

## AGRADECIMENTOS

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

Professor Joachim Karfunkel, mais que um orientador, um grande amigo, que soube me animar nas horas mais difíceis e soube conter meus impulsos nas horas de euforia.

Professor Norberto, pelo apoio ao longo do projeto.

Ao Programa de Pós Graduação do IGC/UFMG, principalmente ao Professor Gilberto Costa, pelo apoio que me foi dado durante estes dois anos.

Bolsistas Filipe Nunes da Silva (Caladinho) e Augusto Fonseca Fernandes (Marrento) pelo apoio nos ensaios de laboratório e nos trabalhos de campo.

Ataíde de Oliveira, que detém o direito de exploração da Lavra do Tatu, pela boa vontade e interesse em nos ajudar nos trabalhos realizados no local, bem como aos garimpeiros Gordurinha, Divino, Galego e Vaguinho que nos ajudaram nas “lavagens” no Ribeirão dos Gomes.

Geóloga Nilza Helena Quintão, detentora do alvará de pesquisa da Lavra da Posse por nos ter permitido desenvolver os estudos nas áreas fonte da Posse e Caracol e ao longo do Ribeirão Brejaúba e ao garimpeiro Antônio (Assassino) pelo apoio nas prospecções no sistema fluvial.

Ao José Baiano, que explora a Lavra do Cipó, pelo apoio nos estudos no Córrego Cipó e Rio Maracujá e aos garimpeiros Nego, Dico e Sérgio, que encontramos ao longo do nosso projeto no Rio Maracujá.

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, em especial ao Professor Márcio Basílio, pelo apoio e incentivo à minha Pós Graduação.

À FAPEMIG, pelo apoio financeiro parcial através do Projeto 12966 no biênio fevereiro/2008 a fevereiro/2010.

## RESUMO

O projeto desenvolve uma metodologia, pouca utilizada, para a prospecção de gemas, focando a determinação do local da área fonte, através do desgaste superficial de gemas no sistema fluvial. Escolheu-se como estudo de casos a água marinha de Tatu, a ametista e a água marinha de Brejaúba e o topázio imperial de Cachoeira do Campo. A pesquisa consiste em coleta de amostras no campo, na área fonte e em distâncias predeterminadas ao longo do sistema fluvial que corta tal área fonte. O desgaste superficial destas amostras foi determinado na lupa binocular e, em casos específicos, no microscópio óptico. Posteriormente os minerais obtidos na área fonte foram colocados em um *tumbler*, com sedimentos coletados no próprio sistema fluvial, promovendo-se então ao desgaste superficial das amostras no laboratório. Os desgastes dos minerais gemológicos retiradas do *tumbler* foram comparados com aqueles das amostras obtidas no campo. O *tumbler* foi aferido com a ametista de Brejaúba e água marinha de Tatu, determinando a proporção entre o percurso da gema no equipamento e no sistema fluvial. Foi estudado ainda, a influência das características hidrodinâmicas (influência da forma do mineral), dos defeitos cristalográficos e da variação de classes granulométricas no desgaste dos minerais -gemas. Desta forma foram criados padrões de desgaste superficial que identificam, de forma aproximada, a distância da amostra encontrada da sua fonte. A prospecção apresentada poderá auxiliar na detecção da área fonte de minerais gemológicos no sistema fluvial, cuja origem geográfica é desconhecida.

