

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

10

**CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS TRAÇOS PARA MINERALOGIA  
QUANTITATIVA**

Renato Augusto Tenguan Higa

EPMI  
TF-2009  
H533c

São Paulo

2009

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

**CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS TRAÇOS PARA MINERALOGIA  
QUANTITATIVA**

Trabalho de Formatura do programa de graduação  
Em Engenharia de Minas da Escola Politécnica

Área de Concentração: Engenharia Mineral

Orientado: Renato Augusto Tengan Higa

Orientador: Prof. Dr. Henrique Kahn

São Paulo

2009

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTA TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.**

Higa, Renato Augusto Tengan

CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS TRAÇOS PARA MINERALOGIA QUANTITATIVA. São Paulo, 16 p., 2009.

Trabalho de Formatura apresentado à Escola Politécnica/USP.  
Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo

Orientador: Kahn, Henrique

TF-2009

H5330

~Lysmo 182 5333

M2009K

DEDALUS - Acervo - EP-EPMI



31700005914

## **Agradecimentos**

Ao Professor Dr. Henrique Kahn e à doutoranda Carina Ulsen por toda a orientação e ajuda nesse projeto.

Às doutoras Maria Manuela Maia Lé Tassinari e Giuliana Ratti, aos mestres André Borges Braz, Liz Zanchetta D'Agostino, Mariane Brumatti e aos mestrandos Daniel Uliana, Juliana Livi Antoniassi e Freud Siegfried Campbell por todo o apoio dado.

A todos os técnicos do Laboratório de caracterização Tecnológica (LCT): Vavá, Juscelino, Ailton, Carlos, Douglas, Erílio, Lino, Ração e Rafael que ajudaram de alguma maneira.

E aos meus amigos que me ajudaram durante todo o projeto: Caio (Xarope), Daniel (Sorín), Guilherme (Potato), Gustav, Jaime, Lucas Bruson, Lucas Sevillano, Renato Iwamoto, Renato Nunes, Rafael França, Renata e Viviane.

# CONCENTRAÇÃO DE MINERAIS TRAÇOS PARA MINERALOGIA QUANTITATIVA

Renato Augusto Tengan Higa  
e-mail: [renatohiga13@terra.com.br](mailto:renatohiga13@terra.com.br)

## RESUMO

A caracterização micromorfológica de minerais traço como os minerais de ouro e platinóides, dentre outros com elevados pesos específicos, usualmente requer a realização de ensaios prévios de concentração através de métodos que empregam diferenças de densidades, como separação em líquidos densos, mesa Mozley, elutriação e hidroseparador. Esta etapa é além de onerosa, também demanda grande tempo de execução.

Destaca-se que o consumo mundial commodities, inclusive Au e Ag, vem aumentando enquanto que a oferta mundial vem diminuindo, motivo pelo qual os preços de metais subiram de forma expressiva nos últimos anos. A conjunção do aumento da demanda, a exaustão das reservas mais ricas e a necessidade crescente de aumento de produtividade e recuperação fomentam o estudo detalhado das associações minerais (mineralogia quantitativa) para um melhor entendimento do comportamento do minério. Dessa forma, a caracterização situa-se como uma ferramenta de grande apoio ao entendimento do processo e minimização das perdas de elemento útil.

O objetivo deste estudo foi estabelecer parâmetros operacionais da elutriação para concentração de minerais traços (Au e Pt, dentre outros) para estudos de caracterização tecnológica e mineralógica, os quais, por sua vez, visam contribuir com o melhor aproveitamento destes recursos minerais. O procedimento experimental envolveu a individualização de minerais de diferentes pesos específicos em frações granulométricas estreitas, composição das amostras em proporções conhecidas, ensaios de elutriação e análises químicas dos produtos obtidos.

Os resultados demonstraram que a elutriação é uma ferramenta eficaz para separação de minerais de diferentes densidades, com elevada recuperação de minerais pesados no produto pesado. Com os dados obtidos foi estabelecida uma correlação entre peso específico x vazão x fração granulométrica ("curva de calibração do equipamento"). Dessa forma o método mostrou-se capaz de substituir a separação em líquidos densos em estudos de caracterização.

**PALAVRAS-CHAVE:** minerais traço, separação por densidade, caracterização tecnológica, elutriação.

## ABSTRACT

The characterization of trace minerals such as gold, platinum minerals and other minerals with high specific gravity usually requires a preconcentration step using mineral separation methods like heavy liquids, the Mozley Laboratory Mineral Separator, elutriation or hydroseparator. This step is expensive and timing consuming.

The world consumption of commodities, including Au and Ag is increasing as long as the global supply is decreasing, motive why these metals prices grew so much in the recent years. The increase of the demand, the exhaustion of mineral reserves and the crescent need of productivity increase and metallurgical recovery motivate the the study of minerals associations for a better understanding of the ore behavior. The characterization stands as a valuable support to understand the process and minimizes the loss of the valuable minerals .

This project aims to define an elutriation procedure for trace minerals concentration (Au and Pt, despite others) for mineralogical and technological characterization studies. The experimental procedure comprised samples compound of pure phases in the chosen size fractions, elutriation tests and chemical analysis of the products to calculate recoveries.

The results showed that elutriation is an effective tool to separate minerals from different densities, with high recovery of the heavy minerals in the sunk product. With the results obtained it was possible to establish a correlation between high specific gravity, water flow and fraction sizes (elutriator calibration curves). The method was efficient to the proposed purpose and capable of replacing heavy liquids separation in technological characterization studies.

**KEY-WORDS:** trace minerals, density concentration, technological characterization, elutriation.

# SUMÁRIO

Pag.

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                | 5  |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                                                     | 1  |
| 2.1 Elutriador .....                                                              | 1  |
| 2.2 Separador Mozley .....                                                        | 4  |
| 2.3 Hidroseparator.....                                                           | 5  |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS .....                                                      | 6  |
| 3.1 Elutriação .....                                                              | 6  |
| 3.2 Separador Mozley .....                                                        | 7  |
| 3.3 Amostras estudadas.....                                                       | 7  |
| 3.4 Procedimento Experimental.....                                                | 8  |
| 3.4.1 Geração de minerais puros.....                                              | 8  |
| 3.4.2 Composição das amostras .....                                               | 9  |
| 3.5 Ensaio de elutriação .....                                                    | 9  |
| 3.6 Elutriadores utilizados.....                                                  | 9  |
| 3.7 Análise química.....                                                          | 10 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                   | 10 |
| 4.1 Composição das fases do produto pesado.....                                   | 12 |
| 4.2 Correlação entre as vazões calculadas e as vazões utilizadas nos ensaios..... | 12 |
| 5. CONCLUSÕES.....                                                                | 16 |

