de localização da Província Kimberlítica de Pimenta Bueno (Tassinari e Macambira 1999).

Iniciando-se pela Província Ventuari-Tapajós, as outras faixas encontram-se a oeste da Província Amazônia Central em uma seqüência de domínios crustais de idades sucessivamente mais jovens. Desta maneira, a primeira associa-se ao núcleo arqueano ao longo de um proeminente *trend* NW-SE em que ocorrem rochas graníticas representadas por granito-gnaisses de composição granodiorítica a quartzo-diorítica, gabros e anfibolitos. Na sua porção sul, além dessas predominam rochas granodioríticas calci-alcálicas e gnaisses tonalíticos metamorfizados



em fácies anfíbolito. Fazendo-se uma comparação com a Província Maroni-Itacaiúnas, além das diferenças em termos litológicos, observou-se que as rochas da Ventuari-Tapajós são mais jovens que as primeiras com idades variando entre 1,95 e 1,8 Ga. Na zona externa da faixa, junto ao limite com a Província Amazônia Central, valores de  $\epsilon_{Nd}$  indicam a predominância de magmas mantélicos em sua formação e alguma contribuição crustal que pode estar relacionada ao retrabalhamento dos terrenos arqueanos adjacentes (Tassinari e Macambira 1999).

Imediatamente a oeste da Província Ventuari-Tapajós ocorrem os terrenos correspondentes à Província Rio Negro-Juruena, que também se expõem ao longo de um *trend* NW-SE em parte da Venezuela, Colômbia e Brasil, principalmente nos estados de Rondônia e Mato Grosso. O embasamento é composto predominantemente por granito-gnaisses e granitos granodioríticos e tonalíticos. Em geral, as rochas encontram-se metamorfizadas em fácies anfíbolito, embora existam algumas ocorrências de granulitos. Sequências supracrustais metavulcanossedimentares também são observadas de maneira esparsa. As idades determinadas estão normalmente compreendidas no intervalo entre 1,8 e 1,55 Ga, porém em alguns casos duas idades foram observadas para uma mesma unidade, inclusive mais jovens que 1,55 Ga, sendo atribuídas aos eventos de metamorfismo (Rizzoto *et al.* 2007). A Província Rio Negro-Juruena é especialmente importante neste caso, pois os kimberlitos de Pimenta Bueno estão inseridos em sua porção sudoeste já próxima ao contato com a Província Rondoniana-San Ignácio.

Esta província, exposta apenas na porção sudoeste do Cráton Amazônico em Rondônia, Mato Grosso e parte da Bolívia, é composta por granito-gnaisses migmatíticos metamorfizados em fácies anfíbolito e granulito. As idades variam de 1,55 a 1,3 Ga havendo ainda a presença de alguns enclaves granulíticos de idades paleoproterozóicas que são remanescentes das províncias mais antigas (Santos *et al.* 2008).

Os terrenos mais jovens do Cráton Amazônico ocorrem junto à Província Rondoniana-San Ignácio no extremo sudoeste do mesmo, correspondendo à Província Sunsás. Esta, por sua vez, constitui-se predominantemente de rochas metassedimentares que foram geradas a partir da erosão de crosta continental mais antiga e subsequente deformação e metamorfismo entre 1,3 e 1,0 Ga, com atividade magmática sintectônica associada. Diversos estudos baseados em dados geocronológicos, paleomagnéticos e geológicos têm levado alguns autores (Sadowsky e Bettencourt 1996, Bettencourt *et al.* 1999, Santos *et al.* 2008) a sugerirem sua evolução

relacionada ao fechamento de um oceano que resultou na aglutinação do supercontinente formado pelo Cráton Amazônico e Laurentia durante o ciclo orogênico Grenville.

Cada uma das províncias pode ainda conter rochas ígneas anorogênicas e sedimentares mais jovens que o embasamento, indicando certa influência dos processos orogênicos que formaram as províncias adjacentes já que as idades obtidas são compatíveis com a idade de formação das mesmas. Da mesma maneira, elas podem ainda conter núcleos antigos preservados evidenciando um caráter ensialico da evolução tectônica ou rochas metamórficas mais jovens produzidas pelo retrabalhamento das porções mais antigas (Tassinari e Macambira 1999).

### Bacia dos Parecis

Localizada entre as bacias do Solimões, Tapajós e Paraná a Bacia dos Parecis compõe-se de rochas distribuídas em três domínios tectono-sedimentares: o extremo oeste, uma depressão tectônica (fossa tectônica de Rondônia), a porção central, um baixo gravimétrico, e o extremo leste, uma bacia interior (Bahia *et al.* 2006, Bahia *et al.* 2007). Sua implantação ao longo do Paleozóico iniciou-se por um processo extensional de rifteamento onde se depositaram os sedimentos basais da Formação Cacoal e, em seguida, os sedimentos das formações Furnas, Ponta Grossa, Pimenta Bueno, Pedra Redonda e Fazenda da Casa Branca. Na seqüência, já no Mesozóico, um novo evento extensional gerou uma sucessão de rochas vulcânicas e sedimentares representadas pelo Grupo Parecis. Este grupo é embasado por sedimentos imaturos derivados principalmente de leques aluviais (Fm. Corumbiara) seguidos de arenitos eólicos (Fm. Rio Ávila) e fluviais (Fm. Utiriti). Tais sedimentos são ainda cortados pelos derrames basálticos jurócretáceos da Formação Anarí até o topo da Formação Rio Ávila (Rizzoto *et al.* 2007).

Em Rondônia a Bacia dos Parecis é representada principalmente pelos sedimentos paleozóicos da fase rifte (Fm. Pimenta Bueno e Faz. da Casa Branca) que preenchem os grábens Pimenta Bueno e Colorado que constituem a fossa tectônica de Rondônia. Adicionalmente, também são observadas as manifestações magmáticas representadas pelas rochas vulcânicas da Formação Anari além de intrusões kimberlíticas (Rizzoto *et al.* 2007).

Neste contexto, na interface norte do Gráben Pimenta Bueno com o embasamento correspondente à Província Rio Negro-Juruena do Cráton Amazônico, estão intrudidos a maior

parte dos corpos kimberlíticos identificados na região (Rizzoto *et al.* 2007), apesar de também serem conhecidos outros corpos nas regiões entre Cacaulândia e Ariquemes, e Corumbiara e Colorado d'Oeste (Figura 1.4). Considerando as idades da Província Rio Negro-Juruena entre 1,8 e 1,55 Ga, a região de Pimenta Bueno trata-se de mais uma província diamantífera não convencional, cujas intrusões kimberlíticas estão localizadas em terrenos não arqueanos, contrariando o entendimento baseado nas observações de Janse (1994), que relacionou tais depósitos apenas aos terrenos arqueanos sem atividades tectonotermiais subsequentes. As idades dos kimberlitos indicam cristalização em dois momentos distintos nos períodos Cretáceo-Terciário (Hunt *et al.* 2008a) e principalmente Carbonífero-Permiano-Triássico (~320-220 Ma) (Hunt *et al.* 2008a, Masun e Smith 2008, Zolinger 2005) coincidente com fases extensionais da Bacia dos Parecis.



Figura 1.4 – Mapa geológico simplificado com destaque para os kimberlitos da Província Kimberlítica de Pimenta Bueno e garimpo do Igarapé Lajes (Bulanova *et al.* 2008b).

## **1.4. GÊNESE E CARACTERÍSTICAS DO DIAMANTE**

### **1.4.1. Formação do Diamante**

Até a descoberta das primeiras rochas primárias que continham diamantes, a exploração do mineral restringiu-se por muitos anos aos depósitos aluvionares de origem secundária, acreditando-se que o mesmo se formava dentro deste ambiente. Com a evolução dos estudos mineralógicos e petrológicos, diversas formas de ocorrência e origem do diamante foram sendo descritas, revelando, portanto, sua verdadeira procedência geológica.

Os diamantes têm sido observados em ambientes geológicos distintos, evidenciando processos de formação diferenciados. Nas formas menos comuns e mais restritas, os cristais normalmente são pequenos e de baixa qualidade gemológica, como aqueles encontrados em meteoritos (ureilitos), em rochas submetidas a metamorfismo de impacto e em zonas metamorfizadas de colisão intracratônica (Bulanova, 1995). Já os chamados macrodiamantes têm sua fonte principal relacionada aos kimberlitos e lamproítos, apesar de também serem observados pequenos cristais e de baixa qualidade nestas rochas. O presente trabalho aborda apenas os aspectos mineralógicos e analíticos relacionados aos diamantes originados neste tipo de ambiente por serem os de maior interesse para os objetivos aqui propostos.

A origem dos diamantes em kimberlitos e lamproítos já foi objeto de estudos por diversos pesquisadores que abordaram a possibilidade de os mesmos terem se formado nos mesmos processos magmáticos que geraram as rochas hospedeiras, porém atualmente dados mais consistentes revelam que, de uma forma geral, os diamantes são de origem mantélica e fazem parte da assembléia mineralógica de kimberlitos e lamproítos apenas como xenocristais, não tendo participado como fase de cristalização. Estudos realizados em inclusões de diamantes e em xenólitos mantélicos diamantíferos demonstraram que as paragêneses dominantes são de natureza eclogítica e peridotítica e, em menor parte, websterítica (Meyer and Boyd 1972; Harris and Gurney 1979, Meyer 1987, Stachel 2003).

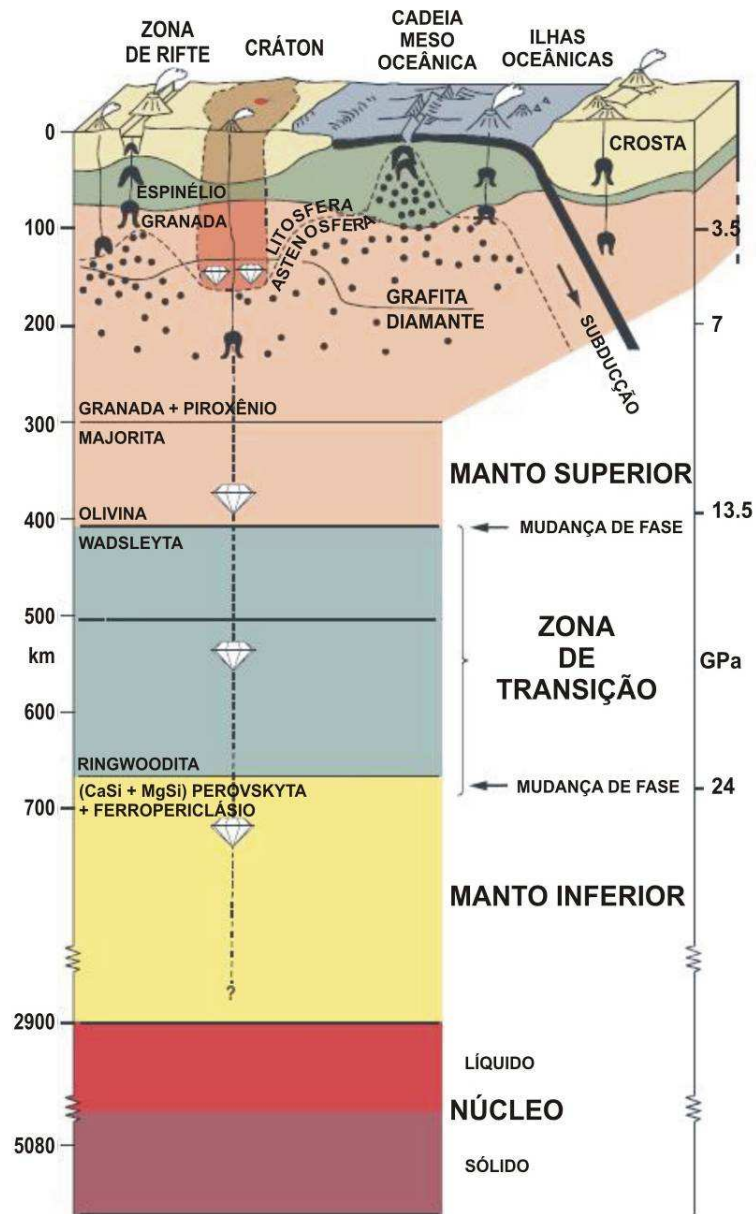


Figura 1.5 – Fontes de diamantes relacionadas ao manto superior, zona de transição e manto inferior. Notar a sobreposição do campo de estabilidade do diamante com as “raízes” cratônicas, região de onde é proveniente a maior parte dos diamantes, (Stachel 2003).

Levantamentos geotermobarométricos nas inclusões sólidas em diamantes demonstraram que a maior parte dos diamantes peridotíticos, eclogíticos e websteríticos é derivada do manto litosférico (Boyd e Gurney 1986), sendo que algumas paragéneses de diamantes peridotíticos permitiram estimar gradientes geotérmicos com valores de pressão e temperatura que confirmam essa origem em regiões cratônicas a profundidades próximas a 150 km (Stachel 2003). Além

destes, existem ainda poucos diamantes cuja paragênese mineralógica das inclusões indicam origem a profundidades ainda maiores compatíveis com a zona de transição e manto inferior. Essas inclusões são representadas principalmente por granada majorítica (com Si em sítios octaédricos) e ferropericlásio coexistindo com stishovita e silicatos de Ca e Mg com estrutura de perovskita (Harte e Harris 1994, Davies *et al.* 1999, Hutchison *et al.* 1999, Kaminsky *et al.* 2001, Stachel *et al.* 2002, Banas *et al.* 2007, Bulanova *et al.* 2008a) (Figura 1.5). Haggerty (1986) também encontrou valores semelhantes para diamantes peridotíticos junto ao limite de estabilidade da grafita e diamante, e demonstrou que apenas pressão e temperatura são insuficientes para definir as condições de nucleação e crescimento dos diamantes, sendo a fugacidade de  $O_2$  ( $fO_2$ ) um dos fatores fundamentais que controlam a precipitação e dissolução dos diamantes no manto (Figura 1.6).

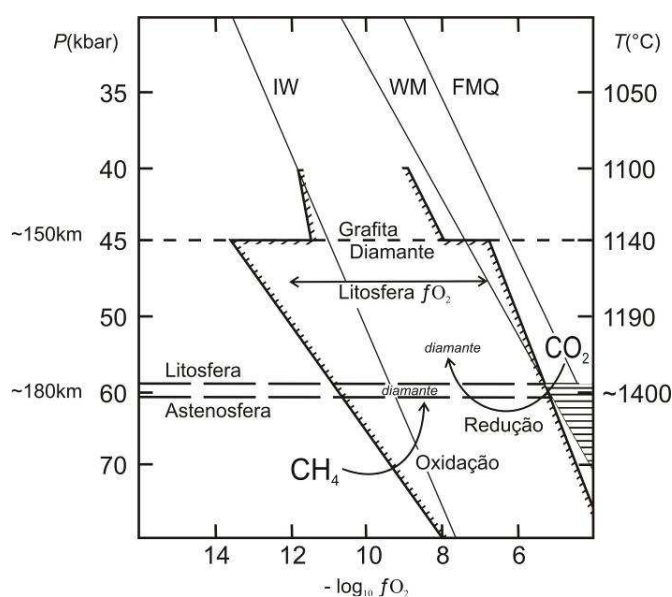


Figura 1.6 – Esquema teórico de uma seção no limite astenosfera – litosfera mostrando a relação dos campos de estabilidade da grafita e diamante com as zonas tampão de ferro-wüstita (IW), wüstita-magnetita (WM) e falalita-magnetita-quartzo (FMQ). A zona hachurada destaca a relação de estabilidade entre grafita e diamante com  $CH_4$  e  $CO_2$ , mostrando que para haver nucleação de diamante é necessária redução de  $CO_2$  ou oxidação de  $CH_4$ , (Haggerty 1986).

Segundo Haggerty (1986), em condições próximas a  $1.100^\circ C$  e 5 GPa os diamantes coexistem em equilíbrio com  $CH_4$  em  $fO_2$  equivalente à zona da ferro-wüstita, porém, se há um aumento da fugacidade o  $CH_4$  é oxidado havendo a cristalização de diamante até alcançar a zona da wüstita-magnetita em que  $CO_2$  passa a ser a fase estável. Em paragêneses peridotíticas, o  $CO_2$  reage com a olivina consumindo todo o diamante coexistente. Em paragêneses eclogíticas, o  $CO_2$

torna-se menos reativo podendo permanecer em equilíbrio com o diamante em temperaturas maiores que 1300°C (Luth 1993).

#### **1.4.2. Fatores de Influência nas Características do Diamante**

As variações laterais e verticais da litosfera bem como a existência de diversos processos envolvidos na formação dos diamantes e, ainda, a ação de processos pós-genéticos após o evento eruptivo das rochas hospedeiras são responsáveis por várias diferenças existentes entre os diamantes com relação às suas características de crescimento, morfologia, cor, tipo, composição isotópica, tamanho, deformações etc. Os principais processos responsáveis pela definição de características dos diamantes são descritos a seguir.

##### **1.4.2.1. Crescimento Cristalino**

As condições físico-químicas e o meio em que se formam os diamantes determinam a dinâmica de crescimento e influenciam direta e indiretamente nas características assumidas pelos cristais, tais como: coloração, luminescência, impurezas, morfologia primária, texturas secundárias e composição isotópica (Robinson 1980).

Os cristais incolores, por exemplo, geralmente correspondem a diamantes com quantidades reduzidas de nitrogênio (tipo II) enquanto os amarelos já possuem grande quantidade de nitrogênio (tipo I) (Robinson 1980). Neste sentido, a quantidade de impurezas (principalmente nitrogênio) e a forma de agregação na estrutura dos diamantes se devem às condições do ambiente de crescimento e residência (Chrenko *et al.* 1977, Evans e Qi 1982, Taylor *et al.* 1990, Cartigny *et al.* 2001). As cores e intensidades de luminescência, bem como as zonações, também são afetadas pela quantidade de nitrogênio e, portanto, pela história de crescimento do mineral.

A grande maioria dos diamantes é encontrada na forma de octaedros, cubos e “tetrahexaedros” de arestas curvas. As duas primeiras refletem a forma de cristalização primária do diamante no sistema isométrico, sendo que são mais comuns os cristais octaédricos cujas faces normalmente são planas. Os cristais cúbicos são mais raros e normalmente possuem faces rugosas ou com reentrâncias. Também são observados diamantes combinados entre as duas

formas primárias em função da cristalização em condições transicionais. Neste sentido diversos autores (Bovenkerk 1961, Bezrukov 1970 *in* Robinson 1980, Burns e Davies 1992) demonstraram que os cubos cristalizam-se sob temperaturas menores e pressões maiores que os octaedros (Figura 1.7).

Assim como as formas primárias, também são muito comuns os diamantes de formas “dodecaédricas”, porém com uma aresta dividindo a face losangular (aresta “c”), resultando em um cristal com 24 faces. Tal morfologia é derivada de processos secundários de dissolução (reabsorção) que conferem curvatura às referidas faces, gerando um cristal de 24 faces cuja forma não é prevista cristalograficamente (Figura 1.8). Por este motivo diferentes denominações são sugeridas por diversos pesquisadores tais como: dodecaedro arredondado, rombododecaedro, dodecaedróide ou apenas dodecaedro, adotando-se neste trabalho o termo tetrahexaedróide, conforme nomenclatura proposta por Robinson (1980).

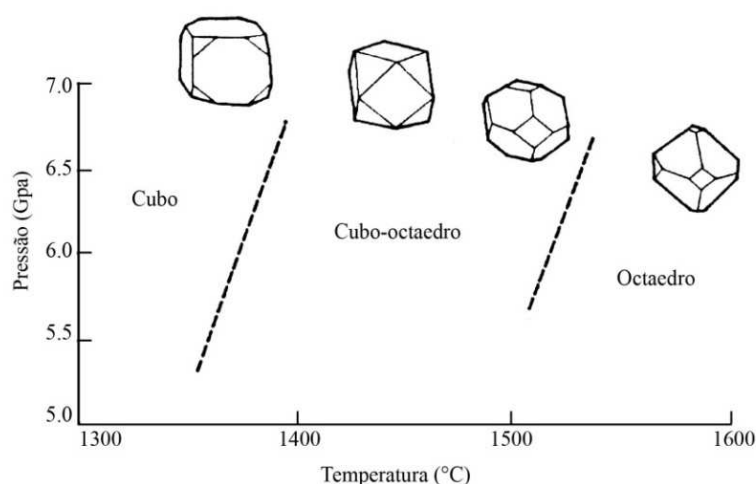


Figura 1.7 – Formas primárias de diamante sintético em função da pressão e temperatura (Burns e Davies 1992).

Dessa forma, as condições de crescimento dos cristais interferem na morfologia primária e secundária dos cristais e nas estratificações internas da estrutura de maneira que, com a ação dos processos de dissolução (corrosão), além das alterações morfológicas, diversos tipos de texturas podem ser formadas nas superfícies secundárias conforme as características cristalinas.



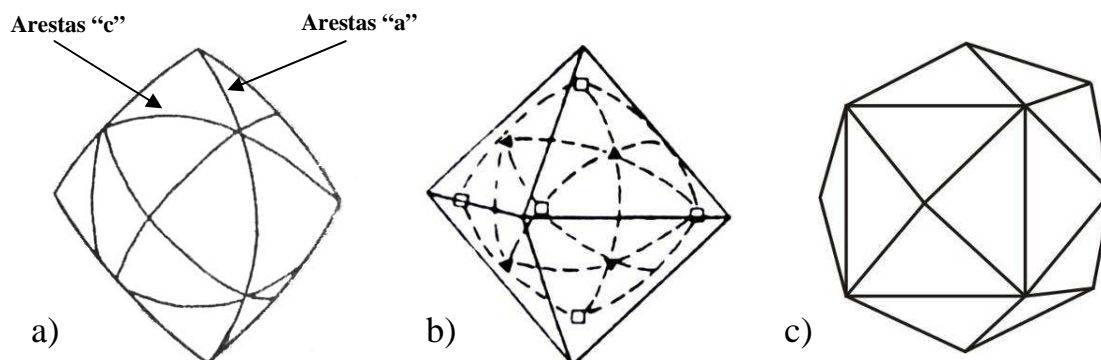


Figura 1.8 – Figura ilustrativa da forma tetrahedraédrica (a), sua relação com a forma octaédrica (b) e comparação com um tetrahedro “verdadeiro”(c) (adaptado de Robinson 1980).

#### 1.4.2.2. Deformação Plástica

A exposição de diamantes a tensões direcionais sob condições de alta pressão e temperatura provocam deformações plásticas que podem gerar planos de deslizamento e defeitos na estrutura cristalina. Tais transformações associadas à possível grafitização ao longo dos planos de deslizamento podem afetar a coloração dos cristais e gerar feições superficiais características, denominadas linhas de laminação (Urusovskaya e Orlov, 1964, De Vries 1975, Harris 1987). Além disso, os planos de deslocamento também emitem catodoluminescência característica (Hanley *et al* 1977) e dão origem a coloração marrom dos diamantes deformados devido à geração de defeitos constituídos pela associação de vacâncias (Fisher 2008).

#### 1.4.2.3. Reabsorção e Corrosão

Ainda no interior do manto e principalmente durante o transporte à superfície, quando os diamantes entram em contato com magmas ricos em voláteis e condições mais oxidantes, os diamantes podem sofrer corrosão e reabsorção (Robinson 1980, Gurney *et al.* 2004, Fedortchouck *et al.* 2007, Khokhryakov e Palyanov 2008). Estes processos de dissolução causam perda de massa e são responsáveis por alterações na morfologia primária dos cristais tornando-os arredondados, imprimindo figuras de corrosão e, dependendo de sua continuidade e velocidade, fazendo-os desaparecer por completo. Durante a sua formação, eles podem sofrer reabsorção parcial e, em seguida, retomar seu crescimento construindo complexas histórias de cristalização que ficam registradas internamente e que também constituem características distintas.

Com base em diversas evidências óticas e experimentais, demonstrou-se que os cristais originalmente octaédricos, cúbicos ou combinados são dissolvidos a partir de suas arestas avançando gradativamente sobre as faces até alcançar o centro destas. Neste momento o cristal está totalmente transformado para a forma tetrahexaedróide no mais alto grau de reabsorção (categoria 1), conforme classificação estabelecida por Robinson (1980) e adaptada por McCallum *et al.* (1994). Esta transformação ocorre com perda de massa gradual, máxima nos vértices quaternários e mínima nos vértices ternários, sendo que quando a forma tetrahexaedróide é inteiramente alcançada, terá havido uma perda de volume e massa de no mínimo 45%. Assim, a classificação de Robinson (1980) estabeleceu seis categorias de reabsorção com base na taxa de preservação do cristal original, conforme apresentado na Figura 1.9.

Além das transformações morfológicas, o processo de corrosão imprime diversos tipos de figuras e texturas nas faces primárias e secundárias. Tais feições foram descritas e estudadas por diversos autores e catalogadas principalmente por Orlov (1977), Robinson (1980) e Otter *et al.* (1994). Neste sentido, estas feições, associadas ainda às feições de crescimento e de deformação que também são expostas com a reabsorção, constituem grande variedade de características que ocorrem em orientações e formas condicionadas aos diversos fatores físico-químicos envolvidos no processo. Tais feições serão descritas em maiores detalhes no decorrer deste trabalho.

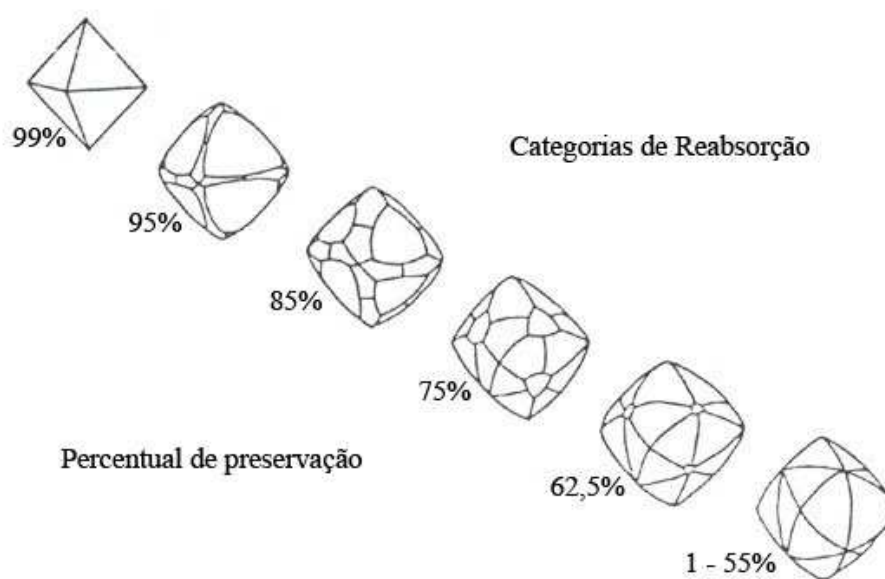


Figura 1.9 – Estágios da conversão de um octaedro para tetrahexaedróide com classificação crescente proporcional à preservação do cristal (McCallum *et al.* 1994).

A dissolução do diamante ocorre por oxidação, sendo a  $fO_2$  o principal fator de controle desse processo, porém outras variáveis são de fundamental importância, tais como temperatura, pressão, tempo e presença de fluidos ( $CO_2$  e  $H_2O$ ) (Frank e Puttick 1958, Evans e Sauter 1961, Kanda *et al.* 1977, Robinson 1980).

Kozai e Arima (2005) e Fedortchouk *et al.* (2007) demonstraram claramente que a impressão de figuras ocorre principalmente quando os diamantes entram em contato com o magma transportador (kimberlítico ou lamproítico) sendo a taxa de oxidação na superfície função da solubilidade dos fluidos no sistema. Dessa maneira, mantendo-se constante a  $fO_2$ , quando o sistema é sub-saturado em fluidos o diamante não é oxidado e sofre grafitização superficial. Quando é supersaturado, havendo portanto, a presença de fase fluida livre, a reabsorção ocorre modificando a morfologia primária e imprimindo figuras. Quando o sistema encontra-se exatamente no limite de saturação, não há grafitização nem reabsorção, mas pode haver a impressão de figuras específicas formadas por largos discos (Figura 1.10). Desde que os fluidos estejam como fase livre no sistema não há mudanças na taxa de oxidação em relação à quantidade ou tipo de fluido envolvido, porém diferenças são observadas quanto à forma de desenvolvimento da reabsorção bem como das figuras envolvidas dependendo da razão  $H_2O/CO_2$ .

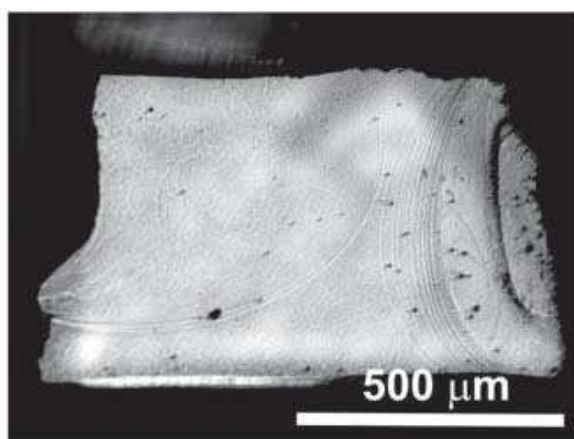


Figura 1.10 – Largos discos observados logo acima do limite de saturação de  $H_2O$  no sistema, obtidos em experimentos de corrosão realizados por Fedortchouk *et al.* (2007).

Destacam-se ainda as condições relacionadas ao intervalo de tempo em que o diamante fica exposto à corrosão tais como a profundidade em que é liberado do xenólito mantélico, o tamanho do cristal e a velocidade de ascensão do magma transportador. Assim, quanto mais cedo

um diamante for liberado do xenólito ou quanto mais lenta for a ascensão do magma transportador, mais tempo ele será exposto à corrosão e, portanto, maior grau de reabsorção e perda de massa ele sofrerá. Desta forma, um cristal de maiores proporções tem maior possibilidade de chegar à superfície do que um de pequenas proporções, que poderá se dissolver por completo antes de sua chegada. Além disso, as pedras menores, independentemente da taxa de reabsorção, serão menos preservadas devido à elevada razão área superficial/massa (Robinson 1980).

#### 1.4.2.4. Fatores Mecânicos

Além dos processos físico-químicos atuantes durante a formação e ascensão dos diamantes à superfície, outros fatores de caráter essencialmente mecânico são responsáveis por características observadas nas faces dos cristais, tais como fricção e abrasão. Muito embora o diamante seja o mineral de maior dureza conhecida, ele possui baixa tenacidade devido à existência de clivagem pronunciada ao longo dos planos octaédricos e, portanto, é relativamente susceptível a quebras provocadas principalmente por impacto, fricção ou pressão pontual em suas arestas e faces.

Esses processos geralmente são pós-genéticos, ocorrendo após a erosão das rochas primárias quando os diamantes são colocados nos ambientes detríticos, ou sob condições de pressão e temperatura ainda no ambiente mantélico/eruptivo. Imagens de catodoluminescência indicam a ocorrência de superfícies aparentemente de clivagem e texturas brechadas sobrepostas por crescimento, evidenciando a ação desses fatores ainda no ambiente de formação (Figura 1.11) (Davies *et al.* 2002).

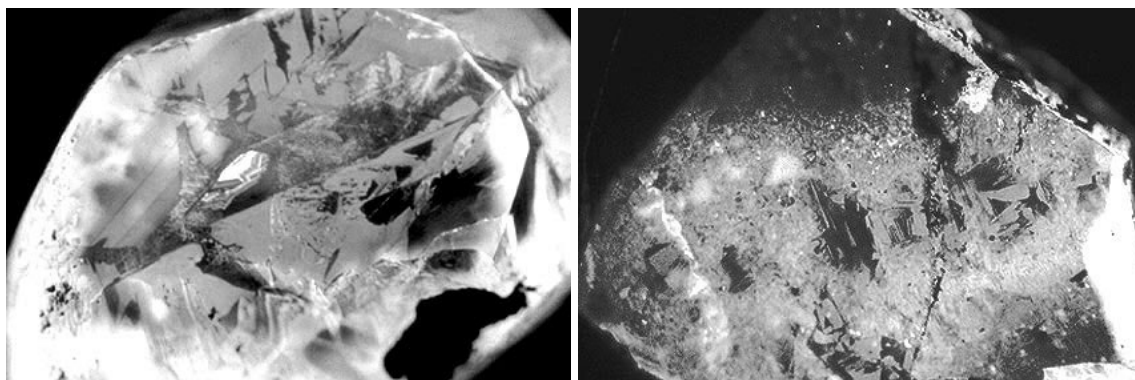


Figura 1.11 – Imagens de catodoluminescência de estruturas internas com aspecto brechado em diamantes de New South Wales, Austrália (Davies *et al.* 2002).

Nos ambientes detríticos os diamantes sofrem a ação constante de impactos com outros minerais, que se registram principalmente através da fragmentação dos cristais com a ocorrência de fraturas, superfícies de clivagem, marcas de percussão e superfícies abrasadas pela contínua retirada de fragmentos cada vez mais finos (superfícies de abrasão). Descrevendo este tipo de feições, Robinson (1980) propôs um sistema de classificação baseado em seis categorias, de acordo com o qual o grau de abrasão sofrido por diamantes é descrito. Este método avalia indivíduos total ou parcialmente tetrahexaédricos, considerando a localização e extensão das superfícies de abrasão a partir de referências cristalográficas. Desta forma, o sistema é composto por uma escala crescente de abrasão, da seguinte maneira:

- 1 – cristais sem superfícies de abrasão;
- 2 – cristais com superfícies de abrasão nos vértices dos eixos quaternários;
- 3 – cristais com superfícies de abrasão nas arestas do tipo “A” (que delimitam a face rômbrica) próximas ao eixo quaternário;
- 4 – cristais com superfície de abrasão em todas as arestas do tipo “A”;
- 5 – cristais com superfície de abrasão nas arestas “c”;
- 6 – cristais com arredondamento evidente em toda a sua extensão;

Outro fator influenciado por processos mecânicos e gravimétricos, principalmente nos ambientes sedimentares fluviais, é a distribuição granulométrica nos depósitos aluvionares havendo uma tendência de diminuição do tamanho das pedras à jusante da fonte.

Nos ambientes mantélicos/eruptivos algumas dessas características são formadas ainda sob influência de processos corrosivos, como as superfícies de clivagem que apresentam sinais de corrosão e marcas lineares ou curvas (*scratch-like markings*) geradas por fricção, mas que somente são expostas devido à corrosão de baixa temperatura (Robinson 1980).

#### 1.4.2.5. Outros Fatores

Outros fatores pós-genéticos podem ser ainda responsáveis por alterações na coloração e topografia dos diamantes relacionados, ao contato ou aproximação do cristal a elementos radioativos e aquecimento. Tal fenômeno pode ocorrer no interior das rochas hospedeiras e

principalmente nos ambientes sedimentares, gerando manchas e pontos de coloração verde e marrom na superfície do cristal (*spots*) (Vance *et al.* 1973).

Segundo Vance *et al.* (1973), as manchas verdes são decorrentes dos danos produzidos pela incidência de radiação -  $\alpha$  por meio da aproximação de elementos radioativos (U e Th) por determinado intervalo de tempo, enquanto as manchas marrons são derivadas do aquecimento das primeiras em temperaturas entre 600°C e 620°C (Meyer *et al.* 1965, Vance e Milledge 1972, Vance *et al.* 1973, Haralyi e Rodrigues 1992). A aproximação da fonte radioativa poderia ocorrer em meio às fácies mais tardias dos kimberlitos, mas principalmente em meio a depósitos paleossedimentares havendo uma tendência de intensificação das cores no último caso, devido à maior intensidade de radiação nestes ambientes (Raal 1969, Harris 1992, Vance *et al.* 1973, Hayman *et al.* 2003, Chaves *et al.* 2001). Já o aquecimento seria produzido por processos metamórficos ou eventos magmáticos ocorridos durante ou após a formação das manchas verdes. Chaves *et al.* (1996 e 2001) também procuraram relacionar tais feições à presença de elementos químicos ativadores em análises por ativação de nêutrons, porém os resultados obtidos não permitiram confirmar esta relação.

No local onde se desenvolvem as manchas também são observadas alterações topográficas derivadas da expansão de volume do cristal nos pontos afetados pela radiação (Figura 1.12). Tais alterações se apresentam na forma de domos que seriam decorrentes da transformação local da estrutura cristalina danificada em pontos no estado amorfo (Nasdala *et al.* 2008).

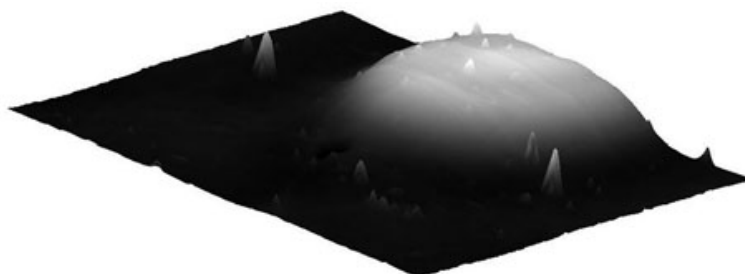


Figura 1.12 – Imagem por microscopia de força atômica (AFM-scan) de domo associado a spot de radiação observado em diamante de Namaqualand, África do Sul (Nasdala *et al.* 2008).

### 1.4.3. Características Óticas, Morfológicas e Texturais

Considerando todos os processos envolvidos durante e após a cristalização dos diamantes, são descritas a seguir as principais características óticas morfológicas e texturais do diamante.

#### 1.4.3.1. Feições Óticas

As feições óticas referem-se à coloração, transparência e brilho apresentados pelos cristais, podendo-se incluir ainda a presença ou ausência de *spots* de radiação como uma destas feições.

Desta maneira, com relação à coloração predominam os diamantes incolores seguidos pelos amarelos e marrons. As duas primeiras refletem a quantidade e o estado de agregação do nitrogênio na estrutura, e a coloração marrom relaciona-se aos processos de deformação plástica (Urusovskaya e Orlov 1964, Harris 1987, Fisher 2008). Outras cores de ocorrência mais restrita encontram-se descritas na Tabela 1.1.

Além das colorações convencionais ressalta-se ainda a possibilidade de falseamento da coloração predominante devido à presença dos *spots* verdes e marrons gerados por irradiação e aquecimento. Apesar de se tratar de manchas superficiais, sua presença influencia o aspecto ótico de todo o cristal e muitas vezes não permite uma avaliação precisa da coloração interna do diamante.

Tabela 1.1 – Cores dos diamantes naturais e causas relacionadas (modificada de Fritsch 1997 in Araújo 2002)

Coloração	Causas relacionadas
Ausente	Pode conter impureza de nitrogênio
Violeta	Defeitos relacionados a hidrogênio
Azul	Traço de boro
Verde	Irradiação e componentes marrom ou amarelo; defeitos relacionados a hidrogênio
Amarelo	Agregado de três átomos de nitrogênio; nitrogênio isolado; defeitos relacionados a hidrogênio
Laranja	Agregado de três átomos de nitrogênio + vacância
Rosa, vermelho e lilás	Centro ótico desconhecido relacionado à deformação; vacância adjacente a nitrogênio isolado
Marrom	Deformação; planos de deslizamento; irradiação + aquecimento
Preto	Inclusões pretas
Cinza	Defeitos relacionados a hidrogênio e micro-inclusões disseminadas

Outra consideração refere-se à presença ou ausência de defeitos, fraturas internas e inclusões nos diamantes, determinando o nível de transparência do cristal. Neste caso as inclusões também são elementos passíveis de descrição quanto à coloração, forma, abundância e estado. Além das inclusões, a ocorrência de texturas superficiais também afeta os aspectos óticos dos diamantes no que diz respeito ao brilho. Neste sentido cristais que possuem texturas muito finas em sua superfície apresentam-se foscos e/ou com aspecto translúcido.

#### 1.4.3.2. Morfologia

Os aspectos morfológicos dos diamantes são descritos com relação à forma, regularidade, estado do cristal, dimensões médias, grau de reabsorção e abrasão e também com relação à presença ou ausência de intercrescimentos cristalinos.

Além das formas predominantes primárias (octaedros, cubos e combinações) e secundárias (dodecaedros/tetrahexaedróides) outras variações podem existir tais como os pseudo-hemimorfos, em que parte do cristal apresenta-se em sua forma primária e a outra parte apresenta-se na forma secundária devido à exposição parcial à reabsorção. Além disso, as diversas combinações entre essas formas permitem a determinação do grau de reabsorção conforme metodologia descrita anteriormente. Outras formas menos comuns também são descritas na literatura como os dodecaedros rômnicos com feições lineares (*ribs*) (Robinson 1980), cristais esféricos (*ballas* – criptocristalino), icositetraedros (trapezoedro de 24 faces) e trioctaedros (Varshavsky e Bulanova 1974 in Robinson 1980, Khokhryakov e Palyanov 2008).

Comumente os diamantes apresentam-se com algum tipo de distorção e mesmo aqueles relativamente regulares geralmente possuem curtas arestas no lugar dos vértices e arestas “c” não lineares no caso de cristais tetrahexaedróides. Neste sentido os diamantes podem ser regulares, achatados, alongados, com distorções complexas ou irregulares conforme Figura 1.13. Além das distorções os cristais podem ser descritos com relação ao seu estado de preservação sendo classificados como fragmentos, quando houve quebra com perda de pelo menos 40% do cristal original, ou inteiros quando estão preservados além desse percentual.



As geminações também são comuns e segundo Robinson (1980) a probabilidade de haver intercrescimentos cristalinos durante a nucleação é muito alta. Desta forma as geminações podem ser em mosaico, interpenetrativa e de contato segundo o plano  $\{111\}$  que, no caso do diamante, é conhecida como tipo “macla”. As do tipo mosaico tornam-se aparentes apenas quando o cristal é serrado ou polido e as do tipo macla são as mais evidentes. Também há a possibilidade de ocorrência de agregados cristalinos com geminações múltiplas.

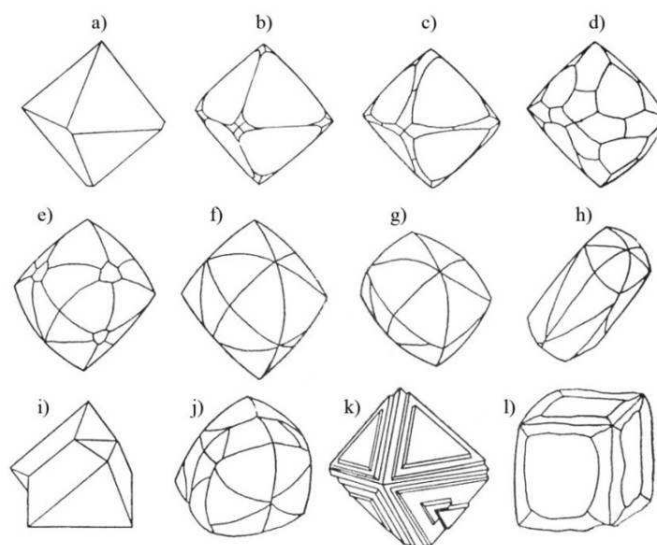


Figura 1.13 – Formas comuns do diamante: a) octaedro, b) a e) combinações entre octaedro e tetrahedraedróide, f) tetrahedraedróide, g) tetrahedraedróide achatado, h) tetrahedraedróide alongado, i) e j) maclas de octaedro e tetrahedraedróide respectivamente (geminção de contato), k) octaedro laminado e l) cubo com arestas reabsorvidas (Robinson 1980).

#### 1.4.3.3. Texturas e Feições Superficiais

De acordo com o exposto no item anterior, diversos fatores são responsáveis pela formação de diferentes tipos de feições na superfície dos diamantes. Tais feições refletem, em sua maioria, os efeitos dos processos de reabsorção e corrosão, porém também refletem aspectos relacionados ao crescimento do cristal e também à deformação, abrasão mecânica e outros fatores. Algumas texturas são restritas a determinadas faces do cristal e desta forma podem ser classificadas em octaédricas, cúbicas, tetrahedraedróides (dodecaédricas) e irrestritas quando não se relacionam a nenhuma face preferencial.

Algumas das feições de corrosão mais comuns observadas nos diamantes são os triângulos, quadrados, *hillocks* e *shagreen*, que podem ocorrer em orientações distintas com relação à face que se restringem. Quando suas arestas são aproximadamente paralelas à face são chamadas de positivas e quando são inversas denominam-se negativas segundo nomenclatura proposta por Frank *et al.* (1958) e Frank e Puttick (1958), (Figura 1.14).

Desta forma, Robinson (1980) distingue a corrosão que ocorre sob altas temperaturas (>950°C) daquelas que ocorrem sob baixas temperaturas. No primeiro caso ocorre o desgaste das arestas formando faces tetrahexaedróides, sendo comum a impressão de figuras de corrosão com orientação negativa e outras como as esculturas de corrosão e hexágonos. Sob temperaturas mais baixas (>450°C e <1050°C) formam-se as figuras com orientação positiva além de texturas consideradas transicionais para alta temperatura tais como hexágonos e *frosting*, salientando-se, contudo, que a raridade deste tipo de feições sugere que não seja comum a reabsorção e corrosão nestas condições. Ressalta-se ainda que na presença de agentes altamente oxidantes essas relações nem sempre se preservam, sendo preponderante a atuação de outros fatores, como o tempo e os tipos de fluido (CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O) existentes no meio (Frank e Puttick 1958, Evans e Sauter 1961, Kanda *et al.* 1977, Robinson 1980, Kozai e Arima 2005, Sonin *et al.* 2006, Fedortchouck *et al.* 2007 Khokhryakov e Palyanov 2008).

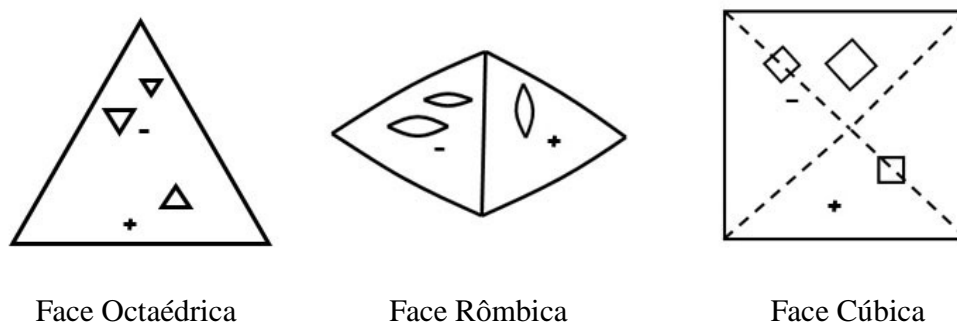


Figura 1.14 – Orientações positivas e negativas para faces de cristais nas três formas mais comuns (Robinson 1980).

Entre figuras de corrosão, feições de crescimento e feições de abrasão, mais de 40 tipos de feições já foram descritas. As principais estão relacionadas na Tabela 1.2.

Tabela 1.2 – Texturas e feições superficiais observadas em diamantes.

<b>Tipo</b>	<b>Descrição Sucinta</b>
<i>Octaédricas</i>	
Superfícies Octaédricas	Superf. Octaédricas planas sem qualquer feição de corrosão
Placas Triangulares	Placas triangulares com bordas normalmente arredondadas
Laminação Comum	Lâminas octaédricas superpostas de área decrescente
Laminação Serrilhada	Igual à laminação comum, porém com bordas serrilhadas
<i>Trigons</i>	
Triângulos Positivos	Depressões triangulares positivas em relação à face octaédrica
Hexágonos	Depressões hexagonais
Estratificação	Linhas alinhadas aos planos octaédricos relacionados ao crescimento
<i>Cúbicas</i>	
<i>Tetragons</i>	
Degraus	Depressões tetragonais negativas em relação à face cúbica Camadas superpostas de área decrescente – equivalente cúbico da laminação octaédrica
Estratificação cúbica	Linhas alinhadas aos planos cúbicos relacionados ao crescimento
<i>Tetrahexaedróides</i>	
Terraços	Feições concêntricas em torno do eixo ternário (pseudosenário)
<i>Hillocks</i> Alongados	Proeminências alongadas com orientação negativa em relação à face rômica
<i>Hillocks</i> Piramidais	Igual aos <i>hillocks</i> alongados, porém de forma triangular piramidal
<i>Shagreen</i>	Textura fina composta por vários <i>micro-hillocks</i>
Esculturas de Corrosão	Depressões profundas, curvas, elípticas e irregulares com fundo normalmente estriado
Depressões Rasas	Semelhante às esculturas de corrosão, porém são rasas, normalmente de áreas maiores e fundo liso ou com shagreen
Microdiscos	Padrões de discos sobrepostos em relevo positivo
<i>Irrestritas</i>	
Linhas de Laminação	Série de lineações paralelas ao traço octaédrico melhor visualizadas próximas ao vértice do eixo quaternário.
Canais e Sulcos de Corrosão	Cavidades de profundidades variadas de formato regular ou sinuoso
Padrão em rede	Conjunto de linhas em intersecção com relevo negativo, paralelas aos traços octaédricos
Superfície Polida	Superfícies lisas com brilho intenso e arestas arredondadas
Asprezas <i>knob-like</i>	Proeminências circulares ou triangulares comumente associadas à laminação serrilhada
Cavidades de Inclusão	Cavidades isoladas e regulares derivadas da retirada de inclusões
Marcas de Percussão	Marcas crescentes de formato anular-hexagonal às vezes com perda de pequenos fragmentos do seu interior ( <i>spall scars</i> )
Superfícies de quebra	Superfícies geradas por fraturas ou clivagens
Linhas de Macla	Linhas em padrão “espinha de peixe” com plano de geminação no centro
Microdepressões Circulares	Microdepressões rasas de formato circular
<i>Frosting</i>	Textura como finas placas de gelo circulares e irregulares

#### 1.4.4. Nitrogênio no Diamante

A grande maioria dos diamantes naturais e sintéticos possui alguma quantidade de nitrogênio em sua estrutura, constituindo a principal impureza química encontrada no mineral (Chrenko *et al.* 1977, Kaminsky e Khachatryan 2001). Em concentrações que podem variar de 0 a 5500 ppm, sendo mais comuns entre 300 e 1500 ppm (Boyd *et al.* 1994a, Banas *et al.* 2007), o nitrogênio se incorpora à estrutura do diamante através da substituição dos átomos de carbono. Desta maneira, o nitrogênio pode ocupar diferentes posições no retículo cristalino (estados de agregação) que, juntamente com os valores de concentração, fornecem relevantes informações a respeito das condições de gênese do mineral, que também podem ser utilizadas como características distintivas de outros depósitos (Burssil e Glaisher 1985, Evans e Qi 1982, Cartigny *et al.* 2001).

A presença dessas e de outras impurezas como o hidrogênio, por exemplo, geram distorções na simetria do retículo causando absorções características no espectro do infravermelho médio (500 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ ) (Sutherland *et al.* 1954 *in* Araújo 2002). Neste sentido, Robertson *et al.* (1934), foram os primeiros a detectar alterações espectrais que não eram esperadas para os diamantes classificando-os então como cristais imperfeitos ou do tipo I. Por sua vez, aqueles que não apresentavam tais alterações eram considerados perfeitos sendo denominados como do tipo II. Os autores observaram ainda uma correlação linear entre a concentração de nitrogênio, intensidades de absorção e dimensões do retículo. Posteriormente, Kaiser e Bond (1959) relacionaram tais absorções à presença de nitrogênio em posições de substituição nos diamantes do tipo I.

De acordo com o estado de agregação do nitrogênio há a formação de diversos tipos de defeitos cristalinos que possuem respostas distintas no espectro infravermelho. Desta forma os diamantes que possuem concentrações significativas de nitrogênio (tipo I), podem ser classificados em Ia e Ib, sendo que este último corresponde ao mais simples estado de agregação representado pela substituição aleatória de um átomo de N por um de C, gerando o chamado defeito “C” (Figura 1.15a). Diamantes do tipo Ib raramente ocorrem na natureza sendo normalmente produzidos sinteticamente (Taylor *et al.* 1996). Já os diamantes tipo Ia são os mais comuns e apresentam diferentes estados de agregação, com conseqüente variedade de defeitos associados (Figura 1.15).

A partir das análises espectrais de absorção no infravermelho, detectou-se a existência de dois espectros correspondentes ao diamante Ia que foram relacionados por Kaiser e Bond (1959) como defeitos “A” e “B”. Os primeiros consistem no arranjo de 2 átomos de N em sítios adjacentes substituindo o carbono, sendo chamados de tipo IaA (Figura 1.15b). No segundo caso, 4 átomos de N substituem o carbono ao redor de um sítio vacante sendo chamados de tipo IaB (Figura 1.15c). Ressalta-se ainda que, em um mesmo indivíduo, podem ocorrer proporções variadas de cada defeito, quando então são denominados tipo IaAB.

Há também a possibilidade da ocorrência de defeitos em forma de finas placas regulares distribuídos ao longo da estrutura cristalina e denominados defeitos “D” ou apenas *platelets* (Evans e Phaal 1962). Estes defeitos geram picos de absorção (B') cuja área e intensidade aumenta com o aumento da proporção de defeitos “B” mostrando um comportamento linearmente correlacionado existente entre os dois. Quando esta correlação não ocorre, os diamantes são chamados de irregulares, sendo a ausência dos *platelets* atribuída a processos de aquecimento que promovem a degradação catastrófica de sua estrutura (Woods 1986, Evans *et al.* 1995). A origem das alterações relacionadas aos defeitos planares é controversa, sendo atribuída a diversos tipos de combinações estruturais, porém dados mais recentes obtidos por Goss *et al.* (2003), sugerem que sua estrutura esteja relacionada a grandes arranjos de átomos de carbono, ocupando interstícios da estrutura cristalina ao longo de planos bem definidos onde as concentrações de nitrogênio são relativamente reduzidas.

Outros defeitos também são relacionados à presença do nitrogênio, que ocorre em mais de vinte formas conhecidas, além daqueles gerados por impurezas de boro e hidrogênio (Scarratt 1992). Estes, porém, são de menor relevância, já que ocorrem em proporções tão pequenas que não são considerados nos cálculos de quantificação. Destes, os mais comuns são os centros N3 em que três átomos de N substituem carbono em torno de um sítio vacante (Figura 1.15d), proporcionando coloração amarela ao cristal.

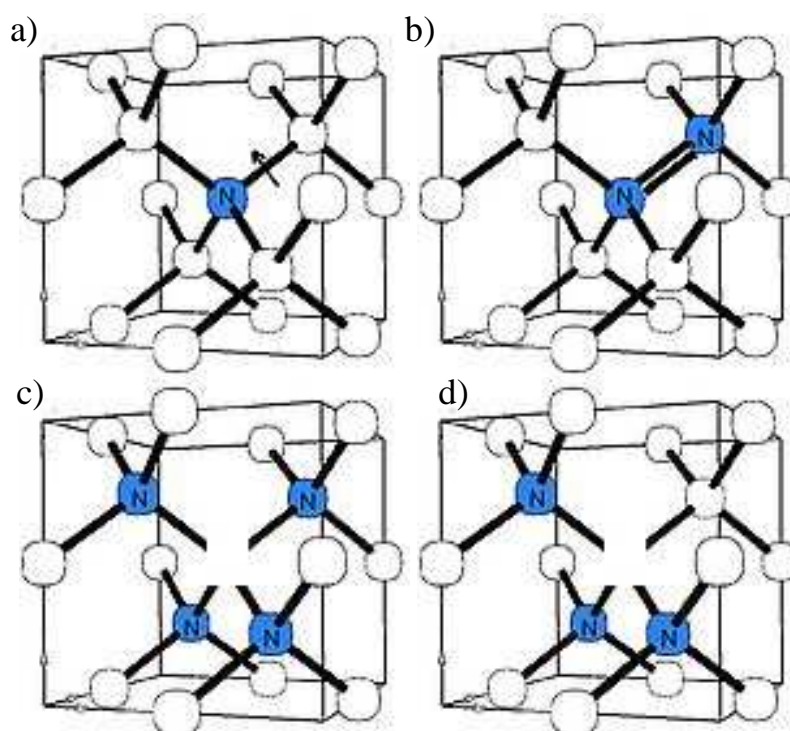


Figura 1.15 – Esquema ilustrativo dos defeitos na estrutura do diamante. a) defeito C, b) defeito A, c) defeito B, d) defeito N3 (Fonte: Wikipedia).

Diversos estudos foram realizados com diamantes sintéticos e naturais no sentido de entender como funcionam os processos de agregação do nitrogênio na estrutura dos diamantes, sendo propostos mecanismos de difusão e migração do N com liberação de vacâncias ao longo da seqüência de defeitos descritos (Bursil e Glaisher 1985). Assim, constatou-se que em diamantes inicialmente com estado de agregação Ib (substituição simples), raros em ambientes naturais, quando são aquecidos sob altas temperaturas e pressão por tempos determinados, o nitrogênio gradativamente evolui para estados de agregação mais estáveis, seguindo a seqüência: Ib  $\rightarrow$  IaA  $\rightarrow$  IaAB  $\rightarrow$  IaB (Chrenko *et al.* 1977, Evans e Qi 1982). Com base nestes resultados, tentativas no sentido de se obter estimativas de idade e temperatura de formação têm sido realizadas (Taylor *et al.* 1990, Taylor *et al.* 1996). Porém, outros estudos têm demonstrado que a agregação não depende somente destes fatores e sofre alterações conforme a taxa de crescimento cristalino, danos de radiação, eventos de deformação plástica e concentração de outros defeitos estruturais (Evans 1992, Kanda e Yamaoka 1993, Evans *et al.* 1995, Palyanov *et al.* 1997, Khachatryan e Kaminsky 2003).

Os diamantes do tipo II também são divididos em dois tipos, sendo que os do tipo IIa não conduzem eletricidade e podem conter até 30 ppm de nitrogênio, e os do tipo IIb podem conter boro em baixas concentrações. Tais diamantes são menos comuns e possuem importância significativa na investigação das fontes mantélicas em que se formaram, considerando as evidências de que os diamantes livres de nitrogênio, associados a diamantes tipo IaB, são provenientes do manto inferior (Hutchinson *et al.* 1999, Kaminsky *et al.* 2001a, Bulanova *et al.* 2008a).

#### 1.4.5. Luminescência

Diamantes apresentam diferentes radiações características quando são submetidos à incidência de luz visível, ultravioleta, raios-x e elétrons. Tais radiações, denominadas luminescência, são ocasionadas pela excitação de elétrons dos níveis de mais baixa energia que, dependendo do tipo dos átomos bem como sua forma de organização, vão refletir características intrínsecas à estrutura cristalina.

Quando são originadas em decorrência do bombardeamento de elétrons, as emissões características denominam-se catodoluminescência, sendo suas intensidades e comprimentos de onda condicionados à concentração e tipos de defeitos estruturais e presença de impurezas. Neste sentido, mais de cem centros óticos geradores de catodoluminescência são conhecidos em diamantes sintéticos e naturais, sendo responsáveis por diversos tipos de emissões características (Collins 1992). Dessa maneira, o imageamento e classificação espectral por catodoluminescência podem revelar feições internas e dados estruturais que permitem uma análise detalhada da história de crescimento dos diamantes, conforme ilustrado através da Figura 1.16 (Hanley *et al.* 1977, Bulanova 1995, Lang *et al.* 2007).

A principal responsável pela existência de centros ativadores nos diamantes é a presença de nitrogênio como impureza, cuja emissão mais comum corresponde à chamada “banda A” de coloração azul. A intensidade de emissão da banda A depende da concentração de nitrogênio na estrutura, porém também varia conforme seu estado de agregação e com a presença de outros tipos de centros. Assim, cristais com baixas concentrações de nitrogênio (tipo II), e/ou em que o N ocorre principalmente associado aos defeitos A (tipo IaA), apresentam emissões menos saturadas, podendo ainda, no primeiro caso, ocorrer na coloração violeta. Porções de crescimento cúbico em zonas de fraca emissão azul podem apresentar coloração esverdeada assim como os





## 1.5. DIAMANTES DO SUDOESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO

Estudos em diamantes de Rondônia foram realizados em amostras coletadas do kimberlito Carolina (Hunt *et al.* 2008a) próximo à Espigão do Oeste-RO, e do Rio Machado próximo à Cacoal-RO (Bulanova *et al.* 2008b) sem englobar exemplares do garimpo da Terra Indígena Roosevelt.

Os dados obtidos em tais estudos revelaram que os diamantes do kimberlito Carolina são representados predominantemente por dodecaedros arredondados (32%) e irregulares (parcialmente quebrados 26%), de morfologia desconhecida (26%), octaedros (12%) e maclas (4%). Possuem coloração acinzentada (48%) seguidos de incolores (23%), amarelos (16%), marrons (10%) e rosas (3%). Feições de corrosão superficiais restritas às faces dodecaédricas são comuns incluindo terraços e *hillocks* além de *ruts* e esculturas de corrosão em faces altamente reabsorvidas. Quanto ao conteúdo de nitrogênio são classificadas em tipo I em concentrações variando de 19 a 2124 ppm com frequência maior em torno de 600 ppm o que sugere uma forte contribuição de natureza eclogítica em sua formação.

Com relação ao Rio Machado é reportado que a maioria dos diamantes (70%) são dodecaedros com muitas feições de abrasão (fraturas rômbricas e marcas de percussão) além de pontos verdes e marrons derivados de irradiação. Estas características indicam origem relacionada a depósitos paleossedimentares. Os 30% restantes são representados por octaedros esbranquiçados pouco reabsorvidos e sem sinais de transporte evidenciando a existência de pelo menos duas fontes distintas para os diamantes. Além disso, as paragêneses das inclusões definem três tipos de diamantes: ultraprofundos (35%), eclogíticos (40%) e peridotíticos (25%). Os ultraprofundos, com inclusões de ferropericlásio e “perovskitas” de MgSi e CaSi, apresentam feições de deformação plástica, reabsorção, corrosão e fraturas internas abundantes além de serem predominantemente livres de nitrogênio (tipo II). Os eclogíticos possuem nitrogênio entre 39 e 860 ppm e os peridotíticos possuem concentrações ainda maiores entre 200 e 1500 ppm.

Diamantes de origem profunda em quantidades expressivas não são comuns, havendo poucos casos conhecidos no mundo dentre os quais se destaca os diamantes provenientes da Província Kimberlítica de Juína-MT. Tal região encontra-se próxima à Província Kimberlítica de Pimenta Bueno (~250 Km), estando ambas alinhadas ao Lineamento AZ125° ao longo do qual

são conhecidas diversas manifestações de vulcanismo alcalino, possivelmente relacionadas ao movimento do continente sobre a pluma de Trindade (Gibson *et al.* 1997, Bulanova *et al.* 2008b). Em virtude destas peculiaridades os diamantes de Juína-MT já foram objeto de diversos estudos que, baseando-se nas paragêneses de inclusões e outras características, indicam elevadas pressões e temperaturas de formação relacionadas à Zona de Transição e Manto Inferior (Wilding *et al.* 1991 in Araújo 2002, Harte e Harris 1994, Hutchinson *et al.* 1999, Kaminsky *et al.* 2001a, Araújo *et al.* 2001, Hayman *et al.* 2005, Kaminsky *et al.* 2008, Bulanova *et al.* 2008b).

Os diamantes de Juína (primários e aluvionares) de uma forma geral são homogêneos possuindo coloração principalmente acinzentada seguidos dos incolores e marrons (predominante nos aluvionares), podendo ainda ocorrer cristais amarelos, róseos e outros de ocorrência mais restrita. A morfologia predominante é tetrahexaedróide/dodecaédrica com regularidade por vezes desconhecida ou distorcida e alto grau de reabsorção, porém, principalmente em alguns depósitos primários, pode haver predominância de cristais octaédricos regulares pouco reabsorvidos, além de formas combinadas. Em Juína não foram observados cristais cúbicos apesar da ocorrência relativamente comum de feições de corrosão cúbicas. Feições de deformação também são abundantes sendo que grande parte dos cristais são fraturados (fragmentos) com superfícies de quebra corroídas ou não, e muitos ainda apresentam linhas de laminação associadas à coloração marrom ou rosa evidenciando a ocorrência de deformação plástica. Outra característica distintiva é a presença da textura *shagreen* cobrindo as faces reabsorvidas da maioria dos cristais descritos na região (Araújo 2002, Hutchinson *et al.* 1999, Kaminsky *et al.* 2001a, Hayman *et al.* 2005, Bulanova *et al.* 2008b).

Quanto ao conteúdo de nitrogênio os diamantes da PKJ também se destacam no cenário mundial, pois apresentam grandes proporções (acima de 90%) de cristais com menos de 20 ppm de nitrogênio (Tipo II ou *N-free*) ou de baixo conteúdo do elemento, enquanto a média mundial é de apenas 1%. Além disso, a maioria dos diamantes tipo I remanescentes apresenta elevado estado de agregação do nitrogênio sendo classificados como IaB, o que indica uma prolongada história de evolução sob altas temperaturas. Os dados referentes ao nitrogênio dos diamantes da PKJ, comparados aos de outros depósitos com cristais de origem profunda conhecida (kimberlito DO27, Canadá; Letseng-la-Terai, Lesoto; Koffiefontein, África do Sul; Orroroo, Austrália etc.), correspondem e confirmam o comportamento diferenciado das impurezas de nitrogênio neste tipo

de diamante (Kaminsky *et al.* 2001a). Outro contraste da PKJ em relação aos demais depósitos são os níveis consideráveis dos picos derivados da presença de hidrogênio (centros-H) nos espectros de FTIR observados na maioria das pedras (Kaminsky *et al.* 2008).

## 1.6. METODOLOGIA

Considerando todos os processos envolvidos durante e após a cristalização do diamante e as diversas características atribuídas aos mesmos, diversos métodos podem ser empregados para a caracterização mineralógica do mineral. Neste trabalho foram empregados métodos não destrutivos para caracterizar 660 pedras provenientes da Terra Indígena Roosevelt – RO quais sejam: Descrição de Feições Óticas, Morfológicas e Texturais; Catodoluminescência; Espectroscopia de Infravermelho (FTIR) e análise estatística dos dados.

Para a realização das análises, primeiramente todas as amostras foram imersas a frio em ácido fluorídrico (HF) para a eliminação de impurezas incrustadas na superfície, e antes de cada etapa foram limpas com acetona.

### 1.6.1. Descrição de Feições Óticas, Morfológicas e Texturais

A descrição da morfologia e das feições superficiais dos cristais trata-se da etapa mais trabalhosa e a que demanda maior tempo de dedicação. Foi realizada principalmente por observação em lupa trinocular da Marca Zeiss, modelo STEMI 2000-C, com capacidade de aumento de 10 a 50 vezes, pertencente ao laboratório de análises periciais do Setor Técnico e Científico da Superintendência de Polícia Federal no Estado de Rondônia. As fotografias das feições foram obtidas por máquina fotográfica digital da marca Canon, modelo *Power Shot G5*, com resolução de 5.0 Mega Pixels, adaptada ao tubo trinocular da lupa utilizada.

Em cada cristal, foram feitas descrições macroscópicas detalhadas, com destaque para coloração, transparência, brilho, morfologia, regularidade, geminações, estado do cristal, grau de reabsorção e inclusões. As descrições basearam-se principalmente na relação de texturas observadas por Robinson (1980). Os cristais foram divididos em grupos, de acordo com as principais características observadas. Cristais representativos de cada grupo foram selecionados para as análises de detalhe nas etapas subsequentes.

Para observação e confirmação de feições de menor escala, detalhamento das feições descritas em lupa e imageamento de alta definição, cerca de 40 pedras representativas dos diferentes grupos foram imageadas em Microscópio Eletrônico de Varredura – MEV marca FEI, modelo QUANTA 200 3D – Dual Beam, do Laboratório de Balística Forense do Instituto Nacional de Criminalística – INC do Departamento de Polícia Federal. Tal equipamento é capaz de trabalhar em condições de Alto e Baixo Vácuo e Modo Ambiental e conta com um sistema de microanálise de raios-X por espectrometria de energia dispersiva (EDS) e comprimento de onda (WDS) com limite de detecção que permite a identificação de elementos químicos com número atômico a partir do Boro. Adicionalmente, o mesmo ainda possui acoplado um feixe de íons de gálio (FIB) que permite a realização de perfurações nanométricas para observação e realização de análises em profundidade.

As imagens foram realizadas sob a supervisão da Dr<sup>a</sup> Sara Lais Rahal Lenharo sendo obtidas em condições de baixo vácuo com a utilização de detector de elétrons secundários (*Large Field Detector – LFD*) que realça as feições topográficas do material analisado. O feixe de elétrons foi gerado pela excitação de filamento de tungstênio, com tensão de aceleração em 20 kV.

Após a descrição dos 660 cristais, as informações foram organizadas em planilhas, sendo realizada uma análise estatística preliminar visando à identificação de grupos característicos para proceder as demais análises.

### **1.6.2. Catodoluminescência**

Dentre os grupos identificados na etapa de descrição morfológica, foram selecionadas 86 pedras para a obtenção de imagens de catodoluminescência utilizando-se o equipamento Reliotron acoplado a um fotomicroscópio petrográfico do Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. As imagens foram obtidas operando-se entre 30 - 40 mTorr, 300 - 320 mA e 7 - 18 kV, analisando-se pedras inteiras, sob a orientação do Prof<sup>o</sup> Dr. Nilson Francisquini Botelho. A metodologia ideal consiste na obtenção de imagens de seções polidas paralelas a 110, que passam pelo centro dos cristais, contudo, no presente estudo não foi possível a realização deste procedimento, pois as pedras estudadas são produto de apreensão da Polícia Federal e, a princípio, não podem sofrer alterações de qualquer natureza.

### 1.6.3. Espectroscopia de Infravermelho (FTIR)

As 86 pedras selecionadas para a catodoluminescência foram analisadas ainda por espectroscopia de infravermelho no Departamento de Física da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG em Belo Horizonte, sob a orientação e supervisão do Prof<sup>o</sup>. Dr. Roberto Luiz Moreira. O equipamento utilizado trata-se de um espectrômetro infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) da marca Nicolet, modelo Nexus 470, equipado com condensador de feixes (5x) com abertura de 1mm da marca Perkin-Elmer, detector MCT (Hg Cd Te) refrigerado por nitrogênio líquido e purga de nitrogênio gasoso. Os espectros de transmissão foram obtidos na faixa do médio infravermelho (500 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ ) com 32 a 128 varreduras e resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

O tratamento dos espectros foi realizado utilizando-se programa computacional Omnic E.S.P. 5.2 e os valores dos picos relevantes foram tratados em planilha de cálculos do programa Excel. Neste tratamento é necessário considerar os diversos fatores que afetam a absorbância do material, quais sejam: espessura da amostra, regularidade da superfície dos cristais se tratando de amostras brutas, quantidade de impurezas químicas e capacidade de transmissão ótica. Assim, exemplares de maior espessura, com mais impurezas, translúcidos, e superfícies não planas apresentarão maiores valores de absorbância.