## ABSTRACT

The research presents a seldom utilized method for prospecting precious stones, aiming to determine the source area of a specific gem based on its surface wear in a fluvial system. As case studies the research choosed aqua marine from Tatu, amethyst and aqua marine from Brejaúba, and imperial topaz from Cachoeira do Campo. It consists in collecting specimens in the field, at a known source area and at pre-determined distances along the fluvial system that cuts this source area. The surface wear of these specimens have been analyzed with a binocular loop and in specific cases with the optical microscope. The collected specimens in the source area, together with sediments of this specific fluvial system have been filled together in a *tumbler*. Their surface wear, similar to the procedure in the field was determined by comparison under the binocular loop/optical microscope. The wear in a natural system and that of the *tumbler* showed that distances are not compatibles. The *tumbler* was “standardized” based on the wear of amethyst from Brejaúba and aqua marine from Tatu, thus determining the distance proportion between the natural fluvial system and the *tumbler*. The influence of hydrodynamic properties, crystallographic defects and granulometric class distribution on the wear of gems, have been studied too. Consequently wear patterns (graphics) for specific gems, under specific conditions have been established, that identify, approximately, the distance to their source area. This prospecting method can help to detect an unknown source area of gems in a fluvial system based on the surface wear and the established graphics.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>v</b>
<b>1- INTRODUÇÃO</b>	<b>01</b>
1.1- Objetivos	<b>01</b>
1.2- Metodologia	<b>02</b>
1.3- Impacto social	<b>03</b>
<b>2- FUNDAMENTAÇÃO</b>	<b>03</b>
2.1- Considerações sobre o desgaste fluvial de minerais gemológicos	<b>03</b>
2.2- Processos experimentais <i>versus</i> processos naturais	<b>10</b>
<b>3- MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>12</b>
3.1- <i>Tumbler</i>	<b>12</b>
3.2- Outros materiais	<b>14</b>
<b>4- CAMPO <i>VERSUS</i> LABORATÓRIO</b>	<b>16</b>
4.1- Desenvolvimento das curvas de desgaste	<b>17</b>
4.2- Estudo das variáveis	<b>19</b>
4.2.1- Variável 1 - Coeficiente hidrodinâmico – Influência da forma	<b>19</b>
4.2.2- Variável 2 - Defeitos cristalográficos	<b>24</b>
4.2.3- Variável 3- Variação das classes granulométricas	<b>31</b>
<b>5- ESTUDO DE CASOS</b>	<b>33</b>
5.1- Ametista de Brejaúba objetivando a aferição do <i>tumbler</i>	<b>33</b>
5.2- Água marinha: Tatu	<b>36</b>
5.2.1- Localização	<b>36</b>
5.2.2- Geologia local	<b>37</b>
5.2.3- Análise mineralógica	<b>37</b>
5.2.4- Procedimentos de campo	<b>37</b>
5.2.5- Amostras de campo	<b>38</b>
5.2.6- Desgaste em laboratório	<b>40</b>
5.2.7- Resultados obtidos	<b>42</b>
5.3- Água marinha: Brejaúba	<b>45</b>
5.3.1- Localização	<b>45</b>
5.3.2- Geologia local	<b>47</b>

5.3.3- Análise mineralógica	47
5.3.4- Procedimentos de campo	48
5.3.5- Amostras de campo	50
5.3.6- Desgaste em laboratório	55
5.3.7- Resultados obtidos	58
5.4- Topázio Imperial: Cachoeira do Campo	61
5.4.1- Localização	61
5.4.2- Geologia local	62
5.4.3- Análise mineralógica	62
5.4.4- Procedimentos de campo	62
5.4.5- Amostras de campo	63
5.4.6- Desgaste em laboratório	65
5.4.7- Resultados obtidos	68
<b>6- MODELAMENTO MATEMÁTICO</b>	<b>71</b>
<b>7- CONCLUSÕES</b>	<b>73</b>
<b>8- BIBLIOGRAFIA</b>	<b>78</b>

