

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

**Determinação de Áreas Fontes de Minerais Gemológicos Através
da Análise do Desgaste Fluvial**

TESE DE DOUTORADO

**PIERRE ANDRÉ FRANÇA DEBROT
ORIENTADOR PROF. DR. JOACHIM KARFUNKEL
CO-ORIENTADOR PROF. DR. GERALDO NORBERTO
CHAVES SGARBI**

JANEIRO DE 2013

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

**Determinação de Áreas Fontes de Minerais Gemológicos Através
da Análise do Desgaste Fluvial**

TESE DE DOUTORADO

Autor: Pierre André França Debrot

ORIENTADOR: Prof. Dr. Joachim Karfunkel

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Geraldo Norberto Chaves Sgarbi

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GEOLOGIA ECONÔMICA E
APLICADA**

**Belo Horizonte
Janeiro de 2013**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. JOACHIM KARFUNKEL
IGC/UFMG – ORIENTADOR

PROF. DR. MÁRIO LUIZ DE SÁ CARNEIRO CHAVES
IGC/UFMG

PROF. DR. ANTÔNIO WILSON ROMANO
IGC/UFMG

PROF. DR. DETLEF WALDE
IGC/UnB

PROF. DR. WOLNEY LOBATO
PUCMINAS

**À minha filha Letícia, pelo amor, compreensão,
paciência e carinho incondicionais.**

**À Kris pelo companheirismo, apoio,
incentivo e amizade em todas as horas.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os que apoiaram ao longo destes anos no desenvolvimento desta pesquisa, mas em especial registro o meu agradecimento para:

Prof. Dr. Joachim Karfunkel, mais que um orientador, um grande amigo, que me animou nas horas mais difíceis, corrigindo a rota quando necessário, mas sempre incentivando e me apoiando.

Prof. Dr. Norberto, pelo apoio ao longo do projeto.

Prof. Dr. Herbert Pöllman (Instituto de Mineralogia, Universidade de Halle, Alemanha) e Prof. Dr. Heinrich Karfunkel (Instituto de Química, Universidade de Tübingen, Alemanha, Aposentado) pela colaboração no campo e nas discussões críticas no estudo de caso da brasilianita da região de Mendes Pimentel.

Prof. Dr. Hans Joachim Kleebe (Inst. de Mineralogia, Univ. Darmstadt, Alemanha), pela colaboração e sugestões construtivas no estudo de caso das Lavras do “Eduardo/Cigana”.

Dr. Donald Hoover (U.S.G.S Denver, CO, Estados Unidos, Aposentado) pelo apoio a e pelas críticas e sugestões construtivas à pesquisa.

Prof. Dr. Klaus Krambrock, do Departamento de Física da UFMG, pelas análises por Absorção Óptica e Microsona e pelas sugestões à pesquisa.

Profs. Drs. Alexandre Uhlein, Mário Chaves e Wilson Romano pelas críticas construtivas realizadas no momento da qualificação.

Prof^a. Dr^a. Maria Márcia Magela Machado pela disponibilização do *Quantikov*, bem como pela ajuda na adaptação do Sistema ao projeto.

Programa de Pós Graduação do IGC/UFMG, principalmente aos Prof. Dr. Gilberto Costa e Prof. Dr. Mário Chaves e à Paula (secretária), pelo apoio que me foi dado ao longo desses anos.

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, através dos Departamentos de Química (Emerson) pelo apoio e incentivo e Departamento de Engenharia de Matérias (Ezequiel e Bruno), pela disponibilidade para realização das análises por Fluorescência de Raio X e pelas micrografias por MEV.

Bolsistas: Filipe Nunes, Rafael Carneiro, Filipe Chaves, Luiz Salim e ao Mestrando Augusto Fonseca Fernandes, pelo apoio nos trabalhos de campo e ensaios em laboratório.

Ataíde de Oliveira (Detentor do direito de exploração da Lavra do Tatu), Geóloga Nilza Helena Quintão (Detentora do alvará de pesquisa da Lavra da Posse) e José Baiano (Explorador da Lavra do Cipó) e aos garimpeiros “Gordurinha”, “Divino”, “Galego”, “Vaguinho” (Itauninha), “Antônio Assassino” (Posse e Caracol/Brejaúba), “Nego”, “Dico” e “Sérgio” (Córrego Cipó e Ribeirão Maracujá) pelo apoio nas prospecções no sistema fluvial.

RESUMO

O método proposto visa à determinação da área fonte de minerais gemológicos através do desgaste dos mesmos no sistema fluvial. Escolheu-se como estudo de caso gemas com áreas fontes conhecidas, (água marinha de Brejaúba e topázio imperial de Cachoeira do Campo), e com áreas fontes desconhecidas, (brasilianita de Mendes Pimentel e água marinha do Córrego Boa Vista nas proximidades da Lavra do Eduardo, região de Galiléia). A pesquisa foi desenvolvida paralelamente, no campo, visando o estudo das condições ambientais e a coleta de amostras, bem como em laboratório, elaborando curvas de desgaste desses minerais coletados na área fonte em um *tumbler* (tambor rotatório). A análise do desgaste dos minerais no sistema fluvial foi comparada com aquela das amostras colocadas no *tumbler*, o que demonstrou equivalência de desgaste na razão 1/10 (distância percorrida, pela gema, no sistema fluvial/distância percorrida no *tumbler*, respectivamente). O método proposto não visa substituir a prospecção aluvionar convencional, entretanto, levando em consideração o fator custo/benefício, auxilia a prospecção da fonte desconhecida de minerais gemológicos, no sentido de projetar a distância para a localidade provável da área fonte, e eliminar a necessidade da prospecção em “todos” os pontos do método convencional. Assim, o projeto alcançou um resultado adicional: aperfeiçoamento da prospecção aluvionar tradicional.