Os ruídos ocasionados por reflexão, passagem do feixe por fora da amostra e interação com a atmosfera refletem-se na linha de fundo do espectro (*background*) que é corrigida através da subtração da linha base (*baseline*) definida por dois pontos no espectro: 4000  $\text{cm}^{-1}$  e o menor valor de absorbância entre 1000 e 1600  $\text{cm}^{-1}$ , conforme metodologia proposta por Mendelsohn e Milledge (1995a). A subtração da linha base é feita automaticamente pelo programa Omnic E.S.P. 5.2 baseando-se na seguinte equação:

$$E_c = A_x - (A_m + ((NO_x - NO_m) / (NO_M - NO_m)) \times (A_M - A_m))$$

Onde:

- $E_c$  = espectro corrigido
- $A_x$  = absorção a corrigir
- $A_m$  = menor absorção entre 1000 e 1600  $\text{cm}^{-1}$
- $NO_x$  = número de onda correspondente à absorção a corrigir
- $NO_m$  = número de onda correspondente à menor absorção entre 1000 e 1600  $\text{cm}^{-1}$
- $NO_M$  = número de onda correspondente à absorção em 4000  $\text{cm}^{-1}$
- $A_M$  = absorção no  $NO_M$

A influência da espessura das amostras nos valores de absorvância torna necessária a normalização dos espectros para uma espessura cujos coeficientes de absorção sejam conhecidos. Para tanto, os espectros são normalizados para a espessura de 1mm utilizando o valor da absorvância em  $1995 \text{ cm}^{-1}$  ( $A_{1995}$ ) localizado em depressão da região de absorção intrínseca do diamante e cujo coeficiente de absorção é  $11.94 \text{ cm}^{-1}$  (Araújo 2002, Banas *et al.* 2007). Dessa maneira, os efeitos das variações de espessura são corrigidos convertendo-se os valores de absorvância para coeficientes de absorção com a multiplicação do espectro pelo seguinte fator:

$$F = 11.94/A_{1995}$$

Após a realização das devidas correções, as concentrações de nitrogênio são então quantificadas para cada estado de agregação separando-se as componentes de cada defeito no espectro obtido. Esta separação e quantificação são feitas por programas computacionais com base na relação:

$$N_x = k_x \mu_x$$

Onde:  $N_x$  = concentração em ppm em um determinado defeito “x”  
 $k_x$  = constante de absorção do defeito “x”  
 $\mu_x$  = coeficiente de absorção obtido para o defeito “x”

As constantes de absorção para cada defeito são determinadas experimentalmente a partir da análise da relação: concentração de nitrogênio x coeficiente de absorção no comprimento de onda específico, em amostras que possuem apenas um tipo de agregação (Ib, IaA ou IaB) (Chrenko *et al.* 1977, Woods *et al.* 1990, Boyd *et al.* 1994b, Kiflawi *et al.* 1994, Boyd *et al.* 1995). No presente estudo utilizaram-se os valores mais adotados na atualidade, correspondentes a  $k_A = 16,5 \pm 1 \text{ at.ppm/cm}^{-1}$  e  $k_B = 79,4 \pm 8 \text{ at.ppm/cm}^{-1}$ , obtidos respectivamente por Boyd *et al.* (1994b) e Boyd *et al.* (1995). Defeitos C (tipo Ib) não foram observados e portanto não houve necessidade de utilização da constante correspondente ( $k_C$ ). Os erros de precisão nos cálculos das concentrações de nitrogênio utilizando estes parâmetros são estimados em torno de 10 a 20% (Kaminsky e Khachatryan 2001, Stachel *et al.* 2002).

O programa de decomposição espectral utilizado neste trabalho (macro ABD1400, para ser executada em Excel) foi elaborado pelo Dr. David Fisher (Research Laboratories of the Diamond Trading Company, Maidenhead, UK) e gentilmente cedido pela Dra. Débora Passos de Araújo (UnB). Considerando que a entrada dos dados no programa deve ser feita para o intervalo entre 1000 e 1400  $\text{cm}^{-1}$ , com espaçamento de 1 em 1  $\text{cm}^{-1}$ , os dados originais precisaram ser interpolados, uma vez que os espectros foram coletados com espaçamento de aproximadamente 2 $\text{cm}^{-1}$ .

Após o tratamento dos espectros as informações relativas ao nitrogênio (quantidade e agregação) foram adicionadas às planilhas contendo os demais dados obtidos e foram correlacionadas às características de cada grupo previamente definido.

## CAPÍTULO 2 – DIAMANTES DA TERRA INDÍGENA ROOSEVELT

---

---

Neste capítulo serão apresentados os dados obtidos a partir da descrição das feições óticas, morfológicas e texturais das 660 pedras provenientes da Terra Indígena Roosevelt – RO, tratando-se do primeiro estudo detalhado dos diamantes deste local.

### 2.1. FEIÇÕES ÓTICAS, MORFOLÓGICAS E TEXTURAIS

A seguir encontram-se descritos os aspectos relacionados à cor, transparência, brilho, morfologia, regularidade, geminações, estado do cristal, grau de reabsorção e inclusões, seguidos dos diversos tipos de texturas e feições superficiais observadas nos diamantes da Terra Indígena Roosevelt. As Tabelas 2.1 e 2.2 contêm o resumo das características dos diamantes estudados

#### 2.1.1. Cor e Transparência

A grande maioria dos diamantes da TI Roosevelt é incolor a amarelada, porém uma parcela expressiva das amostras estudadas (27%) apresenta coloração marrom a rosa (Tabela 2.1). Outras cores como esverdeado, acinzentado e preto ocorrem de maneira mais restrita. É importante ressaltar que, devido às diversas nuances de coloração cuja variação é pouco perceptível, sempre há certo grau de subjetividade na avaliação deste parâmetro. Quanto à transparência, 71% dos cristais apresentam-se transparentes, havendo ainda um percentual de 24% de pedras com superfície fosca em virtude da presença de finas texturas superficiais. Estes exemplares, na maior parte das vezes, possuem coloração marrom a rosa.

Pontos e manchas verdes e marrons (*spots*) são observados em 18% das pedras analisadas, predominando as de cor verde, porém, em 31% delas, ambas as cores estão presentes. Tais manchas normalmente são intensas e ocorrem subsuperficialmente (~20  $\mu\text{m}$ ), sendo muitas vezes coincidentes a pequenas elevações em forma de domos na superfície do cristal que, segundo Nasdala *et al.* (2008), estariam relacionadas à expansão do volume e danificação da estrutura cristalina nos pontos afetados pela incidência de irradiação (Figura 2.1). Conforme exposto anteriormente, a ocorrência destas manchas (verdes) é interpretada como estando principalmente relacionada à ação de irradiação  $\alpha$  pontual sobre a superfície do cristal e subsequente aquecimento (marrons) (Vance e Milledge 1972, Vance *et al.* 1973), possivelmente associada a



depósitos sedimentares ou metamórficos (Raal 1969, Haralyi e Rodrigues 1992, Chaves *et al.* 1996, Chaves *et al.* 2001, Davies *et al.* 2002).

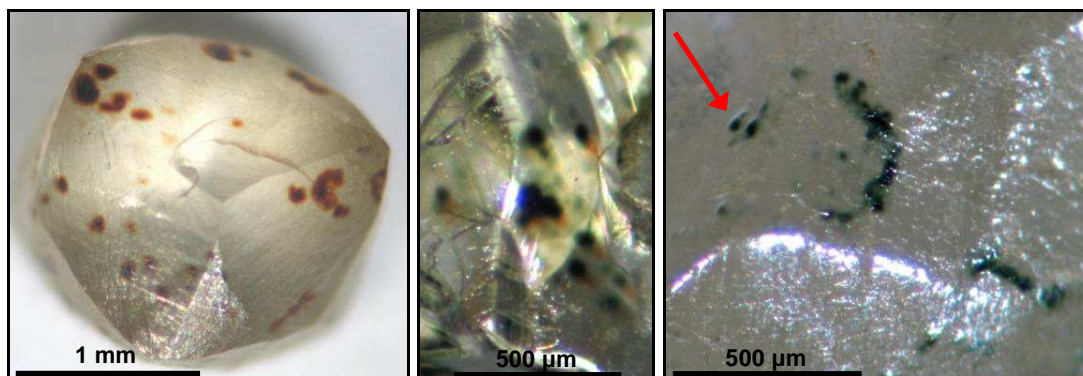


Figura 2.1 – Spots marrons (esquerda), verdes e marrons em posição coincidente (meio) e verdes (direita). Notar relevo positivo (domos) dos spots (seta em vermelho).

Tabela 2.1 – Resumo dos aspectos gerais observados nos diamantes da Terra Indígena Roosevelt.

Aspectos Gerais		(%)	Aspectos Gerais		(%)	
Morfologia	Octaedro	2	Transparência	Transparente	71	
	Octaedro – tetrahexaedróide	7		Translúcido	5	
	Tetrahexaedróide	72		Foscas Sup.	24	
	Dodecaedro	1		Ausente	42	
	Clivagem	1		Amarelada	26	
	Desconhecido	16		Esverdeada	3	
Regularidade	Regular	13	Cor	Cinza	2	
	Distorcido	49		Marrom/rosa	27	
	Achatado	13		Preta	<1	
	Alongado	3		Inclusões	Preta	73
	Desconhecida	22			Vermelha	7
Grau de Reabsorção	Categoria 1	65	Amarela		8	
	Categoria 2	7	Laranja		5	
	Categoria 3	5	Ausente		6	
	Categoria 4	3	Marrom		2	
	Categoria 5	2	Verde	<1		
	Categoria 6	0	Lilás	<1		
	Desconhecido	18	Fraturas Internas	30		
	Estado do Cristal	Inteiro	75	Não Aparente	25	
Fragmento		25	Frequência	Discretas	26	
Desconhecido		<1		Visíveis	61	
Intercrescimento (108 pedras – 16%)	Macla	6		Abundantes	14	
	Agregado	<1	Spots (121 pedras - 18%)	Verdes	13	
	Geminado	10		Marrons	7	

### 2.1.2. Morfologia

O tamanho dos cristais examinados varia num amplo intervalo, que engloba pedras de menos de 1 mm até maiores que 14 mm sendo mais freqüentes aquelas compreendidas na faixa de 1,5 a 4 mm. Conseqüentemente o peso também apresenta grande variação compreendida no intervalo de 0,01 ct até ~24 ct com freqüência maior na faixa de 0,01 a 0,30 ct (Figura 2.2). Os cristais normalmente são inteiros ou com pequenos sinais de fragmentação, havendo um percentual em torno de 25% de fragmentos no lote examinado.

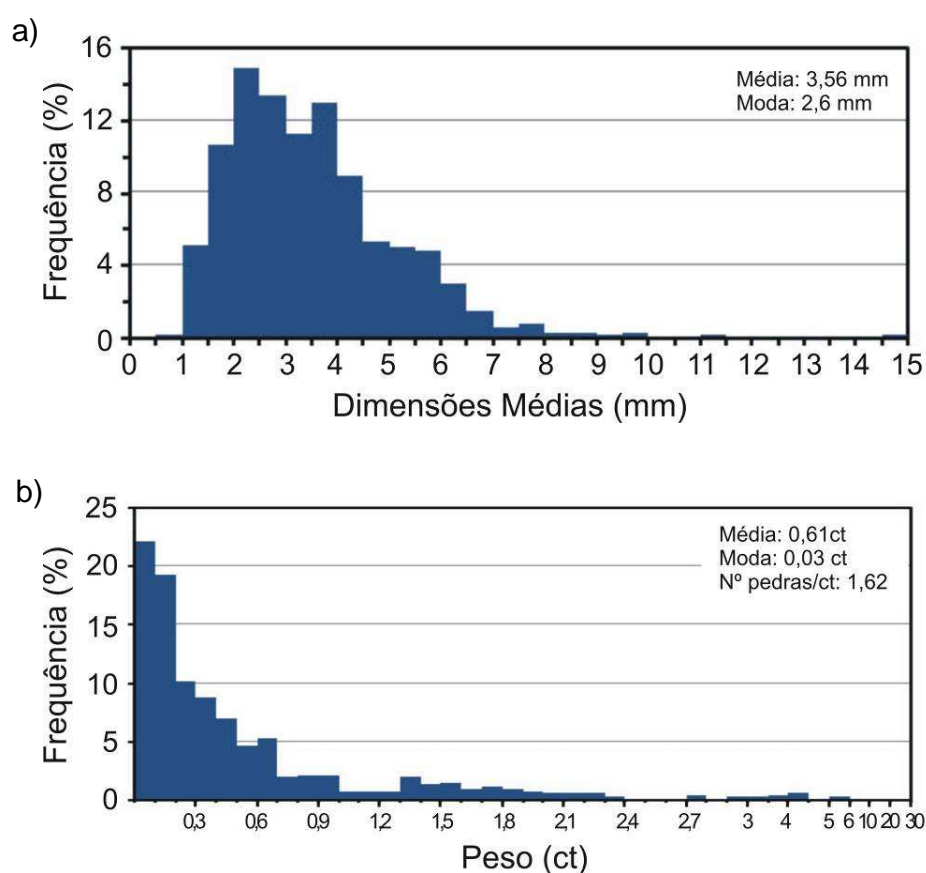


Figura 2.2 – Histograma de dimensões médias em milímetros (a) e de pesos em quilates (b) dos diamantes da TI Roosevelt, com indicação dos valores das médias e modas, bem como o número de exemplares necessários para somar um quilate.

De uma forma geral a morfologia dos cristais é secundária, sendo representada principalmente por formas tetrahexaédricas (72%) com alto grau de reabsorção e cristais de morfologia indeterminada (16%). Formas combinadas entre octaédrica e tetrahexaédrica foram observadas em cerca de 7% dos cristais, enquanto octaedros primários foram observados em apenas 2%, porém mesmo estes apresentam algum grau de reabsorção (categoria 5) (Figura 2.3).

Neste sentido, aproximadamente 66% das amostras classificam-se na categoria 1, não tendo sido observados cristais na categoria 6 (Tabela 2.1). Além disso, cerca de 18% deles não possuem elementos cristalográficos suficientes para determinar o grau de reabsorção, sendo o grau de reabsorção classificado como desconhecido. Nos diamantes analisados, foi observado ainda um exemplar pseudo-hemimorfo em que apenas um lado do cristal apresentava-se reabsorvido (tetrahexaedróide) enquanto o outro encontrava-se relativamente preservado, apresentando sua morfologia original octaédrica. Isto provavelmente acontece quando há uma reabsorção diferenciada em um dos lados do cristal devido à proteção parcial do mesmo no interior de um xenólito mantélico (Robinson 1980, McCallum *et al.* 1994, McCandless *et al.* 1994).

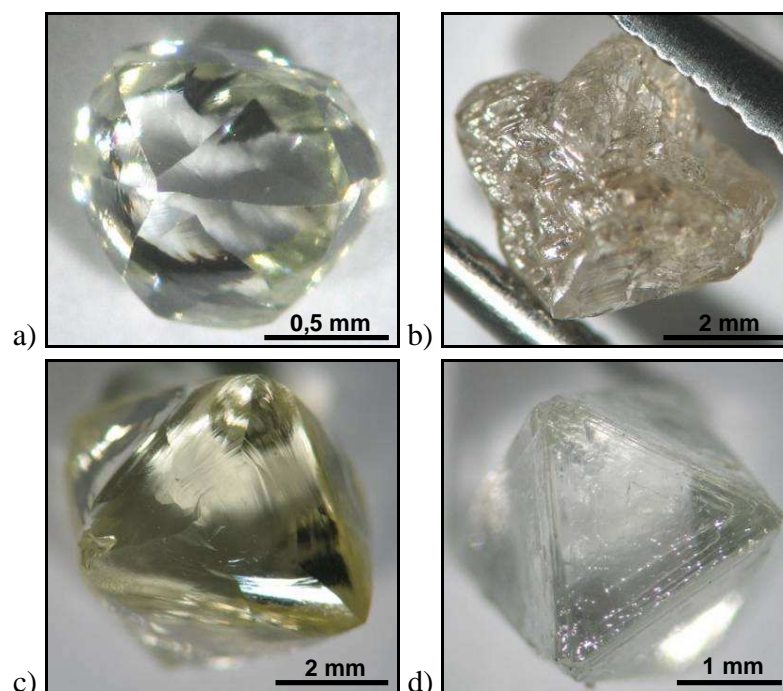


Figura 2.3 – Morfologias dos diamantes da Terra Indígena Roosevelt: a) Tetrahexaedróide, b) indeterminada, c) forma combinada entre octaedro e tetrahexaedróide e d) octaedro pouco reabsorvido.

A maior parte dos cristais apresenta regularidade distorcida (49%) ou desconhecida (22%) havendo poucos indivíduos regulares (13%), achatados (13%) e alongados (3%). Além disso, poucos exemplares apresentam algum tipo de intercrescimento (16%) representado por maclas {111}, agregados e outras gemações (Figura 2.4).

Quanto à morfologia primária observou-se que os exemplares descritos são produto da reabsorção principalmente de cristais originalmente octaédricos, porém em alguns deles a abundância de feições cúbicas sugere uma possível morfologia primária cúbica, apesar de não terem sido observados cristais preservados com essa forma.

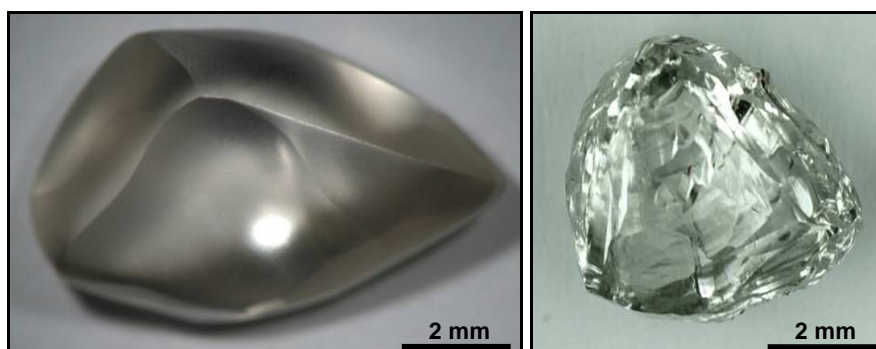


Figura 2.4 – Cristal com regularidade distorcida (esquerda) e cristal geminado segundo {111} (direita).

### 2.1.3. Inclusões e Fraturas Internas

Aproximadamente 75% das pedras possuem algum tipo de inclusão visível por meio da lupa estereoscópica com aumento de 50 vezes (Tabela 2.1). Destas, as mais freqüentes (presentes em 97% dos cristais com inclusões) são as de coloração preta ou acinzentada, que ocorrem em formas irregulares, algumas vezes tabulares, associadas ou não a fraturas internas e planos de geminação e/ou disseminadas. Em seguida, com percentuais bem menores, as inclusões amarelas, vermelhas, laranjas, marrons e incolores são as mais comuns, ocorrendo na maior parte das vezes em planos de fratura internos com um aspecto de percolação (Figura 2.5). Outros tipos de inclusões incolores, verdes e lilás também foram observados na forma de pontos muito discretos no interior dos cristais. Salienta-se que neste trabalho não foi realizado estudo mineralógico detalhado das inclusões sólidas e fluidas.



Figura 2.5 – Inclusões pretas tabulares (esquerda) e de cores variadas com aspecto de percolação (direita).

Fraturas internas são presentes em 30% das pedras analisadas e, da mesma maneira que as inclusões, elas podem ocorrer de maneira discreta ou abundante no interior dos cristais predominando a primeira forma. Essas fraturas podem estar relacionadas à ação de processos mecânicos que favorecem a quebra do cristal ao longo de planos de fraqueza internos. Apesar dessas imperfeições, o aspecto geral dos diamantes raramente é translúcido a ponto de afetar a qualidade gemológica dos minerais.

O resumo dos aspectos gerais dos diamantes da TI Roosevelt pode ser visualizado através da Tabela 2.1.

#### **2.1.4. Texturas e Feições Superficiais**

Conforme exposto anteriormente as feições de crescimento e figuras de corrosão podem ocorrer sob diversas formas e orientações, associando-se a algum plano cristalino/face preferencial (octaédrico, cúbico e tetrahedraédrico/dodecaédrico) ou aleatoriamente (irrestritas). Em todos os diamantes da TI Roosevelt foi observado algum tipo de figura de corrosão predominando as irrestritas (95%) e, na sequência, as tetrahedraedróides/dodecaédricas (80%), octaédricas (69%) e cúbicas (48%).

**Feições Octaédricas** – dentro deste grupo as laminações octaédricas são as feições mais comuns, estando presentes em 52% dos exemplares examinados (Tabela 2.2). Estas feições são geradas durante o processo de reabsorção que se inicia nos vértices e arestas avançando sobre as faces octaédricas do cristal (Robinson 1980, Fedortchouk *et al.* 2007). Desta maneira, forma-se uma sobreposição de finas lamelas com áreas progressivamente menores em direção ao centro das faces. Uma variedade desta feição é a laminação serrilhada que ocorrem em 10% dos cristais, cuja origem está ligada à formação das laminações comuns que, associadas a triângulos de corrosão coalescentes, conferem o aspecto serrilhado às extremidades das lamelas (Robinson, 1980) (Figuras 2.6a-b). Nos cristais da TI Roosevelt em geral as lamelas não são contínuas, havendo poucos conjuntos completos como os observados em faces de alguns cristais octaédricos.

Com representatividade igualmente importante, os triângulos de corrosão ocorrem em 49% dos cristais, sendo a maioria (73%) orientada negativamente (*trigons*) em relação às faces octaédricas e de fundo plano ou piramidal (Figuras 2.6c-d). Triângulos positivos representam apenas 3% destes e os demais permaneceram com orientação indeterminada, devido à insuficiência de parâmetros cristalográficos determinantes. Parte dos triângulos encontrava-se associada a hexágonos, às vezes em seu interior, cuja ocorrência foi descrita em 24% dos diamantes da TI Roosevelt (Figuras 2.6d-e) (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Resumo das feições superficiais observadas nos diamantes da Terra Indígena Roosevelt

Feições Superficiais		(%)	Feições Superficiais		(%)
Octaédricas	Laminação	52	Irrestritas	Linhas de Laminação	51
	Serrilhada	10		Cruzadas	17
	Triângulos	49		Canais de Corrosão	42
	<i>Trigons</i>	36		Cavidades de Inclusão	21
	Positivos	2		Superfícies de Clivagem	34
	Hexágonos	24		Corroídas	26
	Estratificação	33		Não Corroídas	8
	Superfícies Planares	19		Superfície Polida	36
	Placas Triangulares	2		Padrão em rede	30
	Cúbicas	Quadrados		43	Marcas de Percussão
<i>Tetragons</i>		19	Linhas de Macla	13	
Degraus		24	Micro-depressões Circulares	12	
Estratificação		9	<i>Frosting</i>	2	
Tetrahexaedróides	Shagreen	55	Asprezas	4	
	Truncado	23			
	Hillocks	41			
	Piramidais Triangulares	11			
	Terraços	52			
	Depressões Rasas	8			
	Micro-discos	5			
	Esculturas de Corrosão	3			
Formas em Cunha	<1				

Os triângulos de corrosão são as feições superficiais mais conhecidas entre os especialistas de diamantes sendo, juntamente com as laminações octaédricas, as primeiras feições geradas nas faces e arestas cristalinas pelos processos corrosivos ligados à oxidação. Desta maneira, em condições de baixa  $fO_2$ , a temperatura torna-se um fator preponderante na

orientação das feições, sendo que acima de aproximadamente 950°C, os triângulos passam a se formar em orientação negativa (Evans e Sauter 1961, Patel e Ramanathan 1962, Kanda *et al.*, 1977). Quando estas temperaturas transicionais se mantêm por algum tempo, ocorre formação combinada de triângulos positivos e negativos, dando origem então aos hexágonos ou “triângulos” de pontas planas. Na sequência, se houver uma mudança das condições para temperaturas menores ou maiores que 950°C, pode então haver a geração de triângulos positivos ou negativos no interior dos hexágonos previamente formados. Ressalta-se que, considerando a raridade da ocorrência de feições positivas e de hexágonos nos diamantes, deduz-se que os processos ocorridos em temperaturas menores não são freqüentes na natureza.

Todos os fatores que influenciam a orientação das feições ainda não são bem conhecidos e alguns estudos demonstram que estas relações podem variar conforme o meio em que os diamantes se inserem. Neste sentido, Patel e Ramanathan (1962) demonstraram que é possível a formação de feições positivas em temperaturas maiores sob condições de elevada  $fO_2$ . Khokhryakov e Palyanov (2008) e Fedortchouck *et al.* (2007) demonstraram ainda que a razão  $H_2O/CO_2$  em sistemas de diferentes composições alteram a forma de dissolução e a orientação das feições mesmo em temperaturas acima de 1300°C. Dessa maneira, feições positivas podem ocorrer principalmente na presença de  $CO_2$ , apesar da predominância de feições negativas ainda se manter. Outro fator que influencia na forma e localização dos triângulos relaciona-se à presença de deslocamentos internos, cujo afloramento na superfície do cristal coincide com os triângulos de fundo piramidal, sugerindo uma maior facilidade de corrosão nestes locais (Frank e Lang, 1965). Porém, Fedortchouck *et al.* (2007) observaram ainda que triângulos de fundo plano e piramidal podem ocorrer respectivamente em função da ação de fluidos compostos por  $H_2O$  e  $CO_2$ .

Além das figuras de corrosão, também foram observadas feições de crescimento representadas por linhas de estratificação (32%), superfícies octaédricas planares (19%) e uma parcela pouco expressiva de placas triangulares (1,5%). As estratificações são marcadas por linhas paralelas aos planos de crescimento octaédrico expostos pela reabsorção e/ou quebras na superfície do cristal. As superfícies planares referem-se às faces originais do cristal octaédrico que permaneceram relativamente preservadas durante os processos de corrosão e reabsorção. As

placas triangulares correspondem às camadas de crescimento octaédrico, normalmente possuindo bordas arredondadas (Figura 2.6e).

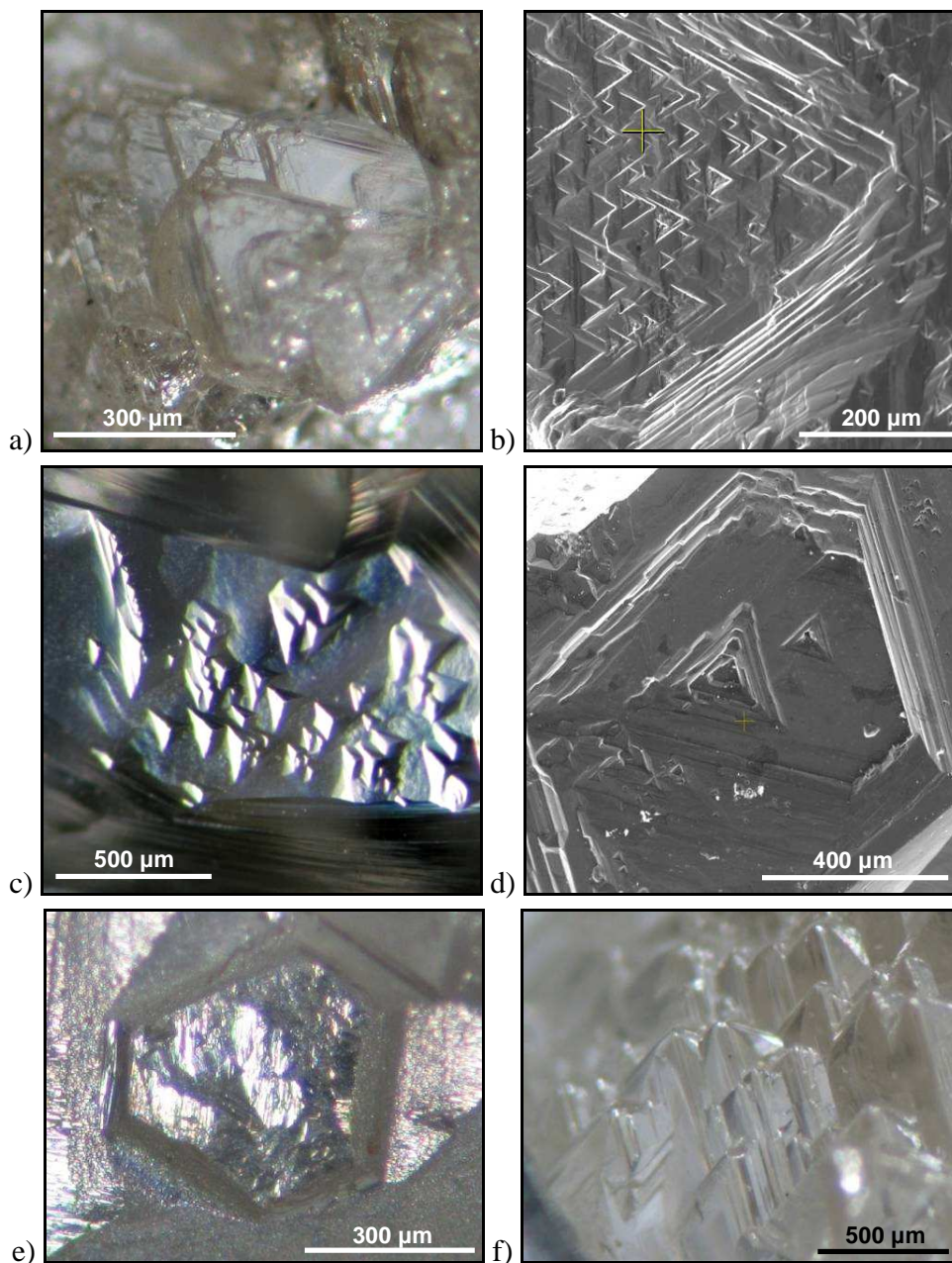


Figura 2.6 – Figuras de corrosão octaédricas dos diamantes da TI Roosevelt: a) laminação comum e serrilhada observada em lupa, b) laminação comum e serrilhada observadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), c) trigons observados em lupa, d) trigons em hexágono observados em MEV, e) hexágono observado em lupa, f) placas triangulares observadas em lupa.



**Feições Cúbicas** – As feições cúbicas mais frequentes em diamantes são os quadrados de corrosão, que são os equivalentes cúbicos dos triângulos de corrosão. No lote estudado, em torno de 43% das pedras apresenta esta feição (Tabela 2.2), sendo pelo menos 44% delas orientadas negativamente (*tetragons*) (Figuras 2.7a-d). Não foram observados quadrados com orientação positiva. A origem dos quadrados é considerada como sendo a mesma dos triângulos de corrosão, porém costumam ser mais profundos em virtude da maior facilidade de corrosão das faces cúbicas em relação às octaédricas (Evans e Sauter 1961).

Degraus crescentes, representados por planos superimpostos coincidentes aos planos cúbicos, foram observados em 24% dos exemplares (Figuras 2.7a-d). Robinson (1980) considera sua origem equivalente à laminação dos planos octaédricos que seriam gerados pela remoção das camadas de crescimento em virtude dos processos de reabsorção. Linhas de estratificação com orientação cúbica foram descritas em cerca de 9% dos cristais.

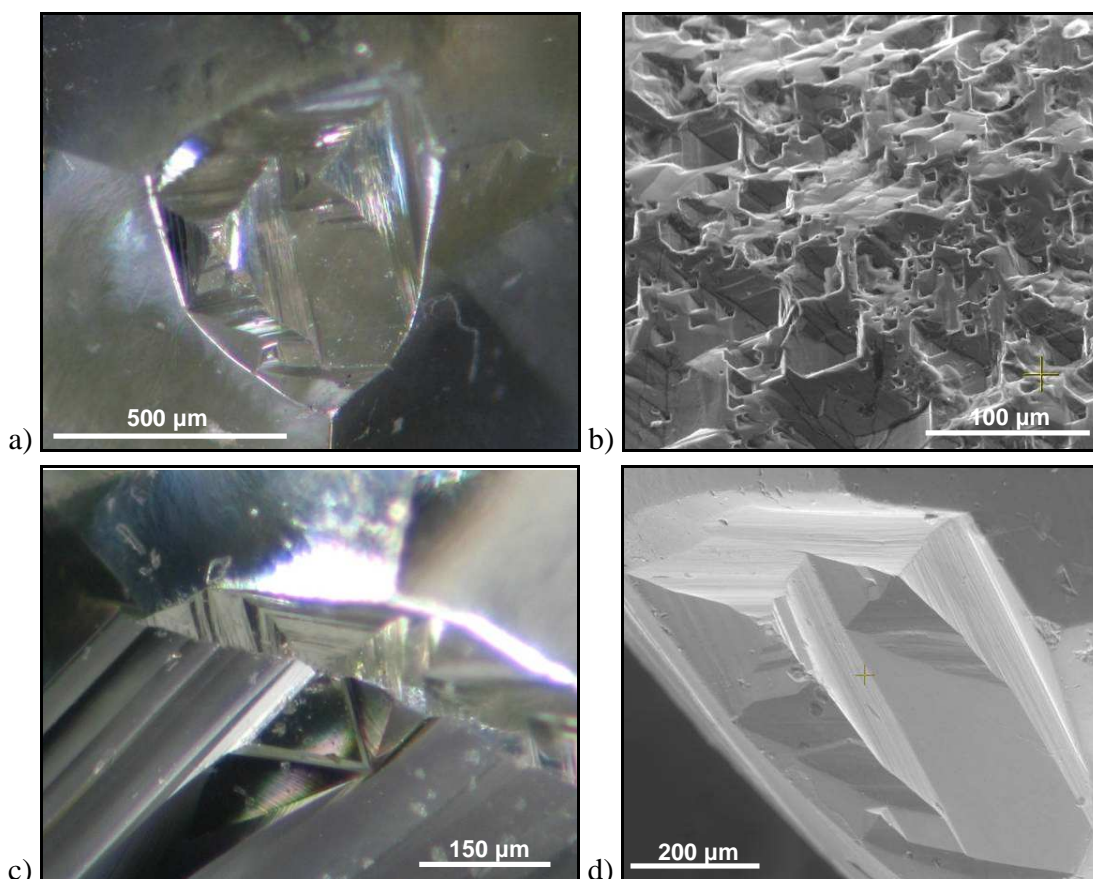


Figura 2.7 – Figuras de corrosão cúbicas dos diamantes da TI Roosevelt: a) tetragons e degraus observados em lupa, b) tetragons abundantes observados em MEV, c) tetragon em contato com trigon na junção de planos cúbicos e octaédricos observados em lupa, d) tetragons em degraus observados em MEV.

**Feições Tetrahexaédricas** – Como era esperado, considerando os altos índices de reabsorção e a grande predominância de cristais tetrahexaédricos, dentre as feições restritas estas são as que aparecem com maior frequência nos diamantes da TI Roosevelt, ocorrendo associadas às faces losangulares.

Assim, destacam-se a textura *shagreen*, terraços e *hillocks*, que ocorrem, respectivamente, em cerca de 55%, 52% e 41% das pedras analisadas (Tabela 2.2).

A textura *shagreen*, assim como os *hillocks*, são representados por proeminências alongadas com orientação negativa em relação à face losangular (paralelas ao eixo maior do losango) e, principalmente no caso dos *hillocks*, com uma espécie de vergência partindo da aresta “c” em direção aos vértices e terminando abruptamente na extremidade (Figuras 2.8a-c). Neste sentido, a textura *shagreen* corresponde a um conjunto de *hillocks* muito finos (*microhillocks*) que pode cobrir toda a superfície do cristal, formando uma fina textura com aspecto de pele de tubarão que inspirou o termo *shagreen* sugerido por Afanasiev *et al.* (1974) in Robinson (1980). Às vezes a textura ocorre restrita e isolada a determinados locais da superfície do cristal, geralmente mais próximos aos vértices do cristal, e/ou com seus elementos (*microhillocks*) mais espaçados sem formar uma textura contínua. Já os *hillocks* normalmente ocorrem mais próximos à aresta “c”, isoladamente ou em conjuntos de poucos elementos. Em geral são elevações arredondadas, pouco alongadas e pouco proeminentes, com exceção de alguns exemplares piramidais triangulares, frequentemente associados à textura *shagreen* e linhas de laminação (Figura 2.8d).

*Hillocks* e *shagreen* originam-se em virtude dos processos de reabsorção, sendo que quanto maior for o grau de reabsorção menos proeminentes serão os *hillocks* e maior será a possibilidade de ocorrência da textura *shagreen*. Por isso comumente observa-se essa textura próxima aos vértices quaternários, considerando que neste local a reabsorção é mais intensa. Da mesma forma os *hillocks* são mais comuns nos centros das faces losangulares, pois correspondem ao local menos atingido pela reabsorção. Além disso, nos exemplares da TI Roosevelt, *hillocks* piramidais e textura *shagreen* frequentemente ocorrem associados às linhas de laminações que, conjugadas à coloração marrom dos cristais, constituem fortes indicativos da ação de deformação plástica, que será abordada em maior detalhe nos próximos parágrafos.

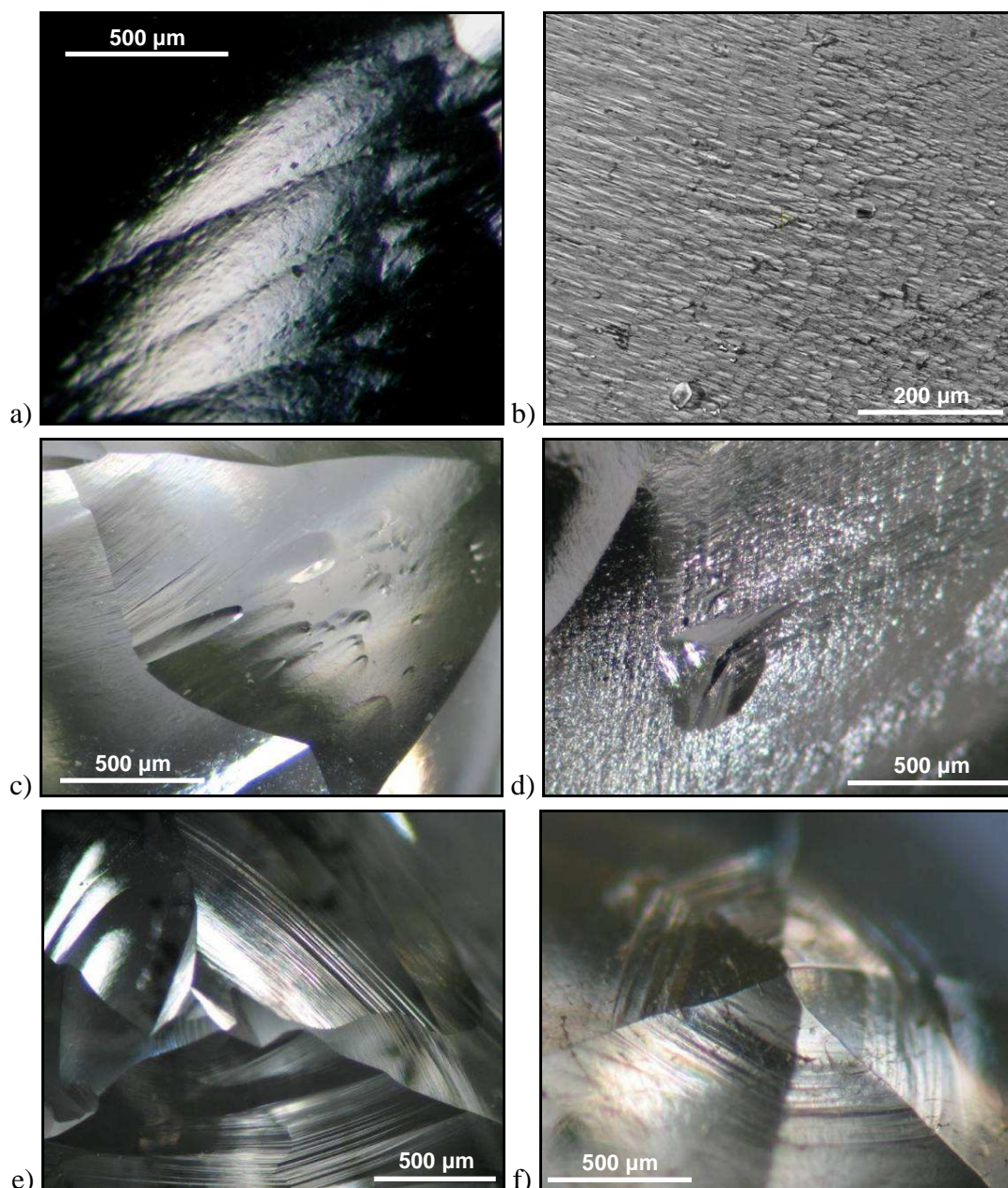


Figura 2.8 – Figuras de corrosão tetrahedraédricas dos diamantes da TI Roosevelt: a) textura shagreen pouco proeminente observada em lupa, b) textura shagreen proeminente observada em MEV, c) hillocks piramidais arredondados e alongados observados em lupa. Notar “vergência” em direção ao vértice, d) hillock piramidal proeminente e triangular associado à textura shagreen e linhas de laminação, e) e f) terraços concêntricos em torno do ponto de emergência do eixo ternário (pseudosenário).

Os terraços se tratam de feições concêntricas em torno do ponto de emergência do eixo pseudosenário dos cristais tetrahedraédricos (ternário cristalográfico) e marcam os planos octaédricos de crescimento na forma de degraus inclinados que, no caso da TI Roosevelt, são pouco proeminentes (Figura 2.8e-f). Sob efeito dos processos de reabsorção, a formação dos

terraços ocorre devido à dissolução progressiva das superfícies octaédricas (111) dando origem às superfícies tetrahexaédricas curvas constituídas pelo conjunto de escarpas dos terraços, podendo ser considerada como uma evolução das laminações octaédricas. Assim, a proeminência destas feições depende do grau de reabsorção, de forma que quanto maior ele for, menos proeminentes serão os terraços. A ocorrência de tais feições na maioria dos exemplares da TI Roosevelt é mais uma confirmação da intensa reabsorção a que foram submetidos e da origem relacionada a cristais primários octaédricos estratificados, considerando que as mesmas não têm como se formar a partir de cristais cúbicos.

Outras feições tetrahexaédricas de menor expressão também foram observadas nas pedras analisadas, tais como depressões rasas (7,6%), micro-discos (4,5%) e esculturas de corrosão (3,2%).

As esculturas de corrosão e as depressões rasas consistem em cavidades de formatos irregulares e curvos de fundo plano que, por vezes, são coalescentes e dominam toda a superfície do cristal. As esculturas são profundas e freqüentemente apresentam fundo estriado, enquanto as depressões podem ser tão rasas que às vezes passam despercebidas, já que o fundo delas, liso ou com textura *shagreen*, assemelha-se à face do cristal (Figuras 2.9a-b). Robinson (1980) constatou que estas feições comumente ocorrem associadas aos micro-discos, o que foi observado em apenas poucos cristais da TI Roosevelt. Os micro-discos são padrões de discos circulares sobrepostos e em relevo positivo, com áreas progressivamente menores em direção ao topo (Figuras 2.9a-d). Pandeya e Tolansky (1961) e Robinson (1980) descrevem ainda como sendo comum sua associação com micro-depressões circulares e elípticas a retangulares, o que foi observado em um terço dos diamantes com micro-discos examinados no presente estudo.

A origem dessas feições tem sido atribuída a processos de corrosão rápida sob altas temperaturas (>800°C) em que, no caso dos micro-discos, as formas circulares em relevo (discos) seriam geradas pelo contato da superfície do cristal com bolhas de gases (CO) que a protegem da ação corrosiva (Pandeya e Tolansky 1961, Patel e Agarwal 1966 in Robinson 1980, Davies *et al.* 2002). Neste sentido, a formação de tais feições está ligada à solubilidade de fluidos do sistema, assim como observado por Fedortchouk *et al.* (2007). Com relação às depressões rasas, sua ocorrência poderia representar a incipiência destes processos com manifestações menos localizadas da corrosão.

Ainda foram observadas em apenas cinco exemplares do lote examinado (<1%) a presença de formas em cunha (*imbricate wedge-forms*) cuja rara ocorrência está frequentemente associada às feições de orientação positiva (Figura 2.9e).

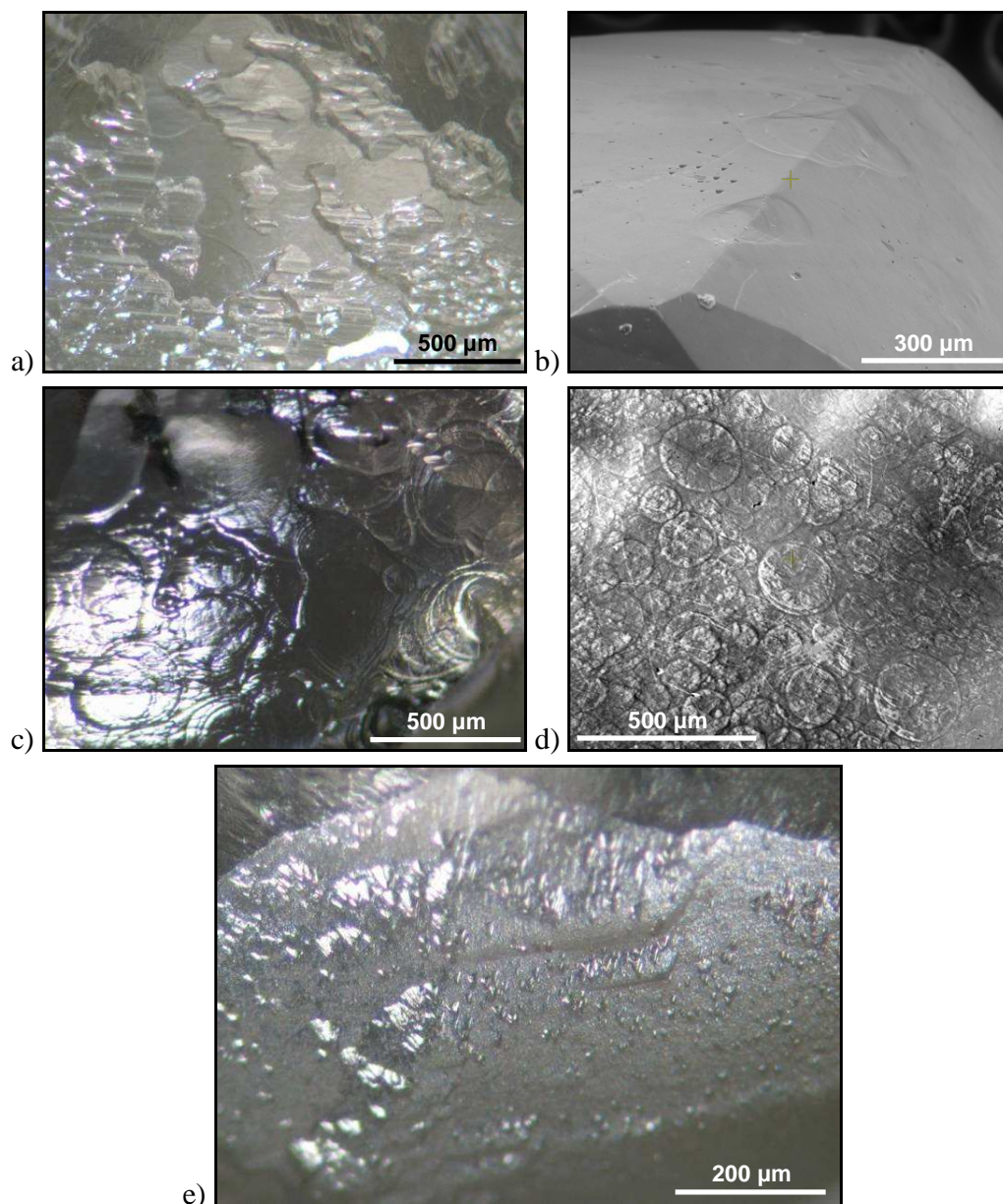


Figura 2.9 – Figuras de corrosão tetrahedraóides dos diamantes da TI Roosevelt: a) esculturas de corrosão com fundo estriado observada em lupa. Notar micro-discos entre as esculturas, b) depressões rasas observadas em MEV, c) micro-discos abundantes observados em lupa, d) micro-discos abundantes observados em MEV e e) formas em cunha observadas em lupa.

**Feições Irrestritas** – Em praticamente todas as pedras examinadas foi observado algum tipo de feição não restrita a nenhuma face ou plano cristalino preferencial. Dentre elas a que ocorre com maior frequência são as linhas de laminação que foram descritas em 51% das amostras e que

podem ser melhor visualizadas nas proximidades do vértice do eixo quaternário (Tabela 2.2). Estas linhas se apresentam em conjuntos de lineações paralelas aos planos octaédricos sobre as faces tetrahexaedróides, geralmente não sendo observadas em faces octaédricas neste trabalho (Figuras 2.10a-c). O espaçamento entre elas normalmente é menor que 100 $\mu$ m, porém também ocorrem com espaçamentos maiores ou até mesmo isoladamente. Quando em abundância, mais de um conjunto pode estar presente ocorrendo, então o cruzamento das lineações.

As linhas de laminação freqüentemente ocorrem associadas à textura *shagreen*, o que acontece em 42% das pedras da TI Roosevelt (Tabela 2.2). Nestes casos o espaçamento das linhas determina o comprimento dos *micro-hillocks* que compõem a textura, formando um padrão truncado que se assemelha a uma seqüência de escarpas de falhas paralelas (Figuras 2.10b-c).

Quanto à sua origem, as linhas de laminação precedem às demais feições superficiais e reabsorção, refletindo o efeito de deformações plásticas representadas pelo deslizamento interno de planos octaédricos, conforme demonstrado por Urusovskaya e Orlov (1964) através de análises por difração de raios-X. Neste sentido, a formação de cristas elevadas sobre as lineações indica uma relativa resistência à reabsorção e abrasão por parte dos planos deslocados, conforme constatado por De Vries (1975), que também observou o comportamento plástico dos diamantes sob altas pressões e temperaturas. Além disso, as linhas de laminação ocorrem na grande maioria das pedras de coloração marrom/rosa da TI Roosevelt, o que também evidencia a ocorrência de deformação plástica nestes cristais.

Segundo Evans (1976) *in* Robinson (1980) e Taylor *et al.* (1996) a deformação responsável pelo aparecimento das linhas de laminação deve ocorrer em temperaturas de no mínimo 1000°C, sob pressões de aproximadamente 50 Kb para que haja o comportamento plástico dos diamantes. Além disso, outros ensaios demonstraram que as texturas de deformação não sobrevivem por longo tempo em altas temperaturas, sugerindo que as tensões causadoras seriam induzidas no interior dos condutos do magma kimberlítico ascendente (Goetze 1975 *in* Robinson 1980).

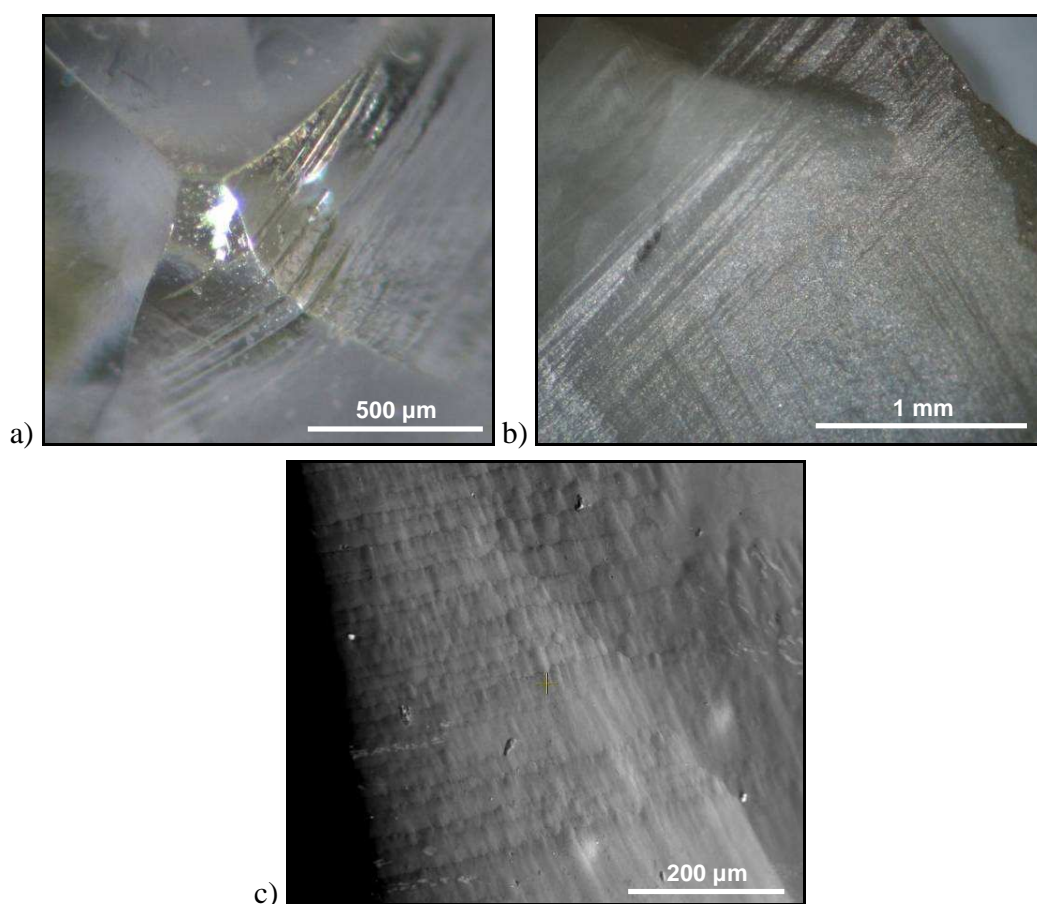


Figura 2.10 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt: a) conjunto de linhas de laminação próximos ao vértice do eixo quaternário observadas em lupa, b) conjuntos cruzados de linhas de laminação associados à textura shagreen observados em lupa e c) conjunto de linhas de laminação truncando microhillocks da textura shagreen observados em MEV.

Sulcos e canais de corrosão (*ruts*) foram observados em 42% das pedras (Tabela 4.2), tratando-se de perfurações com profundidades que podem ultrapassar o centro dos cristais e cujas paredes normalmente encontram-se repletas de figuras de corrosão. Os canais normalmente possuem formas sinuosas irregulares, mas também ocorrem em planos definidos ou formas relativamente regulares (Figuras 2.11a-b). No caso das formas sinuosas, Orlov (1977) sugere que sua origem está relacionada à penetração de agentes corrosivos nas fraturas dos xenólitos que contêm o diamante até alcançar a sua superfície. Portanto, seria uma feição xenolítica conforme abordado por Otter *et al.* (1994). Os canais restritos a planos preferenciais e formas regulares aparentemente devem sua origem à ação dos agentes corrosivos sobre planos de fraqueza (geminção, clivagem) e/ou cavidades de inclusão na superfície do diamante que não necessariamente estaria no interior de xenólitos. Por este motivo, nem sempre é possível

diferenciar os canais de corrosão das cavidades de inclusão e planos de clivagem internos corroídos.

As cavidades de inclusão, presentes em pelo menos 21% dos cristais examinados, são produzidas pela dissolução e/ou retirada de minerais inclusos no diamante expostos ao ambiente externo em faces reabsorvidas ou superfícies de quebra. Dessa maneira, tais cavidades refletem a forma das inclusões originais, que varia conforme o momento de sua cristalização. Assim, as inclusões protogenéticas (formadas antes da cristalização do diamante) vão apresentar hábitos irregulares ou euédricos conforme a estrutura cristalina do mineral, enquanto as singenéticas (formadas durante a cristalização do diamante) podem se comportar da mesma maneira ou se moldar à morfologia imposta pela estrutura do diamante que as circundam (cubo-octaédrica) (Meyer 1987). Outro aspecto presente em grande parte das cavidades são as fraturas radiais derivadas das tensões geradas pela contração térmica diferenciada das inclusões e do diamante durante o seu resfriamento.

No caso da TI Roosevelt a identificação das cavidades de inclusão foi dificultada devido à intensidade dos processos de reabsorção que corroeram suas paredes, o que, além de alterar suas formas, evidencia que a liberação das inclusões ocorreu ainda no manto ou no magma kimberlítico. Neste sentido, no presente estudo foram consideradas genuínas apenas as cavidades de inclusão que apresentam forma regular muito evidente e/ou com fraturas (canais) radiais, sendo provável então que grande parte das cavidades tenha sido classificada como canais de corrosão (Figura 2.11c-d).

As superfícies de clivagem, observadas em 34% dos diamantes estudados, em sua maioria (76%) também possuem feições de dissolução que evidenciam a quebra do cristal ainda no ambiente mantélico ou magmático (Figuras 2.11e-f). Da mesma maneira que as cavidades de inclusão, este número deve ser superior tendo em vista que na quantificação só foram consideradas as superfícies corroídas em que houve perda do fragmento associado à quebra do cristal. Isso foi feito pelo mesmo motivo da dificuldade de distinção entre as fraturas internas corroídas e os canais de corrosão.



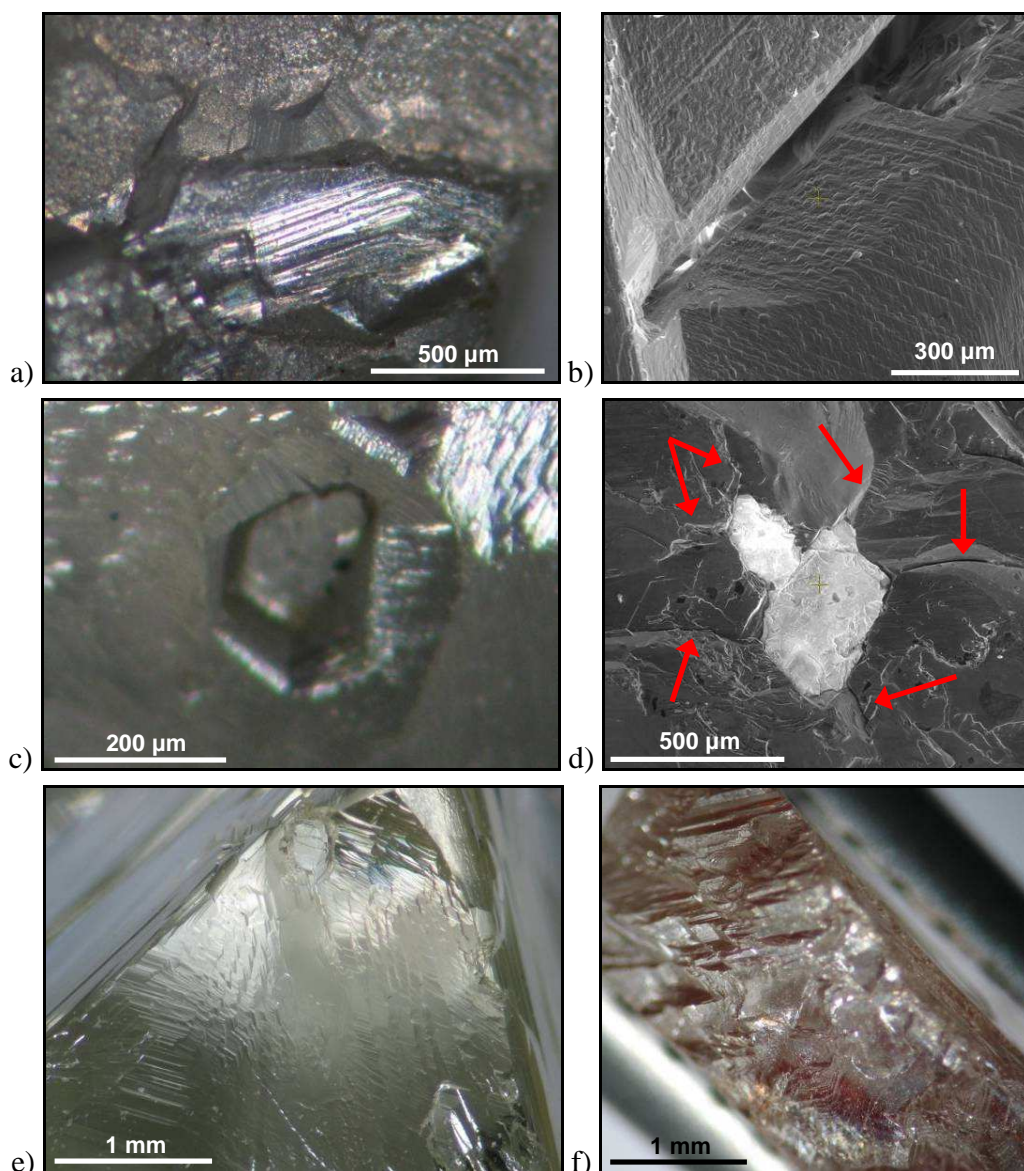


Figura 2.11 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt: a) canais de corrosão observados em lupa, b) canal de corrosão observado em MEV, c) cavidade de inclusão com forma hexagonal observada em lupa, d) inclusão em superfície de clivagem observada em MEV. Notar em destaque (setas vermelhas) as fraturas radiais, e) superfície de clivagem com feições de dissolução observada em lupa e f) superfície de clivagem sem feições de dissolução observada em lupa.

Em cerca de 35% das pedras examinadas foi observada a existência de superfícies quimicamente polidas. Tais superfícies destacam-se pelo seu brilho excepcional, pela ausência de texturas finas proeminentes e relevo suavizado das figuras pré-existentes (*hillocks*, terraços etc.). Por vezes elas abrangem todo o cristal, proporcionando o arredondamento de suas arestas (Figuras 2.12a-c). Associada a 85% das superfícies polidas descritas, ocorre em 30% dos cristais uma textura conhecida por padrão em rede. Trata-se de conjuntos de finos sulcos paralelos ao

traço dos planos octaédricos, que se cruzam formando um padrão reticulado nas faces do cristal. A forma dos retículos varia conforme o ângulo de intersecção entre as linhas e depende da face onde está exposta a textura. No caso das faces tetrahexaedróides, predominantes no conjunto analisado, o padrão é romboédrico (Figuras 2.12a-c). Padrão em rede também foi descrito por Robinson (1980) como estando quase sempre associado às superfícies quimicamente polidas.

Outras feições que se correlacionam fortemente com as duas anteriores são as marcas de percussão, que ocorrem em 75% dos cristais com padrão em rede sendo praticamente restritas às pedras que contém tais padrões. As marcas de percussão são fraturas crescentes de formato anular/hexagonal, refletindo os planos de clivagem octaédrica do diamante, que se desenvolvem através do impacto de objetos na superfície do cristal. Por este motivo frequentemente coincidem com os planos marcados pelo padrão em rede, porém são maiores e muitas vezes há ausência de fragmentos retirados pela abrasão mecânica (*spall scars*) (Figuras 2.12a e c). Estes aspectos podem ser bem visualizados nas arestas do cristal onde os orifícios são mais evidentes devido à maior vulnerabilidade desta região à abrasão.

Os processos de formação das superfícies polidas e do padrão em rede ainda não são bem conhecidos, porém, considerando a relação entre as texturas observadas, o desenvolvimento das mesmas se dá após a formação das demais feições de corrosão e antes das feições de abrasão. Neste sentido, Phaal (1965) *in* Robinson 1980, conseguiu produzir superfícies semi-polidas em temperaturas acima de 950°C utilizando dióxido de carbono como agente oxidante, o que sugere sua origem relacionada aos processos de corrosão. Sua ocorrência também foi considerada como típica de *pipes* lamproíticos segundo Hall e Smith (1984) *in* Davies *et al.* (2002).

Com relação ao padrão em rede os estudos existentes geram algumas controvérsias. Titova (1960 *in* Orlov, 1977) produziu padrões reticulados de fraturamento aquecendo-se os diamantes no ar a temperaturas de 700°C, sugerindo sua formação relacionada apenas ao aquecimento. Porém, Robinson (1980), com base em dados de oxidação de diamantes no ar sob temperaturas de mesma ordem obtidos por Phaal (1965), considera que as feições observadas por Titova seriam relacionadas à corrosão (oxidação) e não a um fraturamento de origem térmica. Ademais, se fossem produzidas exclusivamente por aquecimento deveriam se tratar de feições extremamente comuns e não o contrário.

Outros autores como Patel e Patel (1972) *in* Robinson 1980, em experimentos de corrosão com nitreto de potássio a temperaturas entre 800°C a 860°C, conseguiram ampliar padrões reticulados pré-existentes e posteriormente eliminá-los com o prolongamento da corrosão, indicando pouca penetração dos planos de fraqueza supostamente corroídos. Dessa maneira, os autores sugerem que o padrão se desenvolve em planos de fraqueza locais que estariam relacionados a deslocamentos internos em regiões compostas por sub-grãos. Contudo, em áreas que já possuem zonas de fraqueza como os sulcos que compunham os padrões pré-existentes, os processos de corrosão são facilitados (Evans e Sauter, 1961). Além disso, a idéia de corrosão favorecida pela existência de planos de deslocamento internos contradiz o observado ao longo das linhas de laminação produzidas por deformação plástica e que são relativamente resistentes aos processos de reabsorção e corrosão (De Vries, 1975).

Neste contexto, é importante ressaltar que Robinson (1980) só observou Superfícies polidas e Padrão em rede em pedras de depósitos secundários. Nos cristais da TI Roosevelt foram observadas outras feições associadas que também possuem origem relacionada aos depósitos sedimentares (marcas de percussão, *spots* verdes e marrons e superfícies de abrasão incipientes). Assim, outra hipótese possível para a formação do padrão em rede seria relacionada à abrasão mecânica sobre superfícies quimicamente polidas em que os planos de clivagem octaédrica seriam destacados pela ação contínua dos agentes abrasivos. Dessa maneira, o padrão em rede seria um sistema de microclivagens que se ampliaria ao longo do tempo e/ou com a intensificação dos impactos (principalmente nas arestas do cristal) facilitando a formação de marcas de percussão e fragmentação superficial (*spall scars*). Considerando que estes processos de uma forma geral são pouco penetrativos no cristal, isto explicaria o desaparecimento do padrão reticulado com o avanço da corrosão produzida por Patel e Patel (1972). Salienta-se ainda que a abrasão do diamante ocorrendo através de sistemas de microclivagem foi confirmada pelos experimentos realizados por Wilks e Wilks (1972) e classificada segundo o grau de abrangência no cristal a partir da formação de superfícies de abrasão nos vértices e arestas dos diamantes (Robinson 1980).

Nos cristais intercrescidos, junto ao plano de geminação, em 13% das pedras se observam as linhas dos planos octaédricos que formam um padrão “espinha de peixe” conhecido por linhas de macla. Este padrão é mais comum nos cristais com geminação de contato (macla), onde o

traço do plano de geminação representa a “espinha central” e os traços dos planos octaédricos representam as “costelas” (Figura 2.12d). Em faces tetrahexaédricas *hillocks* podem ocorrer no lugar das “costelas”.

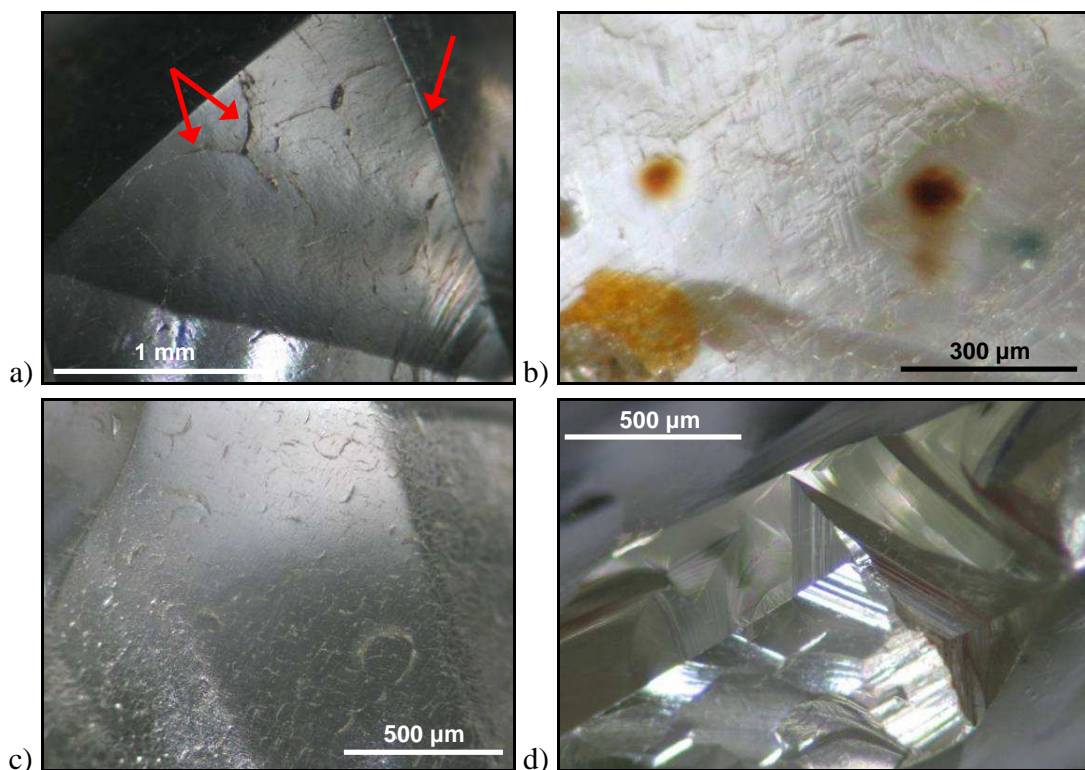


Figura 2.12 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt observadas em lupa: a) superfície polida associada a padrão em rede e marcas de percussão anelares em destaque (setas vermelhas), notar arredondamento das arestas e brilho intenso, b) detalhe do padrão em rede romboédrico em superfície polida com spots verdes e marrons, c) superfície polida com padrão em rede, marcas de percussão anelares e superfícies de abrasão incipientes em algumas arestas e d) linhas de macla junto a plano de geminação.

Dentre as feições irrestritas observadas nos diamantes da TI Roosevelt umas das que mais se destacam pela sua forma e raridade de ocorrência em outros depósitos são as micro-depressões circulares descritas em 11% dos exemplares. Tais feições constituem-se de depressões rasas perfeitamente circulares com diâmetro menores que 30 $\mu$ m, difíceis de observar em lupa. Seu fundo é plano e poucos elementos são observados em lupa, porém, quando observadas em MEV, as micro-depressões revelam-se abundantes sobre a superfície, havendo centenas delas que se cruzam, apresentando maior profundidade na área de intersecção dos círculos (Figura 2.13a-d).