## Anexos

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo1 – Teores dos produtos e alimentação da elutriação e sua distribuição..... | 18 |
| Anexo 2 – Análise química dos produtos da Mesa Mozley .....                      | 20 |
| Anexo 3 - Composição de fases do produto pesado da elutriação.....               | 21 |
| Anexo 4 - Correlação entre vazão calculada e vazão ensaiada.....                 | 22 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Desenho esquemático de um elutriador (SAMPAIO e TAVARES, 2005) .....                                                                   | 2  |
| Figura 2 - Relação entre coeficiente de arraste e número de Reynolds para partículas esféricas individuais (SAMPAIO e TAVARES, op. cit.).....     | 3  |
| Figura 3 - Componentes da Mesa Mozley (SAMPAIO e TAVARES, op. cit.).....                                                                          | 5  |
| Figura 4 - Modo de operação da Mesa Mozley (BURT, 1984) .....                                                                                     | 5  |
| Figura 5 – Desenho esquemático de um hidroseparador (RUDASHEVSKY, N.S., GARUTI, ANDERSEN, KRETZER, RUDASHEVSKY, V.N. e ZACCARINI, op. cit.) ..... | 6  |
| Figura 6 - Elutriador projetado para os estudos .....                                                                                             | 6  |
| Figura 7 - Mesa Mozley utilizado nos estudos .....                                                                                                | 7  |
| Figura 8 – Fases presentes nas amostras compostas .....                                                                                           | 8  |
| Figura 9 – Imagens em MEV, amostra E1 .....                                                                                                       | 15 |
| Figura 10 – Imagens em MEV, amostra P1 .....                                                                                                      | 15 |
| Figura 11 – Imagens em MEV, amostra J1.....                                                                                                       | 15 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Fases e respectivos pesos específicos e proporções.....                            | 7  |
| Tabela 2 - Composição das amostras por fase em cada fração .....                              | 9  |
| Tabela 3 - Diâmetros e áreas transversais dos elutriadores.....                               | 9  |
| Tabela 4 - Porcentagem em massa de produto pesado de cada ensaio para diferentes vazões ..... | 11 |
| Tabela 5 – Equação de correlação entre vazão e peso específico .....                          | 13 |
| Tabela 6 – Equação de correlação entre vazão e peso específico .....                          | 14 |



## 1. INTRODUÇÃO

Dentre os métodos de separação de minerais por densidade em laboratório o que possui resultados mais precisos é a separação em líquidos com diferentes densidades, conhecida como separação em líquido denso ou ensaio de afunda-flutua (SAMPAIO e TAVARES, 2005). O procedimento do ensaio consiste em colocar a amostra em um recipiente com um líquido de densidade conhecida, obtendo-se dois produtos: um flutuado e um afundado. A depender do interesse do estudo, este será coletado e separado novamente em um líquido que possua uma densidade maior e assim sucessivamente para determinação da curva de separabilidade por densidade.

Ressalta-se que os líquidos densos são tóxicos, por isso os ensaios devem ser realizados em ambientes adequados, como capela com exaustor, além da devida proteção do operador com máscara para vapores tóxicos e luvas (EPI). A limitação da técnica deve-se ao fato de que a densidade dos líquidos mais comuns (tetrabromoetano, TBE e bromofórmio) não ultrapassa  $2,95 \text{ g/cm}^3$ , e também ao seu elevado valor comercial.

No presente estudo o objetivo geral da elutriação é concentrar os minerais pesados para estudos de caracterização das associações dos mesmos em MEV (microscópio eletrônico de varredura) para mineralogia quantitativa, definição de associações mineralógicas e caracterização de micromorfologia, como também para estudos de concentração de minerais pesados visando avaliar, por exemplo, a presença de ouro gravítico.

A elutriação figura como uma alternativa de grande interesse e aplicabilidade para separações em densidades mais elevadas. O elutriador é um equipamento relativamente simples e de fácil operação. A alimentação de um fluido, normalmente água, é feita na parte inferior de um tubo e a alimentação da polpa de material na porção intermediária ou superior do tubo (SAMPAIO e TAVARES, 2005); a separação ocorre à medida que o fluido, com movimento ascendente e vazão constante dentro do elutriador, interage com a amostra em movimento descendente; a segregação do material procede em função das diferentes velocidades de sedimentação. As partículas mais leves terão velocidade de queda menor do que a velocidade do fluido e serão, portanto, dirigidas à parte superior de transbordo, enquanto que as partículas de maior densidade sedimentação, constituem o produto afundado.

A elutriação também pode ser feita para classificação por tamanho, desde que as densidades dos materiais sejam próximas (amostras com poucos minerais), assim as velocidades de queda, diretamente relacionadas ao comportamento hidráulico da partícula, dependerão do tamanho e forma de cada partícula e não da densidade (já que são próximas).

Ensaio sucessivos de elutriação foram conduzidos em 10 frações granulométricas compostas com 6 diferentes minerais/produtos com densidades variáveis de  $2,65$  a  $11,3 \text{ g/cm}^3$  em vazões ascendentes, variando de  $25$  a  $1200 \text{ L/h}$ , objetivando-se a individualização destes minerais/elementos, para cada vazão. Todos os produtos da separação foram analisados por fluorescência de raios X para o estabelecimento das curvas de recuperação por vazão, para cada densidade considerada.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Elutriação

Na elutriação (Figura 1), a preparação da amostra é uma etapa fundamental, visto que a eficiência da separação depende fundamentalmente da homogeneidade da amostra em termos de tamanho e forma das partículas. Segundo Sampaio e Tavares (op. cit.) a amostra deve ser peneirada de modo que diferença entre tamanhos mínimo e máximo de partículas seja inferior a  $\sqrt{2}$  (série Tyler de peneiras), para se obter uma faixa granulométrica estreita de modo que a única variável do sistema seja a densidade das partículas. Dessa forma, evita-se a presença no produto afundado (produto de interesse) de partículas leves de tamanho maior, que podem ter a mesma velocidade de sedimentação da partícula pesada de menor tamanho.

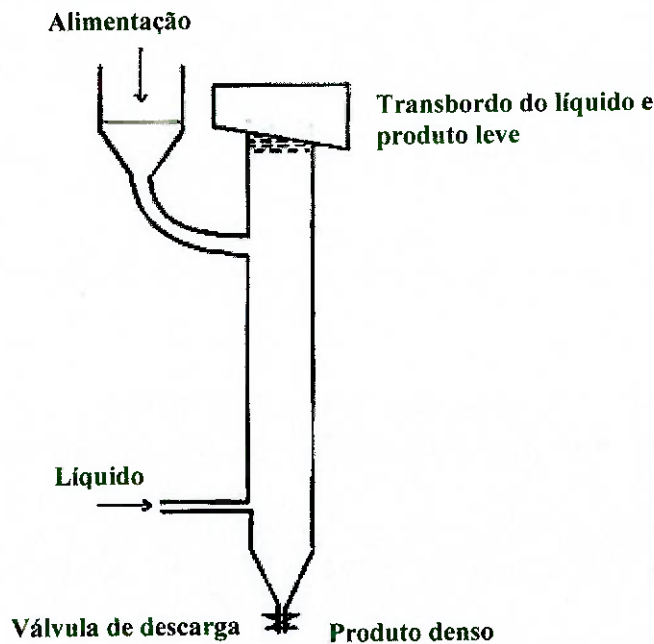


Figura 1 – Desenho esquemático de um elutriador (SAMPAIO e TAVARES, 2005)

O ensaio inicia-se com a abertura da válvula de um fluido com uma vazão constante, seguida da alimentação cautelosa do material em polpa para que as partículas sejam aleatoriamente dispersas, sem sofrerem interferência umas das outras (arrasto). Este procedimento é decisivo para a eficiência da separação.

Para um dado intervalo granulométrico as partículas de menor peso específico apresentam menor velocidade de sedimentação e, por isso, serão arrastadas com o fluido, transbordando pela parte superior (*overflow*) constituindo o “produto leve”. Por outro lado as partículas de maior peso específico não são arrastadas pelo fluido ascendente e decantam em direção ao fundo do equipamento (*underflow*), formando o “produto pesado”.

A densidade de separação pode ser calculada (SAMPAIO e TAVARES, op. cit.) segundo a (Equação 1), e será equivalente à razão entre a vazão de alimentação do fluido ( $Q$ ) e da área da seção transversal do tubo ( $A$ ), assim a velocidade média superficial do fluido  $v$  é dada pela (Equação 2).

$$\rho_s = \rho_f + \left( 1 + \frac{3 \cdot v^2 \cdot C_D}{4 \cdot g \cdot d_p} \right) \quad (\text{Equação 1})$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{Equação 2})$$

sendo:  $\rho_s$  - peso específico da partícula;  $\rho_f$  - peso específico do fluido;  $C_D$  - coeficiente de arraste;  $g$  - aceleração da gravidade;  $d_p$  - diâmetro equivalente da partícula.