ABSTRACT

The proposed method aims to determine the source area of gemmological minerals based on their wear in a fluvial system. As a case study gems with a known source area have been chosen (aqua marine from Brejaúba, imperial topaz from Cachoeira do Campo), as well as gems with an unknown source area (brazilianite from Mendes Pimentel and aqua marine from the Córrego Boa Vista in the proximity of the Eduardo mine, near Galiléia). The research evolve the study of environmental conditions and sampling of material in the fluvial system, as well as studies in the lab, consisting of the elaboration of wear graphs of these minerals collected at the source and treated in a tumbler. The wear of the gems collected in the fluvial system have been compared to those samples from the tumbler, which revealed an equivalence of 1/10 (distance in the fluvial system and tumbler, respectively). The proposed method does not pretend to substitute the conventional prospecting method in drainage systems, nevertheless, taking in account the factor cost/benefits, helps to find more easily the source area in estimating the distance to it, and thus eliminates several washing points in the traditional follow-up method. Thus, the project represents an advance regarding the facility in executing the traditional alluvial prospecting method.

SUMÁRIO

Titulo	01
1- INTRODUÇÃO	01
1-1- Relevância e justificativa	02
1-2- Objetivos	02
1-3- Metodologia	03
1-4- Impacto social	03
1-5- Fundamentação	04
1-5-1- Considerações sobre o desgaste fluvial de minerais gemológicos	04
1-5-2- Processos experimentais <i>versus</i> processos naturais	08
2- MATERIAIS E MÉTODOS	10
2-1- <i>Tumbler</i>	10
2-2- Análises químicas e cristalográficas	12
2-2-1- Microsonda eletrônica	12
2-2-2- Absorção ótica	13
2-2-3 Fluorescência de Raio X	13
2-2-4- Microscopia eletrônico de varredura.....	13
2-3- Relações entre características hidráulicas e morfológicas dos rios (velocidade, largura e profundidade).....	14
2-4- Outros materiais	16
2-4-1- Balança analítica	16
2-4-2- Estufa e vibrador com série de peneiras	16
2-3- Lupa binocular	16
2-4-4- Microscópio ótico	17
2-5 - Desenvolvimento das curvas de desgaste.....	17
2-6- Estudo de variáveis	19
2-6-1- Coeficiente hidrodinâmico – Influência da forma.....	19
2-6-2- Defeitos cristalográficos	21
2-6-3- Variação das classes granulométricas	25
2-7- Aferição do <i>tumbler</i>	27
2-8- Modelamentos do desgaste superficial.....	29
2-9-1- Método do modelamento matemático.....	29
2-9-2- Método da medida da angulosidade na balança analítica.....	31
2-9-3- Método da medida da área pelo sistema <i>Quantikov</i>	32
3 – ESTUDO DE CASOS	34
3-1- Padrão de desgaste da água marinha de Brejaúba.....	35
3-1-1- Localização	35
3-1-2- Aspectos fisiográficos	37
3-1-3- Geologia regional.....	38
3-1-4- Geologia local	43
3-1-5- Análise mineralógica.....	46
3-1-6- Análise química e cristalográfica	47
3-1-6-1- Absorção ótica.....	47
3-1-6-2- Microsonda eletrônica.....	49
3-1-7- Procedimento de campo	50
3-1-8- Amostras de campo	52

3-1-9- Desgaste em laboratório	54
3-1-10- Resultados obtidos	60
3-1-11- Padrões de desgaste da água marinha	62
3-1-12- Simulação matemática do desgaste da água marinha.....	63
3-1-12-1- Método do modelamento matemático da curva de desgaste da água marinha.....	63
3-1-12-2- Método da medida da angulosidade na balança analítica para a água marinha.....	65
3-1-12-3- Determinação do desgaste da água marinha através do <i>Quantikov</i>	68
3-1-12-4- Padrão de desgaste da água marinha corrigido pelo <i>Quantikov</i>	72
3-2- Padrão do desgaste do topázio imperial de Cachoeira do Campo.....	74
3-2-1- Localização.....	74
3-2-2- Aspectos fisiográficos.....	76
3-2-3- Geologia regional.....	77
3-2-4- Geologia local.....	84
3-2-5- Análise mineralógica.....	87
3-2-6- Análise química e cristalográfica.....	87
3-2-6-1- Absorção ótica.....	87
3-2-6-2- Microsonda eletrônica.....	89
3-2-7- Procedimento de campo.....	89
3-2-8- Amostras de campo.....	91
3-2-9- Desgaste em laboratório.....	93
3-2-10- Resultados obtidos.....	95
3-2-11- Padrões de desgaste do topázio imperial de Cachoeira do Campo.....	96
3-2-12- Simulação matemática do desgaste do topázio imperial.....	97
3-2-12-1- Método do modelamento matemático da curva de desgaste do topázio imperial.....	97
3-2-12-2- Método da medida da angulosidade na balança analítica	99
3-2-12-3- Determinação do desgaste do topázio imperial pelo <i>quantikov</i>	101
3-2-12-4- Padrão de desgaste do topázio imperial corrigido pelo <i>Quantikov</i>	103
4- APLICAÇÃO DO MÉTODO: BRASILIANITA DOS PEGMATITOS DA REGIÃO DE MENDES PIMENTEL, TENTATIVA DA DESCOBERTA DA ÁREA FONTE.....	105
14-1-1- Localização.....	105
14-1-2- Aspectos fisiográficos.....	107
14-1-3- Geologia regional.....	109
14-1-4- Geologia local.....	113
14-1-5- Análise mineralógica.....	115
14-1-6- Análise química e cristalográfica.....	116
14-1-7- Desgaste em laboratório.....	119
14-1-8- Simulação do desgaste da brasilianita com base na análise da foto.....	125
14-1-9- Procedimento de campo e Amostras de campo.....	131
14-1-10- Resultados obtidos.....	139
4-2- APLICAÇÃO DO MÉTODO: Água marinha :Descoberta da área fonte na Lavra da Cigana a partir do estudo de caso da lavra do Eduardo região de (Galiléia).....	140
4-2-1- Localização.....	140
4-2-2- Aspectos fisiográficos.....	142