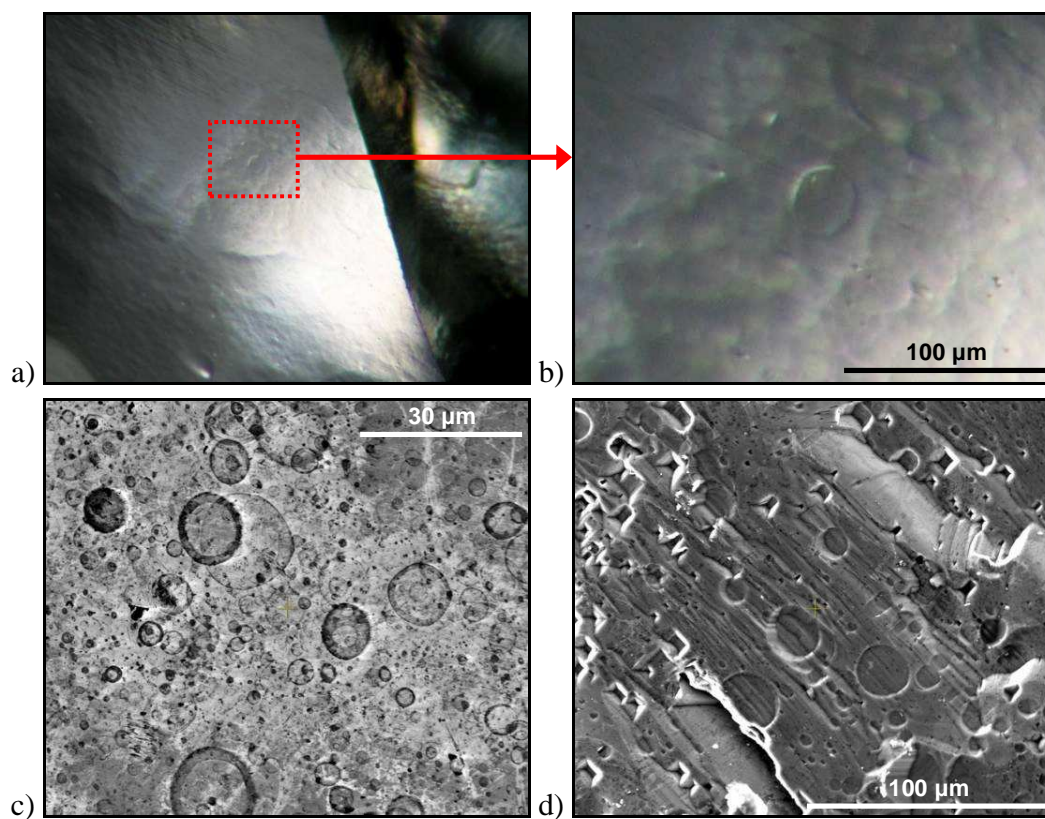


Figura 2.13 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt: a) micro-depressão circular em face tetrahedraédrica, b) detalhe da micro-depressão da figura a, c) micro-depressões circulares observadas em MEV, e d) micro-depressões circulares associadas a micro-depressões tetragonais observadas em MEV.

A origem das micro-depressões circulares também não é bem conhecida e Robinson (1980) sugere que a associação com feições de *frosting* fino poderia indicar o mesmo processo de formação. Porém, nos cristais da TI Roosevelt, esta associação não foi observada e feições de *frosting* (enxame de micro-depressões regulares geradas por corrosão rápida – Figura 2.14a) foram observadas em menos de 2% dos cristais estudados. O mesmo autor sugere ainda que, de forma semelhante à formação dos micro-discos, os círculos poderiam estar relacionados à aderência de bolhas de gás ( $\text{CO}_2$ ) que favoreceram a corrosão da superfície naquele local. Outra possibilidade seria sua formação sobre superfícies com filmes de grafita que distribuem a corrosão em todas as direções explicando a forma circular das depressões (Phaal 1965 *in* Robinson 1980). Contudo, filmes de grafita não foram observados nos cristais da TI Roosevelt e, além disso, este processo não explicaria a intersecção entre os círculos e a maior profundidade das depressões nestes locais tornando mais coerente a hipótese de ação das bolhas gasosas. Neste sentido, Fedortchouk *et al.* (2007) produziram largas depressões circulares em diamantes submetidos a temperaturas entre 1350 e 1400°C em líquidos kimberlíticos no limite de saturação

de H<sub>2</sub>O. Acima deste limite, porém ainda com pouca disponibilidade de fases fluidas livres (H<sub>2</sub>O), os autores observaram as micro-depressões circulares, tais como as observadas na TI Roosevelt, sugerindo, portanto, sua formação relacionada à interação da superfície cristalina com magmas kimberlíticos pouco saturados. Considerando os referidos dados experimentais, é possível então que a corrosão seja localmente favorecida pela ação de bolhas de CO<sub>2</sub> que se tornam progressivamente menores com o aumento da disponibilidade de H<sub>2</sub>O no sistema.

Feições mais raras como as asperezas (*knob-like*) foram observadas em 4% das pedras, principalmente em cristais octaédricos e combinados. No conjunto examinado as asperezas se apresentam como protuberâncias triangulares a irregulares associadas com feições octaédricas abundantes (*trígons*, laminação serrilhada etc) (Figura 2.14b). Em virtude da comum associação das asperezas com capas de grafita, Robinson (1980) considera sua formação relacionada à grafitização ou oxidação em condições de baixa  $f_{O_2}$ , mas sugere a oxidação a temperaturas acima de 950°C como sendo o processo mais provável. Neste sentido, as asperezas nos cristais da TI Roosevelt também corroboram com a hipótese de oxidação em baixa  $f_{O_2}$ , considerando a abundância das feições octaédricas associadas (principalmente *trígons*) e a ausência de filmes de grafita. Além disso, o referido autor também observou ser comum a ocorrência das asperezas em diamantes provenientes de xenólitos eclogíticos e raras naqueles extraídos diretamente dos corpos kimberlíticos.

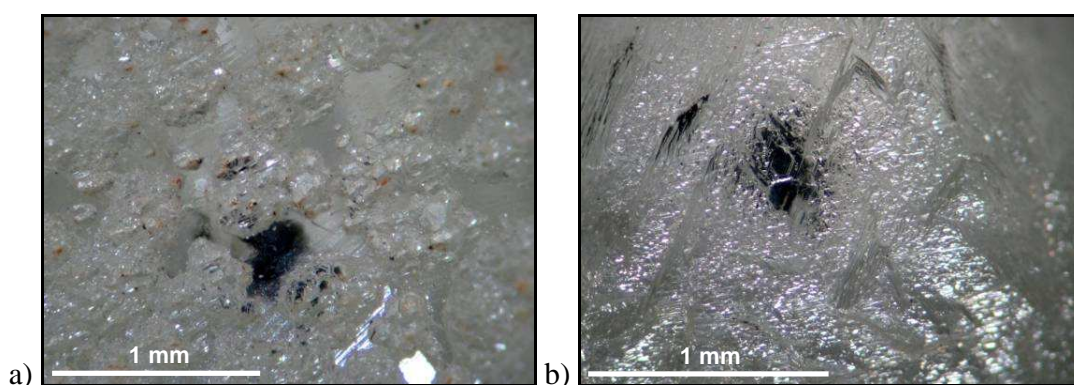


Figura 2.14 – Figuras irrestritas dos diamantes da TI Roosevelt observadas em lupa: a) frosting grosso composto por micro-depressões regulares em superfície tetrahexaédrica e b) asperezas em formato triangular associadas à laminação serrilhada e trígons abundantes.

**Feições desconhecidas** – Além de todas as feições descritas acima, foram observadas nos cristais examinados algumas texturas não encontradas na literatura. Em três exemplares ocorrem linhas irregulares com aspecto de nervuras foliares que cobrem todo o cristal (Figura 2.15a). Além das nervuras foram observados em alguns exemplares uma textura fina que também abrange todo o cristal, conferindo um aspecto fosco leitoso à superfície. Quando observada em MEV essa textura se assemelha à textura *shagreen*, porém com elementos muito mais finos ( $<1\mu\text{m}$ ) associados a regiões não corroídas, tais como placas preservadas semelhantes a continentes rodeados pelo oceano (Figura 2.15b). Em virtude de sua semelhança com a textura *shagreen*, foram classificadas como tal no decorrer dos exames.

O aspecto anisotrópico das nervuras sugere uma origem ligada à corrosão em que haveria uma disponibilidade também anisotrópica dos agentes oxidantes. Tal processo poderia ocorrer em meio a uma matriz magmática parcialmente cristalizada em que os fluidos atingiriam a superfície cristalina através dos estreitos espaços entre os grãos adjacentes ocasionando o padrão observado. Já as texturas finas podem estar relacionadas à corrosão ocorrida em sistemas magmáticos em que houve uma diminuição abrupta e intensa da quantidade de fluidos disponíveis durante a ascensão do magma transportador. Esta interpretação se baseia na observação de feições muito semelhantes em diamantes da região de Lac de Gras, Canadá, em que alguns kimberlitos aparentemente sofreram este processo (Fedortchouck com. verbal).

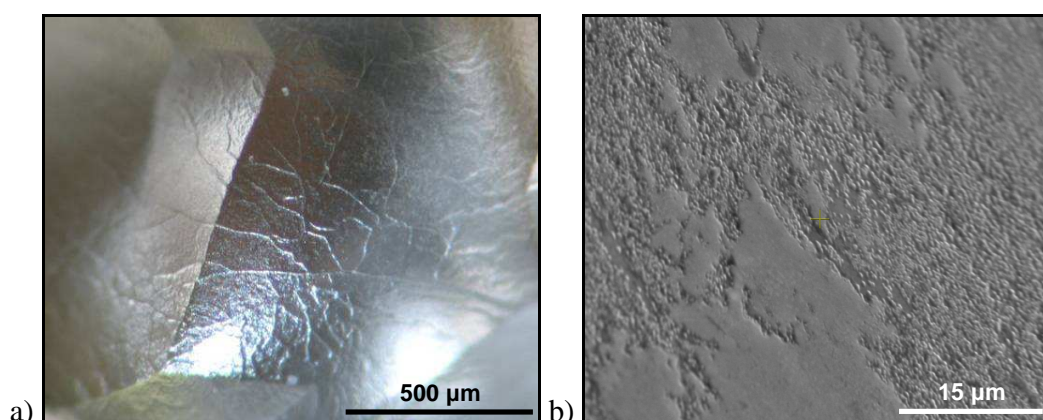


Figura 2.15 – Feições desconhecidas dos diamantes da TI Roosevelt: a) “nervuras” sobre superfícies tetrahedraedróides observadas em lupa e b) textura fina classificada como *shagreen* observada em MEV.

## 2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS CRISTAIS ESTUDADOS

A observação em lupa e a descrição dos aspectos gerais e feições superficiais resultaram na análise estatística de cerca de 50 parâmetros, apresentando correlações que permitiram a classificação das pedras da TI Roosevelt em quatro grupos característicos denominados G1, G2, G3 e G4. A seguir são descritas as principais características dos referidos grupos.

**G1** – O grupo G1 equivale a 35% do lote examinado e constitui-se de pedras facilmente identificáveis, correspondendo aos cristais que possuem superfícies quimicamente polidas quase sempre associadas aos padrões em rede que ocorrem em 86% das pedras do grupo. Em 65% destes cristais também ocorrem marcas de percussão representando praticamente todas as marcas (97%) observadas nos diamantes da TI Roosevelt. Além disso, 84% dos *spots* também estão presentes em 44% do G1 (Tabela 2.3).

Tabela 2.3 – Resumo das características dos diamantes do grupo G1.

GRUPO G1 – 231 pedras (35%)		(%)	Feições Superficiais	(%)
	Cor		Marrrom	20
			Cinza	1
			Ausente	38
			Amarela	36
			Esverdeada	4
			Preta	1
	Regularidade		Distorcida	48
			Achatada	15
			Alongada	3
			Regular	12
		Desconhecida	22	
			Superfícies de Clivagem	29
Feições principais	Padrão em Rede (99%)*	86	Corroídas	20
			Não corroídas	5
	Superfície Polida (98%)	100	Spots (84%)	44
	Marcas de Percussão (97%)	65		Verde
			Marrom	23

\* parênteses à direita referem-se ao percentual do total descrito no lote para a feição correspondente.



**G2** – Os cristais referentes ao grupo G2 correspondem a 24% do total examinado e também possuem conspícuas características que facilitam sua identificação, sendo representados por exemplares com textura *shagreen* associada a linhas de laminação. Na maioria das pedras (64%) as linhas de laminação são abundantes, ocorrendo em conjuntos que se cruzam e truncam os *micro-hillocks* que compõem a textura *shagreen*, e que geralmente se mostra proeminente. Em alguns exemplares também se observa sob alta magnificação a ocorrência de micro-estruturas em degraus que acompanham a textura *shagreen* (Figura 2.11b). Em virtude da presença dessas feições, as superfícies de 69% dos cristais apresentam-se foscas representando a maior parte (71%) dos cristais foscos descritos. Além disso, 72% dos cristais apresentam coloração marrom ou rosa e também exibem incidência de feições octaédricas e cúbicas acima do padrão geral dos diamantes da TI Roosevelt, com triângulos, laminações octaédricas, depressões hexagonais e quadrados ocorrendo em respectivamente 77%, 70%, 56% e 63% dos exemplares pertencentes ao grupo. Também destoam do padrão geral em relação à frequência de cristais com regularidade distorcida (69%), superfícies de clivagem (52%) e fraturas internas (41%) (Tabela 2.4).

Tabela 2.4 – Resumo das características dos diamantes do grupo G2

GRUPO G2 – 159 pedras (24%)		(%)	Feições Superficiais		(%)	
			Hexágonos de corrosão (55%)		56	
			Quadrados de corrosão		63	
			Cor	Cinza		3
				Ausente		12
				Amarela		10
				Esverdeada		2
			Transparência	Transparente		23
				Superfície Fosca (71%)		69
				Translúcida		7
			Regularidade	Distorcida		70
Achatada		4				
Alongada		1				
Regular		1				
Feições principais	Textura Shagreen	99	Sup. Clivagem		52	
	Linhas de Laminação	96	Corroída		43	
	Triângulos de corrosão	77				
	Cor Marrom/Rosa (64%)*	73	Não corroída		12	

\* parênteses à direita referem-se ao percentual do total descrito no lote para a feição correspondente.

**G3** – Os diamantes que compõem esse grupo representam apenas 6% do lote da TI Roosevelt, e suas características principais correspondem à presença abundante de laminações octaédricas em todos os exemplares. Outras feições octaédricas também são freqüentes tais como: triângulos (83%), superfícies octaédricas planares (71%), estratificações (56%) e laminações serrilhadas (49%). Além disso, 61% dos cristais apresentam asperezas (*knob-like*) triangulares e são representados em grande parte (59%) por exemplares octaédricos e de formas combinadas (octaedro-tetrahexaédride). Neste sentido, um número reduzido de feições de corrosão tetrahexaédricas e irrestritas (*shagreen, hillocks, terraços, canais etc.*) é observado em relação ao padrão geral, o que também vale para as linhas de laminação, que ocorrem em apenas 20% dos exemplares pertencentes ao grupo (Tabela 2.5).

Tabela 2.5 – Resumo das características dos diamantes do grupo G3

GRUPO G3 – 41 pedras (6%)		(%)	Feições Superficiais		(%)		
			Trígonos		78		
			Laminação serrilhada		49		
			Asperezas (86%)*		61		
			Estratificação		56		
			Canais de corrosão		17		
			Morfologia	Octaedro (100%)	39		
			Transparência	Transparente	68		
				Translúcido	5		
				Superfície fosca	27		
			Estado	Inteiro	93		
				Fragmento	7		
			Intercrescimentos		22		
			Feições principais	Laminação comum	100	Macla	7
				Triângulos de corrosão	83	Agregado	10
Superfícies Octaédricas	71	Outros		5			

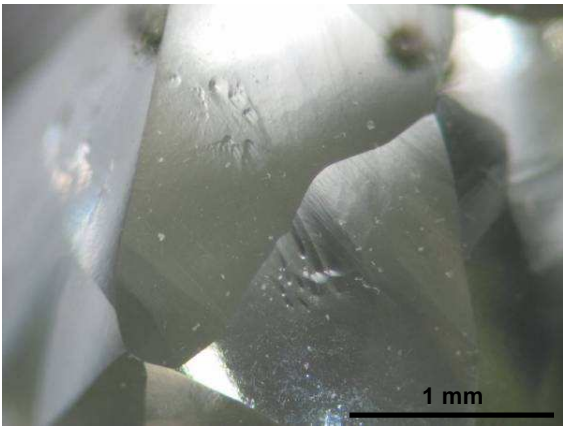
\* parênteses à direita referem-se ao percentual do total descrito no lote para a feição correspondente.

**G4** – Os exemplares que não possuem associações de características típicas dos grupos anteriores e que representam 38% do lote examinado são relativamente homogêneos e foram classificados em um novo grupo que, após uma análise minuciosa, também revelou algumas características correlacionáveis. Estes cristais possuem um aspecto geral tetrahexaédride, transparente, incolor

e ligeiramente menos distorcidos do que os demais, apresentando superfícies lisas e brilhantes com poucas feições de corrosão proeminentes e abundantes.

Em termos estatísticos, essas características se confirmam destacando-se do padrão geral com relação à frequência de indivíduos com morfologia tetrahexaedróide (82%), transparentes (83%), incolores (60%) e com categoria de reabsorção 1 (73%). Além disso, as feições de corrosão tetrahexaedróides são predominantes, ocorrendo em 95% dos cristais destacando-se: textura *shagreen* (73%), *hillocks* (68%) e terraços (74%). Feições mais raras como micro-discos e micro-depressões circulares possuem incidência relativamente alta e ocorrem em respectivamente 12% e 28% dos exemplares pertencentes ao grupo, estando praticamente restritas ao mesmo. Neste sentido, mais uma vez chama atenção a presença das micro-depressões circulares cuja frequência provavelmente é ainda maior, considerando que muitas delas somente são detectadas com a observação através de microscopia eletrônica de varredura e que não foi realizada para a maioria dos cristais examinados (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 – Resumo das características dos diamantes do grupo G4.

GRUPO G4 – 248 pedras (38%)		(%)	Feições Superficiais		(%)
	Cor	Ausente (55%)			63
		Amarela			26
		Marrom/Rosa			6
		Esverdeada			3
		Cinza			2
	Regularidade	Distorcida			40
		Regular (51%)			17
		Achatada (54%)			19
		Desconhecido			21
	Textura <i>Shagreen</i>				73
<i>Hillocks</i>				68	
Terraços concêntricos				74	
Feições principais	F. tetrahexaedróides	95	Grau de Reabsorção	Categoria 1	74
	Transparentes	84		Categoria 2	7
	Morf. Tetrahexaedróide	82		Categoria 3	3
	Micro-depressões Circulares (92%)*	28		Categoria 4	3
Desconhecido				13	

\* parênteses à direita referem-se ao percentual do total descrito no lote para a feição correspondente.

As Tabelas 2.7 e 2.8 relacionam por completo os aspectos gerais e feições descritas para cada um dos grupos identificados.

Tabela 2.7 – Aspectos gerais dos diamantes da Terra Indígena Roosevelt de acordo com sua classificação grupal.

Aspectos Gerais		Grupos (%)				Aspectos Gerais		Grupos (%)				
		G1	G2	G3	G4			G1	G2	G3	G4	
Morfologia	Octaedro	3	0	39	0	Transparência	Transparente	93	23	68	84	
	Octaedro – tetrahexaedróide	10	2	19	6		Translúcido	3	7	5	6	
	Tetrahexaedróide	75	61	17	82		Foscas Sup.	4	69	27	10	
	Dodecaedro	2	0	5	0	Cor	Ausente	38	12	44	63	
	Clivagem	<1	2	0	1		Amarelada	36	10	27	26	
	Desconhecido	9	35	20	11		Esverdeada	4	2	5	3	
Regularidade	Regular	12	1	37	17		Cinza	1	3	2	2	
	Distorcido	48	70	32	40		Marrom/rosa	20	73	22	6	
	Achatado	15	4	10	19		Preta	1	0	0	0	
	Alongado	3	1	2	3	Inclusões	Preta	66	83	73	71	
	Desconhecida	22	24	19	21		Vermelha	4	10	5	7	
Grau de Reabsorção	Categoria 1	62	65	12	74		Cor	Amarela	6	14	2	8
	Categoria 2	9	5	12	7			Laranja	2	12	2	5
	Categoria 3	7	2	7	3			Ausente	2	4	2	5
	Categoria 4	4	0	17	3	Marrom		1	3	0	2	
	Categoria 5	3	0	33	0	Verde		0	<1	0	1	
	Categoria 6	0	0	0	0	Lilás		0	<1	0	0	
	Desconhecido	15	28	19	13	Fraturas Internas		29	41	10	26	
Estado do Cristal	Inteiro	80	65	93	75	Frequência	Não Aparente	33	13	27	25	
	Fragmento	20	34	7	24		Discretas	23	13	24	18	
	Desconhecido	0	1	0	1		Visíveis	36	61	42	46	
Intercrescimento	Macla	6	2	7	8	Spots (121 pedras - 18%)	Abundantes	8	13	7	11	
	Agregado	<1	0	10	0		Verdes	35	5	27	3	
	Geminado	5	13	5	12		Marrons	23	3	17	<1	

Tabela 2.8 – Feições superficiais dos diamantes da Terra Indígena Roosevelt de acordo com sua classificação grupal.

Feições Superficiais		Grupos (%)			
		G1	G2	G3	G4
Octaédricas	Laminação	39	69	100	48
	Serrilhada	4	13	49	9
	Triângulos	22	77	83	53
	<i>Trigons</i>	19	50	78	37
	Positivos	1	2	5	<1
	Hexágonos	11	56	37	15
	Estratificação	15	53	56	33
	Superfícies Planares	24	10	71	14
	Placas Triangulares	2	1	12	<1
Cúbicas	Quadrados	32	63	41	41
	<i>Tetragons</i>	18	26	32	14
	Degaus	15	26	22	30
	Estratificação	4	16	12	10
Tetrahexaedróides	Shagreen	10	99	44	73
	Truncado	3	85	12	4
	Hillocks	20	26	32	68
	Piramidais Triangulares	5	15	5	4
	Terraços	41	34	32	74
	Depressões Rasas	1	3	0	18
	Micro-discos	0	<1	0	12
	Esculturas de Corrosão	1	2	2	6
Irrestritas	Formas em Cunha	0	0	2	2
	Linhas de Laminação	18	96	19	59
	Cruzadas	1	64	7	5
	Canais de Corrosão	28	55	17	47
	Cavidades de Inclusão	17	25	7	23
	Superfícies de Clivagem	29	52	24	29
	Corroídas	20	43	15	23
	Não Corroídas	5	12	5	10
	Superfície Polida	100	3	29	1
	Padrão em rede	86	2	12	0
	Marcas de Percussão	65	2	10	1
	Linhas de Macla	8	13	10	19
	Micro-depressões Circulares	<1	2	7	28
	<i>Frosting</i>	0	0	5	4
Asperezas	3	2	61	<1	

Quanto à granulometria, os grupos apresentam padrões de distribuição semelhantes, porém com diferenças significativas que também dão indicações de origens distintas. Nesse aspecto, o grupo G1 é o que mais se destaca com quase metade dos cristais (48%) possuindo menos que 0,1 ct de massa e apenas 15% apresentando mais de 0,3 ct. Nos demais grupos, a distribuição é mais ampla entre as faixas de peso, havendo predominância de pedras pequenas, porém maiores que as do G1 (<0,7 ct) e ainda freqüentemente acima desse valor. Neste sentido, o grupo G4 possui aproximadamente 41% dos diamantes com peso acima de 0,7 ct, alcançando o máximo de 23,77 ct sendo, portanto o exemplo mais relevante nesse aspecto (Figura 2.16).

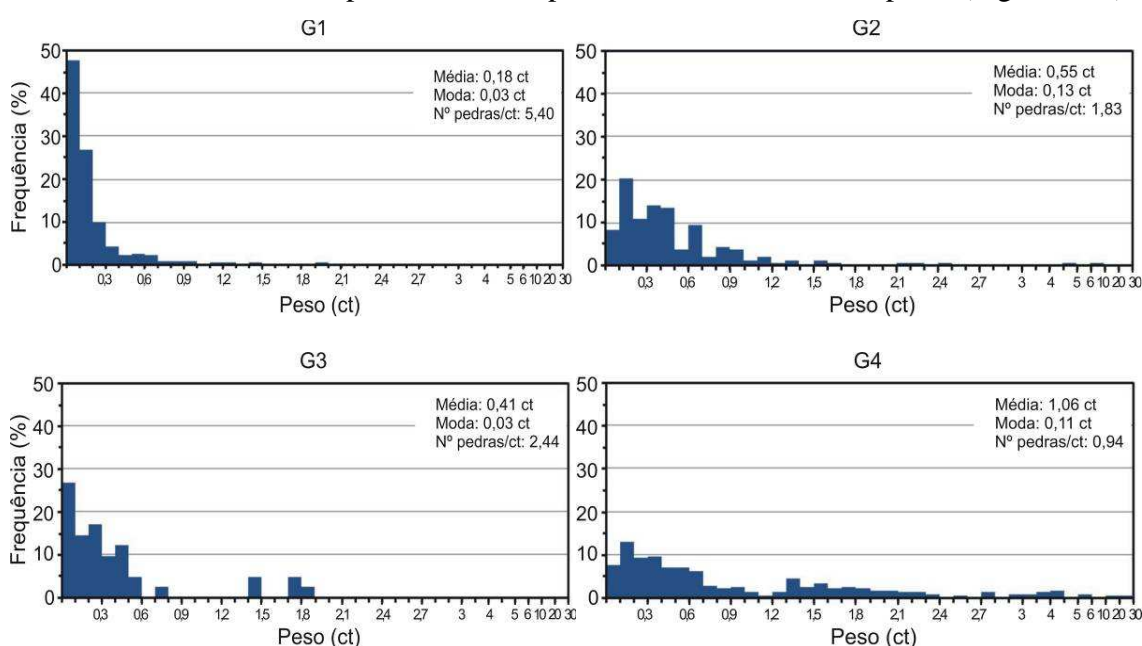


Figura 2.16 – Histogramas de pesos em quilates correspondentes a cada um dos grupos característicos (G1, G2, G3 e G4) dos diamantes da TI Roosevelt. Os valores das médias e modas, bem como o número de exemplares necessários para somar um quilate, estão indicados no canto superior direito.

### 2.3. DISCUSSÕES

A observação de Robinson (1980) de que as superfícies polidas e padrões em rede foram encontrados apenas em cristais de depósitos secundários constitui-se em importante informação para o presente estudo, considerando que os diamantes da TI Roosevelt com tais características apresentam outras feições de origem essencialmente sedimentar. Neste sentido, a presença das marcas de percussão abundantes, superfícies de abrasão incipientes, assim como os *spots*, constituem um forte indício de que as pedras do grupo G1 foram submetidas à abrasão mecânica e em seguida depositadas em meio a sedimentos, e que seriam, portanto, provenientes de fontes

secundárias. Além disso, a distribuição granulométrica, com concentração restrita a pedras muito pequenas (<0,3ct), demonstra uma alta taxa de selecionamento dos grãos que poderia estar relacionada a um transporte acentuado. A presença dos *spots* marrons e verdes, muitas vezes na mesma superfície, sugere ainda que os sedimentos hospedeiros em algum momento foram submetidos a temperaturas na ordem de 600 a 620°C e posteriormente foram resfriados, mantendo as fontes radioativas ainda ativas e em posições relativamente coincidentes às de antes do aquecimento (Vance *et al.* 1973, Haralyi e Rodrigues 1992).

Esta associação de feições fortalece a idéia de uma possível origem mecânica para os padrões em rede e também sugere a hipótese de origem das superfícies quimicamente polidas relacionada aos depósitos secundários. Assim, considerando que o perfeito polimento dessas superfícies não pode ser obtido por processos mecânicos naturais (Robinson 1980, Wilks e Wilks 1972), as mesmas poderiam ser originadas a partir da ação corrosiva de soluções conatas aos sedimentos hospedeiros, possivelmente com contribuição do efeito associado às altas temperaturas alcançadas pelos mesmos. Adicionalmente, este mesmo processo também poderia ter alguma relação com a origem dos padrões em rede acrescentando então mais uma possibilidade para a sua formação. Neste sentido, torna-se necessária a realização de ensaios experimentais adequados para verificação das diversas possibilidades.

A associação entre linhas de laminação e coloração marrom e rosa, observada no grupo G2, é bem conhecida na literatura, sendo atribuída ao deslocamento de planos internos da estrutura cristalina em um processo de deformação plástica ocorrido sob temperaturas e pressões possivelmente de no mínimo 1000°C e 50 Kb (Urusovskaya e Orlov 1964, De Vries 1975, Evans 1976 *in* Robinson 1980, Taylor *et al* 1996). Neste sentido, a alta proporção de cristais distorcidos e com superfícies de clivagem também pode estar relacionada à ação das mesmas tensões deformacionais que provocaram o comportamento plástico dos diamantes, ainda mais considerando que a maioria das superfícies clivadas apresenta-se corroída, indicando sua formação ainda no ambiente magmático.

A textura *shagreen*, que normalmente ocorre próxima aos vértices quaternários devido à maior intensidade de reabsorção nestes locais, nos cristais do grupo G2 geralmente cobre toda a superfície do cristal, o que confere um aspecto fosco à mesma. Assim, a sua presença associada às feições de corrosão abundantes e ao alto grau de reabsorção, indica que estes cristais sofreram

reabsorção em condições mais intensas que os demais, provavelmente envolvendo maior temperatura e/ou  $fO_2$ .

Entre os grupos G1 e G2 existe uma pequena sobreposição relativa a quatro exemplares que apresentam características típicas dos dois grupos. Estas pedras possivelmente refletem uma pequena variação das pedras do grupo G1 que foram submetidas à deformação plástica sob condições menos intensas que as do grupo G2 e/ou que tiveram suas texturas superficiais primárias parcialmente obliteradas em virtude da ação dos processos abrasivos atuantes no ambiente sedimentar. Este entendimento foi alcançado considerando que apenas uma dessas pedras apresenta tonalidade ligeiramente marrom e que as linhas de laminação e textura *shagreen* não são tão abundantes e proeminentes quanto àquelas típicas do grupo G2.

Considerando as características apresentadas pelo grupo G3, constituído de diamantes em geral pouco reabsorvidos com morfologia primária derivada de octaedros estratificados, pode-se concluir que provavelmente estes cristais permaneceram por mais tempo que os demais no interior de xenólitos mantélicos e, portanto, sofreram menos os efeitos corrosivos do ambiente externo. Esta hipótese é reforçada pela ocorrência de um exemplar pseudo-hemimorfo no grupo (vide seção 2.1.2 Morfologia) e também pela abundância e proeminência de feições que se formam nos primeiros estágios dos processos de corrosão e reabsorção, tais como: triângulos e laminação octaédrica. Outro fator importante neste sentido é a sobreposição existente com os outros grupos descritos (G1 e G2) que abrange 37% de suas amostras. Esta sobreposição pode indicar que, uma vez liberados dos xenólitos hospedeiros, tais cristais foram submetidos aos mesmos processos que as demais pedras, porém por um menor período e em condições menos intensas, o que permitiu a preservação de alguns dos seus aspectos primários, mas também gerou algumas das feições descritas nos demais grupos.

Com relação aos cristais do grupo G4, a alta frequência de *hillocks* associados à textura *shagreen* pouco proeminente e terraços proeminentes sugerem a ação de uma taxa moderada de reabsorção, possivelmente na presença de fluidos ricos em  $H_2O$ , considerando os baixos valores de preservação da morfologia primária dentre outras feições. Quanto aos efeitos de deformação plástica, apesar da frequência de 59% de linhas de laminação, estas são menos abundantes e proeminentes na superfície indicando uma menor exposição do grupo a estes processos. Além



disso, apenas 6% deles apresentam coloração marrom ou rosa que também derivam da deformação.

A presença dos micro-discos e micro-depressões circulares neste grupo indicam a interação dos diamantes com os fluidos presentes nos magmas transportadores, que favorecem a formação de bolhas em contato com a superfície dos cristais. No caso dos micro-discos, a interação ocorreria na presença de bolhas que inibem a corrosão e, no caso das micro-depressões circulares, as bolhas facilitariam a corrosão em condições em que ainda há pouquíssima disponibilidade de fase fluida livre (H<sub>2</sub>O) no sistema (Fedortchouk *et al.* 2007).

Apesar de não ter sido descrita nenhuma sobreposição com os demais grupos em virtude justamente de terem sido classificados com base na ausência de associações de feições típicas dos mesmos, provavelmente diversos cristais do grupo G3 são representantes menos reabsorvidos da mesma fonte que o G4. Este fato é corroborado pelo aspecto geral da porção reabsorvida do exemplar pseudo-hemimorfo cujas características são semelhantes às descritas para o grupo G4.

## **CAPÍTULO 3 - TÉCNICAS ESPECTRAIS**

---

Após a definição dos grupos foram selecionados 86 cristais para realização das demais etapas de catodoluminescência e espectroscopia de infravermelho sendo distribuídos da seguinte maneira: G1 - 27 unidades, G2 - 24 unidades, G3 - 6 unidades e G4 - 34 unidades havendo sobreposição de grupos entre 6 exemplares.

### **3.1. CATODOLUMINESCÊNCIA**

#### **3.1.1. Introdução**

Para obtenção das imagens de catodoluminescência as amostras devem ser excitadas pela ação de um luminoscópio, com condições de voltagem e amperagem controladas, acoplado a uma câmara de vácuo e sistema de observação e registro das imagens. A análise das imagens obtidas permite a reconstrução da história de crescimento em suas diversas fases e, por meio da coloração e intensidade das emissões, ainda permite uma interpretação sobre a presença de impurezas e outros processos que afetaram o cristal. Contudo, para uma reconstrução completa da história de crescimento do diamante, a metodologia ideal consiste na obtenção de imagens de seções polidas paralelas a 110, que passam pelo centro dos cristais. Estas seções são utilizadas porque contêm reflexos de todas as fases de crescimento e também devido à catodoluminescência ser gerada nas camadas mais próximas à superfície excitada (Hanley *et al* 1977, Collins 1992, Bulanova 1995). Contudo, no presente estudo não foi possível a realização deste procedimento, pois as pedras estudadas não podiam sofrer alterações de qualquer natureza, em virtude de serem produto de apreensão da Polícia Federal. Portanto, as imagens realizadas foram obtidas com pedras inteiras e, por este motivo, refletem apenas parcialmente a história de crescimento dos cristais.

#### **3.1.2. Resultados**

Os resultados gerais obtidos da análise das pedras selecionadas indicaram ampla predominância de emissões de catodoluminescência azuis (67%) seguidas das verde-amareladas (14%) e azuis-esverdeadas (12%). Pequenas parcelas de exemplares com emissões rósea/violeta (5%) e sem catodoluminescência (2%) também foram observadas. A maioria dos padrões é de

forte intensidade (50%) ou moderada (29%), com aspecto homogêneo que não apresenta feições internas destacadas pela luminescência (linhas, pontos e manchas). Estas feições são visíveis em cerca de 40% dos cristais.

Com relação aos grupos, as seguintes características foram observadas:

**G1** – Neste grupo predominam emissões de coloração verde-amarelada de forte intensidade (44%) e azuis de fraca a moderada intensidade (41%), havendo ainda dois exemplares sem catodoluminescência e um de coloração rósea e fraca intensidade. Os cristais com emissão verde-amarelada são todos pertencentes ao grupo G1 e, com exceção de apenas um exemplar, coincidem com diamantes em que foram observados *spots* verdes ou marrons. O aspecto geral é homogêneo e feições internas são destacadas em 41% dos cristais, sendo representadas principalmente por pontos e manchas amarelas, vermelhas e laranjas, normalmente associadas a exemplares com *spots* (Figura 3.1).

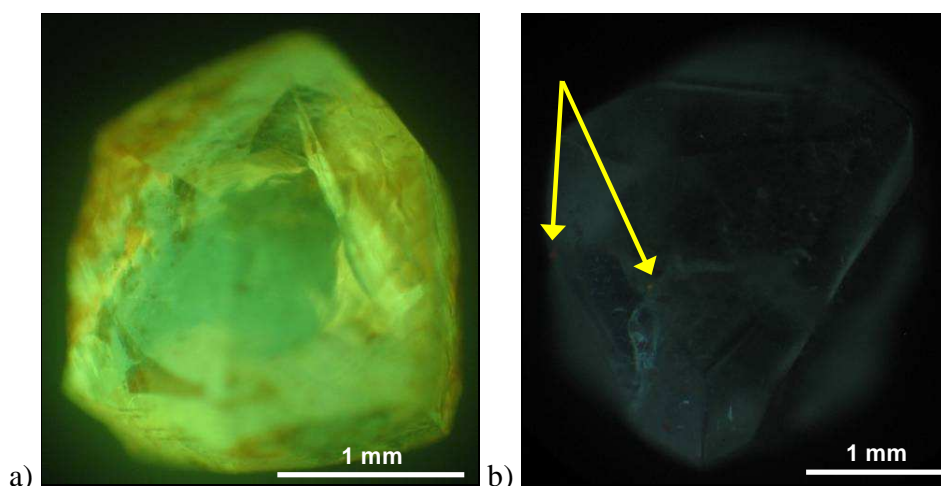


Figura 3.1 – Feições de catodoluminescência em cristais do grupo G1: a) emissão verde-amarelada de forte intensidade com manchas avermelhadas disseminadas e b) emissão azul de fraca intensidade destacando-se em amarelo alguns pontos de emissão vermelha e alaranjada.

**G2** – Em geral, os diamantes do grupo G2 emitem catodoluminescência de intensidade fraca a moderada com coloração azul (46%) e azul esverdeada (31%), cuja ocorrência é praticamente restrita a esse grupo. Emissões verde-amareladas e violeta foram observadas em três exemplares, sendo as primeiras restritas aos cristais com sobreposição ao grupo G1 que, conforme exposto no

parágrafo anterior, correspondem àqueles que possuem *spots*. A característica que mais chama a atenção neste grupo é a alta frequência (69%) de feições internas destacadas pela luminescência, normalmente coincidentes às linhas de laminação superficiais, sendo representadas principalmente por linhas e faixas de coloração amarela, azul e, em menor parte, violeta (Figura 3.2).

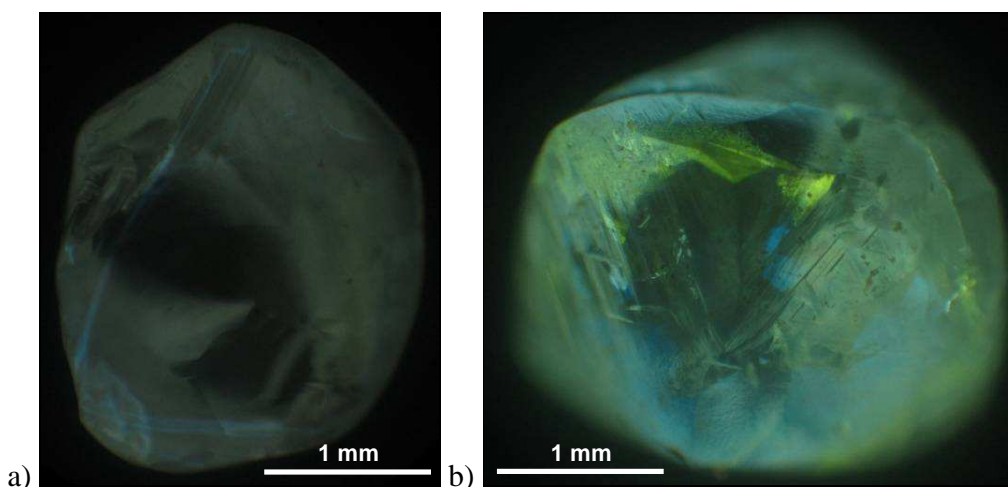


Figura 3.2 – Feições de catodoluminescência em cristais do grupo G2: a) emissão azul de fraca intensidade com linhas de emissão mais intensa coincidentes às linhas de laminação superficiais e b) emissão azul-esverdeada de intensidade moderada com faixas mais intensas de coloração amarela e azuis.

**G3** – Os seis exemplares selecionados do grupo G3 apresentaram os seguintes padrões de catodoluminescência: (1) três exemplares – azul homogênea de intensidades fraca, moderada e forte; (2) dois exemplares – azul-esverdeada de intensidade fraca a moderada com feições amarelas, azuis e violetas; (3) um exemplar – verde-amarelada de forte intensidade com feições alaranjadas e azuis (Figura 3.3). Os cristais referentes ao segundo item possuem coloração marrom e textura *shagreen* em abundância, sendo um deles pertencente também ao grupo G2. O cristal referente ao terceiro item é também pertencente ao grupo G1 e novamente corresponde a um exemplar que possui *spots* em sua superfície. Importante salientar que, em virtude do reduzido número de cristais selecionados do grupo G3, a representatividade dos dados apresentados deve ser considerada com cautela.

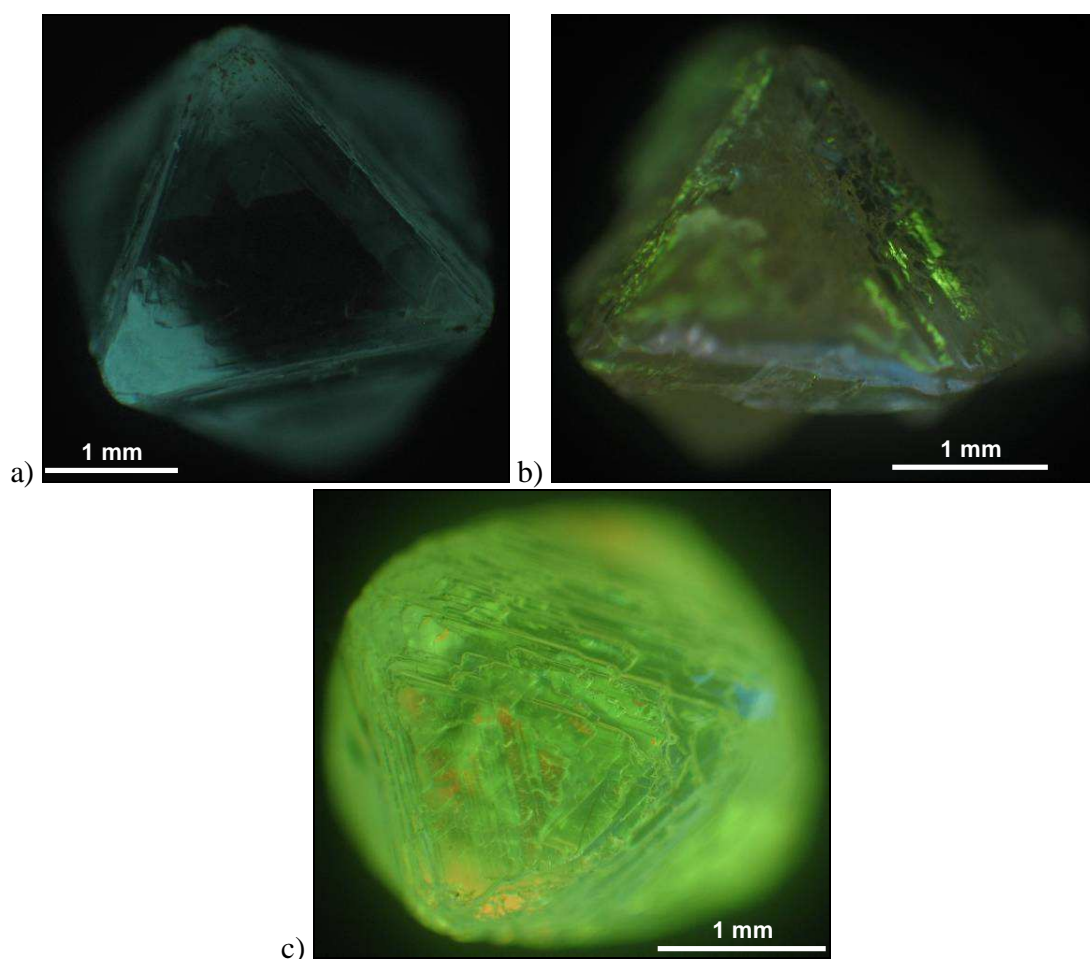


Figura 3.3 – Feições de catodoluminescência em cristais do grupo G3: a) emissão azul homogênea de forte intensidade, b) emissão azul-esverdeada de intensidade moderada com faixas mais intensas de coloração amarela, azul e violeta e c) emissão verde-amarelada intensa em cristal também pertencente ao grupo G1 com manchas alaranjadas e azuis.

**G4** – O padrão de catodoluminescência dos diamantes deste grupo é o mais constante, sendo geralmente homogêneo e representado em sua totalidade por cristais com emissões de coloração azul. As intensidades são principalmente fortes (73%) a moderadas (18%) e feições menores são destacadas em apenas 15% dos exemplares, geralmente na forma de estreitas faixas amarelas (Figura 3.4).

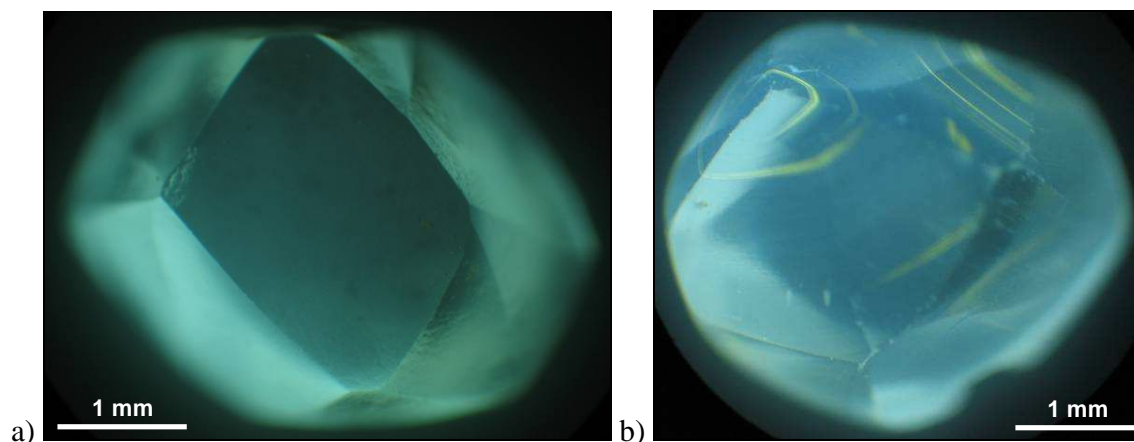


Figura 3.4 – Feições de catodoluminescência em cristais do grupo G4: a) emissão azul de forte intensidade e b) exemplar com mesmo tipo de emissão, porém apresentando linhas mais intensas de coloração amarela.

### 3.1.3. Discussões

As emissões observadas permitem tecer algumas considerações e correlações com outras características observadas em cada um dos grupos.

Especialmente no grupo G1, torna-se evidente a relação das intensas emissões verde-amareladas homogêneas com a presença de alterações provocadas pela ação de radiação, considerando sua forte associação com as pedras que apresentam *spots*. Até mesmo os exemplares em que predominam as emissões azuis, e que possuem feições interpretadas como causadas pela radiação, apresentam pontos e manchas de coloração amarela, laranja e avermelhada, que também podem ser ocasionadas pelo mesmo motivo (Figura 3.1b) (Hanley *et al.* 1977). Porém, nestes casos, as feições de radiação normalmente são menos abundantes e intensas, explicando-se a predominância das emissões azuis. A ausência de luminescência e as intensidades de saturação fracas a moderadas da coloração azul, bem como da violeta, possivelmente derivam das características de baixa concentração e agregação em defeitos A do nitrogênio estrutural, que será abordado em detalhe nos próximos itens.

Quanto às feições menores, conforme discutido acima, é possível perceber no grupo G1 que as mesmas estão principalmente relacionadas aos danos de radiação. Porém, também foram observadas linhas bem definidas em poucos exemplares, que refletem o crescimento octaédrico do cristal (Figura 3.5a). Em geral, parece não haver grandes variações na história de crescimento

desses diamantes, considerando a ausência de zonações. Contudo, as mesmas podem estar sendo ocultadas pela forte luminescência verde-amarelada, lembrando ainda o fato de representarem apenas as histórias parciais até onde alcançaram as faces de dissolução.

Ao contrário do grupo G1, as emissões observadas no grupo G2 destacam-se pela alta frequência de feições internas luminescentes de coloração amarela e azul, que em geral estão associadas aos planos de deslocamento internos marcados pelas abundantes linhas de laminação (Figura 3.2). Portanto, é muito provável que as referidas feições sejam produzidas a partir dos centros gerados pela deformação plástica, cuja ocorrência já foi relatada em diversos estudos anteriores (Hanley *et al.* 1977, Araújo 2002, Lang *et al.* 2007). Algumas das feições amarelas coincidem com planos de crescimento cristalino que, juntamente com a coloração azul esverdeada, frequentemente observada no G2, possivelmente refletem a presença de defeitos planares (*platelets*) disseminados ao longo das zonas de emissão azul (Figura 3.5c). Outros tipos de zonações regulares e bem definidas também foram observadas em alguns exemplares, sendo truncadas por feições curvilíneas, o que sugere histórias mais complexas que as dos demais grupos e que possivelmente envolvem eventos de reabsorção e reativação do crescimento (Figura 3.5b). A predominância de saturações fracas a moderadas, principalmente azuis e, em menor parte, violetas, explica-se pelos mesmos motivos elencados para o G1, e assim como a presença dos *platelets*, serão tratadas em maior detalhe em conjunto com os dados de espectroscopia no infravermelho.

As emissões apresentadas pelos diamantes correspondentes ao grupo G4 praticamente não variam com relação à homogeneidade dos padrões, e dificilmente apresentam algum tipo de feição em destaque. Nos poucos casos em que isto ocorre correspondem a linhas amarelas descontínuas, possivelmente geradas em virtude da presença de *platelets*, coincidentes aos planos de crescimento marcados por terraços concêntricos. A forte intensidade das emissões sugere altas concentrações de nitrogênio e baixo percentual de agregação em defeitos A para a maioria dos cristais do grupo.

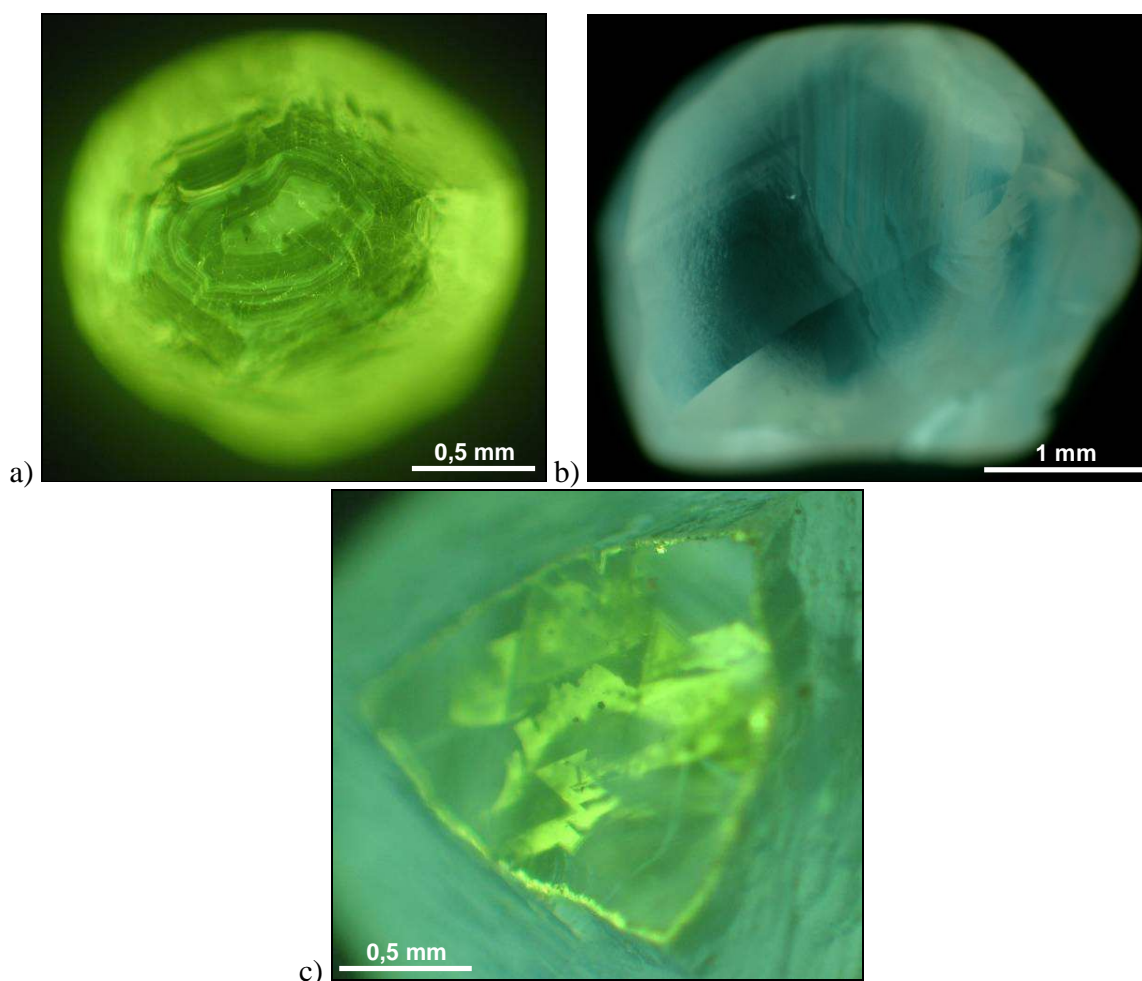


Figura 3.5 – Feições de catodoluminescência: a) linhas de crescimento octaédrico em cristal do grupo G1 com intensa emissão verde-amarelada, b) linhas de crescimento regulares truncadas por feições curvilíneas observadas em cristal do grupo G2 e c) planos octaédricos destacados por feições verde-amareladas observadas em superfície octaédrica planar de cristal do grupo G2.

Quanto ao G3, as imagens de catodoluminescência reforçam a sugestão de que estes cristais são representantes relativamente preservados dos grupos G1, G2 e G4. Neste sentido, o exemplar com emissão verde-amarelada intensa também se associa aos *spots* e sobrepõe-se ao G1, enquanto os dois com luminescência azul-esverdeada apresentam os mesmos padrões que o G2, com abundância de feições internas e feições superficiais idênticas às observadas neste grupo. Por sua vez, os três exemplares restantes, cujas emissões são de coloração azul homogênea de intensidades variadas, também apresentam padrões idênticos ao grupo G4.



## 3.2. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO (FTIR)

### 3.2.1. Introdução

Para o estudo do nitrogênio no diamante, tanto no que diz respeito à sua concentração quanto à forma de organização na estrutura, a técnica empregada é a espectroscopia de infravermelho (FTIR), que permite a quantificação e interpretação do estado de agregação do nitrogênio a partir dos picos de absorção característicos que ocorrem nos espectros obtidos.

Os picos relacionados às impurezas de nitrogênio restringem-se ao intervalo de absorção do infravermelho espectral compreendido entre 500 e 1550  $\text{cm}^{-1}$  (*phonon-1*), apresentando formas diferenciadas de acordo com seu estado de agregação (Figura 3.6a). Desta maneira, apenas os diamantes que contêm nitrogênio apresentam picos nessa região do espectro, já que, de outra forma, os mesmos não absorvem radiação infravermelha nesse intervalo. Absorções intrínsecas ao próprio diamante ocorrem somente no intervalo entre 1550 a 2800  $\text{cm}^{-1}$  (*phonon-2*), sendo utilizadas como base para as normalizações dos espectros (Figura 3.6b).

Outras impurezas também podem ocorrer, ocasionando absorções características, sendo o hidrogênio a mais comum após o nitrogênio. Tal elemento, quando presente na estrutura do diamante, gera uma seqüência de absorções principalmente na região espectral entre 2800 e 4000  $\text{cm}^{-1}$  (*phonon-3*) no comprimento de onda 3107  $\text{cm}^{-1}$  e também em 1405, 2785 e 3236  $\text{cm}^{-1}$ , porém não pode ser quantificado com base em análises de FTIR (Woods e Collins 1983, Sellschop 1992) (Figura 3.6c). Outra absorção observada em alguns diamantes ocorre próxima a 1430  $\text{cm}^{-1}$ , sendo atribuída à presença do íon carbonato ( $\text{CO}_3$ )<sup>2-</sup> (Mendelssohn e Milledge 1995a).

A leitura dos espectros resultantes das análises de FTIR permite, portanto, a identificação precisa das contribuições de cada defeito na estrutura dos diamantes e posterior quantificação.

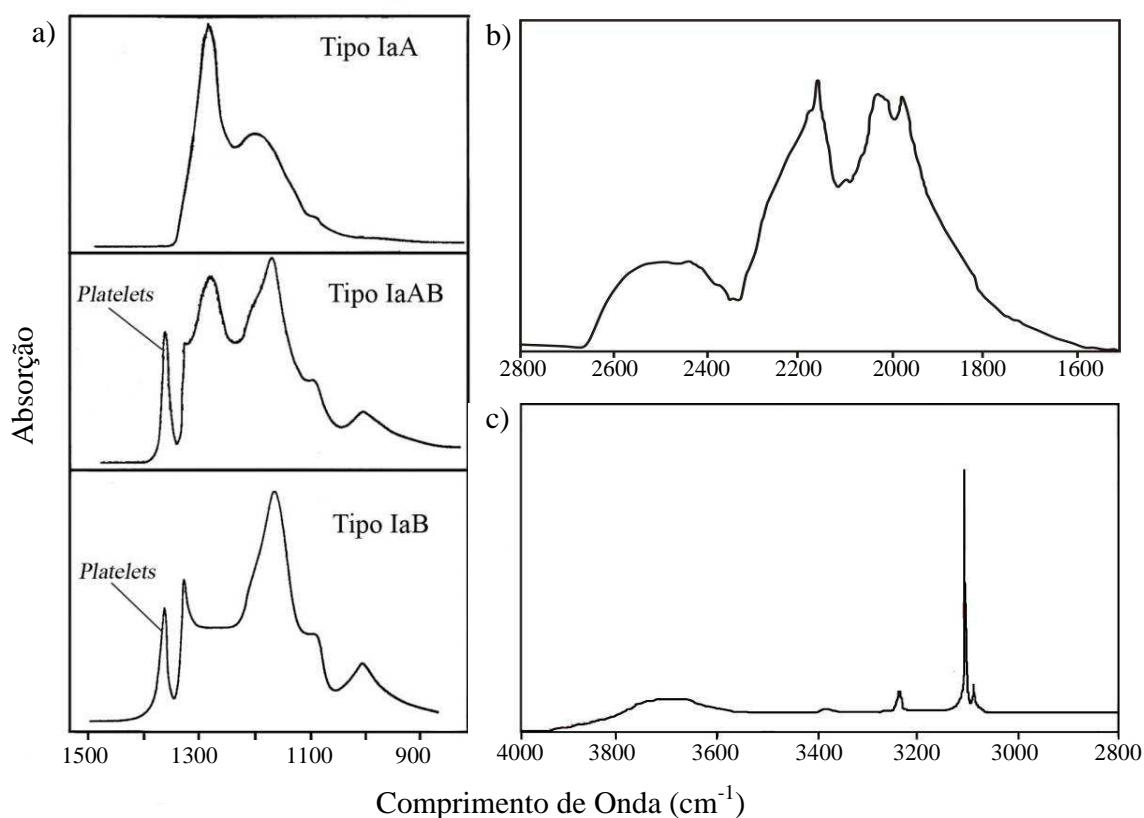


Figura 3.6 – Formas do espectro infravermelho de diamantes com absorções referentes aos seguintes fatores: a) presença do nitrogênio como impureza em seus principais defeitos (Davies 1984 in Boyd et al. 1994a); b) estrutura cristalina própria do diamante e c) presença do hidrogênio marcada por seus picos principais.

Análises pontuais de FTIR podem ser orientadas baseando-se nas imagens de catodoluminescência, de maneira que se obtenham informações específicas para cada zonação observada. Porém, quando não há este mapeamento, como neste caso, as análises são feitas em todo o cristal obtendo-se um valor médio das concentrações de nitrogênio o que não permite uma interpretação precisa do seu papel ao longo de cada fase de crescimento do mineral.

### 3.2.2. Nitrogênio

Não foram observados espectros que indicassem estados de agregação de nitrogênio em defeitos C (tipo Ib) nas amostras da TI Roosevelt, o que restringiu as análises apenas aos defeitos A e B, cujos picos principais localizam-se respectivamente nos comprimentos de onda  $1282\text{ cm}^{-1}$  e  $1175\text{ cm}^{-1}$ . Defeitos D, relacionados à presença de *platelets*, também foram observados na maior parte dos exemplares examinados nas absorções que se destacam em torno de  $1370\text{ cm}^{-1}$  e que também são conhecidas por B'. Assim, os espectros obtidos em geral apresentam-se nas

formas ilustradas na Figura 3.6a, de acordo com a proporção do nitrogênio contido em cada defeito.

Do total de amostras seleccionadas e analisadas por FTIR (86 pedras) apenas três não apresentaram transmissão ótica com sinais de qualidade e intensidade suficientes para a obtenção de espectros aproveitáveis. O restante resultou em espectros que permitiram a classificação dos diamantes nos tipos IaA (7,2%), IaAB (67%), IaB (13%) e II (12%) conforme Figuras 3.7 e 3.8a.

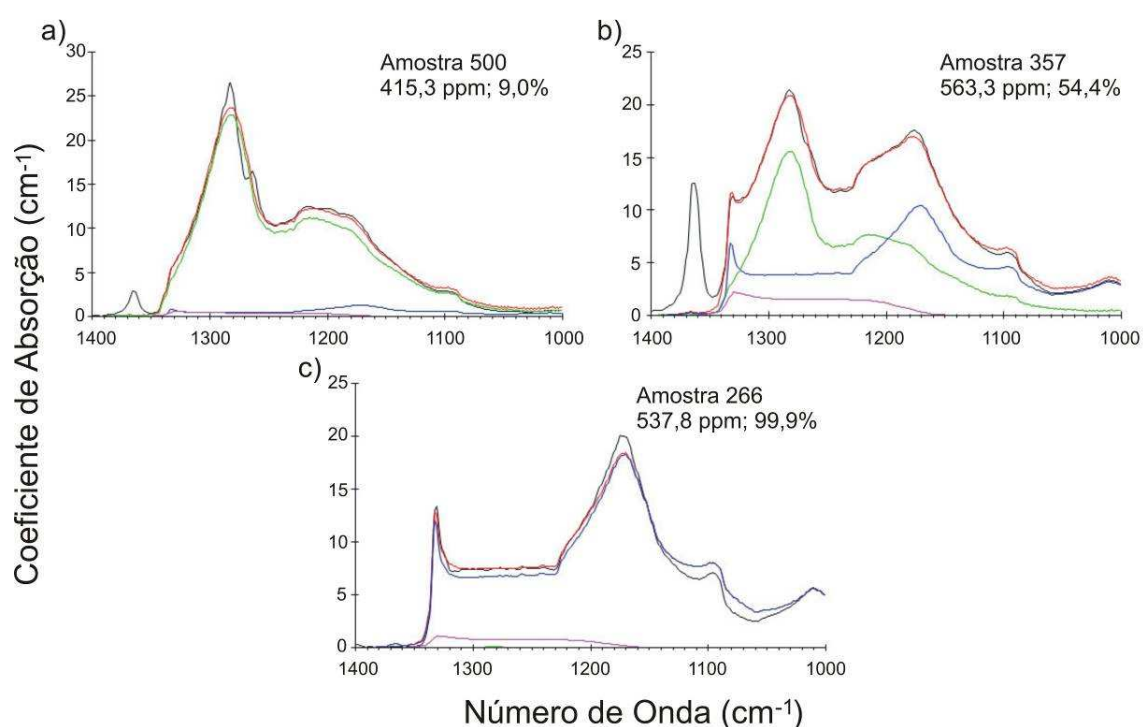


Figura 3.7 – Exemplos de espectros de absorção decompostos obtidos em diamantes de tipos distintos da TI Roosevelt, com indicação do número da amostra bem como dos valores de concentração e percentual de agregação em relação aos defeitos B: a) IaA; b) IaAB e c) IaB. As linhas de cor verde representam a componente dos defeitos A, de cor azul dos defeitos B, de cor rosa dos defeitos D, de cor preta o espectro original e de cor vermelha a melhor aproximação computacional (Best fit).

As concentrações totais de nitrogênio alcançam valores máximos próximos a 1400 ppm e modas em três faixas quais sejam: 0 a 200, 800 a 1000 e 400 a 600 ppm (Figura 3.8b). Quanto ao estado de agregação dos diamantes tipo Ia observa-se uma frequência acentuada entre 30 e 60% e também entre 70% e 100% com os valores percentuais expressos em relação à quantidade de nitrogênio contido em defeitos B (Tabela 3.1)(Figura 3.8c). Além disso, em aproximadamente 73% dos espectros foram ainda observados picos característicos da presença de *platelets*.

Tabela 3.1 – Resultados das análises de infravermelho dos diamantes da Terra Indígena Roosevelt com relação ao conteúdo de nitrogênio total e restrito aos defeitos “B”, e estado de agregação em relação ao percentual correspondente.

Amostra	Conteúdo de Nitrogênio (ppm)			Amostra	Conteúdo de Nitrogênio (ppm)		
	Total	Em “B”	% “B”		Total	Em “B”	% “B”
243	699,6	402,7	57,6	375	825,8	324,5	39,3
245	1054,3	865,5	82,1	378	5,0	3,7	73,6
246	887,8	394,9	44,5	387	13,2	11,3	85,1
248	736,6	294,3	40,0	392	337,9	302,3	89,5
251	1147,5	331,2	28,9	396	251,5	128,6	51,1
255	899,0	883,6	98,3	403	39,2	38,1	97,2
257	633,8	410,8	64,8	406	14,5	11,4	78,7
260	872,6	627,5	71,9	407	122,0	121,2	99,3
261	709,9	464,5	65,4	415	43,2	41,5	96,0
266	537,8	537,2	99,9	416	989,2	354,1	35,8
267	55,3	47,8	86,5	417	6,1	4,9	80,3
269	596,8	277,9	46,6	419	647,9	0,0	0,0
271	805,8	310,4	38,5	422	464,0	173,0	37,3
272	575,8	185,4	32,2	424	964,9	394,0	40,8
277	417,1	169,6	40,7	428	841,7	0,0	0,0
278	1001,2	783,9	78,3	431	432,1	432,1	100,0
281	1437,6	803,4	55,9	433	883,5	728,5	82,5
293	204,2	146,6	71,8	438	890,8	426,0	47,8
301	869,6	0,0	0,0	446	295,5	209,3	70,8
305	907,7	0,0	0,0	450	11,0	9,4	86,0
307	499,6	123,1	24,6	451	380,2	378,1	99,5
309	785,1	298,9	38,1	458	990,3	792,0	80,0
312	789,7	569,6	72,1	463	1082,5	899,4	83,1
318	545,0	136,1	25,0	468	920,5	611,1	66,4
321	18,9	17,5	92,7	473	701,5	270,5	38,6
322	812,1	736,5	90,7	479	11,3	9,5	84,0
326	347,2	103,3	29,8	492	125,5	69,0	54,9
327	549,8	325,4	59,2	493	1426,5	568,7	39,9
329	10,5	9,6	91,0	500	415,3	37,5	9,0
335	508,0	440,5	86,7	502	904,8	595,0	65,8
336	25,5	23,6	92,4	505	1084,5	530,8	48,9
342	539,4	65,3	12,1	508	146,0	101,0	69,2
343	1238,8	0,0	0,0	513	16,4	14,9	91,0
350	928,8	168,3	18,1	514	807,0	583,2	72,3
354	755,4	306,2	40,5	517	759,2	146,4	19,3
357	563,3	306,2	54,4	524	28,6	27,2	95,0
358	797,4	124,9	15,7	527	19,5	11,7	59,7
360	560,3	172,7	30,8	530	417,5	125,7	30,1
361	876,8	361,4	41,2	531	64,0	33,9	53,0
370	956,2	543,9	56,9	533	1411,1	1238,6	87,8
371	49,5	49,5	99,9				
372	592,3	245,8	41,5	541	185,4	148,3	80,0

Com relação aos grupos característicos abordados nos itens anteriores, também foram observadas diferenças significativas quanto ao comportamento espectral no infravermelho tendo sido correlacionadas a diversos aspectos descritos durante as outras etapas. Neste sentido, além da distribuição geral dos dados, as Figuras 3.8 e 3.9 ilustram a distribuição dos grupos e sobreposições entre eles com relação ao tipo, concentrações e estado de agregação do nitrogênio, a partir das quais são descritos a seguir os dados referentes a cada um deles:

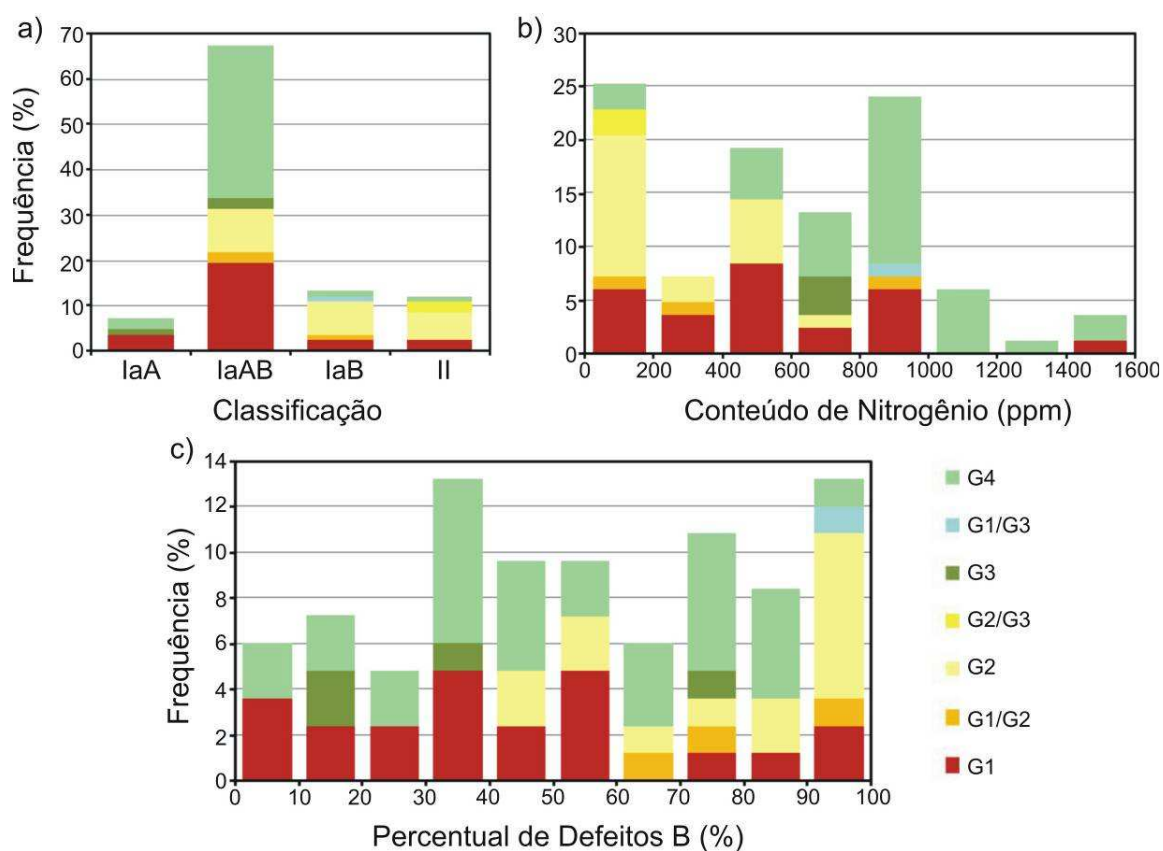


Figura 3.8 – Histogramas apresentando a freqüência dos parâmetros observados para os diamantes da TI Roosevelt e sua distribuição em relação aos grupos característicos: a) distribuição das classes de diamantes definidas pelo teor de nitrogênio e agregação; b) freqüência dos diamantes em relação aos intervalos de concentração de nitrogênio em ppm; c) freqüência dos diamantes em relação às faixas de percentuais de agregação em defeitos B.