A partir das Equações 1 e 2, o único parâmetro desconhecido é o coeficiente de arraste ( $C_D$ ) que está relacionado à força de resistência fluidodinâmica oriunda de dois fenômenos básicos: arraste superficial e arraste de forma.

O arraste superficial, também chamado de resistência viscosa, é o atrito do escoamento do fluido sobre a superfície da partícula. Depende do regime de escoamento, onde as partículas se encontram envolvidas por camadas de fluido, que podem estar estagnadas, chamada camada limite, assim causando atrito por cisalhamento. Portanto, quanto maior a viscosidade do fluido e sua velocidade relativa, maior será o arraste superficial (SAMPAIO e TAVARES, op. cit.).

O arraste de forma se deve ao aumento de pressão gerado na parte frontal da partícula devido ao seu movimento pelo fluido, sendo que ao mesmo tempo tem-se uma região de baixa pressão na parte posterior da partícula. Essa diferença de pressão resulta na força de arraste que o fluido exerce sobre a partícula.

Os dois tipos de arraste variam em função de:

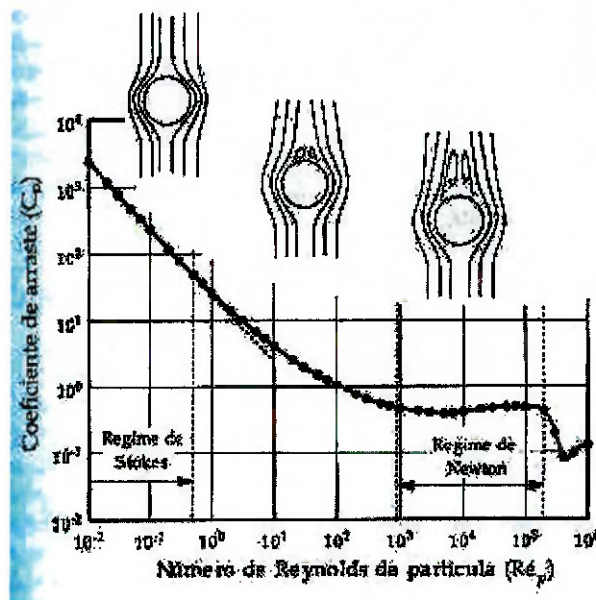
- velocidade relativa entre partícula e fluido;
- a densidade do fluido;
- morfologia da partícula (tamanho, forma e rugosidade);
- o gradiente de velocidades do fluido não perturbado pela presença da partícula;
- a proximidade de superfícies rígidas ou outras partículas;
- aceleração da partícula em caso de movimento não uniforme.

Na literatura, através de vários resultados de experimentos, verificou-se que o coeficiente de arraste depende essencialmente do regime de escoamento (SAMPAIO e TAVARES, op. cit.), que pode ser caracterizado através do número de Reynolds (adimensional, (Equação 3)).

$$Re_p = \frac{d_p \cdot v_\infty \cdot \rho_f}{\mu} \quad (\text{Equação 3})$$

sendo:  $v_\infty$  - velocidade de aproximação da partícula em movimento uniforme em um fluido infinito;  
 $\mu$  - viscosidade do fluido.

A relação entre número de Reynolds e coeficiente de arraste define quatro regiões de regimes de escoamento, conforme ilustrado na Figura 2.



| Regime                 | $Re_p$                        |
|------------------------|-------------------------------|
| Stokes                 | $Re_p < 0,5$                  |
| intermediário          | $0,5 < Re_p < 10^3$           |
| Newton                 | $10^3 < Re_p < 2 \times 10^5$ |
| crítico e supercrítico | $Re_p \geq 2 \times 10^5$     |

Figura 2 - Relação entre coeficiente de arraste e número de Reynolds para partículas esféricas individuais (SAMPAIO e TAVARES, op. cit.)

No regime de Stokes a relação entre o número de Reynolds e coeficiente de arraste se aproxima de uma reta que pode ser estimada segundo a (Equação 4).

$$C_D = \frac{24}{Re_p} \quad (\text{Equação 4})$$

Para o número de Reynolds no regime intermediário, o fluido não consegue contornar suavemente a partícula como no regime de Stokes formando vórtices. Para este regime não há uma equação para determinar o coeficiente de arraste.

No intervalo do regime de Newton as linhas de fluxo deixam de ser suaves e os vórtices são cada vez maiores. O coeficiente de arraste varia entre 0,4 e 0,5, sendo muito usado o valor de  $C_D = 0,44$  (com erro inferior a 25%).

No número de Reynolds crítico ( $2 \times 10^5$ ) ocorre uma mudança na camada limite que passa de laminar para turbulento, assim há uma maior troca de quantidade de movimento entre partícula e fluido. Essas condições não são muito utilizadas nos ensaios de separação de minerais (SAMPAIO e TAVARES, op. cit.).

Uma equação aplicada ao regime de Stokes, regime intermediário e parte do regime de Newton ( $Re < 2 \times 10^4$ ) é uma equação proposta por Almendra (1979), (Equação 5):

$$C_D = 0,28 \cdot \left( 1 + \frac{9,06}{Re_p^{1/2}} \right)^2 \quad (\text{Equação 5})$$

Com a determinação do coeficiente de arraste por Almendra pode-se estimar a vazão necessária para uma separação por densidade através da velocidade terminal de sedimentação das partículas como o parâmetro principal de determinação da densidade de corte da separação.

Uma primeira aproximação da velocidade de sedimentação da partícula para cada amostra de uma determinada fração granulométrica em uma separação para uma densidade aproximada foi utilizado o Método de Almendra (op. cit), pois engloba diferentes regimes de operação, sendo parte de Newton, sendo o regime intermediário e o regime de Newton com  $Re < 2 \times 10^4$  as regiões onde se encontram os ensaios realizados. Este método é descrito pelas equações (Equação 6, (Equação 7e (Equação 8.

$$d_p^* = \left[ \frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot \rho_f \cdot b}{3 \cdot \mu^2} \right]^{1/3} \cdot d_p \quad (\text{Equação 6})$$

$$v_\infty^* = \frac{20,52}{d_p^*} \cdot \left[ \left( 1 + 0,0921 \cdot d_p^{*3/2} \right)^{1/2} - 1 \right]^2 \quad (\text{Equação 7})$$

$$v_\infty = \left[ \frac{4 \cdot (\rho_s - \rho_f) \cdot \mu \cdot b}{3 \cdot \rho_f^2} \right] \cdot v_\infty^* \quad (\text{Equação 8})$$

sendo:  $\rho_s$  - peso específico da partícula;  $\rho_f$  - peso específico do fluido;  $d_p$  - diâmetro equivalente da partícula;  $b$  - intensidade do campo externo;  $\mu$  - viscosidade do fluido.

Primeiramente, se utiliza a (Equação 6) para calcular o tamanho de partícula adimensional ( $d_p^*$ ). Em seguida substitui-se o  $d_p^*$  na (Equação 7) obtendo-se uma velocidade adimensional ( $v_\infty^*$ ) e, finalmente através da (Equação 8) calcula-se a velocidade terminal de sedimentação da partícula isolada ( $v_\infty$ ).

## 2.2 Separador Mozley

Outro equipamento utilizado em separações por densidade é a mesa Mozley ou separador Mozley de laboratório (Figura 3). Trata-se de um equipamento de laboratório composto de uma bandeja plana ou em forma de V, levemente inclinada na horizontal, que oscila em um movimento harmônico simples, como se fosse uma bacia para concentrar minerais pesados. O nivelamento do equipamento é importantíssimo para se obter uma elevada eficiência na separação (BURT, 1984).

