

# 1 - INTRODUÇÃO

A localização de jazidas primárias frequentemente passa pelo estudo e entendimento das ocorrências secundárias, principalmente em sistemas fluviais, sabendo-se ainda que, em função de suas propriedades físicas e químicas, cada mineral possui a sua taxa de dispersão própria e que o conhecimento desta taxa de dispersão pode definir critérios para a pesquisa aluvionar.

A maioria dos minerais gemológicos representa acessórios das rochas ígneas e metamórficas, que foram quantitativamente reduzidas no sistema de transporte a partir da área fonte, em função da resistência física e estabilidade química de cada variedade.

Durante o transporte (por arraste, tração, rolamento e saltação, entre outros) dos minerais, graças à abrasão e ao impacto recíproco, os clastos perdem suas arestas e transformam-se em partículas arredondadas com formas esféricas, cilíndricas, elipsóides ou discóides, dependendo da morfologia original do fragmento antes de sofrer abrasão, e de suas propriedades físicas e químicas, como estabilidade química, dureza, presença de clivagem e de fratura, tipo de cristalização do mineral, entre outras. Quanto maior for a partícula, tanto maior será a probabilidade do desgaste superficial.

Apesar dos experimentos sobre o desgaste de rochas se iniciarem a 128 anos atrás, com Daubrée 1879 (in Kuenen, 1956) e posteriormente por Kuenen (1956) é notável a escassez de trabalhos ligados ao desgaste superficial de pedras coradas ao longo do sistema fluvial em função da distância da área fonte – objetivo da presente pesquisa.

A pesquisa divide-se em três etapas: Campo (estudo de casos), laboratório onde se simula (no *tumbler*), após a coleta de amostras no campo, o desgaste superficial de determinados minerais gemológicos, e aplicação sendo que nesta fase os resultados pretendem conduzir à identificação de forma aproximada da(s) área(s) fonte(s).

Desta forma a dissertação representa o primeiro passo no desenvolvimento da pesquisa, apoiada parcialmente pela FAPEMIG – Projeto 12966, intitulado “O desgaste fluvial de minerais gemológicos como método para a localização aproximada da área fonte: Estudo de casos”.

## 1.1 - Objetivos

A pesquisa retoma estudos de campo e experimentais, que iniciaram há mais de um século sobre o grau de arredondamento de rochas/minerais devido ao transporte fluvial. Citando Kuenen (1956): “to few problems in geology have experimental methods been applied so widely as to the rounding of pebbles”. A maioria absoluta dessas dezenas de estudos constataram a dificuldade na relação de desgaste de objetos na natureza e durante sua simulação no laboratório pelo número desconhecido de variáveis envolvidos no processo, concentrando-se, portanto, principalmente no mencionado arredondamento de rochas.

A dissertação objetiva o estudo do desgaste de minerais gemológicos gemas coletadas ao longo do sistema fluvial com a lupa binocular ou no microscópio óptico criando padrões de desgaste superficial para cada um dos minerais. Em seguida, com o equipamento denominado *tumbler*, executar a simulação em laboratório, reproduzindo desgastes superficiais semelhantes ao verificado no sistema fluvial.

Foram escolhidos como estudo de casos a ametista e a água marinha (Lavra da Posse e Lavra do Caracol) de Brejaúba, entre os Municípios de Conceição do Mato Dentro e São Sebastião do Rio Preto, MG, água marinha de Tatu, Município de Itauninha, MG, (Lavra do Tatu ou Lajedo) e o topázio imperial de Cachoeira do Campo, Distrito de Ouro Preto (Lavra Cipó ou Caxambu) e ao longo do Rio Maracujá.

Desta forma comparou-se os padrões de desgaste superficial das amostras coletadas no campo com as amostras, adquiridas na área fonte, desgastadas no laboratório com sedimentos do próprio leito do rio, coletados em distâncias pré determinadas. Assim, em trabalhos futuros, essa metodologia aplicada aos minerais gemológicos no sistema fluvial cuja fonte é desconhecida, poderá servir como método eficaz de prospecção.

## 1.2 - Metodologia

Baseando-se em dados bibliográficos e em experiência própria (do orientador e orientado), escolheu-se áreas consideradas como sendo didáticas como estudo de casos. A área fonte aflora e é cortada por um sistema de drenagem onde é possível, através de “lavagem”, coletar amostras dos minerais gemológicos à diferentes distâncias da área fonte, ao longo do sistema fluvial.

Inicialmente se fez a coleta de amostras no campo seguindo-se os critérios:

- a- coleta de amostras da área fonte (A.F.).
- b- coleta de amostras ao longo do sistema fluvial em distâncias pré determinadas (F.).
- c- análise do desgaste superficial das amostras coletas no campo, usando a lupa binocular e em alguns casos o microscópio óptico.
- d- simulação do desgaste superficial utilizando o *tumbler*: para esta etapa foram selecionadas amostras da área fonte (A.F.) coletadas no campo, colocadas no *tumbler* juntamente com os sedimentos do sistema fluvial.
- e- verificação do desgaste das amostras de laboratório, obtidas no *tumbler* (T.) na lupa binocular ou em alguns casos, no microscópio óptico.
- f- comparação entre o desgaste da amostra coletada no sistema fluvial (F.) com a amostra desgastada no laboratório (T.).
- g- coleta de outras amostras no campo, ao longo do sistema fluvial, comparando com os padrões obtidos em laboratório, estimando, de forma aproximada, a distância da área fonte em função do seu desgaste superficial.

O equipamento denominado *tumbler* é um cilindro, simples, duplo ou triplo. É acoplado a um motor que promove o movimento de rotação, fazendo com que o material existente dentro dele (amostras, sedimentos e água) tenham um movimento em regime de cascata. A velocidade de rotação é semelhante ao da drenagem, promovendo a simulação do desgaste superficial compatível à do sistema fluvial. Nos trabalhos de campo, existindo a preocupação de se coletar, no mínimo duas amostras do mineral-gema em questão, para que se tenha uma melhor amostragem na análise do desgaste.

## 1.3 - Impacto social

A participação do Brasil no mercado mundial das pedras coradas nas décadas de 1960/1970 era de 60% a 70%, e hoje caiu para em torno de 8% a 10%, conforme dados das maiores feiras de pedras coradas, e.g. Tucson, München.

Por constituir um método pouco utilizado de prospecção de gemas em um Estado como o de Minas Gerais, referência em minerais de interesse gemológico, o processo claramente, apresenta a possibilidade de uma nova frente de trabalho, gerando empregos diretos nas áreas de prospecção e garimpo.

## 2 - FUNDAMENTAÇÃO

### 2.1 - Considerações sobre o desgaste fluvial de minerais gemológicos

As propriedades texturais e mineralógicas dos sedimentos fluviais dependem principalmente da natureza das rochas fonte e das condições morfo-climáticas, sendo que o transporte e a deposição dos sedimentos são comandados pelas leis da hidrodinâmica. O comportamento dos sólidos granulares em fluidos tem sido extensamente estudado, principalmente por físicos e engenheiros hidráulicos.

O diâmetro dos detritos mais grosseiros, de mesma densidade, transportados por uma corrente, varia aproximadamente com o quadrado da sua velocidade, isto é, se a velocidade dobrar, o diâmetro máximo de um seixo que pode ser transportado será em volta de quatro vezes maior. Esta relação não se aplica às partículas menores que as areias.

As partículas mais pesadas são transportadas junto ao fundo em contato com as outras partículas. À mesma velocidade, as partículas mais leves são carregadas por saltação. Apesar do reconhecimento da importância desses processos na sedimentação, já a algum tempo, foi Moss 1962 e 1963 (in Suguio 1980) quem tentou correlacionar os processos de transporte com as formas das curvas de distribuição granulométrica. Mais tarde, Visher 1969 (in Suguio 1980) relacionou as formas das curvas granulométricas aos modos de transporte e delineou curvas típicas para vários ambientes antigos e modernos de sedimentação.

A velocidade para iniciar o movimento é, certamente, maior do que a necessária para manter o transporte da partícula e é denominada por velocidade crítica. Bastante atenção tem merecido o estudo das velocidades críticas que dependem das variáveis contidas nas equações de Reynolds e Froude (in Suguio 1980).

Um dos mecanismos mais importantes de transporte e deposição de sedimentos clásticos está ligado às correntes de tração, que movem os sedimentos ao longo do leito por rolamento e saltação, sedimentos estes que vão constituir a carga de tração. A compreensão dos princípios básicos de sedimentação por correntes de tração está ligada aos estudos experimentais com correntes unidirecionais em canais confinados. Essas experiências são executadas em laboratórios em canais artificiais (*flumes*).

Como as partículas sedimentares dificilmente são esféricas, é necessário conceituar o diâmetro de partículas não esféricas. Embora existam métodos de medição da granulometria, nem sempre é fácil entender claramente o conceito de tamanho das partículas detríticas. Na prática, o significado do termo diâmetro de partículas sedimentares varia amplamente de acordo com o método de medida, pois nem todas as partículas podem ser medidas diretamente.

Infelizmente não existe uma escala universalmente aceita. Engenheiros, pedólogos e geólogos usam escalas padrão diferentes entre si. Mesmo entre os sedimentólogos não há um consenso mundial e, em geral, a escala adotada na Europa é diferente da seguida nos Estados Unidos. No Brasil, sem que tenha havido qualquer acordo ou recomendação, os sedimentólogos têm adotado a escala de Wentworth para classificar os sedimentos em termos granulométricos.

A distribuição granulométrica é mais um produto do fator hidráulico que a ação abrasiva, e a granulometria presente, é em geral, herdada da rocha matriz ou é um produto de desintegração e não resulta de processos e agente de transporte.

Como os fragmentos minerais ou rochosos contidos nos depósitos sedimentares apenas se aproximam muito grosseiramente de sólidos regulares, sua caracterização, principalmente numérica, é bastante aproximada. Mas um índice numérico de forma é muito útil e várias tentativas para encontrar tais índices de forma têm sido feitas.

Uma maneira de enfocar o problema consiste na escolha de uma forma padrão, por exemplo, uma esfera, para referência. De todas as formas possíveis, a esfera é a que possui a menor superfície para um dado volume. Como consequência, a esfera possui a maior velocidade de decantação que qualquer outra forma de sólido com volume e densidade iguais.

Portanto, sob condições de transporte por suspensão, as partículas esféricas tendem a se separar de outras formas de partículas com mesmo tamanho e densidade, porém de forma menos esférica. Desse modo, pode-se definir convenientemente a forma pelo grau de esfericidade, que é o grau de aproximação da área de uma partícula qualquer à área superficial de uma esfera com o mesmo volume da partícula, isto é, esfericidade =  $s/S$ , onde  $s$  é a área da esfera de mesmo volume do objeto e  $S$ , a área superficial do objeto. Mas partículas com a mesma esfericidade podem apresentar formas achatadas e até alongadas, isto é, a esfericidade por si só é incapaz de definir adequadamente as diferentes formas, de modo que outros índices têm sido propostos (Suguio 1980).

Uma propriedade muito importante de partículas sedimentares detríticas é o arredondamento, que é a medida do grau de curvatura dos cantos, pontas e arestas. O arredondamento é um coeficiente mais ou menos independente de sua forma. O termo arredondamento foi, pela primeira vez, definido por Wentworth (1919) como sendo uma relação entre  $r/R$ , onde  $r$  é o raio de curvatura de aresta mais aguda e  $R$  a metade do diâmetro mais longo da partícula.

Wadell 1932 (in Suguio 1980) definiu arredondamento como a razão do raio de curvatura média das várias pontas e arestas em relação ao raio de curvatura do maior círculo inscrito no grão. Como esta definição tridimensional não pode ser aplicada, na prática utiliza-se uma figura bidimensional ou imagem projetada do fragmento. Neste caso, o arredondamento, segundo Wadell, é definido pelo raio de curvatura médio dos cantos da imagem do grão dividido pelo raio da circunferência máxima inscrita à imagem da partícula. O grau de arredondamento é fortemente influenciado pelo tamanho. Em rios, o grau de arredondamento aumenta na proporção direta do aumento da granulometria.

Na determinação do arredondamento existem diversos métodos e escalas sendo o mais comumente usado é a divisão em cinco ou seis grupos de graus de arredondamento.

Considerável atenção tem merecido o significado geológico do arredondamento e da esfericidade das partículas sedimentares detríticas. Tendo começado com os trabalhos pioneiros de Daubrée 1879 (in Kuenen 1956), pesquisadores têm procurado definir o significado geológico do arredondamento e forma das partículas sedimentares.

Em geral, deve-se acreditar que, se materiais de propriedades físicas e químicas similares e de formas iniciais idênticas não forem confrontados, será muito difícil relacionar a forma dos seixos aos ambientes de sedimentação.

Os minerais pesados são muito úteis na determinação da natureza das rochas matrizes. Neste particular, alguns minerais podem individualmente diagnosticar determinados tipos de rochas matrizes. Coimbra (1976) atribuiu a perowskita, presente nos sedimentos da Formação Bauru do Cretáceo Superior da Bacia do Paraná, à contribuição alcalina, advindo daí importantes conseqüências paleográficas e estratigráficas.

Outros minerais, como o grupo da turmalina, ocorrem em vários tipos de rochas matrizes e, neste caso, torna-se importante reconhecer as variedades do gupo, baseado nas inclusões, cor, forma. Krynine 1946 (in Suguio 1980) foi capaz de reconhecer treze espécies de turmalinas, todas relacionadas a rochas matrizes diferentes.

Os efeitos do clima sobre a composição mineralógica são mais complexos. Normalmente, os climas tropicais quentes dão origem a produtos finais enriquecidos em óxido de alumínio e ferro e, conseqüentemente, deficientes em sílica.

Dados sobre a abrasão seletiva e a eliminação de partículas arenosas são mais ambíguas, porém dados obtidos por Correns (1931) indicaram que, aparentemente, a resistência à abrasão dos minerais está relacionada à dureza e à estrutura interna dos minerais.

Segundo dados experimentais de Thiel (1940), os graus de resistência relativa à abrasão de alguns minerais variam na seguinte seqüência: apatita (menos resistente), horblenda, microclínio, granada, turmalina e quartzo (mais resistente).

Normalmente, com o aumento da viscosidade, diminuem as velocidades necessárias para transportar partículas de um determinado diâmetro e a eficiência do meio como agente de seleção. Dados de velocidade, sentido e estabilidade de correntes são muito difíceis de serem obtidos. As velocidades críticas de início de movimentação de partículas foram determinadas empiricamente por vários autores.

A fração pesada associada a um sedimento detrítico é mais fina que a fração leve (quartzo e feldspato). Duas são as razões que explicam esse fato. Em primeiro lugar, os minerais pesados ocorrem em cristais bem menores que os de quartzo e feldspato nas próprias rochas matrizes cristalinas. Em segundo lugar, a seleção e a constituição mineralógica de um sedimento detrítico de transporte subaquoso são controladas pela densidade e pelo tamanho das partículas que definem o conceito denominado razão hidráulica. Isso explica porque os arenitos contém só traços de minerais pesados cuja granulometria é mais fina que a média dos minerais leves. Por outro lado, pode ocorrer uma inversão nesta relação de tamanho e densidade se as formas forem completamente diferentes.

Desse modo, a biotita, que é mais densa que o quartzo, mas de forma placóide, pode ser depositada juntamente com grãos de quartzo de diâmetro menor mas de formas mais esféricas.

Em determinadas condições de fluxo de corrente, as partículas maiores e menos densas do sedimento podem ser “varridas” deixando um depósito residual de minerais pesados de granulacão mais fina.

As condições de fluxo que causam esse tipo de separacão são de interesse na indústria mineral, tanto como uma chave para a compreensão da origem dos depósitos aluvionares bem como para idealizar métodos mais efetivos de separacão de minérios moídos, que são lavrados para concentraçã dos minerais de interesse econômico.

Em geral, deve-se esperar por uma concentraçã mecânica de minerais pesados nos locais onde a velocidade de fluxo diminui. Nesses locais, ao lado de minerais metálicos duráveis, como o ouro ou a platina e a cassiterita, podem ser encontrados minerais não metálicos, como o diamante, o córindon (safira) e outros minerais-gemas.

Existem variáveis tanto do sistema fluvial como mineralógicas que devem ser consideradas no estudo do desgaste fluvial de minerais gemológicos. As principais variáveis são gradiente energético, a velocidade do rio, o tipo de correnteza, a litologia do leito, a configuraçã do rio, o regime pluvial, o poder erosivo, a velocidade crítica e a composiçã dos sedimentos.

Como o gradiente energético, a velocidade do rio e o tipo de correnteza estão intimamente ligados, nos testes realizados com os minerais gemológicos dos estudos de casos no Ribeirão dos Gomes, Ribeirão Brejaúba e Rio Maracujá, percebeu-se que tanto no regime lamelar como no turbulento o desgaste dos minerais-gemas permanece proporcional à distância do transporte.

Quanto à litologia do leito e composiçã dos sedimentos, 16 testes foram realizados com os mesmos minerais gemológicos (crisoberilo, granada, do tipo almandina, ametista, citrino e topázio imperial), porém variando-se as classes granulométricas, sendo percebida uma perda de peso diferenciado em relaçã à cada gema, conforme a composiçã do sedimento ( ítem 4.2-3).

O regime pluvial altera o desgaste fluvial dos minerais-gemas de maneira indireta, ou seja, enchentes fazem com que o percurso da gema no sistema fluvial se modifique gerando um desgaste maior. Porém grandes enchentes não ocorrem com freqüência e assim sua influência pode ser controlada em laboratório, bastando para isto levantar dos índices pluviométricos das últimas décadas.

O tamanho médio dos grãos e o grau de seleçã granulométrica são medidas da eficiência do agente transportador no fracionamento sedimentar durante os processos de dispersã dos sedimentos. As águas marinhas da Lavra da Posse têm, freqüentemente, figuras de corrosã (magmáticas). As maiores são observadas a olho nú ou com a lupa binocular. As figuras minúsculas são detectadas com o MEV.

A resistênci mecânica do mineral é favorecida pela clivagem difícil ou pela sua inexistência e pela alta dureza. Dessa forma, um retrabalhamento prolongado pode eliminar, seletivamente, por abrasã os minerais de clivagem mais fácil e de menor dureza (Sutherland 1982).

Os minerais com forma menos esférica e menor peso específico são carregados para mais longe que os minerais mais esféricos e mais densos, quando seus diâmetros são similares, modificando as relações entre as freqüências das diferentes espécies mineralógicas no sistema fluvial.

Se a razão hidráulica for um fator efetivo, os pontos deverão localizar-se em uma linha mais ou menos reta ou em uma curva bem suave, e os minerais mais achatados estarão sistematicamente deslocados para um lado em relação à tendência geral.

Os cristais de diamante de forma dodecaédrica são mais resistentes ao transporte, pois suas características hidrodinâmicas, resultante do grande número de faces naturalmente arredondadas, é maior que o daqueles que têm forma de cubo ou octaedro. Depósitos da Namíbia, por exemplo, apresentam um número desproporcionalmente grande de cristais dodecaédricos (Sutherland 1982).

Com a evolução do registro geológico, os diamantes tendem a sofrer as seguintes modificações: redução do tamanho médio dos cristais; preservação dos dodecaedros nas formas monocristalinas; queda expressiva do número de pedaços quebrados; pulverização dos *borts* e cristais com defeitos ou inclusões; aumento do número de cristais gemológicos, sendo que tais estudos são escassos para pedras corada (Sutherland 1982).

O grau de resistência de um mineral ao longo do curso de um rio dependerá diretamente de fatores inerentes às suas características físico-químicas. Durante o percurso, ele tenderá a pulverizar-se cada vez mais, e seu tempo de 'vida' varia em função de propriedades como composição química e estrutura cristalina, dureza, modo de clivagem e, sobretudo, pureza. Os gemólogos relacionam pureza à frequência de inclusões estranhas e/ou microfraturas no interior do mineral hospedeiro. Conseqüentemente, quanto mais impuro for um mineral, maior será sua tendência à pulverização em um meio de transporte ativo como o fluvial, (e.g. alexandrita (variedade gemológica do crisoberilo) e granada, do tipo almandina de Esmeralda de Ferros e estauroлита de Governador Valadares todas em Minas Gerais).

O caso do diamante é particularíssimo. Além de sua estabilidade química, sua resistência ao desgaste físico e a fortes variações de temperatura e pressão faz com que, após desprender-se de sua rocha-matriz original, ele tenda a permanecer no registro geológico.

Uma população de diamantes ou outro mineral com características físicas similares deve, portanto, indicar, em termos estatísticos, uma longa e complexa história, na qual o material mais resistente ficou preservado.

O desgaste pode ser definido como a redução no tamanho e/ou a mudança na forma por um processo mecânico de abrasão, impacto ou moagem (Wentworth 1931) ou a perda progressiva de material da superfície de um corpo em conseqüência do movimento relativo em tal superfície (Lansdown & Price 1986).

O desgaste é responsável pela redução dos minerais-gemas em função do transporte e das condições hidrodinâmicas, implicando em conseqüências econômicas.

Conhecendo tais condições e a influência sobre o desgaste de diversos minerais gemológicos, pode-se seguir o caminho inverso: simular de forma aproximada, o processo natural em laboratório e criar padrões que apontarão a distância para a área fonte, levando-se em consideração ainda, fatores internos como as propriedades físicas e cristalográficas dos minerais-gemas.

O estudo do desgaste é muito complexo, sujeito a diversas variáveis e fatores como o tipo e a natureza do transporte, dependendo do mecanismo do sistema fluvial, tipo e qualidade de lubrificantes, natureza química e cristalográfica e das propriedades físicas do mineral-gema sujeita ao desgaste.

De acordo com Lansdown & Price (1986), os vários modelos de desgaste incluem a abrasão, fadiga, erosão, cavitação, adesão, impacto e corrosão, sendo o último complexo, influenciado por fatores ambientais, materiais e pela presença de um filme de lubrificação.

Normalmente partículas de grande tamanho provocam desgastes por abrasão acompanhado de impacto, e isto leva ao desgaste acentuado, que foi muito mais por impacto do que por abrasão.

Partículas médias, dependendo da dureza e formato são menos agressivas, porém, partículas finas são mais abrasivas ocasionando abrasão muito incidente. É claro que a dureza destas partículas também é significativa. A forma dos materiais abrasivos varia desde arredondadas até ângulos vivos.

No caso das areias, aquelas que forem sujeitas a um processo mais longo de rolamento, terão formas arredondadas, menos nocivas que as areias angulosas. Ainda é importante lembrar que quanto maior o grão, tanto maior será a tendência de ser desgastado. Inicialmente, nas primeiras centenas de metros, os minerais gemológicos sofrem um maior desgaste superficial e, finalmente, existe uma tendência à estabilização do desgaste, sendo que quanto maior o tamanho do mineral-gema maior o desgaste inicial.

Há uma tendência para que a taxa do desgaste aumente quando a carga aumenta, havendo também um ponto crítico na maioria dos sistemas, além do qual um aumento de carga conduz ao invés do aumento do desgaste.

A alta temperatura tende a produzir taxas mais elevadas de desgaste, e assim deve-se levar em conta a temperatura do ambiente, da água, bem como a sua viscosidade.

Os fatores que influenciam o desgaste no sistema fluvial são o tipo de transporte, a velocidade, a temperatura, o tipo e a quantidade de lubrificantes, a natureza química e geológica do ambiente, o tipo e as características do sistema fluvial, a dureza e a tenacidade dos minerais envolvidos, as características de superfície (rugosidade e suas classificações) e a forma da partícula no ambiente.

Geralmente só os minerais como topázio imperial, Berilo (água marinha), quartzo (ametista), cassiterita, columbo tantalita, ouro, cromita, zircão, rutilo, ilmenita, monazita e outros são movidos de um modo mecânico, em qualquer distância, sendo os demais minerais rapidamente desagregados pela ação química natural ou pela abrasão proporcionada pelo transporte da corrente (Pereira 2003).

Os minerais do grupo da turmalina são reconhecidos como um dos mais importantes para a pesquisa mineral devendo isto, em parte, à grande resistência aos processos de intemperismo, que faz com que sua assinatura geoquímica seja preservada. É um depositário significativo de boro na crosta terrestre, constituindo-se em minerais acessórios bastante comuns nas rochas sedimentares, metamórficas e ígneas (Pereira 2003).

Em Piumhi – MG, os estudos realizados na fração entre  $-0,50\text{mm}$  e  $+0,25\text{mm}$  de concentrados de minerais pesados permitiram estimar a distância do cromodiopsídio a  $1,5\text{km}$  e a granada do tipo piropo a  $4\text{ km}$  de sua área fonte (Pereira 2003).

Cada mineral possui sua taxa de dispersão própria, em função de suas propriedades físicas e químicas e que o conhecimento dessa taxa pode definir critérios para a pesquisa aluvionar (Chaves et al. 2002).



A partir de suas fontes primárias, os diamantes se espalham por milhares de quilômetros quadrados. Observou-se uma sistemática redução na média do tamanho dos cristais, quanto mais eles se afastavam de seu local de origem, deslocando-se por via fluvial ou marinha. Tal redução é acompanhada de expressiva melhoria gemológica, pois diamantes de qualidade inferior são destruídos durante o transporte (Sutherland 1982).

Experimentos feitos por mineradoras na África do Sul mostraram que seis horas de moagem foram suficientes para reduzir o bort e diamantes defeituosos do Zaire em partículas de peso inferior a 0,001ct. Submetidos ao mesmo experimento, diamantes da costa da Namíbia com formas cristalinas perfeitas, perderam apenas 0,01% de seu peso após quase mil horas de moagem (Sutherland 1982).

As propriedades físicas e químicas, particulares do diamante, tais como dureza, cristalografia e alta estabilidade química, fazem com que ele resista aos processos intempéricos e metamórficos, permitindo que esse mineral sobreviva continuamente ao longo do registro geológico (Chaves et al 2002).

Outra experiência mostrou que os grãos de quartzo apresentam fraturas prismáticas e romboédricas, de modo que os grãos fraturados tendem a ser alongados paralelamente ao eixo cristalográfico “c” ou a um determinado ângulo dele (Bloss 1957 & Moss 1966, in Suguio,1980).