**G1** – Com relação ao conteúdo de nitrogênio, o grupo G1 compõe-se de diamantes tipo Ia havendo somente dois exemplares tipo II com concentrações menores que 20 ppm. Assim, os teores de N distribuem-se entre 0 e próximos a 900 ppm com apenas uma ocorrência acima disso em 1430 ppm. Três zonas de maior freqüência se destacam, sendo a principal na faixa de 800 a 900 ppm e as outras duas em 0 a 100 ppm e 500 a 600 ppm (Figura 3.9a). Quanto ao estado de

agregação, considerando o número de exemplares selecionados (27), pode-se dizer que há uma distribuição praticamente homogênea entre todas as faixas de agregação que vão de 0 a 10% (IaA) até 90 a 100% (IaB) (Figura 3.9e).

**G2** – Entre os grupos característicos, o grupo G2 é o que apresenta os padrões melhor definidos em relação ao comportamento do nitrogênio, exibindo acentuada frequência (46%) de diamantes com teores de nitrogênio menores que 100 ppm. Destes, a maior parte (64%) são do tipo II, que por sua vez representam 70% dos diamantes deste tipo entre os selecionados da TI Roosevelt. O restante distribui-se em valores de aproximadamente 100 a 600 ppm, havendo apenas um exemplar com concentração próxima a 900 ppm (Figura 3.9b). A forma de agregação do nitrogênio nestes cristais também se destaca, sendo representada principalmente por diamantes tipo IaB com agregação acima de 90%, sendo que aqueles que não se enquadram nesta faixa distribuem-se homogeneamente entre 40 e 90% (Figura 3.9f).

**G3** – Em virtude do reduzido número de amostras analisadas do grupo G3 (6 exemplares) os valores expostos nos histogramas das Figuras 3.9c-g não são estatisticamente representativos, porém, ainda assim revelam informações que podem ser úteis no mapeamento das populações. Dessa maneira, dois exemplares com teores entre 0 e 100 ppm são correspondentes a diamantes tipo II, que também pertencem ao grupo G2, e os demais apresentam concentrações aproximadas entre 600 e 800 ppm com o de maior teor fazendo sobreposição com o grupo G1. Os quatro diamantes tipo Ia estão inseridos em intervalos de agregação distintos, apresentando os seguintes valores: 0% (IaA), 40%, 58% (IaAB) e 91% (IaB) sendo este o cristal sobreposto ao grupo G1.

**G4** – As concentrações de nitrogênio relativas ao grupo G4 apresentam um padrão de distribuição normal e moda bem definida entre 700 e 1100 ppm com aproximadamente 70% dos exemplares incluídos neste intervalo (Figura 3.9d). Neste contexto, apenas dois diamantes apresentaram teores menores que 100 ppm sendo um deles classificado como tipo II. Teores mais elevados também só foram observados em dois cristais cujos teores aproximam-se de 1400 ppm. Quanto ao estado de agregação existem duas frequências principais ocorrendo respectivamente entre 30 e 50% e entre 70 e 90% que se destacam sobre um padrão de distribuição homogênea que abrange todas as faixas de agregação (Figura 3.9h).

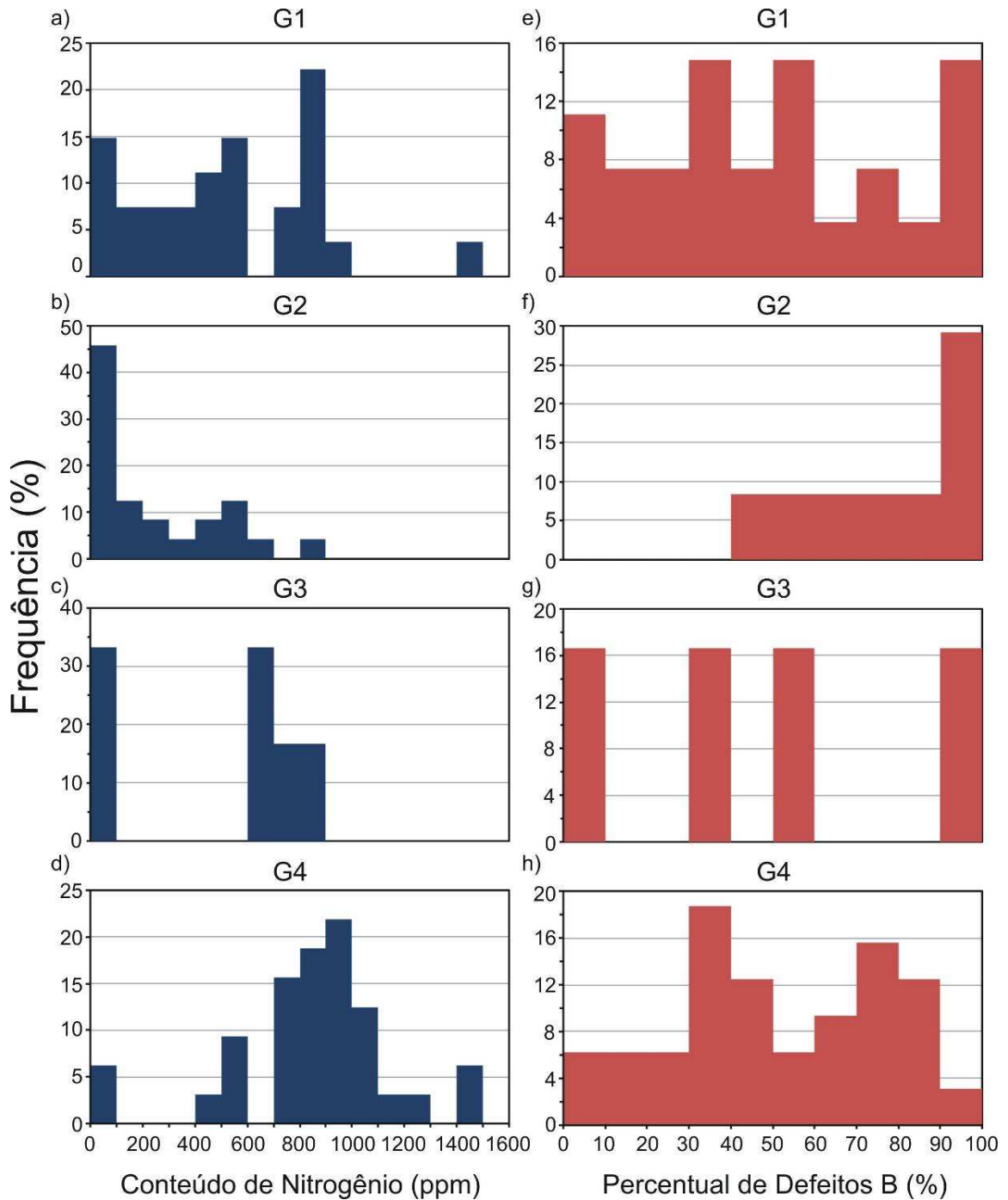


Figura 3.9 – Histogramas apresentando a frequência dos diamantes de cada grupo em relação aos intervalos de concentração de nitrogênio em ppm {a) até d)} e em relação às faixas de percentuais de agregação em defeitos B {e) até h)}.

### 3.2.3. Outras Impurezas

Absorções não relacionadas à presença de nitrogênio, mas sim de hidrogênio, com intensidades em geral muito baixas, foram observadas em todos os espectros obtidos, já aquelas atribuídas à presença do íon carbonato foram observadas em apenas cinco exemplares. Picos de absorção de origem desconhecida foram registrados em 1195, 1260, 2850 e 2920  $\text{cm}^{-1}$ . Os dois primeiros parecem estar relacionados à presença de inclusões que interferem nas análises espectrais e os outros dois poderiam estar relacionados ao hidrogênio já que suas intensidades aumentam com as dos outros picos conhecidos para o elemento. A relação destes picos com o hidrogênio também foi considerada por Araújo 2002, que observou as mesmas absorções em diamantes de Juína-MT, porém sem descartar a possibilidade de contaminação da amostra.

A relação entre a área do pico de absorção principal do hidrogênio (3107  $\text{cm}^{-1}$ ) e as concentrações de nitrogênio foi examinada visando a verificar a existência da correlação linear positiva observada por alguns autores entre as duas variáveis (Lang *et al.* 2004, Hayman *et al.* 2005, Lang *et al.* 2007). Contudo, conforme pode ser observado através da (Figura 3.10), apenas um exemplar pertencente ao grupo G1 apresenta valores de absorbância suficientes para indicar uma possível correlação nesse sentido.

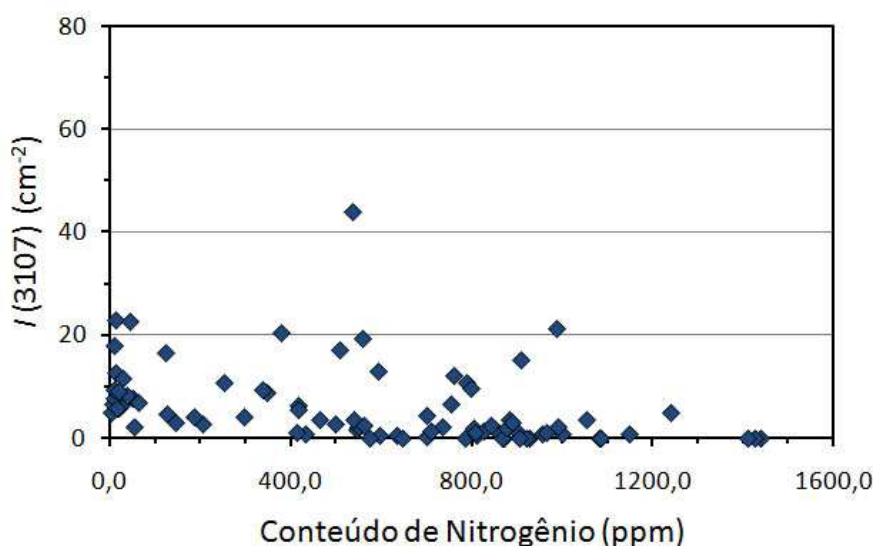


Figura 3.10 – Variação dos valores integrados das absorções em 3107  $\text{cm}^{-1}$ , correspondentes à presença de hidrogênio, em relação ao conteúdo de nitrogênio em ppm.



Quanto às absorções correspondentes ao íon carbonato ( $1430\text{ cm}^{-1}$ ), as mesmas ocorrem em pedras com teores de nitrogênio entre 500 e 1400 ppm com estados de agregação acima de 80% de defeitos B. Porém, considerando sua ocorrência em apenas 5 exemplares, torna-se inviável qualquer tentativa no sentido de se estabelecer correlações com outras características.

#### 3.2.4. Relações com a Catodoluminescência

Quanto à catodoluminescência observa-se uma relação entre o conteúdo e estado de agregação do nitrogênio com as intensidades das emissões. Os diamantes do grupo G1 que apresentam coloração azul de fraca a moderada intensidade correspondem àqueles em que os teores de nitrogênio são menores que 100 ppm ou estados de agregação com predominância de defeitos A (<40%). Assim, os cristais tipo II e com estado de agregação próximo a 0% são os que apresentam emissões em intensidades mais fracas. Este comportamento não é observado nos diamantes com emissões verde-amareladas, cujas intensidades são fortes mesmo em exemplares com agregação tipo IaA, porém, neste caso, os teores de nitrogênio tendem a ser maiores que os cristais de emissão azul. Dessa forma, a luminescência causada pelos defeitos relacionados aos danos de radiação mostra-se bem mais intensa que aquela causada pela presença do nitrogênio, cujas emissões tornam-se invisíveis sob o efeito da primeira.

A presença de saturações fracas a moderadas em emissões azuis e violetas do grupo G2 também se explica pelos baixos teores de nitrogênio que são comuns neste grupo. Além disso, apesar de ser o grupo com a menor frequência de espectros com absorções correspondentes à presença de *platelets*, as emissões de coloração azul-esverdeada de ocorrência em 30% do G2 são na maior parte das vezes coincidentes aos cristais que exibem tais absorções. Diferentemente dos demais, o grupo G4 por sua vez, apresenta padrões de luminescência homogêneos com emissões azuis de alta intensidade que possivelmente refletem os acentuados teores de nitrogênio registrados nos espectros de infravermelho e a predominância de estados de agregação acima de 40%.

Neste contexto, mais uma vez os exemplares do grupo G3 apresentam características comuns aos outros grupos reforçando a idéia de serem parcelas menos reabsorvidas dentro dos mesmos. Seus exemplares também mostraram menores intensidades de luminescência em pedras de baixo teor de nitrogênio e agregação em 0% e vice-versa.

### 3.2.5. Temperatura e Tempo de Residência Mantélica

A partir do entendimento dos mecanismos cinéticos de agregação do nitrogênio em defeitos C, A e B, e das energias de ativação necessárias para a conversão do elemento em cada um deles, tornou-se possível relacionar as concentrações de nitrogênio e estado de agregação com a temperatura e tempo de residência dos diamantes no manto. Dessa maneira, observou-se que a energia de ativação requerida para converter diamantes tipo Ib em IaA é menor do que a necessária para transformar IaA em IaB, portanto necessitando de maiores temperaturas e/ou tempo para sua conversão (Chrenko *et al.* 1977, Evans e Qi 1982, Taylor *et al.* 1990, Taylor *et al.* 1996).

Neste sentido, confrontando-se valores de concentração de nitrogênio e respectivos estados de agregação para diamantes IaA, assumindo-se tempos de residência pré-estabelecidos, é possível estimar a temperatura exigida para a conversão dos defeitos A em B ao longo de linhas isotermas conforme Figura 3.11.

Como exemplo, supõem-se dois diamantes com respectivamente 200 e 1000 ppm de nitrogênio para um tempo de residência de 3,2 Ga e temperaturas de 1100°C. Enquanto o primeiro apresentará apenas 10% de agregação em defeitos B, o segundo apresentará cerca de 50% para as mesmas condições. Assim, quanto maiores os teores de nitrogênio menores são as temperaturas necessárias para a conversão dos defeitos considerando um determinado tempo de residência mantélica. Dessa forma, praticamente não haverá conversão de defeitos A em B sob temperaturas menores que 1050°C, mesmo se o diamante tiver se formado no Arqueano, enquanto para temperaturas acima de 1300°C a conversão é praticamente completa após poucas centenas de milhões de anos. Interessante observar ainda que conforme as temperaturas se tornam

mais elevadas, as curvas gradativamente perdem sua tendência linear assumindo um comportamento logarítmico.

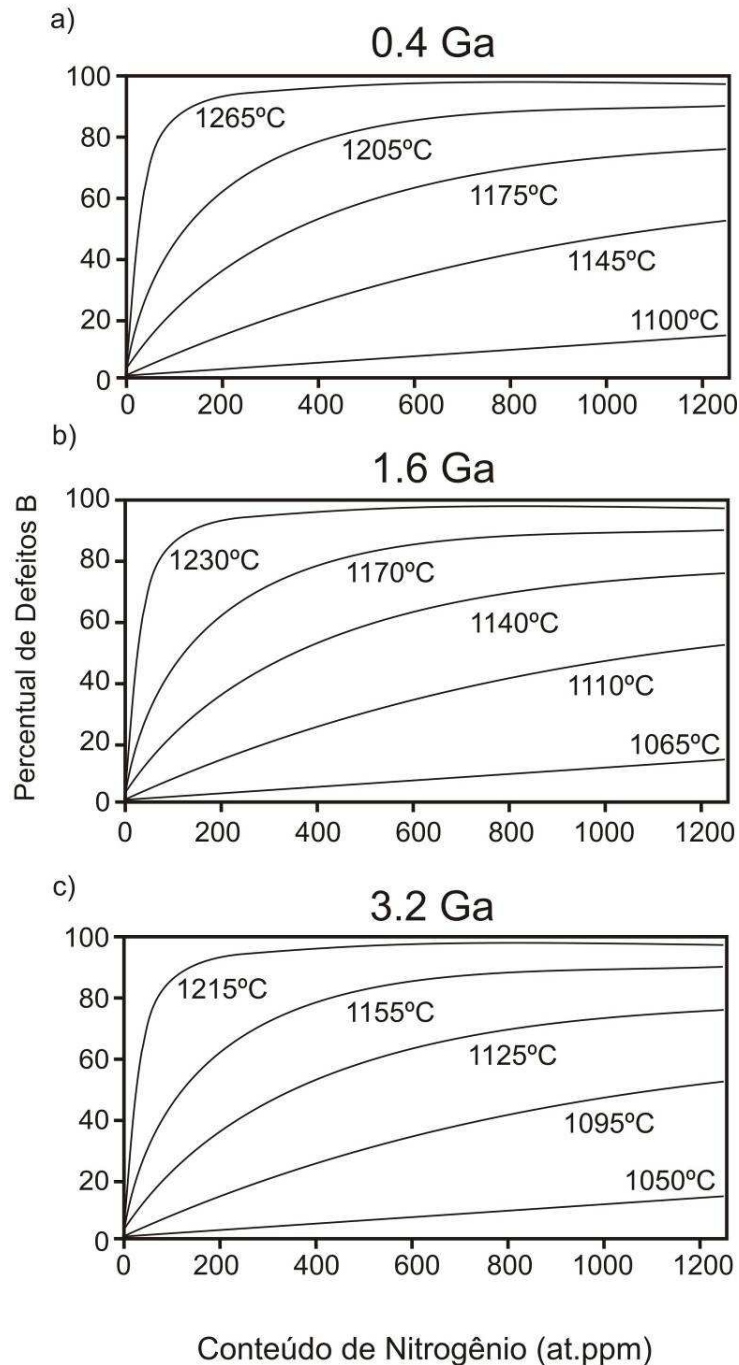


Figura 3.11 – Resultados do modelamento cinético da reação de agregação dos defeitos A para B com séries de isotermas em diagramas de conteúdo de nitrogênio versus percentual de defeitos B para tempos de residência mantélica de 0,4 Ga (a), 1,6 Ga (b) e 3,2 Ga (c). (Adaptado de Taylor et al. 1990)

Portanto, mesmo desconhecendo-se as idades de formação dos diamantes é possível identificar-se populações diamantíferas geneticamente distintas com a utilização dessas relações. Dessa forma, os diamantes da TI Roosevelt apresentam-se dispersos em praticamente todas as regiões do gráfico, com cada um dos grupos característicos apresentando comportamentos diferenciados conforme pode ser visualizado nos diagramas da Figura 3.12.

Os diamantes do grupo G1 ocorrem de maneira espalhada ao longo das zonas isotermas, porém é possível perceber duas populações com comportamento diferenciado (Figura 3.12b-f). A primeira exhibe pontos concentrados ao longo das faixas de comportamento exponencial indicando origem relacionada a altas temperaturas e a segunda exhibe um espalhamento mais amplo ao longo das faixas de comportamento aproximadamente linear havendo uma predominância de cristais expostos a menor temperatura.

Já o grupo G2 apresenta condições genéticas bem definidas com forte predominância de cristais expostos a altas temperaturas (Figura 3.12c-g). É possível notar que há uma concentração acentuada de diamantes com teores muito baixos de nitrogênio e agregações próximas a 100% de defeitos B, acompanhando a borda esquerda superior do diagrama e outras duas pouco mais abaixo com um menor número de exemplares.

Considerando a alta incidência de diamantes tipo II associadas às feições de deformação plástica e corrosão de alta temperatura, é muito provável que o grupo G2 seja constituído principalmente por pedras de origem profunda formadas na zona de transição e/ou manto inferior. Tais características são comumente observadas neste tipo de diamantes que inclusive já foram encontrados em depósitos da região do Rio Machado-RO (Bulanova *et al.* 2008b) e, um pouco mais distantes, associados à Província Kimberlítica de Juína-MT (Hutchinson *et al.* 1999, Araújo 2002, Hayman *et al.* 2005 e outros). Neste contexto, observa-se ainda que as pedras de coloração marrom são as que apresentam tal comportamento de maneira mais acentuada, o que poderia sugerir uma possível contribuição dos processos de deformação plástica na cinética da agregação. Portanto, para a confirmação das suspeitas de origem profunda torna-se indispensável o estudo das paragêneses de suas inclusões.

Os resultados obtidos para o grupo G4 também permitiram a identificação de duas populações bem definidas de comportamento semelhante. Com exceção de apenas dois exemplares, as populações se concentram preferencialmente ao longo de duas faixas respectivamente localizadas entre aproximadamente 30 e 50% e entre 60 e 80% de agregação em defeitos B conforme Figura 3.12e-i. Como as duas faixas são relativamente próximas uma da outra, possivelmente estes diamantes são originários de uma mesma região do manto sendo as diferenças provavelmente derivadas de pequenas variações ( $\sim 40^{\circ}\text{C}$ ) nas temperaturas envolvidas.

Quanto aos cristais de baixo teor e alta agregação de nitrogênio que não se enquadram no padrão geral do grupo G4, aquele que apresenta agregação próxima a 100%, tal como os integrantes do grupo G2, possui coloração marrom indicativa de deformação plástica. Assim, o mesmo pode não ter sido classificado dentro do referido grupo em virtude de eventualmente não ter apresentado todas as feições morfológicas utilizadas como critério para tal classificação. O outro, que se trata de um diamante tipo II, pode possuir percentuais de agregação em defeitos B menores do que o apresentado colocando-o próximo ou dentro das faixas principais. Tal possibilidade se deve à alta imprecisão na estimativa desse parâmetro em espectros de diamantes tipo II que apresenta fracas intensidades de absorções e maior influência daquelas intrínsecas ao próprio mineral que ainda alcança as porções finais do intervalo *phonon-1*.

O grupo G3 novamente distribui-se refletindo os mesmos comportamentos relacionados aos demais grupos confirmando se tratar das mesmas populações. Dessa forma, as duas pedras sobrepostas ao G2 estão incluídas na zona de alta temperatura/tempo, e as restantes também são coerentes com a distribuição apresentada pelos grupos G1 e G4 (Figura 3.12d-h).

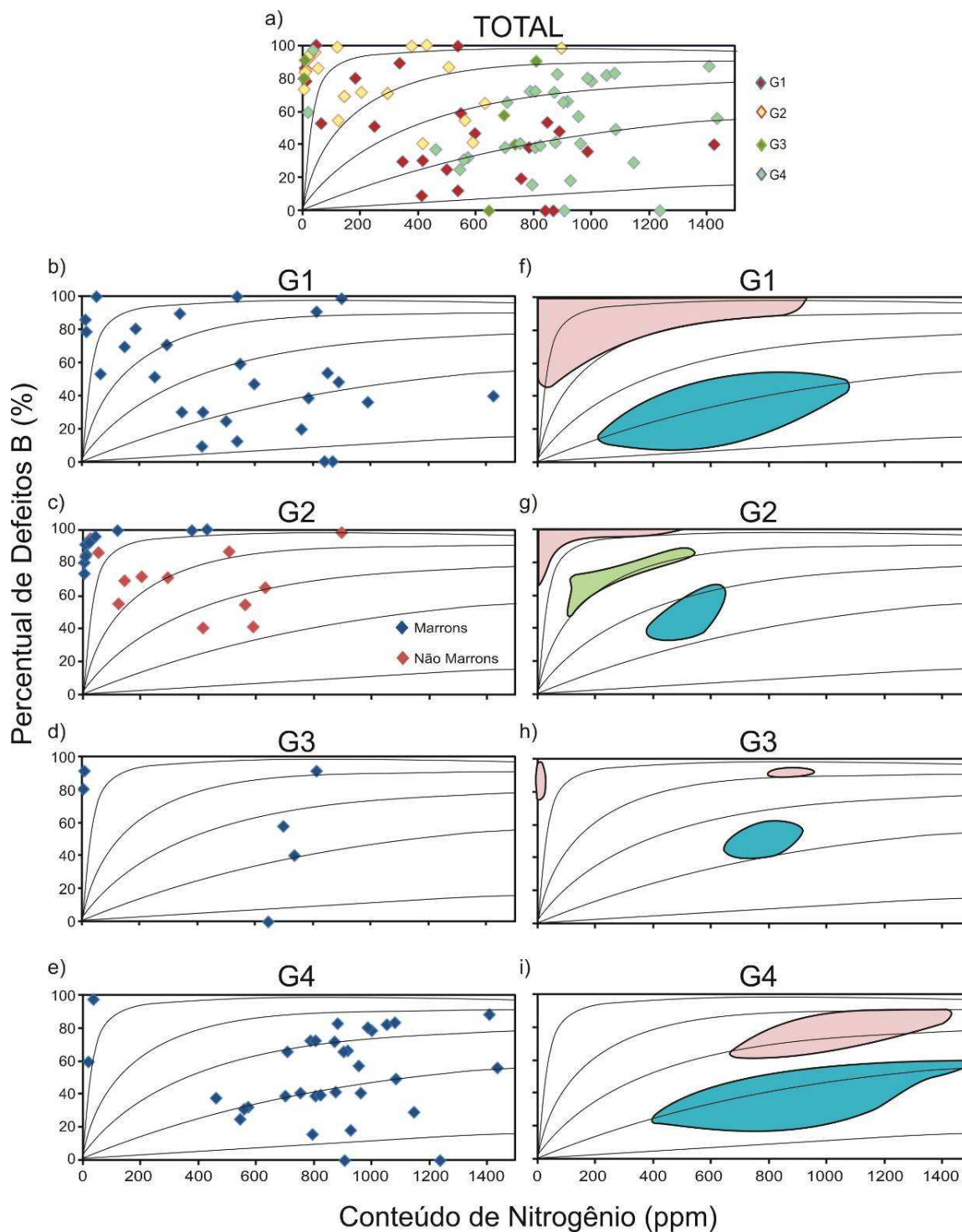


Figura 3.12 – Populações termais identificadas nas amostras da TI Roosevelt de acordo com o modelo proposto por Taylor et al. 1990: a) distribuição de todos os diamantes; b) a e) em relação a cada grupo característico e f) a i) os campos delimitados pelas principais populações de cada grupo.

### 3.2.6. *Platelets*

As absorções no infravermelho causadas por *platelets* (B') foram objeto de investigação por diversos pesquisadores que observaram que as mesmas variavam em função da presença dos defeitos A e B (Brozel *et al.* 1978, Davies 1981, Woods 1986). Neste sentido, constatou-se que os *platelets* são formados juntamente com a evolução da agregação do nitrogênio de um defeito para o outro havendo uma correlação linear inversa entre a integral de B' dividida pela absorbância total ( $I(B')/\mu T$ ) e a proporção da absorbância relacionada ao defeito A em  $1282\text{ cm}^{-1}$  sobre o total ( $\mu A/\mu T$ ). Contudo, uma minoria de diamantes não exhibe esta correlação e apresenta valores abaixo da linha que a define, sendo então denominados irregulares (Woods 1986). Dessa forma, observou-se que nesses cristais os *platelets* sofreram processos de degradação catastrófica de sua estrutura, possivelmente relacionada a eventos de aquecimento sob altas temperaturas.

As condições exatas em que ocorre a degradação dos defeitos planares não são bem conhecidas, porém o que se sabe é que envolve temperaturas extremas sendo fortemente acelerada em zonas cuja estabilidade da estrutura do diamante não se mantém. Tais indicações são baseadas em experimentos realizados sob intervalos de pressão e temperatura respectivamente entre 8 e 9 GPa e 2100 e 2700°C (Brozel *et al.* 1978, Evans *et al.* 1995). Neste contexto, o processo de degradação completa ocorreu com maior rapidez (~1 minuto) em temperaturas de 2650°C dentro do domínio de estabilidade da grafita enquanto no domínio do diamante o tempo necessário para a degradação parcial foi de 9 horas. Porém, considerando que diamantes irregulares de uma forma geral não são distinguíveis por aspectos morfológicos, principalmente relacionados à grafitização, não há como afirmar que este processo ocorre naturalmente no campo da grafita.

Com base nessas considerações os diamantes tipo I da TI Roosevelt foram investigados quanto ao comportamento das absorções ligadas aos *platelets* em relação às demais, apresentando os resultados apresentados na Figura 3.13.

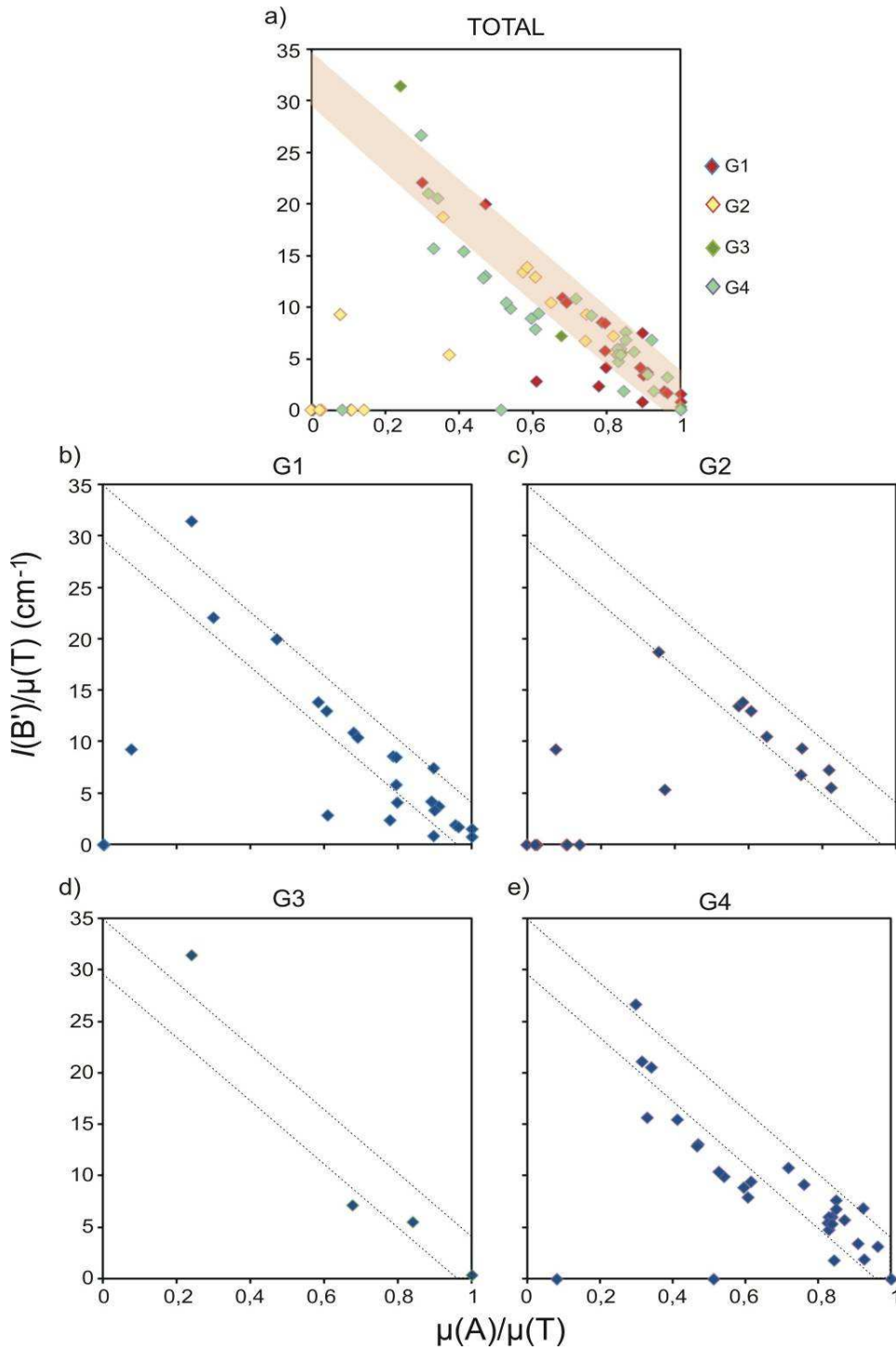


Figura 3.13 – Diagramas dos valores integrados das absorções em  $1370 \text{ cm}^{-1}$   $\{I(B')\}$  versus coeficientes de absorção de defeitos A em  $1282 \text{ cm}^{-1}$   $\{\mu(A)\}$  divididos pelos coeficientes de absorção total  $\{\mu(T)\}$  visando à identificação de diamantes irregulares (Woods 1986, Evans et al. 1995) nas amostras da TI Roosevelt: a) distribuição de todos os diamantes e b) a e) em relação a cada grupo característico. Zonas demarcadas em rosa na figura a), e em linhas tracejadas nas demais, são propostas por Taylor et al. 1990 como o campo de comportamento linear inverso dos diamantes regulares.



Tais resultados demonstram a ocorrência de diamantes irregulares representando cerca de 20% das amostras analisadas. Desse total a metade encontra-se distribuída entre as pedras do grupo G2, que por sua vez apresenta metade de seus cristais classificados como irregulares. Nos grupos G1 e G4 tais diamantes se mostraram menos frequentes sendo respectivamente representados por apenas 4 e 2 exemplares.

Relacionando-se as outras características descritas com estes resultados é importante ressaltar que com exceção de apenas um exemplar pertencente ao grupo G4, todos os demais diamantes irregulares corresponderam àqueles incluídos nas faixas de alta temperatura da seção anterior. Além disso, a maior parte dos pertencentes ao grupo G2, e um de cada dentre os grupos restantes, também apresentaram baixos teores de nitrogênio (<130 ppm). Assim, a ocorrência de diamantes que sofreram degradação catastrófica de seus defeitos planares, especialmente no que diz respeito ao grupo G2, fortalece a sugestão de que os mesmos seriam provenientes de zonas mantélicas profundas onde há predominância de temperaturas mais elevadas e maior probabilidade de transformação dos defeitos.

### 3.2.7. Discussões

De uma forma geral os resultados obtidos com as análises de FTIR mostraram a existência de relações entre as características do nitrogênio estrutural e os aspectos morfológicos dos diamantes da TI Roosevelt confirmando a existência de grupos geneticamente distintos. Assim, utilizando-se as relações de temperatura/tempo de residência estas diferenças tornam-se ainda mais claras indicando diamantes que se originaram sob temperaturas elevadas, intermediárias e baixas e/ou com idades variadas distribuídos ao longo dos referidos grupos.

A aplicação das características de agregação do nitrogênio em estudos da história termal dos diamantes naturais é considerada problemática por alguns autores devido ao efeito das tensões que geram deformações plásticas sobre a taxa de transformação dos defeitos (Davies *et al.* 2002, Griffin *et al.* 2001). Contudo, Evans e Qi (1982), apesar de proporem que as taxas de agregação podem ser incrementadas pela ação dessas tensões, não demonstraram a existência de diferenças na taxa de agregação de diamantes submetidos a altas temperaturas sob ambas condições de ausência e presença das tensões deformacionais. Assim, mesmo havendo a necessidade de pesquisas adicionais que visem ao entendimento desses efeitos na evolução do

nitrogênio estrutural, estudos termais dessa natureza têm sido amplamente utilizados para a identificação de populações diamantíferas em diversos depósitos (Taylor *et al.* 1996, Banas *et al.* 2007, Lang *et al.* 2007, Hunt *et al.* 2008b).

Portanto, considerando a abundância de feições típicas de deformação plástica, principalmente no que diz respeito ao grupo G2, é possível que tenha havido um incremento da agregação de nitrogênio em defeitos B que poderiam superestimar os valores das temperaturas obtidas. Contudo, a alta frequência de diamantes irregulares, cujos defeitos planares sofreram degradação catastrófica, também indica a ação de temperaturas elevadas tornando improvável a hipótese de contribuição dos efeitos de deformação a ponto de alterarem sua classificação do ponto vista termal.

Neste sentido, para efeitos estimativos, Bulanova *et al.* 2008b utilizaram a idade de 2,4 Ga para estimar a temperatura de formação dos diamantes do Rio Machado, com base na ocorrência de granadas sub-cálcicas (G10) nos kimberlitos da região (Teixeira *et al.* 2001), cujas idades mundialmente estão freqüentemente próximas a esse valor. Adotando-se a mesma idade para as amostras da TI Roosevelt as faixas de temperatura estimadas para as principais populações de cada grupo encontram-se relacionadas na Tabela 3.2:

Tabela 3.2 – Temperaturas estimadas com base no modelamento cinético proposto por Taylor *et al.* (1990) para os diamantes da TI Roosevelt considerando a idade de 2.4 Ga.

Grupos	Populações	Temperaturas
G1	População 1	>1165°C
	População 2	1065 – 1115°C
G2	População 1	>1250°C
	População 2	~1165
	População 3	1115 – 1130°C
G4	Populações 1 e 2	1090 – 1130°C

Comparando-se os resultados dos dois depósitos, observa-se que as quatro populações caracterizadas por Bulanova *et al.* 2008b apresentaram temperaturas semelhantes quais sejam: >1300°C, 1200-1275°C, 1150-1170°C e 1000-1100°C. Importante ressaltar que os diamantes do Rio Machado com valores acima de 1300°C também apresentaram feições típicas de deformação

e possuem inclusões com paragêneses indicativas de alta pressão e origem relacionada à zona de transição e manto inferior. As demais faixas de temperatura foram obtidas para diamantes de paragêneses eclogíticas e peridotíticas predominando os valores mais altos nas primeiras.

A existência de diamantes de natureza profunda em ocorrências do Rio Machado, cuja localização está restrita ao mesmo alinhamento estrutural regional NW-SE das ocorrências a sudeste de Rondônia, constitui mais uma evidência de que os diamantes correspondentes ao grupo G2 podem possuir origem semelhante.

Quanto às características de crescimento dos diamantes estudados algumas considerações podem ser feitas quanto às suas respostas espectrais no infravermelho. Quanto ao nitrogênio, é importante salientar que os processos pelos quais o elemento é incorporado à estrutura cristalina dos diamantes ainda são pouco compreendidos. Alguns autores argumentam que seu conteúdo no diamante é função da quantidade disponível do elemento no ambiente de formação de forma que os cristais com altos ou baixos teores seriam derivados de porções do manto respectivamente ricas ou pobres em nitrogênio (Deines *et al.* 1987). No entanto, outros pesquisadores afirmam que a presença do elemento deve-se muito mais à taxa de crescimento cristalino do que a outros fatores ambientais (Boyd *et al.* 1994a, Boyd e Pillinger 1994, Cartigny *et al.* 2001).

Comparando-se as concentrações de nitrogênio em diamantes peridotíticos e eclogíticos com as de diamantes fibrosos, cuja cristalização ocorre rapidamente (Boyd *et al.* 1994a), Cartigny *et al.* (2001) demonstraram claramente a influência da taxa de crescimento como o principal fator na incorporação do nitrogênio. Tal comparação mostra que os diamantes fibrosos são ricos em nitrogênio enquanto os demais, provenientes de fontes isotopicamente similares, apresentam baixos teores do elemento (Figura 3.14). Os autores argumentam ainda que, sendo o manto inferior considerado menos degaseificado que o manto superior, isto é, mais rico em nitrogênio, era de se esperar que diamantes oriundos dessa porção do manto contivessem teores de nitrogênio mais altos que aqueles provenientes das zonas superiores. Na prática o que se observa é exatamente o contrário.

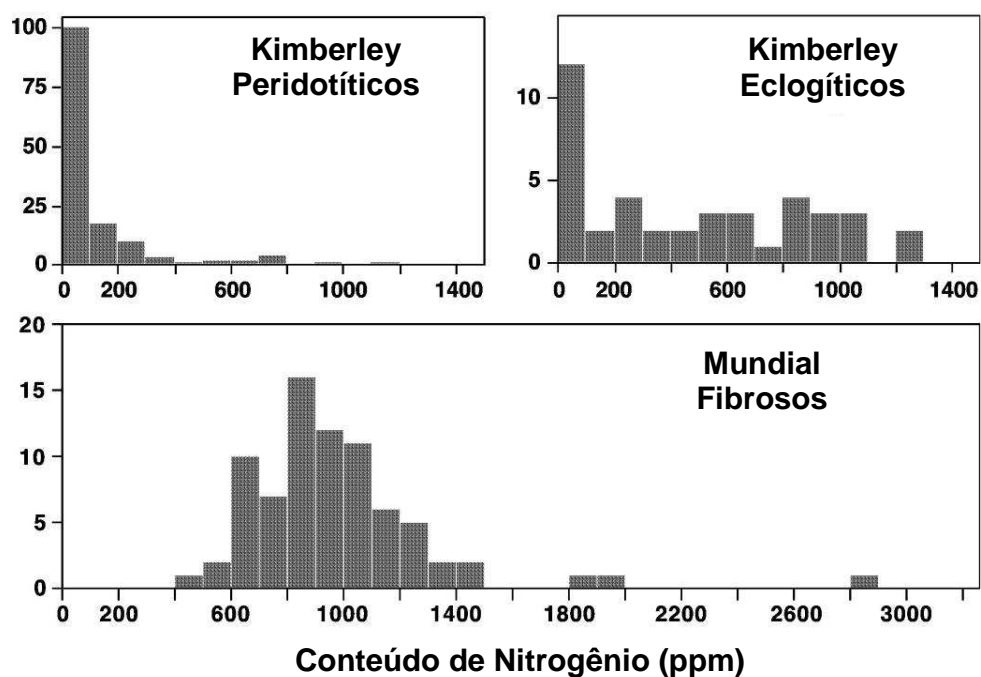


Figura 3.14 – Histogramas comparando as concentrações de nitrogênio de diamantes peridotíticos, eclogíticos e fibrosos. (Cartigny *et al.* 2001)

Segundo o modelo proposto, diamantes que se formam sob taxas de crescimento muito lentas em condições próximas ao equilíbrio com o meio que o circunda, apresentarão teores de nitrogênio próximos ao limite de detecção do FTIR tal como os diamantes tipo II. Em contrapartida, quando um diamante se desenvolver sob taxa de crescimento muito elevada haverá maior concentração de impurezas na superfície e os teores de nitrogênio serão conseqüentemente mais altos. Além disso, quando o crescimento for rápido, carbono e nitrogênio serão incorporados em razões similares a do ambiente de formação proporcionando um padrão de distribuição normal (Gaussiano) para diamantes fibrosos, o que não ocorre para os outros tipos.

Então, as diferenças observadas entre os grupos de diamantes da TI Roosevelt possivelmente também são derivadas das taxas de crescimento cristalino diferenciadas, sendo mais evidentes entre os grupos G2 e G4. Dessa maneira, os diamantes do primeiro grupo, cujos teores de nitrogênio são predominantemente baixos, provavelmente cresceram sob velocidades mais lentas e, da mesma forma que o modelo de Cartigny *et al.* (2001), apresentam padrão de distribuição estatística do tipo Poisson. Já aqueles correspondentes ao grupo G4 apresentam teores elevados de nitrogênio que coincidem a um padrão de distribuição Gaussiano e

provavelmente representam cristais em que o crescimento cristalino ocorreu sob maiores velocidades.

Ainda com relação ao crescimento cristalino, o comportamento do hidrogênio também pode refletir características da forma de cristalização. Nesse sentido, a inexistência da correlação linear positiva entre as concentrações de nitrogênio e a integral dos valores de absorvância relativos ao pico  $3107\text{ cm}^{-1}$ , pode ser, juntamente com os dados morfológicos, mais um indicativo da ausência de cristais primários cúbicos dentre as amostras estudadas. Tal consideração se deve às observações de Lang *et al.* (2004 e 2007) que estudaram estas relações em setores de crescimento distintos e constataram intensidades de absorção para o hidrogênio mais acentuadas nos setores cúbicos e a inexistência da correlação linear nos setores octaédricos.

## CAPÍTULO 4 - DISCUSSÃO

---

---

### 4.1. CRESCIMENTO, TRANSPORTE E ALTERAÇÕES

Considerando os resultados obtidos nesse estudo é possível constatar que, de uma forma geral, as pedras da TI Roosevelt foram alvo de reabsorção generalizada, em que a grande maioria dos cristais teve sua morfologia primária completamente modificada, se apresentando na forma de tetrahexadróides na categoria mais avançada de reabsorção (categoria 1). Acompanhando as alterações morfológicas, figuras de corrosão foram impressas na grande maioria dos exemplares, indicando que tais processos ocorreram principalmente em meio aos magmas transportadores.

Nota-se também, pela abundância de feições octaédricas de crescimento e de corrosão (terraços, laminação, estratificação etc.), e pela baixa frequência de cristais com resquícios de morfologia cúbica, que a forma primária predominante era representada por octaedros. Confirmando tais considerações, as imagens de catodoluminescência não exibem feições claramente indicativas de crescimento cúbico em nenhuma das amostras, ressalvando-se, contudo, que as mesmas refletem apenas feições de crescimento parciais. A ausência de correlação direta entre as absorções relativas ao hidrogênio e o conteúdo de nitrogênio das amostras, também pode constituir um indicativo de que não há cristais cúbicos nas populações descritas (Lang *et al.* 2007). Com isso, a predominância de cristais octaédricos sugere ambientes de formação com baixos valores da razão pressão/temperatura, nos quais a cristalização de cubos não é favorecida, conforme dados experimentais obtidos na fabricação de diamantes sintéticos (Burns e Davies 1992).

Além dos aspectos gerais dos diamantes da TI Roosevelt, foram observadas associações de feições características que culminaram na classificação de 4 grupos distintos de diamantes (G1, G2, G3 e G4). Tais feições sugerem condições genéticas e/ou pós-genéticas diferenciadas, refletindo as características de suas fontes mantélicas, magmas transportadores e processos pós-eruptivos envolvidos. Nesse sentido, os dados demonstram claramente que fontes distintas contribuíram para a formação dos depósitos explorados atualmente no interior das reservas indígenas.

Uma das fontes seguramente é de natureza secundária, sendo responsável pelo aporte de diamantes que compõem o grupo G1. Estes cristais apresentam diversas características típicas de ambientes sedimentares, como marcas de percussão, superfícies de abrasão e *spots* de radiação, além do alto selecionamento dos grãos, demonstrado pela distribuição granulométrica. O selecionamento e a presença dos *spots* verdes e marrons evidenciam, respectivamente, a ação de um transporte relativamente acentuado e o alcance de temperaturas de no mínimo 600°C, com as quais os *spots* verdes convertem-se em marrons (Vance *et al.* 1973, Haralyi e Rodrigues 1992).

Adicionalmente, foi observada a mesma associação de feições superficiais (superfícies quimicamente polidas, padrões em rede e *spots* de radiação) descritas por Robinson (1980) somente em diamantes aluvionares, tais como aqueles provenientes dos depósitos de Buffelsbank, Langhoogte e Witwatersrand na África do Sul. Considerando tal associação e a ausência de estudos conclusivos sobre a origem dessas feições, é possível supor que as mesmas sejam originadas no contexto sedimentar e não por corrosão e reabsorção mantélica ou magmática. Assim, sua origem poderia estar relacionada à ação corrosiva de soluções conatas aos sedimentos hospedeiros, possivelmente com contribuição do efeito associado às altas temperaturas alcançadas pelos mesmos, e ainda por fraturamento, no caso do padrão em rede.

Os demais grupos apresentam características essencialmente primárias, indicando que sofreram pouca influência dos processos de transporte sedimentar, o que sugere a proveniência a partir de fontes proximais, possivelmente correspondentes aos diversos corpos kimberlíticos conhecidos na região. Ressalva-se, contudo, a possibilidade de preservação das características primárias após transporte de longa distância ocorrido em condições glaciais, considerando que nestes casos a ação abrasiva do ambiente detrítico pode ser sobremaneira minimizada.

Dessa forma, o grupo G2, em que predominam diamantes de baixo teor de nitrogênio e alta agregação, possivelmente está relacionado a um ambiente de formação condicionado a altas temperaturas (>1200°C), com possibilidade inclusive de serem provenientes de porções mais profundas do manto terrestre (zona de transição e manto inferior). A alta frequência de diamantes tipo II, irregulares (*platelets* degradados) e com abundância de feições típicas de deformação plástica e rúpteis confirmam a ação de temperaturas e pressões elevadas. Hutchison *et al.* (1999) acrescentam ainda os complexos padrões, evidenciados pelas imagens de catodoluminescência, com truncamento de feições internas por reabsorção e retomada de crescimento como sendo

mais uma característica dos diamantes profundos. Os mesmos autores, além de Gaspar *et al.* (1998) e Kaminsky *et al.* (2001a), também observaram que a maior parte dos diamantes aluvionares de Juína-MT, cuja origem está ligada a fontes mantélicas profundas, apresentam-se na coloração marrom e com abundância de feições deformacionais.

As alterações derivadas dos processos de reabsorção e corrosão nestes diamantes, sugerem condições de intensa temperatura e/ou  $fO_2$  envolvidas principalmente durante o transporte à superfície. Dessa maneira, a alta proporção de cristais distorcidos e com superfícies de clivagem corroídas pode estar relacionada à ação das tensões que provocaram deformações plásticas e rúpteis, ainda sob temperaturas elevadas. Durante e após a geração das deformações, os cristais foram então reabsorvidos e corroídos, alterando a morfologia primária, imprimindo diversos tipos de figuras de corrosão e destacando as feições deformacionais (linhas de laminação e figuras em superfícies de clivagem).

Nesse contexto é importante destacar a ação dos fluidos no sistema transportador, que pode ser avaliada a partir das características das feições de dissolução. Assim, os diamantes do grupo G2 possuem feições semelhantes às observadas em cristais reabsorvidos dos kimberlitos Leslie e Grizzly da região de Lac de Gras, Canadá, descritos por Fedortchouck *et al.* (2005 e 2008). Esses diamantes assemelham-se quanto ao aspecto superficial fosco, gerado pela abundância de feições superficiais conspícuas, morfologia tetrahexaédrica irregular e micro-degraus nas faces quando observadas sob alta magnificação. Nos exemplares do grupo ocorre ainda abundância de *trigons*, depressões hexagonais e, mais raramente, *hillocks* piramidais triangulares proeminentes, indicando a ação de fluidos constituídos principalmente de  $CO_2$  e diminuição progressiva da temperatura (conversão dos triângulos em hexágonos). Estas características, além de indicarem a possível predominância de  $CO_2$  nas fases fluidas, também evidenciam um processo de perda parcial dessas fases em algum momento da ascensão do magma transportador à superfície (Fedortchouck *et al.* 2008). A forte diminuição da disponibilidade dos fluidos no sistema seria então responsável por um aumento da  $fO_2$  e diminuição da velocidade de ascensão (Canil e Bellis 2007), intensificando a reabsorção e desenvolvendo um complexo padrão de corrosão atuante por um período mais longo do que o habitual. Tais condições explicariam as morfologias irregulares altamente reabsorvidas, a textura



*shagreen* proeminente, os micro-degraus, e provavelmente a textura fina desconhecida observada em alguns exemplares do grupo e ilustrada na Figura 2.15b.

O grupo G4, por sua vez, possui características muito diferentes daquelas apresentadas pelo grupo G1, sendo originado, portanto, a partir de fontes primárias distintas. As populações definidas pela análise do nitrogênio indicam temperaturas de formação menores que aquelas do grupo G2 (~1100°C), com teores de nitrogênio mais acentuados e agregação com menores percentuais de defeitos B. Além disso, considerando a menor abundância de feições de deformação e de diamantes com degradação de defeitos planares, é provável que os mesmos sejam provenientes das zonas mantélicas superiores em paragêneses peridotíticas e/ou eclogíticas que são comumente observadas nos depósitos diamantíferos em geral. O padrão de catodoluminescência homogêneo, de coloração azul e geralmente de fortes e moderadas intensidades, corresponde bem com os altos teores de nitrogênio e agregação relativamente menos acentuada.

Quanto às condições de reabsorção, os cristais encontram-se bastante afetados, tendo havido uma transformação completa da morfologia primária, mesmo em cristais de grandes proporções (~24ct), e a impressão de figuras de corrosão pouco proeminentes, predominando faces com aspecto liso e brilhante. Considerando estas características e os tipos de feições, representadas por *hillocks* arredondados de pequenas proporções, micro-depressões circulares abundantes, *trigons* ou *tetragons* bem formados e isolados quando presentes, é provável que os diamantes tenham sofrido corrosão a partir da interação de suas faces com magmas transportadores supersaturados em H<sub>2</sub>O. A abundância de micro-depressões circulares sugere condição de saturação incipiente, que pode ter aumentado com a diminuição da solubilidade dos fluidos provocada pela diminuição da pressão durante a ascensão do magma transportador. Esta evolução pode explicar a ausência das depressões na maioria dos exemplares do grupo e o reduzido diâmetro dos círculos (<30µm), haja vista que as feições de corrosão refletem principalmente as últimas condições de saturação a que os diamantes foram submetidos (Fedortchouck *et al.* 2007).

Os diamantes do grupo G3 diferem-se morfologicamente dos demais grupos apenas por serem menos reabsorvidos, porém, com relação às outras características tais como coloração, feições de corrosão, catodoluminescência e nitrogênio, os mesmos são coincidentes. Dessa forma,

possivelmente se tratam de cristais que foram protegidos da reabsorção por maior tempo que os demais no interior dos xenólitos mantélicos. Este fato é confirmado pela presença de pelo menos um exemplar pseudohemimórfico, em que apenas uma parte do cristal encontra-se reabsorvida e a outra parte preservada, em virtude de sua exposição parcial ao meio oxidante. Além disso, algumas das feições de corrosão mais observadas são correspondentes aos primeiros estágios da reabsorção (triângulos e laminações) e/ou xenolíticas (asperezas *knob-like*), conforme Robinson (1980).

Interpretações com relação às temperaturas alcançadas durante a reabsorção, baseadas nos tipos e orientações das figuras de corrosão apresentadas pelos diamantes, não são confiáveis, em virtude da quantidade de variáveis que podem influenciar esses parâmetros ( $fO_2$ , fluidos, tempo, meio) e também por ainda não serem bem estabelecidas todas as relações possíveis entre elas (Patel e Ramanathan 1962, Mendelssohn e Milledge 1995b, Sonin *et al.* 2006, Fedortchouck *et al.* 2007). Apenas para condições não oxidantes seria possível afirmar, por exemplo, que feições de orientação negativa são indicativas de temperaturas maiores que 950°C (Evans e Sauter 1961). Estudos mais recentes têm demonstrado que as feições de corrosão superficiais podem ser aplicadas na interpretação dos fluidos envolvidos em sistemas kimberlíticos e lamproíticos, que afetam a qualidade e teor dos diamantes presentes nas rochas primárias (Kozai e Arima 2005, Fedortchouck *et al.* 2007). Dessa forma, tais estudos podem ser utilizados para a definição de características dos corpos primários, derivadas das condições de saturação de fluidos e assim utilizá-las como parâmetros para a avaliação do potencial diamantífero dos mesmos.

Também é importante destacar que somente as características relacionadas ao nitrogênio não são suficientes para determinar com precisão as condições de formação e crescimento dos diamantes. Nesse sentido, outras técnicas analíticas têm sido utilizadas para determinação da composição isotópica de  $^{13}C$  e  $^{15}N$ , e para identificação das paragêneses mineralógicas das inclusões. Os resultados obtidos por estas aplicações subsidiam interpretações mais precisas com relação à proveniência mantélica dos diamantes, porém os métodos utilizados normalmente produzem danos inevitáveis às amostras, o que no momento torna inviável sua aplicação para as pedras da TI Roosevelt pelos motivos elencados nos capítulos anteriores.

## 4.2. FONTES

Baseando-se nos dados da geologia local e nas relações entre as intrusões kimberlíticas da região e as encaixantes, que demonstram que as primeiras cortam o embasamento cratônico e as unidades basais da Bacia dos Parecis (Fm. Cacoal e Pimenta Bueno) (Masun e Smith 2008), é possível que os diamantes do grupo G1 sejam provenientes dos sedimentos fluviais (arenitos e conglomerados) que estão imediatamente sotopostos às referidas unidades, tais como aqueles que compõem as formações Fazenda Casa Branca e Corumbiara (Gr. Parecis). Dessa forma, as fontes primárias poderiam ser as intrusões kimberlíticas atualmente existentes na região e que foram erodidas durante o paleo-mesozóico, com a deposição dos sedimentos nos grábens de Pimenta Bueno e Colorado.

Considerando a presença dos *spots* de radiação na superfície dos cristais, os sedimentos hospedeiros dos diamantes devem possuir minerais ou soluções com elementos radioativos suficientes para a produção das manchas observadas, o que deve ser confirmado por estudos petrográficos. Com relação às temperaturas de 600°C sugeridas pelos *spots* marrons e tendo em vista que os sedimentos da região não são metamórficos, sua origem estaria então relacionada à ação do metamorfismo de contato decorrente do vulcanismo associado aos derrames basálticos da formação Anarí no jurássico-cretáceo. A predominância de *spots* verdes em relação aos marrons, e a coincidência de ambos em um mesmo ponto da face do cristal, indicam que as fontes radioativas responsáveis pelo seu aparecimento praticamente não se movimentaram. Estas características demonstram que as altas temperaturas não atingiram todo o pacote sedimentar, reforçando a idéia de eventos termais localizados gerados por vulcanismo, ao invés de metamorfismo regional.

A afirmativa de que as fontes primárias do grupo G1 são coincidentes àquelas que aportam diamantes aos depósitos aluvionares atuais é corroborada pelos resultados relativos ao nitrogênio estrutural em que as populações indicadas nos diagramas isotérmicos (figura 3.12), apesar de apresentarem um maior espalhamento, são correspondentes às mesmas observadas para os grupos G2, G3 e G4. Dessa maneira, é provável que o grupo G1 seja composto pela mistura de diamantes dos referidos grupos, tendo havido a “supressão” das feições superficiais características pela ação abrasiva do ambiente sedimentar. De forma semelhante, as feições de catodoluminescência originais também podem ter sido ocultadas, em virtude das fortes emissões

causadas pela radiação a que foram submetidos. Os demais grupos, por sua vez, apresentam características distintas, apesar de todos serem possivelmente provenientes de fontes primárias proximais, não tendo sofrido longas exposições aos ambientes sedimentares aluvionares.

Quanto às fontes primárias, é interessante notar que nos depósitos aluvionares do Rio Machado (Bulanova *et al.* 2008b) e primário do kimberlito Carolina (Hunt *et al.* 2008a), as feições superficiais e respostas relativas ao comportamento do nitrogênio nas populações de diamantes descritas são coincidentes àquelas observadas para os grupos G2, no primeiro, e G4 e G1, no segundo (Tabela 3.2 e Figura 4.1). Além disso, no Rio Machado também são observadas pedras de origem sedimentar muito semelhantes às descritas para o grupo G1.

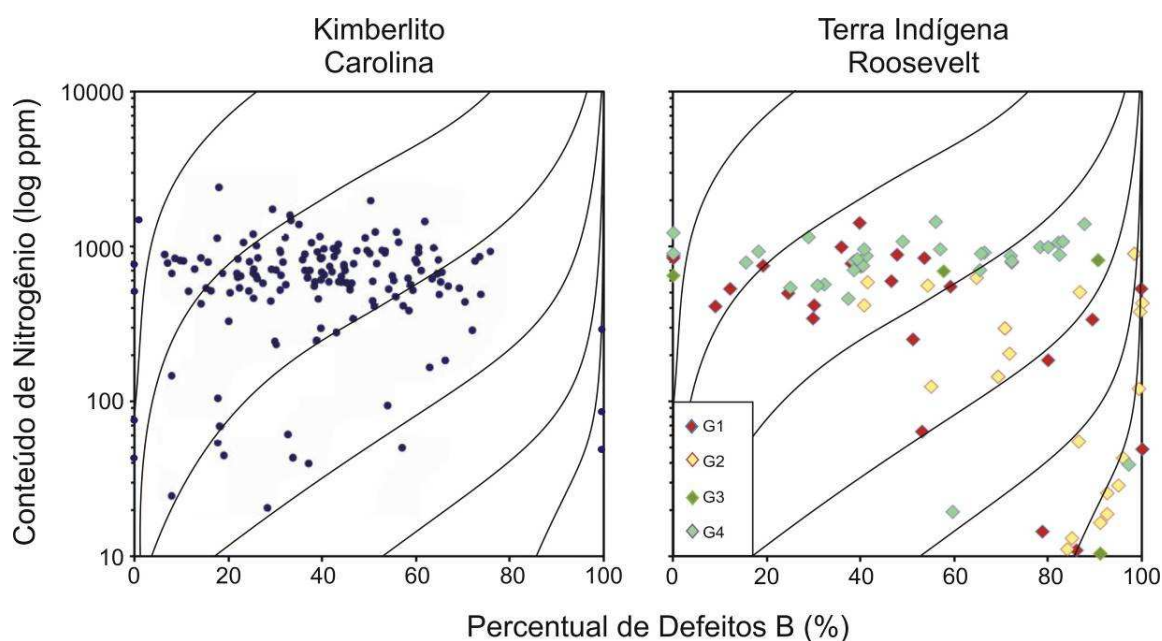


Figura 4.1 – Comparação entre o comportamento das populações de diamantes do kimberlito Carolina (Hunt *et al.* 2008a) e da TI Roosevelt com base na relação conteúdo de nitrogênio versus percentual de defeitos B. Notar o comportamento semelhante dos diamantes correspondentes ao grupo G4 e G1 em relação aos do Carolina.

Observando-se o mapa geológico da região, as fontes também podem ser inferidas pela localização dos depósitos aluvionares (Rio Machado e TI Roosevelt) em relação às bacias hidrográficas locais, que demonstram que os mesmos encontram-se à jusante dos sedimentos da Bacia dos Parecis e dos kimberlitos da região (Figura 4.2).



Figura 4.2 – Mapa geológico simplificado com destaque para os kimberlitos da Província Kimberlítica de Pimenta Bueno e garimpo do Igarapé Lajes (Bulanova *et al.* 2008b).

Fazendo uma comparação com os diamantes da Província Kimberlítica de Juína, apesar de ocorrerem diamantes semelhantes ao grupo G2 nesta região, é provável que as fontes envolvidas na formação dos depósitos aluvionares de Rondônia e Mato Grosso não sejam exatamente as mesmas. Tal fato é demonstrado pela ausência em Juína de cristais provenientes de fontes secundárias antigas, tais como os observados para o grupo G1, além de diversas características morfológicas e de feições superficiais que não são coincidentes aos demais grupos descritos na TI Roosevelt (Araújo 2002, Hutchison *et al.* 1999, Gaspar *et al.* 1998, Kaminsky *et al.* 2001).

Outro fator a ser considerado são as idades mais jovens dos kimberlitos da PKJ, posicionadas no jurássico (198 Ma – Bizzi 1993 *in* Araújo 2002) e, principalmente, no cretáceo (91,6-94,6 – Heaman *et al.* 1998). Em Rondônia, as idades dos corpos são predominantemente carbonífero-permiano-triássicas (~320-220 Ma) (Hunt *et al.* 2008a, Masun e Smith 2008, Zolinger 2005), apesar de também haver relatos de idades cretáceo-terciárias (Zurowski 2003 *in*

Hunt *et al.* 2008a). Assim, é possível que existam fontes primárias relacionadas aos mesmos eventos magmáticos (cretáceo-terciário), mas, de uma forma geral, provavelmente tratam-se de corpos gerados em momentos distintos.

### 4.3. DETERMINAÇÃO DE PROVENIÊNCIA

Conforme exposto nos parágrafos iniciais desta dissertação, a Comunidade Internacional exerceu uma forte pressão sobre as companhias e países responsáveis pela comercialização mundial do diamante, para que as produções relacionadas a atividades ilegais (diamantes de conflitos) não sejam aceitas no mercado formal do mineral. Em virtude disso, atualmente encontra-se em vigor o “Sistema de Certificação do Processo de Kimberley” (SCPK), que tem por objetivo controlar o comércio internacional de diamantes a partir da certificação da origem dos lotes comercializados.

Para que os procedimentos de certificação estabelecidos sejam eficazes, um dos grandes desafios é a determinação da proveniência de diamantes extraídos de depósitos distintos. Estudos científicos têm demonstrado se tratar de uma tarefa difícil, considerando a grande similaridade das características físicas e químicas dos diamantes em geral, e a ausência de técnicas analíticas e metodologias capazes de diagnosticar com precisão as pequenas diferenças entre os cristais (Shigley 2002). Outro problema, considerado o maior deles por Harris (2002), é a inexistência de um banco de dados internacional onde as informações de diamantes dos diversos depósitos poderiam ser confrontadas. No entanto, algumas iniciativas têm sido realizadas com o intuito de resolver tais problemas, e atualmente diversas técnicas estão sendo trabalhadas e aperfeiçoadas para atender a esta demanda, citando-se como exemplo a caracterização morfológica e de feições superficiais, caracterização de aspectos comerciais, caracterização das inclusões, determinação do conteúdo e forma de agregação do nitrogênio por FTIR, determinação de elementos traço por LA-ICP/MS, entre outras (Global Witness 2000, Ankar *et al.* 2002, Sobolev e Taylor 2002, Harris 2002, Chaves e Chambel 2004, Rege *et al.* 2005, Chaves e Benitez 2006, McNeill *et al.* 2008, Weiss *et al.* 2008, entre outros).

Portanto, as técnicas aplicadas no presente estudo e os resultados obtidos podem ser utilizados como possíveis parâmetros identificadores da proveniência de diamantes. Para tanto,

construiu-se um banco de dados contemplando todos os parâmetros (~50) descritos para as 660 pedras analisadas, cujas informações foram estatisticamente trabalhadas de forma a permitir a realização de análises comparativas entre diamantes de outros depósitos descritos. Com isso, os resultados das comparações se mostraram promissores, pois permitiram a detecção de diferenças significativas entre os diamantes de diferentes localidades.

Entretanto, a ausência de uniformização nas metodologias de estudo empregadas pelos diferentes autores dificulta o estabelecimento de parâmetros adequados de comparação entre os diferentes depósitos.

#### 4.3.1. Descrição de Características Óticas, Morfológicas e Texturais

Comparando-se as características morfológicas e texturais dos diamantes da TI Roosevelt com os de 234 exemplares da Província Kimberlítica de Juína-MT, descritos em detalhe por Araújo 2002, pode-se observar na Tabela 4.1 a existência de diversos parâmetros, cujas diferenças são significativas entre os dois depósitos.

Tabela 4.1 – Comparação de características entre diamantes dos depósitos da Província Kimberlítica de Juína-MT (Araújo 2002) e da Terra Indígena Roosevelt-RO. A coluna destacada em verde refere-se aos dados da TI Roosevelt.

Aspectos Morfológicos		Juína (%)				RO (%)			
		Collier-4	Juína-5	SPM	Aluvion.	Total	G1	G2	G4
Morfologia	Tetrahexaedróides	36	6	63	51	72	75	61	82
	Octaedros	11	42	3	15	2	3	0	0
Intercrescimento	Geminados	59	56	58	51	16	5	14	21
Grau de Reabsorção	Categoria 1	55	14	76	63	66	62	64	73
	Categoria 6	9	42	3	15	0	0	0	0
Estado do cristal	Fragmentos	74	72	66	59	25	20	33	24
<b>Figuras de Corrosão</b>									
Octaédricas	Trígonos	20	42	3	10	36	19	50	38
	Hexágonos	8	4	3	10	24	11	55	15
Cúbicas	Degraus	7	0	0	0	24	15	26	31
Tetrahexaedróides	Terraços	0	0	0	0	52	41	34	74
	Hillocks	26	0	8	0	41	20	26	68
Irrestritas	Linhas de Laminação	39	18	34	34	51	18	94	59
	Padrão em Rede	0	0	0	0	30	86	2	0
	Microdepressões Circulares	nd*	nd*	nd*	nd*	11	0	2	28

\*Não descrita

Dessa maneira, é possível notar que entre os depósitos descritos da PKJ, os diamantes extraídos do corpo Juína-5 é o que mais se destaca pelas suas diferenças com os da TI Roosevelt, não sendo observado praticamente nenhum parâmetro coincidente, dentre os relacionados na Tabela 4.1. Contudo, os cristais dos demais depósitos também possuem frequência de características morfológicas e texturais substancialmente diferentes, confirmando as condições genéticas e pós-genéticas distintas entre as duas regiões examinadas.

O mesmo pode ser observado entre 253 diamantes da Bacia do Rio Macaúbas-MG descritos por Karfunkel *et al.* (2001), 1055 do sistema Rio da Prata em Coromandel-MG descritos por Kaminsky *et al.* (2001b) e 561 do kimberlito AK06 em Botswana descritos por Chinn *et al.* (2008) (Tabelas 4.2 e 4.3).

Tabela 4.2 – Comparação de características entre diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO com os de depósitos do Rio Macaúbas-MG (Karfunkel *et al.* 2001) e Coromandel-MG referentes ao sistema do Rio da Prata (região norte e área do Ribeirão do Peixe {RPx}) (Kaminsky *et al.* 2001b). A coluna destacada em verde refere-se aos dados da TI Roosevelt.

Características		Macaúbas (%)	RO (%)	Características		Coromandel (%)		RO (%)
						Norte	RPx	
Grau de Reabsorção	Cat1	32	65	Morfologia	Cubo+Tetra.	<1	1	72
	Cat5	1	2	Coloração	Amarelo	3	5	26
F. Tetrahed.	Hillocks	76	41	Transparência	Transparente	36	37	71
F. Irrestritas	L. Lamin.	42	51		Translúcido	47	58	5
<i>Spots</i>		57	18	<i>Spots</i>	Verdes	50	28	15

Tabela 4.3 – Comparação de características entre diamantes dos depósitos do kimberlito AK06 em Botswana (Chinn *et al.* 2008) e da Terra Indígena Roosevelt-RO. As colunas destacadas em verde referem-se aos dados da TI Roosevelt.