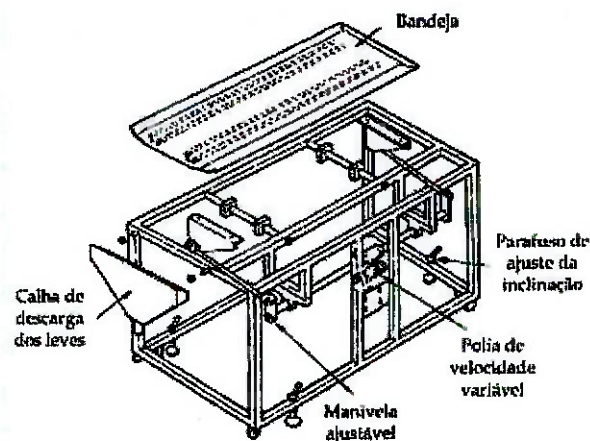


Figura 3 - Componentes da Mesa Mozley (SAMPAIO e TAVARES, op. cit)

A amostra com massa da ordem de 50 a 100g umedecida (SAMPAIO e TAVARES, op. cit.) é colocada na parte mais alta e central da bandeja. As partículas mais pesadas se concentram na parte inferior do leito enquanto que as leves são carregadas pela água de lavagem na direção da inclinação da bandeja rumo à descarga do produto leve. Após um período de tempo determinado, a separação é encerrada pelo fechamento da água de lavagem e de irrigação e desligamento do separador. A bandeja e a calha devem ser lavadas e então o produto pesado é retirado da bandeja (esquema apresentado na Figura 4).

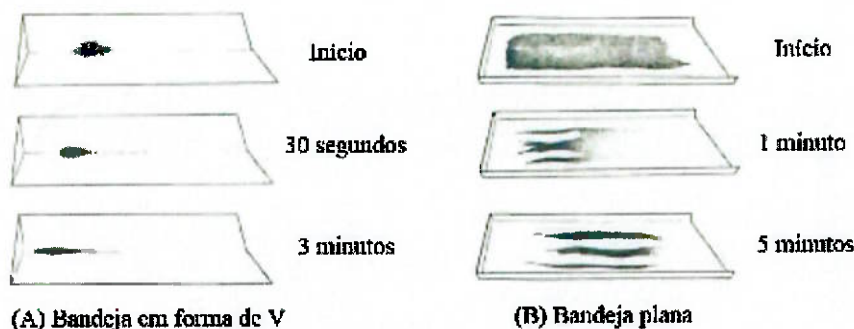


Figura 4 - Modo de operação da Mesa Mozley (BURT, 1984)

Os parâmetros que podem ser controlados na operação são: o tipo e a inclinação da bandeja (com menor inclinação separa-se as partículas mais leves), frequência de oscilação de 60 a 110 RPM, amplitude de 6 a 15 mm e a vazão da água de lavagem.

Como uma das principais desvantagens deste equipamento é a grande influência do operador, pois é ele quem decide o momento da parada do ensaio quando o mesmo verifica a separação dos materiais leves e pesados. Desta forma, o método apresenta menor repetitividade entre os ensaios, além de não ser processo contínuo, e a alimentação estar restrita a pequenas quantidades de massa, e o tempo do ensaio ser superior ao da elutrição. Por outro lado, quando operada por um usuário bem treinado, leva a resultados de boa precisão

### 2.3 Hidroseparator

O hidroseparator (Figura 5) é um equipamento desenvolvido mais recentemente para concentração de minerais de elevada densidade e pequena quantidade de massa em apoio a estudos mineralógicos de platinóides e ouro, dentre outros. O equipamento consiste basicamente em um tubo de vidro cilíndrico em forma de L ou J, que é onde ocorre a separação, e um regulador de fluxo de água. A operação consiste em um fluxo de água ascendente e pulsante que faz com que as partículas mais leves fiquem em suspensão no tubo de vidro e sejam descartadas pelo "overflow"; o material pesado se mantém no fundo do tubo (RUDASHEVSKY, N.S., GARUTI, ANDERSEN, KRETZER, RUDASHEVSKY, V.N. e ZACCARINI, 2002).

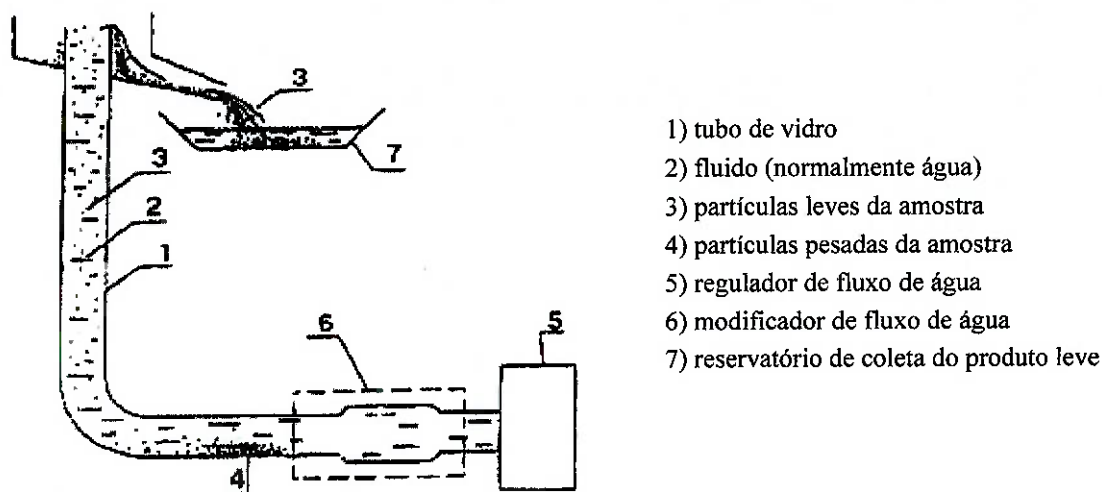




Figura 5 – Desenho esquemático de um hidroseparador (RUDASHEVSKY, N.S., GARUTI, ANDERSEN, KRETZER, RUDASHEVSKY, V.N. e ZACCARINI, op. cit.)

A técnica é bastante sensível à vazão de água e a forma de pulso aplicada no fluxo de água (semelhante a um jigue), sendo que bolhas de ar interferem significativamente no processo. Estudos mostraram uma boa eficiência em amostras com granulometria abaixo de 0,3 mm e com peso específico entre 3 e 20 g/cm<sup>3</sup> (RUDASHEVSKY, N.S., GARUTI, ANDERSEN, KRETZER, RUDASHEVSKY, V.N. e ZACCARINI, 2002).

De acordo com os autores, a massa de material deve se situar entre 100 e 300 g, principalmente para as frações mais finas e o concentrado final deve se situar entre 5 a 20 g. Também é recomendado o uso de dispersantes e/ou o tratamento as amostras com ultra-som para garantir a adequada dispersão das partículas.

A utilização desta técnica para minerais traços é citada por Cabri (2006) na pré-concentração de minerais do grupo dos platinóides com teores de Au-Pt-Pd menores do que 300 ppb.

Pode-se notar que há grandes semelhanças entre o hidroseparador e o elutriador tanto na sua operação quanto ao método de separação e sua construção. Uma característica que difere os dois é que segundo Cabri (op. cit.) o hidroseparador foi muito eficiente em frações muito finas (menores que 45 µm).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Elutriação

O elutriador utilizado foi projetado para que se tivesse um fluxo de água uniforme dentro do tubo de separação, de forma a garantir uma velocidade constante do fluido em toda a seção transversal do equipamento, e evitando a formação de turbilhão na área de alimentação de água ao equipamento. Dessa forma, garante-se maior eficiência do equipamento.