Por estudos experimentais de laboratório, determinou-se que o calcário se tornava bem arredondado após percorrer cerca de 50km e o quartzo de veio só após 300km (Kuenen 1956).

Estudos feitos por Chaves et al. (2002) demonstram que o crisoberilo, apesar de sofrer arredondamento, é muito mais resistente do que o já descrito. Sua ocorrência no Médio Jequitinhonha, a dezenas de quilômetros das áreas de afloramento de rochas graníticas ácidas (Complexo Basal da Região de Gouveia), onde não se conhecem pegmatitos mineralizados, faz supor que essas últimas rochas foram em grande parte erodidas preteritamente à sedimentação cenozóica.

Deve ser destacado que, nas zonas mais próximas ao Complexo Basal da região de Gouveia, tem sido encontrado euclásio, mineral gemológico de fonte pegmatítica, que, possuindo várias direções de clivagem perfeita, é facilmente pulverizado durante o transporte fluvial (Chaves et al. 2002).

No conhecimento da distribuição de topázio no Rio Maracujá, na zona serrana do alto curso desse rio, ocorre sua rocha fonte entre as Formações Cercadinho, Fecho do Funil e Sabará. Os depósitos aluvionares mais ricos no mineral estão concentrados até o sopé da serra, sendo, inclusive, verificados pequenos serviços de garimpagem clandestina. Entretanto, em espaço bastante curto, a mineralização desaparece, indicando que não existem novos aportes de topázio a partir de afluentes (Chaves et al. 2002).

A prospecção aluvionar enfocando bens gemológicos em regiões onde suas ocorrências são bem conhecidas, é uma técnica de grande utilidade, não só visando determinar a distribuição espacial da mineralização, como também, em províncias minerais onde achados “casuais” são frequentes, para ser aplicada na busca sistemática de novos depósitos (Chaves et al. 2002).

## 2.2 - Processos experimentais *versus* processos naturais

De acordo com Kuenen (1956), existem poucos problemas nos métodos experimentais usados na geologia, que foram assim, intensamente utilizados a respeito do arredondamento de seixos. Afirmou, ainda, que os estudos de arredondamento devem nos ensinar a respeito da história dos depósitos analisados, distância e características do transporte, fisiografia e condições climáticas. Entretanto existem inúmeras variáveis envolvidas no arredondamento dos seixos, dificultando desta forma sua simulação em laboratório.

O primeiro a realizar experimentos de abrasão de seixos foi Daubrée 1879 (in Kuenen 1956), que rolou fragmentos de feldspato e de granito em um cilindro revolvendo sob água. Muitos pesquisadores (e.g. Wentworth 1919, Lehner 1921, Dull 1930, Krumbein 1941, Lord Rayleigh 1943, 1944, Potter 1955, in Kuenen, 1956), estudaram sobre *tumblers* de vários desenhos. Ainda autores (e.g. Bonne 1888, in Kuenen, 1956), usaram outros procedimentos em laboratório.

Wentworth (1922b) estudou o arredondamento de partículas de quartzito nos tributários do Rio Virgínia analisando as partículas de 2,5 a 3,2km da fonte. Encontrou resultados satisfatórios à distância de transporte simulada em seu *tumbler* e a natureza que foram requeridas para causar a mesma quantidade de abrasão. Pearce (1971), analisou calhaus de traquito em um córrego em distâncias de 50m a 1,6km, concluindo que os materiais angulares e grosseiros se tornaram subangulares e subarredondados a medida que se afastaram de sua fonte. Concluiu ainda que o grau de arredondamento perto da fonte é variável, mas dentro de 3,2km os pedregulhos se tornam subarredondados e redondos.

Marshall 1927 (in Thiel, 1940) misturou materiais de várias dimensões, provenientes da Nova Zelândia, e concluiu que a perda por abrasão dos seixos atingiu 1,5% em 24hs, comparando ao curso natural ao equivalente a 38km. Correns (1931) testou a perda de peso de diferentes minerais que variavam de dureza entre 2 e 9 (Mohs). Freise (1931) colocou grandes fragmentos de minerais em um cilindro rotatório enorme e compilou os resultados em uma tabela que mostra a resistência relativa à abrasão de um grupo de minerais comuns.

Thiel 1940 criticou os três últimos autores dizendo que todos àqueles estudos relacionados à uma quantidade de sedimentos em relação ao volume de água falhou por não se aproximar ao ambiente natural do córrego. Ele usou um *tumbler* de aço que foi engrenado a uma velocidade de 25rpm. A água no cilindro fluiu com uma corrente uniforme somente na parte do fundo do cilindro, sendo que as paredes internas das extremidades do cilindro permaneceram secas. Ao final de 40 dias, quando a corrente tinha viajado quase 32km os sedimentos eram separados e fotografados. A sua seqüência de resistência à abrasão é completamente diferente daquela obtida por Freise 1931.

De acordo com Kuenen (1956), uma aproximação mais semelhante às condições naturais de um rio é obtida revolvendo uma corrente em uma bacia, onde cada variável pode ser estudada em separado o que não pode acontecer em um *tumbler*. Usou uma bacia grande de concreto com um cone central para produzir um movimento circular. As pás girando deram à água a velocidade elevada. Esta velocidade foi medida usando os seixos pintados de branco e contando-se o número de voltas. Este método não era muito satisfatório, e depois de alguns anos de experimentos, resolveu pintar os sedimentos com tinta fluorescente, submetendo-os a uma fonte de raios ultravioleta, porém a adição de areia não foi investigada, porque os experimentos foram feitos em um assoalho limpo.

Os críticos de Kuenen e adeptos do *tumbler*, afirmam que o arredondamento na natureza deve sempre ser acompanhado por indicativos não somente dos tamanhos dos seixos, de velocidade atuais do curso d'água e do tipo de rocha/mineral, mas especialmente da natureza granulométrica do leito. Além disto deve ser levado em consideração que um seixo passará de forma relativamente rápida às primeiras classes de arredondamento ( 1, 2 e 3), mas de forma mais lenta além da quarta classe. A passagem de classe a classe, sobre o assoalho requer distâncias grandes e mais rolamento até que a forma final seja alcançada. Kuenen indicou que a velocidade de rolamento não é a distância percorrida pelo fragmento em função do tempo. Seus caminhos tem uma relação complicada à taxa de deslocamento e à quantidade de sedimento. Além disso, na natureza, os seixos rolam quase sempre separados exclusivamente, sem areia e sem argila.

Tricard & Vogt 1967 (in Suguio1980) concluíram que o movimento de sedimentos grosseiros nos córregos é lento e descontínuo. Os seixos e os grânulos comportam-se provavelmente de uma maneira análoga ao movimento em um tambor giratório. Sob estas circunstâncias o desgaste por abrasão durante o transporte é um modelo real de abrasão de partículas. As experiências de abrasão simulam provavelmente de forma razoável o comportamento de partículas grosseiras dentro de um rio, mas a cada volta do *tumbler* ou de cada passagem da rocha/mineral em torno das paredes circulares não pode ser considerada para se relacionar à distância real do transporte ocorrido na natureza. As discrepâncias entre o campo e os resultados do laboratório podem ser explicados pelo fato de que no rio a distância que as partículas viajaram não pode estar diretamente relacionada a passagem do tempo.

Estas experiências demonstram que as forças de elevação que agem em um seixo submerso são grandes e variam significativamente com o tempo. Quando este efeito de elevação é combinado com as forças de arraste, uma partícula vibra no lugar sem movimento para frente. Com a velocidade aumentada, o seixo salta rio abaixo atingindo uma nova posição de estabilidade provisória. Durante o fluxo de velocidade alta, a abrasão do seixo dá lugar a lascas-se ou fraturar-se durante a saltação e pode ser um dos fatores significativos que causam a redução nos sedimentos grosseiros nos rios a medida que se arredonda.

Aqui se segue uma ampla discussão: comparação entre o campo e as circunstâncias experimentais!!!! Ainda: velocidade do sistema fluvial, velocidade crítica, gradiente do rio, profundidade da água, composição dos sedimentos, incluindo cascalhos, grânulos, areia, silte e argila, características físico químicas e cristalográficas do mineral, condições hidrodinâmicas do sistema fluvial, natureza do fundo do rio, morfologia e corrente do tributário – como influenciam o sistema fluvial durante a estação chuvosa, o tempo e a distância.

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Para os ensaios em laboratório, realizados no Setor de Gemologia, localizado no Museu de Historia Natural da UFMG – MHN, foram utilizados os equipamentos, que estão disponíveis na referida instalação.

Os *tumblers* foram adquiridos pelo Professor Joachim Karfunkel e a lupa binocular foi cedida pelo CEFET/MG, como empréstimo, até o final do projeto. Os demais equipamentos como a balança analítica, a estufa, o vibrador e a série de peneiras, já estavam disponíveis no MHN, adquiridos no final da década de 1990, com projetos do CNPq e da FAPEMIG.

#### 3.1 - *Tumbler*

O equipamento denominado *tumbler* é um cilindro utilizado para o polimento de minerais-gemas, tendo adquirido nova função na execução do projeto, ou seja, a simulação do sistema fluvial. É acoplado a um motor que promove o movimento de rotação, fazendo com que o material existente dentro dele (amostras, sedimentos e água) tenha um movimento em regime de cascata.

Há uma gama de *tumblers* no mercado, com diferenças em sua capacidade, com tambor variando de 1kg até 200kg, e na sua forma, podendo ser quadrado, sextavado, octogonal ou redondo.

Um *tumbler* é operado corretamente quando completado de forma parcial com mais de 20% de material. Os tambores operam-se em 30 a 52rpm, sendo que a altas velocidades são usados para a abrasão áspera e as velocidades lentas na abrasão fina e como lustrador ou polidor para a maioria dos minerais gemológicos duros.

Algumas amostras tais como os cristais de quartzo se fraturam facilmente e devem ser tratadas de forma delicada, enquanto amostras de gemas maciças como o jaspe, a obsidiana e o jade podem ter tratamento mais áspero e sem ocasionar danos.

O que acontece dentro de um *tumbler*: o movimento do *tumbler* levanta as amostras para o alto do tambor e a gravidade puxa-as para baixo na ação “caindo”, e em seguida a gema continua em movimento enquanto alcança o alto do tambor, ocasionando novamente a queda.

A ação de rotação dentro de um moinho é determinada pela velocidade no cilindro. A velocidade dos eixos induz a uma ação de velocidade do *tumbler* sendo gerado um movimento de “cascata”. Adquirir um regime de cascata ocorre quando a velocidade do *tumbler* é tal que a carga composta pelos minerais-gemas quebra longe da parede do *tumbler* em um ângulo de 45° a 60° da horizontal. Estar conectado ao regime de “cascata” é o caso onde os seixos caem e rolam sobre a corrente, como o movimento sugerido pelo sistema fluvial.

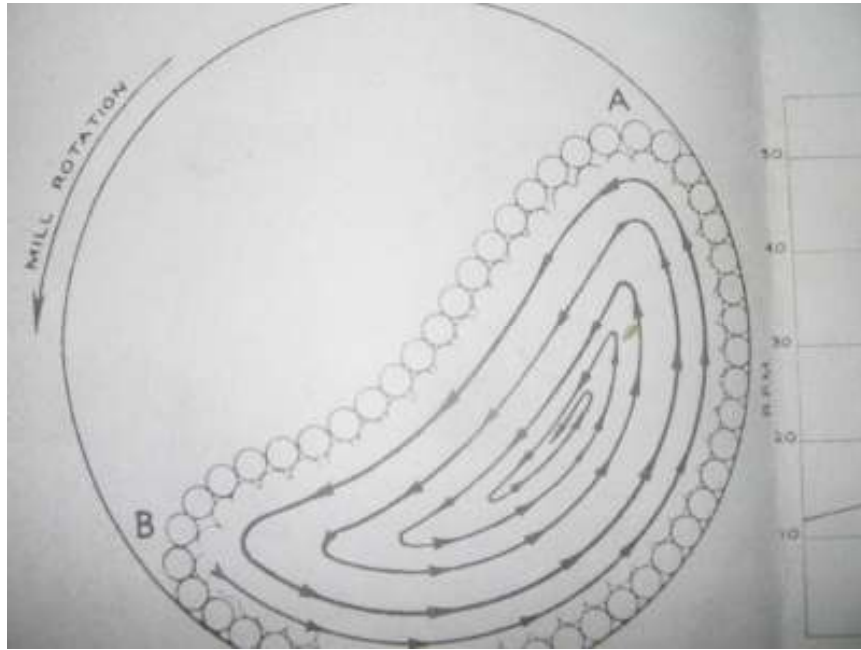


Figura 1 - O interior de um *tumbler* mostrando o regime de cascata

(Victor, A.E & Victor, L.M. 1959).

Como visto na Fig.1, as esferas no ponto “A” cairão ao ponto “B”, mudando sua energia potencial à energia cinética. Além disso, ocorrem ações secundárias porque as partículas individuais causam atrito adicional com a sua própria ação rotatória. Estes efeitos secundários ocorrem entre as paredes do *tumbler* e o material dentro dele. Tais ações conduzem a desintegração intensiva, melhor dispersão e a um contato maior das partículas com a água (e.g. tamanho das partículas e viscosidade).

Foram utilizados três conjuntos de *tumblers* (Fig. 2): simples (um tambor), usado nesta fase para o estudo do desgaste de minerais-gemas diversas, duplo (dois tambores) e triplo (três tambores), usados simultaneamente para estudo de variação de classes granulométricas, defeitos cristalográficos e coeficiente hidrodinâmico.



“a”



“b”



“c”

Figura 2 - (“a”) *tumbler* simples; (“b”) *tumbler* duplo e (“c”) *tumbler* triplo.

As especificações dos três modelos de *tumblers* usados na pesquisa estão descritas na Tab.1, a seguir.

Especificações	<i>Tumbler</i> “a”	<i>Tumbler</i> “b”	<i>Tumbler</i> “c”
Comprimento em cm	10,5	11,5	8
Raio em cm	15,5	10,5	5,5
Distância percorrida em m/volta	0,5	0,3	0,2
Nº. de voltas em 100m	200	333	500
Tempo em min gasto para rodar 100m	5,5	6	110
Capacidade em l	1,25	0,75	0,47
60% da capacidade em ml	750	450	282
Capacidade em g	1.420	785	680
40% da capacidade em g	568	314	272
Nº. de r.p.m.	36	48	50
Velocidade em m/s	0,30	0,28	0,06

Tabela 1 - Especificações dos três *tumblers* utilizados nos testes.

Para que os minerais gemológicos possam se movimentar em regime de “cascata”, utiliza-se 40% da capacidade do *tumbler* em massa e 60% de sua capacidade em volume, sendo que para o processo de desgaste dos minerais-gemas no laboratório com o equipamento, usam-se os sedimentos do próprio sistema fluvial onde as gemas foram coletadas.

## 3.2 - Outros Materiais

### A - Balança analítica:

As amostras de minerais gemológicos, colocadas para desgaste no *tumbler* foram retiradas, a cada 1.000m percorridos (em relação ao *tumbler*), ou a cada 55min, no caso do *tumbler* “a”, sendo pesadas para que se possa elaborar as curvas de desgaste. As amostras são pesadas em uma balança analítica da marca Mettler, modelo H-10, com precisão de 0,1mg, e pesagem máxima de 160g. Com a pesagem das amostras, a cada 55min, elabora-se a tabela de desgaste das gemas, calculando-se a perda de peso, e a porcentagem de perda de peso, a cada intervalo (Tab.2).

Mineral:	Composição do sedimento:			Nº. do <i>Tumbler</i> :	
Tempo (h) e.g.	Distância (m) em relação ao <i>tumbler</i> e.g.	Peso da gema (g) e.g.	Perda de peso (g) e.g.	Perda de peso (%) e.g.	Observações
0	0	6,5954	0	0	
00:55	1.000	6,5883	0,0071	0,100	
01:55	2.000	6,5554	0,0329	0,500	
02:45	3.000	6,5120	0,0434	0,700	
03:40	4.000	6,5054	0,0066	0,100	
A tabela continua até o final dos testes, variando o tempo e a distância conforme a necessidade do experimento.					

Tabela 2 - Modelo de tabela do desgaste artificial dos minerais- gemas no *tumbler*.

Ao final do experimento os dados são resumidos conforme demonstrado abaixo:

#### Dados Gerais

Peso inicial: 6,5954g

Peso final: 6,5054g

Distância total percorrida em relação ao *tumbler*: 4.000m

Tempo total de desgaste no *tumbler*: 03h40

Perda de peso: 1,40%

#### **B - Estufa e vibrador com série de peneiras:**

Utilizados para a análise granulométrica dos sedimentos coletados em cada sistema fluvial, onde foram feitos os estudos de caso.

#### **C - Lupa binocular:**

A lupa binocular, é um estereomicroscópio binocular com zoom, modelo Q740Z, da Quimis, aparelhos científicos LTDA, apresentando as seguintes características (Tab.3).

Escala de zoom da objetiva	0,7X ~ 4,5X
Distância de visualização	30 ~156 mm
Ampliação total	3,5X ~225X
Ajuste de distância interpupilar	55 ~75 mm
Área de trabalho	Diâmetro de 95 mm
Faixa de ajuste de foco	50 mm
Faixa de ajuste do elevador	110mm
Faixa de ajuste da diotropia	+ - 5
Tensão de alimentação	110 volts
Iluminação incidente	Lâmpada halogênio 12 volts / 10 watts
Iluminação transmitida	Lâmpada halogênio 12 volts / 10 watts
Iluminação alternativa	Lâmpada fluorescente 12 volts/ 5 watts

Tabela 3 - Especificações da Lupa Binocular.

O equipamento é utilizado, rotineiramente, para verificação do desgaste dos minerais gemológicos coletados no sistema fluvial, bem como para os desgastados em laboratório, podendo ser visto com ampliação de 20 vezes, suficiente para a observação do desgaste superficial das amostras.

#### **D - Microscópio Óptico:**

Em alguns casos utilizou-se o microscópio óptico, modelo AXIOSKOP 40, marca Carl Zeiss, podendo verificar o desgaste das amostras com um aumento de 50 vezes.

## **4 - CAMPO *VERSUS* LABORATÓRIO**

Três grandes desafios foram encontrados na execução do projeto:

( i ) Campo: Consistiu em se encontrar as condições ideais para a execução do projeto, ou seja, localizar uma área fonte pela qual passa um sistema fluvial de extensão razoável, sem que haja a contaminação de outras áreas fonte ao longo da drenagem.

Com este objetivo foram realizados 12 trabalhos de campo em diversas regiões de Minas Gerais, e.g. Esmeralda de Ferros, Ferros, Santa Maria do Itabira, Governador Valadares, obtendo-se sucesso apenas nas localidades de Tatu (no Município de Itauninha), Brejaúba (na divisa de Santa Maria do Itabira e Ferros) e Cachoeira do Campo (Município de Ouro Preto).

No primeiro ano concentrou-se em tais localidades possuindo apenas uma área fonte e um sistema fluvial adequado, para que se possa, com a devida precisão, estudar o comportamento das gemas e como consequência, definir padrões de desgaste superficial das amostras em diferentes sistemas de drenagem.

Posteriormente, estudou-se o desgaste superficial com a contaminação de duas áreas fonte em uma mesma drenagem (água marinha encontrada em Brejaúba) e na seqüência, verificou-se a validade dos padrões criados em laboratório.

( ii ) Laboratório: O desafio concentrou-se no laboratório, pelo fato de se adaptar o *tumbler*, que foi criado para polir gemas, para a função de simular o sistema fluvial. Desta forma algumas variáveis da drenagem foram estudadas para que as condições no *tumbler* se aproximassem ao máximo das condições naturais.

Em seguida, foi necessário estudar, em laboratório, o comportamento de vários minerais-gemas com a finalidade de se determinar as curvas de desgaste, sua perda de peso e a porcentagem da perda de peso, ao longo do tempo.

(iii) Curvas de desgaste: Para a mesma variedade gemológica foram estabelecidos curvas para condições mineralógicas e cristalográficas distintas (e.g. amostras com várias faces cristalográficas/sem faces e amostras gemologicamente puras/impuras).



## 4.1 – Desenvolvimento das curvas de desgaste

Como nenhum estudo específico sobre o desgaste superficial de pedras coradas já havia sido feito, com a finalidade de se determinar as curvas, optou-se por simular o desgaste de alguns minerais gemológicos em laboratório.

Para tal, utilizou-se o *tumbler* “a”, estabelecendo-se um sedimento composto por 20% de cascalho, 60% de areia e 20% de silte/argila (conforme resultados da análise de variação das classes granulométricas descritos no item 4.2.3). Além disto preencheu-se o *tumbler* com 40% de sua capacidade em massa com sedimentos e 60% da sua capacidade em volume com água, pois assim haveria espaço interno o suficiente para que a gema adquirisse o regime de “cascata”.

Os minerais-gemas definidas para este ensaio inicial foram a granada do tipo almandina, o topázio imperial, o crisoberilo, a ametista e a esmeralda. As amostras foram fornecidas pelo CEFET/MG, Departamento de Química, sendo que as de topázio imperial são provenientes da região de Ouro Preto e os crisoberilos de Marambaia, Minas Gerais as ametistas vieram do Rio Grande do Sul, as esmeraldas provenientes de Carnaíba, Bahia. As granadas, do tipo almandina, são do Rio Grande do Norte.

As amostras de minerais gemológicos foram colocadas junto com os sedimentos e a água no *tumbler* “a” e a cada 55min, o que corresponde à distância percorrida pela gema no *tumbler* “a” a 1.000m, as amostras foram retiradas e pesadas, retornando em seguida ao equipamento para uma nova “rodada”. Foram colocadas 5 (cinco) amostras de granada; 10 (dez) amostras de topázio; 10 (dez) amostras de crisoberilo; 5 (cinco) amostras de esmeralda e 2 (duas) amostras de ametista.

Quando as amostras foram retiradas para a pesagem, o desgaste de cada uma foi verificado na lupa binocular, e conforme o seu comportamento, as amostras eram retiradas como “testemunho” e rotuladas conforme o tempo de “rodagem” dentro do *tumbler*.

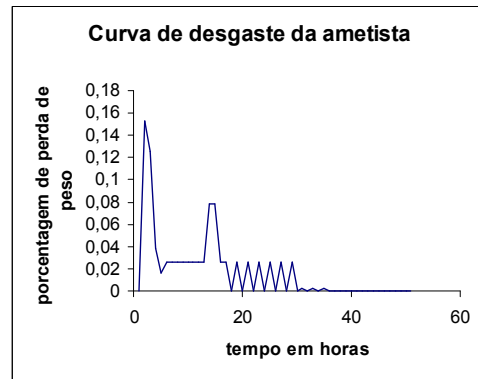
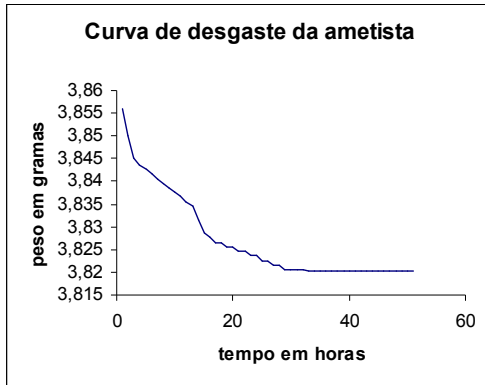
Em seguida, com base na Tab.4, foram confeccionados os gráficos de desgaste, sendo o primeiro, peso x tempo e, para maior visualização do processo de perda de peso do mineral, o segundo gráfico com a porcentagem de perda de peso x tempo (Figs. de 3 a 7).

Com todos os procedimentos realizados pode-se concluir que todas as amostras apresentaram o desgaste expresso em curvas bastante semelhantes quando se trata do gráfico peso x tempo, e ainda que as amostras, nas primeiras centenas de metros apresentam uma perda de peso maior tendendo em seguida a um equilíbrio, sendo que quanto maior a amostra, maior o desgaste inicial.

Dados Gerais	esmeralda	ametista	topázio	granada	crisoberilo
Peso inicial (g)	6,5954	3,8559	4,3875	7,6142	6,2291
Peso final (g)	6,4716	3,8203	4,3290	7,5694	6,2086
Distância percorrida em relação ao <i>tumbler</i> (m)	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000
Tempo de permanência no <i>tumbler</i> (h e min)	45:50	45:50	45:50	45:50	45:50
Porcentagem de perda de peso	1,88	0,92	1,34	0,59	0,33

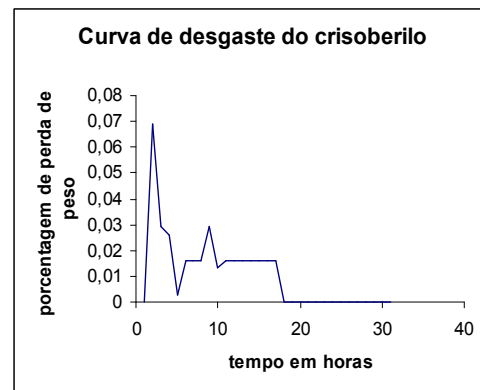
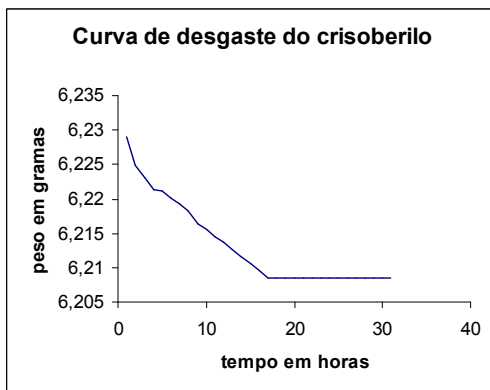
Tabela 4 - Dados referentes ao desgaste artificial dos minerais- gemas para a determinação das

curvas de desgaste.