Aspectos Morfológicos		AK06 Botswana (%)			RO (%)			
		Norte	Centro	Sul	Total	G1	G2	G4
Morfologia	“Rounded dodecahedron”	93	83	23	72	75	61	82
	Octaedros	6	16	74	2	3	0	0
	Cubos	0,5	0,6	0,6	0	0	0	0
Estado do cristal	Fragmentos	0,5	0,6	2	25	20	33	24
<b>Figuras de Corrosão</b>								
Octaédricas	<i>Trigons</i>	66	56	97	36	19	50	38
	Hexágonos	31	24	32	24	11	55	15
Cúbicas	<i>Tetragons</i>	37	32	10	43	32	62	41
Tetrahexaedróides	Terraços	38	36	15	52	41	34	74
	<i>Hillocks</i>	~98	~97	~63	41	20	26	68
	Esculturas de Corrosão	2	30	45	3	1	1	6
Irrestritas	Linhas de Laminação	47	42	7	51	18	94	59



Outros parâmetros que podem ser considerados, em associação com as demais características morfológicas, é a distribuição dos cristais em relação ao peso e aos aspectos relacionados à qualidade comercial. Chaves e Chambel (2004) caracterizaram 186.052 diamantes do Rio Jequitinhonha ao norte de Diamantina-MG, com base nas médias de pesos (pedras por quilate) em cada trecho do rio e também em função das características comerciais (gema, chip e industrial). Comparando-se os dados obtidos pelos autores com os da TI Roosevelt, e ressaltando-se a possibilidade de alterações causadas pela grande diferença no tamanho das amostras comparadas, também é possível perceber diferenças significativas entre os referidos parâmetros, confirmando a eficiência desse tipo de análise para a identificação de lotes diamantíferos (Tabelas 4.4 e 4.5).

*Tabela 4.4 – Comparação das características granulométricas entre diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO e do médio rio Jequitinhonha-MG (Chaves e Chambel 2004). As colunas destacadas em verde referem-se aos dados da TI Roosevelt.*

JEQUITINHONHA			RO (Nº de pedras/ct)			
Trechos do rio	Nº pedras/ct (média por trecho)	Nº pedras/ct (média total)	Total	G1	G2	G4
1-2	5,17	8,72	1,62	5,40	1,83	0,94
3-4	6,64					
5-7	9,27					
8-13	12,15					
14	19,36					

Com relação ao peso das amostras, Chaves e Chambel (2004) demonstraram ainda haver uma diminuição no peso dos cristais do primeiro trecho do rio (1/montante) ao último (14/jusante), estabelecendo mais um fator a ser considerado quando se está tratando de depósitos aluvionares. Apesar disso, em todos os trechos, e na média total, os diamantes da TI Roosevelt são consideravelmente maiores do que os do Rio Jequitinhonha. Porém, é interessante notar que os exemplares correspondentes ao grupo G1, possivelmente provenientes de fontes secundárias, apresentam dimensões compatíveis com os primeiro trechos estudados do Rio Jequitinhonha.

Quanto à qualidade comercial, em Rondônia foram observadas quantidades menores de diamantes industriais que no Jequitinhonha, tanto em relação ao percentual de peso, mas principalmente em relação ao percentual do número de pedras, que em Minas Gerais chega a

50% e em Rondônia não passa de 15%. Diamantes classificados como do tipo Gema são mais frequentes na TI Roosevelt em ambos parâmetros de peso e número de pedras, com exceção do grupo G2, cujos cristais são de qualidade relativamente inferior.

*Tabela 4.5 – Comparação das características comerciais em relação ao peso e número de pedras entre diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO e do médio rio Jequitinhonha-MG (Chaves e Chambel 2004). As linhas destacadas em verde referem-se aos dados da TI Roosevelt.*

Depósitos		Percentual Calculado	Qualidade Comercial		
			Industrial	Chip	Gema
JEQUITINHONHA		Peso	21%	27%	52%
		Nº Pedras	50%	21%	29%
RO	Total	Peso	7%	24%	69%
		Nº Pedras	11%	31%	58%
	G1	Peso	9%	12%	79%
		Nº Pedras	11%	16%	73%
	G2	Peso	10%	50%	40%
		Nº Pedras	15%	51%	34%
	G4	Peso	5%	19%	76%
		Nº Pedras	10%	32%	58%

Desse modo, a utilização das características morfológicas, superficiais e comerciais nas análises de proveniência se mostra vantajosa, pois é de baixo custo e não é destrutiva. Porém, para a sua aplicação é necessário que haja uma padronização dos conceitos (gema, chip e industrial p. ex.) e da nomenclatura utilizada para todos os parâmetros, o que atualmente não ocorre. Outros fatores que podem dificultar sua utilização são o tempo necessário para a descrição dos lotes e a habilidade do descritor, que também pode gerar diferenças nas informações obtidas. Para minimizar esses problemas algumas soluções já foram desenvolvidas e outras ainda estão em desenvolvimento. Uma delas é sugerida por Chaves e Benitez (2006), que propõem a formação de um cadastro através do preenchimento de formulários simples, com a descrição das principais características de determinados depósitos. Assim, o procedimento poderia ser realizado ainda no campo e, a partir da análise conjunta dos formulários individuais, seriam fornecidas informações tanto dos depósitos específicos, quanto dos distritos diamantíferos aos quais eles pertencem.

Seguindo o mesmo raciocínio é apresentada a seguir uma proposta de formulário para a descrição sistematizada dos principais aspectos considerados nesta dissertação.

AMOSTRA	DEPÓSITO	LOTE
<b>ASPECTOS GERAIS</b>		
MORFOLOGIA		PESO
Octaédrica <input type="checkbox"/> Cúbica <input type="checkbox"/> Tetrahexaedróide <input type="checkbox"/> Outras <input type="checkbox"/> Qual? _____		
GRAU DE REABSORÇÃO		GRAU DE ABRASÃO
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> Descon. <input type="checkbox"/>		1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6 <input type="checkbox"/> Descon. <input type="checkbox"/>
REGULARIDADE		ESTADO
Regular <input type="checkbox"/> Achatada <input type="checkbox"/> Alongada <input type="checkbox"/> Distorcida <input type="checkbox"/> Descon. <input type="checkbox"/>		Inteiro <input type="checkbox"/> Fragmento <input type="checkbox"/>
INTERCRESCIMENTO		TRANSPARÊNCIA
Macla <input type="checkbox"/> Agregado <input type="checkbox"/> Outros <input type="checkbox"/>		Transparente <input type="checkbox"/> Translúcido <input type="checkbox"/> Fosco <input type="checkbox"/> Opaco <input type="checkbox"/>
COR		
Ausente <input type="checkbox"/> Amarela <input type="checkbox"/> Marrom <input type="checkbox"/> Cinza <input type="checkbox"/> Rosa <input type="checkbox"/> Outra <input type="checkbox"/> Qual? _____		
SPOTS		
Frequência: Ausente <input type="checkbox"/> Discreta <input type="checkbox"/> Intermediária <input type="checkbox"/> Abundante <input type="checkbox"/> Cor: Verde <input type="checkbox"/> Marrom <input type="checkbox"/>		
Densidade: Suave <input type="checkbox"/> Média <input type="checkbox"/> Forte <input type="checkbox"/>		
INCLUSÕES		
Frequência: Ausente <input type="checkbox"/> Discreta <input type="checkbox"/> Intermediária <input type="checkbox"/> Abundante <input type="checkbox"/>		
Cor: Preta <input type="checkbox"/> Vermelha <input type="checkbox"/> Laranja <input type="checkbox"/> Incolor <input type="checkbox"/> Amarela <input type="checkbox"/> Verde <input type="checkbox"/> Outra <input type="checkbox"/> Qual? _____		
QUALIDADE COMERCIAL		
Industrial <input type="checkbox"/> Chip <input type="checkbox"/> Gema <input type="checkbox"/>		
<b>FEIÇÕES SUPERFICIAIS</b>		
OCTAÉDRICAS		
TRIÂNGULOS		
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Orientação: Negativa <input type="checkbox"/> Positiva <input type="checkbox"/> Descon. <input type="checkbox"/> Forma: Plano <input type="checkbox"/> Piramidal <input type="checkbox"/>		
HEXÁGONOS		SUP. OCTAÉDRICAS PLANARES
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>
LAMINAÇÃO		
Ausente <input type="checkbox"/> Comum <input type="checkbox"/> Serrilhada <input type="checkbox"/>		
PLACAS TRIANGULARES		OUTRAS
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Qual? _____
CÚBICAS		
QUADRADOS		
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/> Orientação: Negativa <input type="checkbox"/> Positiva <input type="checkbox"/> Descon. <input type="checkbox"/> Forma: Plano <input type="checkbox"/> Piramidal <input type="checkbox"/>		
DEGRAUS		OUTRAS
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Qual? _____
TETRAHEXAEDRÓIDES		
SHAGREEN		HILLOCKS
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Ausente <input type="checkbox"/> Comum <input type="checkbox"/> Alongado <input type="checkbox"/> Piramidal <input type="checkbox"/> Transversal <input type="checkbox"/>
TERRAÇO		MICRODISCOS
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>
ESCULTURAS DE CORROSÃO		
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		
DEPRESSÕES RASAS		OUTRAS
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Qual? _____
IRRESTRITAS		
LINHAS DE LAMINAÇÃO		SUPERFÍCIES DE CLIVAGEM
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Ausente <input type="checkbox"/> Corroída <input type="checkbox"/> Não Corroída <input type="checkbox"/>
CANAIS DE CORROSÃO		
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		
SUP. QUIMICAMENTE POLIDA		MICRODEPR. CIRCULARES
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>
LINHAS DE MACLA		
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		
MARCAS DE PERCUSSÃO		PADRÃO EM REDE
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>
CAVIDADES DE INCLUSÃO		OUTRAS
Ausente <input type="checkbox"/> Presente <input type="checkbox"/>		Qual? _____
OBSERVAÇÕES:		

Figura 4.3 – Formulário para descrição sistematizada dos aspectos gerais e feições superficiais dos diamantes visando à construção de um banco de dados mineralógicos de depósitos diamantíferos.

Os dados obtidos com a aplicação do formulário proposto podem ser reunidos em um banco de dados computacional, facilitando o cálculo dos percentuais de cada aspecto descrito e a detecção das associações existentes entre eles. Dessa forma, grupos característicos podem ser identificados se estabelecendo o padrão de características do depósito descrito.

Outras soluções abordam a utilização de técnicas de varredura superficial automatizadas (*surface scanning*), como a micro-tomografia de raios-X e outras já utilizadas em empresas do ramo para análises das proporções do cristal antes da lapidação (Global Witness 2000).

#### **4.3.2. Espectroscopia de Infravermelho (FTIR)**

Outra técnica não destrutiva, rápida e de baixo custo, que vem gerando bons resultados é a espectroscopia por infravermelho (FTIR) que determina o comportamento do nitrogênio (conteúdo e agregação) dos diamantes. As populações definidas com base nestes parâmetros demonstram sua aplicabilidade na identificação dos depósitos, considerando que podem existir diferenças consideráveis entre os cristais analisados. Comparações em relação a este aspecto também foram realizadas entre os diamantes da TI Roosevelt e de alguns depósitos aluvionares e primários de Juína-MT (Kaminsky *et al.* 2008) e das localidades de Renard, Nunavut e Jericho no Canadá, descritos respectivamente por Hunt *et al.* (2008b), Banas *et al.* (2008) e De Stefano (2009). Os diagramas apresentados na Figura 4.4 demonstram claramente que os exemplares de Rondônia no total, e principalmente em relação a cada grupo identificado, distribuem-se de formas distintas dos diamantes utilizados como exemplo.

Adicionalmente, características das absorções relacionadas à presença de hidrogênio, carbonato, *platelets*, e outras respostas porventura existentes nos espectros de FTIR, também podem se somar aos demais parâmetros identificadores da proveniência.

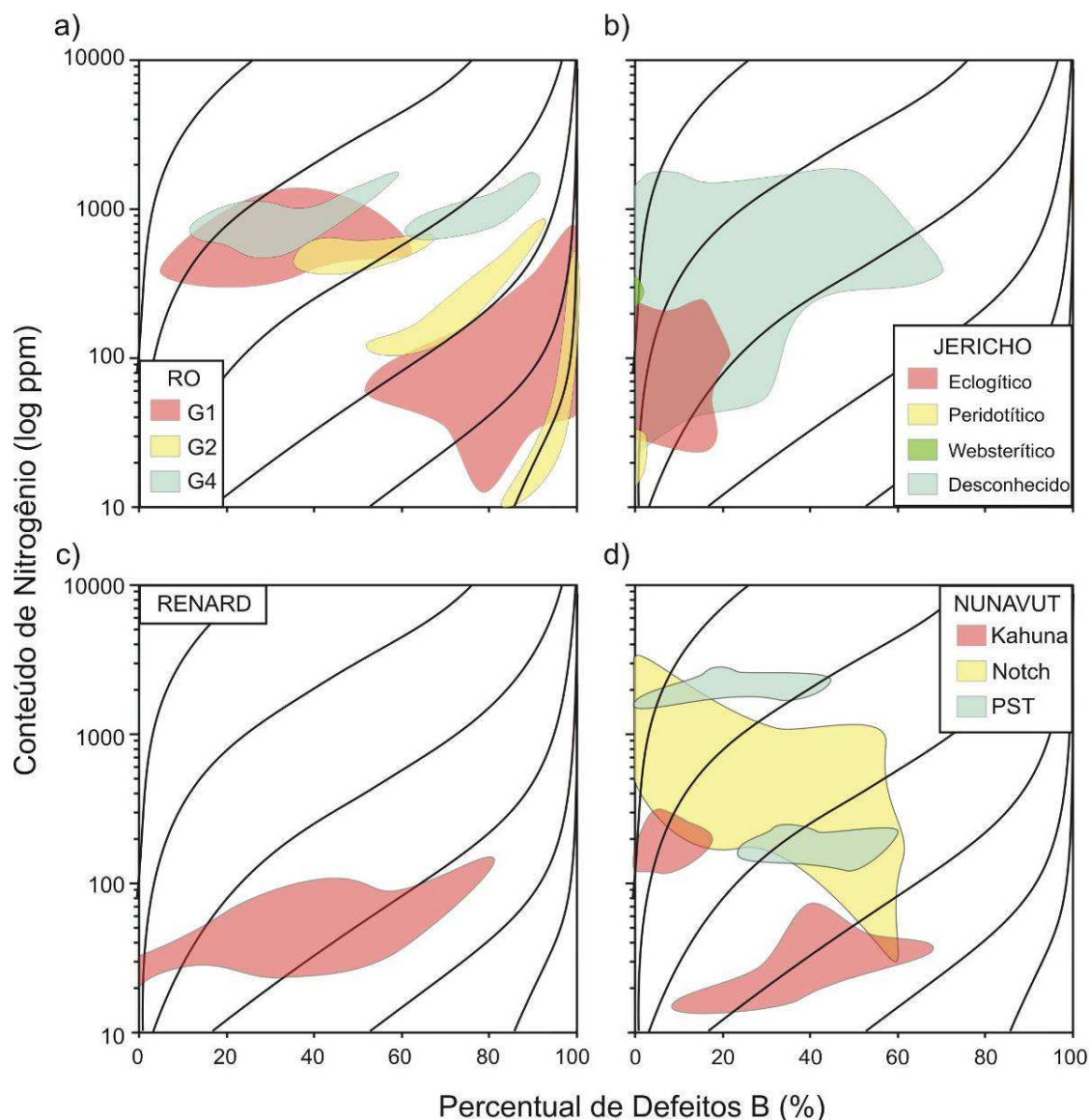


Figura 4.4 – Comparação entre o comportamento das populações de diamantes de diferentes localidades com base na relação conteúdo de nitrogênio versus percentual de defeitos B: a) TI Roosevelt, b) Jericho (De Stefano et al. 2009), c) Renard (Hunt et al. 2008b) e d) Nunavut (Banas et al. 2008).

### 4.3.3. Outras Técnicas

Além das técnicas e parâmetros relacionados acima, existem ainda estudos que demonstram ser possível a utilização de métodos que geram poucos danos à amostra para a obtenção de características diagnósticas de determinados depósitos.

Nesse sentido, Sobolev e Taylor (2002) sugerem a caracterização de inclusões próximas à superfície do cristal como uma maneira de identificar a sua origem. Os autores demonstraram que os diamantes de Yakutia, Rússia, possuem alta frequência de inclusões de cromita (30-55%), cuja abundância não é observada em nenhum outro depósito conhecido no mundo.

Avanços também têm sido realizados na utilização de técnicas analíticas de alto poder de detecção, principalmente por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado com ablação a laser (LA-ICP/MS), para a determinação dos padrões de comportamento de elementos traço e isótopos. Porém, resultados preliminares têm demonstrado que as diferenças existentes entre os padrões de diamantes de localidades distintas podem não ser suficientes para sua utilização em análises de proveniência (Jackson *et al.* 1999, Griffin *et al.* 2006). Um dos principais problemas relacionados ao método é a concentração excessivamente reduzida de impurezas nos diamantes, que normalmente ficam próximas aos limites de detecção dos aparelhos. No entanto, estudos recentes indicam ser possível resolver este problema com a aplicação de métodos de calibração e ablação mais adequados ao tipo de análise (Rege *et al.* 2005, Weiss *et al.* 2008, McNeill *et al.* 2008). Outras desvantagens estão relacionadas ao alto custo da técnica e a relativa danificação da amostra analisada.

Portanto, mesmo havendo a necessidade de realização de mais estudos que estabeleçam métodos sistemáticos e aplicáveis na caracterização e determinação de parâmetros identificadores da proveniência de diamantes, os resultados deste trabalho demonstram que, embora existam características semelhantes entre diamantes de localidades diferentes, dificilmente todos os parâmetros analisados serão coincidentes, de tal modo que sempre haverá alguma diferença passível de detecção por meio das metodologias ora propostas. Para tanto, torna-se necessário que os aspectos descritos em cada depósito sejam tratados estatisticamente e armazenados em um único banco de dados que, por sua vez, permita a comparação de informações entre lotes de procedência desconhecida. Neste sentido, ferramentas computacionais de busca e análise de dados multivariados podem ser de grande utilidade para a sistematização dos procedimentos de verificação de proveniência.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES

---

Os resultados obtidos neste trabalho subsidiaram as conclusões relacionadas a seguir:

Em geral os diamantes estudados apresentam-se inteiros, com morfologia secundária tetrahexaedróide no mais avançado grau de reabsorção (categoria 1) e de regularidade distorcida. São predominantemente incolores ou levemente amarelados, com uma parcela expressiva (27%) de cristais de coloração marrom/rosa. A maioria é transparente, porém 24% apresentam superfícies foscas, devido à presença de texturas finas de corrosão. Inclusões são observadas na maior parte dos exemplares predominando as de coloração preta. Cristais geminados constituem apenas 16% do total, e não foram encontrados exemplares sem sinais de reabsorção. Quanto às feições superficiais predominantes, destacam-se nesta ordem: irrestritas (linhas de laminação, canais de corrosão, superfície quimicamente polida), tetrahexaedróides (*shagreen*, *hillocks* e terraços), octaédricas (laminação e triângulos) e cúbicas (quadrados).

Baseando-se nos aspectos gerais e, principalmente, nas feições superficiais apresentadas, os diamantes da TI Roosevelt foram classificados em 4 grupos, denominados: G1, G2 G3 e G4. O grupo G1 (35%) caracteriza-se principalmente pela presença de superfícies quimicamente polidas, associadas a padrões em rede, marcas de percussão e *spots* de radiação. O grupo G2 (24%) é representado por cristais com textura *shagreen* proeminente, truncada por linhas de laminação e, grande parte (~70%) possui coloração marrom/rosa e superfície fosca. O grupo G3 (6%) é constituído por cristais de morfologia primária relativamente preservada (octaedros e formas transicionais para tetrahexaedróides), pouco reabsorvidos, com alta frequência de laminações octaédricas, triângulos e superfícies octaédricas planares. O grupo G4 (38%) apresenta cristais transparentes, incolores a levemente amarelados, com superfícies lisas com poucas feições proeminentes e alta frequência de feições tetrahexaedróides, tais como terraços, *hillocks* e textura *shagreen*.

Estudos de catodoluminescência e espectroscopia de infravermelho (FTIR) revelaram respostas diferentes em amostras representativas de cada grupo característico. Quanto à catodoluminescência, as imagens demonstram as seguintes características: grupo G1 – emissões verde-amareladas de forte intensidade coincidentes aos exemplares com *spots*, ou azuis de fraca a moderada intensidade com baixa frequência de feições internas; Grupo G2 – emissões azuis e

azuis esverdeadas de fraca a moderada intensidade, com alta frequência de feições internas destacadas por linhas e faixas de coloração amarela e azul, coincidentes às linhas de laminação; Grupo G3 – respostas variadas semelhantes às dos demais grupos, estando relacionadas às mesmas feições características observadas em cada um; Grupo G4 – emissões azuis de forte intensidade com baixa frequência de feições internas.

Os dados de espectroscopia de infravermelho indicam predominância de diamantes tipo Ia (88%), sendo o restante classificado como tipo II. Os teores de nitrogênio concentram-se em três faixas de maior frequência, quais sejam: 0-200, 800-1000 e 400-600 ppm. Quanto ao estado de agregação as frequências ocorrem nas faixas de 30 a 60% e 70 a 100% de nitrogênio em defeitos B. A maior parte dos cristais (73%) apresentou absorções características de defeitos planares (*platelets*) e ainda da presença de hidrogênio. Com relação a cada grupo, os resultados são os seguintes: grupo G1 – teores entre 0 e 900 ppm, com maiores frequências em 800-900, 0-100 e 500-600 ppm, nesta ordem. As agregações distribuem-se homoganeamente em todas as faixas; grupo G2 – alta frequência de cristais com baixo teor de nitrogênio (<100 ppm), sendo aproximadamente 30% classificados em tipo II. O restante distribui-se homoganeamente entre 100 e 600 ppm. Predominam cristais com avançado estado de agregação (>80%); grupo G3 – teores próximos de zero (tipo II) e 600-800 ppm com agregação em 0%, 40%, 58% e 91% para os quatro exemplares do tipo I; grupo G4 – padrão de distribuição normal para os teores de N com moda entre 700 e 1100 ppm e agregação distribuída em todas as faixas, com destaque em 30-50% e 70 a 90%.

As feições observadas nas descrições morfológicas, nas imagens de catodoluminescência e comportamento das absorções relativas ao hidrogênio no FTIR sugerem predominância de crescimento octaédrico em relação ao cúbico, sob condições de mais alta temperatura (baixa razão pressão/temperatura).

As feições superficiais sugerem fontes distintas para cada grupo, quais sejam: G1 – secundária (paleossedimentar) em virtude da presença de marcas de percussão, superfícies de abrasão, *spots*, padrão em rede, superfície polida e alto selecionamento de grãos. O pacote sedimentar localmente alcançou temperaturas acima de 600°C, provavelmente pelo efeito de metamorfismo de contato, registradas pela presença de *spots* de coloração marrom; G2 e G4 – primárias proximais, em virtude da baixa frequência de feições indicativas de abrasão e ambiente



sedimentar; G3 – considerando a presença de feições iguais às observadas em cristais dos grupos G1, G2 e G4, foram interpretados como representantes menos reabsorvidos das mesmas fontes dos demais grupos, que foram protegidos no interior de xenólitos mantélicos.

As feições relacionadas à corrosão e reabsorção, preservadas nos grupos originários de fontes primárias, indicam condições de dissolução diferenciadas: G2 – ambiente com fluidos magmáticos de baixa razão  $H_2O/CO_2$ , sob alta temperatura e/ou alta  $fO_2$ , em que provavelmente houve uma diminuição abrupta da quantidade de fluidos, até alcançar o limite de saturação do sistema, e a diminuição gradativa da temperatura; G4 – ambiente com fluidos magmáticos de alta razão  $H_2O/CO_2$ , em que houve um aumento gradativo das condições de saturação de fluidos no sistema, a partir da diminuição da pressão durante a ascensão do magma transportador. Ressalta-se, contudo, que ainda são necessários maiores estudos a respeito da origem das feições relacionadas à reabsorção e corrosão, visando a uma interpretação precisa das condições atuantes no sistema.

As relações entre teor e estado de agregação dos exemplares definem populações geneticamente distintas para os grupos G2 e G4, sendo o primeiro provavelmente originado sob altas temperaturas ( $>1250^\circ C$ ), possivelmente em zonas profundas do manto (zona de transição e manto inferior), e o segundo, sob condições menos intensas ( $\sim 1100^\circ C$ ), em zonas mais rasas (manto superior). A proveniência de zonas profundas para o G2 é corroborada pela alta frequência de feições deformacionais plásticas (cor marrom/rosa e linhas de laminação), *platelets* degradados e pela ocorrência de cristais dessa natureza em outros depósitos da região (Rio Machado e Juína). O grupo G1 apresenta populações com comportamentos semelhantes às dos demais grupos, podendo ser uma indicação de que os corpos primários que contribuíram para a formação do depósito sedimentar que os contém, sejam os mesmos que atualmente fornecem diamantes aos rios e depósitos aluvionares da região. O grupo G3 também apresenta relações semelhantes aos demais grupos. Para a obtenção de informações mais precisas sobre as condições de gênese dos diamantes da TI Roosevelt é necessário o estudo mineralógico detalhado de suas inclusões.

Os métodos utilizados (caracterização morfológica, ótica e textural, com lupa, MEV, catodoluminescência e FTIR), assim como os resultados obtidos, permitiram a detecção de diferenças significativas entre os diamantes da TI Roosevelt e de localidades diversas, indicando

a viabilidade de sua utilização para a determinação da proveniência de lotes diamantíferos de origem desconhecida.

O estudo realizado permitiu a proposição de um formulário-padrão para uniformização da descrição de diamante e elaboração de um banco de dados, que deve ser informatizado, de modo a permitir a busca automática de feições diagnósticas dos diversos depósitos.

## CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

---

- Almeida F.F.M. 1978. A evolução dos crátons Amazônico e São Francisco comparada com homólogos do hemisfério norte. In: Anais do 30º Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, Recife, 6: 2393-2407.
- Anckar E.C, Gurney J.J. e Thiar C. 2002. A statistical approach to finger-printing run-of-mine diamonds incorporating FTIR spectra, size distributions and physical characteristics. Eos. Transac. Am. Geoph. Union. 83: pS372.
- Araújo D.P. 2002. Mineralogia dos Diamantes da Província Kimberlítica de Juína. Tese de Doutorado. IG/Universidade de Brasília, 195p.
- Araújo D.P., Gaspar J.C. e Bizzi L.A. 2001. Mineralogy of diamonds from the Juína Kimberlite Province, SW Amazon Craton, Brazil: Cathodoluminescence, infrared spectroscopy, nitrogen content, and carbon and nitrogen isotopes. Rev. Brasileira de Geociências, 31(4): 669-671.
- Bahia R.B.C., Martins-Neto M.A., Barbosa M.S.C., Pedreira A.J., 2007. Análise da evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis através de métodos potenciais. Rev. Bras. Geociências. 37(4): 639-649.
- Bahia R.B.C., Martins-Neto M.A., Barbosa M.S.C., Pedreira A.J., 2006. Revisão estratigráfica da Bacia dos Parecis – Amazônia. Rev. Bras. Geociências. 36(4): 692-703.
- Banas A., Strand P., Siemens K. e Stachel T. 2008. Diamond characteristics from two distinct kimberlite types of the Churchill Diamond Project, Nunavut, Canada. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00137: 1-3.
- Banas A., Stachel T., Muehlenbachs K. e McCandless T.E. 2007. Diamonds from the Buffalo Head Hills, Alberta: Formation in a non-conventional setting. Lithos 93: 199-213.
- Bettencourt J.S., Tosdal R.M., Leite Jr. W.B., Payolla B.L., 1999, Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian Craton, Brazil-I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. Precambrian Res. 95: 41-67.
- Bovenkerk H.P. 1961. Some observations on the morphology and physical characteristics of synthetic diamond. The American Mineralogist. 46: 952-963.
- Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. 1995. Infrared absorption by the B nitrogen aggregate in diamond. Phil. Mag. B72(3): 351-361.
- Boyd S.R. e Pillinger C.T. 1994. A preliminary study of <sup>15</sup>N/<sup>14</sup>N in octahedral growth form diamonds, Chem. Geol. 116: 43-59.
- Boyd F.R. e Gurney J.J. 1986. Diamonds and the African Lithosphere. Science, 232: 472-477.
- Boyd S.R., Pineau F. e Javoy M. 1994a. Modeling the growth of natural diamonds. Chem. Geol., 116: 29-42.
- Boyd S.R., Kiflawi I., Woods G.S. 1994b. The relationship between infrared absorption and the A defect concentration in diamond. Phil. Mag. B69(6):1149-1153.
- Brito Neves B.B., Cordani U.G. 1991. Tectonic evolution of South America during the Late Proterozoic. Precambrian Res. 53: 23-40.
- Brozel M.R., Evans T. e Stephenson R.F., 1978. Partial dissociation of nitrogen aggregates in diamond by high temperature-high pressure treatments. Proc. Royal Soc. London, A361:109-127.
- Bulanova G.P. 1995. The formation of diamond. J. of Geoch. Exploration, 53: 1-23.

- Bulanova G.P., Smith C.B., Walter M.J., Blundy J., Gobbo L., EIMF e Kohn S.C., 2008a. Proto-kimberlite ultra-deep diamonds from Collier 4 kimberlite pipe, Juina, Brazil. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00227: 1-3.
- Bulanova G.P., Smith C.B., Kohn S.C., Walter M.J., Gobbo L. e Kearns S. 2008b. Machado River, Brazil – a newly recognised ultradeep diamond occurrence. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00233: 1-3.
- Bulanova G.P., Pearson D.G., Hauri E.H. e Griffin B.J. 2002. Carbon and nitrogen isotope systematic within a sector-growth diamond from the Mir Kimberlite, Yakutia. *Chemical Geology*, 188: 105-123.
- Burns R.C. e Davies G.J. 1992. Growth of synthetic diamonds. In: *The Properties of Natural and Synthetic Diamonds*. (ed. J.E.Field) 710p.
- Burssil L.A. e Glaisher R.W. 1985. Aggregation and dissolution of small and extended defect structures in type Ia diamond. *Am. Mineral.* 70: 608-618.
- Canil, D., Bellis, A.J. 2007. Ferric iron in CaTiO<sub>3</sub> perovskite as an oxygen barometer for kimberlite magmas II: applications. *J. Petrol.* 48(2), 231 – 252.
- Cartigny P., Harris J.W. e Javoy M. 2001. Diamond genesis, mantle fractionations and mantle nitrogen content: a study of  $\delta^{13}\text{C-N}$  concentrations in diamonds. *Earth Planet. Sci. Lett.* 185: 85-98.
- Chaves M.L.S.C. e Benitez L. 2006. O “Certificado do Processo de Kimberley”: Proposta para subsidiar sua implementação em bases científicas. *Geonomos*. 14(1,2): 37-44.
- Chaves M.L.S.C. e Chambel L. 2004. Diamantes do médio rio Jequitinhonha, Minas Gerais: qualificação gemológica e análise granulométrica. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*. 57(4): 267-275.
- Chaves M.L.S.C., Karfunkel J., Stasiulevicius R., Brandão R.G. e Chambel L. 2001. Discussão sobre a natureza das cores verde e marrom (em “capas” ou “verdadeiras”) em diamantes do SE-Brasil (Minas Gerais) e NE-Angola (Lunda). *Rev. Brasileira de Geociências*, 31(4): 575-582.
- Chaves M.L.S.C., Karfunkel J., Banko A., Stasiulevicius R. e Svisero D.P. 1996. Diamantes de capa verde: Frequência, distribuição e possível origem nos depósitos diamantíferos de Minas Gerais. *Boletim do Instituto de Geociências da USP, Série Científica*, 27: 51-60.
- Chinn I., Krug M., Minnie W. e Rikhotso C. Relationships between diamond populations and geology from the AK06 kimberlite, Botswana. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00252: 1-3.
- Chrenko R.M., Tuft R.E. e Strong H.M. 1977. Transformation of the state of nitrogen in diamond. *Nature*, 270: 141-144.
- Cordani U.G., Brito Neves B.B. 1982, The geologic evolution of South America during the Archean and Early Proterozoic. *Rev. Bras. de Geoc.* 12(11-3): 78-88.
- Collins A.T. 1992. The characterisation of point defects in diamond by luminescence spectroscopy. *Diamond and Related Materials*. 1: 457-469.
- Costa J.B.S. e Hasui Y. 1997. Evolução Geológica da Amazônia. In: *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Costa, M.L. and Angélica, R.S. (editores), (SBG), 15-90.
- Davies, G. (1981) Decomposing the IR absorption spectra of diamonds. *Nature*. 290: 40-41.
- Davies R.M., O’Reilly S.Y. e Griffin W.L. 2002. Multiple origins of alluvial diamonds from New South Wales, Australia. *Econ. Geol.* 97: 109-123.

- Davies R.M., Griffin W.L., Pearson N.J., Andrew A.S., Doyle B.J. e O'Reilly S.Y. 1999. Diamonds from the deep: Pipe DO-27, Slave Craton, Canada. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Gurney J.J., Gurney J.L., Pascoe M.D., Richardson S.H. (editors), Cape Town, South Africa, V1: 148-155
- De Stefano A., Kopylova M.G., Cartigny P. e Afanasiev V. 2009. Diamonds and eclogites of the Jericho kimberlite (Northern Canada). *Contrib. Mineral. Petrol.* (disponível apenas na internet no sítio da SpringerLink)
- De Vries R.C. 1975. Plastic deformation and “work-hardening” of diamond. *Mater. Res. Bull.* 10: 1193-1199.
- Deines P., Harris J.W. e Gurney J.J. 1987. Carbon isotopic composition, nitrogen content and inclusion composition of diamonds from the Roberts Victor kimberlite, South Africa: Evidence for a <sup>13</sup>C depletion in the mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51: 1227-1243.
- Evans T. 1992. Aggregation of nitrogen in diamond. In: *The Properties of Natural and Synthetic Diamonds.* (ed. J.E. Field) 710p.
- Evans T. e Qi Z. 1982. The kinetics of the aggregation of nitrogen atoms in diamond. *Proc. Royal Soc. London*, A381: 159-178.
- Evans T. e Phaal C. 1962. Imperfections in type I and type II diamonds. *Proc. Royal Soc. London*, A270: 538-552.
- Evans T. e Sauter D.H. 1961. Etching of Diamond Surfaces with Gases. *Phil. Mag.*, 6: 429-440
- Evans T., Kiflawi I., Luyten W., Vantendeloo G., Woods G.S. 1995. Conversion of platelets into dislocation loops and voidite formation in Type IaB diamonds. *Proc. Royal Soc. London*. A449: 295–313.
- Fedortchouk Y. e Canil D. 2004. Intensive Variables in Kimberlite Magmas, Lac de Gras, Canada and Implications for Diamond Survival. *J. Petrol.* 45(9) 1725-1745.
- Fedortchouk Y., Matveev S., Charnell C. e Carlson J.A. 2008. Kimberlitic fluid as recorded by dissolving diamonds and crystallizing olivine phenocrysts in five Lac de Gras kimberlites, Northwest Territories, Canada. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00279: 1-3
- Fedortchouk Y., Canil D. e Semenets E. 2007. Mechanisms of diamond oxidation and their bearing on the fluid composition in kimberlite magmas. *Am. Mineral* 92: 1200-1212.
- Fedortchouk Y., Canil D. e Carlson J.A. 2005. Dissolution forms in Lac de Gras diamonds and their relationship to the temperature and redox state of kimberlite magma. *Contrib. Mineral. Petrol.* 150: 54-69.
- Fisher D. 2008. Brown diamonds and HPHT treatment. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00405: 1-3
- Frank F.C. e Lang A.R. 1965. In: *The Physical Properties of Diamond.* R. Berman (editor), (ed. Clarendon Press) 443p.
- Frank F.C. e Puttick K.E. 1958. Etch Pits and Trigons on Diamond: II. *Phil. Mag.*, 3: 1273-1279
- Frank F.C., Puttick K.E. e Wilks E.M. 1958. Etch Pits and Trigons on Diamond: I. *Phil. Mag.*, 3: 1262-1272
- Gaspar J.C., Teixeira N.A. e Steele I.M. 1998. Cathodoluminescence of Juína Diamonds. 7<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Cape Town, South Africa. Extended Abstracts: 242-244.
- Gibson S.A., Thompson R.N., Weska R.K., Dickin A.P. e Leonardos O.H. 1997. Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol.* 126: 303-314.

- Global Witness 2000. Conflict Diamonds – Possibilities for the Identification, Certification and Control of Diamonds. Working Document. (ed. Global Witness) 40p.
- Goss J.P., Coomer B.J., Jones R. e Fall C.J. 2003. Extended defects in diamond: The interstitial platelet. *Physical Review B* 67: 165208.
- Griffin W.L., Rege S., O'Reilly S.Y., Jackson S.E., Pearson N.J., Zedgenizov D. e Kurat G. 2006. Trace element patterns of diamond: Toward a unified genetic model. 16<sup>th</sup> Goldschmidt Conference, Melbourne, Australia. *Geochim. Cosmochim. Acta* 70: A218.
- Griffin W.L., Win T.T., Davies R., Wathanakul P., Andrew A., Metcalfe I., Cartigny P. 2001. Diamonds from Myanmar and Thailand: characteristics and possible origins. *Econ. Geol.* 96: 159-170.
- Gurney J.J., Hildebrand P.R., Carlson J.A., Fedortchouk Y. e Dyck D.R. 2004. The morphological characteristics of diamonds from the Ekati property, Northwest Territories, Canada. *Lithos* 77: 21-38.
- Haggerty S.E. 1986. Diamond genesis in a multiply-constrained model. *Nature*, 320: 34-38.
- Hanley P.L., Kiflawi I. e Lang A.R. 1977. On topographically identifiable sources of cathodoluminescence in natural diamonds. *Phil. Trans. Royal Soc. London.* A284: 329-368.
- Haralyi N.L.E. e Rodrigues L.P. 1992. Considerações sobre a utilização do diamante de “casca” verde e marrom em paleogeotermometria. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 37, SBG, São Paulo, Boletim de Resumos Expandidos. V2: 432-433.
- Harris J.W. 2002. Diamond provenance through shape, colour, surface features and value. *Eos. Transac. Am. Geoph. Union.* 83: pS370.
- Harris J.W. 1992. Diamond Geology. In: *The Properties of Natural and Synthetic Diamonds.* (ed. J.E. Field) 710p.
- Harris, J.W., 1987. Recent physical, chemical, and isotopic research of diamonds. In: *Mantle Xenoliths*, P.H. Nixon (Editor), (ed. John Wiley and Sons) p477-500.
- Harris J.W. e Gurney J.J. 1979 Inclusions in diamond. In: *The Properties of Diamond.* (ed. Academic Press) 555-591.
- Harte B. e Harris J.W. 1994. Lower Mantle Mineral Associations Preserved in Diamonds. *Min. Mag.* 58A: 384-385.
- Hasui Y., Haraly N.L.E. e Schobbenhauss C., 1984, Elementos geofísicos e geológicos da região amazônica: Subsídios para o modelo geotectônico. 2º Symposium Amazonico, Anais. 129-148.
- Hayman P., Kopylova M. e Kaminsky F.V. 2005. Lower mantle diamonds from Rio Soriso (Juina area, Mato Grosso, Brazil). *Contrib. Mineral. Petrol.* 149: 430-445.
- Hayman P., Kopylova M. e Kaminsky F.V. 2003. Alluvial Diamonds from the Rio Soriso (Juina, Brazil). 8<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Victoria, Canada, Long Abstract FLA-0320: 1-5
- Heaman L., Teixeira N.A., Gobbo L., Gaspar J.C. 1998. U-Pb mantle zircon ages for kimberlites from the Juina and Paranatinga provinces, Brazil. In: VIIth International Kimberlite Conference, Cape Town, South Africa, Extended abstracts: 322-324
- Hunt L., Stachel T., Morton R., Grütter H., 2008a. The Carolina kimberlite, Brazil – insights into an unconventional diamond deposit. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00181: 1-3
- Hunt L., Stachel T. e McCandless T.E. 2008b. Diamonds from the Renard kimberlites, Quebec. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00185: 1-3

- Hutchison M.T., Cartigny, P. e Harris J.W. 1999 Carbon and nitrogen composition and physical characteristics of transition zone and lower mantle diamonds from São Luiz, Brazil. In: Proceedings of 7<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Gurney J.J., Gurney J.L., Pascoe M.D., Richardson S.H. (editors), Cape Town, South Africa, V1: 372-382
- Jackson S.E., Davies R.M., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. e Doyle B. 1999. Quantitative LAM-ICPMS analysis of trace elements in diamonds. 9<sup>th</sup> Goldschmidt Conference, Cambridge, Massachusetts, Abstract: 7361.
- Janse A.J.A., 1994. Is Clifford's rule still valid? Affirmative examples from around the world. In: Proceedings of 5<sup>th</sup> Kimberlite Conference, Araxá, Brazil, 1991, (CPRM), V2: 215–235.
- Kaiser W. e Bond W.L. 1959. Nitrogen, A Major Impurity in Common Type I Diamond. *Physical Review*, 115: 857-863.
- Kaminsky F.V. e Khachatryan G.K. 2004. The relationship between the distribution of nitrogen impurity centres in diamond crystals and their internal structure and mechanism of growth. *Lithos*, 77: 255-271.
- Kaminsky F.V. e Khachatryan G.K. 2001. Characteristics of nitrogen and other impurity in diamond as revealed by infrared absorption data. *Can. Mineral.* 39(6): 1735-1745.
- Kaminsky F.V., Khachatryan G.K., Andrezza P., Araujo D.P. e Griffin W.L. 2008. Super-deep diamonds from kimberlites in the Juina area, Mato Grosso State, Brazil. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00005: 1-3.
- Kaminsky F.V., Zakharchenko O.D., Davies R., Griffin W.L., Khachatryan-Blinova G.K. e Shiryaev A.A. 2001a. Superdeep diamonds from the Juina area, Mato Grosso State, Brazil. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 140: 734-753.
- Kaminsky F.V., Zakharchenko O.D., Khachatryan G.K e Shiryaev A.A. 2001b. Diamonds from the Coromandel area, Minas Gerais, Brazil. *Rev. Brasileira de Geociências*, 31(4): 583-596.
- Kanda H. e Yamaoka S. 1993. Inhomogeneous distribution of nitrogen impurities in {111} growth sectors of high pressure synthetic diamond. *Diamond and Related Materials* 2, 1420-1423.
- Kanda H., Yamaoka S. e Setaka N. 1977. Etching of diamond octahedrons by high pressure water. *J. Crystal Growth*. 38: 1-7.
- Karfunkel J., Martins M.S., Scholz R. e McCandless T. 2001. Diamonds from the Macaúbas River Basin (MG, Brazil): characteristics and possible source. *Rev. Brasileira de Geociências*, 31(4): 445-456.
- Khachatryan G.K. e Kaminsky F.V. 2003. 'Equilibrium' and 'nonequilibrium' diamonds from deposits in the East European platform, as revealed by infrared absorption data. *Can. Mineral.* 41(1): 171-184.
- Khokhryakov A.F. e Palyanov Y.N. 2008. Diamond dissolution forms in water-containing and Water-Free Carbonate Melts. 9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00071: 1-3
- Kiflawi I., Mayer A.E., Spear P.M., Van Wyk J.A. e Woods G.S. 1994. Infrared absorption by the single nitrogen and A defect centres in diamond. *Phil. Mag.* B69(6): 1141-1147.
- Kozai, Y. e Arima, M. 2005. Experimental study on diamond dissolution in kimberlitic and lamproitic melts at 1300-1420 C and 1 GPa with controlled oxygen partial pressure. *Am. Mineral.*, 90: 1759.1766.
- Lang A.R., Bulanova G.P., Fisher D., Furkert S. e Sarua A. 2007. Defects in a mixed-habit Yakutian diamond: Studies by optical and cathodoluminescence microscopy, infrared absorption, Raman scattering and photoluminescence spectroscopy. *J. Crystal Growth*, 309: 170-180.

- Lang A.R., Yelissev A.P., Pokhilenko N.P., Steeds J.W. e Wotherspoon A. 2004. Is dispersed nickel in natural diamonds associated with cuboid growth sectors in diamonds that exhibit a history of mixed-habit growth? *J. Crystal Growth*. 263: 575-589.
- Litherland M. e Bloomfield K. 1981. The Proterozoic history of eastern Bolivia. *Precambrian Res.* 15: 157-179
- Luth R.W. 1993. Diamonds, eclogites, and the oxidation state of the Earth's mantle. *Science*. 261: 66-68.
- Masun K.M. e Smith S. 2008. The Pimenta Bueno kimberlite field, Rondônia, Brazil: Tuffistic kimberlite and transitional textures. *J. Volcan. Geothermal Res.*, 174: 81-89
- McCallum M.E., Huntley P.M., Falk R.W. e Otter M.L. 1994. Morphological, resorption and etch feature trends of diamonds from kimberlite populations within the Colorado-Wyoming State Line District, USA. In: *Proceedings of 5<sup>th</sup> Kimberlite Conference, Araxá, Brazil, 1991, (CPRM), V2:32-50.*
- McCandless T.E., Waldman M.A. e Gurney J.J. 1994. Macrodiamonds and microdiamonds from Murfreesboro lamproites, Arkansas: morphology, inclusions and carbon isotope geochemistry. In: *Proceedings of 5<sup>th</sup> Kimberlite Conference, Araxá, Brazil, 1991, (CPRM), V2: 78-97.*
- McNeill J.C.R., BenDavid O.K., Nowell G.M., Pearson D.G. e Ottley C.J. 2008. Tracing diamond genesis and provenance: Sr-Nd isotope and trace element compositions of fibrous diamonds from the Congo and application to gem quality samples. *9<sup>th</sup> International Kimberlite Conference, Frankfurt, Germany, Extended Abstract N° 9IKC-A-00056: 1-3*
- Mendelsohn M.J. e Milledge H.J. 1995a. Geologically significant information from routine analysis of the mid-infrared spectra of diamonds. *Int. Geol. Rev.* 37: 95-110.
- Mendelsohn M.J. e Milledge H.J. 1995b. Morphological characteristics of diamond populations in relation to temperature-dependent growth and dissolution rates. *Int. Geol. Rev.* 37: 285-312.
- Meyer H.O.A. 1987. Inclusions in diamond In: *Mantle Xenoliths Nixon P.H. (Editor), (ed. John Wiley and Sons) p501-522.*
- Meyer H.O.A. e Boyd F.R. 1972. Composition and origin of crystalline inclusions in diamonds. *Geochim. Cosmochim. Acta* 36: 1255-1273.
- Meyer H.O.A., Milledge H.J. e Nave E. 1965. Natural irradiation damage in Ivory Coast diamonds. *Nature* 206: p392
- Nasdala L., Gigler A.M., Wildner M., Grambole D., Zaitsev A.M., Harris J.W., Hofmeister W., Milledge H.J. e Satitkune S. 2008. Alpha-radiation damage in diamond. *18<sup>th</sup> Goldschmidt Conference, Vancouver, Canada. Geochim. Cosmochim. Acta* 72: A672.
- Orlov Y.L. 1977. *The Mineralogy of the Diamond.* (ed. John Wiley & Sons), New York, 235p.
- Otter M.L., McCallum M.E. e Gurney J.J. 1994. A physical characterization of the Sloan (Colorado) diamonds using a revised diamond description scheme. In: *Proceedings of 5<sup>th</sup> Kimberlite Conference, Araxá, Brazil, 1991, (CPRM), V2:32-50.*
- Palyanov Y.N., Khokhryakov A.F., Borzdov Y.M., Sokol A.G., Gusev V.A., Rylov G.M., Sobolev N.V. 1997. Growth conditions and real structure of synthetic diamond crystals. *Russ. Geol. Geophys.* 38(5): 920-945.
- Patel A.R. e Ramanathan S. 1962. Etch pits on diamond surfaces. *Phil. Mag.* 7: 1305-1314.
- Pandeya D.C. e Tolansky S. 1961. Micro-disk patterns on diamond dodecahedra. *Proc. Phys. Soc.* 78: 12-16.
- Raal F.A. 1969. A study of some gold mine diamonds. *Am. Mineral.* 54: 292-296.



- Rege S., Jackson S., Griffin W.L., Davies R.M., Pearson N.J. e O'Reilly S.Y. 2005. Quantitative trace-element analysis of diamond by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry. *J. Anal. At. Spectrom.* 20: 601-611.
- Rizzoto G.J., Quadros M.L.E.S e Castro J.M.R. 2007. In: *Geologia e recursos minerais do estado de Rondônia*, (CPRM), 12-67p.
- Robertson R., Fox J.J. e Martin A.E. 1934. Two types of diamond. *Phil. Trans. Royal Soc. London.* A232: 463-538.
- Robinson D.N. 1980. *Surface Textures and other Features of Diamonds*. Tese de Doutorado. Natal, África do Sul. 221p.
- Sadowski G.R. e Bettencourt J.S. 1996. Mesoproterozoic tectonic correlations between eastern Laurentia and the western border of the Amazonian Craton. *Precambrian Res.* 76: 213-227.
- Santos J.O.S, Rizzoto G.J., Potter, McNaughton N.J., Matos R.S., Hartmann L.A., Chemale Jr. F., Quadros M.E.S., 2008. Age and autochthonous evolution of the Sunsás Orogen in West Amazon Craton based on mapping and U-Pb geochronology. *Precambrian Res.* 165: 120-152.
- Sato K. e Tassinari C.C.G. 1997. Principais eventos de acreção continental no Cráton Amazônico baseados em idade modelo Sm-Nd, calculada em evoluções de estágio único e estágio duplo. In: *Contribuições à Geologia da Amazônia*. Costa, M.L. and Angélica, R.S., (editores), (SBG). 91-142.
- Scarratt K. 1992. Box A: a note on diamond types. *Gems & Gemmology*, Spring issue: 38-42.
- Sellschop J.P.F. 1992. Nuclear Probes in the Study of Diamonds. In: *The Properties of Natural and Synthetic Diamonds*. (ed. J.E. Field) 710p.
- Shigley, J. 2002. Identifying the source of gem diamonds: requirements for a certification system. *Eos. Transac. Am. Geoph. Union.* 83: pS369.
- Sobolev N.V. e Taylor L.A. 2002. Determining the provenance of a diamond: chromite inclusions as a russian signature. *Eos. Transac. Am. Geoph. Union.* 83: pS370.
- Sonin V.M., Zhimulev E.I., Fedorov I.I. e Chepurov A.I. 2006. Effect of Oxygen Fugacity on the Etching Rate of Diamond Crystals in Silicate Melt. *Geol. Ore Deposits* 48(6): 499-501.
- Stachel T. 2003. Peridotitic and Eclogitic Diamond Sources and the Origin of Cratonic Roots in Introduction to diamond research. Artigo publicado na página da internet do Diamond Research Group of University of Alberta.
- Stachel T., Harris J.W., Aulbach S. e Deines P. 2002. Kankan diamonds (Guinea) III:  $\delta^{13}$  and nitrogen characteristics of deep diamonds. *Contrib. Mineral. Petrol.* 142: 465-475
- Tassinari C.C.G. e Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes.* 22: 174-182.
- Taylor W.R., Canil D e Milledge H.J. 1996. Kinetics of Ib to IaA nitrogen aggregation in diamond. *Geoch. Cosmochim. Acta* 60(23): 4725-4733.
- Taylor W.R., Jaques A.L. e Ridd M. 1990. Nitrogen-defect aggregation characteristics of some Australasian Diamonds: Time-temperature constraints on the source regions of pipe and alluvial diamonds. *Am. Mineral.* 75: 1290-1310.
- Teixeira W., Tassinari C.C.G., Cordani U.G. e Kawashita K. 1989. A review of the geochronology of the Amazonian Craton: Tectonic Implications. *Precambrian Res.* 42: 213-227.
- Urusovskaya A.A. e Orlov Y.L. 1964. Nature of plastic deformation of diamond crystals. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 154: 112-115
- Vance E.R. e Milledge H.J. 1972. Natural and laboratory  $\alpha$ -particle irradiation of diamond. *Min. Mag.*, 38: 878-881.

- Vance E.R., Harris J.W. e Milledge H.J. 1973. Possible origins of  $\alpha$ -damage in diamonds from kimberlite and alluvial sources. *Min. Mag.* 39: 349-360.
- Weiss Y., Griffin W.L., Elhlou S. e Navon O. 2008. Comparison between LA-ICP-MS and EPMA analysis of trace elements in diamonds. *Chem. Geol.* 252: 158-168.
- Woods G.S. 1986. Platelets and infrared absorption of type Ia diamonds. *Proc. Royal Soc. London.* A407: 219-238.
- Woods G.S. e Collins A.T. 1983 Infrared absorption spectra of hydrogen complexes in type I diamonds. *J. Phys. Chem. Solids.* 44(5): 471-475
- Woods G. S., Van Wyk J. A., Collins A. T. 1990. The nitrogen content of type Ib synthetic diamond. *Phil. Mag.* B62: 589-595.
- Wilks E.M. e Wilks J. 1972. The resistance of diamond to abrasion. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 5: 1902-1926.
- Zolinger I.T. 2005 As intrusões de afinidade kimberlítica E1 e Es1 da Região de Colorado do Oeste, Rondonia. 2005. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 130p.

## ANEXO I

---

### Relação de Amostras por Grupos Característicos

Amostra	Grupo	Amostra	Grupo	Amostra	Grupo	Amostra	Grupo	Amostra	Grupo
1	G4	58	G4	115	G4	172	G2	229	G2
2	G4	59	G4	116	G4	173	G2	230	G2
3	G4	60	G1	117	G4	174	G2	231	G2
4	G4	61	G1	118	G4	175	G2	232	G4
5	G4	62	G4	119	G4	176	G4	233	G2
6	G4	63	G4	120	G1	177	G4	234	G4
7	G4	64	G4	121	G4	178	G2	235	G2
8	G4	65	G4	122	G4	179	G2	236	G2
9	G4	66	G4	123	G4	180	G2	237	G2
10	G4	67	G4	124	G4	181	G2	238	G2
11	G4	68	G2	125	G4	182	G4	239	G2
12	G4	69	G4	126	G4	183	G2	240	G4
13	G4	70	G4	127	G4	184	G4	241	G1
14	G4	71	G1	128	G4	185	G4	242	G3
15	G4	72	G4	129	G4	186	G2	243	G3
16	G4	73	G3	130	G4	187	G2	244	G4
17	G4	74	G1	131	G4	188	G2	245	G4
18	G4	75	G4	132	G4	189	G4	246	G1
19	G4	76	G2	133	G4	190	G2	247	G4
20	G3	77	G4	134	G4	191	G2	248	G3
21	G4	78	G4	135	G1	192	G2	249	G4
22	G4	79	G4	136	G4	193	G2	250	G4
23	G4	80	G4	137	G4	194	G2	251	G4
24	G4	81	G4	138	G1	195	G2	252	G3
25	G4	82	G4	139	G2	196	G2	253	G4
26	G4	83	G1	140	G2	197	G2	254	G2
27	G4	84	G4	141	G2	198	G2	255	G1 G2
28	G3	85	G4	142	G4	199	G2	256	G3
29	G4	86	G4	143	G4	200	G2	257	G2
30	G4	87	G1	144	G2	201	G2	258	G1
31	G4	88	G4	145	G2	202	G2	259	G4
32	G4	89	G4	146	G3	203	G2	260	G4
33	G4	90	G4	147	G2	204	G2	261	G4
34	G4	91	G4	148	G1	205	G2	262	G4
35	G4	92	G4	149	G4	206	G2	263	G3
36	G4	93	G3	150	G1	207	G4	264	G1
37	G4	94	G4	151	G4	208	G2	265	G4
38	G4	95	G2	152	G2	209	G4	266	G1
39	G4	96	G4	153	G2	210	G1	267	G2
40	G1	97	G4	154	G4	211	G4	268	G1
41	G4	98	G4	155	G1	212	G2	269	G1
42	G4	99	G4	156	G1	213	G2	270	G4
43	G1	100	G2	157	G4	214	G4	271	G4
44	G4	101	G4	158	G2	215	G1	272	G4
45	G4	102	G4	159	G2	216	G3	273	G1
46	G4	103	G1	160	G2	217	G3	274	G3
47	G4	104	G4	161	G2	218	G3	275	G4
48	G4	105	G4	162	G2	219	G4	276	G4
49	G4	106	G4	163	G4	220	G4	277	G2
50	G1	107	G4	164	G2	221	G4	278	G4
51	G3	108	G2	165	G2	222	G4	279	G1
52	G4	109	G4	166	G4	223	G2	280	G1
53	G1	110	G4	167	G4	224	G2	281	G4
54	G1	111	G4	168	G4	225	G2	282	G4
55	G1	112	G4	169	G2	226	G2 G3	283	G2
56	G3	113	G4	170	G4	227	G2	284	G1
57	G4	114	G4	171	G2	228	G1	285	G2

Amostra	Grupo	Amostra	Grupo	Amostra	Grupo	Amostra	Grupo	Amostra	Grupo
286	G4	343	G4	400	G1	457	G2 G3	514	G4
287	G2	344	G3	401	G2	458	G4	515	G2
288	G2	345	G4	402	G1	459	G2	516	G1
289	G4	346	G1	403	G4	460	G2	517	G1
290	G2	347	G1	404	G2	461	G4	518	G1
291	G2	348	G2	405	G1	462	G4	519	G1
292	G4	349	G4	406	G1	463	G4	520	G1
293	G2	350	G4	407	G2	464	G4	521	G1
294	G4	351	G4	408	G4	465	G2	522	G2
295	G4	352	G4	409	G2	466	G2	523	G1
296	G2	353	G1	410	G2	467	G2	524	G2
297	G2	354	G4	411	G2	468	G4	525	G1
298	G2	355	G1	412	G4	469	G4	526	G2
299	G4	356	G2	413	G2	470	G2	527	G4
300	G3	357	G2	414	G1	471	G4	528	G1
301	G1	358	G4	415	G2	472	G4	529	G4
302	G2	359	G4	416	G1	473	G4	530	G1
303	G2	360	G4	417	G2 G3	474	G2	531	G1
304	G1	361	G4	418	G1	475	G2	532	G2
305	G4	362	G1	419	G3	476	G2	533	G4
306	G1	363	G1	420	G1	477	G2	534	G4
307	G1	364	G4	421	G1	478	G2	535	G2
308	G4	365	G4	422	G4	479	G2	536	G2
309	G1	366	G1	423	G1	480	G2	537	G4
310	G1	367	G4	424	G4	481	G1	538	G2
311	G4	368	G4	425	G4	482	G2	539	G1
312	G4	369	G2	426	G4	483	G2	540	G1
313	G1	370	G4	427	G4	484	G2	541	G1
314	G1	371	G1	428	G1	485	G1	542	G1
315	G1	372	G2	429	G4	486	G4	543	G1 G3
316	G4	373	G3	430	G4	487	G1	544	G1
317	G1	374	G2 G3	431	G2	488	G1	545	G1
318	G4	375	G4	432	G4	489	G4	546	G4
319	G1	376	G1	433	G4	490	G1	547	G1
320	G1	377	G4	434	G4	491	G1	548	G1
321	G2	378	G2	435	G4	492	G2	549	G1
322	G1 G3	379	G2	436	G1	493	G1	550	G1
323	G1	380	G1	437	G1 G3	494	G4	551	G1
324	G1	381	G1	438	G1	495	G1	552	G1
325	G1 G3	382	G4	439	G4	496	G1	553	G1
326	G1	383	G2	440	G4	497	G1	554	G1
327	G1	384	G1	441	G1	498	G1	555	G1
328	G2	385	G1	442	G2	499	G1	556	G1
329	G2 G3	386	G1	443	G2	500	G1	557	G1
330	G1	387	G2	444	G2	501	G1	558	G2
331	G1	388	G2	445	G4	502	G4	559	G2
332	G1	389	G2	446	G1 G2	503	G1	560	G2
333	G2	390	G1	447	G1	504	G1	561	G1
334	G1	391	G1	448	G2	505	G4	562	G1
335	G2	392	G1	449	G1	506	G1	563	G1
336	G2	393	G1	450	G1	507	G1	564	G1
337	G1	394	G1	451	G2	508	G1 G2	565	G2
338	G1	395	G1	452	G2	509	G1	566	G1
339	G4	396	G1	453	G2	510	G4	567	G1
340	G1	397	G1	454	G4	511	G1	568	G1
341	G4	398	G1	455	G2	512	G1	569	G4
342	G1	399	G1	456	G1 G3	513	G2	570	G1

Amostra	Grupo	Amostra	Grupo	Amostra	Grupo	Amostra	Grupo	Amostra	Grupo
571	G4	589	G1	607	G1	625	G3	643	G2
572	G2	590	G1	608	G3	626	G1 G3	644	G3
573	G1	591	G1	609	G1	627	G1	645	G1 G3
574	G1	592	G1	610	G1	628	G1	646	G1
575	G1	593	G1	611	G1	629	G1	647	G1
576	G1 G2	594	G1	612	G1	630	G4	648	G1
577	G4	595	G1	613	G1	631	G1	649	G1 G3
578	G1	596	G1	614	G1	632	G1	650	G1
579	G1	597	G1	615	G1	633	G1	651	G1
580	G4	598	G1	616	G1	634	G1	652	G1
581	G4	599	G1	617	G4	635	G1	653	G4
582	G4	600	G1	618	G4	636	G1	654	G4
583	G1	601	G1	619	G1	637	G1	655	G4
584	G4	602	G4	620	G1	638	G4	656	G1
585	G1	603	G1	621	G3	639	G1	657	G1
586	G1	604	G1 G3	622	G3	640	G1 G3	658	G2
587	G1	605	G1	623	G1	641	G1	659	G2
588	G1	606	G1	624	G1	642	G1	660	G1

## ANEXO II

---

### Microfotografias dos Diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO

A: Amostra 025 (G4) – Canais de corrosão;

B: Amostra 027 (G4) – Microdiscos abundantes;

C: Amostra 028 (G3) – *Trígons* abundantes e asperezas *knob-like*;

D: Amostra 030 (G4) – Linhas de laminação e inclusões pretas;

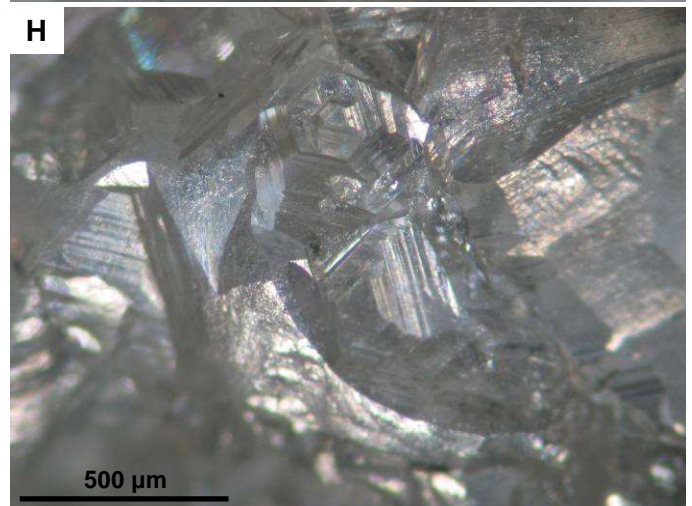
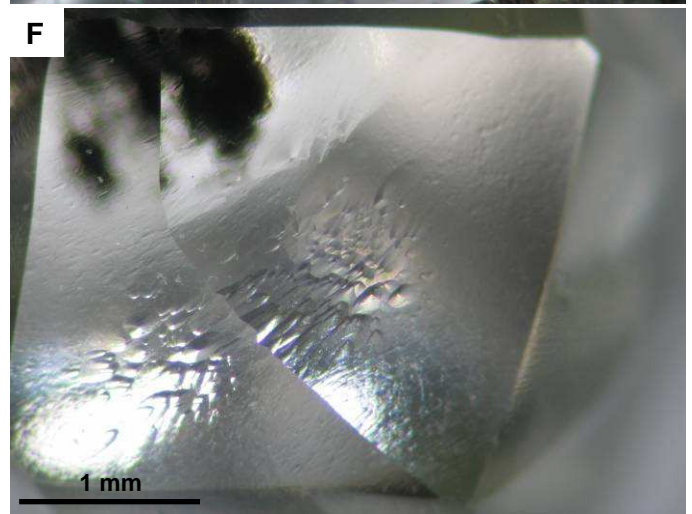
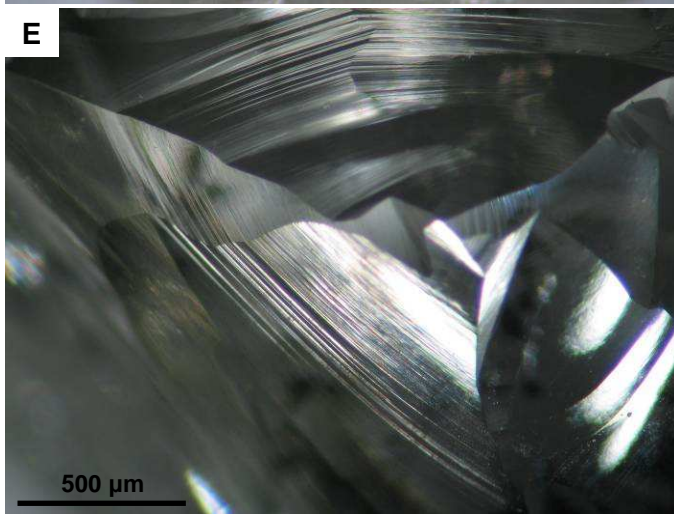
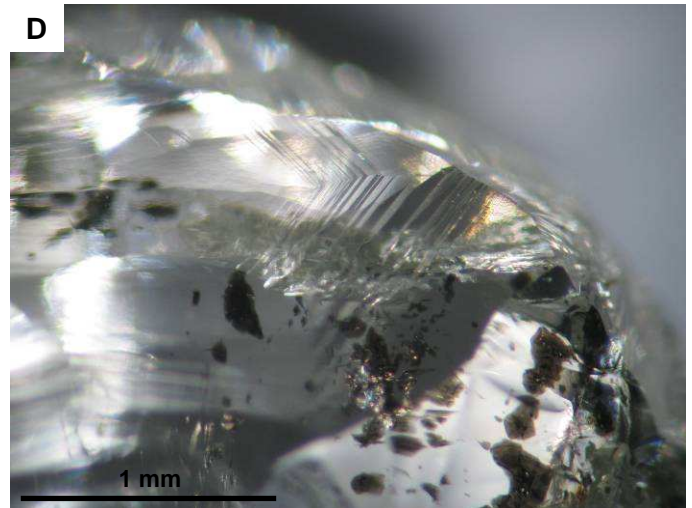
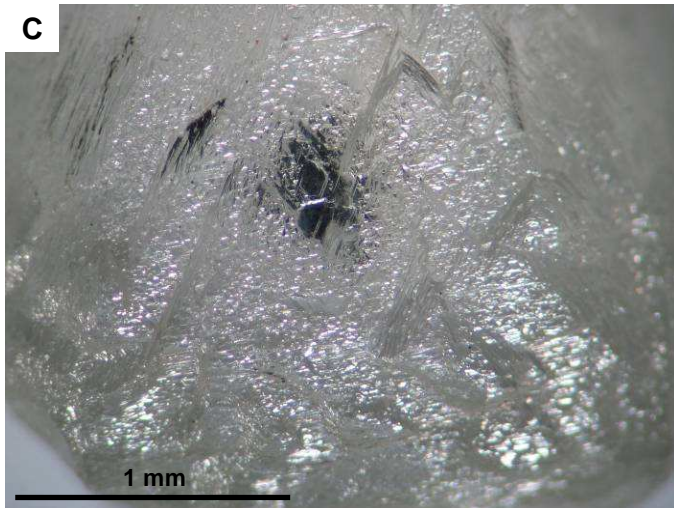
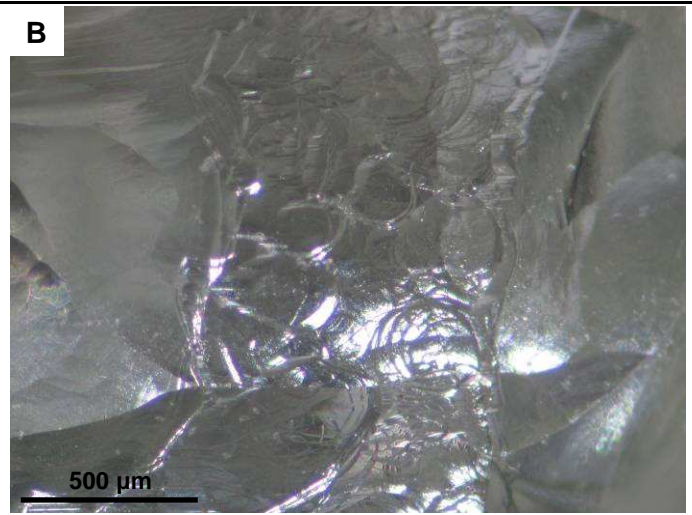
E: Amostra 030 (G4) – Terraços concêntricos;

F: Amostra 031 (G4) – *Hillocks* em face tetrahexaédrica;

G: Amostra 033 (G4) – Depressão hexagonal e linhas de estratificação em cristal de superfície fosca;

H: Amostra 033 (G4) – Hexágonos e *trígons* em cristal de superfície fosca e textura *shagreen* proeminente;





I: Amostra 036 (G4) – Inclusões vermelhas, laranjas e pretas com aspecto de percolação;

J: Amostra 040 (G1) – Protuberâncias sobre linhas de laminação em cristal com superfície quimicamente polida. Notar arredondamento das arestas;

L: Amostra 041 (G4) – Terraços e figuras de corrosão truncadas resultando em formas triangulares, hexagonais e pentagonais;