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - O interior de um <i>tumbler</i> mostrando o regime de cascata	<b>13</b>
<b>Figura 2a, 2b, 2c</b> - <i>Tumbler</i> simples, <i>tumbler</i> duplo e <i>tumbler</i> triplo	<b>13</b>
<b>Figura 3</b> - Curva de desgaste artificial da ametista	<b>18</b>
<b>Figura 4</b> - Curva de desgaste artificial do crisoberilo	<b>18</b>
<b>Figura 5</b> - Curva de desgaste artificial da granada	<b>18</b>
<b>Figura 6</b> - Curva de desgaste artificial do topázio	<b>19</b>
<b>Figura 7</b> - Curva de desgaste artificial da esmeralda	<b>19</b>
<b>Figura 8</b> - Curva de desgaste artificial do crisoberilo monocristal e geminado -1	<b>20</b>
<b>Figura 9</b> - Curva de desgaste artificial do crisoberilo monocristal e geminado -2	<b>20</b>
<b>Figura 10</b> - Curva comparativa de desgaste artificial do crisoberilo monocristal e geminado - 3	<b>21</b>
<b>Figura 11a, 11b</b> - Monocristal de crisoberilo e crisoberilo geminado antes (a) e depois (b) do desgaste	<b>22</b>
<b>Figura 12a, 12b</b> - Água marinha anédrica e euédrica antes (a) e depois (b) do desgaste	<b>23</b>
<b>Figura 13</b> - Curva de desgaste artificial da água marinha - Brejaúba anédrica e euédrica	<b>23</b>
<b>Figura 14a, 14b</b> - Granada anédrica e euédrica antes (a) e depois (b) do desgaste	<b>24</b>
<b>Figura 15</b> - Curva de desgaste artificial da granada anédrica e euédrica do RN	<b>24</b>
<b>Figura 16a, 16b</b> - Turmalina euédrica e anédrica antes (a) e depois (b) do desgaste	<b>24</b>
<b>Figura 17</b> - Curva de desgaste artificial das turmalinas euédrica e anédrica	<b>24</b>
<b>Figura 18</b> - Comparação da Lavra em 1992, quando da publicação do artigo e 2007, quando foram realizados os processos de prospecção da alexandrita no sistema fluvial.	<b>25</b>
<b>Figura 19</b> - Detalhe da zona de cisalhamento onde foi formada a alexandrita de Esmeralda de Ferros	<b>25</b>
<b>Figura 20a, 20b</b> - Alexandrita de Esmeralda de Ferros e de Carnaíba antes (a) e depois (b) do desgaste com aumento de 20 x	<b>26</b>
<b>Figura 21</b> - Curvas de desgaste das alexandritas de Esmeralda de Ferros e de Carnaíba	<b>26</b>
<b>Figura 22</b> - Curvas de desgaste das alexandritas de Esmeralda de Ferros e Carnaíba	<b>27</b>
<b>Figura 23</b> - Comparativo do desgaste das alexandritas de Esmeralda de Ferros (1) e de Carnaíba (2)	<b>27</b>
<b>Figura 24a, 24b</b> - Granada de Esmeralda de Ferros e do RN antes (a) e depois (b) do desgaste	<b>28</b>
<b>Figura 25</b> - Curva de desgaste artificial da granada de Esmeralda de Ferros e da granada do RN	<b>28</b>
<b>Figura 26a, 26b</b> - Ametista e citrino antes (a) e depois (b) do desgaste	<b>28</b>
<b>Figura 27</b> - Curva de desgaste artificial da ametista do R.S. e do citrino obtido pelo tratamento térmico da ametista do RS	<b>29</b>
<b>Figura 28a, 28b</b> - Estauroлита de Governador Valadares e de Araçuaí antes (a) e depois (b) do desgaste	<b>29</b>
<b>Figura 29</b> - Curva de desgaste artificial das Estauroлитas de Governador Valadares e de Araçuaí	<b>30</b>
<b>Figura 30</b> - Ametista da área fonte	<b>34</b>
<b>Figura 31</b> - Ametista do sistema fluvial a 500m da área fonte	<b>34</b>
<b>Figura 32</b> - Ametista desgastada no <i>tumbler</i> a 5.000m	<b>35</b>
<b>Figura 33</b> - Ametista do sistema fluvial (1) a 500m da área fonte e ametista desgastada no <i>tumbler</i> (2) a 5.000m	<b>35</b>
<b>Figura 34 “a” a 34 “f”</b> - Ametista a 100m (a), 200m (b), 300m (c), 400m (d), 5000m	<b>35</b>