4-2-3- Geologia regional.....	145
4-2-4- Geologia local.....	155
4-2-5- Análise mineralógica.....	158
4-2-6- Análise química e cristalográfica.....	160
4-2-7- Procedimento de campo.....	161
4-2-8- Amostras de campo.....	162
4-2-9- Desgaste em laboratório.....	165
4-2-10- Resultados obtidos.....	170
5- <i>DISCUSSÕES E CONCLUSÕES</i>	171
5-1- Discussões.....	171
5-2- Conclusões	173
6- <i>BIBLIOGRAFIA</i>	175
7- <i>ANEXOS: Publicações</i>	188

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O interior de um <i>tumbler</i> mostrando o regime de cascata	11
Figura 2: (“a”) <i>tumbler</i> simples; (“b”) <i>tumbler</i> duplo e (“c”) <i>tumbler</i> triplo	11
Figura 3-1: Curva de desgaste artificial da ametista.....	18
Figura 3-2: Curva de desgaste artificial do crisoberilo.....	18
Figura 3-3: Curva de desgaste artificial da granada do tipo almandina.....	18
Figura 3-4: Curva de desgaste artificial do topázio.....	18
Figura 3-5: Curva de desgaste artificial da esmeralda.....	18
Figura 4-1: Comparação das curvas de desgaste artificial do crisoberilo monocristalino e Geminado.....	19
Figura 4-2: Curva comparativa de desgaste artificial da água marinha de Brejaúba, anédrica e euédrica.....	20
Figura 4-3: Curva comparativa de desgaste artificial das granadas do RN anédrica e euédrica	20
Figura 4-4: Curva comparativa de desgaste artificial das turmalinas do tipo schorlita, euédrica e. anédrica.....	21
Figura 5: Detalhe da zona de cisalhamento onde foi formada a alexandrita de Esmeralda de Ferros.....	22
Figura 6-1: Curva comparativa do desgaste das alexandritas de Esmeralda de Ferros e Carnaúba.....	23
Figura 6-2: Curva comparativa de desgaste artificial da granada de Esmeralda de Ferros e da granada do RN.....	23
Figura 6-3: Curva comparativa de desgaste artificial da ametista do RS, do citrino e da ametista “Branca” ambas obtidas pelo tratamento térmico da ametista do RS.....	24
Figura 6-4: Curva de desgaste artificial das estaurolitas de Linópolis e de Araçuaí.....	24
Figura: 7 -Variação de proporção de cascalho, areia, argila/silte usado no teste de variação de classes granulométricas.....	26
Figura 8-1: Ametista a 100m desgastada no <i>tumbler</i>	28
Figura 8-2: Ametista a 200m desgastada no <i>tumbler</i>	28
Figura 8-3: Ametista a 300m desgastada no <i>tumbler</i>	28
Figura 8-4: Ametista a 400m desgastada no <i>tumbler</i>	28
Figura 8-5: Ametista a 500m desgastada no <i>tumbler</i>	28
Figura 8-6: Ametista a 500m coletada no sistema fluvial.....	28
Figura 8-7: Ametista do sistema fluvial (1) a 500m da área fonte e ametista desgastada no <i>tumbler</i> (2) a 5.00m (amostras em tamanho natural).....	28
Figura 9: Curva da hipérbole equilátera.....	29
Figura 10: Curva da função $y = 1/\log x$	29
Figura 11: Curva de desgaste da gema (em azul) corrigida pela curva logarítmica (em vermelho).....	30
Figura 12-1: Fotografia da amostra em “moldura” padrão de 6,2cm x 4,5cm.....	31
Figura 12-2: Preparação da amostra para o corte.....	32
Figura 12-3: Foto pronta para pesagem.....	32
Figura 13-1: Fotografia do topázio imperial pelo <i>Quantikov</i> , demonstrando as variáveis estabelecidas pelo sistema (área da amostra, área da imagem, diâmetro equivalente e fator forma.....	33
Figura 13-2: Método de determinação das áreas da imagem e da amostra, do diâmetro e do fator forma, utilizando-se a relação D/L_{max}	34