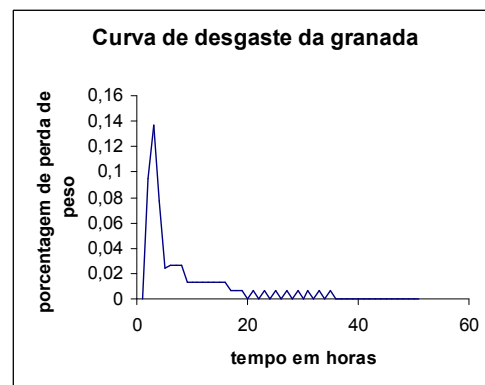
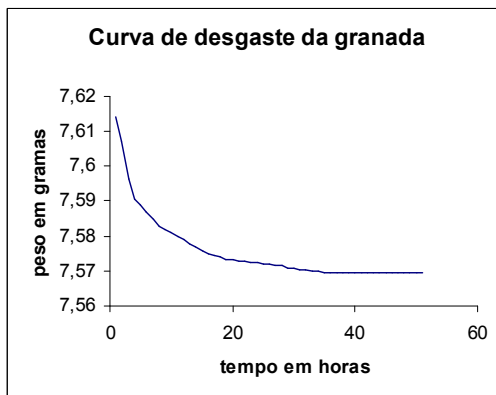
Perda de 0,92%

Figura 3 – Curva de desgaste artificial da ametista.



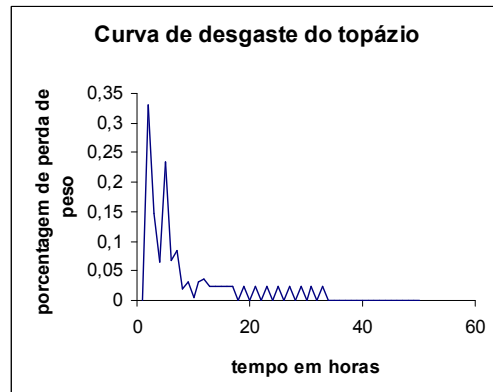
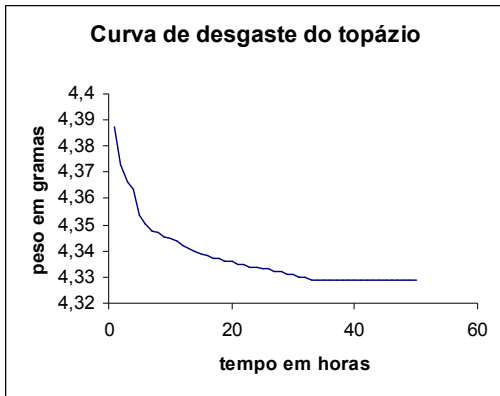
Perda de 0,33%

Figura 4 - Curva de desgaste artificial do crisoberilo.



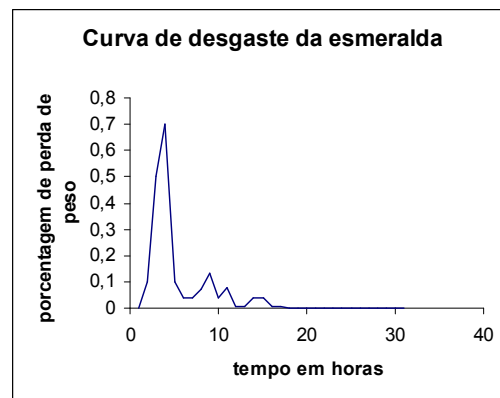
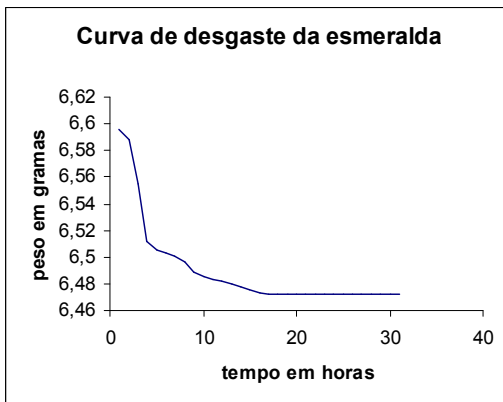
Perda de 0,59%

Figura 5 - Curva de desgaste artificial da granada, do tipo almandina.



Perda de 1,34%

Figura 6 - Curva de desgaste artificial do topázio.



Perda de 1,88%

Figura 7 - Curva de desgaste artificial da esmeralda.

## 4.2 - Estudo de variáveis

Com o objetivo de verificar a influência de variáveis mineralógicas e do sistema fluvial, foram executados vários testes em laboratório, analisando a influência da forma dos minerais, dos defeitos cristalográficos e da influência da variação das classes granulométricas. Os minerais usados nestes ensaios foram cedidos, obviamente pela dificuldade e preço de se adquirir amostras gemológicas de boa qualidade.

### 4.2.1 - Variável 1 - Coeficiente hidrodinâmico - Influência da forma

Segundo Sutherland (1982), os cristais de diamante de forma dodecaédrica são mais resistentes ao transporte, pois seu coeficiente hidrodinâmico, resultante do grande número de faces naturalmente arredondadas, é maior que os de forma cúbica ou octaédrica.

Baseado nas características hidrodinâmicas do diamante, foram desenvolvidos uma seqüência de ensaios utilizando, inicialmente, um monocristal de crisoberilo e um crisoberilo geminado, com a finalidade de se observar o comportamento das duas amostras de mineral-gema com número de faces claramente distintas.

Com a mesma composição de sedimentos estabelecidos anteriormente, ou seja, composto por 20% de cascalho, 60% de areia e 20% de argila/silte e além disto, preenchendo o *tumbler* com 40% de sua capacidade em massa com sedimentos e 60% da sua capacidade em volume com água, pois assim haveria espaço interno o suficiente para que o mineral-gema adquirisse o regime de “cascata”.

Colocou-se as duas amostras de crisoberilo, sendo um monocristal e outro geminado provenientes de Marambáia, MG, doados pelo CEFET/MG, no *tumbler* “a”, procedendo da mesma forma que no item anterior, ou seja, retirando as amostras em intervalos de tempo pré determinados, pesando-as e observando o seu desgaste na lupa binocular.

Ao término do experimento, foram elaboradas as tabelas de desgaste das duas amostras e em seguida os gráficos, comparando os desgastes. Foram gerados cinco gráficos sendo dois de peso x tempo e três de porcentagem de perda de peso x tempo, conforme demonstrado nas Figs. 8, 9 e 10.

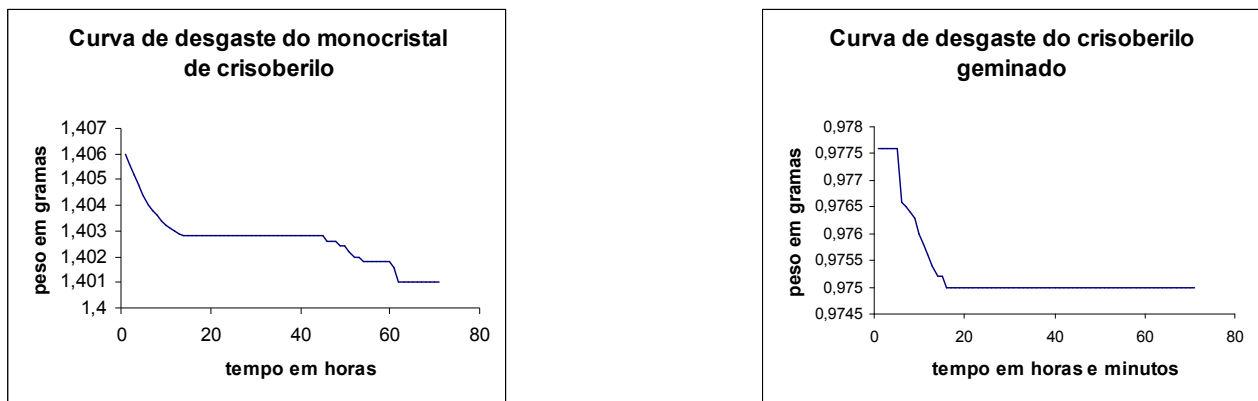


Figura 8 - Curva de desgaste artificial do crisoberilo monocristal e geminado peso x tempo.

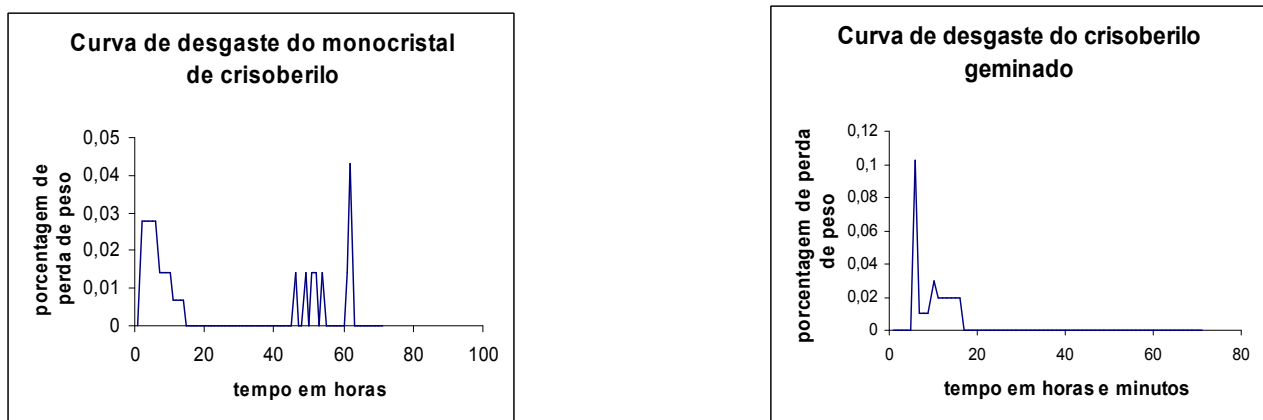


Figura 9 - Curva de desgaste artificial do crisoberilo monocristal e geminado porcentagem de perda de peso x tempo.

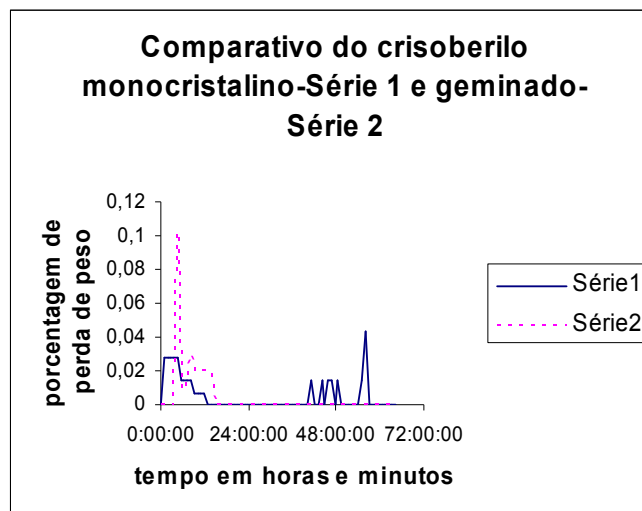


Figura 10 - Curva comparativa de desgaste artificial do crisoberilo monocristalino (série1) e geminado (série 2).

Nas Figs. 11a e 11b observa-se as amostras de crisoberilo monocristalino (1 e 3) e geminado (2 e 4) antes e depois do desgaste, respectivamente.

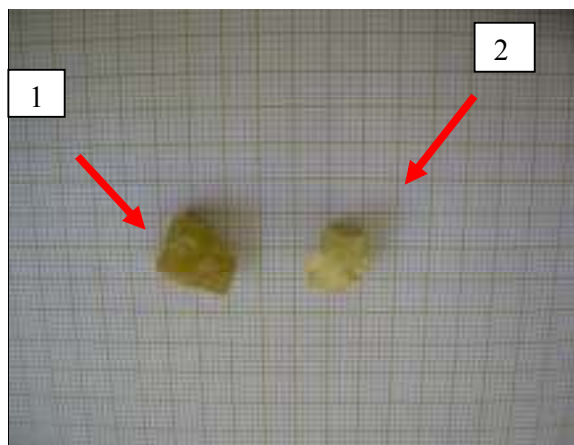


Figura 11a  
1- Monocristal de crisoberilo e  
2-crisoberilo geminado  
antes do desgaste  
(escala papel milimetrado).

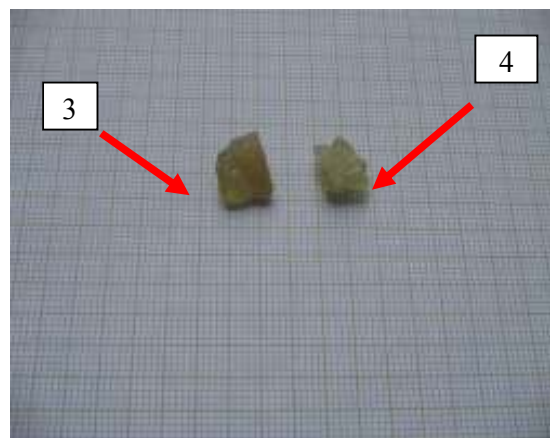


Figura 11b  
3- Monocristal de crisoberilo (0,39% de perda)  
4- crisoberilo geminado (0,28% de perda)  
depois do desgaste  
(escala papel milimetrado).

Com o referido teste foi possível verificar que após 64h10 de desgaste artificial, com um percurso da gema em relação ao *tumbler* de 70.000m, o monocristal de crisoberilo teve uma perda de 0,36% em relação ao seu peso inicial, enquanto o crisoberilo geminado perdeu 0,28% de seu peso.

Posteriormente este teste foi repetido com a utilização de outros minerais gemológicos nas mesmas condições hidrodinâmicas, para confirmação dos resultados.

Sendo assim, na segunda etapa, com exatamente os mesmos critérios usados com as amostras de crisoberilo, executou-se o teste com água marinha euédrica e anédrica, doadas pela Geóloga Nilza Quintão, provenientes de Brejaúba - Minas Gerais.

Após 64h10 de desgaste artificial, (Figs. 12a, 12b e 13), com um percurso correspondente a 70.000m no *tumbler*, a água marinha anédrica teve uma perda de peso de 43,61%, enquanto a água marinha euédrica perdeu 9,13%.

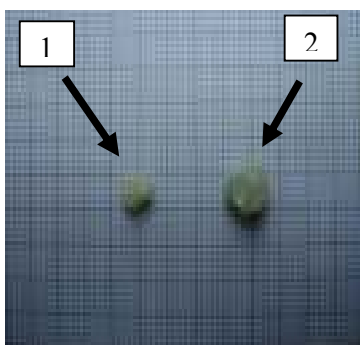


Figura 12a – Água marinha anédrica (1) e euédrica (2) antes do desgaste (escala papel milimetrado).

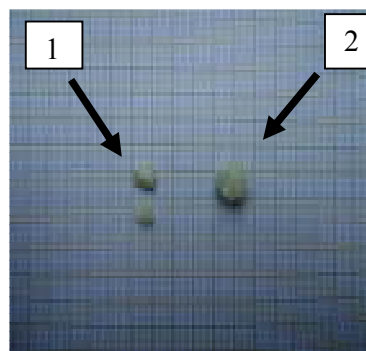


Figura 12b – Água marinha anédrica (1) e euédrica (2) depois do desgaste (escala papel milimetrado).

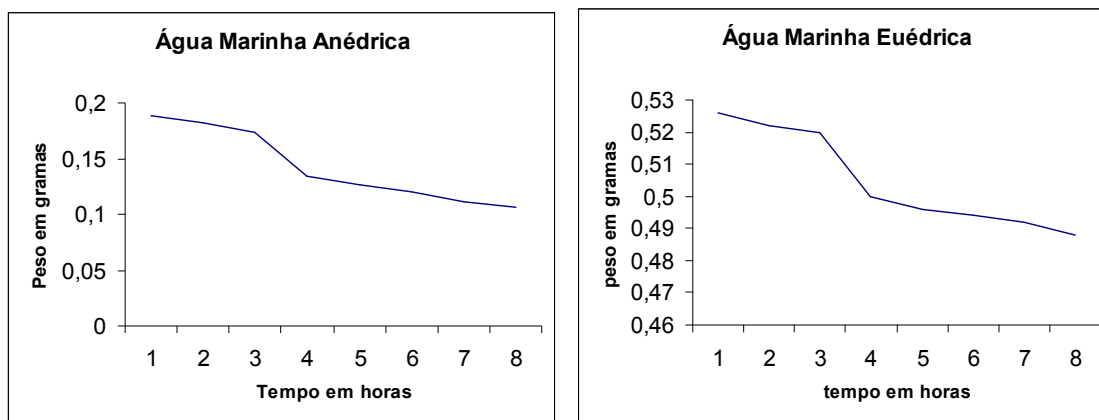


Figura 13 – Curvas de desgaste artificial da água marinha de Brejaúba anédrica (perde de peso de 43,61%) e euédrica (perde de peso de 9,13%).

Nas mesmas condições que nos dois casos anteriores, foi simulado o desgaste com amostras de granada, do tipo almandina, euédrica e anédrica (do Rio Grande do Norte), doadas pelo Prof. Dr. R. Wegner, do Centro Gemológico do Nordeste. Após 70.000m de desgaste observou-se que a granada euédrica perdeu 2,27 % de seu peso e a granada anédrica perdeu 24,19 % (Figs. 14a, 14b e 15).

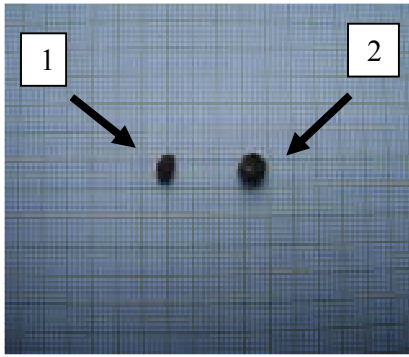


Figura 14a – Almandina anédrica (1) e euédrica (2) antes do desgaste (escala papel milimetrado).

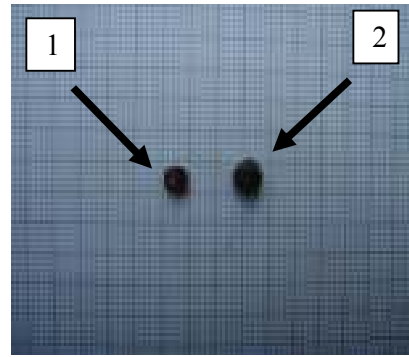


Figura 14b – Almandina anédrica (1) e euédrica (2) depois do desgaste (escala papel milimetrado).

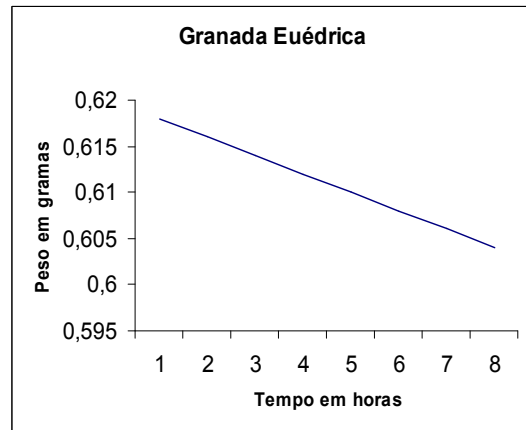
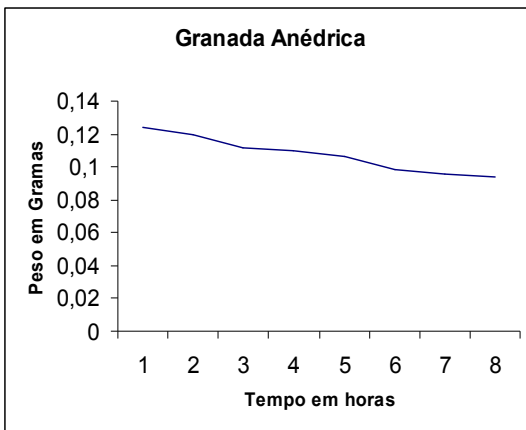


Figura 15 – Curva de desgaste artificial das granadas do R.N. anédrica (perda de peso de 24,19%) e euédrica (perda de peso de 2,27%).

Ainda nas mesmas condições que nos casos anteriores, simulou-se o desgaste com amostras de turmalinas do tipo schorlita, euédrica e anédrica da Paraíba, doadas pelo Prof. Dr. R. Wegner. Após 70.000m de desgaste observou-se que a turmalina euédrica perdeu 0,28 % de seu peso e a turmalina anédrica perdeu 0,38 % (Figs. 16a, 16b e 17).

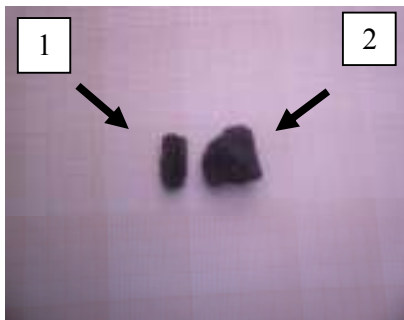


Figura 16a – Schorlita euédrica (1) e anédrica (2) antes do desgaste (escala papel milimetrado).

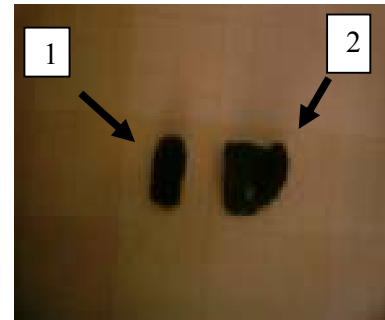


Figura 16b – Schorlita euédrica (1) e anédrica (2) depois do desgaste (escala papel milimetrado).

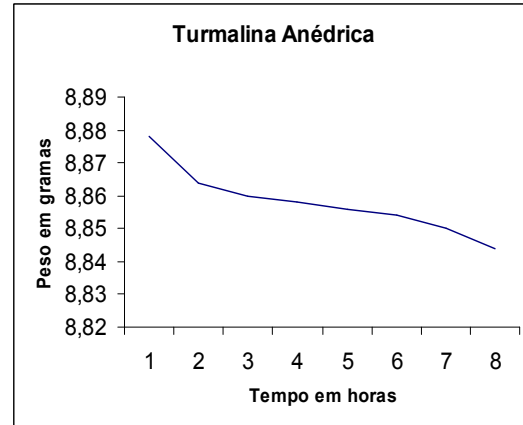
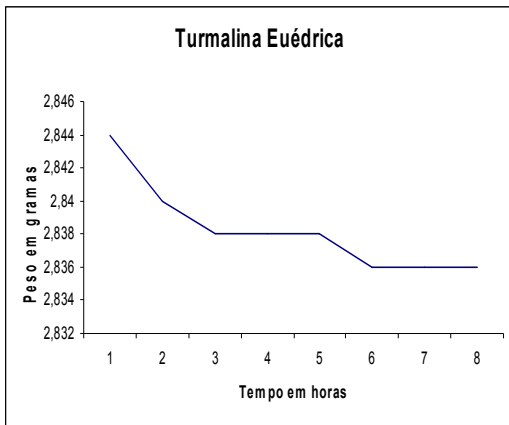


Figura 17 – Curva de desgaste artificial das turmalinas do tipo schorlita, euédrica (perda de peso de 0,28%) e anédrica (perda de peso de 0,38%).

Conclui-se que os minerais que apresentam um maior número de faces resistem mais ao desgaste fluvial que as amostras do mesmo mineral sem faces distintas, isto ocorrendo em função de um rolamento no sistema fluvial mais facilitado para as amostras sem faces distintas e, conseqüentemente, a um desgaste mais intenso (Tab.5).

Nome do mineral e procedência	Perda de Peso em %	Fator de perda de peso
Crisoberilo monocristal de Marambáia, Minas Gerais	0,39	1,4 x
Crisoberilo geminado de Marambáia, Minas Gerais	0,28	
Granada anédrica do Rio Grande do Norte	24,19	11 x
Granada euédrica do Rio Grande do Norte	2,27	
Água marinha anédrica de Brejaúba, Minas Gerais	43,61	5 x
Água marinha euédrica de Brejaúba, Minas Gerais	9,13	
Turmalina anédrica da Paraíba	0,38	1,3 x
Turmalina euédrica da Paraíba	0,28	

Tabela 5 - Dados comparativos dos ensaios de variável Coeficiente hidrodinâmico – Influência da forma

#### 4.2.2 - Variável 2 - Defeitos Cristalográficos

Para esta etapa foram escolhidas duas alexandritas (variedade gemológica de crisoberilo). A primeira de Carnaíba – Bahia, fornecida pelo Prof. Dr. R. Wegner, considerada como sendo de boa qualidade. A segunda amostra, procedente de Esmeralda de Ferros, formada em zonas de cisalhamento (Karfunkel & Wegner (1993), mostrada nas Figs. 18 e 19, fazendo com que ela fique enfraquecida cristalograficamente. Apesar da produção de diversos kg/mês, o estado quebradiço do mineral-gema permitiu a lapidação de pedras de apenas 0,05ct.

Em 2007 retornou-se ao local onde foram realizadas várias “lavagens” não se encontrando nenhuma amostra do mineral ao longo do sistema fluvial. A amostra cedida da área fonte deve-se à Colorgems LTDA, Belo Horizonte.



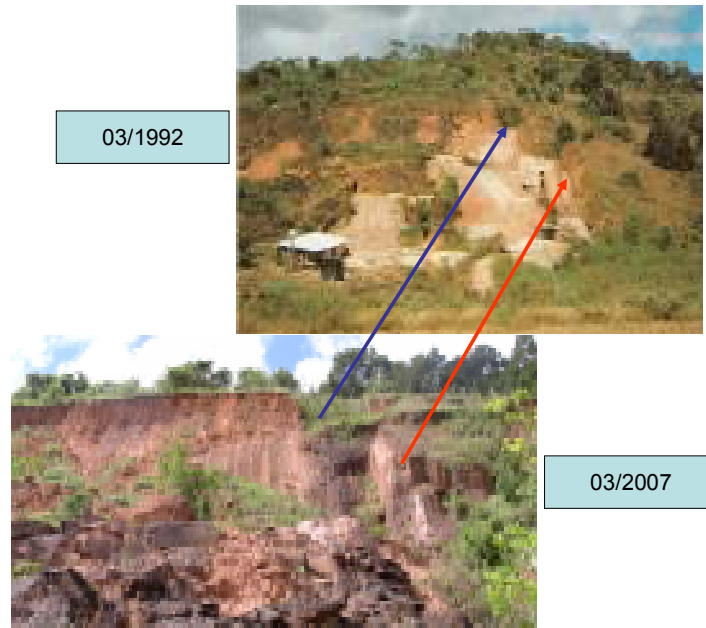


Figura 18 - Comparação da Lavra de alexandrita, em Esmeralda de Ferros, em 1992, quando trabalhada pela Colorgems LTDA e em 2007, quando foram realizados os processos de prospecção da alexandrita no sistema fluvial.