Como pode ser visto na Figura 6, este elutriador possui dois tubos, um interno onde há o fluxo ascendente de água (fluido) como no esquema de um elutriador comum da Figura 1 (de Sampaio e Tavares) e um externo por onde há a entrada da água que desce até a inferior para alimentar o tubo interno (elutriador propriamente dito), onde se dá a separação das fases. A parte inferior do equipamento é onde se coleta o produto pesado, que fica fechado por uma válvula, já o material leve sai pelo transbordo na parte superior do tubo interno, ambos da mesma maneira que no elutriador descrito por Sampaio e Tavares (op. cit.).

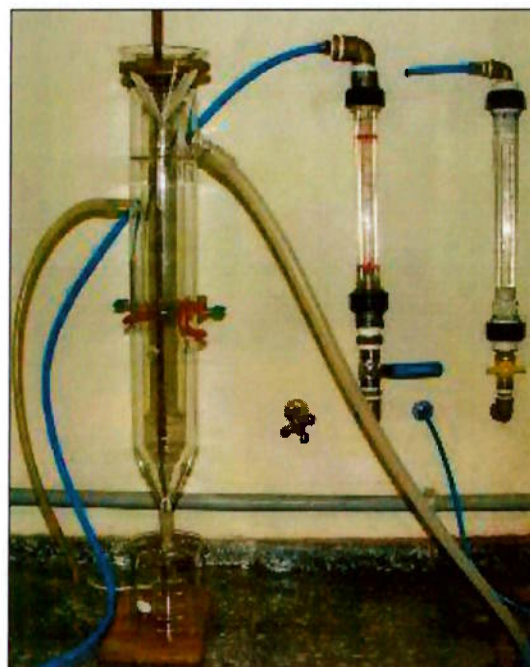
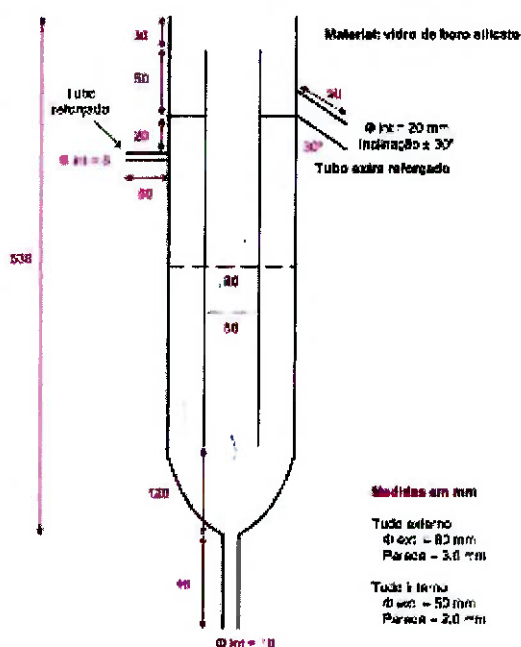


Figura 6 - Elutriador projetado para os estudos

A alimentação é realizada pela porção superior do equipamento por meio de um funil de haste longa que descarrega a amostra próxima à parte central do tubo; dessa forma, as partículas de material sofrem menor influência das paredes do tubo, contribuindo para a melhoria da eficiência da separação.

### 3.2 Separador Mozley

A Mesa Mozley (ou separador Mozley) utilizada é mostrada na Figura 7. A bandeja utilizada foi a de forma em “V”, com água de irrigação e água de lavagem, ambas mantidas constantes para todos os ensaios. Estes foram realizados com amostras semelhantes às feitas no elutriador: mesmas frações e com mesma composição mássica entre as diferentes seis fases. Foi realizado um ensaio para cada fração, mantendo-se constantes as condições de operação do equipamento como: inclinação da bandeja, frequência de oscilação, amplitude de oscilação e vazão de água de lavagem.



Figura 7 - Mesa Mozley utilizado nos estudos

### 3.3 Amostras estudadas

As amostras utilizadas são misturas sintéticas (compostas) para se tentar reproduzir as características de um minério de ouro, prata ou platinóides, contendo quatro minerais com pesos específicos entre 2,5 e 7,0 g/cm<sup>3</sup>; adicionalmente, foi também incluído chumbo metálico. Os pesos específicos e as proporções em massa empregadas são apresentados na Tabela 1.

As porcentagens em massa foram estabelecidas para simular as ocorrências de minerais pesados em minérios auríferos, aqui representado pelo chumbo, que como os platinóides são minerais traços, ou seja, seus teores são da ordem de ppm e apresentam elevado peso específico; os demais minerais presentes tem teores na ordem de %. Fotografias ilustrativas das fases presentes são apresentadas na Figura 8 e referem-se a imagens obtidas em microscópio estereoscópico (lupa), da fração -0,03+0,21 mm e ilustram a composição homogênea das amostras (contaminantes foram previamente removidos).

Tabela 1 - Fases e respectivos pesos específicos e proporções

| Fases       | peso específico (g/cm <sup>3</sup> ) | % mássica |
|-------------|--------------------------------------|-----------|
| Quartzo     | 2,65                                 | 87,9      |
| Fluorita    | 3,0 - 3,2                            | 4,0       |
| Coríndon    | 3,9 - 4,1                            | 4,0       |
| Hematita    | 5,26                                 | 3,0       |
| Cassiterita | 6,4 - 7,1                            | 1,0       |
| Chumbo      | 11,3                                 | 0,1       |





Figura 8 – Fases presentes nas amostras compostas

### 3.4 Procedimento Experimental

#### 3.4.1 Geração de minerais puros

O procedimento experimental realizado compreendeu a geração de minerais puros e peneiramento a úmido em distintas frações granulométricas: 0,84 mm, 0,60 mm, 0,42 mm, 0,30 mm, 0,21 mm; 0,15 mm, 0,105 mm, 0,074 mm, 0,054 mm, 0,037 mm e 0,020 mm.

Esses intervalos foram definidos para se obter frações granulométricas estreitas para um aumento da eficiência da separação por densidade. Todo o material foi cominuído abaixo de 0,84 mm porque raramente tem-se ouro ou platinóides liberados em frações maiores.

Para a geração de minerais puros, aplicou-se a cada amostra um procedimento de purificação distinto adequado às características e/ou impurezas associadas; adicionalmente, efetuaram-se operações de cominuição e peneiramento para geração de massa em todas as frações granulométricas.

O quartzo foi obtido através de amostras de areia comercial lavada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) com granulometria abaixo de 2,4 mm. Estas amostras foram submetidas a peneiramento a úmido. Para a geração das frações mais finas foram necessárias etapas de britagem e moagem em moinho de bolas seguido de peneiramento a úmido.

Os minerais fluorita e hematita, já correspondendo a concentrados puros, passaram por um processo de peneiramento e moagem em circuito fechado para geração de massa nas frações mais finas.

Em relação ao coríndon, após as etapas de peneiramento e moagem, verificou-se que ainda haviam algumas impurezas detectadas através de análise química por fluorescência de raios X. Para a purificação do coríndon foi realizada separação em líquidos densos utilizando-se o tetrabromoetano (TBE; peso específico 2,95 g/cm<sup>3</sup>), sendo o produto pesado o coríndon puro.

Para a cassiterita uma amostra de concentrado ainda contendo impurezas foi processada através de moagem abaixo de 0,42 mm para a liberação da cassiterita seguida de separação eletrostática, de modo a se obter um produto condutor composto unicamente por cassiterita liberada.

Para a amostra de chumbo foi adquirido chumbo granulado. A dificuldade de geração de frações mais finas deve-se à elevada maleabilidade do chumbo, por isso a moagem não é eficiente. A alternativa encontrada foi manter o chumbo



granulado em um moinho de jarros, sem corpo moedor, para moagem autógena. Essa operação é demasiadamente lenta e gera uma fração muito fina (resultante do desgaste dos grânulos), sendo as frações intermediárias mais dificilmente obtidas. Para maior eficiência da operação, foi posteriormente utilizado um moinho planetário. O tempo total da operação (para 500 g) foi superior a 200 horas.