Figura 14: São mostrados a Lavra da Posse, Córrego da Posse, Lavra do Caracol, Córrego Caracol, Ribeirão Brejaúba e Rio do Peixe.....	36
Figura 15-1: Localização da Lavra da Posse (L.P.), Córrego da Posse (C.P.), e Rio do Peixe (R.P.)Ribeirão Brejaúba (R.B.), Córrego Caracol (C.C.), Lavra do Caracol (L.C.) na fotografia aérea.....	36
Figura 15-2: Bacia Hidrográfica do Ribeirão Brejaúba com a localização das Lavras da Posse e Caracol, com os respectivos pontos de coleta de amostras.....	37
Figura 16: Esquema demonstrando os principais cursos d'água da região de Brejaúba (fora de escala).....	37
Figura 17: Índice pluviométrico de Conceição do Mato Dentro. Os dados mensais climatológicos de Conceição do Mato Dentro representam uma média do período entre 1961 e 1990.....	38
Figura 18-1: Mapa Geológico da Folha de Conceição do Mato Dentro 1:100.000 com detalhe para Brejaúba (Conceição do Mato Dentro) segundo Projeto Espinhaço CODEMIG/UFMG, 1997.....	41
Figura 18-2: Legenda do Mapa Geológico da Folha de Conceição do Mato Dentro 1:100.000 com detalhe para Brejaúba (Conceição do Mato Dentro) Projeto Espinhaço CODEMIG/UFMG, 1997.....	42
Figura 19: Mapa geológico simplificado da área do Pegmatito da Posse (modificado de Quintão, 2005).....	43
Figura 20: Vista aérea do Pegmatito da Posse a uma altura de 720 m.....	44
Figura 21: Diversos berilos da Lavra das Posses. A água marinha na parte superior à direita da foto possui 6,4 cm de comprimento e mostra figuras de corrosão típicas para este pegmatito, (foto fornecida por Quintão em 2008).....	45
Figura 22: Cava cortando o Corpo pegmatítico da Fazenda Caracol à esquerda (década de 1980, fotografia fornecida por Quintão) e a situação de hoje (fotografia a direita) mostrando a cava coberto parcialmente.....	46
Figura 23-1: Espectro de absorção da água marinha azul de Brejaúba.....	48
Figura 23-2: Espectro de absorção da água marinha verde de Brejaúba.....	48
Figura 24-1: Pontos lavados no Córrego da Posse (1) e Ribeirão Brejaúba (2 e 3).....	50
Figura 24-2: Pontos lavados no Ribeirão Brejaúba (4 e 6) e no Córrego Caracol (5).....	51
Figura 25-1: Água marinha a 1.000, da área fonte.....	52
Figura 25-2: Água marinha a 2.500m da área fonte.....	52
Figura 25-3: Água marinha a 3.000m da área fonte	52
Figura 25-4: Água marinha a 1.000m da área fonte do Caracol.....	52
Figura 25-5: Água marinha a 3.000m da área fonte do Caracol (1) e a 5.000m da área fonte da Posse (2).....	53
Figura 25-6: Água marinha a 4.000m da área fonte do Caracol (1) e a 6.000m da área fonte da Posse (2).....	53
Figura 26: Amostras de água marinha (com aumento de 50 x) encontradas no Ribeirão Brejaúba juntas a 3.000m da Lavra da Posse (1) e a 1.000m da Lavra do Caracol (2), mostrando desgastes diferenciados.....	53
Figura 27-1: Curva de desgaste da água marinha da Lavra da Posse, com detalhes para amostras azul e verde da área fonte e desgastadas a 6.000m, Brejaúba, MG.....	54
Figura 27-2: Curva de desgaste da água marinha da Lavra do Caracol, com detalhes para amostras azul e verde da área fonte e desgastadas a 6.000m, Brejaúba, MG.....	55
Figura 28-1 : Curva média do desgaste artificial da água marinha de Posse e Caracol Brejaúba, MG.....	56