Figura 19 - Detalhe da zona de cisalhamento onde foi formada a alexandrita de Esmeralda de Ferros.

Objetivando a comparação do desgaste fluvial de alexandrita bem cristalizada (Carnaíba) com amostra do mesmo mineral comprometido cristalograficamente (Esmeralda de Ferros) procedeu-se da seguinte forma: no *tumbler* “a”, nas mesmas condições anteriores de composição e quantidade de sedimento e de água (20% de cascalho, 60% de areia e 20% de argila/silte e preenchendo o *tumbler* com 40% de sua capacidade em massa com sedimentos e 60% da sua capacidade em volume com água) foram colocadas as duas amostras no referido equipamento.

Em seguida procedeu-se ao desgaste artificial, retirando duas amostras a cada 1.000m em relação ao percurso do mineral-gema no *tumbler*, pesando as amostras e verificando os desgastes na lupa binocular, elaborando no final do processo, as tabelas e as curvas de desgaste para ambas as amostras.

A amostra de Esmeralda de Ferros, ao longo de 64h10 de desgaste artificial ou 70.000m em relação ao percurso do mineral-gema no *tumbler*, se fragmentando por cinco vezes, perdendo ao final do processo 49,0% de seu peso, enquanto a alexandrita de Carnaíba perdeu apenas 3,70% de seu peso no mesmo intervalo de tempo e mesma distância percorrida pelo *tumbler* (Figs. 20a e 20b).

Concluindo, a alexandrita comprometida cristalograficamente (Esmeralda de Ferros) perde muito mais peso no processo que a alexandrita bem cristalizada (Carnaíba).

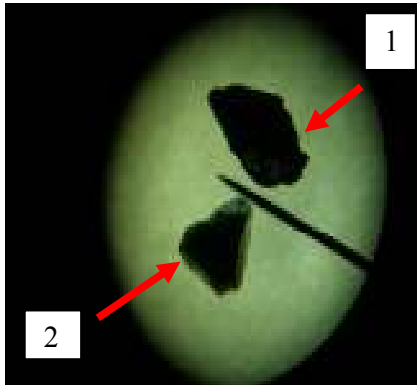


Figura 20a  
Alexandrita de Esmeralda de Ferros (1)  
e de Carnaíba (2) antes do desgaste.  
(aumento de 20 x).

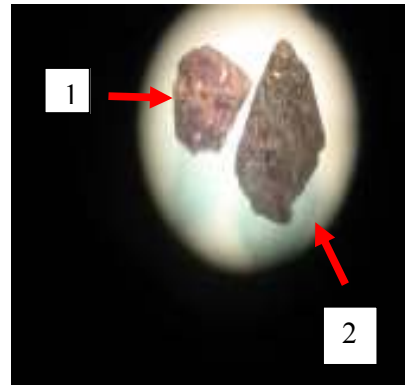


Figura 20b  
Alexandrita de esmeralda de Ferros (1)  
e de Carnaíba (2) depois do desgaste  
(aumento de 20x).

Em seguida são mostrados os gráficos (Figs. 21, 22 e 23) comparativos do desgaste das duas alexandritas, com as curvas de perda de peso x tempo e porcentagem de perda de peso por tempo.

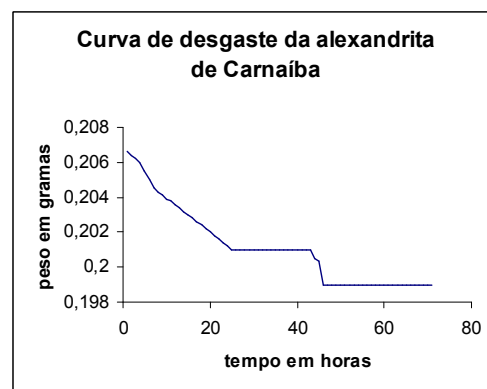
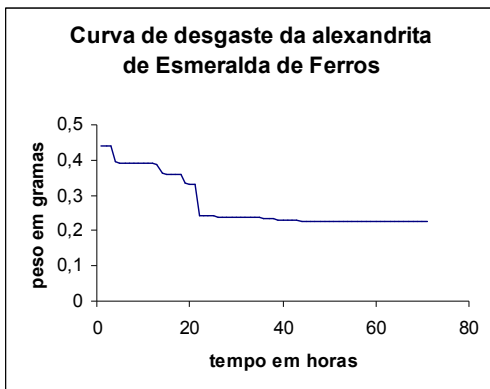


Figura 21 – Curvas de desgaste das alexandritas provenientes de Esmeralda de Ferros e Carnaíba.

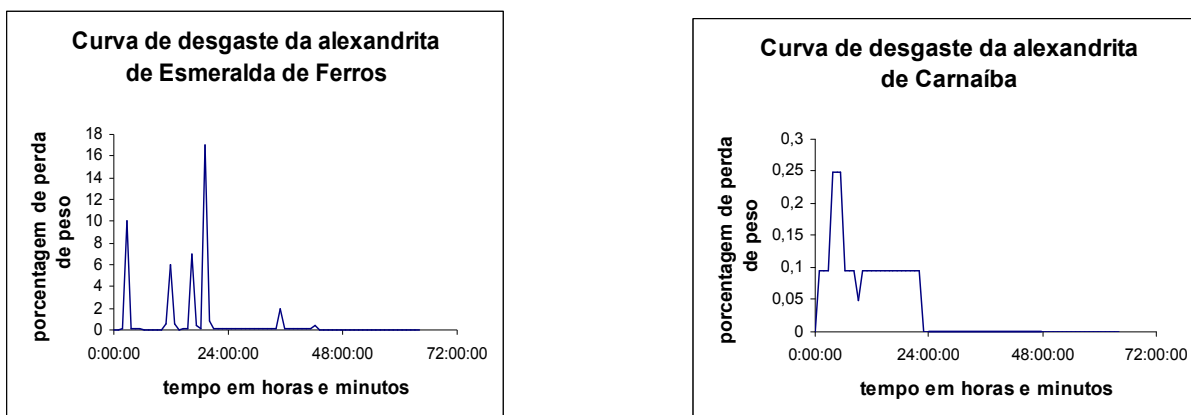


Figura 22 – Curvas de desgaste das alexandritas de Esmeralda de Ferros e Carnaíba.

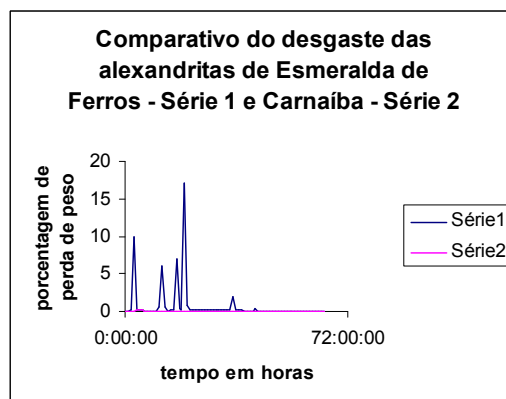


Figura 23 – Comparativo do desgaste das alexandritas de Esmeralda de Ferros (série 1) e Carnaíba (série 2)

Com a finalidade de confirmou-se tal conclusão sobre o desgaste de minerais gemológicos com defeitos cristalográficos, foram realizados mais três testes, exatamente nas mesmas condições que o com as alexandritas.

O segundo teste foi feito com amostras de granada, do tipo almandina alterada de Esmeralda de Ferros, coletada no próprio local e do Rio Grande do Norte, doada pelo Prof. Dr. R. Wegner, sem impurezas gemológicas, observando que a amostra de granada de Esmeralda de Ferros, perdeu 21,45 %, enquanto a amostra de granada, do tipo almandina do Rio Grande do Norte, perdeu 1,10 %, com uma relação de perda de 20 vezes (Figs. 24a, 24b, e 25).

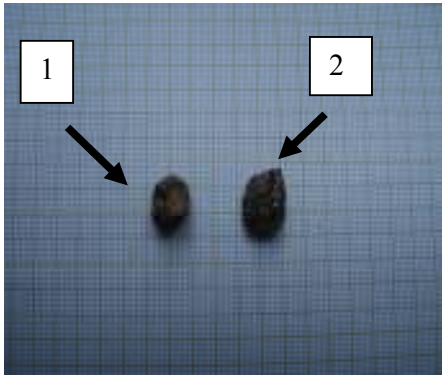


Figura 24 a - Granada de Esmeralda de Ferros (1) e do RN (2) antes do desgaste (escala papel milimetrado).

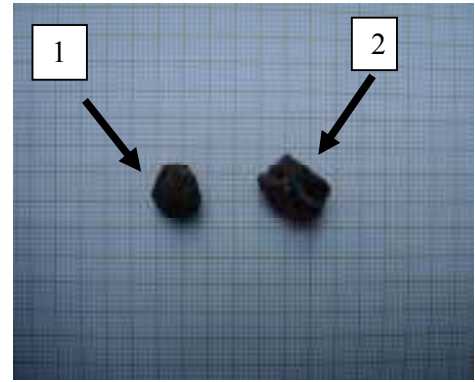


Figura 24b - Granada de Esmeralda de Ferros (1) e do RN (2) depois do desgaste (escala papel milimetrado).

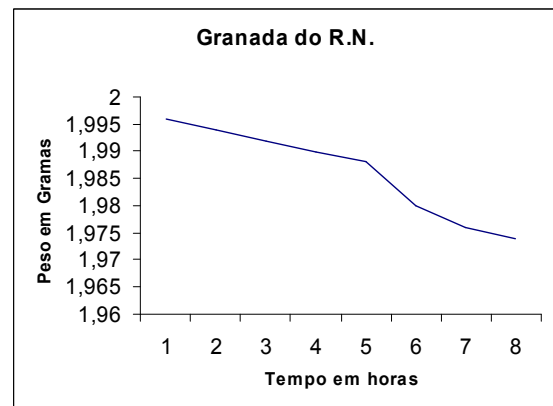
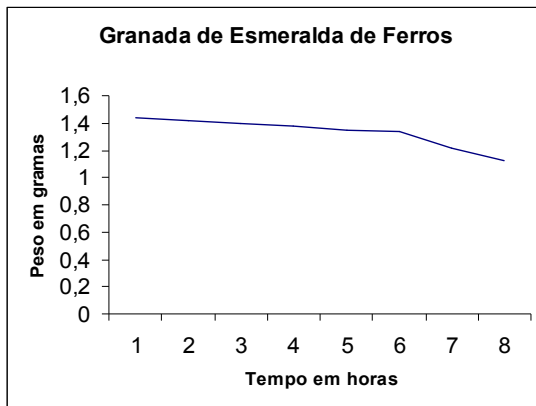


Figura 25 – Curva de desgaste artificial da granada de Esmeralda de Ferros (perda de peso de 21,45%) e da granada do RN (perda de peso de 1,10%).

No terceiro teste usou-se ametista e citrino (variedades gemológicas de quartzo) obtido pelo tratamento térmico da ametista procedente do Rio Grande do Sul, doadas pelo Prof. Dr. R. Wegner, sendo o citrino comprometido cristalográficamente, em função do tratamento térmico. Ao término das 64h10 de desgaste artificial, o citrino teve uma perda de peso de 7,27%, enquanto a ametista perdeu 0,6% de seu peso (Figs. 26a, 26b e 27).

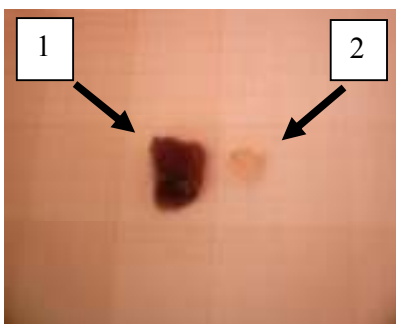


Figura 26a – Ametista (1) e citrino (2) antes do desgaste (escala papel milimetrado).

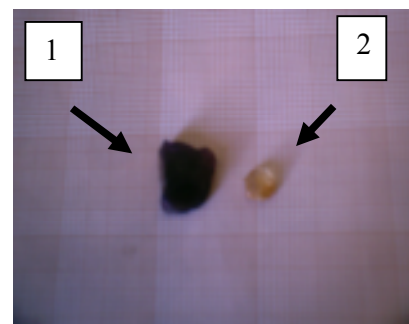


Figura 26b – Ametista (1) e citrino (2) depois do desgaste (escala papel milimetrado).

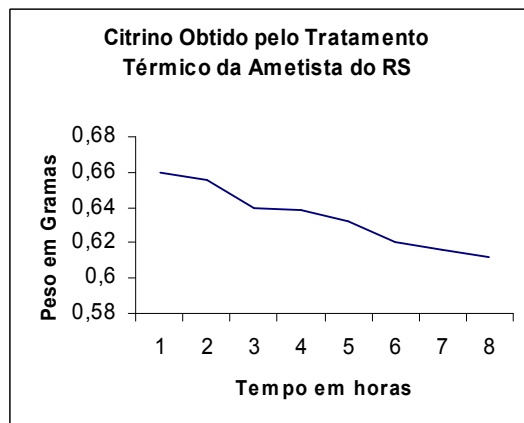
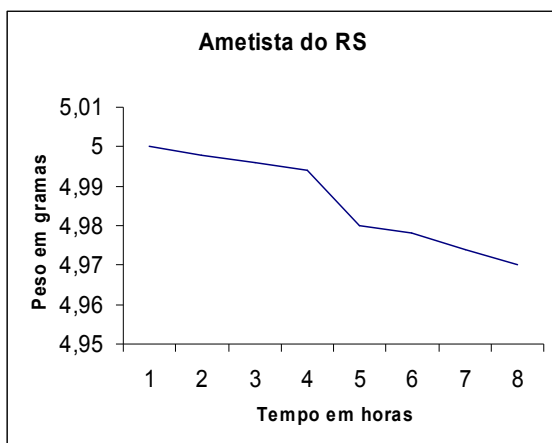


Figura 27 – Curva de desgaste artificial da ametista do RS (perda de peso de 0,6%) e do citrino obtido pelo tratamento térmico da ametista do RS (perda de peso de 7,27%).

No último teste usou-se amostras de estaurolita (Figs 28a, 28b e 29), sendo a primeira de Governador Valadares, coletada na própria região, com impurezas gemológicas e a segunda de Araçuaí, cedida pelo CEFET/MG, com cristalização perfeita e pura gemologicamente. Ao final do teste a estaurolita de Governador Valadares teve uma perda de peso de 0,98% e a de Araçuaí, perdeu 0,62 % de seu peso.



Figura 28a - Estaurolita de Governador Valadares (1) e de Araçuaí (2) antes do desgaste (escala papel milimetrado).



Figura 28b - Estaurolita de Governador(1) Valadares e de Araçuaí (2) depois do desgaste (escala papel milimetrado).

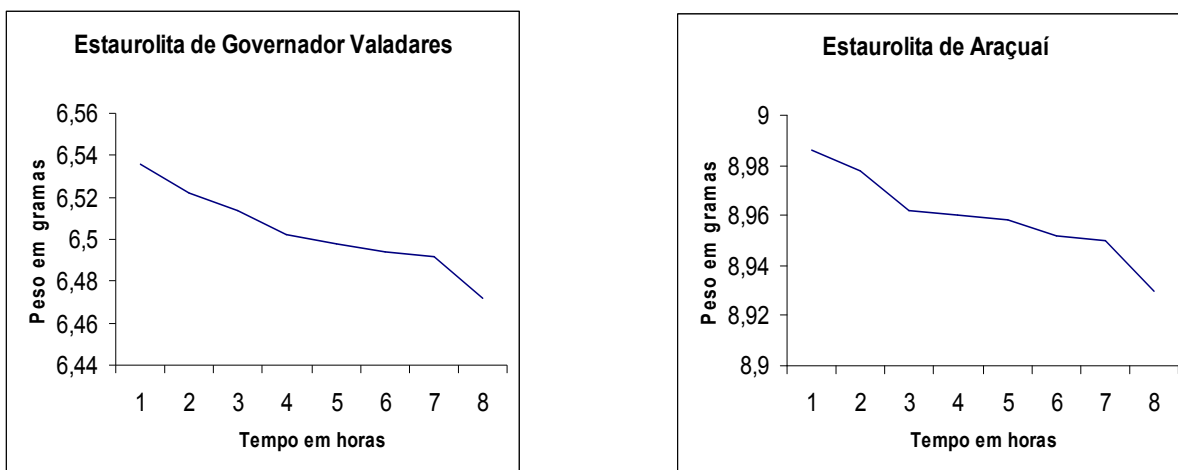


Figura 29 – Curva de desgaste artificial das Estaurolitas de Governador Valadares (perda de 0,98%) e de Araçuaí (0,62%)

Conclui-se assim, que os minerais gemológicos com defeitos cristalográficos tem menor resistência ao desgaste que os bem cristalizadas, ocorrendo no sistema fluvial uma seleção gemológica, sendo que os minerais com impurezas gemológicas se fraturam várias vezes ao longo do sistema fluvial, diminuindo o seu tamanho em função da distância percorrida, enquanto as gemas gemo logicamente puras resistem a distâncias maiores (Tab. 6).

Nome do mineral e procedência	Perda de Peso em %	Fator de perda de peso
Alexandrita de Esmeralda de Ferros, Minas Gerais	49,0	14 x
Alexandrita de Carnaíba, Bahia	3,70	
Granada de Esmeralda de Ferros, Minas Gerais	21,45	20 x
Granada (almandina) do Rio Grande do Norte	1,10	
Citrino tratado termicamente, Rio Grande do Sul	7,27	12 x
Ametista do Rio Grande do Sul	0,6	
Estaurolita de Governador Valadares, Minas Gerais	0,98	1,6 x
Estaurolita de Araçuaí, Minas Gerais	0,62	

Tabela 6 – Dados comparativos dos ensaios da variável defeitos cristalográficos.

### 4.2.3 - Variável 3 - variação das classes granulométricas

Com o objetivo precípua de estudar o máximo de variáveis possíveis, decidiu-se realizar uma série de testes onde houvesse uma variação das classes granulométricas, para verificar a modificação do desgaste das gemas, sob condições diferentes. Para tal foi utilizado o conjunto de *tumbler* “b”, permanecendo com a proporção de 40% de sedimentos e 60% de água, padronizando o tempo de desgaste em 20h correspondente a 20.000m em relação ao percurso do mineral-gema no *tumbler*.

Foram escolhidas os seguintes minerais-gemas a serem estudadas: ametista e citrino do Rio Grande do Sul, topázio imperial da região de Ouro Preto, Minas Gerais, crisoberilo de Marambaia, Minas Gerais e granada, do tipo almandina, do Rio Grande do Norte, usando proporções diferentes de cascalho, areia e argila/silte. Em cada etapa os dados foram expressos em uma tabela e foram construídos os gráficos de desgaste peso x tempo e em porcentagem de perda de peso x tempo.

Foi possível concluirmos com referido teste que os minerais gemológicos se comportam de forma diferente em relação ao seu desgaste, em função da variação das classes granulométricas. Assim, a granada, do tipo almandina, se desgastou mais em uma proporção de 100% de areia (1,64%), provavelmente em função de seu peso específico ( $d = 4,2$ ) mais elevado que o dos outros minerais gemológicos analisadas. Já a ametista (1,34%) e o citrino (3,03%) com  $d = 2,65$ , o topázio (1,13%) tendo  $d = 3,4$  e o crisoberilo (0,33%) com  $d = 3,7$  se desgastaram mais em uma proporção de 20% de cascalho, 60% de areia e 20% de argila/silte (Tab.7 caracterizado em *itálico*).

Deve-se levar em consideração que o citrino foi obtido pelo tratamento térmico da ametista, e portanto, apresenta defeitos cristalográficos, sendo que o citrino e a ametista sofreram um desgaste considerável na proporção de 100% de argila/silte (o dobro em ambas as gemas/minerais, em relação à 100% de areia). É provável que isto ocorra em função da obtenção de um meio extremamente denso, além de bastante viscoso, obtido na proporção de apenas argila/silte (comparando-se com o meio com 100% de areia, que é um meio bem menos denso e menos viscoso), gerando assim uma pouca mobilidade destes minerais-gemas no meio e, conseqüentemente, um desgaste maior no meio composto exclusivamente por argila/silte, bem maior que na proporção de 100% de areia (Tab.7 caracterizado em *itálico sublinhado*).

Para maior simplicidade está demonstrado na Tab.7 a porcentagem de perda de peso para cada mineral gemológico, em cada classe granulométrica estudada.

Sedimento/Mineral	Ametista	Citrino	Topázio	Granada	Crisoberilo
100% Argila/silte	0,10%	0,19%	0,15%	0,38%	0,11%
100% Areia	0,05%	0,08%	0,18%	<u>1,64%</u>	0,15%
80% Argila/silte e 20% Areia	0,32%	1,95%	0,78%	0,39%	0,21%
80% Areia e 20% Argila/silte	0,12%	0,12%	0,32%	0,22%	0,15%
60% Argila/silte e 40% Areia	0,14%	0,75%	0,38%	0,31%	0,22%
60% Areia e 40% Argila/silte	0,56%	0,33%	0,94%	0,35%	0,24%
50% Argila/silte e 50% Areia	0,21%	0,46%	0,67%	0,32%	0,12%
90% Cascalho, 5% Areia e 5% Argila/silte	0,37%	0,72%	0,64%	0,43%	0,14%
80% Cascalho, 10% Areia e 10% Argila/silte	0,34%	0,20%	0,64%	0,43%	0,20%
70% Cascalho, 20% Areia e 10% Argila/silte	0,28%	0,11%	0,26%	0,53%	0,15%
60% Cascalho 20% Areia 20% Argila/silte	0,22%	0,70%	0,46%	0,37%	0,29%
50% Cascalho 30% Areia 20% Argila/silte	0,27%	0,16%	0,44%	0,33%	0,23%
40% Cascalho 40% Areia 20% Argila/silte	0,25%	0,17%	0,17%	0,28%	0,15%
30% Cascalho 50% Areia 20% Argila/silte	0,10%	0,01%	0,07%	1,17%	0,18%
20% Cascalho 60% Areia 20% Argila/silte	<u>1,34%</u>	<u>3,03%</u>	<u>1,13%</u>	0,62%	<u>0,33%</u>
10% cascalho 80% Areia 10% Argila/silte	0,07%	0,07%	0,33%	0,35%	0,21%

Tabela 7 - Perda de peso conforme a variação de sedimentos.



## 5 - ESTUDOS DE CASOS

Um dos principais problemas enfrentados, até o momento, consiste em se saber, de forma exata ou mesmo aproximada, qual a proporção entre a distância percorrida pelo mineral-gema em relação ao *tumbler* e a distância real por ela percorrida no sistema fluvial, sendo necessário desenvolver algum experimento que indicasse essa relação entre as distâncias. Para isto seria importante encontrar uma amostra na área fonte e no sistema fluvial correspondente, a uma distância pré determinada de sua fonte.

### 5.1 - Ametista de Brejaúba objetivando a aferição do *tumbler*

Em função da ausência da referida proporção, os dados obtidos, até o momento, estavam sendo expressos em número de horas que o mineral gemológico “rodou” no *tumbler* ou em distância percorrida pelo mesmo em relação ao equipamento.

Objetivando a coleta de amostras de berilos (ver item 5.3.1, Fig. 45) desde a área fonte, localizada às margens do Córrego da Posse e no Ribeirão Brejaúba, até a confluência com o Rio do Peixe, situados entre os Municípios de Conceição do Mato Dentro e São Sebastião do Rio Preto encontrou-se uma fonte com ocorrência de ametista, no Ribeirão Brejaúba, a 2.500m da área fonte dos berilos (Lavra da Posse).

Em seguida a 3.000m da lavra da Posse e a 500m da ocorrência de ametista da sua área fonte, foram lavados 90l de material encontrando entre as amostras de água marinha, ametistas com desgaste razoável.

No laboratório, a partir da análise granulométrica dos sedimentos coletados no sistema fluvial, próximo a área fonte de ametista, verificou-se uma porcentagem de 64% de areia (fina, média e grossa em porcentagens aproximadamente iguais), 32% de cascalho e 4% de argila/silte.

De posse dos resultados da análise granulométrica, foi reproduzida a mesma porcentagem, com o próprio sedimento obtido no local, que foi colocado no *tumbler*, juntamente com água, na proporção 40% e 60%, respectivamente. Acrescentou-se 10 amostras de ametista, coletadas na área fonte, procedendo em seguida ao desgaste em laboratório, por 5.000m em relação ao *tumbler*. A cada 1.000m retirou-se 02 amostras que foram pesadas, rotuladas e guardadas.

Ao final do processo as amostras desgastadas no *tumbler* (de 1.000m, 2.000m, 3.000m, 4.000m e 5.000m) foram comparadas, com as amostras de ametista coletadas no sistema fluvial de 500m.

Após a comparação verificou-se que o desgaste das amostras do *tumbler* de 5.000m foram idênticas ao desgaste das amostras de ametista coletadas no sistema fluvial de 500m.

Conclui-se que, as amostras de 5.000m do *tumbler* e as amostras de 500m do sistema fluvial de Brejaúba, apresentam o mesmo desgaste, e assim, a cada 1.000m que o mineral-gema percorre no *tumbler* são correspondentes a 100m no sistema fluvial, mostrando uma proporção de 10% dos testes em laboratório em relação ao campo.

Para a confirmação do resultado com outros minerais gemológicos, nas mesmas condições criadas em laboratório, o mesmo ensaio foi executado com amostras de água marinha de Tatu (item 5.2) e com amostras de topázio imperial de Cachoeira do Campo (item 5.4), chegando-se à mesma proporção, ou seja, a cada 1.000m percorridos pelo mineral-gema no *tumbler*, correspondendo a 100m do sistema fluvial.

Desta forma foi possível aferir o *tumbler* através das amostras coletadas no campo, sendo que os resultados da aferição do equipamento com as amostras de ametista de Brejaúba estão expressos na Tab. 8.