### 3.4.2 Composição das amostras

Com a obtenção dos minerais puros (individualizados), cada fração foi composta segundo proporções apresentadas na Tabela 2, sendo geradas 10 alíquotas por fração granulométrica.

Tabela 2 - Composição das amostras por fase em cada fração

| Fração (mm)    | Massa das fases presentes (g) |          |          |          |             |        | amostra |
|----------------|-------------------------------|----------|----------|----------|-------------|--------|---------|
|                | quartzo                       | fluorita | coríndon | hematita | cassiterita | chumbo |         |
| -0,84 +0,60    | 439,50                        | 20,00    | 20,00    | 15,00    | 5,00        | 0,50   | 500,0   |
| -0,60 +0,42    | 439,50                        | 20,00    | 20,00    | 15,00    | 5,00        | 0,50   | 500,0   |
| -0,42 +0,30    | 219,75                        | 10,00    | 10,00    | 7,50     | 2,50        | 0,25   | 250,0   |
| -0,30 +0,21    | 219,75                        | 10,00    | 10,00    | 7,50     | 2,50        | 0,25   | 250,0   |
| -0,21 +0,15    | 219,75                        | 10,00    | 10,00    | 7,50     | 2,50        | 0,25   | 250,0   |
| -0,15 +0,105   | 131,85                        | 6,00     | 6,00     | 4,50     | 1,50        | 0,15   | 150,0   |
| -0,105 +0,074  | 131,85                        | 6,00     | 6,00     | 4,50     | 1,50        | 0,15   | 150,0   |
| -0,074 + 0,054 | 131,85                        | 6,00     | 6,00     | 4,50     | 1,50        | 0,15   | 150,0   |
| -0,054 +0,037  | 131,85                        | 6,00     | 6,00     | 4,50     | 1,50        | 0,15   | 150,0   |
| -0,037 +0,020  | 131,85                        | 6,00     | 6,00     | 4,50     | 1,50        | 0,15   | 150,0   |

### 3.5 Ensaio de elutriação

As amostras compostas (Tabela 2) foram homogeneizadas e na sequência adicionada foi adicionada água para umedecer a amostra, além disso, foi adicionada pequena quantidade de surfactante (1 ou 2 gotas) com a finalidade de se diminuir a tensão superficial da água, assim facilitando a alimentação da amostra e permitindo a melhor dispersão das partículas.

A alimentação é uma etapa fundamental para garantir elevada eficiência na separação, esta devendo ser realizada com vazão constante ao centro do tubo do elutriador para haja uma dispersão entre as partículas evitando o efeito de arraste e uma vazão constante de água para que as partículas que possuem menor velocidade de sedimentação sejam carregadas pelo fluido (produto leve), enquanto que as de maior velocidade de sedimentação afundem (produto pesado).

### 3.6 Elutriadores utilizados

A maioria dos ensaios de elutriação foi realizada no elutriador denominado Conde, porém este apresenta uma limitação na vazão de alimentação por conta da pressão de água não ser suficiente para atingir vazão adequada para a separação de partículas acima de 0,30 mm. Deste modo, foram empregados mais dois elutriadores de menores diâmetros, a fim de se elevar a velocidade do fluido mesmo com menores vazões.

Os três elutriadores utilizados são denominados Alexis, Alfredo e Conde e seus respectivos diâmetros estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Diâmetros e áreas transversais dos elutriadores

| Características construtivas    | Elutriadores |        |        |
|---------------------------------|--------------|--------|--------|
|                                 | Alfredo      | Conde  | Alexis |
| diâmetro (cm)                   | 3,34         | 4,5    | 3,64   |
| área da seção (m <sup>2</sup> ) | 0,0009       | 0,0016 | 0,001  |

A transformação de vazões para mesma velocidade do fluido entre os elutriadores segue as seguintes equações.

$$v_{\text{fluido}} = \frac{100 \cdot Q}{3600 \cdot 1000} \cdot A \quad (\text{Equação 9})$$

$$Q = \frac{v_{\text{fluido}}}{100} \cdot A \cdot 3600 \cdot 1000 \quad (\text{Equação 10})$$

sendo:  $Q$  - vazão de fluido no elutriador (L/h);  $v_{\text{fluido}}$  - velocidade do fluido (cm/s);

$A$  - Área transversal circular do elutriador ( $m^2$ );

### 3.7 Análise química

Após todos os ensaios, os produtos leves e pesados de cada amostra foram secos em estufa, pesados e enviados à análise química, realizada por fluorescência de raios X em pastilhas prensadas em análise semiquantitativa. Como nas amostras têm-se apenas as fases conhecidas, efetuaram-se apenas da análise de alguns elementos/óxidos indicativos dos conteúdos das fases presentes:  $\text{SiO}_2$  (areia),  $\text{CaO}$  e  $\text{F}$  ( $\text{CaF}_2$  – fluorita),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (coríndon),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematita),  $\text{SnO}_2$  (cassiterita) e  $\text{PbO}$  (chumbo). Os teores destes elementos/óxidos e suas distribuições são apresentadas por fração no Anexo 1 para elutriação e Anexo 2 para a Mesa Mozley.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após cada ensaio de elutriação, os produtos: leve e pesado são recolhidos, levados para estufa para secagem e posteriormente pesados para se determinar o balanço de massa do ensaio a fim de fazer uma análise prévia da separação, já que se conhece a quantidade de material pesado deveria ter após cada vazão utilizada nos ensaios. Os resultados de cada vazão (sendo estas normalizadas para o elutriador Conde, pois foi o elutriador mais utilizado e para efeito de comparação das vazões a serem feitas na mesma base) para as frações granulométricas são apresentadas na Tabela 4

Tabela 4 - Porcentagem em massa de produto pesado de cada ensaio para diferentes vazões