Figura 28-2: Curva média do desgaste da água marinha de Posse e Caracol (em azul) corrigido pela curva logarítmica (em vermelho), para aproximação à curva $y = 1/\log x$, Brejaúba, MG.....	56
Figura 29: Padrão estabelecido através de uma área, com valor máximo em 100% e mínimo e 90%, contendo inseridas as curvas da água marinha das Lavras da Posse e do Caracol, Brejaúba, MG.....	57
Figura 30 : Curva de desgaste artificial da água marinha de Araçuaí (Pegmatito do Júlio) e das Lavras de “Boca Rica” e “Eduardo” (região de Galiléia), respectivamente.....	58
Figura 31: Padrão estabelecido através de uma área, com valor máximo em 100% e mínimo em 90,5%, contendo inseridas as curvas da água marinha das Lavras da Posse e do Caracol, Brejaúba, MG, Araçuaí, “Boca Rica” e “Eduardo”(Galiléia).....	60
Figura 32: Comparação do desgaste das amostras verde (vd.) e azul (az.) de Posse e Caracol, respectivamente, a 6.000m no <i>tumbler</i> , destacando-se a parte superior da linha pontilhada.....	61
Figura 33: Comparação entre as amostras de “Araçuaí” (1), “Boca Rica” (2) e “Eduardo” (3) desgastadas no <i>tumbler</i> a 6.000m da área fonte, destacadas na parte superior da linha pontilhada.....	62
Figura 34: Padrão fotográfico do desgaste da água marinha de Brejaúba, MG.....	62
Figura 35: Modelamento matemático da curva de desgaste da água marinha, com a devida correção pela curva logarítmica e a equação do modelamento matemático.....	63
Figura 36: Seqüência da padronização da foto em “moldura” (1), preparação para corte (2) e amostra preparada para pesagem (3) do estudo de caso da água marinha de Posse e Caracol Brejaúba, MG.....	66
Figura 37: Padrão fotográfico da água marinha corrigido pelo sistema <i>Quantikov</i>	72
Figura 38: Gráfico comparativo do desgaste da água marinha pelos métodos do modelamento matemático, da medida da angulosidade pelo método da balança e pelo Sistema <i>Quantikov</i>	73
Figura 39: Localização de Cachoeira do Campo, MG.....	74
Figura 40: Bacia hidrográfica destacando o Córrego Cipó e o Ribeirão Maracujá, com os respectivos pontos de coleta das amostras.....	75
Figura 41: Índice pluviométrico de Cachoeira do Campo. Os dados climatológicos mensais de Cachoeira do Campo representam uma média do período entre 1961 e 1990.....	76
Figura 42-1: Mapa Geológico de Ouro Preto, Folha Integral SF. 23-X-A-III-4, Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero – UFMG/CODEMIG, 2005, escala :50.000.....	82
Figura 42-2: Legenda do Mapa Geológico de Ouro Preto, Folha Integral SF. 23-X-A-III-4, Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero – UFMG/CODEMIG, 2005 escala 1:50.000.....	83
Figura 43-1: Resultado da absorção ótica do topázio imperial amarelo de Cachoeira do Campo.....	88
Figura 43-2: Resultado da absorção ótica do topázio imperial rosa de Cachoeira do Campo.....	88
Figura 44-1: Vista aérea a 2,06km, com o posicionamento da área fonte, do Córrego Cipó e do Ribeirão Maracujá (fonte Google Earth).....	90
Figura 44-2: Vista da confluência do Córrego Cipó com o Ribeirão Maracujá, região de Cachoeira do Campo.....	90

Figura 45: Amostras de topázio imperial coletadas na área fonte e ao longo do sistema fluvial.....	91
Figura 46-1: Topázio imperial encontrado na área fonte (aumento de 50x).....	92
Figura 46-2: Topázio imperial encontrado no sistema fluvial a 3 km da área fonte (aumento de 50x).....	92
Figura 46-3 - Topázio imperial encontrado no sistema fluvial a 5 km da área fonte (aumento de 50x).....	92
Figura 46-4: Topázio imperial encontrado sistema fluvial a 10 km da área fonte (aumento d 50x).....	92
Figura 47-1: Desgaste acentuado na amostra de 3 km da área fonte no sistema fluvial.....	92
Figura 47-2: Linhas de clivagem acentuadas na amostra de 4 km da área fonte, no sistema fluvial.....	92
Figura 48-1: Curva de desgaste em perda de peso vs distância, simulada, para o topázio imperial de Cachoeira do Campo, Distrito de Ouro Preto, com detalhes para amostras da área fonte, 5 km, 10 km e 15 km, respectivamente.....	93
Figura 48-2: Curva de desgaste em porcentagem de perda de peso vs distância (em azul), corrigida, pela curva logarítmica (em vermelho) aproximando a curva à equação $y = 1 / \log x$ para o topázio imperial de Cachoeira do Campo, Distrito de Ouro Preto, com detalhes paras as amostras de 20 km 2 30 km, respectivamente.....	94
Figura 49-1 : Detalhamento do desgaste do topázio imperial amarelo, obtido no <i>tumbler</i> , na seqüência: área fonte (1), 15km (2) 30km (3), observando-se o arredondamento da terminação prismática e perda das linhas reticulares, à medida que ocorre o desgaste.....	95
Figura 49-2 : Detalhamento do desgaste do topázio imperial rosa obtido no <i>tumbler</i> , observando-se o aumento da distância da linha de clivagem, à medida que ocorre o desgaste na seqüência: área fonte (1), 15 km (2) e 30 km (3).....	95
Figura 50: Padrão de desgaste do topázio imperial,mostrando o desgaste na terminação piramidal (à esquerda da linha vermelha) e através das linhas reticulares, que se reduzem à medida que aumenta a distância do transporte, Cachoeira do Campo.....	96
Figura 51: Modelamento matemático da curva de desgaste do topázio imperial, com a devida correção pela curva logarítmica e a equação do modelamento matemático.....	97
Figura 52: Seqüência da padronização da foto em moldura (1), preparação para corte (2) e amostra preparada para pesagem (3) do estudo de caso do topázio imperial de Cachoeira do Campo, MG.....	99
Figura 53: Padrão fotográfico do topázio imperial corrigido pelo Sistema <i>Quantikov</i>	103
Figura 54: Gráfico comparativo do desgaste do topázio imperial pelos métodos do modelamento matemático, da medida da angulosidade pela balança e Sistema <i>Quantikov</i>	104
Figura 55: Amostra de brasilianita arredondada encontrada no sistema fluvial do Córrego Indaiá.....	105
Figura 56-1: Localização da região de Mendes Pimentel.....	106
Figura 56-2: Bacia hidrográfica do Córrego Indaiá na região de Mendes Pimentel, com os respectivos pontos de prospecção.....	106
Figura 57: Dados climatológicos mensais de Mendes Pimentel representam uma média no período entre 1961 e 1990, fonte jornaldotempo.uol.com.br	107
Figura 58-1: Detalhes para a vegetação da região de Mendes Pimentel.....	108
Figura 58-2: Vista do Córrego Indaiá.....	108