Mineral: Ametista de Brejaúba para aferição do *Tumbler*  
 Composição dos Sedimentos:  
 32% de cascalho; 64% de areia e 4% de argila/silte

Tempo em h/min	Distância em m	Peso em g	Perda de Peso em g	Perda de Peso em %	Observações
0	0	24,3584	0	0	Comparação das amostras do <i>tumbler</i> com a amostra do sistema fluvial de 500m na lupa binocular
00:55	1000	24,3124	0,0460	0,19	
01:50	2000	24,2989	0,0135	0,056	
02:45	3000	24,2882	0,0107	0,05	
03:40	4000	24,2871	0,0011	0,005	
04:35	5000	24,2831	0,0040	0,02	

TABELA 8 - Desgaste artificial da ametista de Brejaúba (perda de peso: 0,32%).

Em seguida mostramos a comparação do desgaste das amostras de ametista no *tumbler* e no sistema fluvial (Figs. 30 a 33).



Figura 30 - Ametista da área fonte (escala papel milimetrado).



Figura 31 - Ametista do sistema fluvial a 500m da área fonte (escala papel milimetrado).



Figura 32 - Ametista desgastada no *tumbler* a 5.000m (escala papel milimetrado).



Figura 33 – Ametista do sistema fluvial (1) a 500m da área fonte e ametista desgastada no *tumbler* (2) a 5.000m (escala papel milimetrado).

As amostras desgastadas no *tumbler*, em distâncias correspondentes ao sistema fluvial de 100m a 500m, com intervalos de 100 em 100m foram fotografadas no microscópio óptico, com um aumento de 50 vezes (Figs. 34 a, b, c, d, e, f).

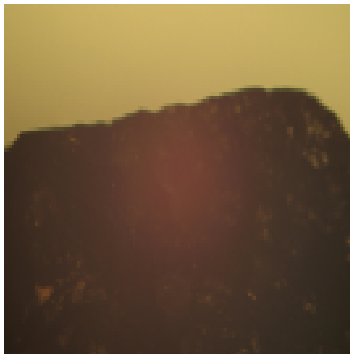


Figura 34a- Ametista a 100m obtida no *tumbler* (aumento de 50x).

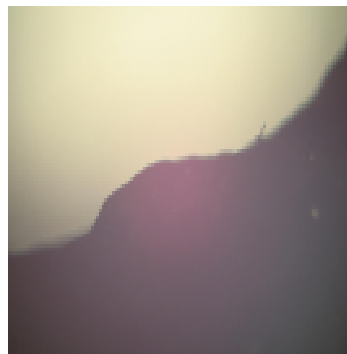


Figura 34b- Ametista a 200m obtida no *tumbler* (aumento de 50x).

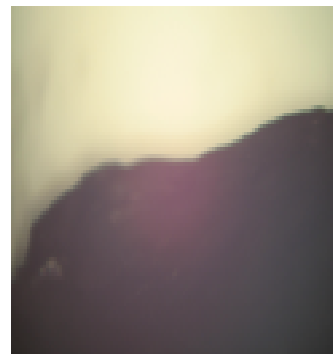
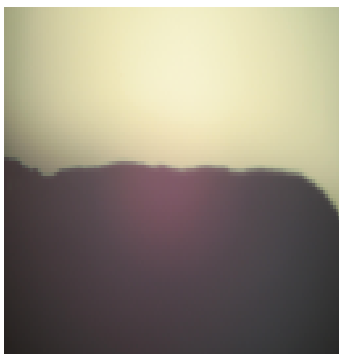


Figura 34c- Ametista a 300m obtida no *tumbler* (aumento de 50 x).



Figur34d- Ametista a 400m obtida no *tumbler* (aumento de 50x).

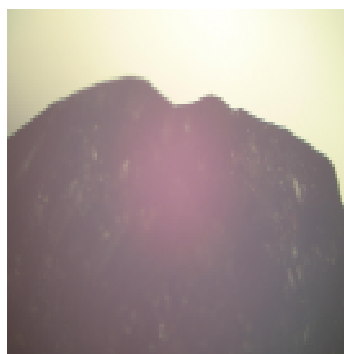


Figura 34e - Ametista a 500m obtida no *tumbler* (aumento de 50x).

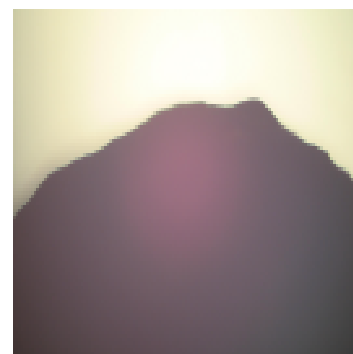


Figura 34f- Ametista a 500m coletada no sistema fluvial (aumento de 50x).

## 5.2 - Água marinha: Tatu

O segundo estudo de caso ocorreu com a coleta de amostras de água marinha da área fonte na Lavra do Tatu e ao longo do Ribeirão dos Gomes que apresenta uma extensão de 800m da área fonte até a sua confluência com o Rio Tanque.

### 5.2.1 - Localização

A lavra do Tatu localiza-se na porção sul da Província Pegmatítica Oriental do Brasil, em Minas Gerais e está inserida na folha Ipatinga 1:100.000 (SE-23Z-D-II, MI-2537) do IBGE (1980).

O acesso à área se dá, saindo de Belo Horizonte pela BR – 381, em direção a cidade de Itabira, com destino à Santa Maria do Itabira. Logo a N de Santa Maria do Itabira percorre-se 7km, localizando à direita um restaurante – posto. Percorre-se em estrada de terra para o Município de Itauninha, descendo o morro, de 1 a 2km em direção a Ferros. Antes do final da descida, vira-se à direita, entrando para o lugarejo chamado Tatu. Depois de percorrer de 16,5km chega-se a Lajedo e, conseqüentemente, à Lavra do Tatu ( Fig. 35).

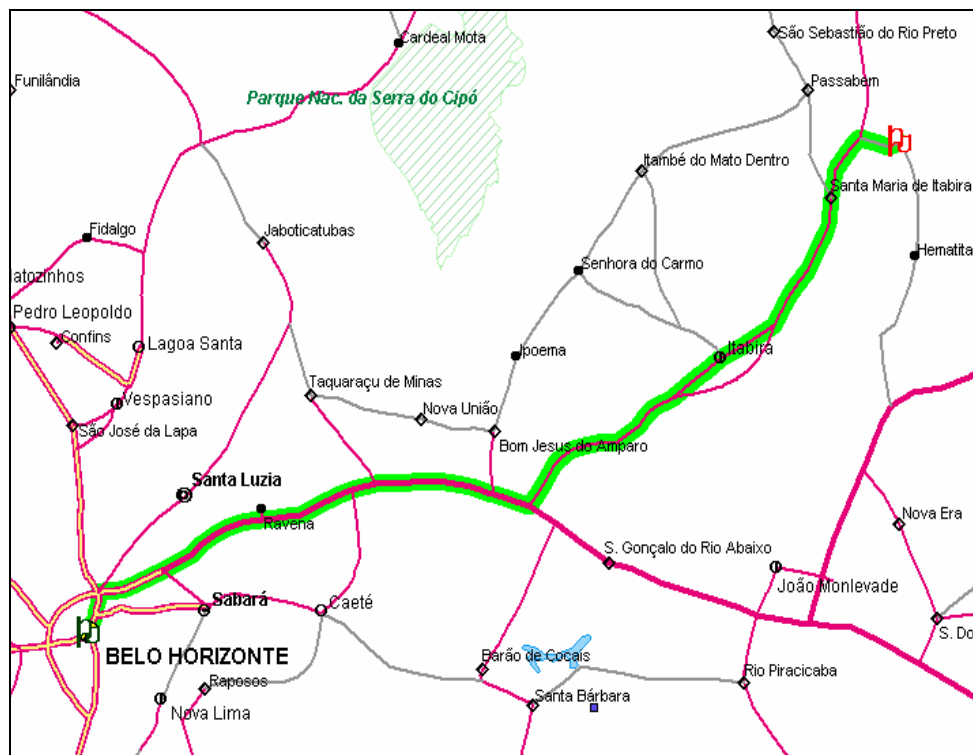


Figura 35- Localização da Lavra do Tatu, Município de Itauninha.

## 5.2.2 - Geologia local

De acordo com Martins (2001), as rochas mais antigas de Itauninha são gnaisses ortoderivados denominados por Suíte Guanhães constituindo o embasamento das seqüências supracrustais proterozóicas. Os Granitos Borrachudos afloram sob a forma de vários corpos na porção central do estado de Minas Gerais, a nordeste do Quadrilátero Ferrífero, na borda do Cráton São Francisco.

No contexto da Lavra do Tatu, a rocha encaixante (gnaisse), apresenta grãos pequenos e uma coloração acinzentada. A rocha exhibe uma distribuição de bolsas félsicas com espaçamento centimétrico, compostas principalmente por feldspato e quartzo. Localmente enclaves de biotita estão concordantes com o bandejamento da encaixante. As dimensões máximas ficam em torno de quinze centímetros de espessura e três a quatro metros de comprimento (Martins 2001).

De acordo com esse autor, os pegmatitos da Lavra do Tatu são homogêneos, com dimensões variando de trinta centímetros de espessura a dois ou três metros de comprimento. Ocorrem tanto concordantemente como discordantemente ao bandejamento da encaixante. Observam-se apófises descontínuas e sem relação com o bandejamento da encaixante. A mineralogia é constituída por albita, feldspato alcalino, quartzo, moscovita, fluorita, titanita, pirita, granada e como acessório principal o berilo (Martins 2001).

## 5.2.3 - Análise Mineralógica

Os valores de peso específico para cinco amostras selecionadas (Martins 2001) apresentam uma variação de 2,71 a 2,75. Para o índice de refração ordinário observou-se uma variação de 1,580 a 1,588 e para o extraordinário uma variação de 1,572 a 1,588, com a birrefringência compreendida entre 0,007 a 0,008. As amostras por ele analisadas eram de cor azul claro fraco, azul intermediário, azul forte e verde claro. Foi caracterizado um crescimento nos índices de refração para a água marinha de cor azul forte. A intensificação da cor azul nas águas marinhas de Tatu, sugere estar relacionada diretamente com o aumento de ferro e diminuição de alumínio.

Ainda de acordo com Martins (2001), a quantidade dos teores de Na, K e Li, permitiu caracterizar os berilos de Tatu como pobres nesses elementos. Em função disso os berilos estudados por ele foram classificados como do tipo sem álcalis.

## 5.2.4 - Procedimentos de campo

O estudo de caso de Tatu mostrou-se ideal para o desenvolvimento do projeto, já que da área fonte brota uma mina de água que deságua no Ribeirão dos Gomes (Fig. 36). O Ribeirão tem uma extensão de 800m desde a sua fonte até o ponto em que não existe contaminação de outra área fonte.



Figura 36 – Vista geral do Ribeirão dos Gomes  
Município de Itauninha.

Foram lavados, no sistema fluvial três pontos distantes da área fonte. O primeiro à 200m, onde foram lavados 30l, o suficiente para encontrarmos duas amostras de água marinha. No segundo ponto, à 400m, foram lavados 40l onde foram encontradas três amostras do mineral. No terceiro ponto, à 800m, foram lavados 50l, sendo encontradas três amostras do mineral.

Determinou-se as velocidades do Ribeirão dos Gomes em dois pontos distintos, um no movimento laminar, com 0,25 m/s e o outro no movimento turbulento onde a velocidade atingiu 0,29 m/s.

Os sedimentos próximos à área fonte foram coletados e levados ao laboratório para análise granulométrica. Os resultados demonstraram 17% de argila/silte; 28% de areia (fina, média e grossa em proporções semelhantes) e 55% de cascalho. Os sedimentos classificados granulometricamente foram utilizados nesta mesma proporção no *tumbler* “a” para o teste de desgaste artificial da água marinha de Tatu.

### 5.2.5 - Amostras de campo

Na Fig. 37 observa-se a seqüência de desgastes das amostras de água marinha do Ribeirão dos Gomes iniciando com amostras da área fonte (1), e a uma distância de 200m (2), 400m (3) e 800m (4) da fonte em questão.

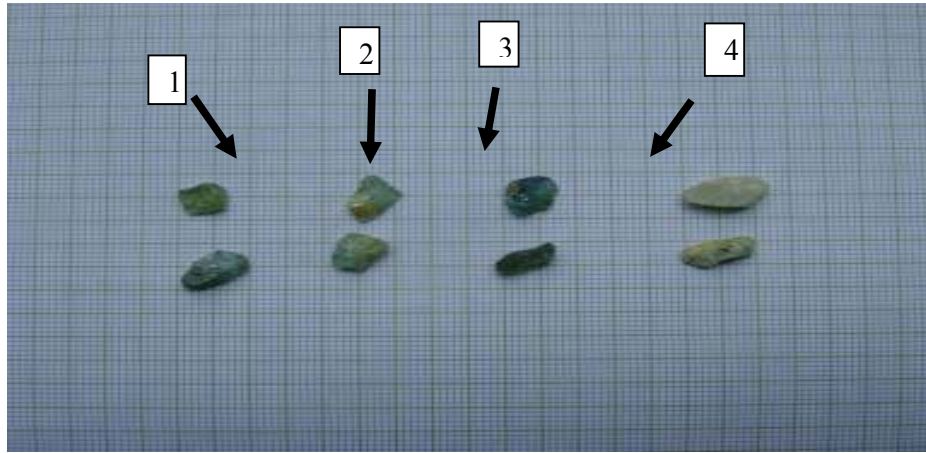


Figura 37 – Amostras da área fonte (1), 200m (2), 400m (3) e 800m (4) de Tatu (escala papel milimetrado).

Com um aumento de 20 vezes as mesmas amostras foram fotografadas na lupa binocular (Figs. de 38a a 38d).

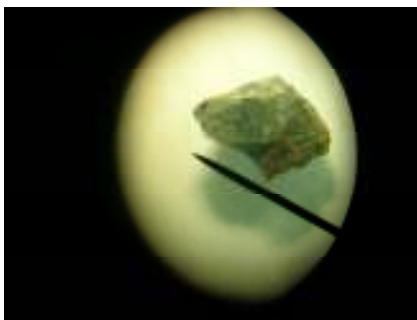


Figura 38a - Amostra da área fonte aumento de 20 x (área iluminada de 40mm).

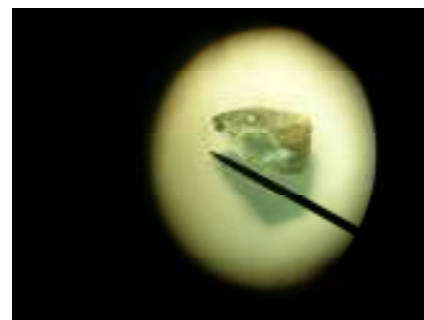


Figura 38b - Amostra a 200m aumento de 20 x (área iluminada de 40mm).



Figura 38c - Amostra a 400m aumento de 20x (área iluminada de 40mm).

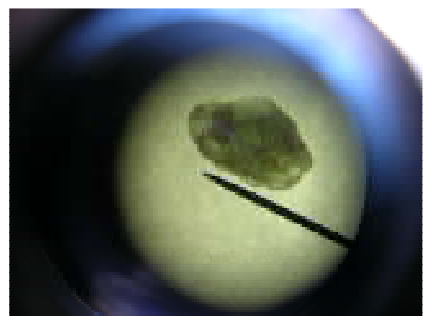


Figura 38d - Amostra a 800m aumento de 20 x (área iluminada de 40mm).

## 5.2.6 - Desgaste em laboratório

Vinte amostras obtidas na área fonte da Lavra do Tatu, foram levadas ao *tumbler* “a”, com os sedimentos do próprio local, com a mesma proporção granulométrica obtida em laboratório. Respeitou-se, como em todos os experimentos, a proporção de 40% de sedimentos e 60% de água.

Em seguida iniciou-se o processo de desgaste artificial, retirando-se a cada 55min ou a cada 1.000m em relação à distância percorrida pelo mineral-gema no *tumbler*, as amostras, que foram pesadas. Após esta etapa, cada amostra foi levada à lupa binocular juntamente com as amostras obtidas no sistema fluvial. Depois duas amostras foram separadas em cada “parada”, rotuladas e guardadas.

Este processo se repetiu depois de 1.000m (distância em relação ao *tumbler*) e 2.000m. A amostra de 200m do sistema fluvial (1) foi comparada, na lupa binocular com a amostra de 2000m (fig. 39), obtida no *tumbler* (2), observando-se que o desgaste das duas amostras foi idêntico, confirmando mais uma vez a proporção de 10% do *tumbler* para o sistema fluvial, ou seja 2.000m no *tumbler* correspondem a 200m no sistema fluvial. A Tab. 9 foi confeccionada a partir do desgaste artificial da água marinha de Tatu.

Mineral: Água marinha de Tatu		<i>Tumbler</i> n°. “a”			
Composição dos Sedimentos: 17% Argila/Silte; 28% Areia; 55% Cascalho					
Tempo (h/min)	Distância (m)	Peso (g)	Perda de Peso (g)	Perda de Peso (%)	Observações
0	0	8,3198	0	0	Foram colocadas 18 amostras, retiradas duas a duas a cada 1.000m (distância em relação ao percurso do mineral gema no <i>tumbler</i> )
00:55	1000	8,2270	0,0928	1,12	
01:50	2000	8,1904	0,0366	0,44	
02:17	3000	8,1666	0,0026	0,03	
03:12	4000	8,1582	0,0084	0,11	
04:07	5000	8,1576	0,0006	0,007	
05:02	6000	8,1570	0,0006	0,007	
05:57	7000	8,1518	0,0052	0,06	
06:52	8000	8,1516	0,0002	0,003	
07:47	9000	8,1480	0,0036	0,04	

Tabela 9 - Desgaste artificial da água marinha de Tatu (perda de peso: 2,06%).

Em seguida os gráficos (Fig. 40), demonstram as curvas de desgaste artificial de peso x tempo e porcentagem de perda de peso x tempo, respectivamente.



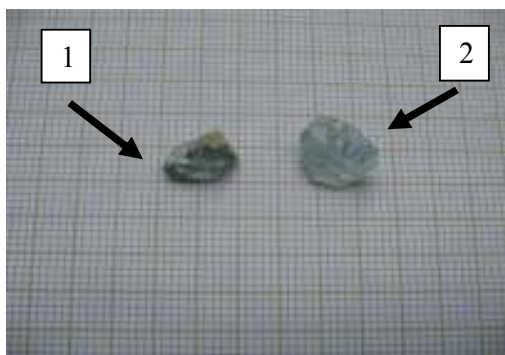


Figura 39 - Amostra de 200m (1) do sistema fluvial e a 2.000m (2) obtida no *tumbler* (escala papel milimetrado).

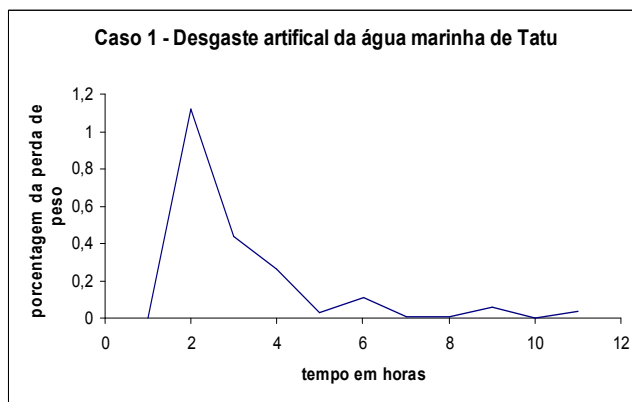
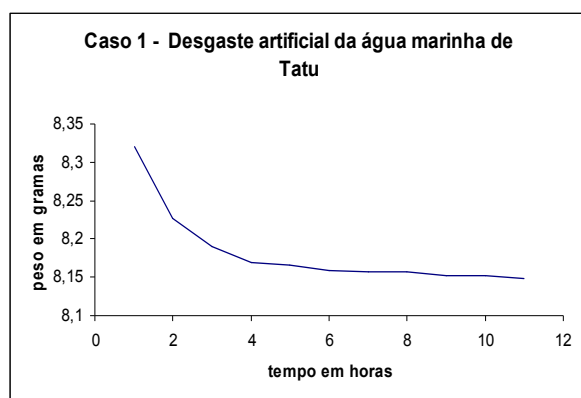


Figura 40 - Curvas de desgaste artificial da água marinha de Tatu.

Continua-se com o mesmo procedimento, pesando e comparando nos 3.000m, 4.000m, 5.000m, 6.000m, 7.000m e 8.000m. As amostras de 4.000m e de 8.000m foram novamente comparadas, respectivamente com as amostras de 400m e de 800m do sistema fluvial, obtendo-se mais uma vez o mesmo resultado; amostras com desgaste superficial bem semelhantes.

Para se ter certeza do resultado, prosseguiu-se o desgaste até 9.000m. As amostras de 9.000m do *tumbler* foram comparadas com as de 800m do Ribeirão dos Gomes, verificando assim que o desgaste das amostras do *tumbler* eram maiores que as de 800m do sistema fluvial e do que as de 8.000m do *tumbler*.

A amostra de 400m (1) do sistema fluvial comparada com de 4.000m obtida no *tumbler* (2), são mostradas na Fig. 41.

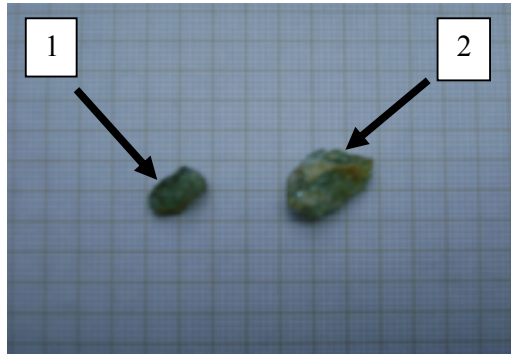


Figura 41 - Amostra de 400m (1) do sistema fluvial a 4.000m (2) obtida no *tumbler* (escala papel milimetrado).

As amostras de 800m do sistema fluvial (1), comparadas com as amostras de 8.000m do *tumbler* (2) estão demonstradas na Fig. 42.



Figura 42 - Amostra de 800m (1) do sistema fluvial a 8.000m (2) obtida no *tumbler* (escala papel milimetrado).

### 5.2.7 - Resultados obtidos

Com os testes realizados, foi possível confirmar que a cada 1.000m percorridos dentro do *tumbler* correspondem a 100m no sistema fluvial, verificando-se que, em laboratório, é possível a reprodução de desgastes semelhantes aos promovidos no sistema fluvial (Prancha 1, pág. 74).

Vale a pena ainda, ressaltar que com uma combinação de amostras coletadas no sistema fluvial de 200m, 400m e 800m, com amostras desgastadas em laboratório de 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 7.000, 8.000 e 9.000m, foi possível se montar uma escala de desgaste de água marinha da Lavra de Tatu, que vai, desde a área fonte até 900m (Fig. 44).

Tal escala foi montada, fotografada e utilizada para um retorno à Lavra do Tatu, onde foram coletadas amostras, sem a preocupação de se saber qual a distância da área fonte que foi lavado.

Em seguida as novas amostras obtidas foram comparadas com a escala de desgaste objetivando, através deste procedimento, definir qual a distância das novas amostras à área fonte, buscando assim, validar a escala. Para que este processo fosse válido, contou-se com a colaboração de cerca de 100 pessoas que receberam as amostras, bem como a escala de desgaste e assim através de comparação das novas amostras com a escala identificaram a semelhança dos desgastes. Ocorreu um erro em torno de 10%.

As amostras de água marinha de Tatu foram fotografadas em microscópio óptico, com aumento de 50 vezes, compreendendo a amostra da área fonte e as desgastadas no *tumbler* em intervalos de 200m, até 800m. (Figs. de 43 a,b,c,d,e).

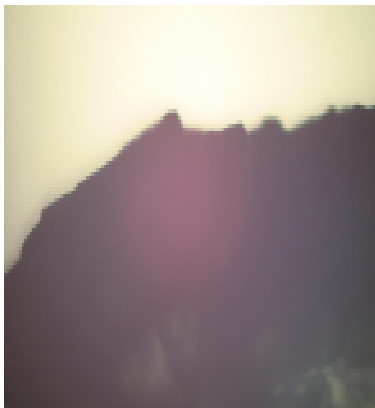


Figura 43a -Água marinha da área fonte - com aumento de 50 x).

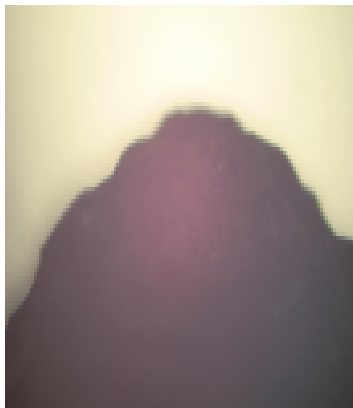


Figura 43b -Água marinha desgastada no *tumbler* a 200m (aumento de 50 x).



Figura 43c - Água marinha desgastada no *tumbler* a 400m (aumento de 50 x).

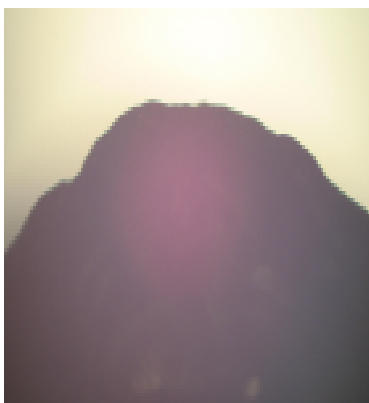


Figura 43d- Água marinha desgastada no *tumbler* a 600m (aumento de 50 x).

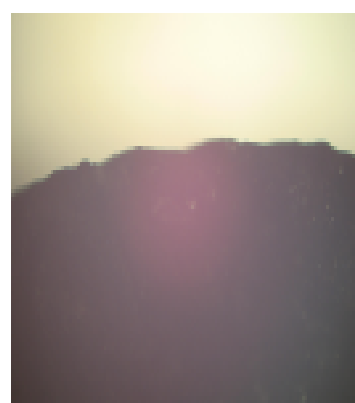


Figura 43e- Água marinha desgastada no *tumbler* a 800m (aumento de 50 x).