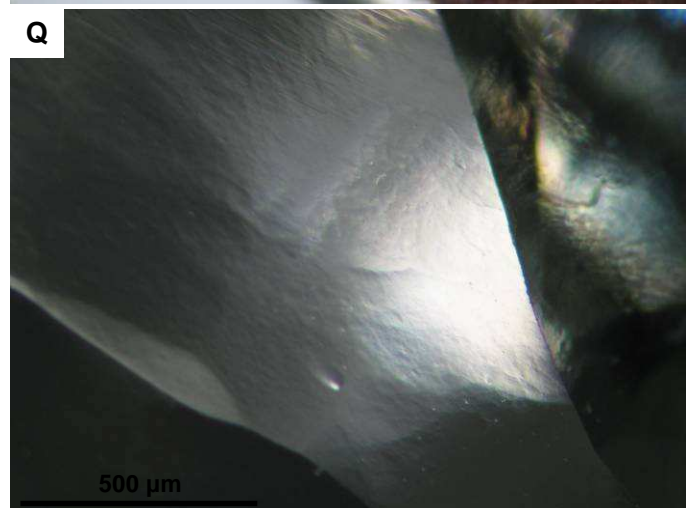
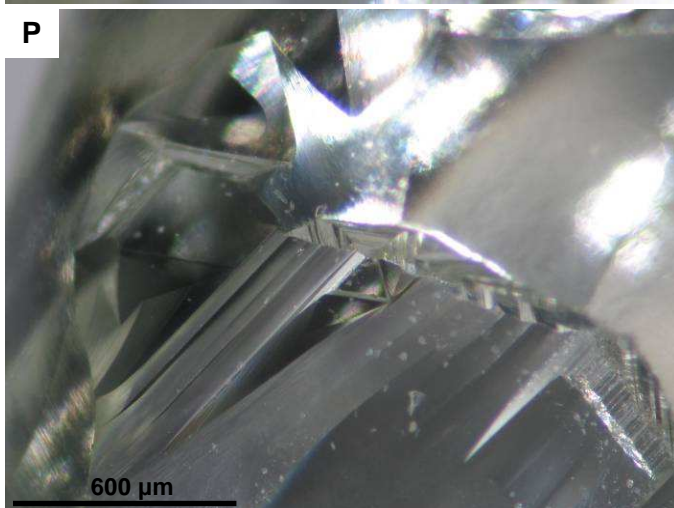
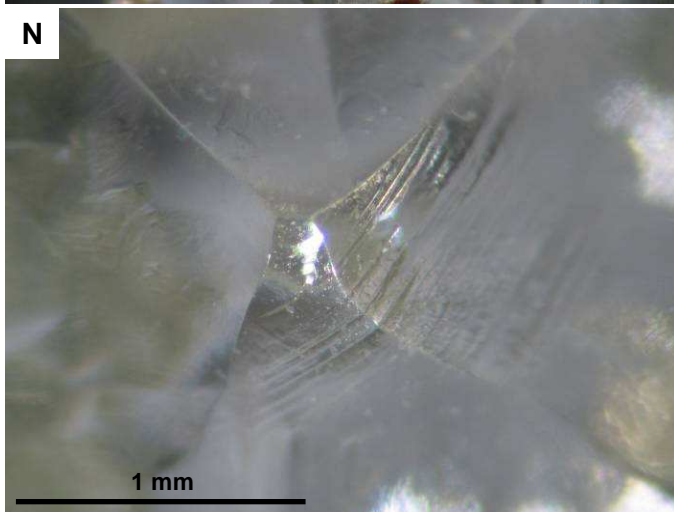
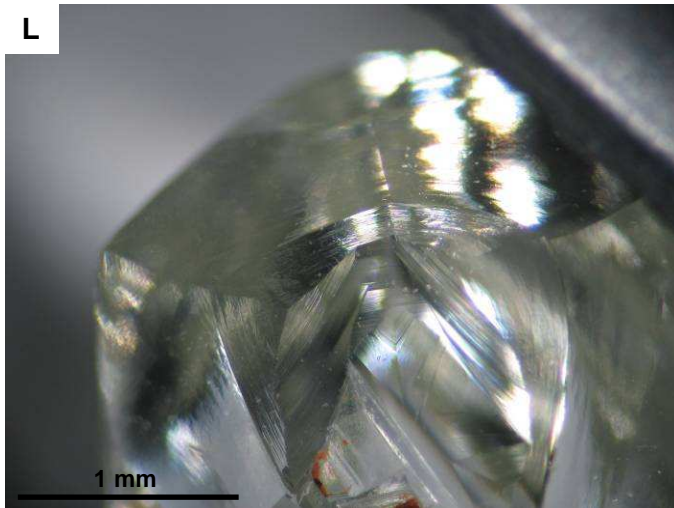
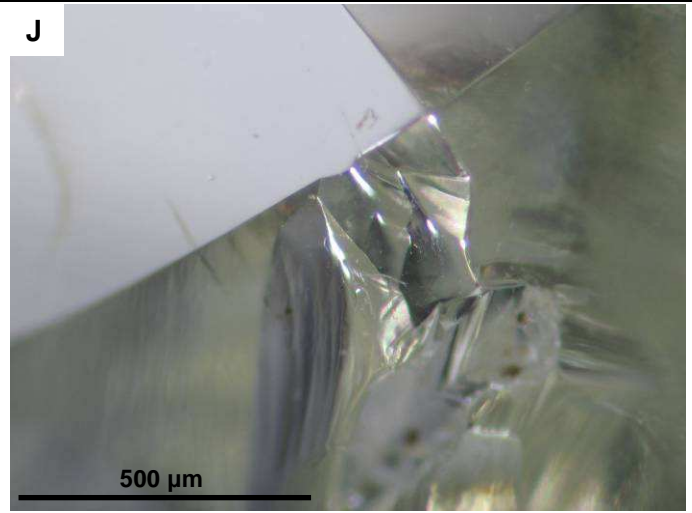
M: Amostra 043 (G1) – *Tetrágonos* em vértice quaternário em cristal com superfície quimicamente polida e padrão em rede. Notar arredondamento das arestas;

N: Amostra 043 (G1) – Linhas de laminação junto ao vértice quaternário em cristal com superfície quimicamente polida e padrão em rede. Notar arredondamento das arestas;

O: Amostra 047 (G4) – Superfície de clivagem não corroída em fragmento;

P: Amostra 046 (G4) – Quadrado e triângulo de corrosão associados junto a plano de geminação;

Q: Amostra 049 (G4) – Superfície com feições de corrosão suaves representadas por *shagreen*, *hillocks* e microdepressão circular;



R: Amostra 050 (G1) – Padrão em rede, marcas de percussão e arestas com superfícies de abrasão incipientes;

S: Amostra 050 (G1) – Padrão em rede, marcas de percussão e arestas com superfícies de abrasão incipientes;

T: Amostra 054 (G1) – Manchas (*spots*) verdes de radiação em vértice quaternário em cristal com superfície quimicamente polida, marcas de percussão e padrão em rede. Notar arredondamento das arestas;

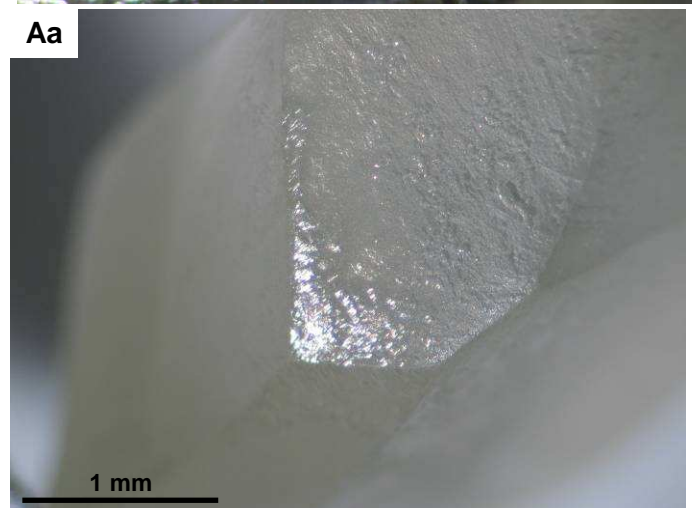
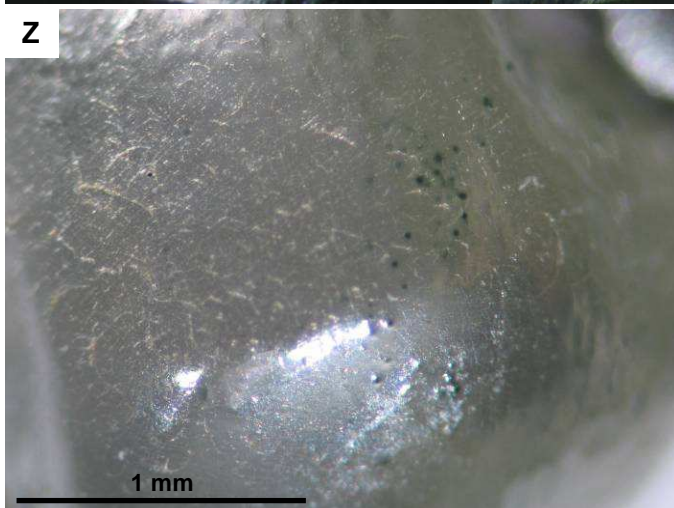
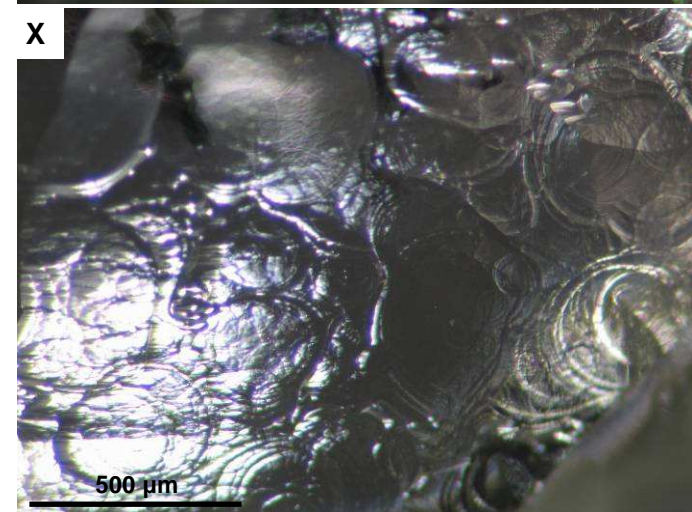
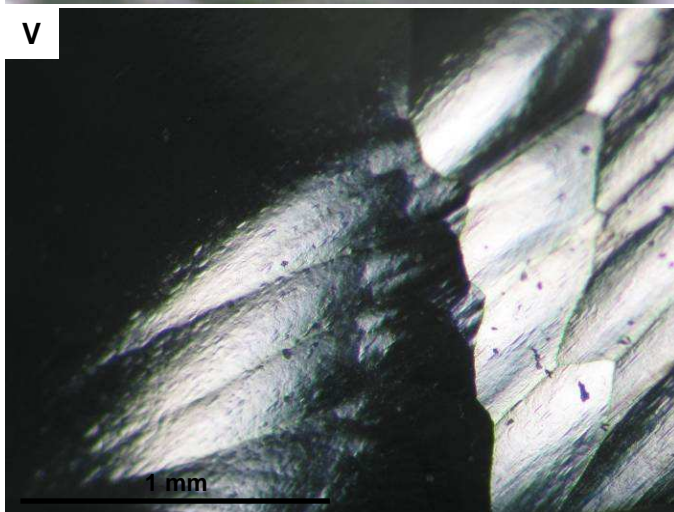
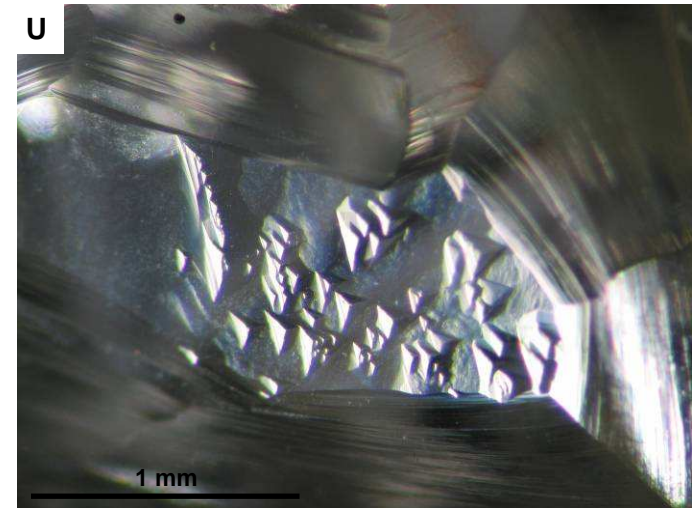
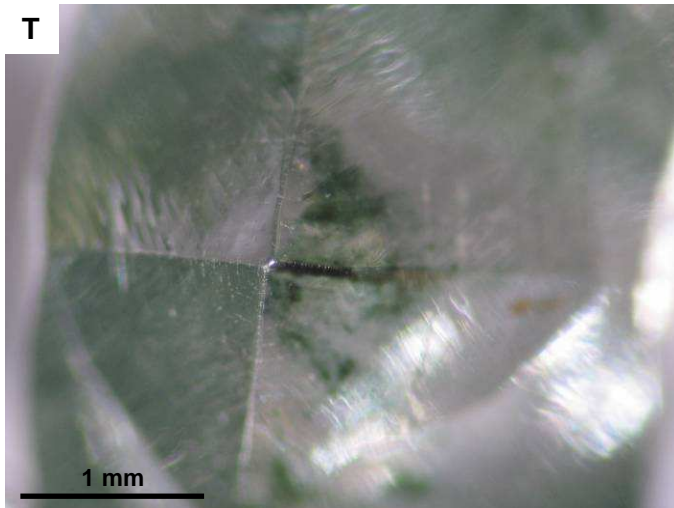
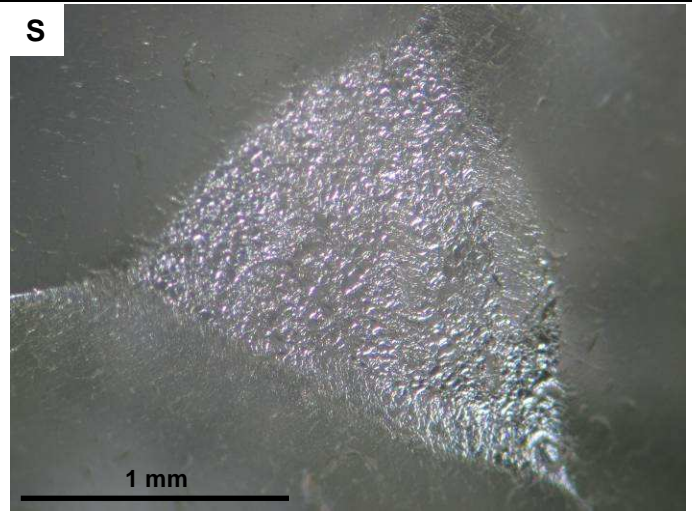
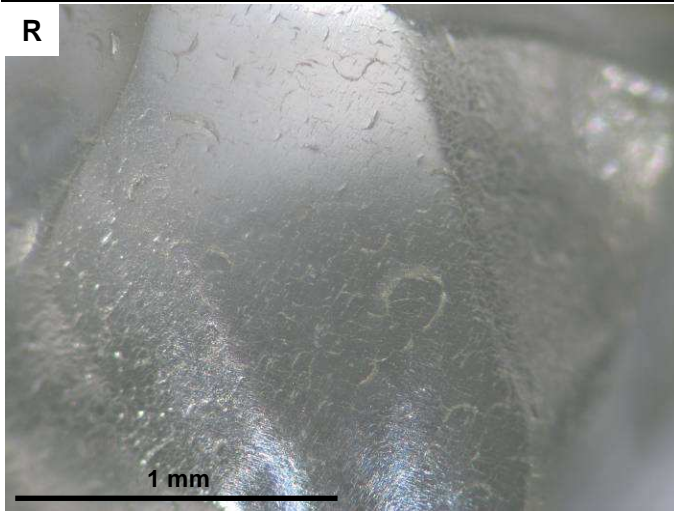
U: Amostra 056 (G3) – Superfície octaédrica com *trígonos* abundantes e circundada por terraços concêntricos;

V: Amostra 058 (G4) – Superfície com textura *shagreen* suave;

X: Amostra 058 (G4) – Microdiscos abundantes;

Z: Amostra 061 (G1) – Manchas (*spots*) verdes de radiação em cristal com superfície quimicamente polida, marcas de percussão e padrão em rede. Notar arredondamento das arestas e relevo topográfico dos *spots*;

Aa: Amostra 064 (G4) – Cristal com superfície fosca ocasionada por textura *shagreen* proeminente;



Ab: Amostra 069 (G4) – *Hillocks* em face tetrahexaedróide;

Ac: Amostra 069 (G4) – *Hillocks* em face tetrahexaedróide;

Ad: Amostra 078 (G4) – Hexágonos e *trígonos* em cristal de superfície fosca e textura *shagreen* proeminente;

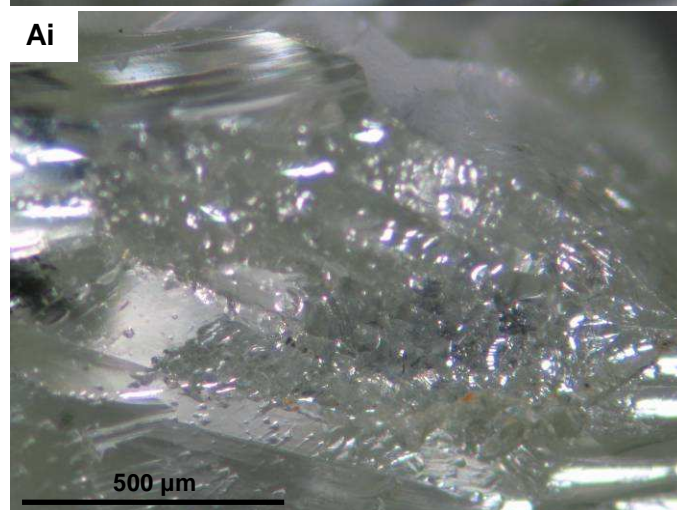
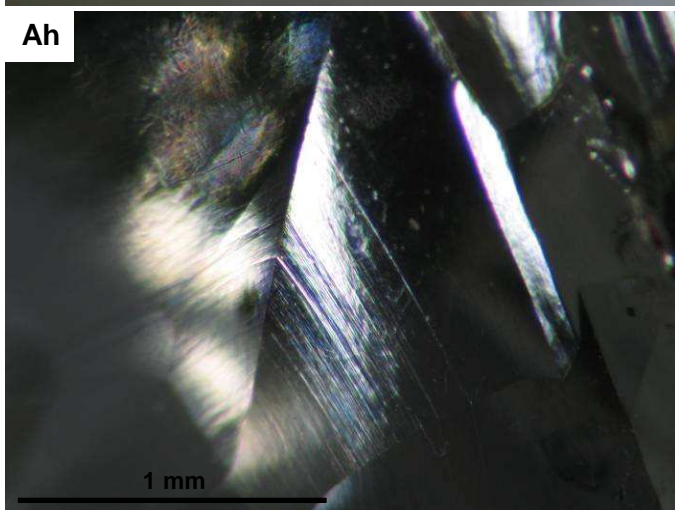
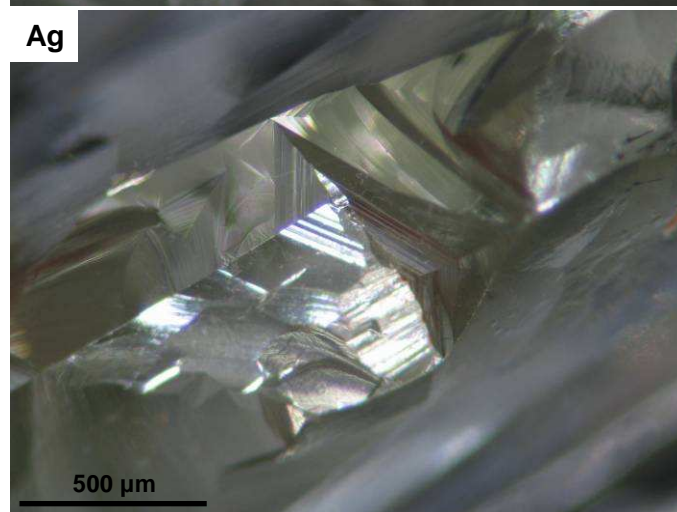
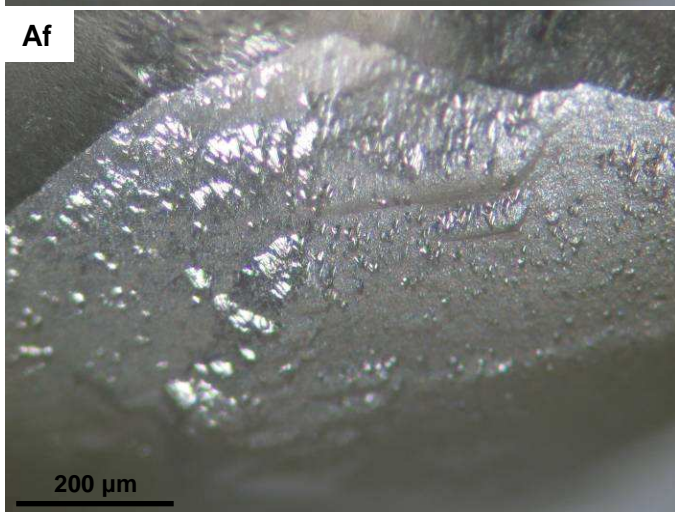
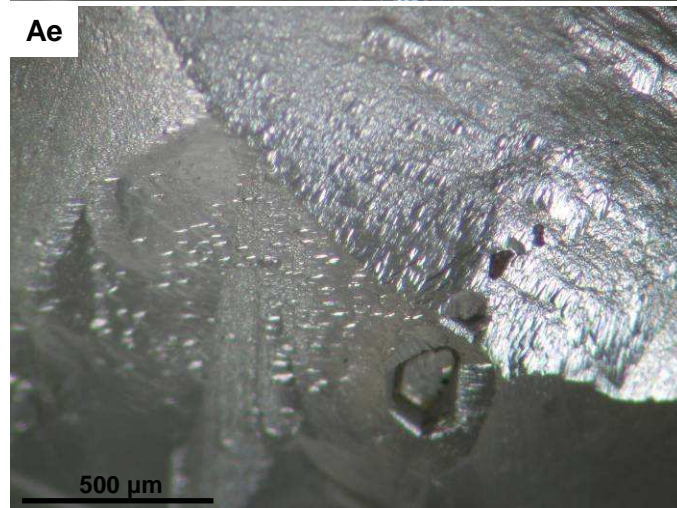
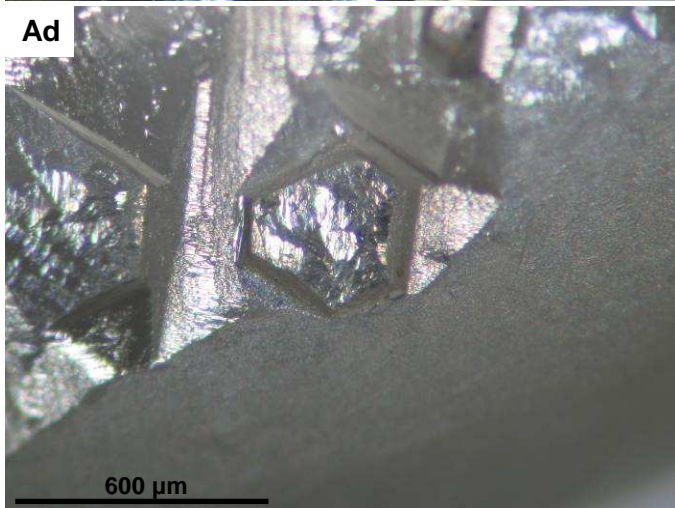
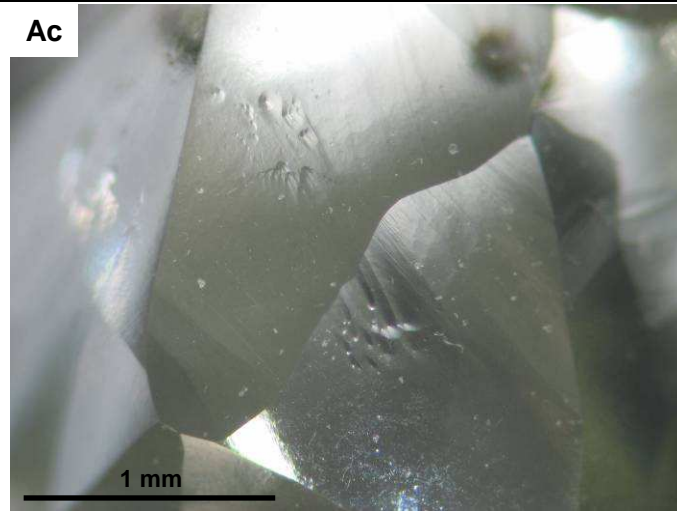
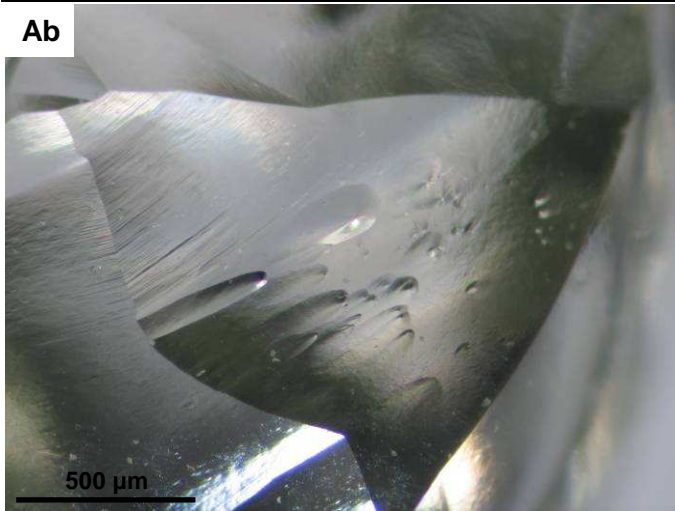
Ae: Amostra 078 (G4) – Cavidades de inclusão e formas em cunha em cristal de superfície fosca e textura *shagreen* proeminente;

Af: Amostra 078 (G4) – Formas em cunha em cristal de superfície fosca e textura *shagreen* proeminente;

Ag: Amostra 084 (G4) – Linhas de macla associada a plano de geminação;

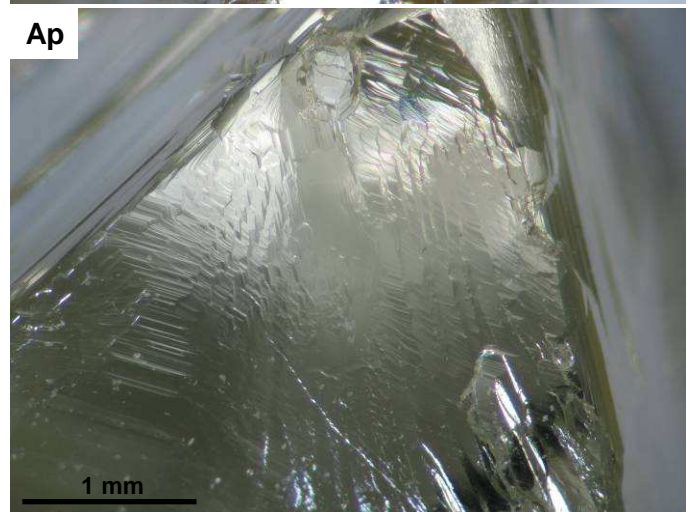
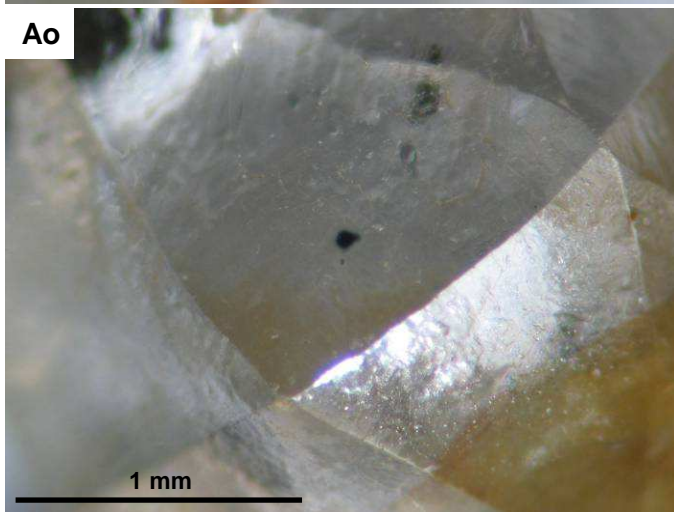
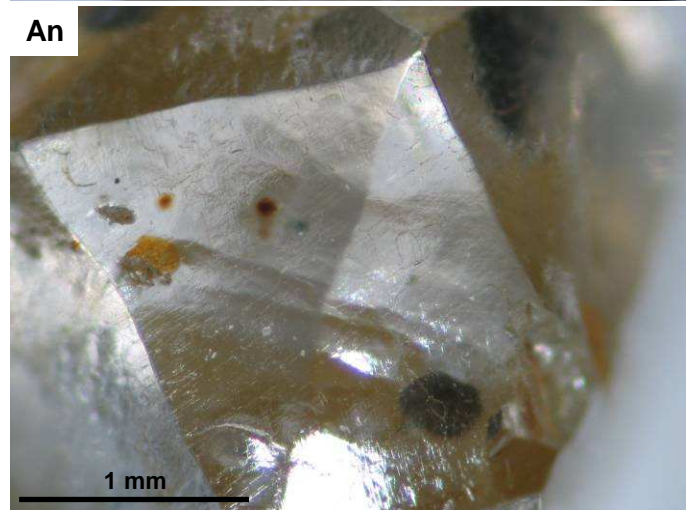
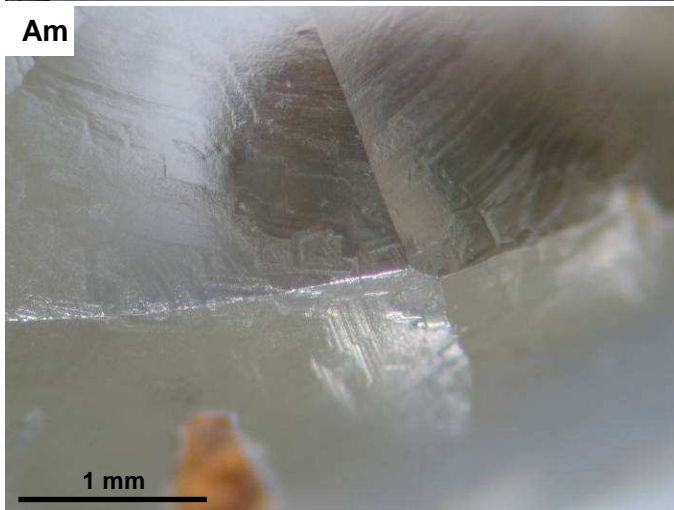
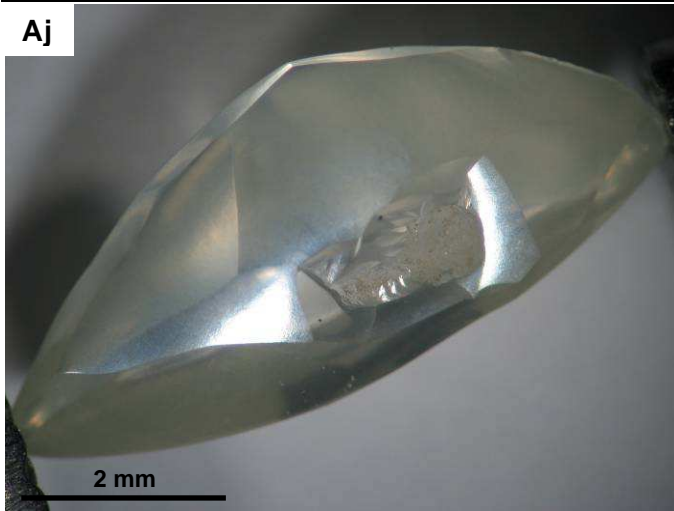
Ah: Amostra 084 (G4) – Superfície com textura *shagreen* suave, terraços e microdepressão circular;

Ai: Amostra 086 (G4) – Superfície de clivagem com feições de corrosão irregulares e circulares;



- Aj: Amostra 088 (G4) – Tetrahexaedróide distorcido com superfície fosca (leitosa) devido à textura fina;
- Al: Amostra 097 (G4) – *Frosting* grosso;
- Am: Amostra 100 (G2) – Tetrahexaedróide de superfície fosca com abundância de linhas de laminação;
- An: Amostra 120 (G1) – Tetrahexaedróide com superfície quimicamente polida, padrão em rede, marcas de percussão e *spots* verdes e marrons. Notar arredondamento das arestas;
- Ao: Amostra 120 (G1) – Tetrahexaedróide com superfície quimicamente polida, padrão em rede e *spots* verdes. Notar arredondamento das arestas;
- Ap: Amostra 124 (G4) – Superfície de clivagem com planos arredondados evidenciando corrosão;
- Aq: Amostra 124 (G4) – Octatetrahexaedróide com superfícies octaédricas contendo *trígonos*;
- Ar: Amostra 643 (G2) – Tetrahexaedróide com *spots* marrons, marcas de percussão, textura *shagreen* e linhas de laminação;





As: Amostra 131 (G4) – Tetrahexaedróide com esculturas de corrosão de fundo estriado e microdiscos nas porções não atingidas pelas esculturas;

At: Amostra 131 (G4) – Tetrahexaedróide com largos microdiscos associado a microdepressões circulares;

Au: Amostra 135 (G1) – Tetrahexaedróide com superfície quimicamente polida, padrão em rede, marcas de percussão e *spots* verdes e marrons. Notar arredondamento das arestas;

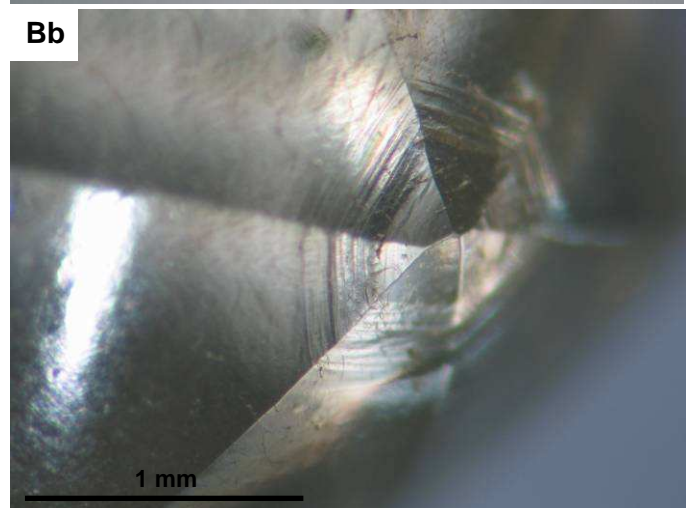
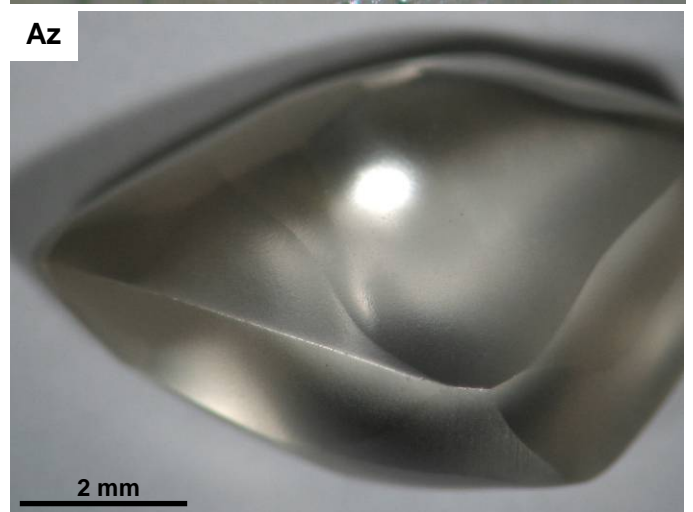
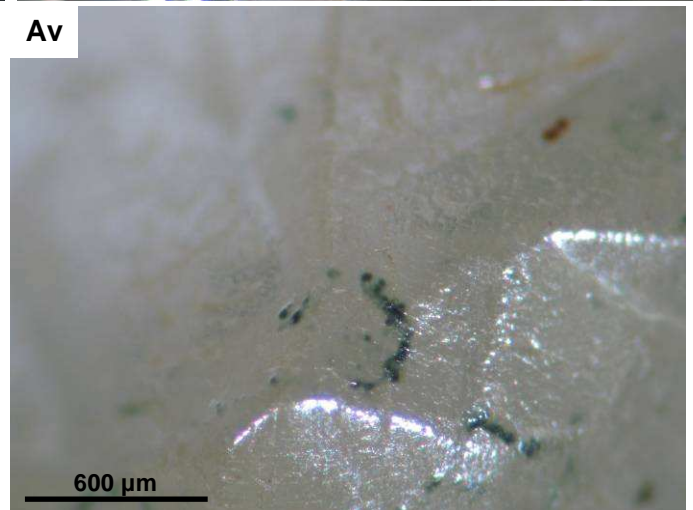
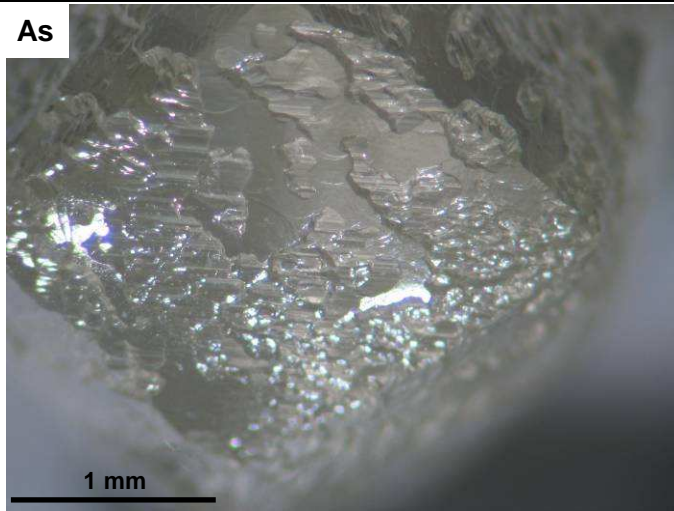
Av: Amostra 135 (G1) – Tetrahexaedróide com superfície quimicamente polida, padrão em rede, marcas de percussão e *spots* verdes e marrons. Notar arredondamento das arestas e relevo topográfico dos *spots*;

Ax: Amostra 135 (G1) – Tetrahexaedróide com superfície quimicamente polida, padrão em rede, marcas de percussão e *spots* verdes e marrons. Notar arredondamento das arestas;

Az: Amostra 136 (G4) – Tetrahexaedróide distorcido com superfície fosca (leitosa) devido a textura fina;

Ba: Amostra 138 (G1) – Tetrahexaedróide com superfície quimicamente polida, padrão em rede, marcas de percussão e terraços concêntricos. Notar arredondamento das arestas;

Bb: Amostra 138 (G1) – Tetrahexaedróide com superfície quimicamente polida, padrão em rede, marcas de percussão e terraços concêntricos. Notar arredondamento das arestas;



Bc: Amostra 138 (G1) – Tetrahexaedróide com superfície quimicamente polida, padrão em rede, marcas de percussão e terraços concêntricos. Notar arredondamento das arestas;

Bd: Amostra 140 (G2) – Cristal distorcido com superfície fosca associada à textura *shagreen* proeminente truncada por linhas de laminação abundantes;

Be: Amostra 140 (G2) – Detalhe de superfície fosca associada à textura *shagreen* proeminente truncada por linhas de laminação abundantes;

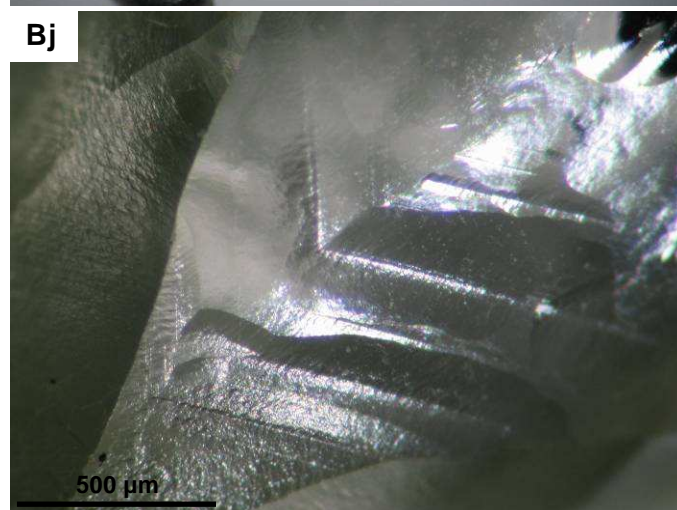
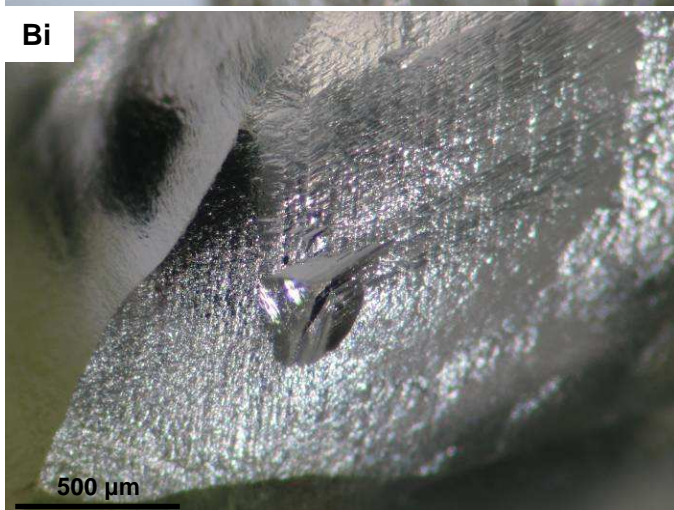
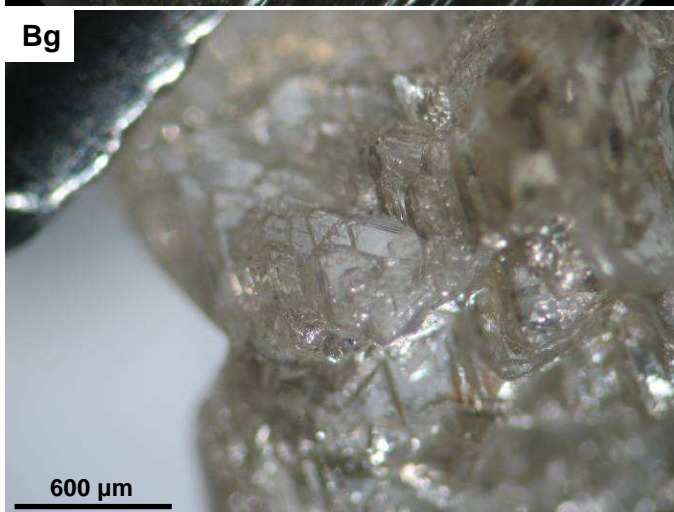
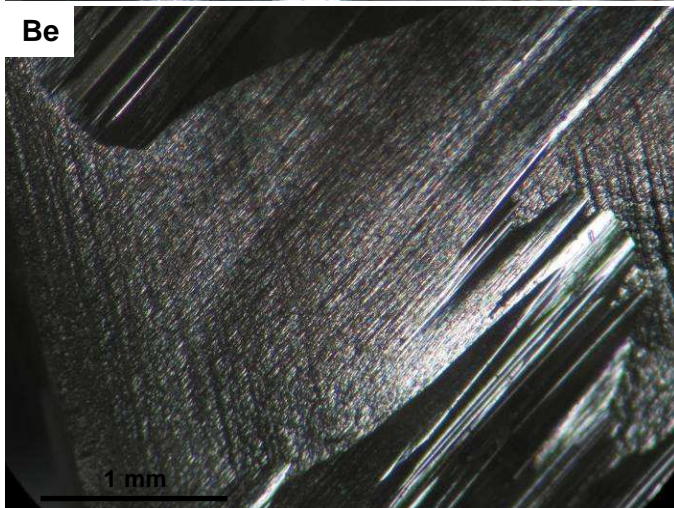
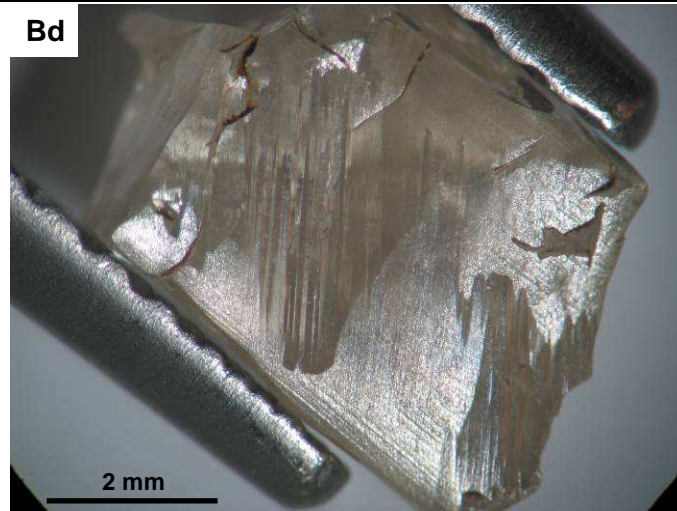
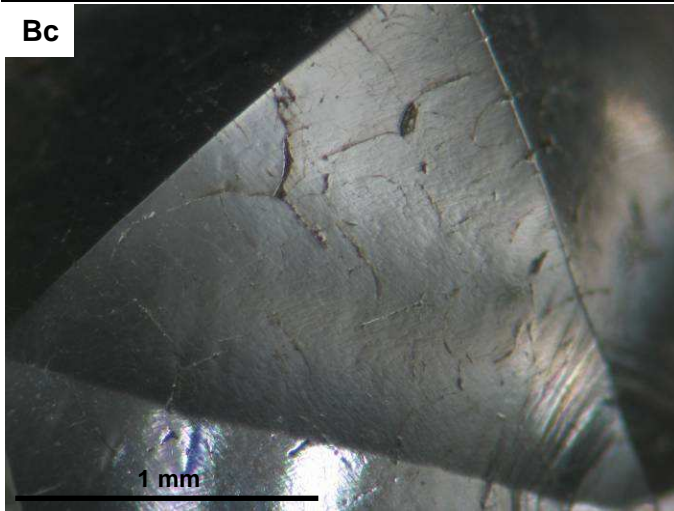
Bf: Amostra 172 (G2) – Cristal irregular com abundância de laminações octaédricas comuns e serrilhadas;

Bg: Amostra 172 (G2) – Detalhe de cristal irregular com abundância de laminações octaédricas comuns e serrilhadas;

Bh: Amostra 175 (G2) – Tetrahexaedróide distorcido com superfície fosca associada à textura *shagreen* proeminente truncada por linhas de laminação abundantes e *hillocks* piramidais triangulares;

Bi: Amostra 175 (G2) – Detalhe de superfície fosca associada à textura *shagreen* proeminente truncada por linhas de laminação abundantes e *hillock* piramidal triangular;

Bj: Amostra 175 (G2) – Detalhe de superfície fosca associada à textura *shagreen* proeminente truncada por linhas de laminação abundantes;



Bl: Amostra 175 (G2) – Detalhe de inclusão preta tabular e superfície fosca associada à textura *shagreen* proeminente truncada por linhas de laminação abundantes;

Bm: Amostra 181 (G2) – Tetrahexaedróide distorcido com superfície fosca associada à textura *shagreen* proeminente truncada por linhas de laminação abundantes;

Bn: Amostra 181 (G2) – Detalhe de superfície fosca associada à textura *shagreen* proeminente truncada por linhas de laminação abundantes;

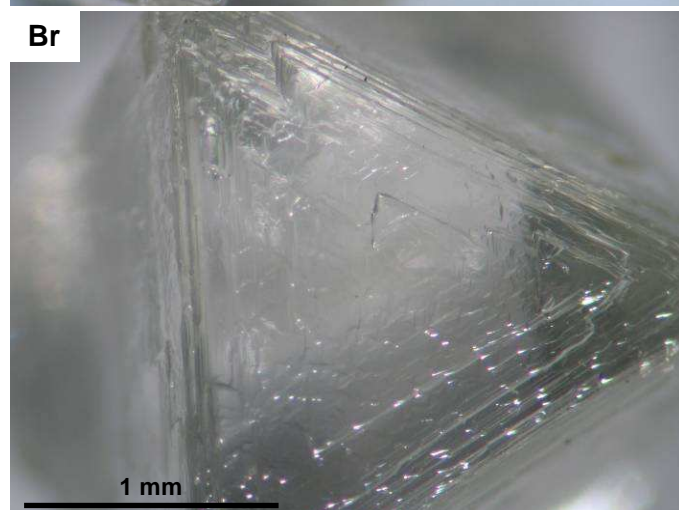
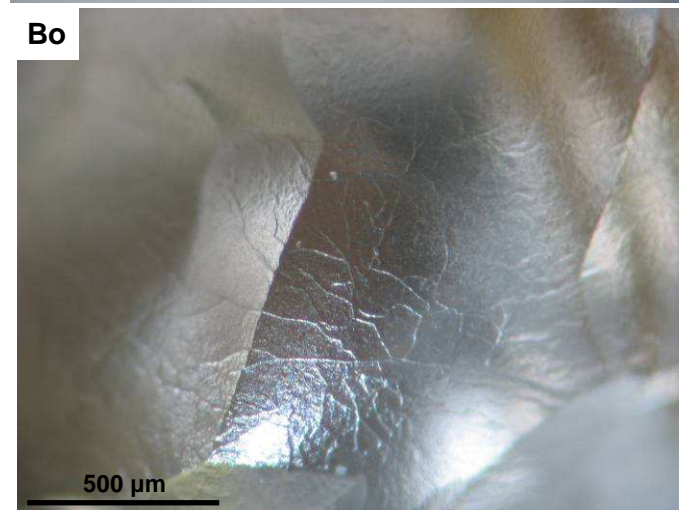
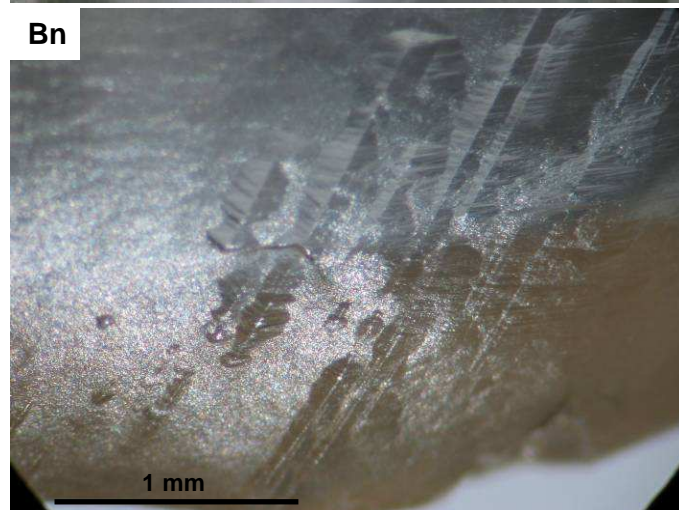
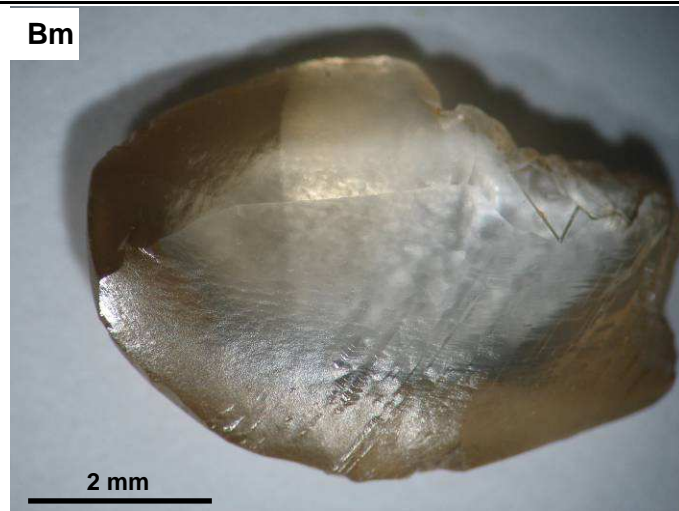
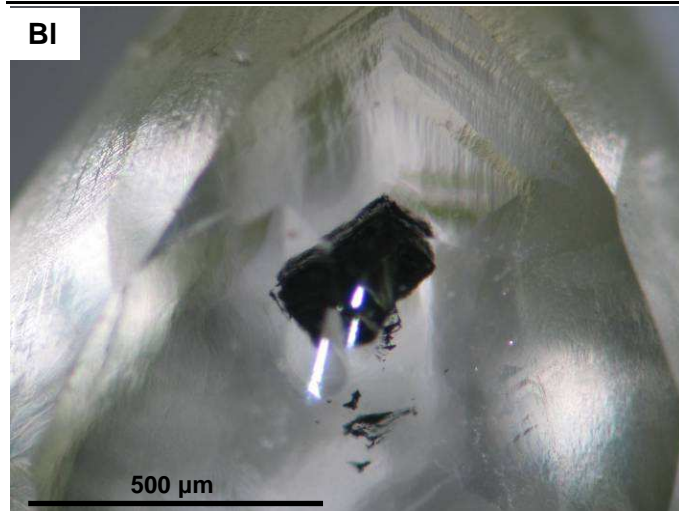
Bo: Amostra 182 (G4) – Textura em “nervuras” em tetrahexaedróide de superfície fosca;

Bp: Amostra 226 (G2 G3) – Placas triangulares abundantes;

Bq: Amostra 243 (G3) – Octaedro com laminações octaédricas e *trígonos* abundantes;

Br: Amostra 243 (G3) – Detalhe da face de octaedro com laminações octaédricas e *trígonos* abundantes;

Bs: Amostra 296 (G2) – Tetrahexaedróide distorcido de coloração marrom intensa com textura *shagreen* truncada por linhas de laminação abundantes;



Bt: Amostra 296 (G2) – Detalhe da superfície de tetrahexaedróide de coloração marrom intensa com textura shagreen truncada por linhas de laminação abundantes e *spot* verde suave;

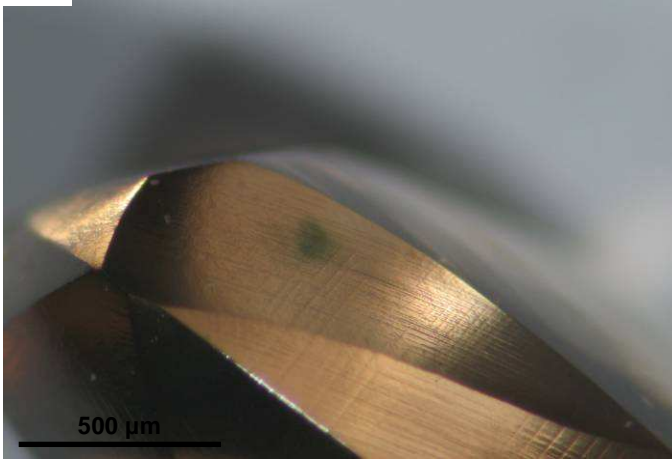
Bu: Amostra 300 (G3) – Cristal pseudohemimórfico com porção reabsorvida na parte superior e porção preservada (octaédrica) na parte inferior;

Bv: Amostra 300 (G3) – Detalhe da porção reabsorvida de cristal pseudohemimórfico;

Bx: Amostra 307 (G1) – Tetrahexaedróide distorcido com superfície quimicamente polida, padrão em rede, marcas de percussão e *spots* verdes e marrons. Notar arredondamento das arestas;



**Bt**



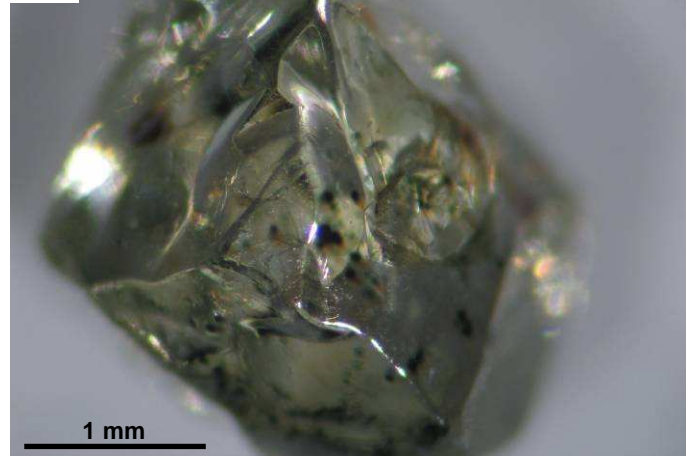
**Bu**



**Bv**



**Bx**

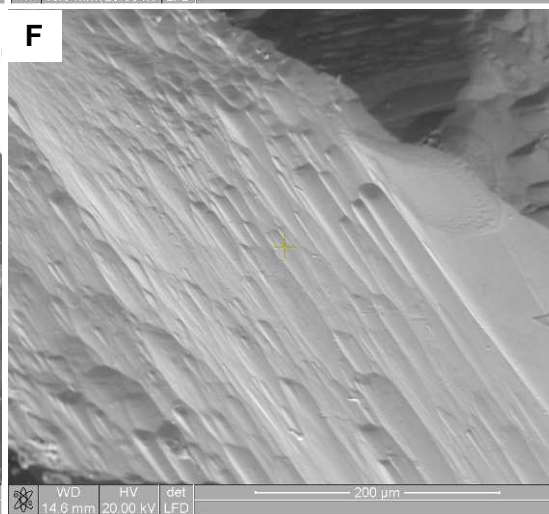
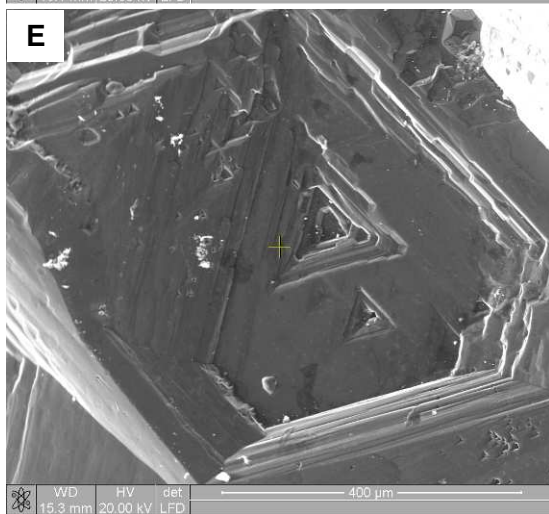
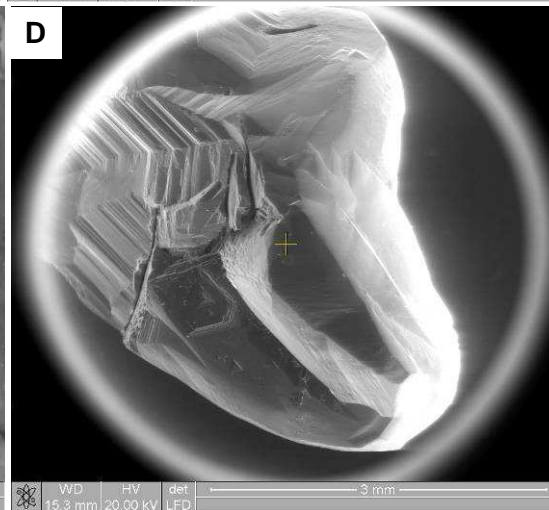
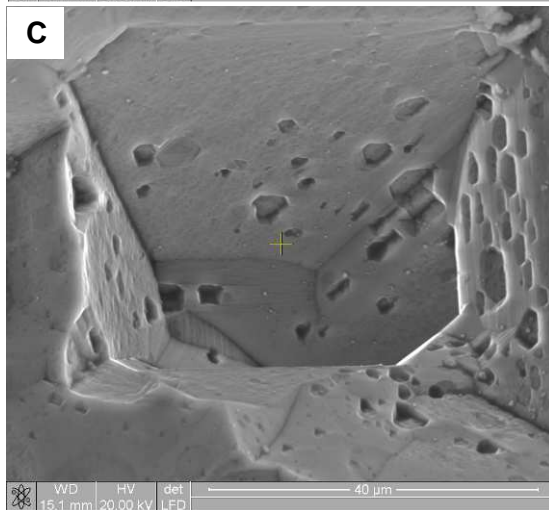


## ANEXO III

---

Imagens em MEV dos Diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO

- A: Amostra 031 (G4) – Cavidade corroída com quadrados de corrosão de fundo piramidal;
- B: Amostra 031 (G4) – Detalhe dos quadrados de corrosão com triângulos e hexágonos nas paredes indicando morfologia primária octaédrica;
- C: Amostra 031 (G4) – Detalhe dos quadrados de corrosão com triângulos e hexágonos nas paredes indicando morfologia primária octaédrica;
- D: Amostra 035 (G4) – Visão geral do cristal com plano de geminação demarcado por linhas de macla. Também se observa linhas de estratificação, canais de corrosão, hexágonos, triângulos e *hillocks*;
- E: Amostra 035 (G4) – Detalhe dos triângulos de corrosão no interior de hexágono;
- F: Amostra 037 (G4) – Detalhe de textura *shagreen* em face tetrahexaedróide;
- G: Amostra 043 (G1) – Linhas de laminação próximas ao eixo quaternário;
- H: Amostra 043 (G1) – Detalhe das linhas de laminação próximas ao eixo quaternário truncando textura *shagreen* incipiente;



I: Amostra 051 (G3) – Triângulos de corrosão associados à laminação octaédrica;

J: Amostra 053 (G1) – Detalhe de quadrados de corrosão sobre degraus crescentes;

L: Amostra 054 (G1) – Detalhe de face de cristal com superfície polida e padrão em rede composto pelo alinhamento de pequenas perfurações;

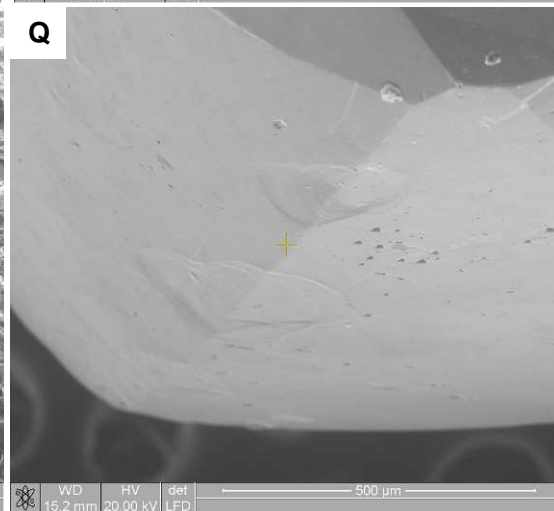
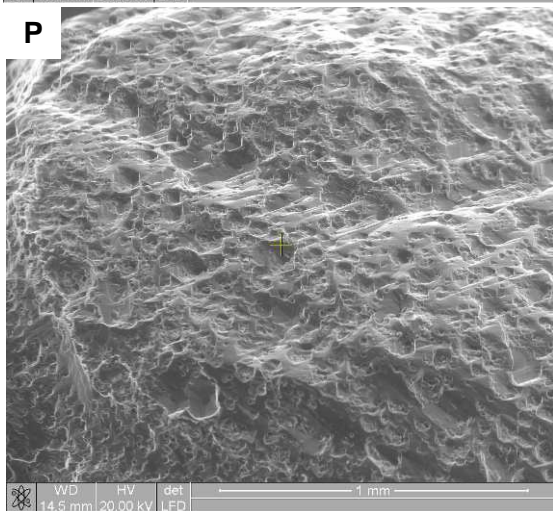
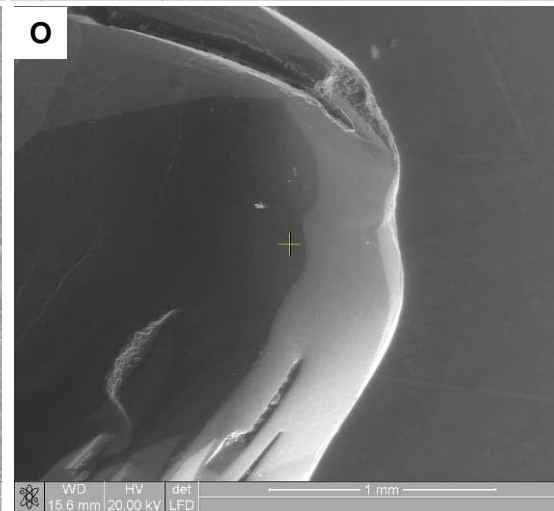
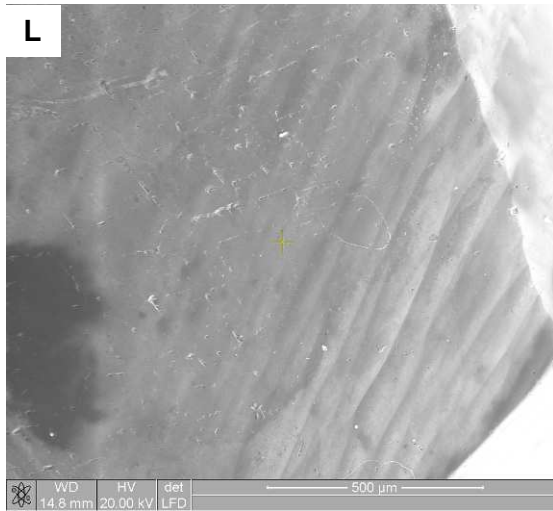
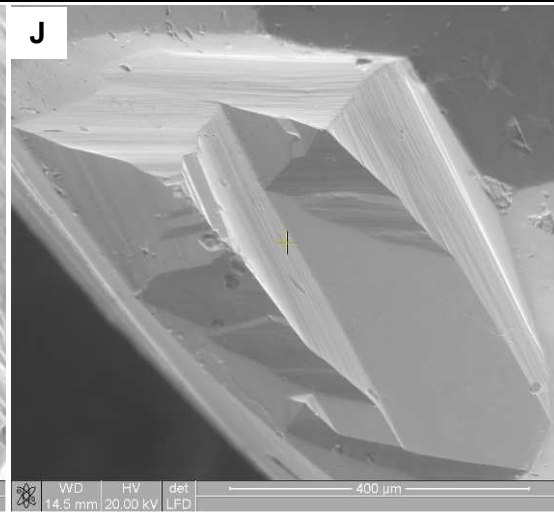
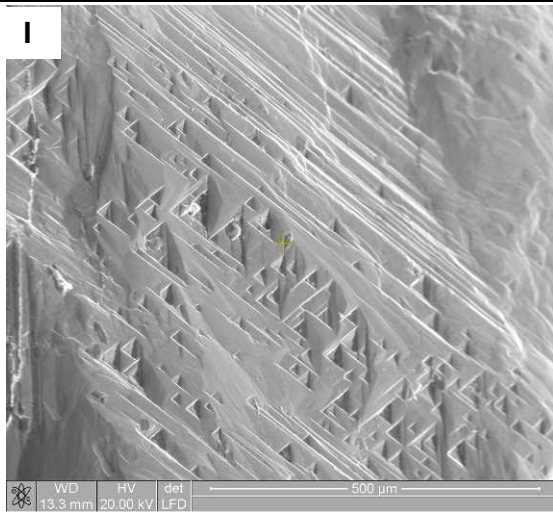
M: Amostra 057 (G4) – Textura fina desconhecida sobre a superfície do cristal com porções elevadas que conferem um aspecto de continentes circundados pelo oceano;

N: Amostra 057 (G4) – Detalhe da textura fina evidenciando as reduzidas dimensões ( $\sim 1\mu\text{m}$ ) dos elementos que a compõe;

O: Amostra 065 (G4) – Cristal com sulcos e canais de corrosão;

P: Amostra 073 (G3) – Superfície dominada por *frosting* constituído de cavidades de corrosão tetragonais, hexagonais e irregulares;

Q: Amostra 074 (G1) – Superfície com depressões rasas sobre uma das arestas do cristal;



R: Amostra 076 (G2) – Textura *shagreen* fina e proeminente que torna fosca a superfície do cristal;

S: Amostra 076 (G2) – Detalhe da textura *shagreen* fina e proeminente;

T: Amostra 085 (G4) – Inclusão exposta em superfície de clivagem;

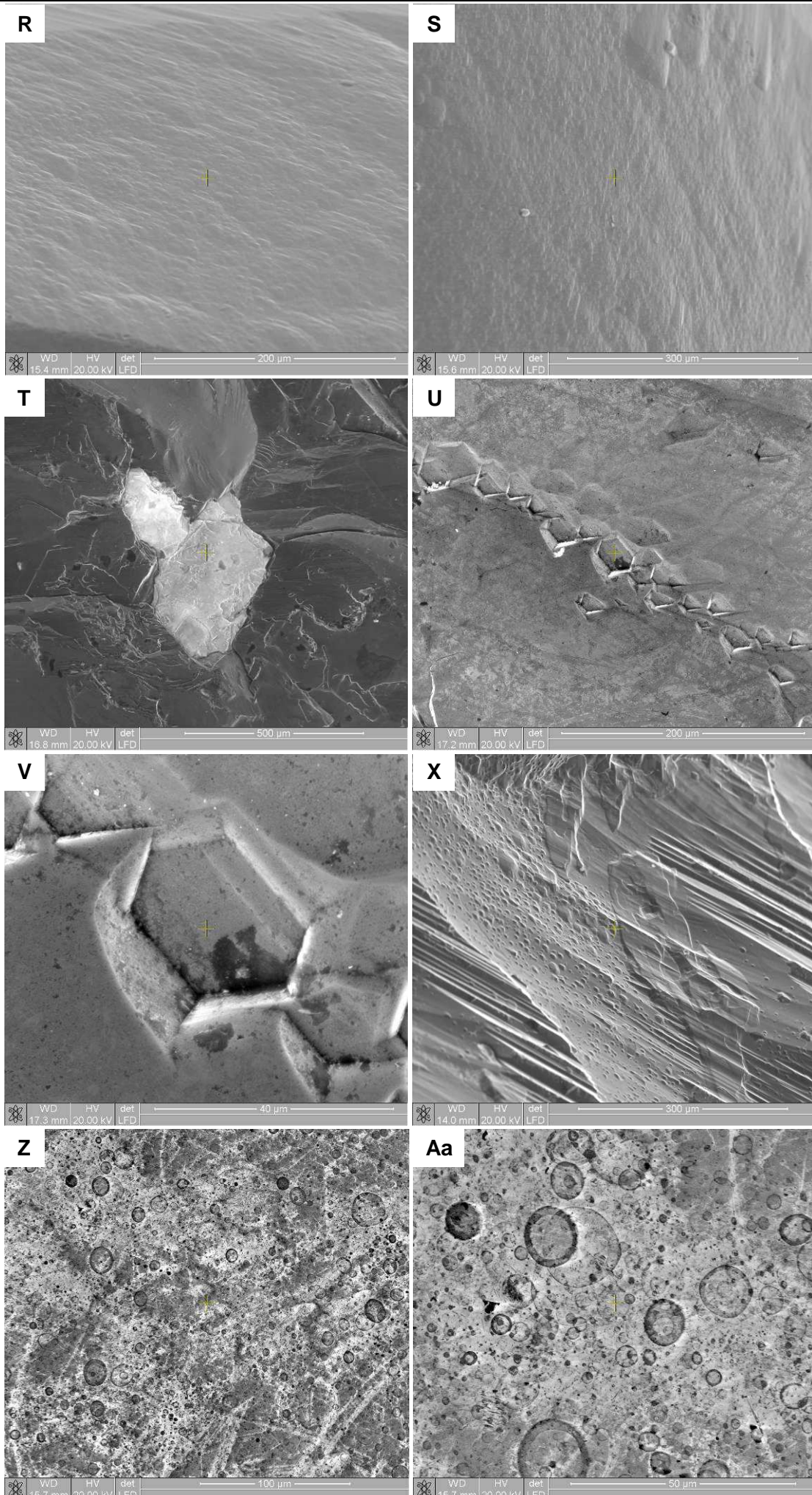
U: Amostra 086 (G4) – Hexágonos de corrosão alinhados na superfície do cristal;