Figura 58-3: Detalhe para o relevo da região de Mendes Pimentel.....	108
Figura 59: Mapa Geológico de Mendes Pimentel modificado de Vieira 2001.....	109
Figura 60: Amostras de brasilianita do Córrego Frio, com diferentes colorações.....	115
Figura 61-1: Brasilianita verde.....	117
Figura 61-2: Brasilianita amarelada.....	117
Figura 61-3: Brasilianita esbranquiçada JK.....	117
Figura 61-4: Brasilianita esbranquiçada LM.....	117
Figura 62-1: Microfraturas na brasilianita esbranquiçada JK, MEV 50x.....	118
Figura 62-2: Microfraturas na brasilianita esbranquiçada LM, MEV 50x.....	119
Figura 63-1: MEV da brasilianita verde “bem cristalizada” antes e depois do desgaste.. no <i>tumbler</i> (20km), ampliação de 100 X.....	120
Figura 63-2: MEV da brasilianita amarelada antes e depois do desgaste no <i>tumbler</i> (20km) ampliação de 100 X.....	120
Figura 63-3: MEV da brasilianita esbranquiçada LM antes e depois do desgaste no <i>tumbler</i> (20km) ampliação de 100 X.....	121
Figura 63-4: MEV da brasilianita esbranquiçada JK antes e depois do desgaste no <i>tumbler</i> (20km) ampliação de 100 X	121
Figura 64-1: Curva da brasilianita verde “bem cristalizada”, após 20km de desgaste, em porcentagem de perda de peso.....	121
Figura 64-2: Curva da brasilianita amarelada, após 20km de desgaste, em porcentagem de perda de peso.....	122
Figura 64-3: Curva da brasilianita esbranquiçada LM, após 20km de desgaste, em porcentagem de perda de peso.....	122
Figura 64-4: Curva de desgaste da brasilianita esbranquiçada JK, após 20km de desgaste, em porcentagem de perda de peso.....	123
Figura 65: Comparativo das curvas de desgaste das brasilianitas verde “bem cristalizada”, amarelada, esbranquiçadas LM e JK, ao longo de 20km, em porcentagem de perda de peso.....	123
Figura 66: Brasilianita fotografada na Dissertação de Mestrado de Sérgio Henrique Ribeiro (1996), escala em tamanho natural.....	125
Figura 67-1: Brasilianita: da área fonte.....	125
Figura 67-2: Brasilianita desgastada no <i>tumbler</i> a20km da área fonte da área fonte.....	125
Figura 68: Seqüência da padronização da foto da Dissertação (1996) em moldura (1), preparação para o corte (2) e amostra preparada para pesagem (3).....	126
Figura 69: Modelamento matemático da curva de desgaste da brasilianita JK.....	128
Figura 70: Gráfico comparativo do desgaste da brasilianita JK pelos diferentes métodos.....	129
Figura 71: Foto da brasilianita JK - Dissertação de Mestrado de Ribeiro (1996), corrigido pelo <i>Quantikov</i> , mostrando desgaste diferenciado na parte inferior da amostra.....	130
Figura 72: Prof. Dr. Herbert Pöllmann, Diretor no Instituto Mineralógico da Universidade de Halle, Alemanha, colaborando no campo no Córrego Indaiá.....	131
Figura 73: Posicionamento pela análise da fotografia aérea do ponto lavado (referência 1996), e posicionamento das possíveis áreas fontes a aproximadamente 4 km do ponto lavado.....	131
Figura 74: Vista aérea (a 3,6 km) da região estudada, com detalhes para Mendes Pimentel; ponto lavado como em 1996 (Ponto da pedra do Indaiá) e bifurcação do Córrego Indaiá com dois pontos a serem lavados.....	132