Na Fig. 44, mostra-se a escala padrão de desgaste artificial da água marinha de Tatu.

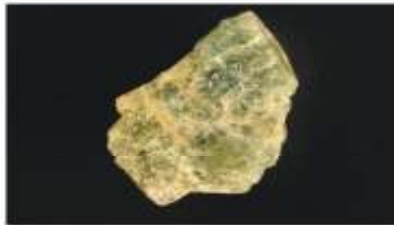
# TATU



Matriz - T-AF Tamanho: 11 mm



Distância: 100 m - Tamanho: 10 mm



Distância: 200 m - Tamanho: 16 mm



Distância: 300 m - Tamanho: 13 mm



Distância: 400 m - Tamanho: 15 mm



Distância: 500 m - Tamanho: 12 mm



Distância: 600 m - Tamanho: 12 mm



Distância: 700 m - Tamanho: 11 mm



Distância: 800 m - Tamanho: 9 mm



Distância: 900 m - Tamanho: 12 mm

Figura 44 – Escala padrão de desgaste artificial da água marinha de Tatu.

## 5.3 – Água marinha: Brejaúba

O terceiro estudo de caso ocorreu com a coleta de amostras de água marinha da área fonte 1 (A.F.1-Lavra da Posse) e ao longo do Córrego da Posse, da área fonte 2 (A.F.2-Lavra do Caracol) e ao longo do Córrego do Caracol e a uma distância de até 6.000m da área fonte 1 e de 4.000m da área fonte 2, ao longo do Ribeirão Brejaúba.

### 5.3.1 - Localização

As Lavras pegmatítica da Posse e do Caracol localizam-se na região centro-oeste de Minas Gerais, entre os Municípios de Conceição do Mato Dentro e São Sebastião do Rio Preto, próximo à vila de Brejaúba. O acesso à área, de Belo Horizonte, se faz pela BR- 381 até o trevo de Itabira. Daí segue-se pela BR 120, passando por Santa Maria do Itabira, até o trevo onde se inicia a estrada de terra batida para Brejaúba. De Santa Maria do Itabira até a entrada para Brejaúba são 31km.

Do entroncamento em direção a W são 2km em estrada de terra até José Felicíssimo e mais 11km até a vila de Brejaúba. A 400m após a segunda ponte sobre o Ribeirão Brejaúba, segue-se em direção a S em torno de 1.000m até a Lavra da Posse, chegando a uma fazenda. A Lavra do Caracol situa-se a 3.000m ao longo do Ribeirão Brejaúba, em sua confluência com o Córrego Caracol, a 1.000m da confluência Ribeirão acima.

Na Fig.45, mostra-se o mapa da localização de Brejaúba. Na Fig. 46 seguinte, a fotografia aérea englobando a área da Lavra da Posse, Córrego da Posse, Lavra do Caracol, Ribeirão Brejaúba e o Rio do Peixe.

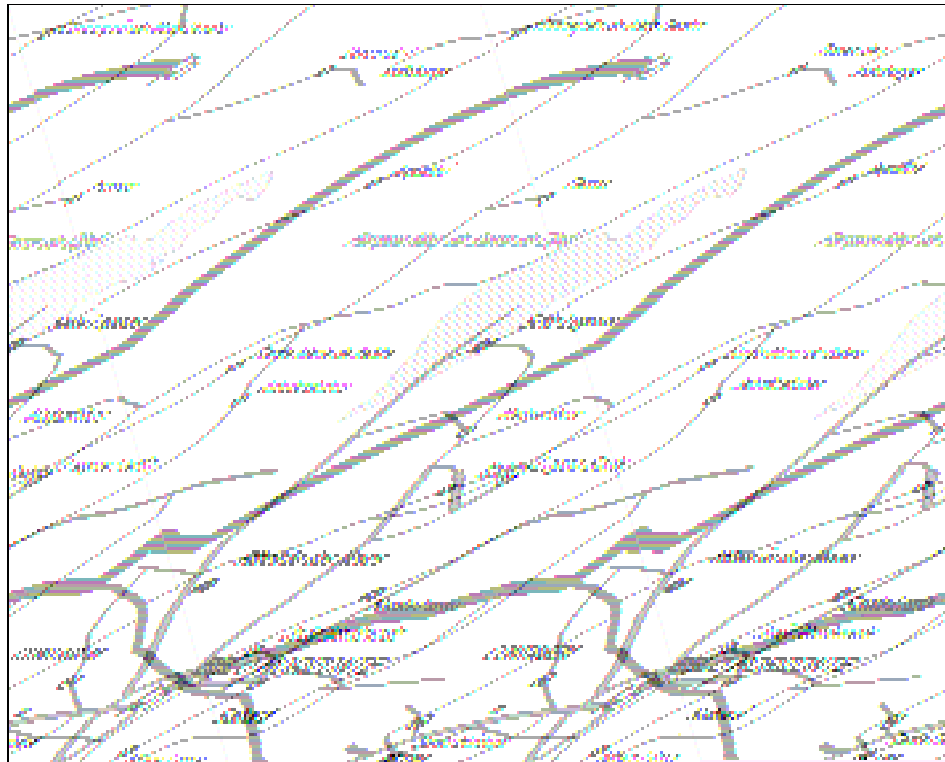


Figura 45 – Localização da Lavra da Posse e da Lavra do Caracol em Brejaúba, entre os Municípios de Conceição do Mato Dentro e São Sebastião do Rio Preto, MG.

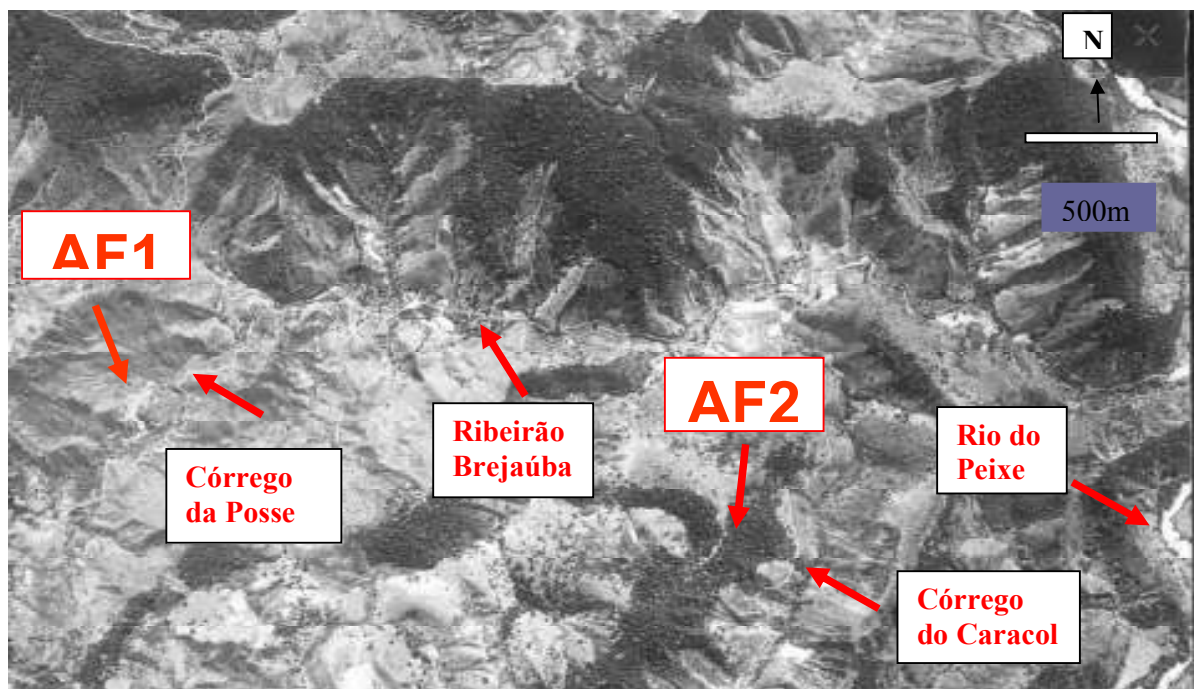


Figura 46 - Lavra da Posse, Lavra do Caracol e Ribeirão Brejaúba e Rio do Peixe entre os Municípios de Conceição do Mato Dentro e São Sebastião do Rio Preto, MG.

### 5.3.2 - Geologia local

Os pegmatitos da região Brejaúba apresentam-se em corpos irregulares de dezenas a centenas de metros, eventualmente berilíferos e, em geral, sem evidenciar um zoneamento bem definido, assim como veios pegmatóides e diques de aplitos discordantes, pouco e apenas ruptilmente deformados ou fraturados, são claramente pós-tectônicos em relação a deformação regional principal (Quintão 2005).

O pegmatito em si é constituído por possante massa de microclina tendo bolsões de quartzo branco leitoso, orientados segundo sua direção, de modo a constituírem um típico núcleo central. Simétrico em relação ao mesmo há contatos nítidos onde podem ser vistos bolsões de albita-clevelandita e todas as diversas zonas até os contatos com as encaixantes (Rolff 1949).

### 5.3.3 - Análise Mineralógica

Segundo Rolff (1949) a zona das micas mostra-se simétrica embora haja os clássicos aglomerados de moscovita em rabo de peixe e escamosa, imersos nas massas de feldspatos, servindo aqui como indicador paragenético de berilo. A moscovita mostra-se ligeiramente esverdeada, com nítidos fantasmas de magnetita de forma geométrica hexagonal.

O berilo, ainda de acordo com o referido autor, mostra-se milonitizado, mostrando-se justamente no contato das massas de albita – clevelandita com o quartzo do núcleo central.

Para o autor, o berilo tem coloração verde maçã ou azul esverdeada, e quando tem cor azul natural mostra-se fluorescente à luz ultra-violeta, caráter esse que somente é notado em pegmatitos uriníferos, como é o caso do de Tatu. Apresenta índice de refração ordinário de 1,574 e extraordinário de 1,580, sendo o peso específico de 2,699.

Junto com os minerais essenciais do pegmatito, há uma regular variedade de outros minerais paragenéticos, muito peculiares e que tem dado algum renome à jazida (Rolff 1949).

Cristais de djalmaíta-betafita mostram-se nítidos em suas características cristalográficas, encontrando-se ainda monazita em cristais tabulares bem desenvolvidos, semi- alterada, intimamente ligada à djalmaíta e bismuto, de acordo com esse autor. Ainda, segundo ele foi verificada a ocorrência de columbita em cristais centimétricos, nitidamente tabulares ou mais raramente arredondados disseminados no seio das massas de albita-clevelandita. O bismuto metálico e a bismutinita, ocorre em posição geneticamente bem definida a ponto do pessoal da lavra reconhece-la pela denominação de “linha do bismuto”.

Rolff (1949), identificou minerais de urânio encontrados nesse pegmatito como sendo misturas indetermináveis de uraninita e pechblenda acompanhados pelos minerais de alteração, denominados, por facilidade de gumita. Ocorre ainda turmalina e granada, bem como grande quantidade de magnetita, provavelmente originada das intrusões de rochas básicas que cortam a região.

### 5.3.4 - Procedimentos de campo

O trabalho de campo em Brejaúba foi desenvolvido em três sistemas fluviais, a saber: Córrego da Posse, Córrego do Caracol e Ribeirão Brejaúba. Inicialmente os trabalhos foram concentrados no Córrego da Posse, que passa diretamente na área fonte. Este Córrego deságua, depois de 1.000m de percurso, no Ribeirão Brejaúba.

Após 3.000m de drenagem, sem influência de outra área fonte, que não seja a Lavra da Posse- denominado daqui por diante por A.F.1, deságua no referido Ribeirão um outro Córrego, denominado Caracol, que após 1.000m da área fonte do Caracol- denominado daqui por diante por A.F.2, deságua no Ribeirão Brejaúba. Em seguida o Ribeirão Brejaúba deságua no Rio do Peixe.

Assim foram estudados os desgastes de amostras de água marinha ao longo de 1.000m do Córrego da Posse até o Ribeirão Brejaúba, ao longo do Ribeirão em questão até o Córrego do Caracol e ao longo de 1.000m do Córrego do Caracol até a sua confluência com o Ribeirão Brejaúba. Por fim, no leito do Ribeirão Brejaúba até a sua confluência com o Rio do Peixe.

O acampamento foi montado em frente à Lavra da Posse, às margens do Córrego da Posse. Após coleta de amostras de água marinha na área A.F. 1 e na A.F. 2, concentrou-se os trabalhos de “lavagem” ao longo do Córrego da Posse, no Ribeirão Brejaúba e no Córrego do Caracol.

Na confluência do Córrego da Posse com o Brejaúba, teve-se a preocupação de se “lavar” em três pontos distintos, com a finalidade de se verificar a possibilidade da ocorrência de outra área fonte que estivesse posicionada ao longo do Ribeirão Brejaúba, antes da confluência com o Córrego da Posse. O mesmo processo foi adotado na confluência do Córrego do Caracol com o Ribeirão Brejaúba.

Na Fig. 47a mostra-se os pontos de lavagem, sendo o 1 - no Córrego da Posse antes da confluência com o Ribeirão Brejaúba; 2 - No Ribeirão Brejaúba antes da confluência com o Córrego da Posse, onde não foram encontradas amostras; e 3 - No Ribeirão Brejaúba, depois da confluência com o Córrego da Posse.





Figura 47a - Pontos lavados no Córrego da Posse (1) e Ribeirão Brejaúba (2 e 3).

Na Fig. 47b observa-se os pontos de lavagem, sendo o 4 - no Ribeirão Brejaúba antes da confluência com o Córrego Caracol; 5 - No Córrego do Caracol antes da confluência com o Ribeirão Brejaúba; 6 - Ribeirão Brejaúba depois da confluência com o Córrego Caracol, onde foram encontradas amostras provenientes da Lavra da Posse e da Lavra do Caracol.

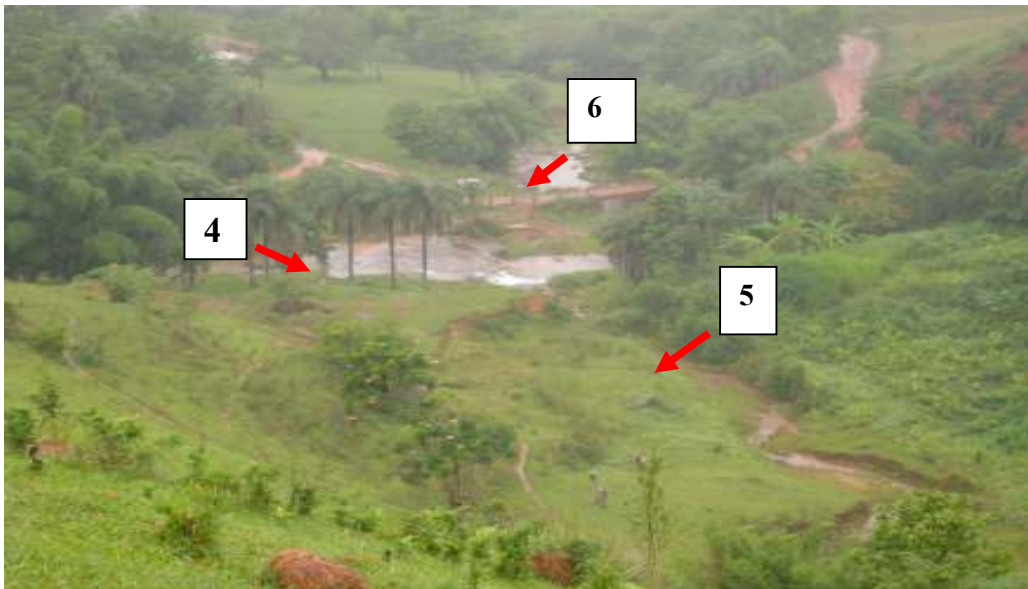


Figura 47b - Pontos lavados no Ribeirão Brejaúba (4 e 6) e no Córrego Caracol (5).

Sendo assim “lavamos” de acordo com a seguinte ordem:

- 1- 50m antes da confluência com o Ribeirão Brejaúba, no Córrego da Posse onde encontro-se amostras de água marinha (20l lavados).
- 2- 50m antes da confluência do Córrego da Posse com Ribeirão Brejaúba, onde não foi encontrada nenhuma amostra da gema ( 50l lavados).
- 3- 50m depois da confluência, onde voltou-se a encontrar amostras de água marinha (20l lavados), no Ribeirão Brejaúba.
- 4- 100m antes da confluência com o Caracol, no Ribeirão Brejaúba, onde encontramos amostras de água marinha de cor azul intensa (30l).
- 5- 150m antes da confluência com Ribeirão Brejaúba, no Córrego Caracol, onde foram encontradas amostras de água marinha de cor esverdeada (98l).
- 6- 100m depois da confluência do Caracol com o Brejaúba, no Ribeirão Brejaúba, onde encontramos amostras de água marinha esverdeada (Lavra da Posse) e azul intensa (Lavra do Caracol), com desgastes bastante diferenciados (100l).

Em seguida, os trabalhos continuaram a ser realizados, ao longo do Ribeirão Brejaúba, onde foram coletadas amostras a 1.500m da A.F.1 (60l lavados); a 2.500m da A.F.1. (84l lavados), 3.000m da A.F.1 (98l lavados), a 3.200m da A.F.1 (100l), 5.000m (120l) e 6.000m (150l lavados) da A.F.1. e 1.000m da A.F.2 (90l lavados), 1.200m da A.F.2 (100l), 3.000m da A.F.2 (120l) e 4.000m da A.F.2 (140l lavados)

A velocidade do Córrego da Posse e do Córrego do Caracol foi medida mostrando o resultado de 0,17m/s e 0,16m/s no sistema laminar e no turbulento 0,7 m/s e 0,6m/s, respectivamente. No Ribeirão Brejaúba a velocidade no laminar foi de 0,37m/s e no turbulento de 0,42m/s.

Foram recolhidos sedimentos de três pontos distintos, que foram levados ao laboratório para a análise granulométrica, obtendo-se os seguintes resultados: no xisto antes da área fonte, no Córrego da Posse (5% de argila/silte; 28% de areia; 67% de cascalho), logo depois da confluência do Córrego da Posse com o Brejaúba, a 50m do Brejaúba (12,6% de argila/silte; 33,8% de areia; 53,6% de cascalho) e a 2.500m da área fonte, no Brejaúba (4% de argila/silte; 64% de areia; 32% de cascalho).

### 5.3.5 - Amostras de campo

Passa-se a mostrar, as amostras coletadas na área fonte da Posse, na área fonte do Caracol e ao longo dos sistemas fluviais, no Córrego da Posse, Córrego do Caracol e Ribeirão Brejaúba (Figs. 48 a 58), com escala papel milimetrado e na lupa binocular, com aumento de 20 vezes e área iluminada de 40mm.



Figura 48 – Água marinha da área fonte da Lavra da Posse (1) e da Lavra do Caracol (2) (escala papel milimetrado). (aumento de 20 x).

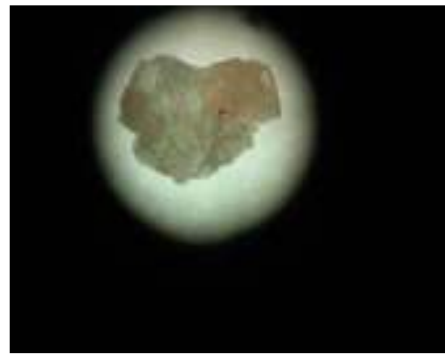


Figura 49 – Água marinha a 300m da Lavra da Posse (escala papel milimetrado).

(aumento de 20 x).  
(área iluminada de 40mm).

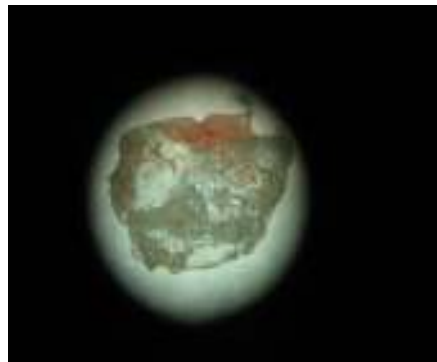
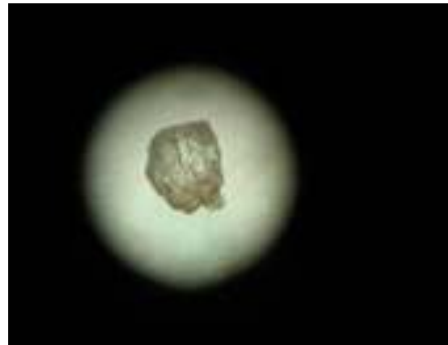


Figura 50 - Água marinha a 600m da Lavra da Posse (escala papel milimetrado).

aumento de 20 x  
(área iluminada de 40mm).



Figura 51 - Água marinha a 1.050m da Lavra da Posse  
(escala papel milimetrado).



aumento de 20 x  
(área iluminada de 40mm).



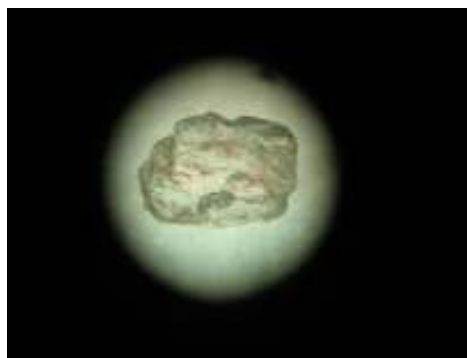
Figura 52 - Água marinha a 1.500m da Lavra da Posse  
(escala papel milimetrado).



aumento de 20 x  
(área iluminada de 40mm).



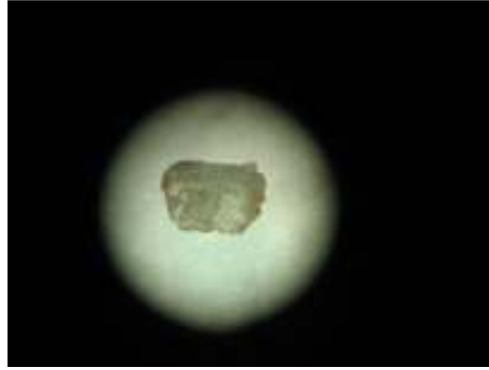
Figura 53 - Água marinha a 2.500m da Lavra da Posse  
(escala papel milimetrado).



aumento de 20 x  
(área iluminada de 40mm).



Figura 54 - Água marinha a 3.000m da Lavra da Posse (escala papel milimetrado).



aumento de 20 x  
(área iluminada de 40mm).



Figura 55 - Água marinha a 1.000m da Lavra do Caracol (escala papel milimetrado).



aumento de 20 x  
(área iluminada de 40mm).

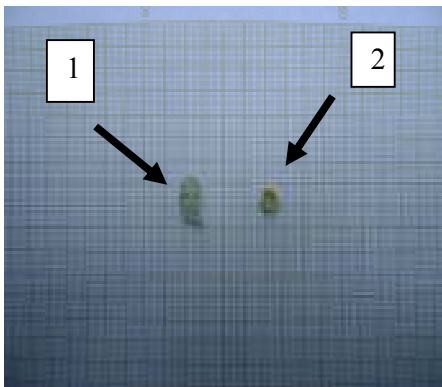
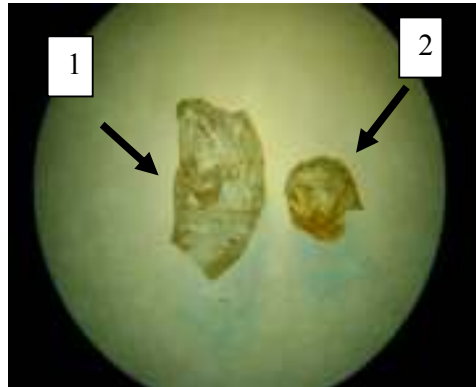


Figura 56 - Água marinha a 1.200m da Lavra do Caracol (1) e 3.200m da Lavra da Posse (2) (escala papel milimetrado).



aumento de 20 x  
(área iluminada de 40mm).

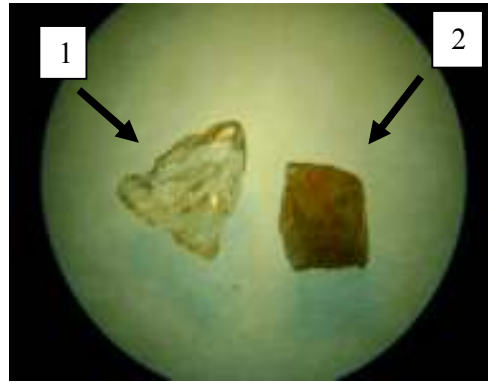
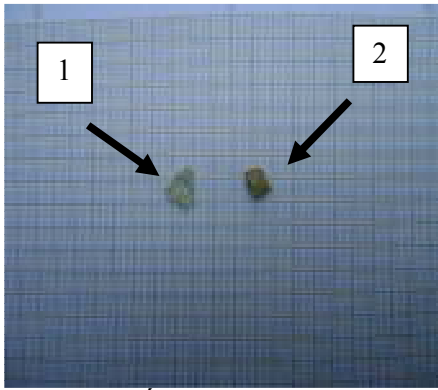


Figura 57- Água marinha 3.000m da Lavra do Caracol (1) e a 5.000 m da Lavra da Posse (2) (escala papel milimetrado).  
aumento de 20 x  
(área iluminada de 40mm).

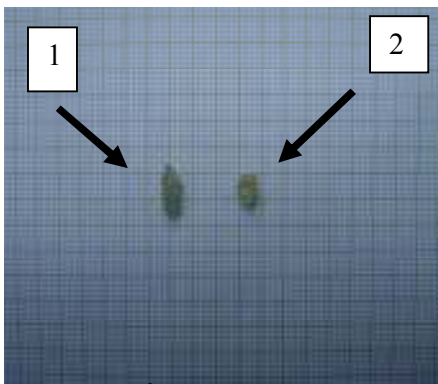


Figura 58 -Água marinha a 4.000m da Lavra do Caracol (1) e a 6.000m da Lavra da Posse (2) (escala papel milimetrado).  
aumento de 20 x  
(área iluminada de 40mm).

A seguir apresentamos, com aumento de 50 vezes, as amostras encontradas juntas no Ribeirão Brejaúba, sendo (1) coletada a 3.200m da área fonte da Posse e (2) a 1.200m da área fonte do Caracol (Fig. 59).