(e) obtida no <i>tumbler</i> e ametista a 500m coletada no sistema fluvial (f)	
<b>Figura 35</b> - Localização da Lavra do Tatu	<b>36</b>
<b>Figura 36</b> - Ribeirão dos Gomes	<b>38</b>
<b>Figura 37</b> - Amostras da área fonte (1), 200m (2), 400m (3) e 800m (4) de Tatu	<b>39</b>
<b>Figura 38 “a” a 38 “d”</b> - Amostra da área fonte (a), amostra a 200m (b), 400m (c) e 800m (d) de Tatu com aumento de 20x	<b>39</b>
<b>Figura 39</b> - Amostra de 200m (1) do sistema fluvial de 2.000m (2) obtida no <i>tumbler</i>	<b>41</b>
<b>Figura 40</b> - Curvas de desgaste artificial da água marinha de Tatu	<b>41</b>
<b>Figura 41</b> - Amostra de 400m (1) do sistema fluvial de 4.000m (2) obtida no <i>tumbler</i>	<b>42</b>
<b>Figura 42</b> - Amostra de 800m (1) do sistema fluvial de 8.000m (2) obtida no <i>tumbler</i>	<b>42</b>
<b>Figura 43 “a” a 43 “e”</b> - Água marinha da área fonte (a) e 200m (b), 400m (c), 600m (d) e 800m (e) desgastada no <i>tumbler</i> com aumento de 50x	<b>43</b>
<b>Figura 44</b> - Escala Padrão de Desgaste da Água Marinha de Tatu	<b>44</b>
<b>Figura 45</b> - Localização da Lavra da Posse e da Lavra do Caracol	<b>46</b>
<b>Figura 46</b> - Lavra da Posse, Lavra do Caracol, Ribeirão Brejaúba e Rio do Peixe	<b>46</b>
<b>Figura 47a</b> - Pontos lavados no Córrego da Posse (1) e Ribeirão Brejaúba (2 e 3)	<b>49</b>
<b>Figura 47b</b> - Pontos lavados no Ribeirão Brejaúba (4 e 6) e no Córrego Caracol (5)	<b>49</b>
<b>Figura 48</b> - Água marinha da área fonte da Lavra da Posse e da Lavra do Caracol	<b>51</b>
<b>Figura 49</b> - Água marinha a 300m da Lavra da Posse	<b>51</b>
<b>Figura 50</b> - Água marinha a 600m da Lavra da Posse	<b>51</b>
<b>Figura 51</b> - Água marinha a 1.050m da Lavra da Posse	<b>52</b>
<b>Figura 52</b> - Água marinha a 1.500m da Lavra da Posse	<b>52</b>
<b>Figura 53</b> - Água marinha a 2.500m da Lavra da Posse	<b>52</b>
<b>Figura 54</b> - Água marinha a 3.000m da Lavra da Posse	<b>53</b>
<b>Figura 55</b> - Água marinha a 1.000m da Lavra do Caracol	<b>53</b>
<b>Figura 56</b> - Água marinha a 1.200m da Lavra do Caracol (1) e 3.200m da Lavra da Posse (2)	<b>53</b>
<b>Figura 57</b> - Água marinha 3.000m da Lavra do Caracol (1) e a 5.000m da Lavra da Posse (2)	<b>54</b>
<b>Figura 58</b> - Água marinha a 4.000m da Lavra do Caracol (1) e a 6.000m da Lavra da Posse (2)	<b>54</b>
<b>Figura 59</b> - Amostras de água marinha (com aumento de 50 x) encontrada no Ribeirão Brejaúba, juntas, sendo a 3.200m da Lavra da Posse (1)- a 1.200m da Lavra do Caracol (2)	<b>54</b>
<b>Figura 60</b> - Curva de desgaste artificial da água marinha de Brejaúba	<b>56</b>
<b>Figura 61</b> - Curva de desgaste da água marinha de Brejaúba	<b>56</b>
<b>Figura 62 “a”</b> - Água Marinha – área fonte da Posse com aumento de 50x	<b>57</b>
<b>Figura 62 “b”</b> - Água marinha – área fonte do Caracol com aumento de 50x	<b>57</b>
<b>Figura 62 “c”</b> - Água marinha desgastada no <i>tumbler</i> a 500m com aumento de 50x	<b>57</b>
<b>Figura 62 “d”</b> - Água marinha desgastada no <i>tumbler</i> a 1.000m com aumento de 50x	<b>57</b>
<b>Figura 62 “e”</b> - Água marinha desgastada no <i>tumbler</i> a 1.500m com aumento de 50x	<b>57</b>
<b>Figura 62 “f”</b> - Água marinha desgastada no <i>tumbler</i> a 2.000m com aumento de 50x	<b>57</b>
<b>Figura 62 “g”</b> - Água marinha desgastada no <i>tumbler</i> a 2.500m com aumento de 50x	<b>58</b>
<b>Figura 62 “h”</b> - Água marinha desgastada no <i>tumbler</i> a 3.000m com aumento de 50x	<b>58</b>
<b>Figura 63</b> - Escala Padrão de Desgaste da Água Marinha de Brejaúba	<b>59</b>
<b>Figura 64</b> - Córrego da Posse	<b>60</b>
<b>Figura 65</b> - Ribeirão Brejaúba	<b>60</b>
<b>Figura 66</b> - Lavra do Caracol	<b>60</b>
<b>Figura 67</b> - Localização da Lavra do Cipó	<b>61</b>