| Fração -0,84+0,6 mm      |      |                                 | Fração -0,15+0,105 mm    |      |                               |
|--------------------------|------|---------------------------------|--------------------------|------|-------------------------------|
| Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Alfredo<br>%M pesado | Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Conde<br>%M pesado |
| 560                      | 9,78 | 37,6%                           | 125                      | 2,18 | 56,5%                         |
| 720                      | 12,6 | 7,06%                           | 145                      | 2,53 | 26,2%                         |
| 880                      | 15,4 | 3,07%                           | 165                      | 2,88 | 11,6%                         |
| 1040                     | 18,2 | 1,66%                           | 205                      | 3,58 | 7,31%                         |
| 1200                     | 21,0 | 0,85%                           | 245                      | 4,28 | 2,25%                         |
|                          |      |                                 | 285                      | 4,98 | 0,89%                         |
| Fração -0,6+0,42 mm      |      |                                 | Fração -0,105+0,074 mm   |      |                               |
| Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Alexis<br>%M pesado  | Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Conde<br>%M pesado |
| 400                      | 6,99 | 47,6%                           | 65                       | 1,14 | 52,1%                         |
| 480                      | 8,4  | 19,7%                           | 85                       | 1,48 | 37,6%                         |
| 560                      | 9,8  | 9,22%                           | 105                      | 1,83 | 24,5%                         |
| 720                      | 12,6 | 3,61%                           | 125                      | 2,18 | 10,1%                         |
| 880                      | 15,4 | 1,81%                           | 145                      | 2,53 | 5,10%                         |
|                          |      |                                 | 185                      | 3,23 | 1,55%                         |
| Fração -0,42+0,3 mm      |      |                                 | Fração -0,074+0,054 mm   |      |                               |
| Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Alexis<br>%M pesado  | Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Conde<br>%M pesado |
| 320                      | 5,59 | 44,7%                           | 45                       | 0,79 | 56,0%                         |
| 400                      | 6,99 | 18,2%                           | 65                       | 1,14 | 21,7%                         |
| 480                      | 8,38 | 7,22%                           | 85                       | 1,48 | 12,4%                         |
| 560                      | 9,78 | 4,21%                           | 125                      | 2,18 | 3,40%                         |
| 720                      | 12,6 | 1,40%                           | 145                      | 2,53 | 1,73%                         |
| Fração -0,3+0,21 mm      |      |                                 | Fração -0,054+0,037 mm   |      |                               |
| Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Conde<br>% M pesado  | Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Conde<br>%M pesado |
| 200                      | 3,49 | 69,9%                           | 25                       | 0,44 | 45,7%                         |
| 240                      | 4,19 | 31,8%                           | 45                       | 0,79 | 33,7%                         |
| 280                      | 4,89 | 15,8%                           | 65                       | 1,14 | 8,33%                         |
| 320                      | 5,59 | 6,94%                           | 85                       | 1,48 | 3,44%                         |
| 400                      | 6,99 | 3,84%                           | 105                      | 1,83 | 1,92%                         |
| 560                      | 9,78 | 1,15%                           |                          |      |                               |
| Fração -0,21+0,15 mm     |      |                                 | Fração -0,037+0,020 mm   |      |                               |
| Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Conde<br>%M pesado   | Vazão (L/h) Veloc (cm/s) |      | Elutriador Conde<br>%M pesado |
| 165                      | 2,88 | 44,6%                           | 25                       | 0,44 | 32,0%                         |
| 185                      | 3,23 | 23,6%                           | 45                       | 0,79 | 18,7%                         |
| 205                      | 3,58 | 11,1%                           | 55                       | 0,96 | 9,08%                         |
| 245                      | 4,28 | 4,98%                           | 65                       | 1,14 | 3,58%                         |
| 285                      | 4,98 | 2,93%                           | 85                       | 1,48 | 1,30%                         |
| 325                      | 5,68 | 1,86%                           |                          |      |                               |

Com os balanços de massa (recuperação de pesados por fração granulométrica, para cada vazão), estabeleceram-se curvas de separabilidade por fração, apresentadas no Gráfico 1. Os resultados de cada fração formaram curvas (ou retas) com inclinações muito próximas, evidenciando um comportamento comum entre as frações, com exceção de alguns pontos nas frações mais finas em que se utilizaram vazões muito baixas, em que não se evidencia este mesmo comportamento. Nas frações 0,074 mm, 0,037 mm e 0,020 mm não se obtiveram retas, pois alguns pontos ficaram deslocados, estes ensaios foram repetidos muitas vezes e seus resultados confirmaram essa diferença em relação às outras frações gerando não retas e sim curvas que para estas frações que parecem ter um mesmo comportamento obtendo curvas parecidas.

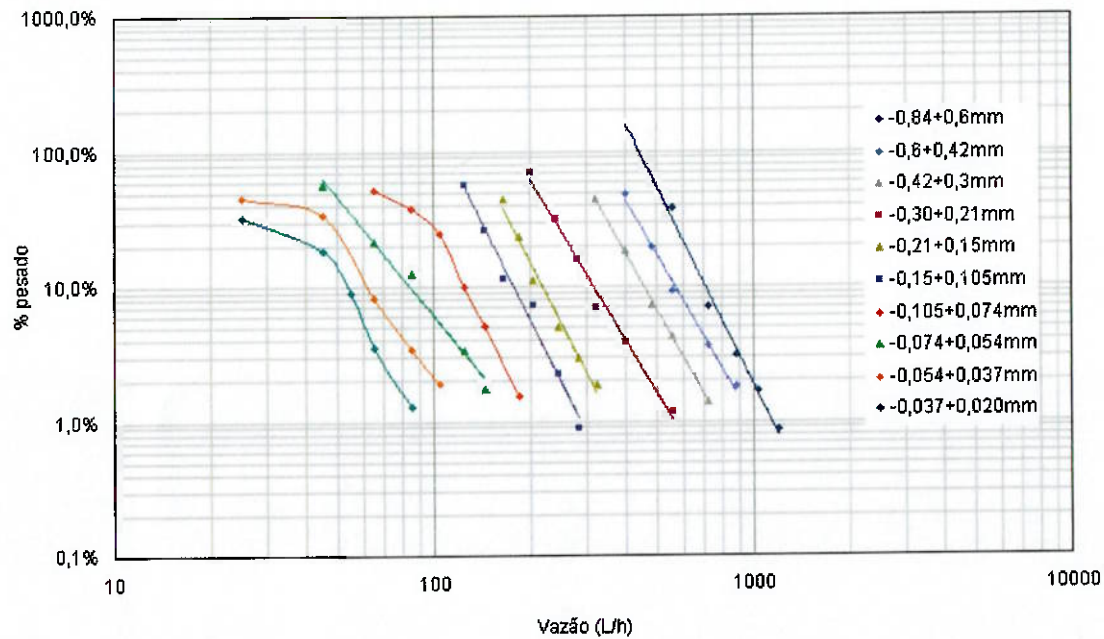


Gráfico 1 - Curvas de separabilidade dos ensaios de elutriação para as diversas frações

#### 4.1 Composição das fases do produto pesado

Após os resultados da análise química, pode-se calcular a composição das fases do produto pesado, apresentada no Anexo 3.

A composição do produto pesado mostrou que para vazões mais altas de cada faixa granulométrica houve diferentes resultados, em que se esperava a separação mais eficiente. As frações acima de 0,15 mm percebe-se que não há presença de quartzo e teor de chumbo acima de 2,1% e ainda nas frações acima de 0,21 mm não há presença de fluorita, que indica que a separação foi mais eficiente, tendo-se uma densidade de corte mais elevada e maior redução de massa no material pesado.

Na fração -0,15 +0,105 mm ainda se têm uma boa separação com presença de quartzo, mesmo que com teor relativamente baixo, porém com teor de chumbo de 2,3%.

Nas frações abaixo de 0,105 mm a separação já não é tão eficiente com baixos teores de chumbo e não conseguindo separar do quartzo, fase mais leve da amostra, apresentando numa densidade de corte abaixo da densidade do quartzo.

#### 4.2 Correlação entre as vazões calculadas e as vazões utilizadas nos ensaios

Durante os primeiros ensaios, foi percebido que as vazões calculadas pelo método de Almendra (Equação 6), (Equação 7) e (Equação 8)) não atendiam as especificações que foram determinadas no cálculo, ou seja, para uma determinada fração e escolhendo-se uma densidade, calculou-se uma vazão de água para o equipamento e após a pesagem dos produtos verificou-se que estava afundando mais material do que o previsto, portanto foi necessário realizar mais ensaios em vazões mais elevadas. Com essas novas vazões foram efetuadas algumas correlações (Anexo 4).

Através da composição de fases do produto pesado e das vazões utilizadas, foi possível levantar dados para traçar o gráfico que permite determinar qual a vazão adequada para separar um material na densidade escolhida para cada intervalo granulométrico (Gráfico 2). Dessa forma, para qualquer minério, é possível determinar a vazão adequada da separação, para uma dada densidade.