V: Amostra 086 (G4) – Detalhe de um dos hexágonos de corrosão;

X: Amostra 089 (G4) – Superfície corroída com esculturas de corrosão de fundo estriado e estratificações;

Z: Amostra 090 (G4) – Superfície com microdepressões circulares abundantes;

Aa: Amostra 090 (G4) – Detalhe das microdepressões circulares;





Ab: Amostra 091 (G4) – Superfície com microdepressões circulares abundantes;

Ac: Amostra 091 (G4) – Detalhe das microdepressões circulares;

Ad: Amostra 093 (G3) – Superfície dominada por *frosting* constituído de cavidades de corrosão hexagonais e irregulares;

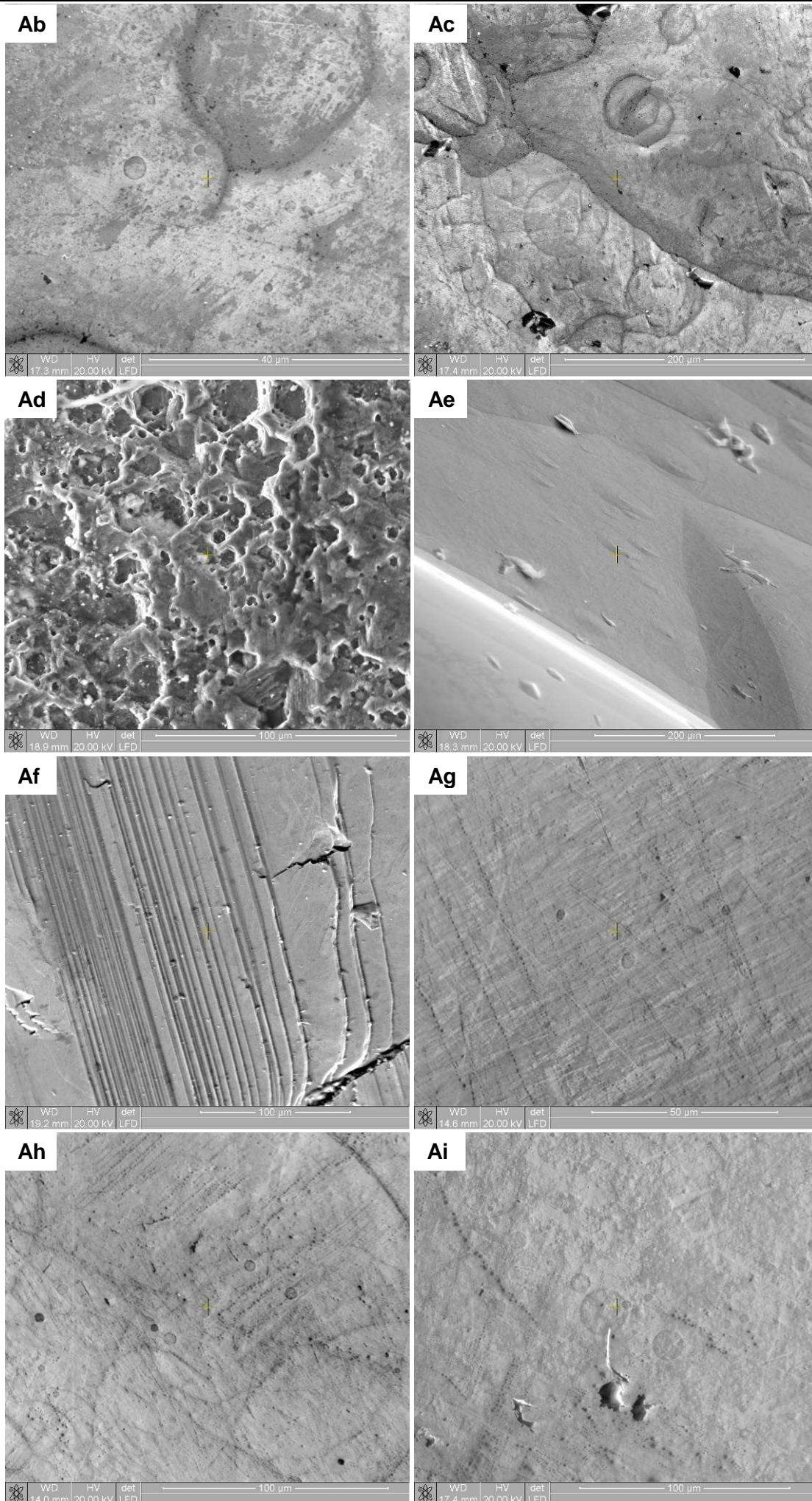
Ae: Amostra 098 (G4) – Superfície tetrahedraédrica lisa com *hillocks* pouco proeminentes;

Af: Amostra 108 (G2) – Superfície de clivagem não corroída destacando os planos de estratificação;

Ag: Amostra 109 (G4) – Superfície com microdepressões circulares;

Ah: Amostra 109 (G4) – Superfície com microdepressões circulares;

Ai: Amostra 111 (G4) – Superfície com microdepressões circulares;



Aj: Amostra 119 (G4) – Superfície com microdiscos abundantes;

Al: Amostra 122 (G4) – Superfície com microdepressões circulares e microdepressões tetragonais abundantes;

Am: Amostra 125 (G4) – Superfície com microdepressões circulares em detalhe;

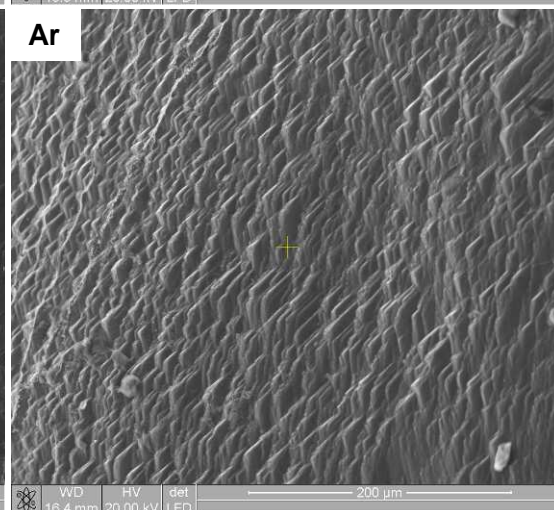
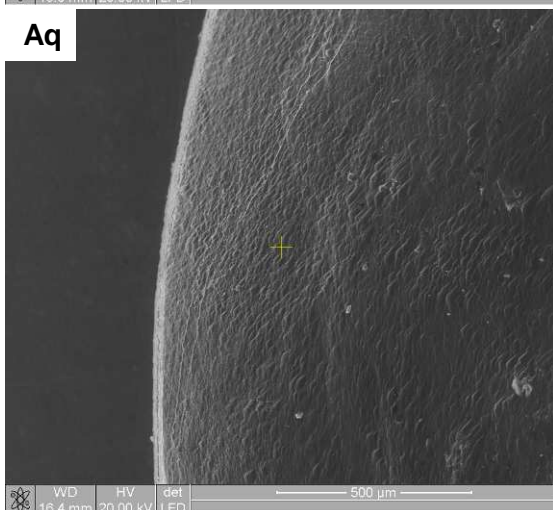
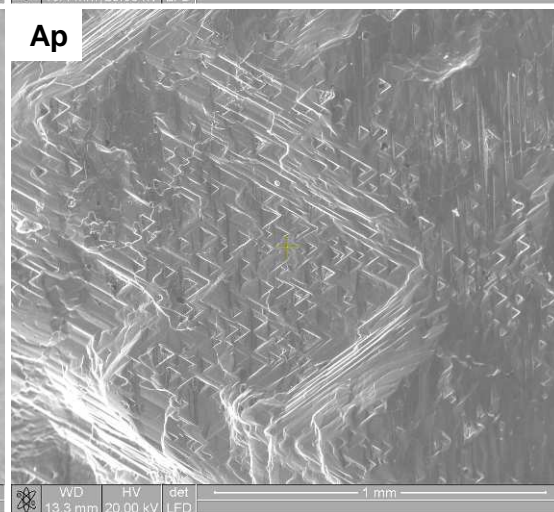
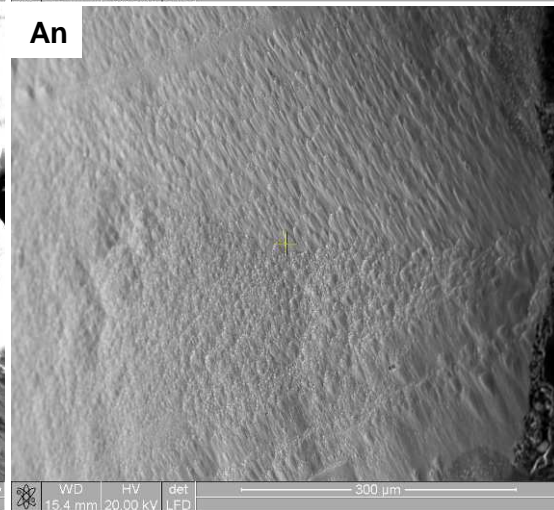
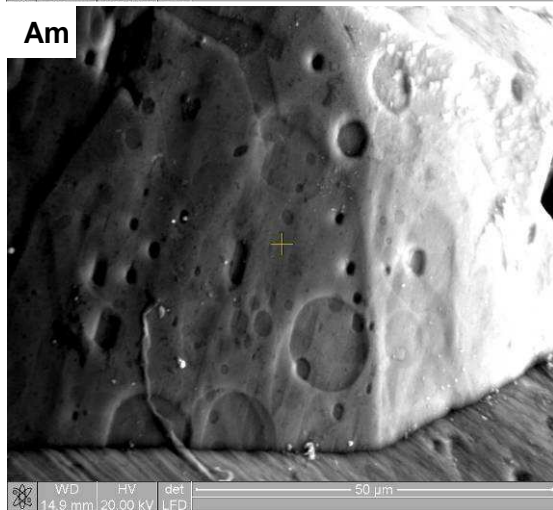
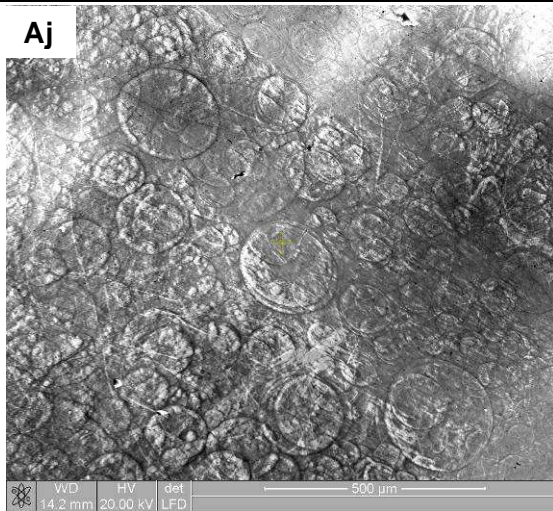
An: Amostra 139 (G2) – Detalhe de superfície com textura *shagreen* fina e proeminente truncada por linhas de laminação espaçadas;

Ao: Amostra 144 (G2) – Detalhe de superfície com textura *shagreen* fina e proeminente;

Ap: Amostra 146 (G3) – Superfície com *trigons* abundantes e laminações octaédricas comuns e serrilhadas;

Aq: Amostra 152 (G2) – Superfície fosca com textura *shagreen* fina e proeminente e micro-estruturas em degraus abundantes;

Ar: Amostra 152 (G2) – Detalhe das micro-estruturas em degraus;



As: Amostra 158 (G2) – Superfície com micro-estruturas em degraus e canal de corrosão com quadrados de corrosão e laminação nas paredes;

At: Amostra 158 (G2) – Detalhe dos quadrados de corrosão na parede do canal de corrosão;

Au: Amostra 158 (G2) – Superfície com micro-estruturas em degraus, linhas de laminação e canal de corrosão;

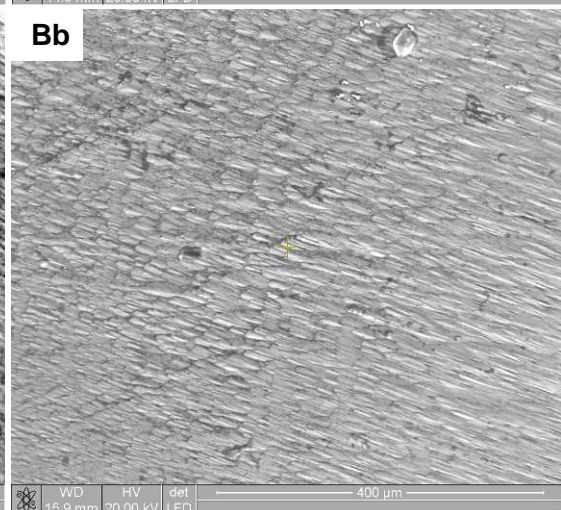
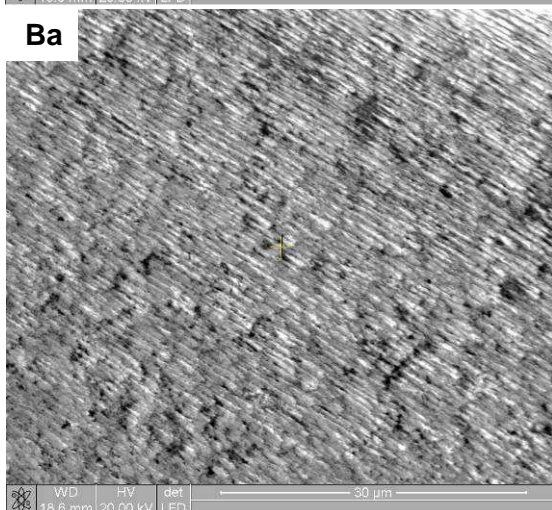
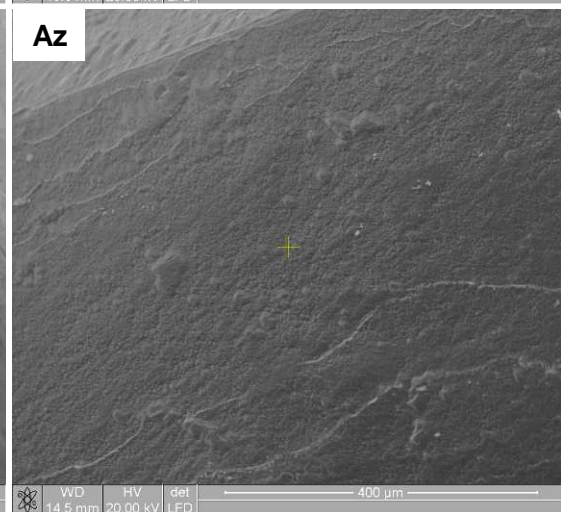
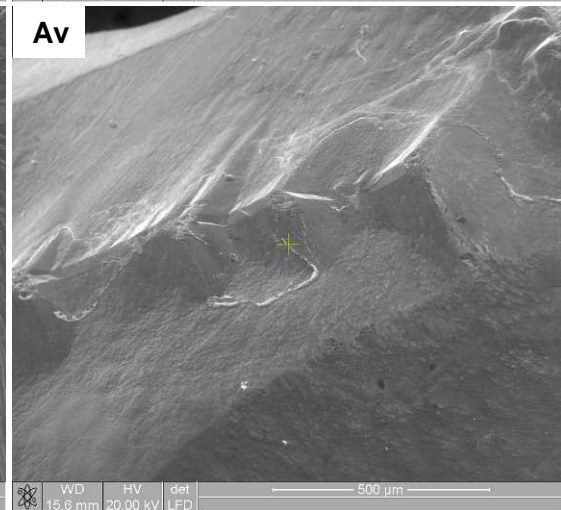
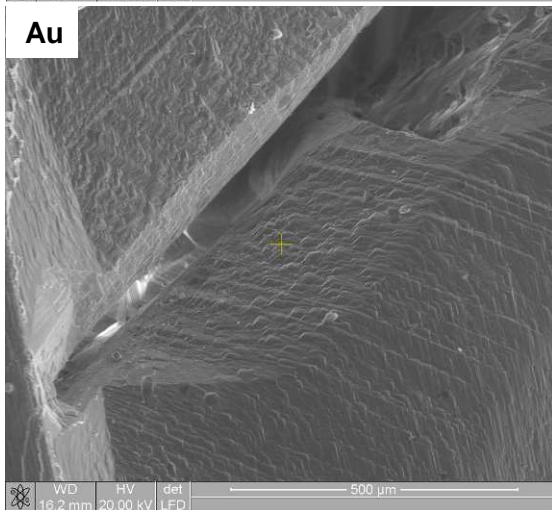
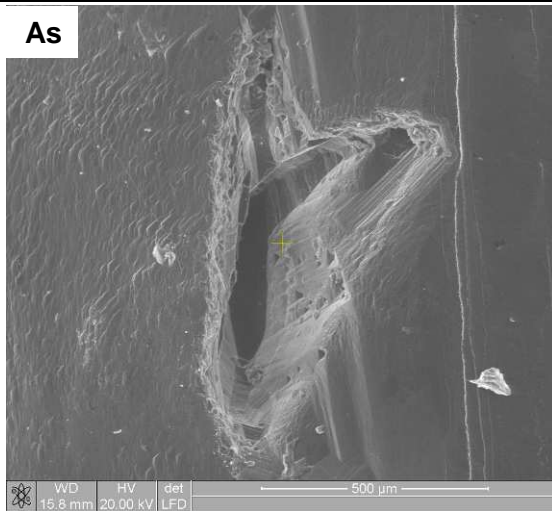
Av: Amostra 160 (G2) – Superfície com textura *shagreen*, micro-estruturas em degraus e *hillocks* piramidais triangulares;

Ax: Amostra 160 (G2) – Detalhe de micro-estruturas em degraus;

Az: Amostra 165 (G2) – Textura fina desconhecida sobre a superfície do cristal com porções elevadas que conferem um aspecto de continentes circundados pelo oceano;

Ba: Amostra 169 (G2) – Detalhe de superfície com textura *shagreen* fina e proeminente;

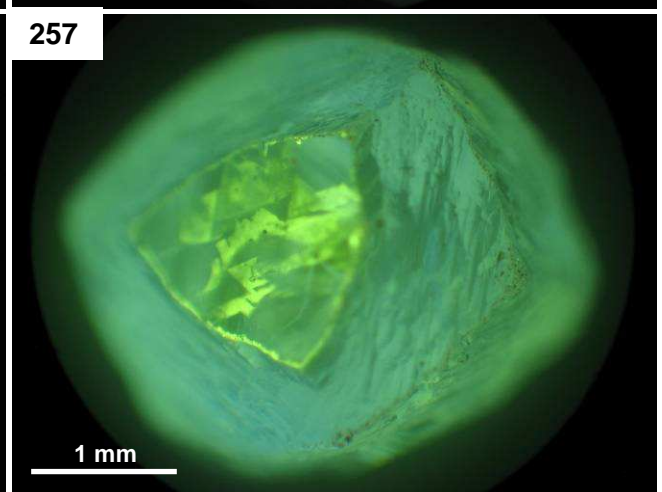
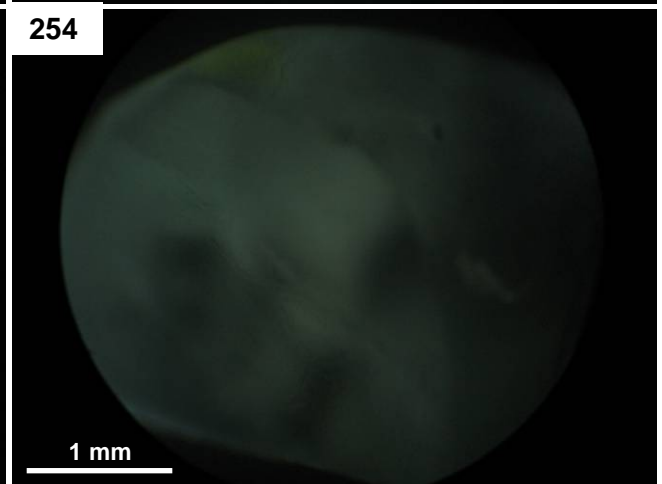
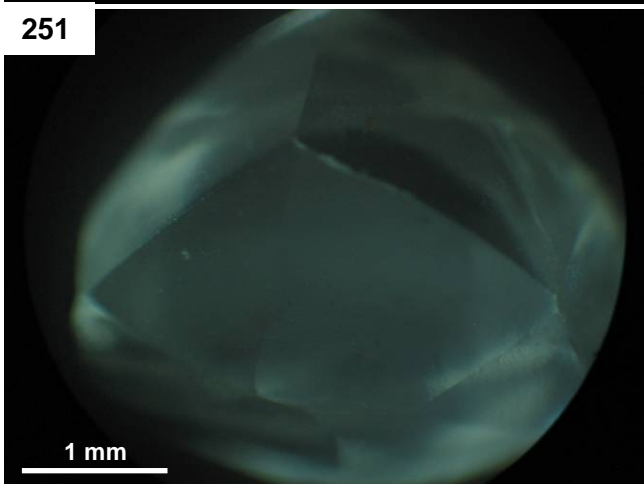
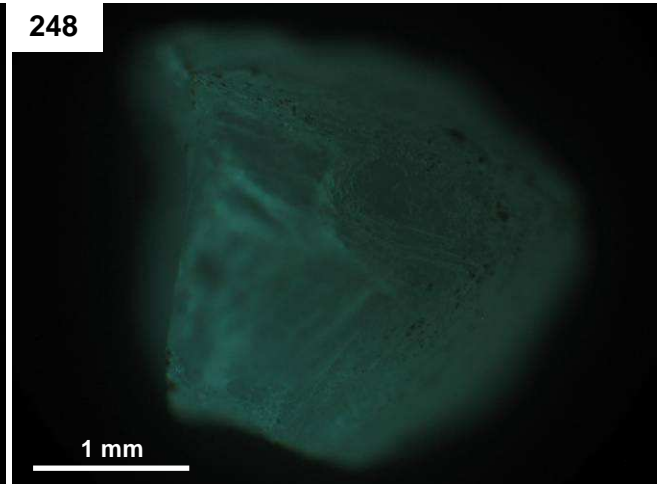
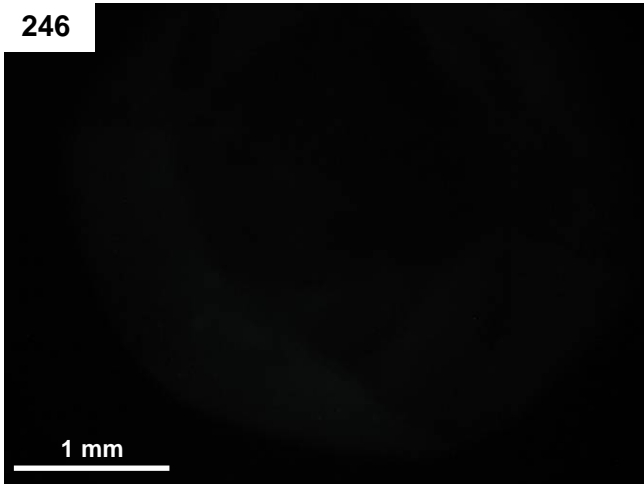
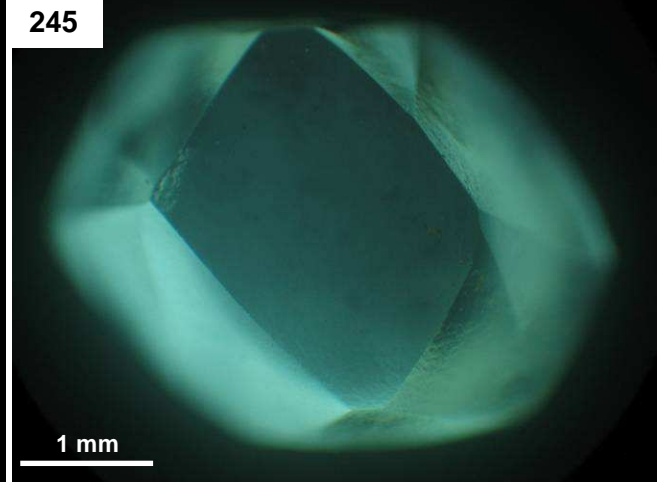
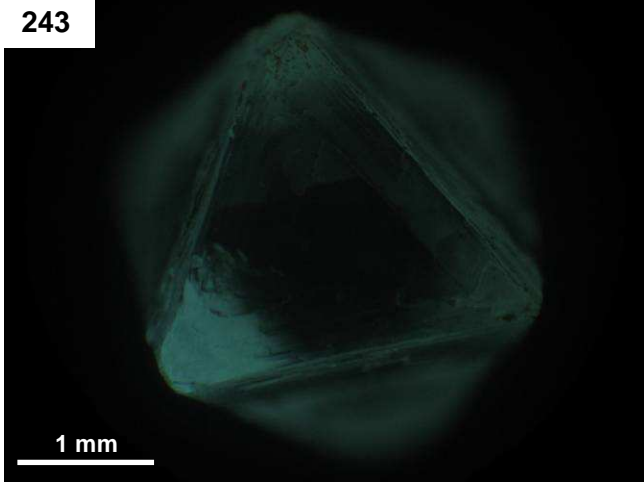
Bb: Amostra 171 (G2) – Detalhe de superfície com textura *shagreen* fina e proeminente;



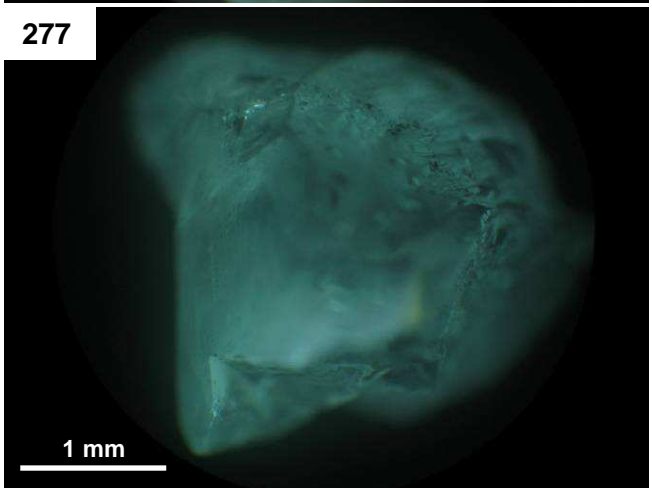
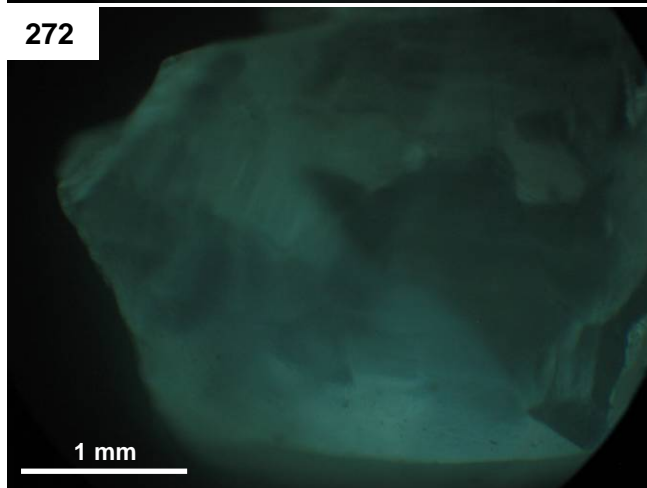
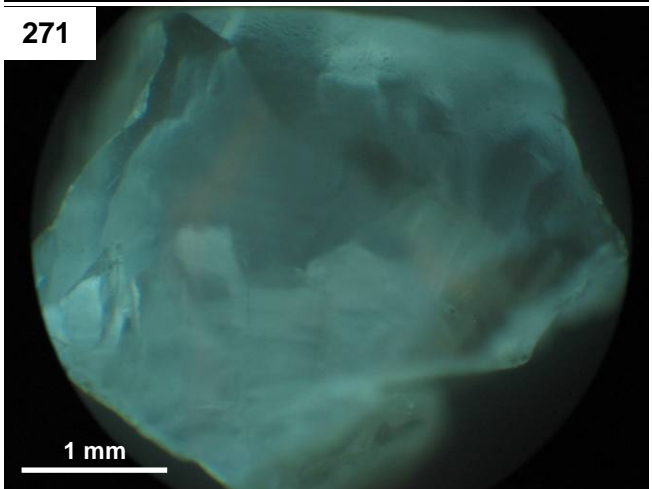
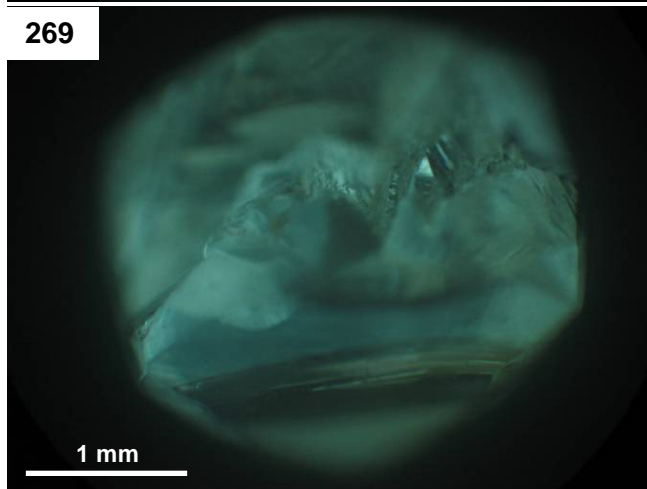
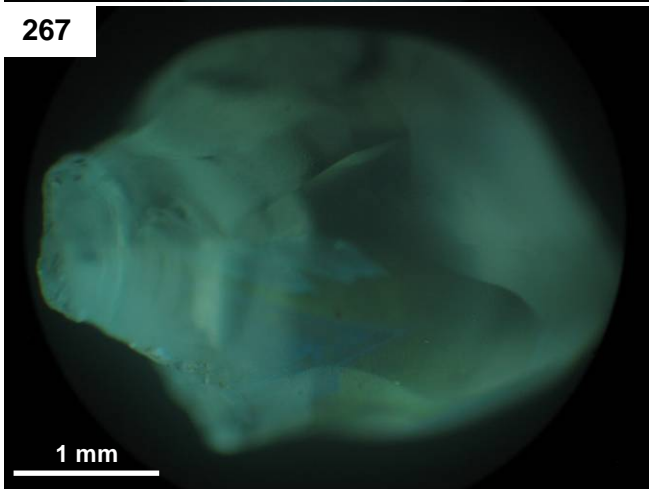
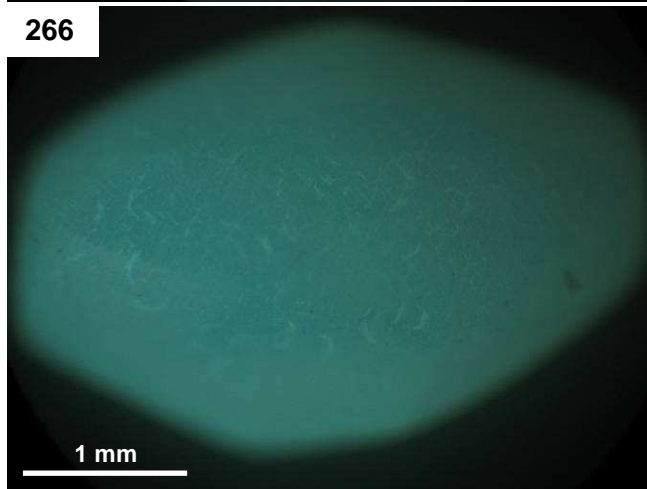
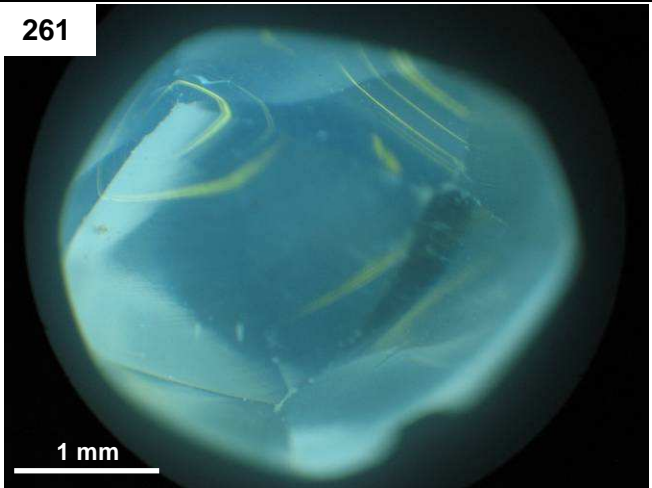
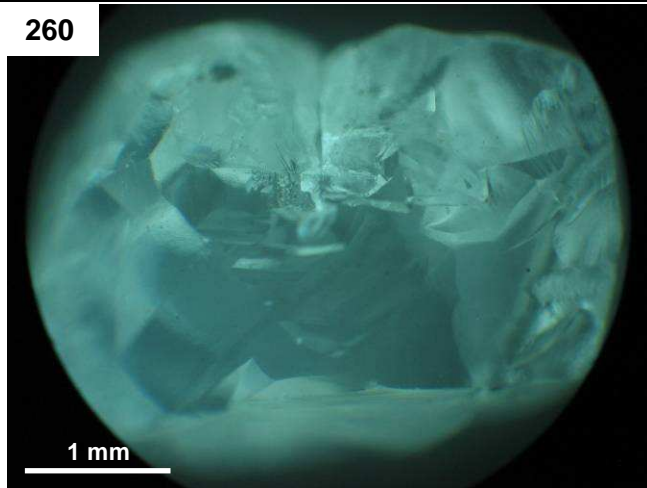
## ANEXO IV

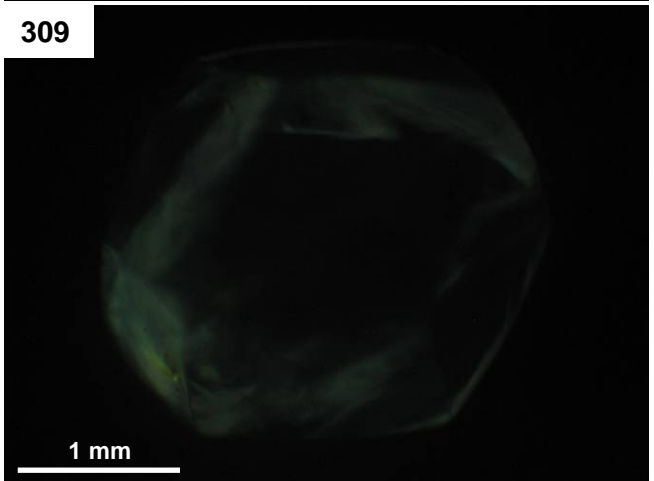
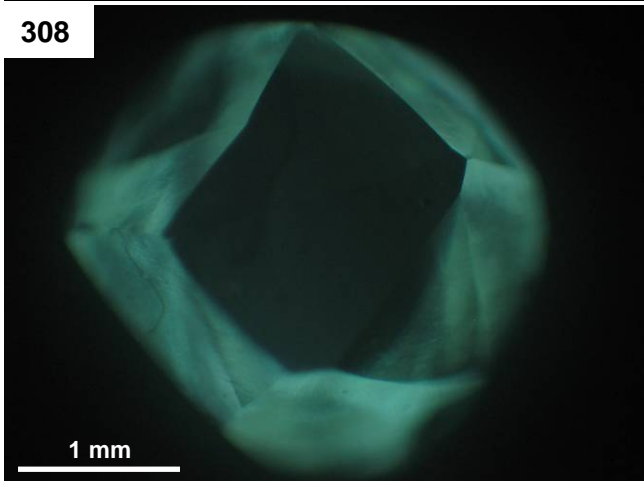
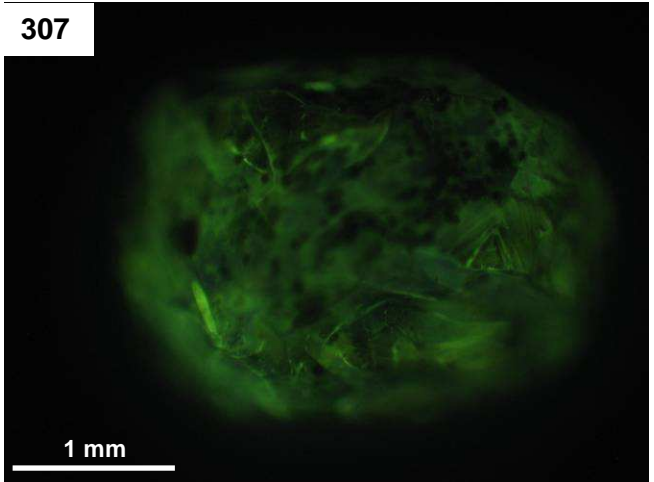
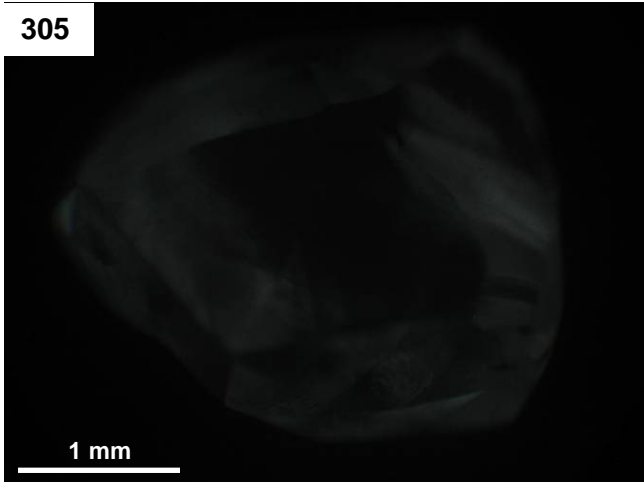
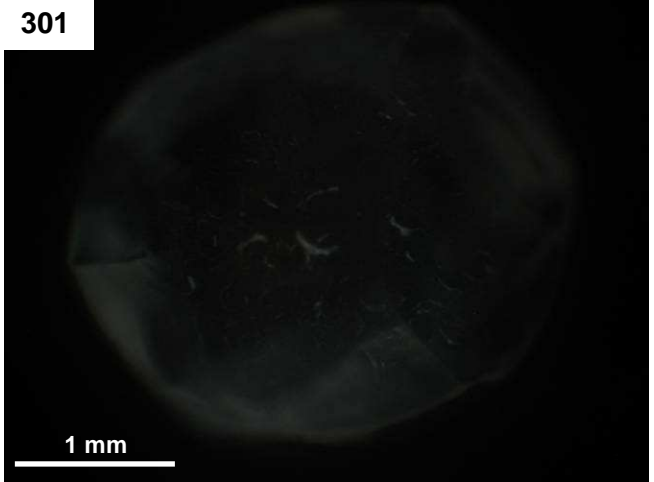
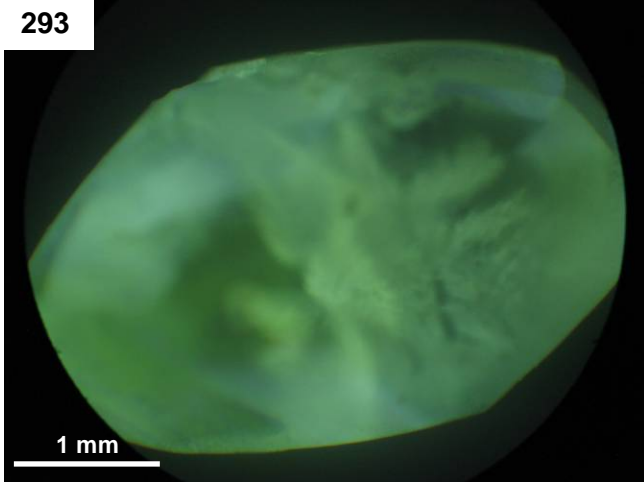
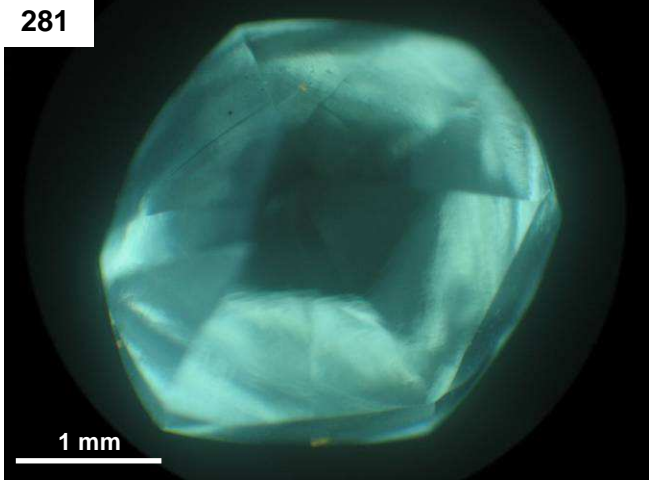
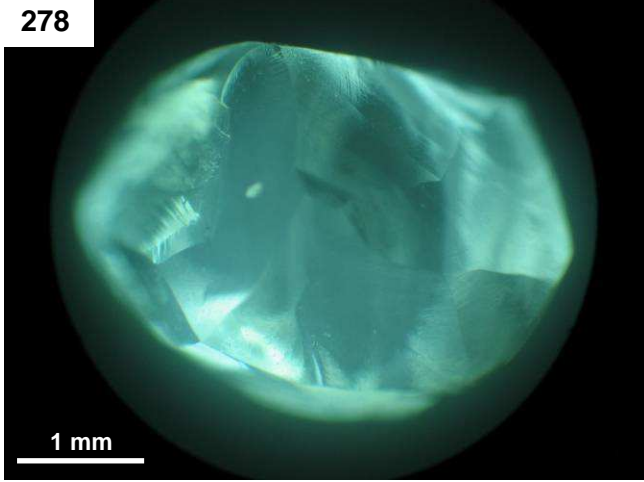
---

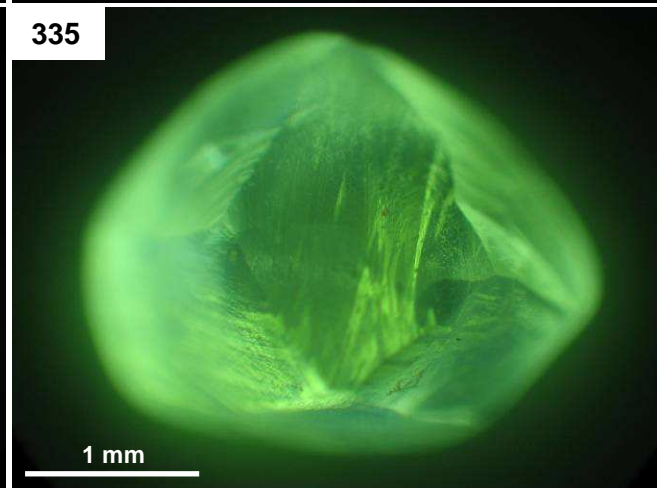
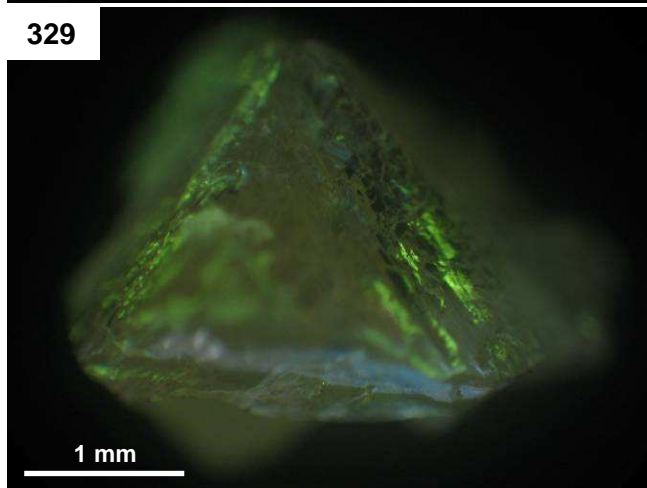
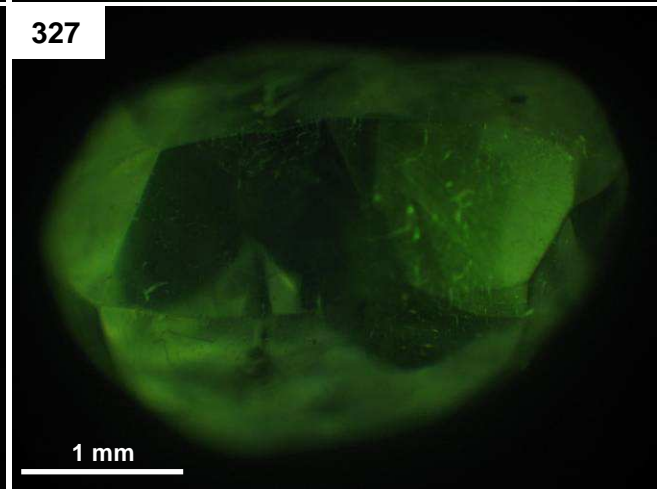
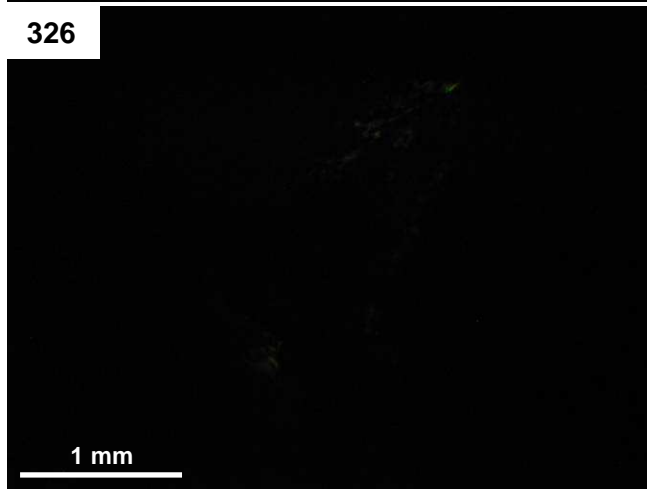
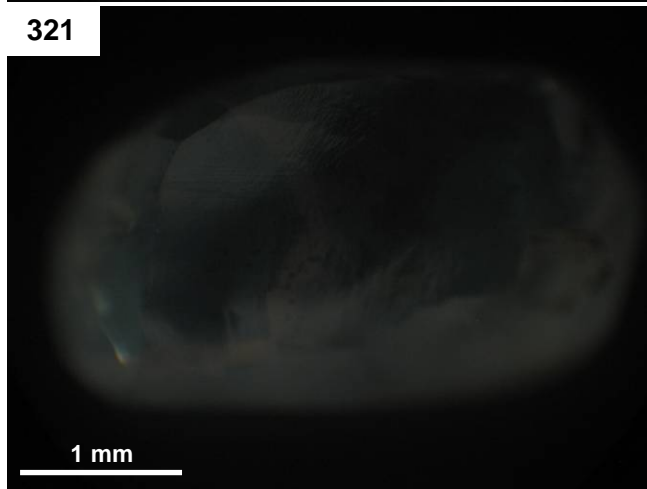
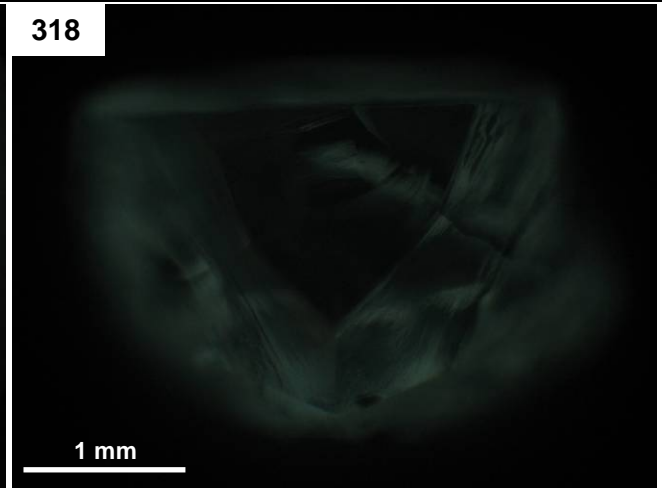
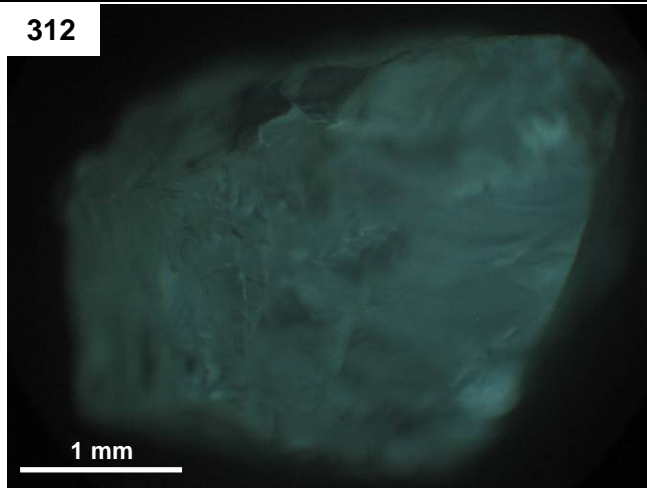
### Imagens de Catodoluminescência dos Diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO

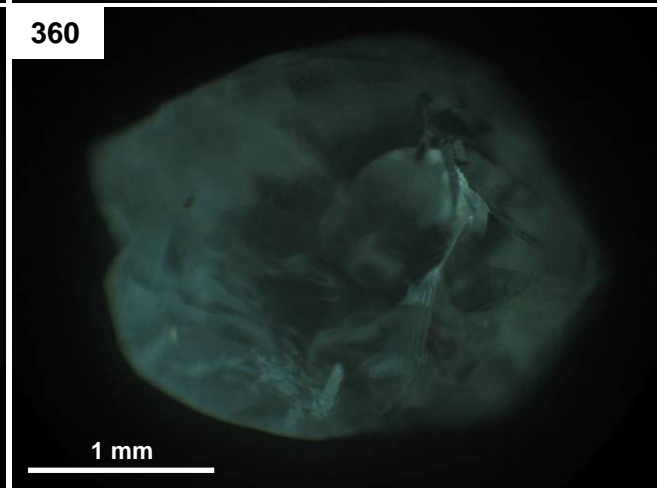
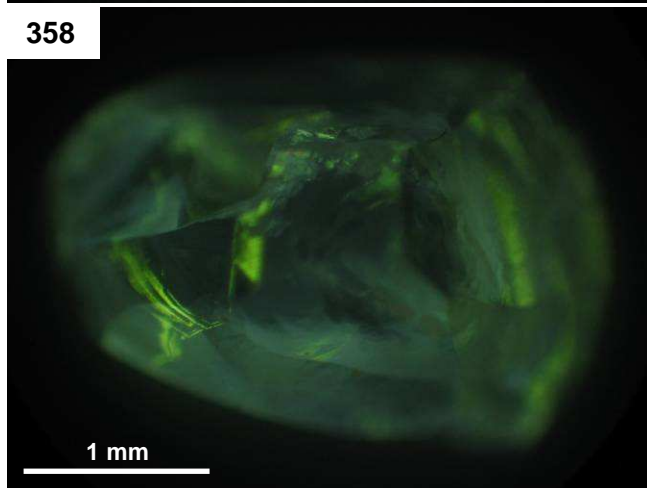
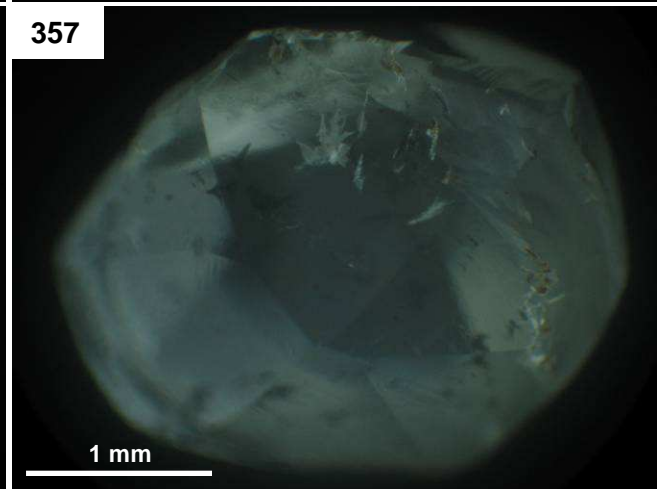
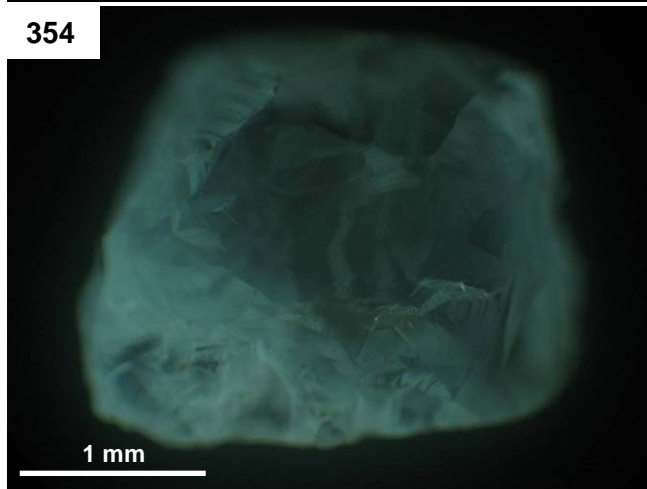
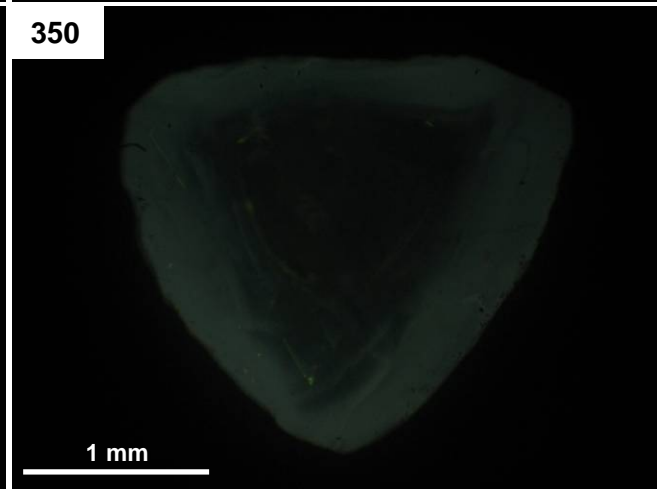
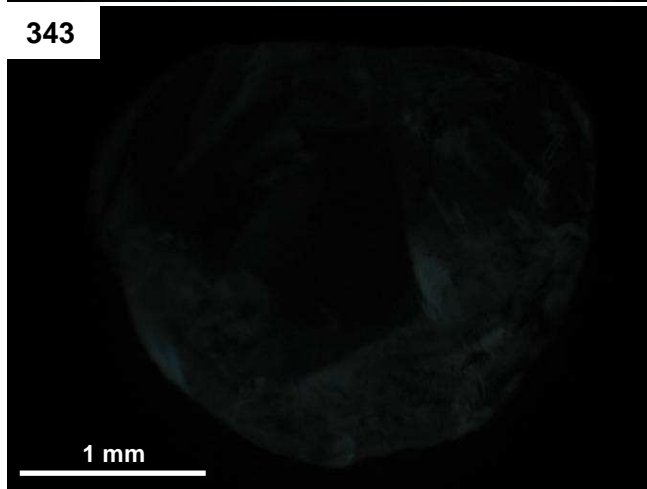
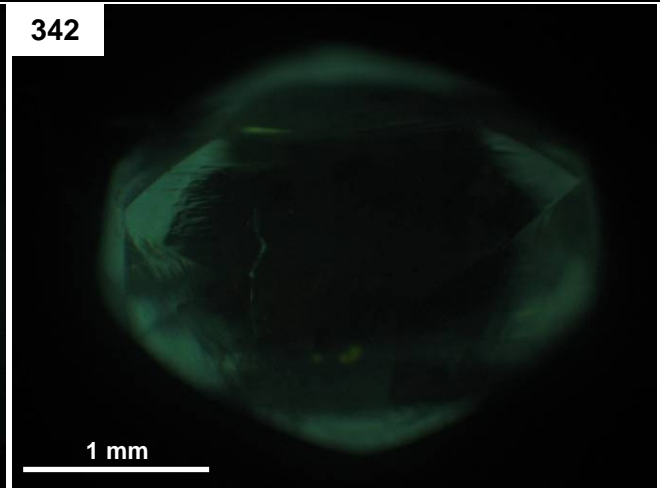
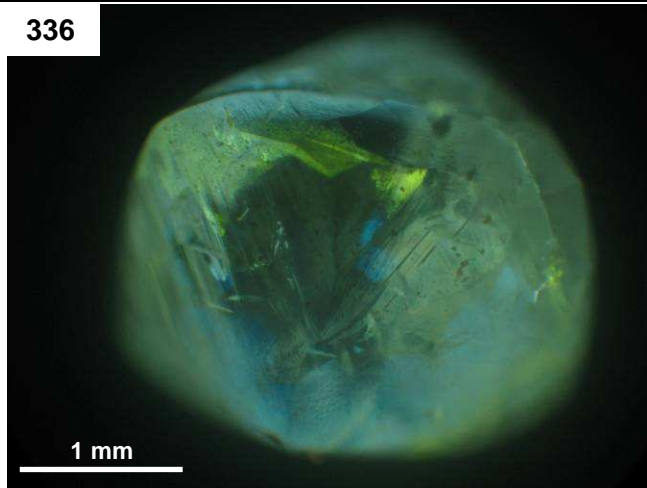


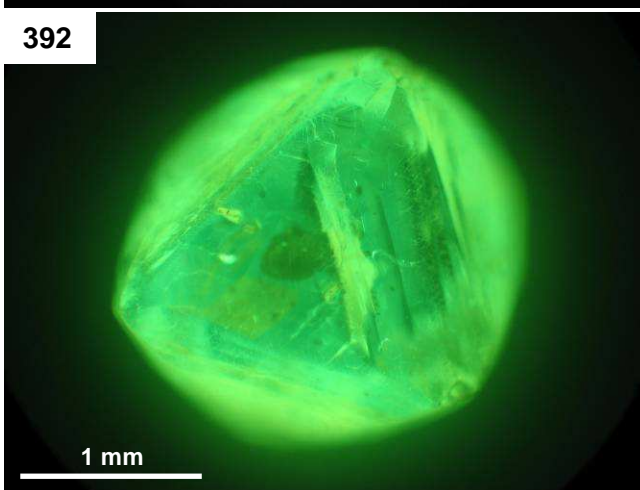
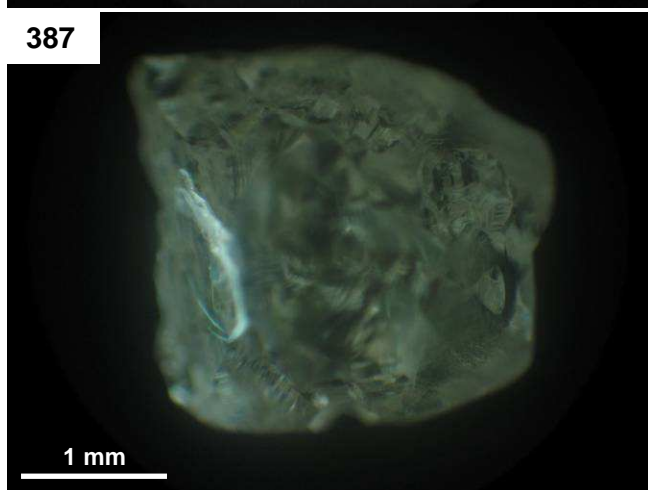
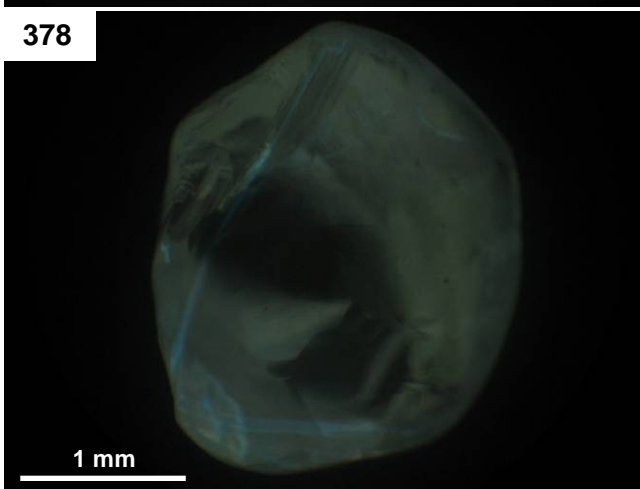
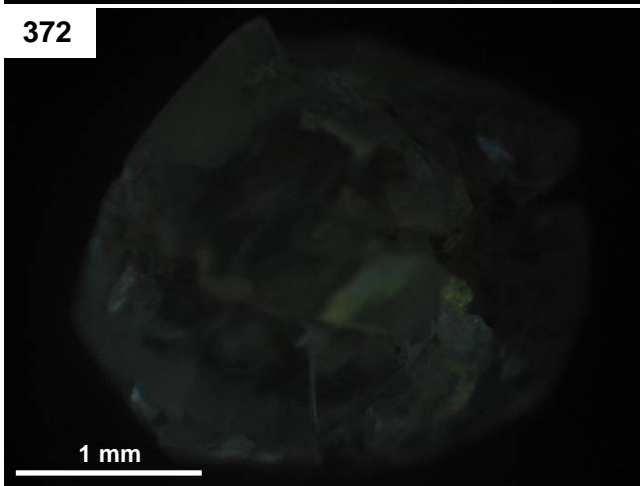
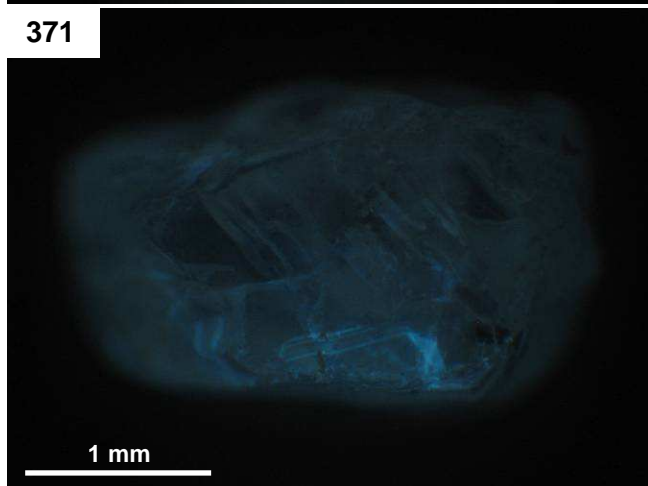
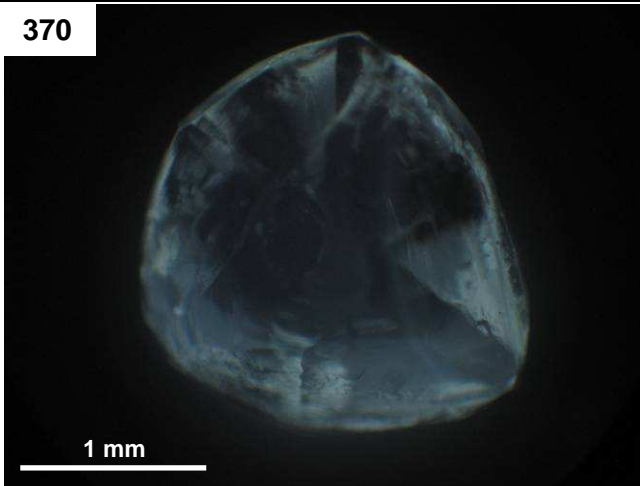
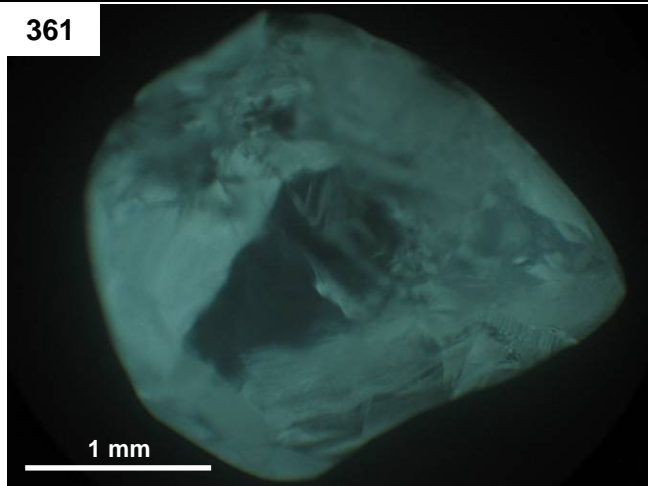


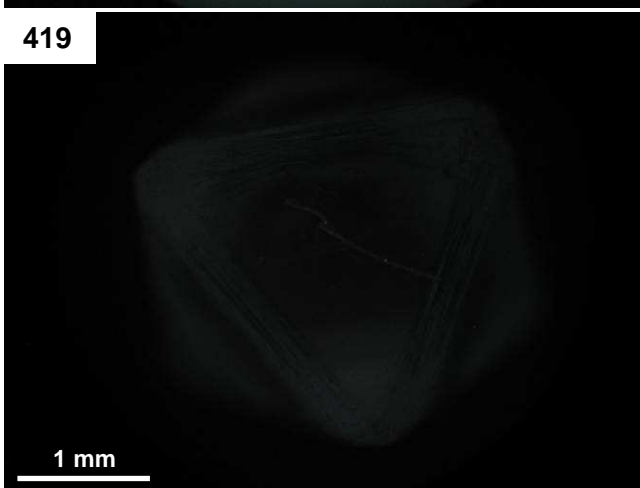
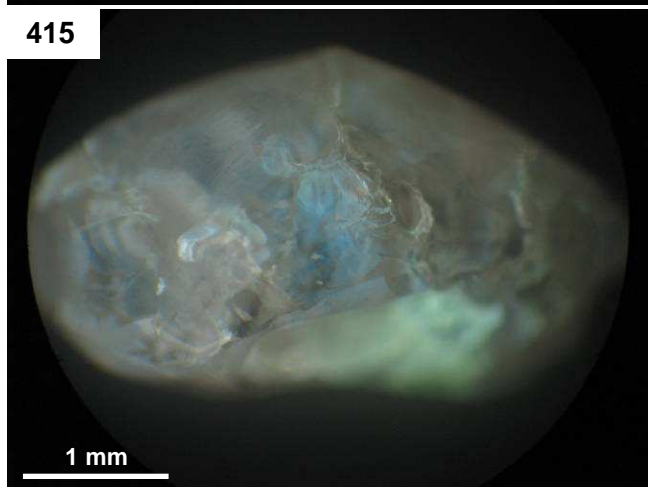
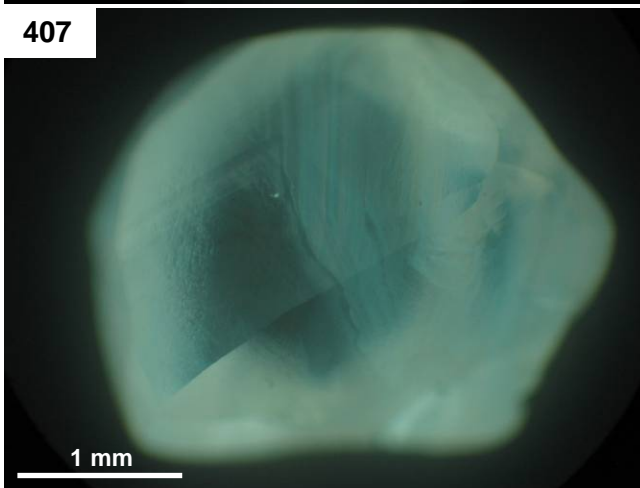
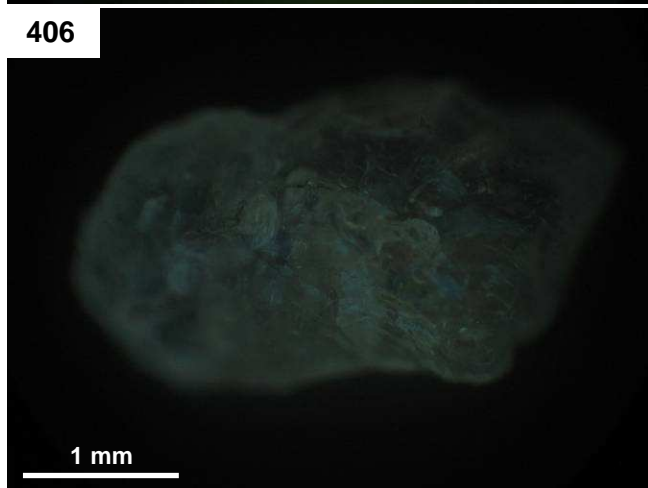
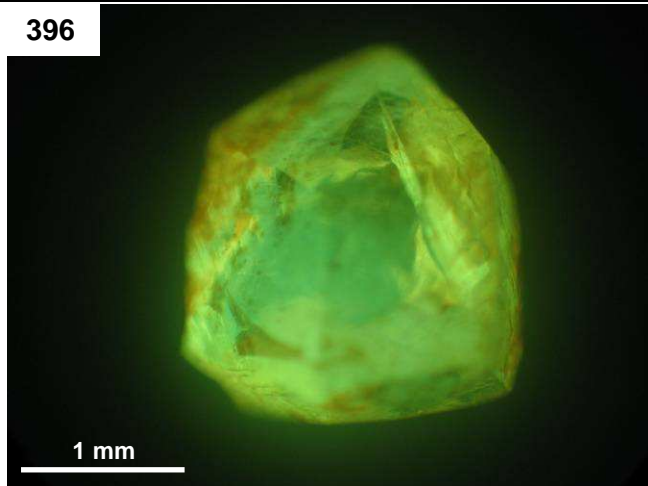