Figura 75-1 e Figura 75-2: Amostras de brasilianita esbranquiçada amarelada (do tipo JK), encontrada a aproximadamente 4km da área fonte provável (Ponto da pedra do Indaiá), em escala de tamanho natural seguida da correção pelo sistema <i>Quantikov</i>	133
Figura 76: Comparação dos desgastes das amostras de brasilianita, sendo “a” a foto da Dissertação de 1996 e “b” amostras coletada em 2011, no mesmo ponto, confirmando que elas foram lavadas no mesmo ponto.....	133
Figura 77: Amostra de brasilianita verde em escala de tamanho natural (à esquerda) e corrigida pelo sistema <i>Quantikov</i> (à direita), encontrada no ponto da pedra do Indaiá (à aproximadamente 4km da área fonte), mostrando desgaste menor que a das amostras do tipo JK.....	134
Figura 78-1: Vista do ponto lavado na “pedra do Indaiá”, na mesma localidade que Realizado em 1996.....	134
Figura 78-2: Mapa Geológico com o posicionamento do Córrego Indaiá, Projeto Leste, CPRM.....	134
Figura 78-3: Presença de moscovita, feldspato caolinizado e turmalina em colúvios e na parte externa de formigueiros, indicando a presença de um pegmatito nas proximidades.....	135
Figura 79: Divisão do Córrego Indaiá em dois braços (“A” e “B”) próximo à provável área Fonte.....	135
Figura 80: Braço “A”, onde não se encontrou amostras de brasilianita, após 100 l lavados.....	136
Figura 81: Amostras de brasilianita encontradas no ponto “B”, praticamente sem desgaste, indicando a proximidade da área fonte.....	136
Figura 82: Esquema (à esquerda) com os pontos lavados e o posicionamento da provável área fonte e braço “B” (à direita), onde foram encontradas seis amostras de brasilianita	137
Figura 83-1: Localização da possível área fonte.....	137
Figura 83-2: Difícil acesso até próximo à área fonte provável.....	137
Figura 83-3: O pegmatito caolinizado encontra-se em um paredão de 30 m de altura, não permitindo estudos adicionais, não existindo outra fonte aflorante nas proximidades. Assim considera-se esta a provável fonte das brasilianitas.....	138
Figura 84: Curva de desgaste artificial da brasilianita esbranquiçada-amarelada (tipo JK), com as fotografias das amostras encontradas de 500 m e de 4 km, respectivamente, da provável área fonte, na região de Mendes Pimentel.....	138
Figura 85-1: Localização da cidade de Galiléia, partindo-se de Belo Horizonte, MG.....	140
Figura 85-2: Localização das Lavras do Eduardo (3) e Cigana (4), região de Galiléia, MG.....	141
Figura 85-3: Bacia hidrográfica do Córrego Boa Vista, região de Galiléia, MG, com os respectivos pontos prospectados.....	142
Figura 85-4: Dados climatológicos de Galiléia, representando uma média do período entre 1961 e 1990, fonte jornaldotempo.uol.com.br	143
Figura 86: Detalhe para a vegetação e relevo da região de Galiléia, MG.....	144
Figura 87: Detalhes para o Córrego Boa Vista, à esquerda, e para o Rio Doce ao fundo, à direita.....	144
Figura 88-1: Mapa Geológico da Folha de Conselheiro Pena/São Gabriel da Palha, modificado de Barbosa <i>et. al.</i> 1964, em escala 1:100.000, Projeto Leste, COMIG/CPRM, 2002.....	146