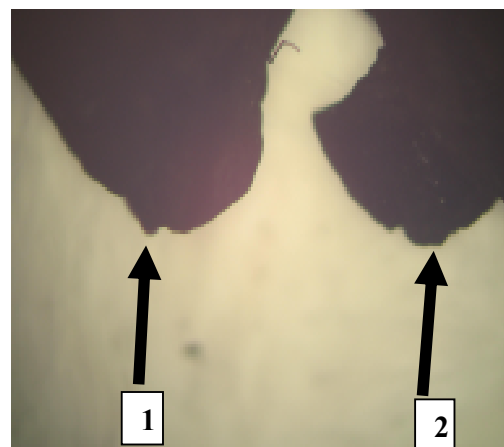
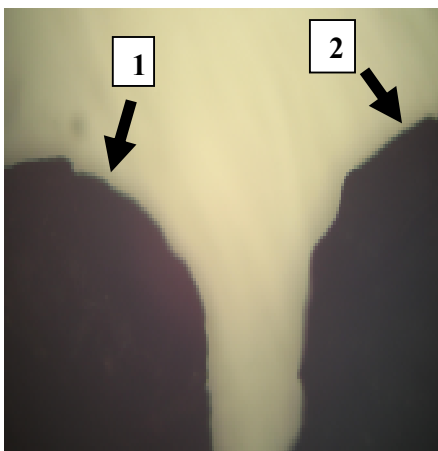


Figura 59 - Amostras de água marinha (com aumento de 50 x) encontrada no Ribeirão Brejaúba, juntas, sendo a 3.200m da Lavra da Posse (1) e a 1.200m da Lavra do Caracol (2).

### 5.3.6 – Desgaste em laboratório

As amostras obtidas nas áreas fontes das Lavras da Posse e do Caracol, foram selecionadas e 30 amostras escolhidas foram levadas ao *tumbler* “b” e, com os sedimentos do próprio local, com a mesma proporção da granulometria do local. Respeitou-se, como em todos os experimentos, a proporção de 40% de sedimentos e 60% de água.

Em seguida iniciou-se o processo de desgaste artificial, retirando-se a cada 5h ou a cada 5.000m em relação à distância percorrida pelo mineral-gema no *tumbler* (a cada 500m no sistema fluvial), as amostras, que foram pesadas. Após esta etapa, cada amostra foi levada à lupa binocular juntamente com as amostras obtidas no sistema fluvial. Depois duas amostras foram separadas em cada “parada”, rotuladas e guardadas.

O referido processo se repetiu de 5.000m em 5.000m (distância que o mineral-gema percorre em relação ao *tumbler*) ou de 500m em 500m (referente à distância do sistema fluvial), até 6.000m (distância referente ao sistema fluvial) ou 60.000m (referente à distância percorrida no *tumbler*). As amostras obtidas no *tumbler* foram comparadas, na lupa binocular com as amostras coletadas no sistema fluvial, observando-se que o desgaste de todas as amostras foi idêntico, confirmando mais uma vez a proporção de 10% do *tumbler* para o sistema fluvial, ou seja, 1.000m no *tumbler* correspondem a 100m no sistema fluvial.

A Tab.10, foi gerada pelos dados do desgaste artificial da água marinha de Brejaúba e as curvas de desgaste de peso por distância e porcentagem de perda de peso por distância representadas nas Figs. 60 e 61, respectivamente.

Mineral: Desgaste artificial da água marinha de Brejaúba  
Sedimentos: 4% Argila/silte; 64% Areia; 32% Cascalho *Tumbler*: “b”

Tempo (h)	Distância (m)	Peso (g)	Perda de Peso (g)	Perda de Peso (%)	Observações
0	0	7,788	0	0	Foram colocadas 24 amostras no equipamento, retiradas duas a duas, a cada 500m em relação ao percurso do mineral gema no <i>tumbler</i> ,
5:00	500	7,516	0,272	3,49	
10:00	1.000	7,242	0,274	3,51	
15:00	1.500	6,742	0,500	6,43	
20:00	2.000	6,278	0,464	5,96	
25:00	2.500	6,252	0,026	0,42	
30:00	3.000	6,242	0,01	0,13	
35:00	3.500	6,232	0,01	0,13	
40:00	4.000	6,222	0,01	0,13	
45:00	4.500	6,212	0,01	0,13	
50:00	5.000	6,202	0,01	0,13	
55:00	5.500	6,192	0,01	0,13	
60:00	6.000	6,182	0,01	0,13	

Tabela 10 - Desgaste artificial da água marinha de Brejaúba (perda de peso: 20,62%).

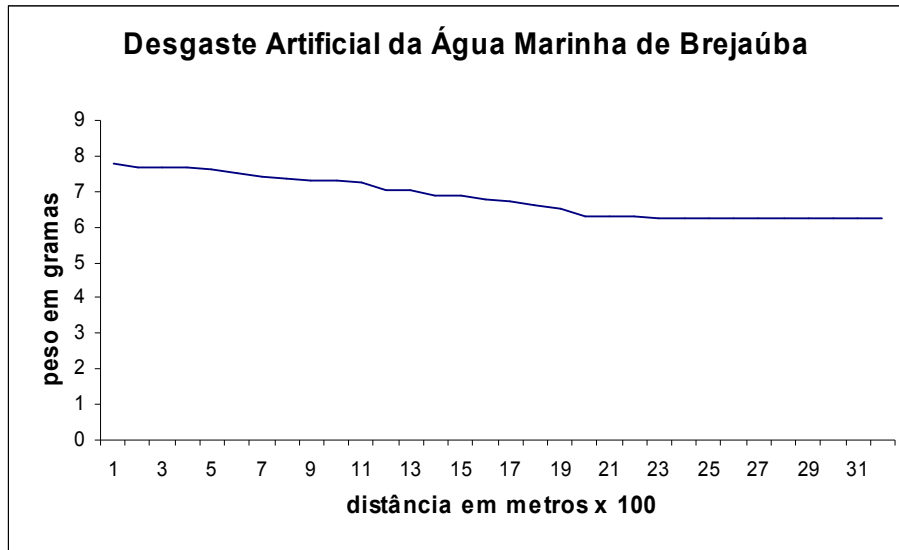


Figura 60 - Curva de desgaste artificial da água marinha de Brejaúba.

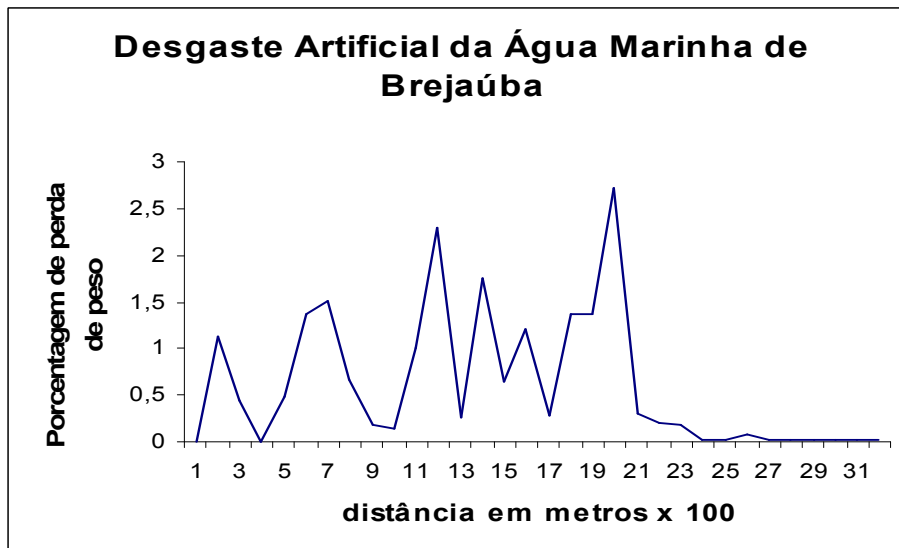


Figura 61 - Curva de desgaste da água marinha de Brejaúba.

As amostras obtidas em Brejaúba, na Lavra da Posse e na Lavra do Caracol foram fotografadas na área fonte, e após desgaste no *tumbler* em intervalos de 500m, até 3.000m, em microscópio óptico, com aumento de 50 vezes (Fig. 62 de “a” a “h”).





Figura 62a -  
Água marinha – área fonte da Posse  
(aumento de 50x).



Figura 62b -  
Água marinha – área fonte do Caracol  
(aumento de 50x).



Figura 62c-  
Água marinha desgastada no *tumbler* a  
500m (aumento de 50x).



Figura 62d-  
Água m arinha desgastada no *tumbler*  
a 1.000m (aumento de 50x).

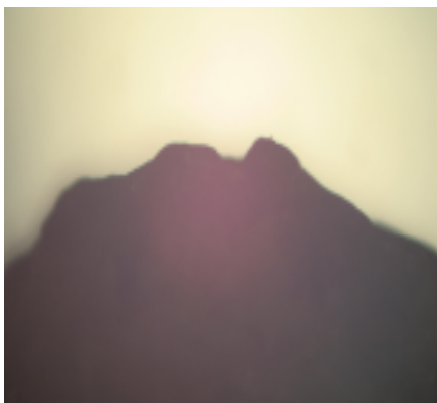


Figura 62e-  
Água marinha desgastada no *tumbler* a  
1.500m (aumento de 50x).



Figura 62f-  
Água marinha desgastada no *tumbler* a  
2.000m (aumento de 50x).



Figura 62g-  
Água marinha desgastada no *Tumbler* a  
2.500m (aumento de 50x).



Figura 62h-  
Água marinha desgastada no *Tumbler* a  
3.000m (aumento de 50x).

### 5.3.7 - Resultados obtidos

Com estes testes, além de se confirmar que a cada 1.000m percorridos pelo mineral gemológico dentro do *tumbler*, correspondem a 100m no sistema fluvial, verificamos que, em laboratório, é possível a reprodução de desgastes semelhantes aos promovidos no sistema fluvial (Prancha 2, pág. 75).

Vale a pena ainda, ressaltar que com uma combinação de amostras coletadas no sistema fluvial, com amostras desgastadas em laboratório, mostra-se uma escala de desgaste de água marinha de Brejaúba, que vai, desde a área fonte até 6.000m, em intervalos de 500 em 500m (Fig. 63).

Tal escala foi montada, fotografada e utilizada para um retorno a Brejaúba, onde coletamos amostras de água marinha através de lavagem no Ribeirão Brejaúba, sem a preocupação de se saber qual a distância da área fonte que se está lavando.

Em seguida as novas amostras obtidas foram comparadas com a escala de desgaste com a finalidade de, através deste procedimento, se definir qual a distância das novas amostras à área fonte, procurando-se assim validar a escala. Para garantir a validade deste processo, contou-se com a colaboração de cerca de 100 pessoas que receberam as amostras, bem como a escala de desgaste e assim, através de comparação das novas amostras com a escala, identificaram a semelhança do desgaste. Foi detectado um erro em torno de 10%.

Na Fig. 63, mostra-se a escala de desgaste artificial da água marinha de Brejaúba.

# BREJAÚBA



Matriz - B - AF - Tamanho: 13 mm



Distância: 500 m - Tamanho: 8 mm



Distância: 1.000 m - Tamanho: 5 mm



Distância: 1.500 m - Tamanho: 5 mm



Distância: 2.000 m - Tamanho: 8 mm



Distância: 2.500 m - Tamanho: 9 mm



Distância: 3.000 m - Tamanho: 9 mm



Distância: 3.500 m - Tamanho: 20 mm



Distância: 4.000 m - Tamanho: 19 mm



Distância: 4.500 m - Tamanho: 20 mm



Distância: 5.000 m - Tamanho: 21 mm



Distância: 5.500 m - Tamanho: 19 mm



Distância: 6.000 m - Tamanho: 10 mm

Figura 63 – Escala padrão de desgaste artificial da água marinha de Brejaúba.

Em seguida são mostrados detalhes do Córrego da Posse, Ribeirão Brejaúba e Lavra do Caracol (Figs.64, 65 e 66), respectivamente.



Figura 64 – Vista geral do Córrego da Posse.



Figura 65 - Vista geral do Ribeirão Brejaúba.



Figura 66 – Vista geral da Lavra do Caracol coberta por vegetação.

## 5.4 - Topázio Imperial: Cachoeira do Campo

O quarto estudo de caso foi realizado em Cachoeira do Campo, Distrito de Ouro Preto na Lavra Cipó (ou Caxambu), onde os trabalhos foram desenvolvidos na área fonte e ao longo do Córrego Cipó e do Rio Maracujá, a uma distância final de 10.000m da área fonte.

### 5.4.1- Localização

Partindo-se de Belo Horizonte, pela BR 040 segue-se até o trevo para Ouro Preto, passando pelo trevo de Itabirito, Amarantina, até chegar a Cachoeira do Campo. Na rua principal da cidade, segue-se reto até a primeira ponte onde, à direita, em estrada de terra percorre-se durante 10km, chegando-se à confluência do Córrego Cipó com o Rio Maracujá. Sobe-se à direita, a pé, 1km em linha reta chegando à Lavra do Cipó (Fig.67).

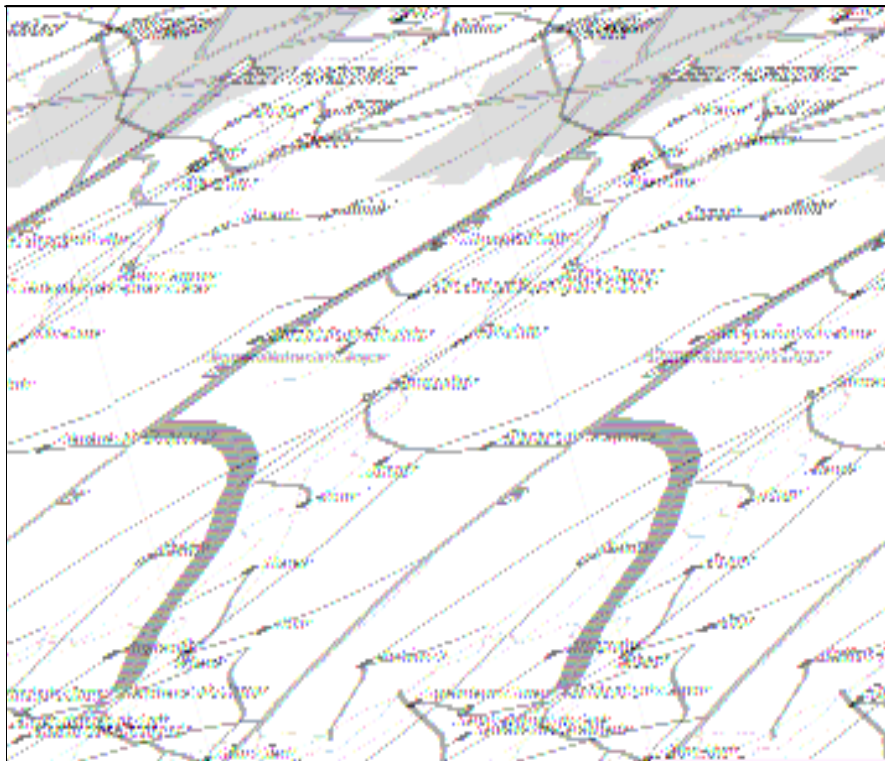


Figura 67- Localização da Lavra do Cipó em Cachoeira do Campo.

## 5.4.2 - Geologia local

Gandini (1994) cita em sua Dissertação de Mestrado que, as ocorrências de topázio imperial da região de Ouro Preto estão relacionadas às rochas carbonáticas do Supergrupo Minas, integrantes ao Quadrilátero Ferrífero. Entre os litotipos principais podem ser citados os filitos carbonáticos que transacionam para mármore impuros, tanto lateralmente como verticalmente. As mineralizações de topázio imperial ocorrem em veios centimétricos e descontínuos nessas rochas, e estão associadas a uma zona de falhas normais em bloco, resultante de um processo de distensão, apresentando direção predominante N60°W. Estas falhas foram, provavelmente, reativadas durante um evento tectônico no final do Cretáceo ou início do Terciário, dando origem a vários focos de vulcanismo, que produziram soluções saturadas em sílica.

As rochas metamórficas encaixantes e os veios mineralizados encontram-se intensamente decompostos. Contudo, nessas litologias podem ser observadas algumas de suas estruturas antigas e a presença de certos minerais primários como quartzo, hematita, topázio, rutilo, euclásio e sericita. O topázio normalmente é encontrado em massas de caulim e nos produtos de decomposição de níveis carbonáticos, denominado pelos garimpeiros de “borra de café”(Gandini, Dissertação de Mestrado 1994).

## 5.4.3 - Análise Mineralógica

De acordo com Gandini (1994) o topázio imperial de Ouro Preto, ocorre sob a forma de cristais prismáticos, sendo raros os exemplares biterminados. Apesar de normalmente ocorrer sob a forma de agregados e fragmentos, predominam os tipos idiomórficos constituídos de dois prismas rômnicos verticais terminados por uma bipirâmide rômnica. As dimensões variam desde alguns milímetros até 20cm aproximadamente, predominando a faixa e torno de 1 a 4cm. A cor, uma das propriedades mais notáveis desse mineral-gema, varia de amarelo-dourado a vermelho conhaque, apresentando matizes transacionais entre os dois tipos. Gandini (1994) ainda afirma que análises químicas de topázios coloridos, obtidas a partir de microsonda eletrônica, indicaram ser o  $Cr^{+3}$ ,  $V^{+3}$  e  $Fe^{+3}$  os possíveis cromóforos do mineral-gema. Para os topázios da região de Ouro Preto, o teor médio de  $SiO_2$  é de 32,5%, o de  $Al_2O_3$  54,9% e o de  $F^-$  12,60%.

Com relação ao índice de refração, Gandini (1994), estabelece que  $n_X$  varia de 1,615 a 1,628,  $n_Y$  de 1,618 a 1,631 e  $n_Z$  de 1,625 a 1,639; a birrefringência, por sua vez, varia de 0,008 a 0,015. A densidade relativa está compreendida no intervalo de 3,40 a 3,59.

## 5.4.4 - Procedimentos de campo

Na lavra do Cipó obteve-se várias amostras de topázio imperial. Ao longo do Córrego Cipó foram coletadas amostras a 300m (10l lavados), 400m (10l lavados), 600m (10l lavados), 800m (10l lavados), 900m (20l lavados) e 1.000m (com 30l lavados) da área fonte. Já no Rio Maracujá foram encontradas amostras a 1.400m (40l lavados), 1.900m (50l lavados), 2.500m (60l lavados), 3.000m (70l lavados), 4.000m (com 80l), 5.000m (80l), 6.000m (90l), 8.000m(100l), 9.000m (120l) e 10.000m (140l lavados) da área fonte.

A velocidade do Rio Maracujá foi medida obtendo 0,34m/s no regime turbulento e 0,29m/s no regime laminar.

A análise granulométrica dos sedimentos do Rio Maracujá mostrou uma proporção de 3% de argila/silte, 65% de areia (grossa, média e fina em quantidades proporcionais) e 32% de cascalho.

#### 5.4.5 - Amostras de campo

Em seguida mostra-se a seqüência de amostras (Figs. 68 de “a” até “j”) encontradas na área fonte, a 800m, 1.400m, 2.500m, 4.000m, 5.000m, 6.000m, além de amostras coletadas a 8.000m, 9.000m e 10.000m da área fonte.



Figura 68a - amostra da área fonte em tamanho natural de 2,5cm.



Figura 68b - a 800m da área fonte em tamanho natural de 2,2cm.



Figura 68c - a 1.400m da área fonte em tamanho natural de 1,2cm.



Figura 68d - a 2.500m da área fonte em tamanho natural 1,7cm.



Figura 68e - a 4.000m da área fonte em tamanho natural de 1cm.



Figura 68f - a 5.000m da área fonte (escala papel milimetrado).



Figura 68g - a 6.000m da área fonte (escala papel milimetrado).

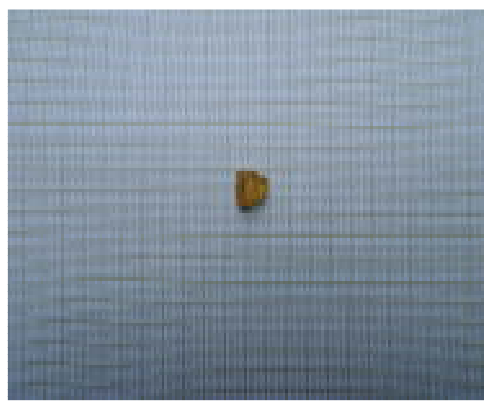


Figura 68h - a 8.000m da área fonte (escala papel milimetrado).



Figura 68i - a 9.000m da área fonte (escala papel milimetrado).



Figura 68j - a 10.000m da área fonte (escala papel milimetrado).

Duas amostras de topázio se mostraram extremamente interessantes, uma amostra encontrada a 3.000m da área fonte mostrando um desgaste bastante acentuado (Fig. 69) e uma amostra encontrada a 4.000m da área fonte, com clivagem bem delimitada, sem com isto ter se quebrado, na (Fig. 70).





Figura 69 - Topázio a 3.000m com destaque para o desgaste da pirâmide (aumento de 20x).



Figura 70 - Topázio a 4.000m com destaque para as linhas de clivagem (aumento de 20x).

#### 5.4.6 - Desgaste em laboratório

Em laboratório, com as amostras obtidas da área fonte, da Lavra do Cipó foram selecionadas e 10 minerais escolhidos foram levados ao *tumbler* “b”, com os sedimentos do próprio local, com a mesma proporção da granulometria do local. Respeitou-se, como em todos os experimentos, a proporção de 40% de sedimentos e 60% de água.

Em seguida foi iniciado o processo de desgaste artificial, retirando a cada 10h ou a cada 10.000m em relação à distância percorrida pelo mineral-gema no *tumbler* ou a cada 1.000m no sistema fluvial, as amostras, que foram pesadas. Após esta etapa, cada amostra foi levada à lupa binocular juntamente com as amostras obtidas no sistema fluvial. Depois duas amostras foram separadas em cada “parada”, rotuladas e guardadas.

Este processo se repetiu de 1.000 em 1.000m (referente à distância do sistema fluvial), até 10.000m. As amostras obtidas no *tumbler* foram comparadas, na lupa binocular com as amostras coletadas no sistema fluvial, observando que o desgaste de todas as amostras foi idêntico, confirmando mais uma vez a proporção de 10% do *tumbler* para o sistema fluvial, ou seja 1.000m no equipamento corresponde a 100m no sistema fluvial.

Com o auxílio do microscópio óptico, com um aumento de 50 vezes, foram fotografadas amostras de topázio imperial encontradas no Rio Maracujá, na área fonte, a 3.000m, a 5.000m e a 10.000m, a fim de se observar o desgaste dos minerais gemológicos somente através de suas linhas reticulares (estrias presentes nas faces prismáticas, paralelas ao eixo “c”) Verificou-se que quanto maior a distância de transporte menor a presença de linhas reticulares (Figs. 71 a 74).



Figura 71 -  
Topázio imperial da área fonte  
(aumento de 50x).

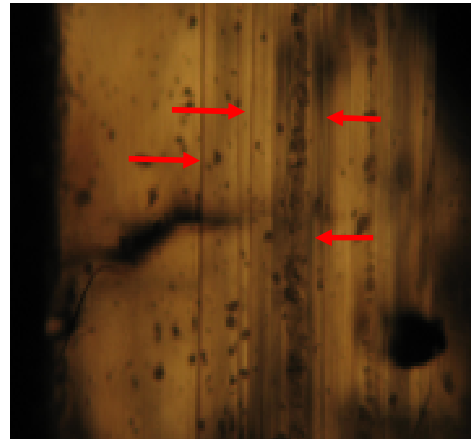


Figura 72 -  
Topázio imperial encontrado a 3.000m  
(aumento de 50x).

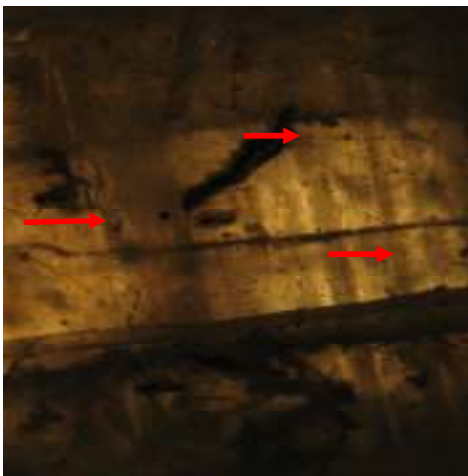


Figura 73 -  
Topázio imperial encontrado a 5.000m  
(aumento de 50x).

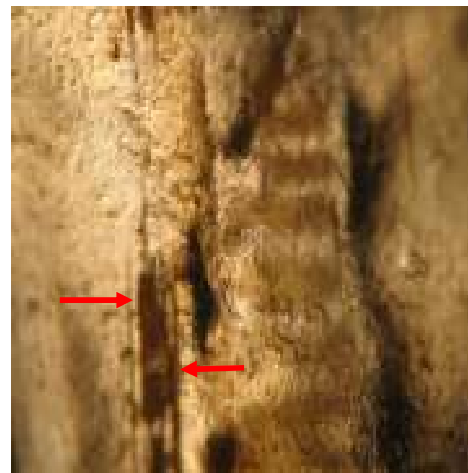


Figura 74 -  
Topázio imperial encontrado a 10.000m  
(aumento de 50x).

Mostra-se na Tab. 11 gerada a partir dos dados obtidos pelo desgaste artificial do topázio imperial de Cachoeira do Campo, distrito de Ouro Preto e (Figs.75 e 76) os gráficos com as curvas de peso x distância e porcentagem de perda de peso por distância, respectivamente.