<b>Figura 68 “a”</b> - Amostra de topázio da área fonte	<b>63</b>
<b>Figura 68 “b”</b> - Amostra de topázio a 800m da área fonte	<b>63</b>
<b>Figura 68 “c”</b> - Amostra de topázio a 1.400m da área fonte	<b>63</b>
<b>Figura 68 “d”</b> - Amostra de topázio a 2.500m da área fonte	<b>63</b>
<b>Figura 68 “e”</b> - Amostra de topázio a 4.000m da área fonte	<b>64</b>
<b>Figura 68 “f”</b> - Amostra de topázio a 5.000m da área fonte	<b>64</b>
<b>Figura 68 “g”</b> - Amostra de topázio a 6.000m da área fonte	<b>64</b>
<b>Figura 68 “h”</b> - Amostra de topázio a 8.000m da área fonte	<b>64</b>
<b>Figura 68 “i”</b> - Amostra de topázio a 9.000m da área fonte	<b>64</b>
<b>Figura 68 “j”</b> - Amostra de topázio a 10.000m da área fonte	<b>64</b>
<b>Figura 69</b> - Topázio a 3.000m com destaque para o desgaste da pirâmide	<b>65</b>
<b>Figura 70</b> - Topázio a 4.000m com destaque para as linhas de clivagem	<b>65</b>
<b>Figura 71</b> - Topázio imperial da área fonte com aumento de 50x	<b>66</b>
<b>Figura 72</b> - Topázio imperial encontrado a 3.000m com aumento de 50x	<b>66</b>
<b>Figura 73</b> - Topázio imperial encontrado a 5.000m com aumento de 50x	<b>66</b>
<b>Figura 74</b> - Topázio imperial encontrado a 10.000m com aumento de 50x	<b>66</b>
<b>Figura 75</b> - Curva de desgaste artificial do topázio imperial de Cachoeira do Campo peso x distância	<b>67</b>
<b>Figura 76</b> - Curva de desgaste artificial do topázio imperial de Cachoeira do Campo porcentagem de peso x distância	<b>68</b>
<b>Figura 77</b> - Escala Padrão de Desgaste do Topázio Imperial de Cachoeira do Campo	<b>69</b>
<b>Figura 78a</b> - Detalhe da Lavra do Cipó (1) e do Córrego Cipó (2)	<b>70</b>
<b>Figura 78b</b> - Detalhe do o Rio Maracujá (3)	<b>70</b>
<b>Figura 79</b> - Gráfico da função logarítmica	<b>71</b>
<b>Figura 80</b> - Modelamento matemático da água marinha de Brejaúba	<b>72</b>

## LISTAS DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Especificações dos três <i>tumblers</i> utilizados nos testes	<b>14</b>
<b>Tabela 2</b> - Modelo de tabela do desgaste artificial dos minerais-gemas	<b>15</b>
<b>Tabela 3</b> - Especificações da lupa binocular	<b>15</b>
<b>Tabela 4</b> - Dados referentes ao desgaste artificial dos minerais gemas para a determinação das curvas de desgaste	<b>17</b>
<b>Tabela 5</b> - Dados comparativos dos ensaios da variável coeficiente hidrodinâmico	<b>24</b>
<b>Tabela 6</b> - Dados comparativos dos ensaios da variável defeitos cristalográficos / Influência da forma	<b>30</b>
<b>Tabela 7</b> - Perda de peso conforme a variação de sedimentos	<b>32</b>
<b>Tabela 8</b> - Desgaste artificial da ametista de Brejaúba	<b>34</b>
<b>Tabela 9</b> - Desgaste artificial da água marinha de Tatu	<b>40</b>
<b>Tabela 10</b> - Desgaste artificial da água marinha de Brejaúba	<b>55</b>
<b>Tabela 11</b> - Desgaste artificial do topázio imperial de Cachoeira do Campo	<b>67</b>

## LISTAS DE PRANCHAS

<b>Prancha 1</b> - Água Marinha de Tatu - Comparação do desgaste natural (Sistema Fluvial – S.F.) com o artificial ( <i>Tumbler</i> – Tu.)	<b>74</b>
<b>Prancha 2</b> – Água Marinha de Brejaúba - Comparação do desgaste natural (Sistema Fluvial – S.F.) com o artificial ( <i>Tumbler</i> – Tu.)	<b>75</b>
<b>Prancha 3</b> - Topázio Imperial - Comparação do desgaste natural (Sistema Fluvial – S.F.) com o artificial ( <i>Tumbler</i> – Tu.)	<b>76</b>