Figura 88-2: Legenda do Mapa Geológico da Folha de Conselheiro Pena/São Gabriel da Palha, Modificado de Barbosa <i>et. al.</i> 1964, em escala 1:100.000, Projeto Leste, COMIG/CPRM, 2002.....	147
Figura 89: Mapa Geológico de parte do distrito pegmatítico de Conselheiro Pena MG, modificado de Nalini <i>et al.</i> 2000.....	155
Fig. 90: Província Pegmatítica Oriental, modificado de Paiva (1946).....	158
Figura 91: Amostras coletadas no Córrego Boa Vista, entre as Lavras de Eduardo e Cigana.....	159
Figura 92: Pontos prospectados no Córrego Boa Vista em frente à Lavra do Eduardo (1), a 2 km dessa Lavra (2) e próximo à Lavra da Cigana, ou a 4 km do Eduardo (3)....	162
Figura 93-1: Amostras de água marinha prospectadas em frente à Lavra do Eduardo, (1) sem desgaste algum e a (2) com desgaste correspondente a 4 km, no sistema fluvial.....	163
Figura 93-2: Micrografia ampliada 16 x (MEV) das amostras coletadas em frente à Lavra do Eduardo sendo (1) sem desgaste algum e (2) com desgaste correspondente a 4 km.....	163
Figura 93-3: Amostra prospectada a uma distância de 2 km da Lavra do Eduardo, com desgaste intermediário entre o da área fonte e o de 4 km.....	164
Figura 93-4: Micrografia ampliada 18x da amostra coletada a 2 km da Lavra do Eduardo, no Córrego Boa Vista.....	164
Figura 93-5: Amostra prospectada a alguns metros da área fonte da Cigana e a 4 km da Lavra do Eduardo, à esquerda, (ainda com inclusões de mica) e micrografia da referida amostra com ampliação de 17x (MEV), mostrando desgaste muito pequeno.....	165
Figura 94: Curva de desgaste artificial da água marinha das Lavras de “Eduardo” (à esquerda) e da “Cigana” (à direita), região de Galiléia, MG.....	166
Figura 95: Padrão estabelecido através de uma área, com valor máximo em 100% e mínimo em 99%, contendo inseridas as curvas da água marinha das Lavras da Posse, Caracol, Brejaúba, Araçuaí, “Boca Rica” e “Eduardo e Cigana”,(Galiléia), MG.....	167
Figura 96-1: Amostra de espodumênio prospectada em frente à Lavra do Eduardo (1) sem desgaste algum e (2) com desgaste correspondente à 4 km no sistema fluvial.....	168
Figura 96-2: Micrografia ampliada 16 x (MEV) das amostras coletadas em frente à Lavra do Eduardo sendo (1) sem desgaste algum e (2) com desgaste correspondente a 4 km no sistema fluvial.....	168
Figura 96-3: Amostra prospectada a uma distância de 2 km da Lavra do Eduardo, com desgaste intermediário entre o da área fonte e o de 4 km.....	169
Figura 96-4: Micrografia ampliada 18x da amostra coletada a 2 km da Lavra do Eduardo.....	169
Figura 96-5: Amostra prospectada a alguns metros da área fonte da Cigana e a 4 km da Lavra do Eduardo, à esquerda, e micrografia da referida amostra com ampliação de 17x (MEV), mostrando desgaste muito pequeno.....	169
Figura 97-1: Prospecção pelo método convencional, com 15 pontos “lavados” no sistema fluvial, até a descoberta da área fonte.....	172
Figura 97-2: Prospecção pelo método de desgaste superficial, sendo necessários apenas quatro pontos “lavados” no sistema fluvial para a descoberta da área fonte.....	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações dos três <i>tumblers</i> utilizados nos testes.....	12
Tabela 2 - Valores dos coeficientes de descarga <i>a</i> e <i>b</i> da equação $U = a \cdot Q^b$, (Sperling & Baptista, 2007).....	14
Tabela 3 - Valores do Coeficiente de descarga <i>c</i> e <i>d</i> da equação $Y = c \cdot Q^d$, (Sperling & Baptista, 2007).....	15
Tabela 4 - Modelo de tabela do desgaste artificial dos minerais-gemas no <i>tumbler</i>	16
Tabela 5 - Especificações da lupa binocular.....	18
Tabela 6 - Dados comparativos dos estudos de variável – Coeficiente hidrodinâmico – Influência da for.....	21
Tabela 7 - Dados comparativos dos estudos de variável – “defeitos cristalográficos”.....	25
Tabela 8 - Perda de peso conforme a variação de sedimentos.....	26
Tabela 9 - Angulosidade pelo método da balança.....	32
Tabela 10 - Padronização do tamanho das amostras, tiradas através de máquina fotográfica, para água marinha de Brejaúba e topázio imperial de Cachoeira do Campo, permitindo-se obter amostras de mesmo tamanho por meio do Sistema <i>Quantikov</i>	34
Tabela 11 - Resultados das análises por Microsonda Eletrônica das amostras de água marinha de Brejaúba azuis e verdes.....	49
Tabela 12 - Porcentagem de perda de peso das amostras de água marinha das Lavras da Posse e de Caracol, em 6 km de desgaste artificial.....	57
Tabela 13 - Porcentagem de perda de peso das amostras de água marinha das Lavras da Posse e de Caracol, de Araçuaí (Pegmatito do Júlio), e das Lavras de “Boca Rica” e “Eduardo” em 6 km de desgaste artificial.....	59
Tabela 14 - Desgaste da água marinha pelo modelamento matemático $Y = -0,09546 \ln(x) + 100,38$	64
Tabela 15 - Medida da angulosidade da água marinha de Brejaúba, MG, pelo método da balança.....	67
Tabela 16 - Padronização do tamanho da amostras dos padrões fotográficos da água marinha para o sistema <i>Quantikov</i>	68
Tabela 17 - Cálculo da área da água marinha pelo <i>Quantikov</i>	69
Tabela 18 - Desgaste da água marinha pelo <i>Quantikov</i>	70
Tabela 19 - Resultado da análise por Microsonda Eletrônica do topázio imperial de Cachoeira do Campo, nas colorações rosa e amarelo.....	89
Tabela 20 - Desgaste do topázio imperial pelo modelamento matemático $Y = -0,0583 \ln(x) + 100,04$	98
Tabela 21 - Medida da angulosidade do topázio imperial de Cachoeira do Campo, MG, pelo método da balança.....	100
Tabela 22 - Padronização do tamanho da amostras dos padrões fotográficos topázio imperial para o sistema <i>Quantikov</i>	101
Tabela 23 - Determinação do desgaste do topázio imperial pelo <i>Quantikov</i>	101
Tabela 24 - Desgaste do topázio imperial de Cachoeira do Campo, MG, Através do Sistema <i>Quantikov</i>	102
Tabela 25 : Resultado da análise química das brasilianitas.....	117

Tabela 26: Porcentagem de perda de peso das brasilianitas em função da cor da amostra, ao longo de 20 km de desgaste artificial.....	124
Tabela 27: Medida da ângulosidade pelo método da balança para a fotografia da Brasilianita esbranquiçada amarelada (JK) da dissertação (1996).....	126
Tabela 28: Padronização das fotos de brasilianita JK, para o Sistema <i>Quantikov</i>	127
Tabela 29: Cálculo da área da Brasilianita JK pelo <i>Quantikov</i>	127
Tabela 30: Desgaste da Brasilianita JK pelo <i>Quantikov</i>	128
Tabela 31: Método do modelamento matemático para a brasilianita JK.....	129
Tabela 32: Determinação da distância aproximada da área fonte da brasilianita JK da foto da Dissertação de 1996.....	130
Tabela 33: Dados mensais climatológicos de Galiléia, MG, fonte jornaldotempo.uol.com.br	143
Tabela 34 : Resultados das análises por Fluorescência de Raio X das amostras das Lavras de Eduardo e Cigana.....	160
Tabela 35: Comparação das análises químicas das amostras de água marinha de Brejaúba com as das Lavras de Eduardo/Cigana.....	160
Tabela 36: Comparação da porcentagem de perda de peso das amostras de água marinha do estudo de caso 12.1, (Lavras da Posse e de Caracol, de Araçuaí (Pegmatito do Júlio), e “Boca Rica”) com o presente estudo de caso, (Eduardo e Cigana) em 6 km de desgaste artificial.....	166