Mineral: Simulação do desgaste do topázio de Cachoeira do Campo  
 Sedimentos: 32% Cascalho; 65% Areia; 03% Argila/silte  
*Tumbler: "b"*

Tempo (h)	Distância (m)	Peso (g)	Perda de Peso (g)	Perda de Peso (%)	Observações
0	0	27,572	0	0	Foram colocadas 20 amostras, no equipamento, retiradas duas a duas a cada 1.000m (distância em relação ao percurso do mineral gema no <i>tumbler</i> )
10	1000	24,67	2,902	10,52	
20	2000	24,40	0,27	0,98	
30	3000	24,03	0,37	1,34	
40	4000	23,75	0,28	1,02	
50	5000	23,67	0,08	0,29	
60	6000	23,62	0,05	0,18	
70	7000	23,57	0,05	0,18	
80	8000	23,56	0,01	0,04	
90	9000	23,47	0,09	0,32	
100	10.000	23,46	0,01	0,04	

Tabela 11 - Desgaste artificial do topázio imperial de Cachoeira do Campo (Perda de peso: 14.91%).

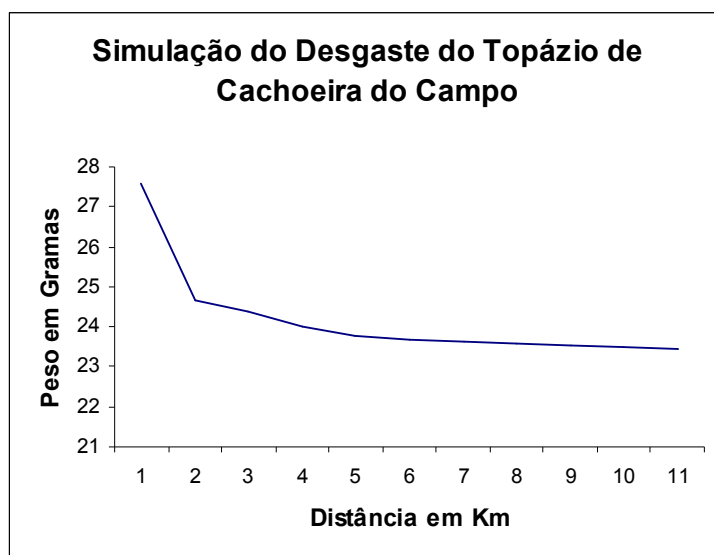


Figura 75 - Curva de desgaste artificial do topázio imperial do Cachoeira do Campo (peso x distância).

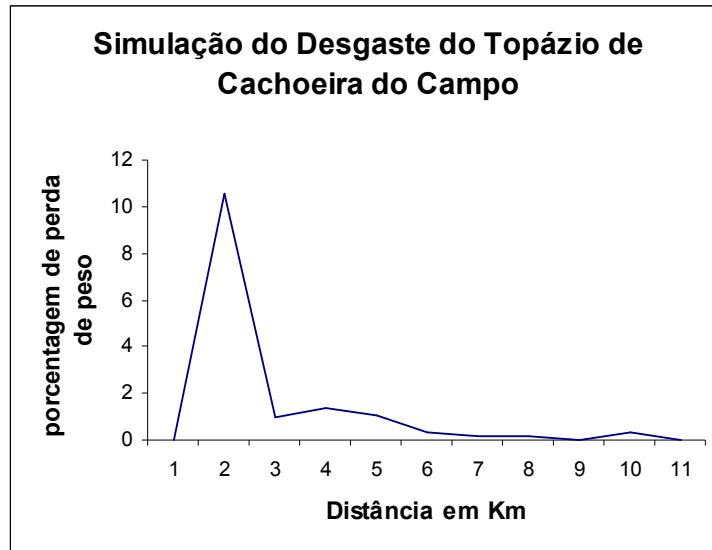


Figura 76 - Curva de desgaste artificial do topázio imperial de Cachoeira do Campo (porcentagem de perda de peso x distância).

### 5.5.7 - Resultados obtidos

Com estes testes foi, mais uma vez, possível provar que, em laboratório, pode-se reproduzir desgastes semelhantes aos promovidos no sistema fluvial (Prancha 3, pág.76/77).

Vale a pena ainda, ressaltar que com uma combinação de amostras coletadas no sistema fluvial, com amostras desgastadas em laboratório, foi possível montar uma escala de desgaste do topázio imperial ao longo do Rio Maracujá, desde a área fonte até 10.000m em intervalos de 1.000m em 1.000m (Fig. 77).

Tal escala foi montada, fotografada, e em seguida, retornamos ao Rio Maracujá, onde coletamos amostras de topázio imperial, sem a preocupação de se saber qual a distância da área fonte.

As novas amostras obtidas foram comparadas com a escala de desgaste com a finalidade de, através deste procedimento, se definir qual a distância das novas amostras à área fonte, procurando-se assim validar a escala. Para garantir a validade deste processo, contou-se com a colaboração de cerca de 100 pessoas que receberam as amostras, bem como a escala de desgaste e assim, através de comparação das novas amostras com a escala identificaram a semelhança do desgaste. Foi verificado um erro em torno de 10%.

Na Fig. 77, mostra-se a escala de desgaste artificial do topázio imperial de Cachoeira do Campo, Distrito de Ouro Preto.

# CACHOEIRA DO CAMPO



Matriz - CAF - Tamanho: 18 mm



Distância: 1.000 m - Tamanho: 9 mm



Distância: 2.000 m - Tamanho: 9 mm



Distância: 3.000 m - Tamanho: 10 mm



Distância: 4.000 m - Tamanho: 16 mm



Distância: 5.000 m - Tamanho: 15 mm



Distância: 6.000 m - Tamanho: 13 mm



Distância: 7.000 m - Tamanho: 15 mm



Distância: 8.000 m - Tamanho: 13 mm



Distância: 9.000 m - Tamanho: 21 mm



Distância: 10.000 m - Tamanho: 18 mm

Figura 77 - Escala padrão de desgaste artificial do topázio imperial de Cachoeira do Campo.

Em seguida, são mostrados os detalhes da Lavra do Cipó (1), do Córrego Cipó (2) e Rio Maracujá (3), respectivamente (Fig. 78a e 78b) no Distrito de Cachoeira do Campo.

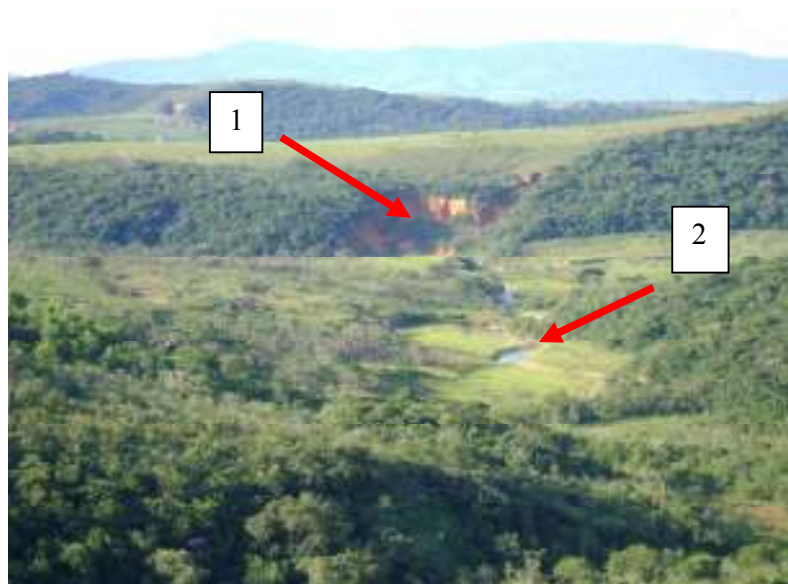


Figura 78a - Vista geral da Lavra do Cipó (1) e do Córrego Cipó (2).



Figura 78b – Vista geral do Rio Maracujá.

## 6 - MODELAMENTO MATEMÁTICO

Com o objetivo de se criar um modelamento matemático que representasse as curvas de desgaste peso por tempo, em parceria com o CEFET/MG, foi estudado o comportamento destas curvas.

A primeira conclusão a que se chegou é que, como os gráficos apresentam o mesmo desenvolvimento da curvatura, então elas podem, genericamente, ser representadas por:

$$y = 1 / \log x$$

Sabe-se que (Fig. 79):

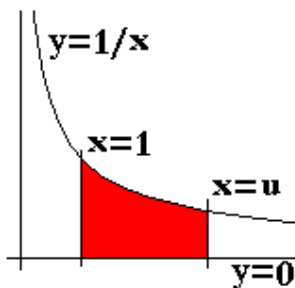


Figura 79 – Curva da função  $y = 1/\log x$ .

A área em vermelho representa o logaritmo natural de u, denotado por  $\text{Ln}(u)$ . Em função do gráfico, na Fig. 79, usa-se a definição:

$$\text{Ln}(u) = \text{área}(1, u)$$

Se  $u > 1$ , a região possuirá uma área bem definida, mas tomando  $u = 1$ , a região se reduzirá a uma linha vertical (que não possui área, ou seja, possui área nula) e neste caso tomando-se  $\text{Ln}(1) = \text{área}(1, 1)$ . Assim:

$$\text{Ln}(1) = 0$$

Quando aumenta-se os valores de u, esta função também aumenta os seus valores, o que significa que esta função é crescente para valores de  $u > 0$ .

Inicialmente foi escolhida, como exemplo, a curva de desgaste da água marinha de Brejaúba, para desenvolver o modelamento matemático para tal curva. Chegou-se a conclusão que, para esta curva a fórmula seria:

$$y = 0,55/\text{Log}(75 \times \text{Tempo}) + 7,461 \text{ ou } y = \triangle T / \text{Log}(K_1 \times \text{Tempo}) + K_2$$

onde

$\triangle T$  = intervalo de tempo de cada “rodagem no *tumbler*”

$K_1$  = número de intervalos de tempo usados

$K_2$  = peso que a amostra teria quando a curva encontrar o eixo “X”

Assim obteve-se uma curva de cor vermelha ideal, sob o ponto de vista da matemática (denominada logaritmo), sobre a curva azul que representa o desgaste artificial da água marinha de Brejaúba, desenvolvida em laboratório (denominada curva de perda de peso). Desta curva vermelha chegou-se ao modelamento matemático para a curva da água marinha de Brejaúba (Fig. 80).

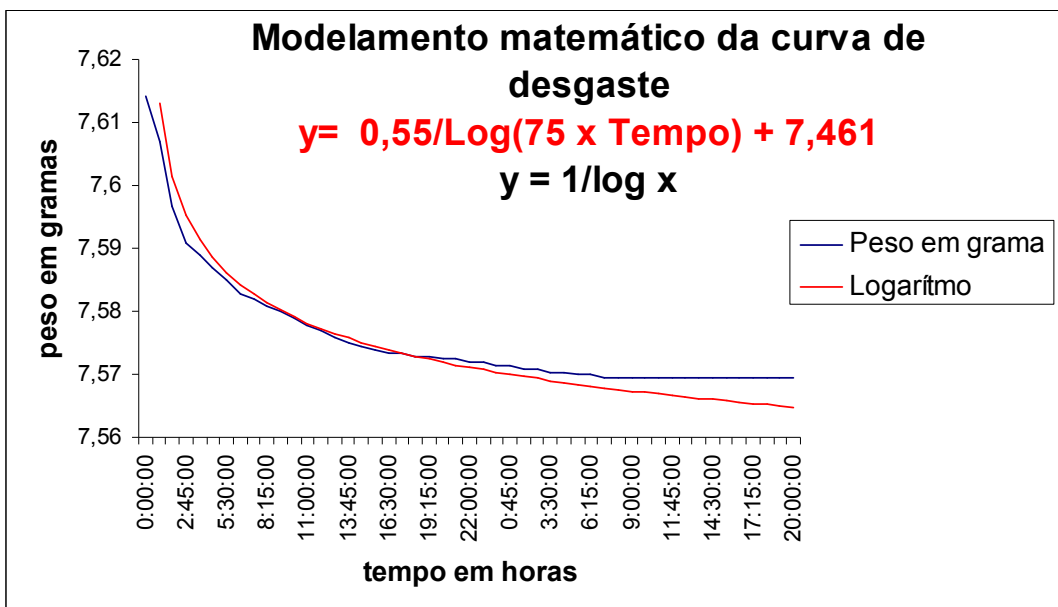


Figura 80 - Modelamento matemático da água marinha de Brejaúba.



## 7 - CONCLUSÕES

Em função dos experimentos realizados podemos concluir que todas os minerais gemológicos apresentam um mesmo comportamento no seu desgaste em sistema fluvial, ou seja, um desgaste maior nas primeiras centenas de metros e em seguida uma tendência à estabilização no seu desgaste. Sendo assim a curva de desgaste dos minerais-gemas é representada por  $y = 1/\log x$  onde  $y$  é a perda de peso da amostra ao longo do sistema fluvial e  $x$  a distância percorrida pela amostra ou o tempo em que ela permanece se desgastando.

Os minerais gemológicos bem cristalizadas, com faces perfeitas (cristais euédricos) têm uma maior resistência ao desgaste fluvial que as amostras sem faces definidas (cristais anédricos), sendo que as últimas se desgastam mais rapidamente que as primeiras. Para se chegar a esta conclusão foram testadas amostras de monocristais e cristais geminados de crisoberilo, água marinha hexagonal e maciça, granada, do tipo almandina euédrica e anédrica e turmalina, do tipo schorlita, euédrica e anédrica sendo que em todos os testes as amostras com número maior de faces (euédrica) se desgastaram menos que as amostras sem faces definidas (anédrica), devendo-se este fato ao maior coeficiente hidrodinâmico das amostras euédricas.

Minerais gemológicos com defeitos cristalográficos ou com impurezas gemológicas se desgastam mais rapidamente que amostras do mesmo mineral que sejam puros ou bem cristalizados. Chegou-se a esta conclusão utilizando amostras de alexandrita (variedade gemológica de crisoberilo) pura e com defeitos cristalográficos, ametista e citrino (variedades de quartzo) obtido pelo tratamento térmico da ametista, granada, do tipo almandina alterada e gemologicamente pura e cristal de estaurolita e com defeitos cristalográficos. Todos os minerais que apresentam defeitos cristalográficos ou impurezas gemológicas se desgastaram mais rapidamente que as amostras correspondentes bem cristalizadas e sem impurezas gemológicas.

Minerais gemológicos apresentam desgastes fluviais diferenciados conforme a composição de sedimentos existente nas drenagens. Através do testes de variação de classes granulométricas foi possível observar que as amostras de granada ( $d = 4,2$ ) se desgastam mais em 100% de areia, provavelmente em função de seu peso específico mais elevado que dos outros minerais-gemas testados. Já o citrino ( $d = 2,65$ ), a ametista ( $d = 2,65$ ), o topázio ( $d = 3,4$ ) e o crisoberilo ( $d = 3,7$ ) sofreram maior desgaste na classe granulométrica composta por 20% de argila/silte, 60% de areia e 20% de cascalho.

Após vários testes de simulação de desgaste de minerais-gemas em laboratório, pode-se chegar à conclusão que a cada 1.000m da amostra desgastada no *tumbler*, existe uma correspondência de em torno de 10% no sistema fluvial, assim a cada 1.000m que a amostra percorre dentro do *tumbler*, correspondem a 100m da gema desgastada no sistema fluvial.

Quanto ao estudo de casos da água marinha de Tatu (Município de Itauninha), ametista e água marinha de Brejaúba (na divisa de Ferros e Santa Maria do Itabira) e topázio imperial de Cachoeira do Campo (Distrito de Ouro Preto), todas as regiões em Minas Gerais, conclui-se que é perfeitamente possível simular o desgaste fluvial dos minerais gemológicos em laboratório, e quanto maior o domínio das variáveis envolvidas no processo, mais próximo os resultados do laboratório estarão do sistema fluvial. Foi possível criar padrões de desgaste em laboratório para os minerais-gemas dos estudos de casos de Tatu, Brejaúba e Cachoeira do Campo, sendo que tais padrões mostram uma correspondência bastante próxima, em termos de desgaste superficial, com as amostras obtidas no sistema fluvial

# Prancha 1 – Água Marinha de Tatu – Comparação do desgaste natural (Sistema Fluvial – S.F.) com o artificial (*Tumbler* – Tu.)



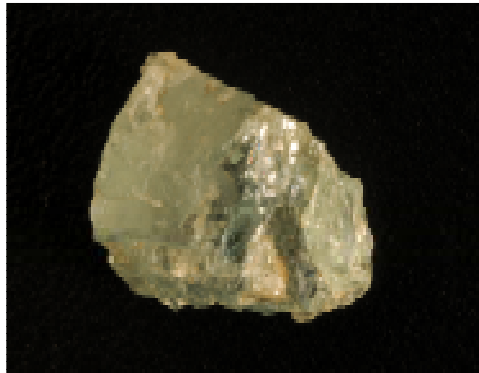
Água marinha - 200m S.F.  
(Aumento de 20x).



Água marinha -200m Tu.  
(Aumento de 40x).

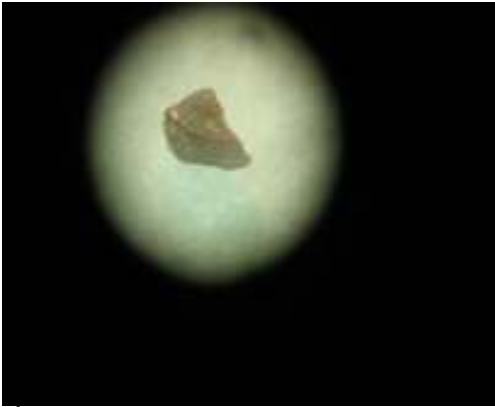


Água marinha - 800m S.F.  
(Aumento de 20x).



Água marinha -800m Tu.  
(Aumento de 40x).

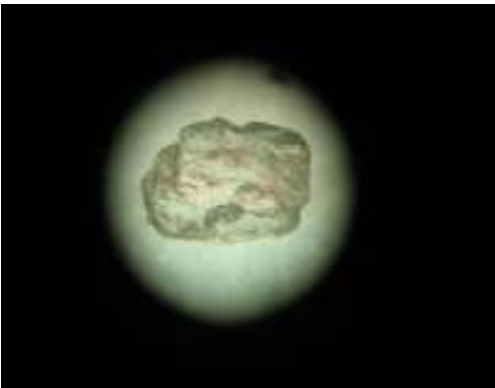
## Prancha 2 – Água Marinha de Brejaúba – Comparação do desgaste natural (Sistema Fluvial – S.F.) com o artificial (*Tumbler* – Tu.)



Água marinha – 1.500m S.F.  
(Aumento de 20x).



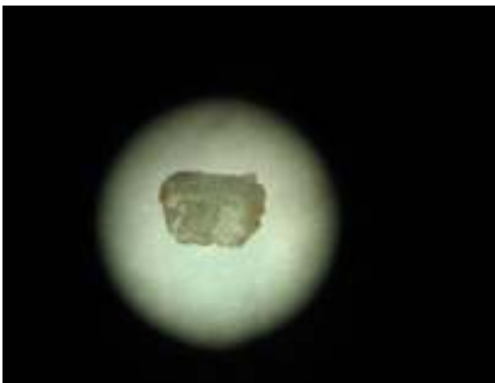
Água marinha – 1.500m Tu.  
(Aumento de 40x).



Água marinha – 2.500m S.F.  
(Aumento de 20x).



Água marinha – 2.500m Tu.  
(Aumento de 40x).



Água marinha – 3.000m S.F.  
(Aumento de 20x).



Água marinha – 3.000m Tu.  
(Aumento de 40x).

### **Prancha 3 – Topázio Imperial de Cachoeira do Campo – Comparação do desgaste natural (Sistema Fluvial – S.F.) com o artificial (*Tumbler* – Tu.)**



Topázio imperial – 1.000m S.F.  
(Tamanho natural 0,5cm).



Topázio imperial – 1.000m Tu.  
(Aumento de 40x).



Topázio imperial – 3.000m S.F.  
(Tamanho natural 0,6cm).



Topázio imperial – 3.000m Tu.  
(Aumento de 40x).



Topázio imperial – 4.000m S.F.  
(Tamanho natural 1cm).



Topázio imperial – 4.000m Tu.  
(Aumento de 40x).



Topázio imperial – 8.000m S.F.  
(Aumento de 20x).



Topázio imperial – 8.000m Tu  
(Aumento de 40x).



Topázio imperial – 10.000m S.F.  
(Aumento de 20x).



Topázio imperial – 10.000m Tu.  
(Aumento de 40x).

## 8 -BIBLIOGRAFIA

### 8.1- Bibliografia consultada:

- Chaves, M.L.S.C & Svisero, D.P. 1999. Diamantes de Minas Gerais: Qual terá sido o caminho das pedras? *Ciência Hoje*, **25** (150):22-29.
- Chaves, M.L.S.C., Karfunkel, J., Medeiros, A.B., Scholz, R. 2002. Prospecção aluvionar aplicada a alguns minerais gemológicos de Minas Gerais: diamante, crisoberilo e topázio. *Revista Escola de Minas. Ouro Preto, M.G.*, **55**:1-13.
- Coimbra, A.M. 1976. Arenitos da Formação Bauru: Estudo de Área Fonte. Dissertação de Mestrado, Inst. Geociências/USP. 2 vols.
- Correns, A.B. 1931. Rates of wear of common minerals. *Washington Univ. Stud. Sci. Tech.*, **5**: 80.
- Freise, F.W. 1931. Untersuchungen von Mineralien auf Abnutzbarkeit bei Verfrachtung in Wasser. *Miner. und Petr. Mitt.*, **41**:1-6.
- Gandini, A.L. 1994. Mineralogia, Inclusões Fluidas e Aspectos Genéticos do Topázio Imperial da Região de Ouro Preto, Minas Gerais. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Mineralogia e Petrologia da Universidade de São Paulo. S.P. 189p.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE 1980 – Carta do Brasil, folha SE-23-Z-D-II, MI-2537, Ipatinga, Escala 1:100.000. 1 ed.
- Karfunkel, J. & Wegner, R. 1993. Das Alexandritvor Kommen von Esmeralda de Ferros, Minas Gerais, Brasilien. *Gemmologie*, **42**(1):7-15.
- Kuenen, P.H. 1956. Rolling by current, Pt 2 of experimental abrasion of pebbles. *Rolling by current. Jour. Geol.*, **64**:336-368.
- Lansdown, A.R. & Price, A.L. 1986. *Materials Engineering Practice*. Library of Congress Wheaton & Co. Ltda. Exeter. 13p.
- Martins, L.G. 2001. Caracterização cristalóquímica da água marinha da lavra do Tatu, Itauninha, Minas Gerais. Programa de Pós Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais da UFOP. Ouro Preto, M.G. p.1-51.
- Pereira, R.M. 2003. *Fundamentos de prospecção mineral*. Rio de Janeiro, Editora Interciência. 167p.
- Quintão, N.H. 2005. Relatório dos trabalhos de pesquisa efetuados no local, denominado Retiro Posse, Distrito de Brejaúba, Município de Conceição do Mato Dentro, Estado de Minas Gerais, Processo DNPM 832430/84, M.G. 37p.
- Rolff, P.A.M.A. 1949. O Pegmatito de Brejaúbas ou Lavra da Posse. *Rev. Escola de Minas. Ouro Preto. Ano XIV*, **114** (3):13-16.
- Suguio, K. 1980. *Rochas sedimentares*. 1ª Edição. Editora Edgard Blucher, São Paulo. 500p.

- Sutherland, D.G. 1982. The transport and sorting of diamonds by fluvial and marine processes. *Econ. Geol.*, **77**(7). p.1613-1620.
- Thiel, G. A. 1940. The relative resistance to abrasion of mineral grains of sand. *Journ. Sed. Petrol.*, **10**:103-124.
- Victor, A.E. & Victor, L.M. 1959. *Gem tumbling* 9<sup>th</sup> Ed. V.A. Shop, Washington. 54p.
- Wentworth, C.K. 1919. A laboratory and field study of cobble abrasion. *Journ. Geol.*, **25**:507-522.
- Wentworth, C.K. 1922b. A field of the shapes of river pebbles. *Bull. U.S. Geol. Surv.*, **730**:103-114.
- Wentworth, C.K. 1931. The mechanical composition of sediments in graphic form. *Univ. of Iowa Studies Nat. Hist.*, **14**:127p.

## **8.2- Bibliografia lida e não relacionada:**

- Basílio, M. 1999. A alexandrita de Malacacheta, nordeste de Minas Gerais – Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Evolução Crustal e recursos Minerais da UFOP. Ouro Preto, M.G. 123p.
- Campos, J.E.G. 1999. O transporte de diamante por sistemas fluviais a longas distâncias: uma visão crítica. UNB, Instituto de Geociências, Departamento de Geoquímica. Brasília. Manuscrito A-927:6.
- Karfunkel, J., Quéméneur, J., Krambrock, K., Pinheiro, M. & Dias, G.O. 2002. Gemstones from the region north of Araçuaí. Minas Gerais. Brazil. Occurrences, characteristics and treatment possibilities. *Z.Dt.Gemmol.Ges.*, **51**(4):171-184.
- Krinsley, D.H. & Doornkamp, J.C. 1973. *Atlas of quartz sand surface textures*. Cambridge. At The Univ. Cambridge. 91p.
- Kuenen, P.H. 1958. Some experiments of fluvial rounding. *Proc. Koninkl. Nederl. Akad. Wetensch., Ser. B.*, **61**:47-53.
- Kuenen, P.H. 1959. Experimental abrasion. Pt 3. Fluvial action on sand. *Amer. Journ. Sci.*, **257**: 190-192.
- Kuenen, P.H. 1960a. Experimental abrasion of sand grains. 21<sup>st</sup> Sess. Intl. Geol. Congr. Norden. p.172-191.
- Kuenen, P.H. 1960b. Experimental abrasion. Pt 4. Eolian action. *Journ. Geol.*, **68**:427-449 .
- Osborne, R.H., Bommer, E.J., Wang, Y.C., Lu, Y. 1993. Application of tumbler experiment using granodioritic grus to examine the character of quartz grain fracture in high gradient streams. *Geol. Soc. of America. Los Angeles, California. Special Paper.* **284**:211-234 .
- Wilks, J. & Wilks, E.M. 1982. Diamond Wear. *Wear*, **81**:329-346.

Wilks J & Wilks .E.M. 1999. Wear and polishing of diamond. Clarendon Laboratory, Oxford, UK.  
p.574-605 .

Yeed, W. 1975. Experimental abrasion of detrital gold. Jour. Research U.S. Geol. Survey., **3**:203-212.