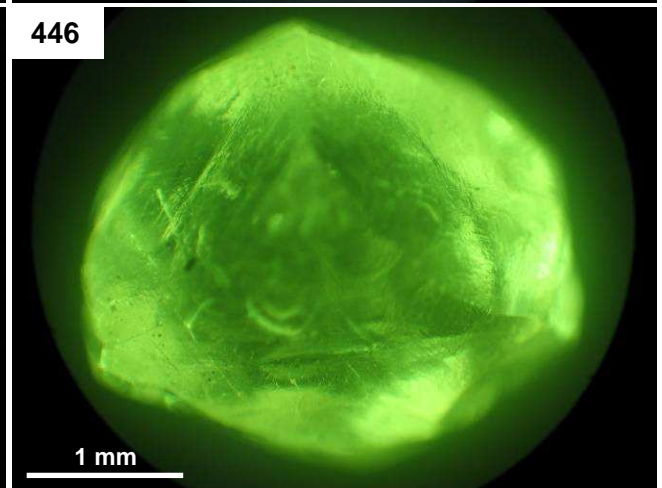
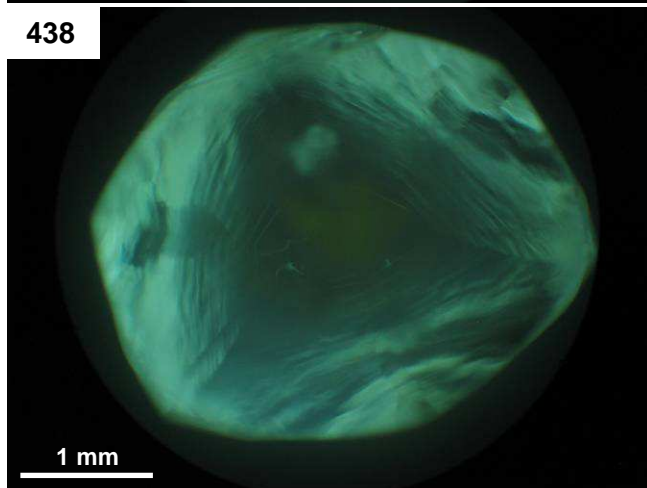
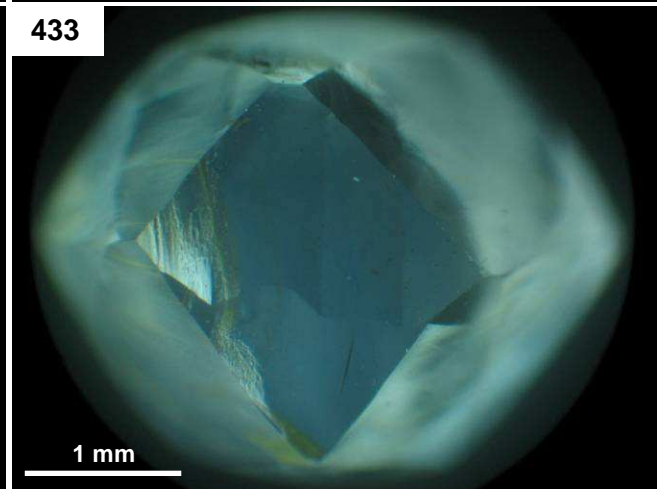
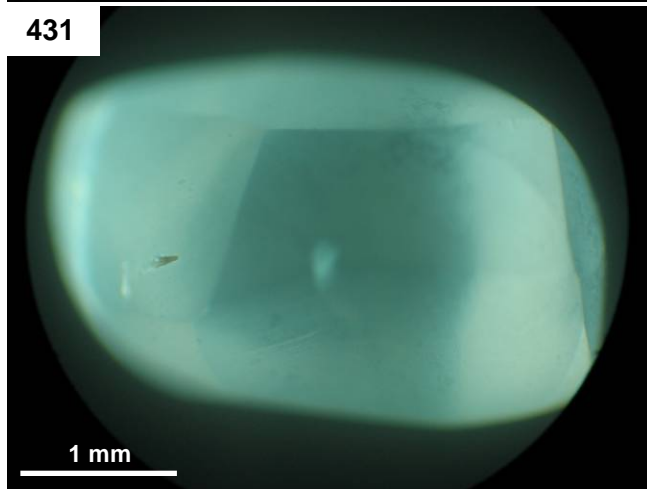
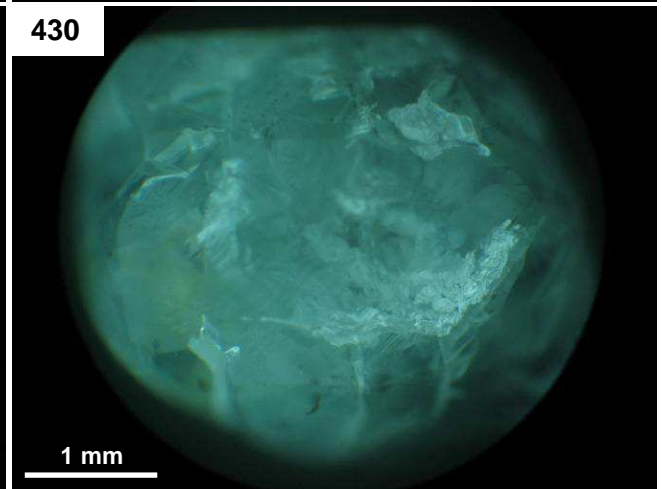
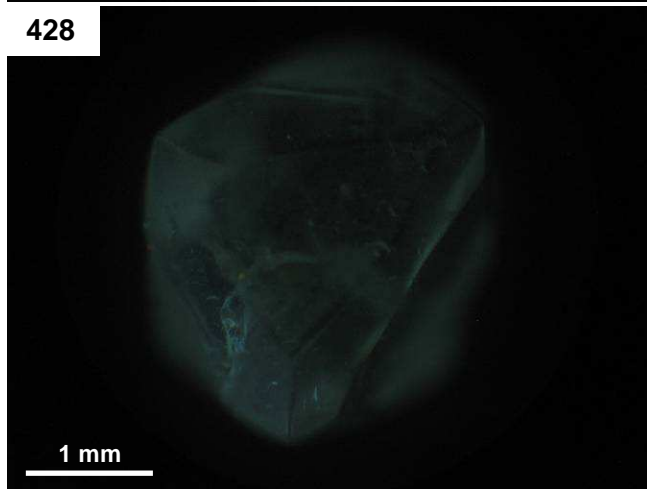
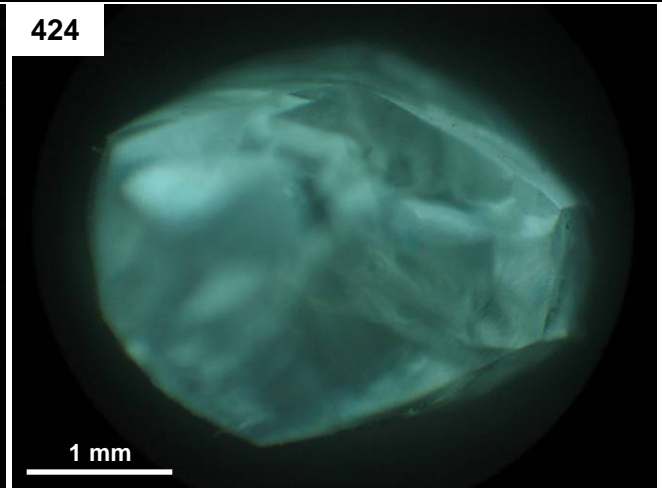
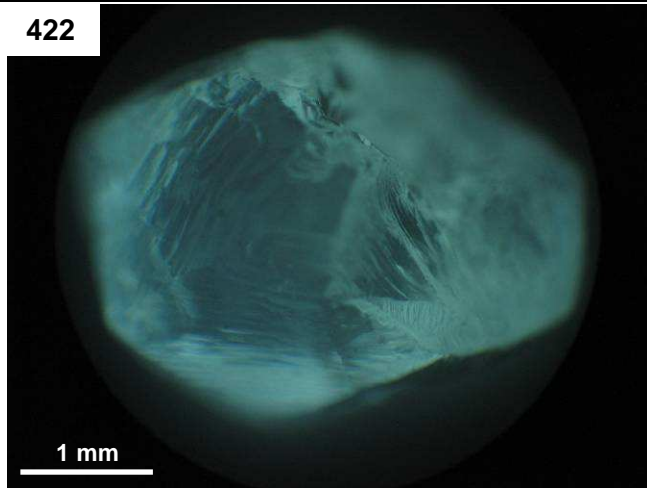


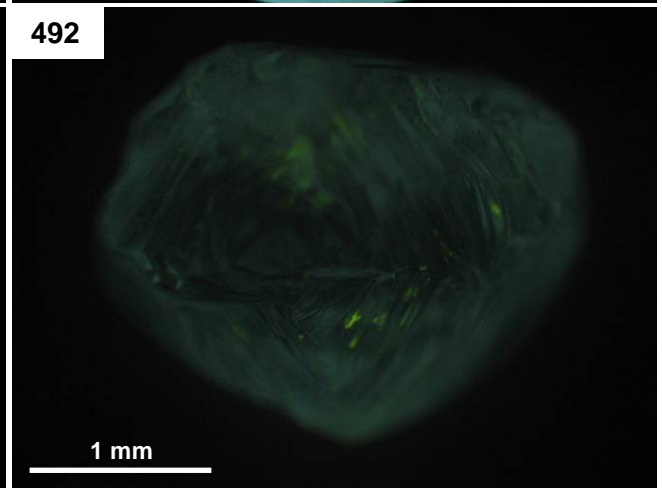
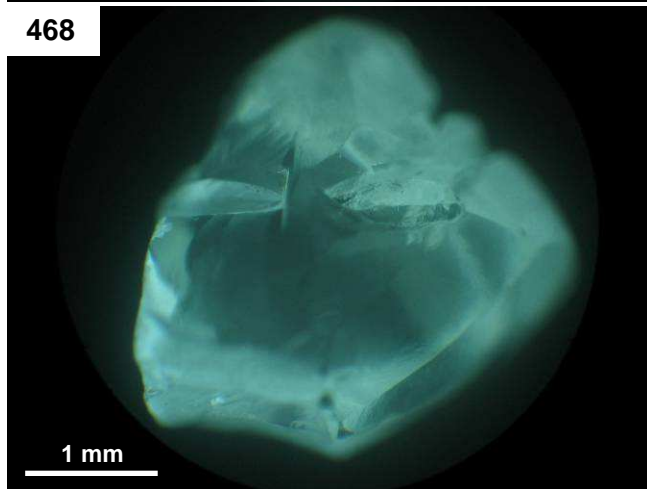
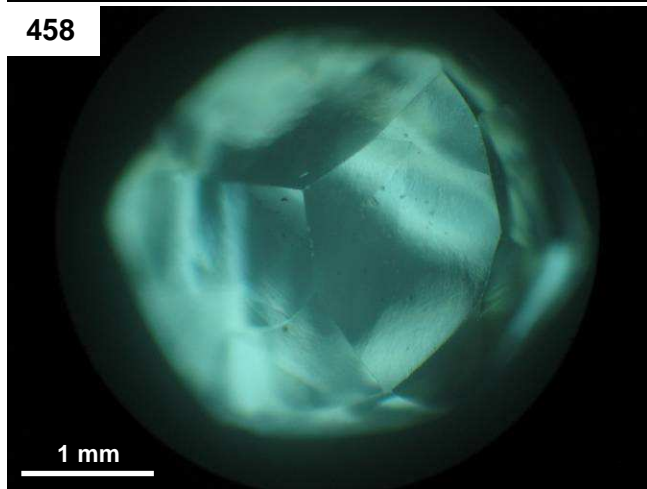
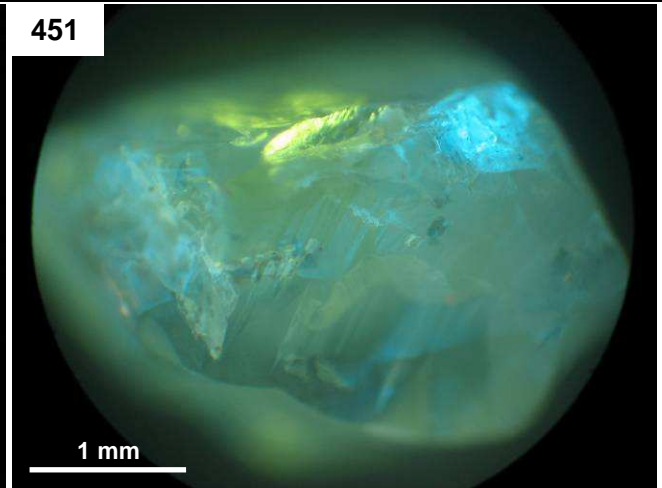
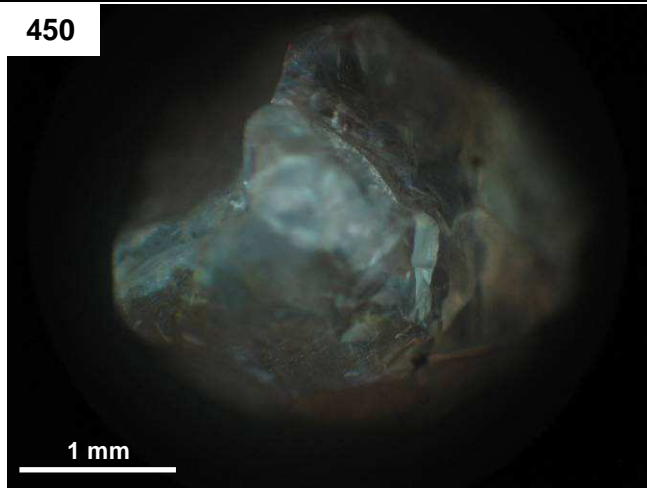




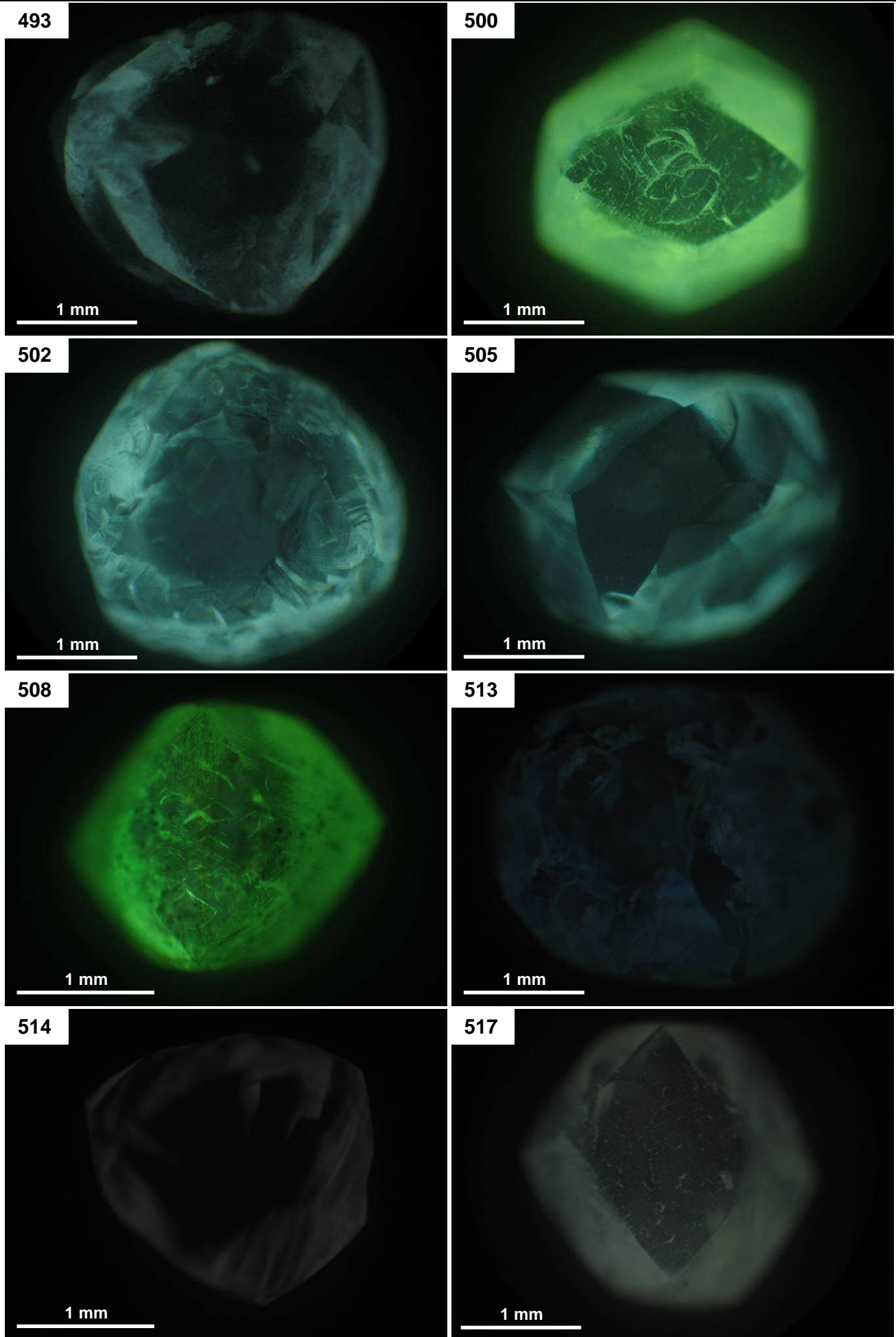




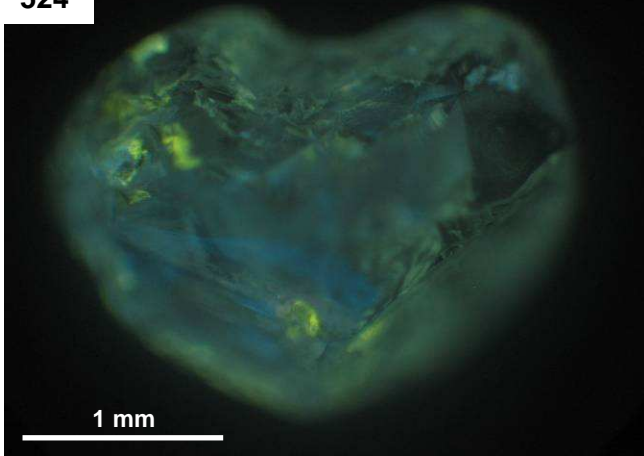




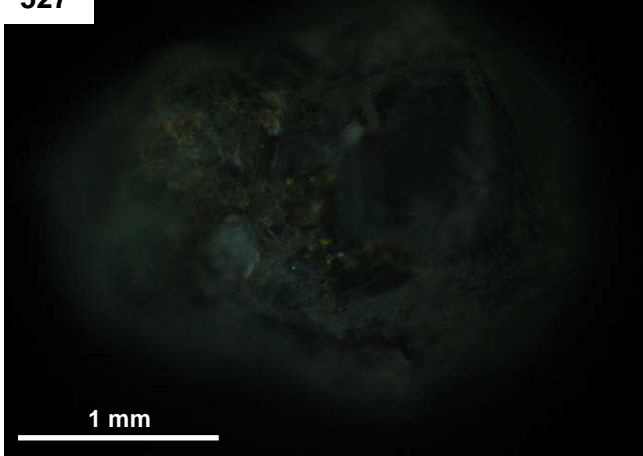




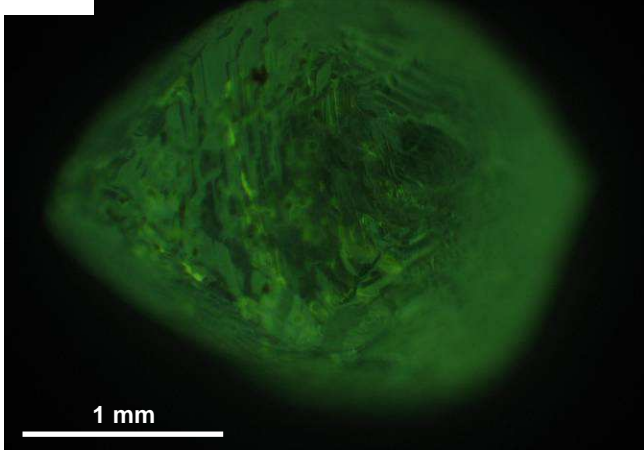
524



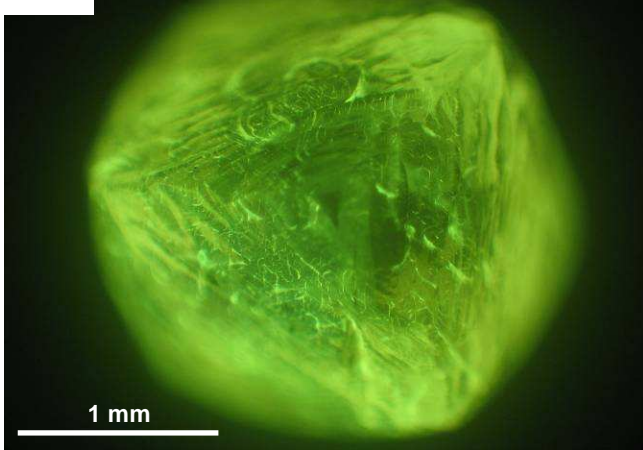
527



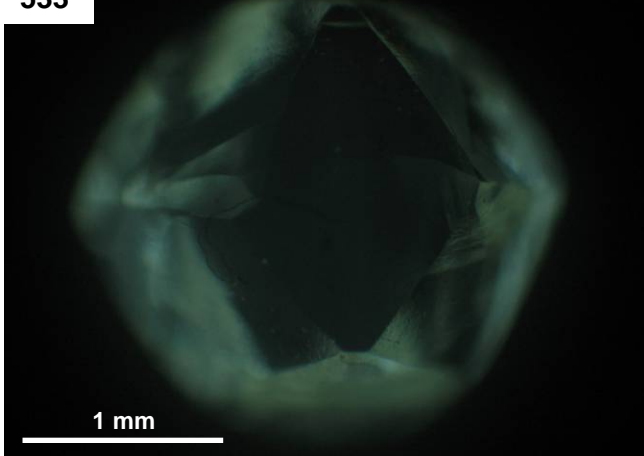
530



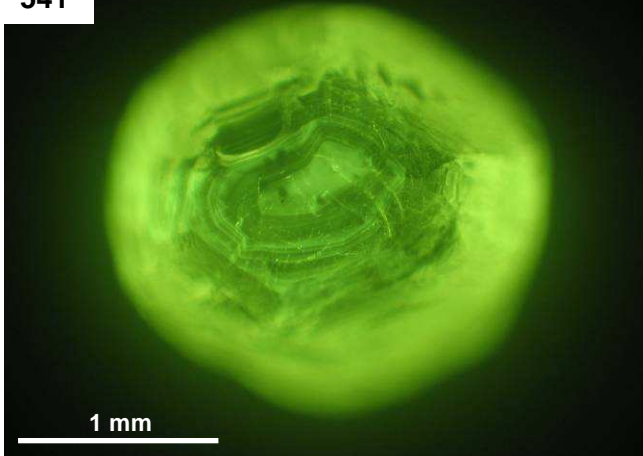
531



533



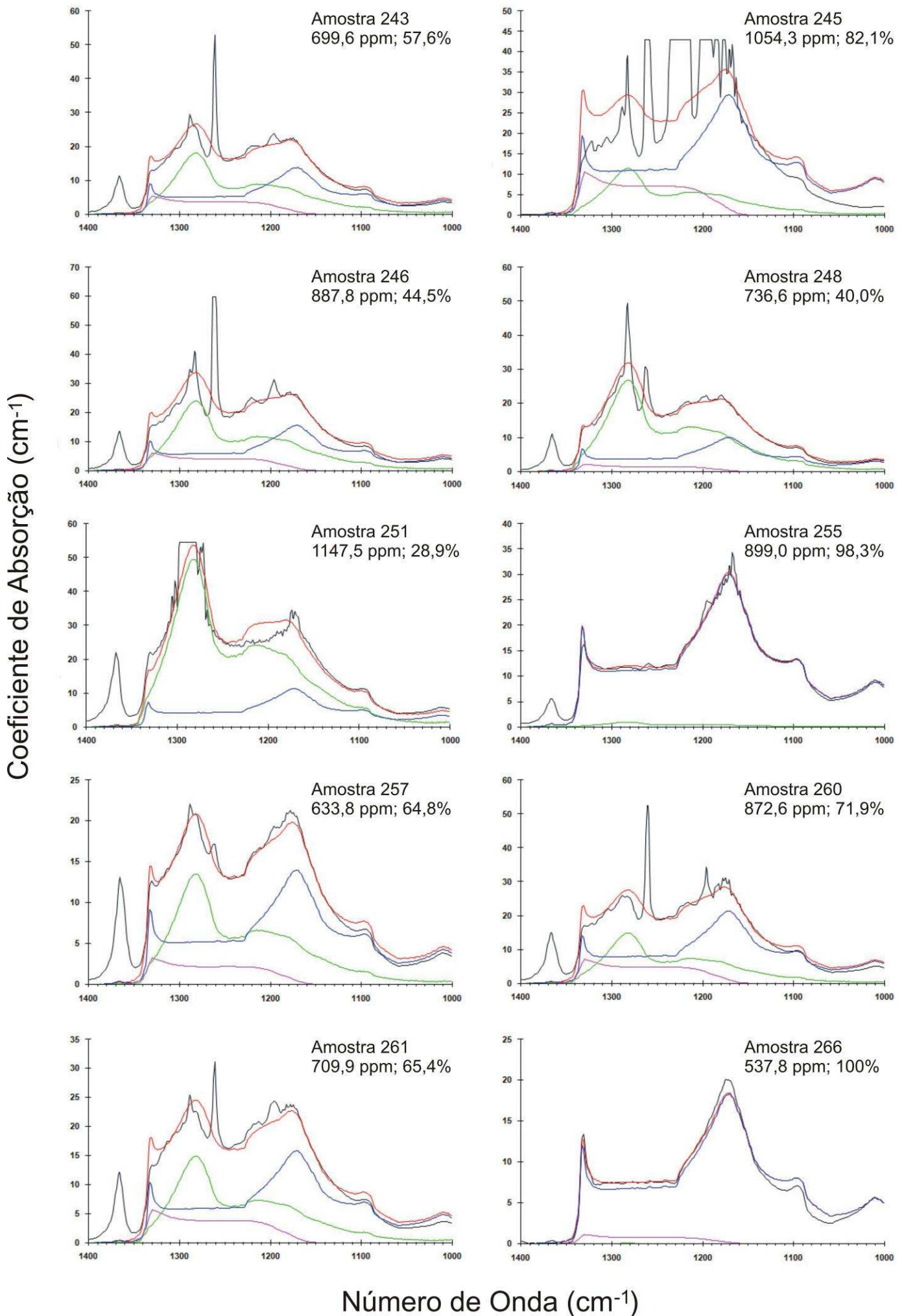
541

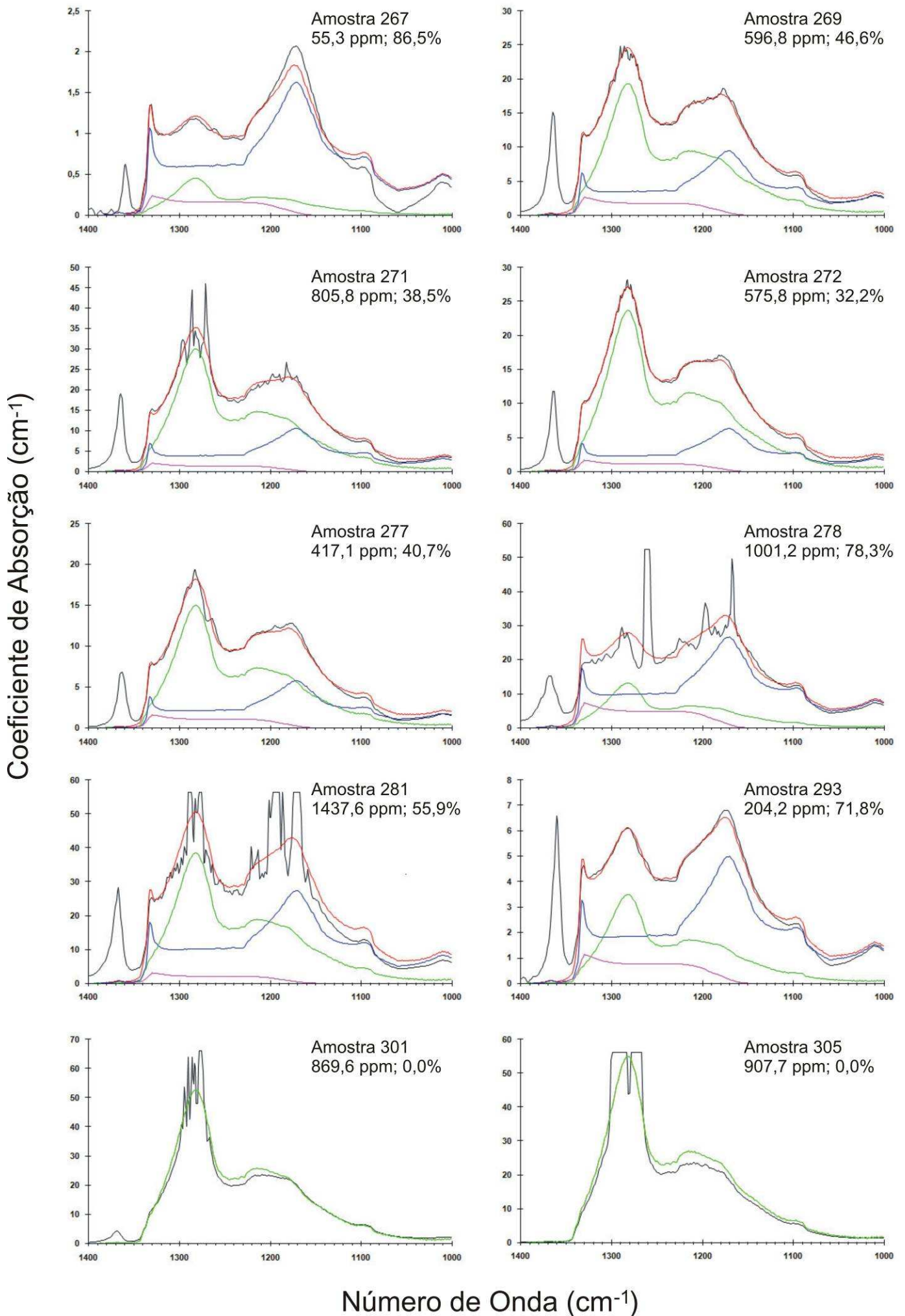


## ANEXO V

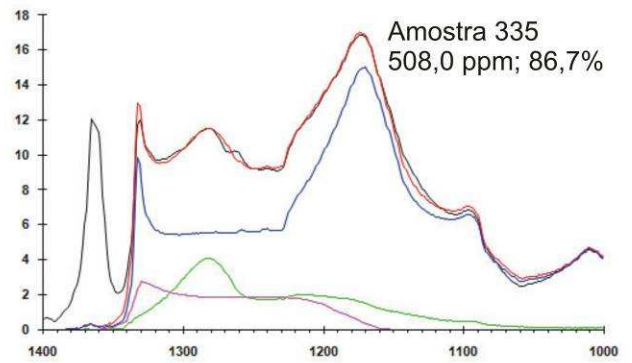
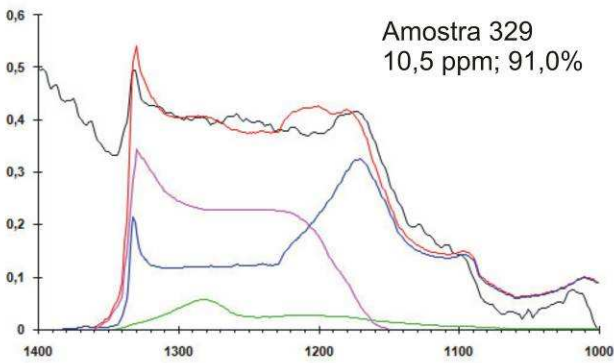
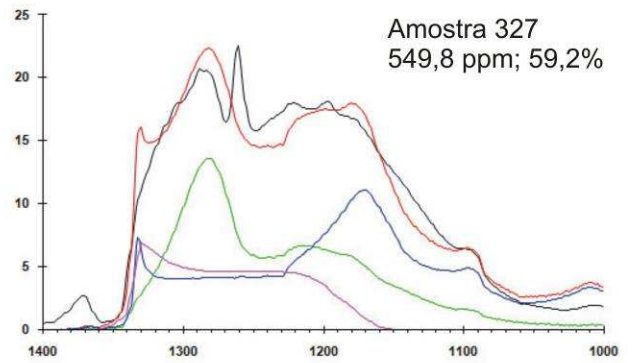
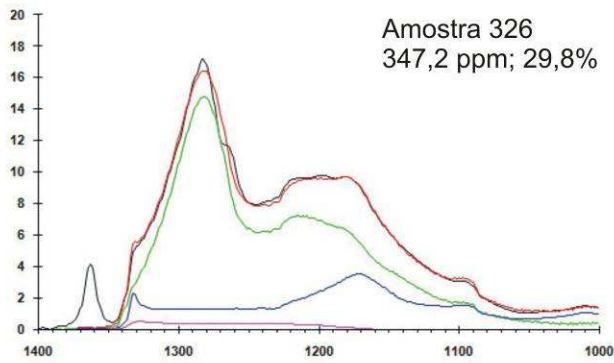
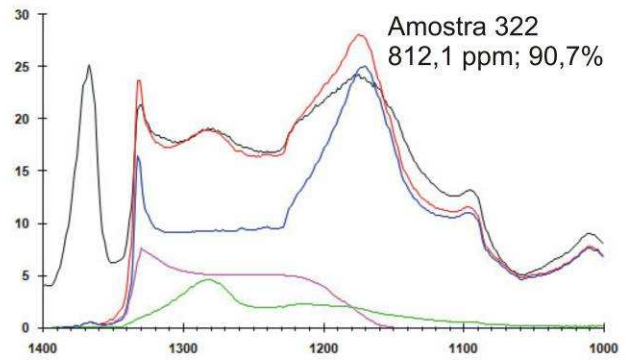
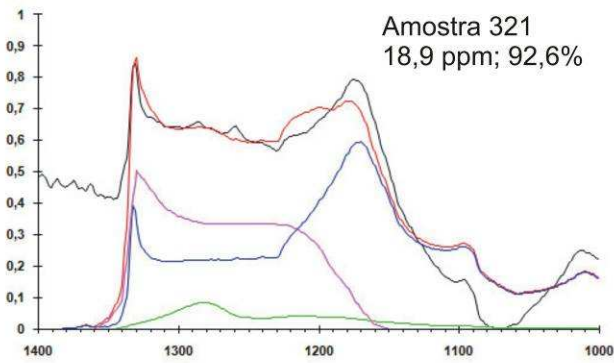
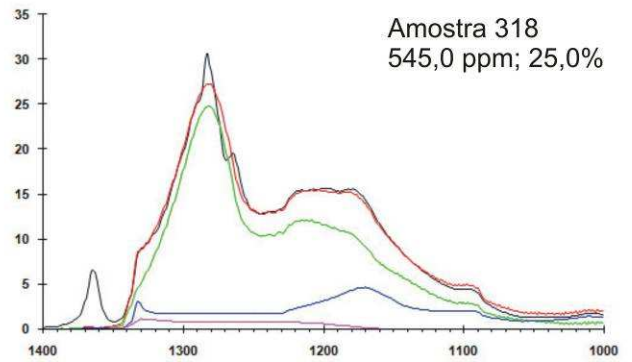
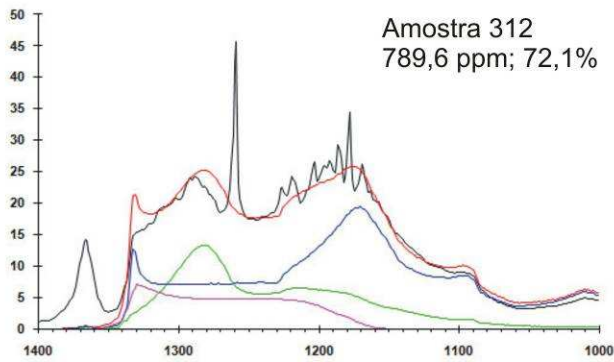
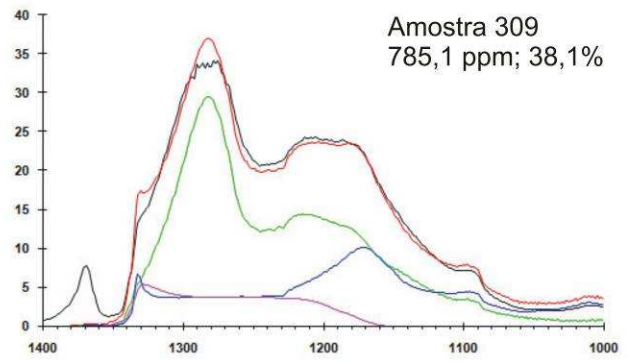
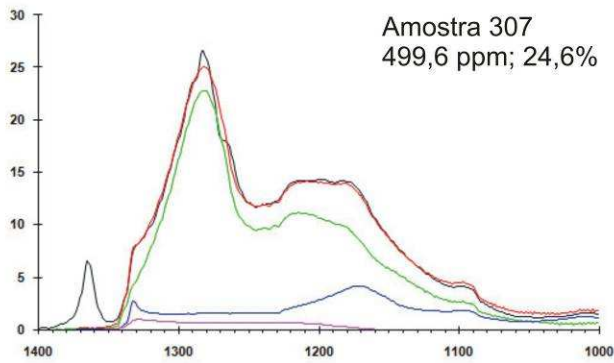
---

### Espectros de Infravermelho dos Diamantes da Terra Indígena Roosevelt-RO

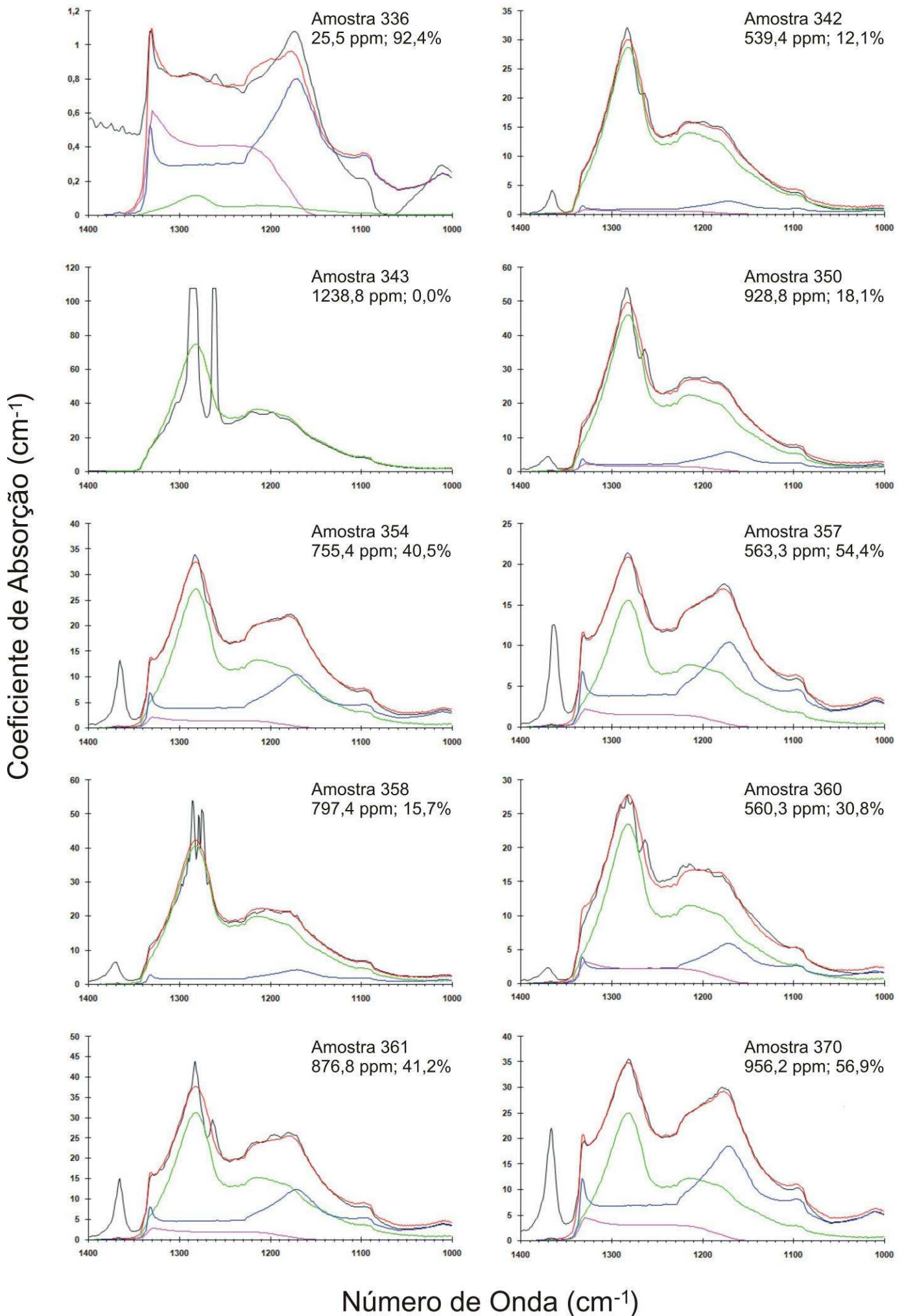


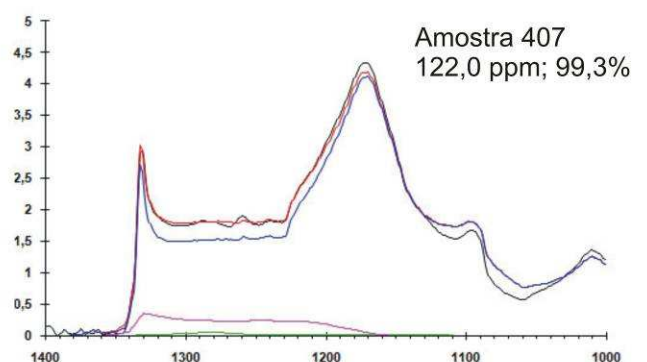
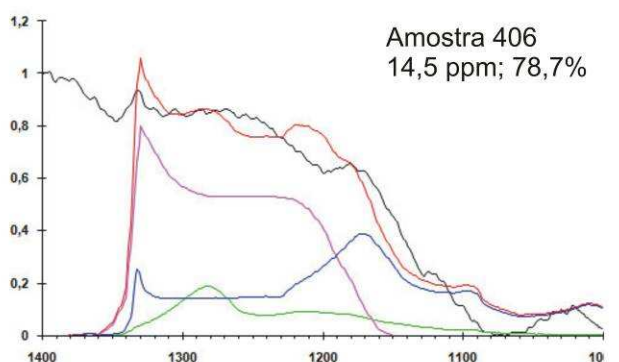
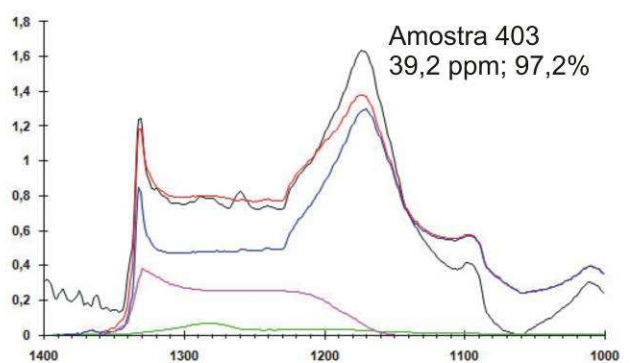
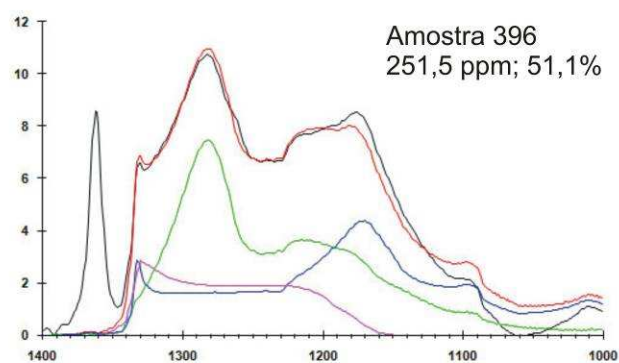
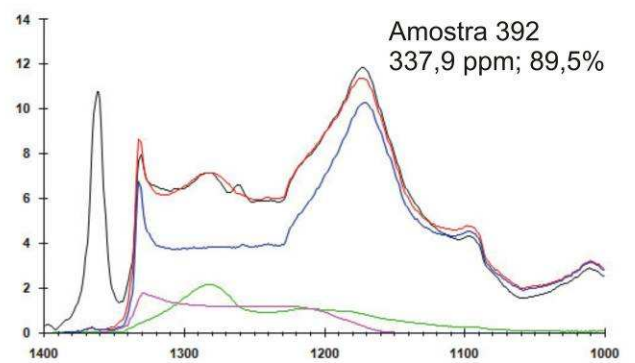
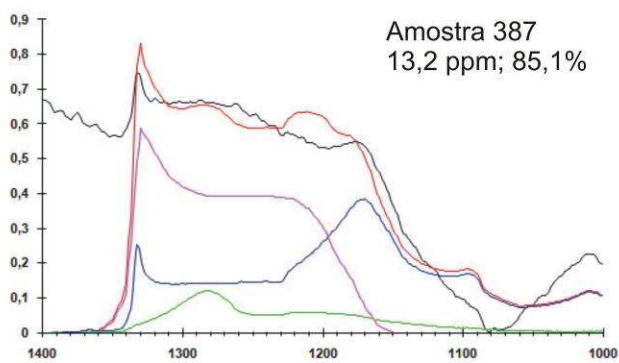
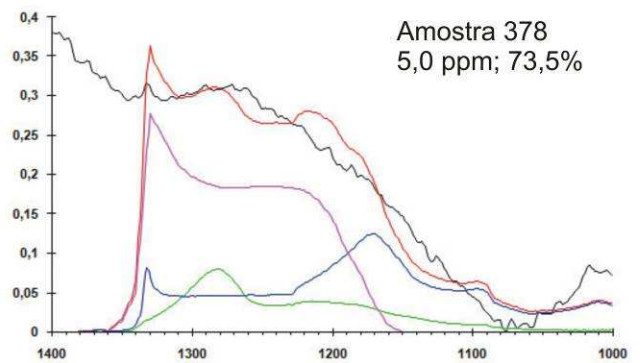
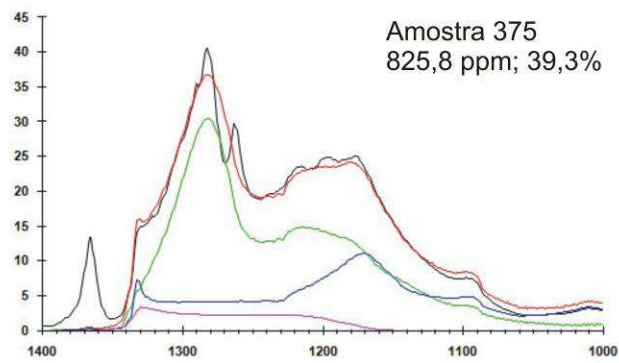
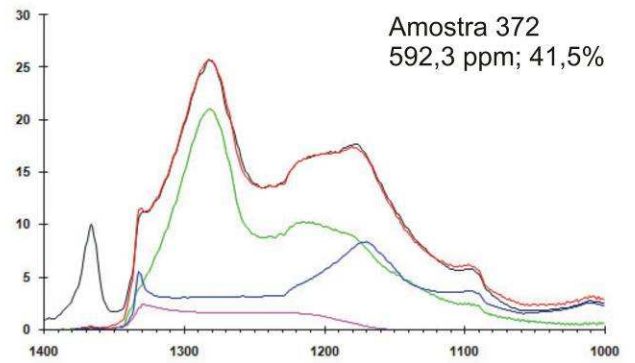
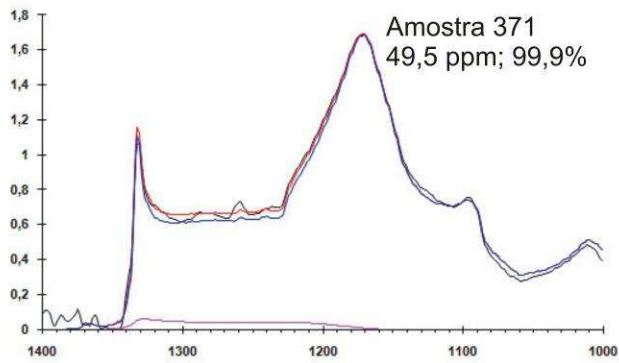


Coeficiente de Absorção (cm<sup>-1</sup>)



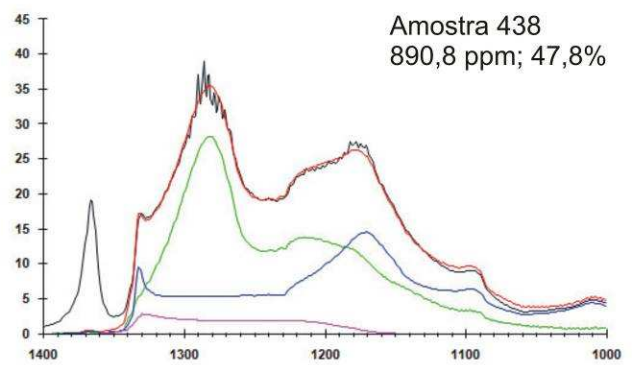
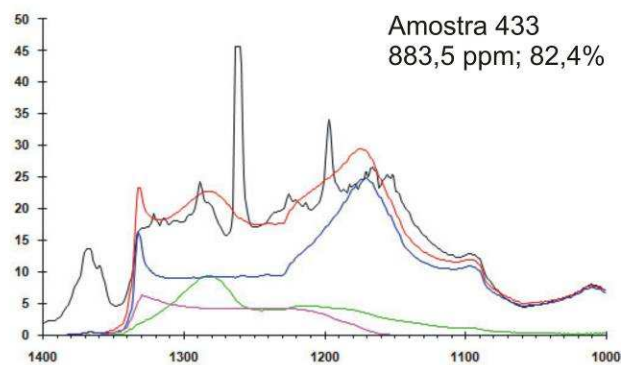
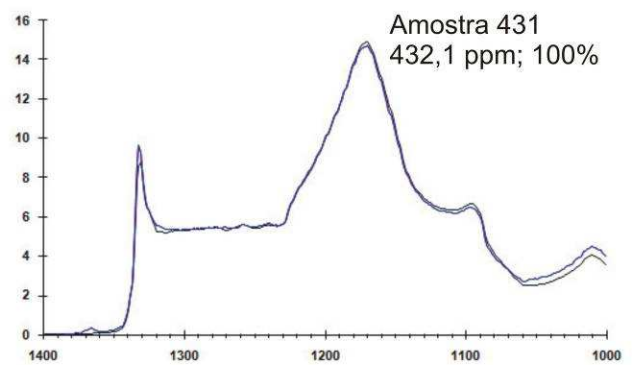
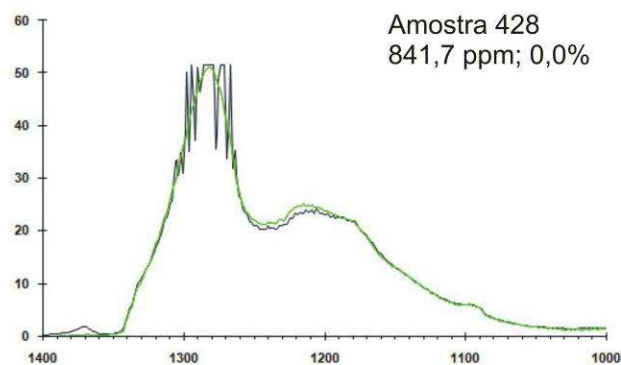
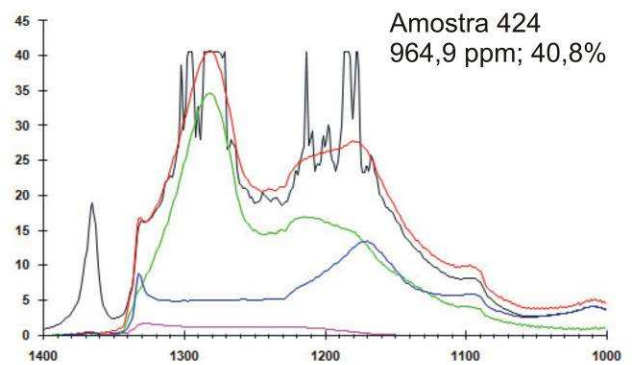
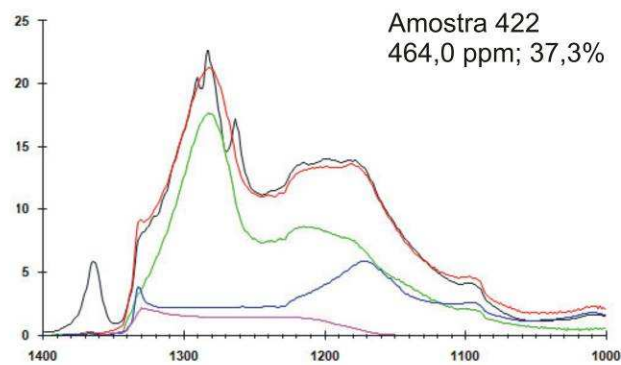
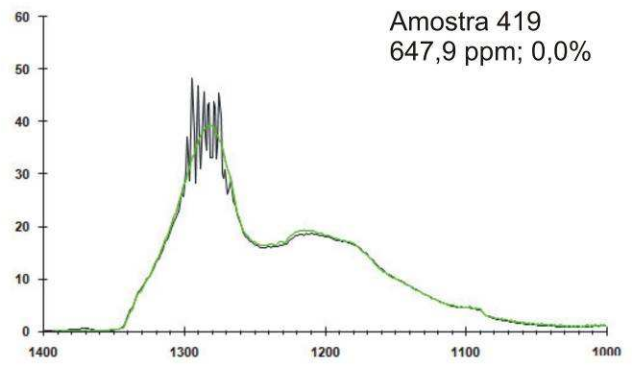
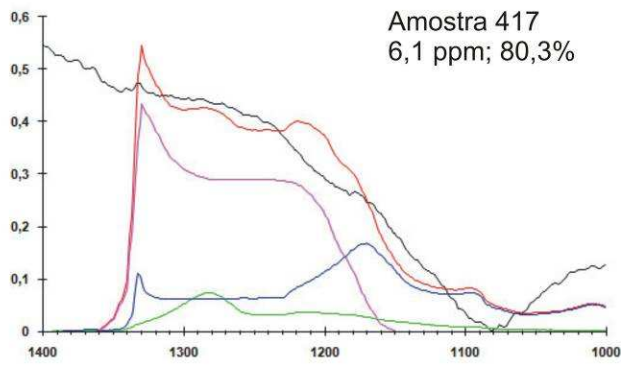
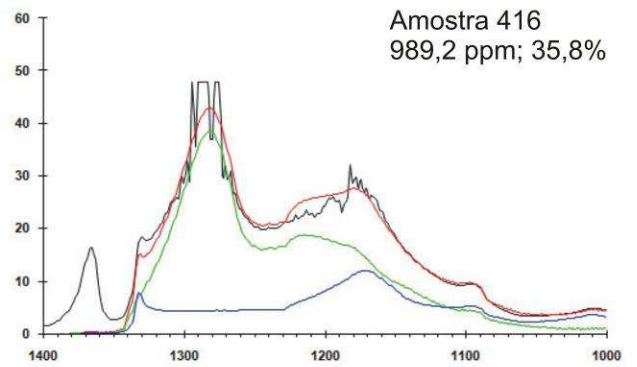
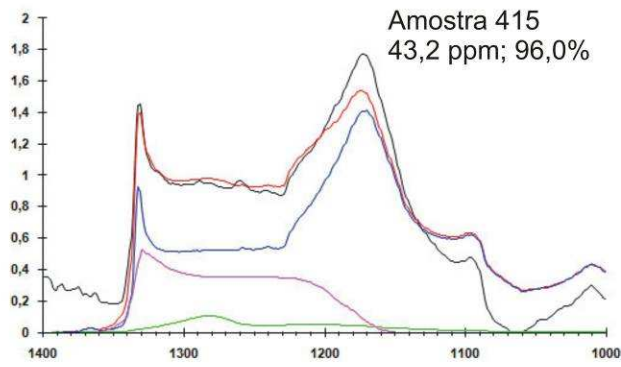
Número de Onda (cm<sup>-1</sup>)



Coeficiente de Absorção (cm<sup>-1</sup>)Número de Onda (cm<sup>-1</sup>)

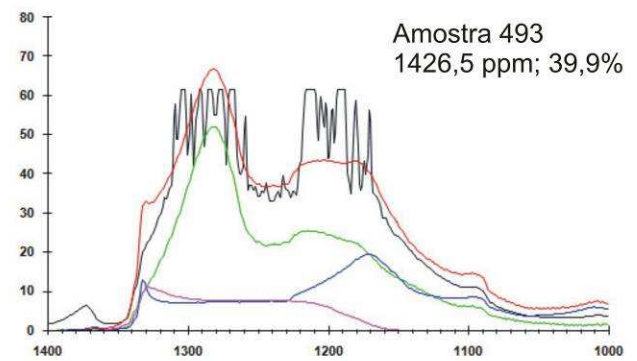
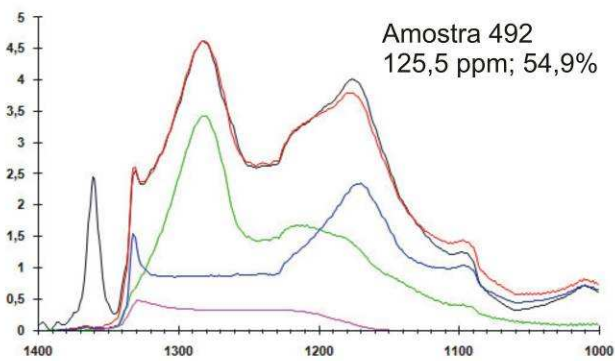
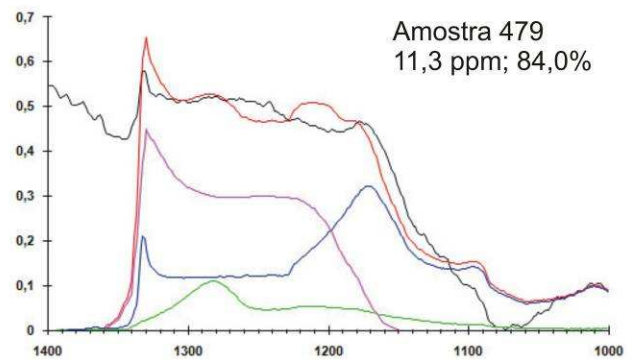
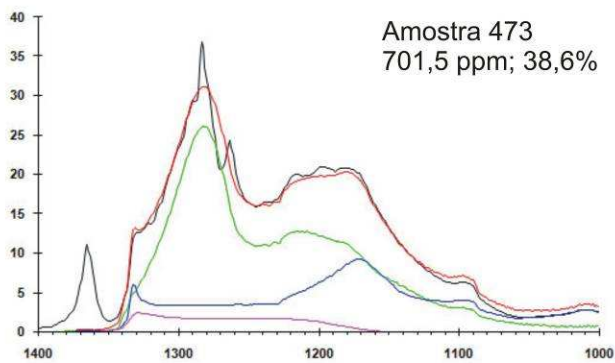
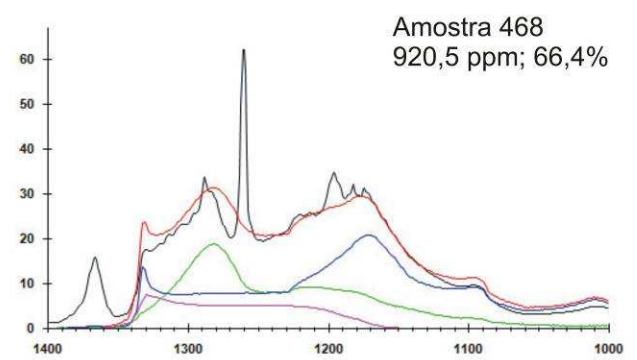
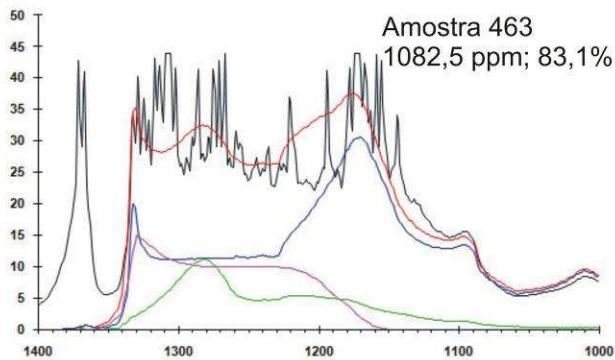
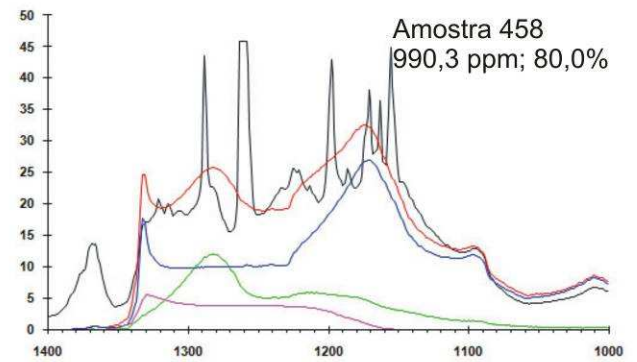
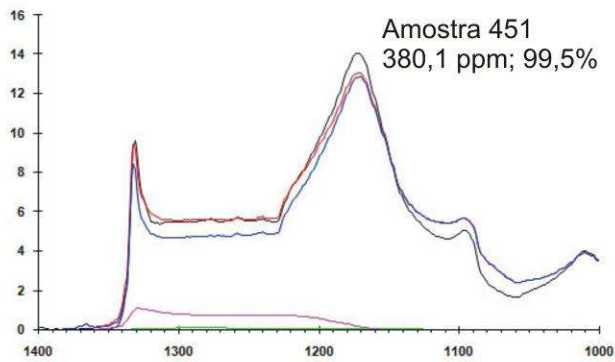
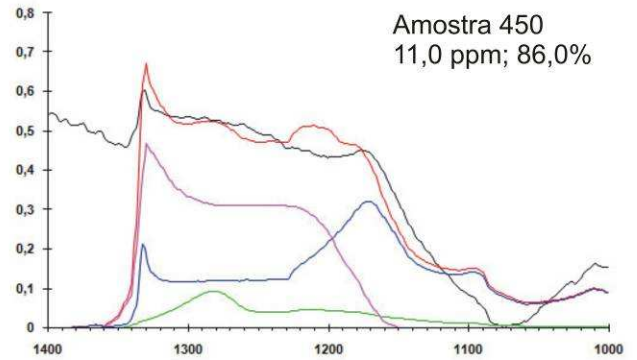
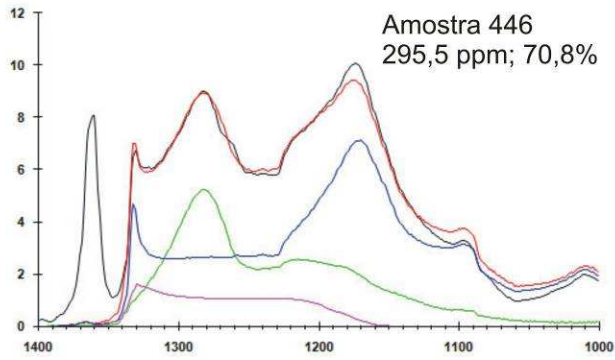


Coeficiente de Absorção (cm<sup>-1</sup>)



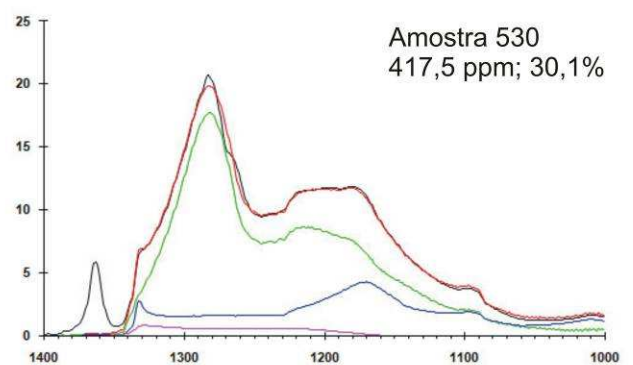
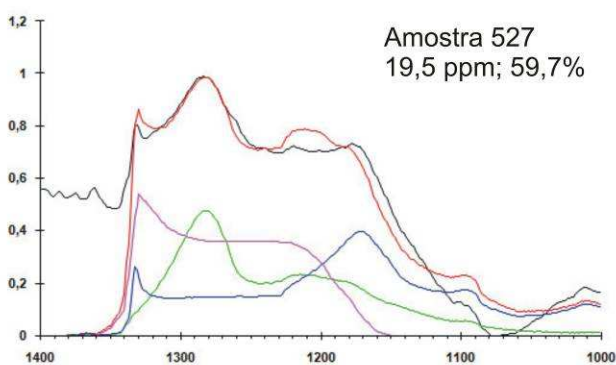
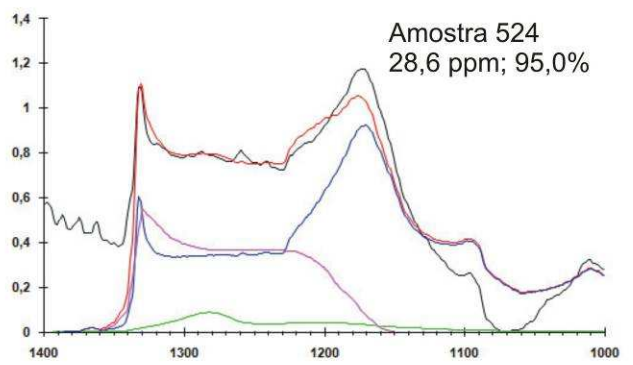
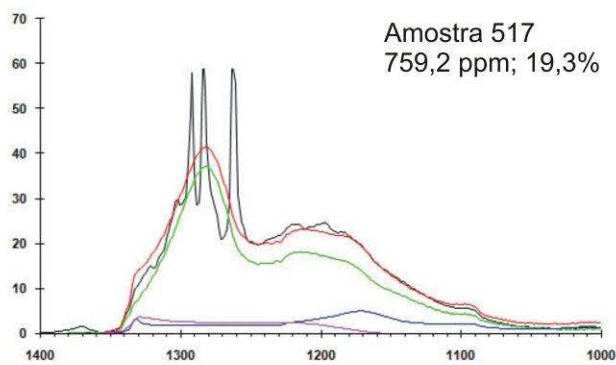
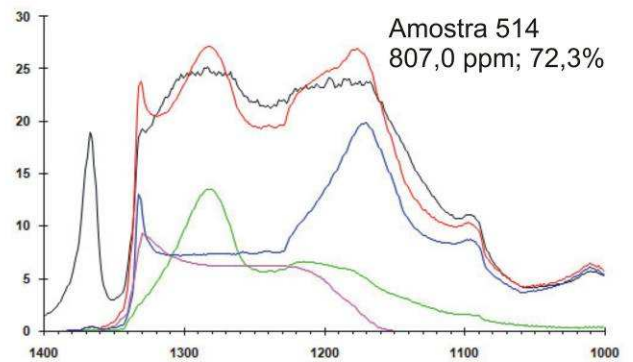
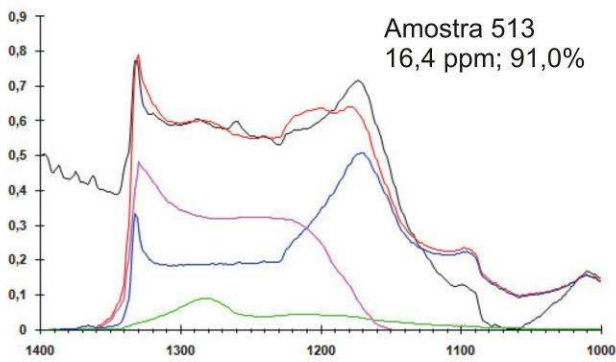
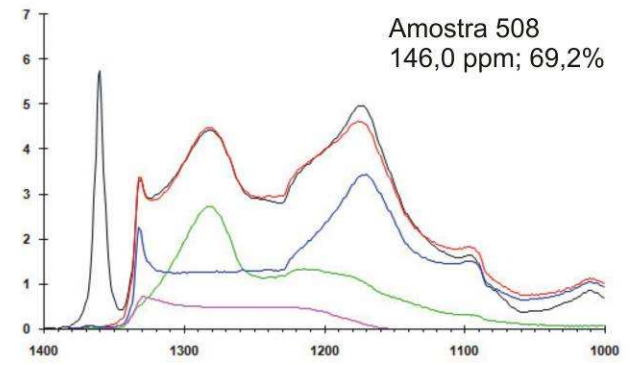
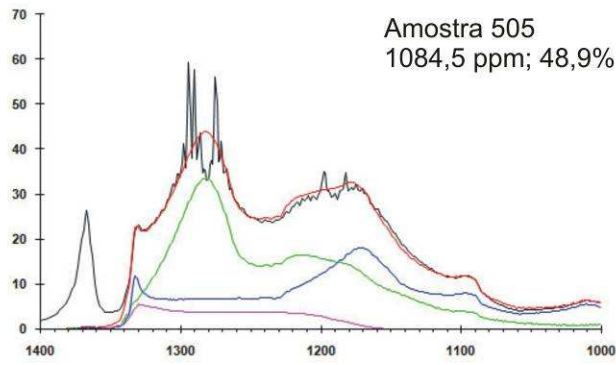
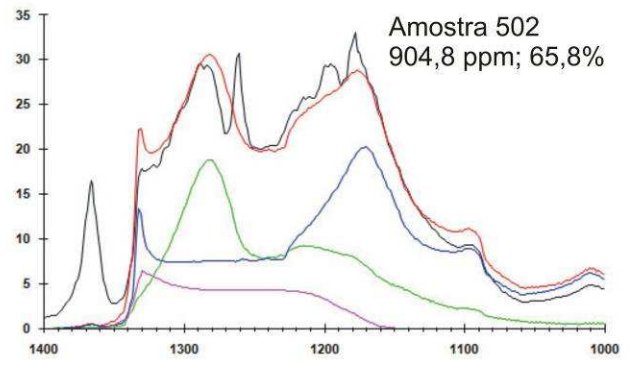
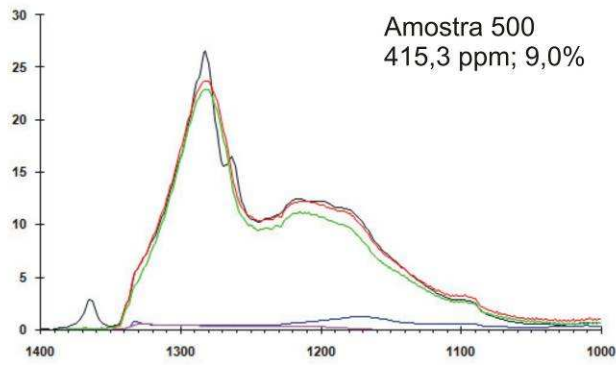
Número de Onda (cm<sup>-1</sup>)

Coeficiente de Absorção (cm<sup>-1</sup>)



Número de Onda (cm<sup>-1</sup>)

Coeficiente de Absorção (cm<sup>-1</sup>)



Número de Onda (cm<sup>-1</sup>)