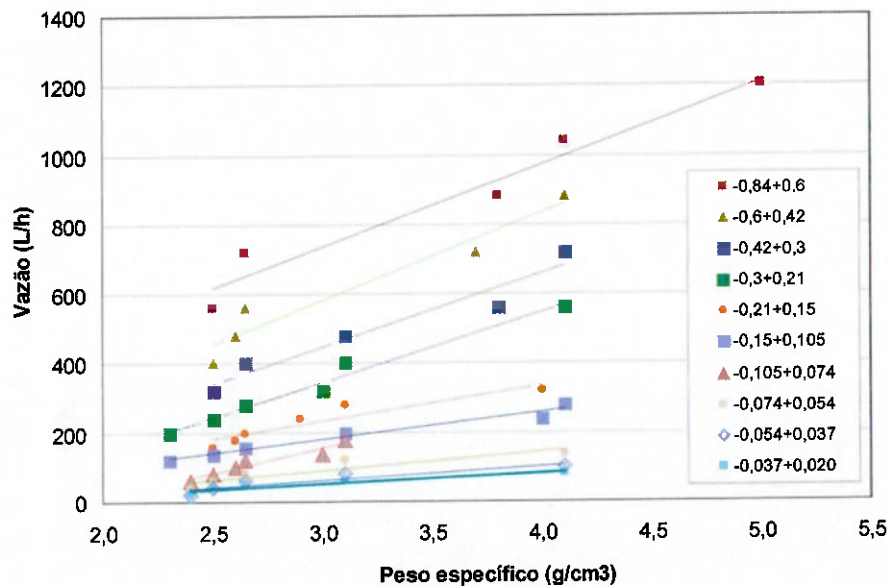


Gráfico 2 - Vazão x peso específico x fração

Como pode ser observadas no gráfico, as frações abaixo de 0,15 mm apresentam um comportamento diferente das demais. Acima de 0,15 mm todas as frações apresentam retas com a mesma inclinação, podendo considerá-las paralelas, mostrando que a vazão aumenta da mesma forma gradativa que o peso específico de separação.

A diferença de comportamento das frações mais finas pode ser explicada pelo fato de que a velocidade de sedimentação da partícula diminui à medida que seu tamanho diminui, porque a força peso é menor do que a força hidrodinâmica, que é influenciada mais pelo atrito e forma da partícula do que pelo tamanho da mesma, obtendo uma resultante menor, diminuindo a velocidade de sedimentação.

Com menor velocidade de sedimentação, aumenta a dificuldade na determinação da vazão exata da separação das fases, tornando ensaio mais sensível a pequenas flutuações, ou seja, uma alteração mínima na vazão de fluido pode fazer uma partícula pesada ir para o transbordo ou partícula fina para o afundado.

A partir das linhas de tendência obtidas no Gráfico 2, estabeleceu-se uma equação de correlação (Tabela 5) entre vazão e peso específico, desta maneira pode-se encolher uma densidade de separação para certa fração granulométrica, e calcular a vazão necessária de fluido no elutriador.

Tabela 5 – Equação de correlação entre vazão e peso específico

| Fração granulométrica | Equação de Correlação entre vazão e peso específico | R <sup>2</sup> (Correlação) |
|-----------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------|
| -0,84 +0,60 mm        | $Q = 236,6 \cdot \rho + 25,9$                       | $R^2 = 0,954$               |
| -0,60 +0,42 mm        | $Q = 253,0 \cdot \rho - 178,9$                      | $R^2 = 0,937$               |
| -0,42 +0,30 mm        | $Q = 212,2 \cdot \rho - 198,4$                      | $R^2 = 0,936$               |
| -0,30 +0,21 mm        | $Q = 201,1 \cdot \rho - 258,2$                      | $R^2 = 0,977$               |
| -0,21 +0,15 mm        | $Q = 103,4 \cdot \rho - 76,0$                       | $R^2 = 0,868$               |
| -0,15 +0,105 mm       | $Q = 77,9 \cdot \rho - 52,0$                        | $R^2 = 0,961$               |
| -0,105 +0,074 mm      | $Q = 148,8 \cdot \rho - 289,6$                      | $R^2 = 0,930$               |
| -0,074 +0,054 mm      | $Q = 54,64 \cdot \rho - 73,2$                       | $R^2 = 0,842$               |
| -0,054 +0,037 mm      | $Q = 41,3 \cdot \rho - 61,6$                        | $R^2 = 0,825$               |
| -0,037 +0,020 mm      | $Q = 29,4 \cdot \rho - 36,7$                        | $R^2 = 0,837$               |

sendo:  $Q$  - vazão de fluido no elutriador (L/h);  $\rho$  - peso específico

### 4.3 Elutriação em minério aurífero

Com base nos resultados obtidos, o mesmo procedimento experimental foi empregado para três minérios auríferos. Foram utilizadas as vazões estabelecidas neste programa experimental, considerando uma densidade de corte de 6 g/cm<sup>3</sup>. Tais ensaios tiveram caráter exploratório somente para comprovação da viabilidade do método para a finalidade proposta, tendo em vista os elevados custos das análises químicas para determinação dos teores de ouro.

A recuperação massa, metalúrgica e os teores de ouro para os produtos leves e pesados são apresentados na Tabela 6, enquanto que a recuperação de ouro no produto pesado, por fração granulométrica, para cada amostra, é apresentada no Gráfico 3.

Tabela 6 – Equação de correlação entre vazão e peso específico

| Produto / fração |        | E1               |         |      | P1               |         |      | J1               |         |      |
|------------------|--------|------------------|---------|------|------------------|---------|------|------------------|---------|------|
|                  |        | % massa Au (ppm) | Rec (%) |      | % massa Au (ppm) | Rec (%) |      | % massa Au (ppm) | Rec (%) |      |
| -0,84+0,60       | pesado | 48,5             | 70,3    | 92,1 | 70,1             | 93,1    | 99,0 | 41,6             | 6,45    | 82,1 |
|                  | leve   | 51,5             | 5,67    | 7,9  | 29,9             | 2,21    | 1,0  | 58,4             | 1,00    | 17,9 |
| -0,60+0,30       | pesado | 57,0             | 172,4   | 98,4 | 63,3             | 75,3    | 99,2 | 31,0             | 55,6    | 95,7 |
|                  | leve   | 43,0             | 3,60    | 1,6  | 36,7             | 1,00    | 0,8  | 69,0             | 1,12    | 4,3  |
| -0,30+0,15       | pesado | 44,5             | 207,3   | 94,4 | 59,1             | 14,8    | 99,5 | 46,2             | 50,8    | 97,3 |
|                  | leve   | 55,5             | 9,94    | 5,6  | 40,9             | 0,10    | 0,5  | 53,8             | 1,23    | 2,7  |
| -0,15+0,074      | pesado | 38,1             | 125,3   | 92,9 | 6,95             | 370,0   | 94,9 | 46,2             | 36,6    | 93,0 |
|                  | leve   | 61,9             | 5,93    | 7,1  | 93,1             | 1,47    | 5,1  | 53,8             | 2,38    | 7,0  |
| -0,074+0,037     | pesado | 30,0             | 101,6   | 80,0 | 10,3             | 60,0    | 89,7 | 57,1             | 13,7    | 87,5 |
|                  | leve   | 70,0             | 10,9    | 20,0 | 89,7             | 0,79    | 10,3 | 42,9             | 2,59    | 12,5 |
| Total calc.      | pesado | 46,2             | 127,9   | 94,4 | 44,7             | 148,2   | 99,0 | 44,5             | 27,5    | 93,1 |
|                  | leve   | 53,8             | 6,5     | 5,6  | 55,3             | 1,21    | 1,0  | 55,5             | 1,6     | 6,9  |

Os teores de ouro são significativamente maiores no produto pesado do que no leve, indicando elevado enriquecimento. As recuperações em massa para o produto pesado tendem a diminuir nas frações mais leves, devido à liberação dos minerais; a recuperação metalúrgica de ouro é em média de 93 a 99% no produto pesado, com teores médios de 4 a 100 vezes maiores que no produto leve.

Do gráfico verifica-se que na fração 0,15 mm ocorre também um comportamento dispar na amostra E1, como observado nos ensaios com amostras de misturas sintéticas; na amostra P1, na fração 0,15 mm ocorre o máximo de recuperação, comportamento semelhante é observado para a amostra J1.

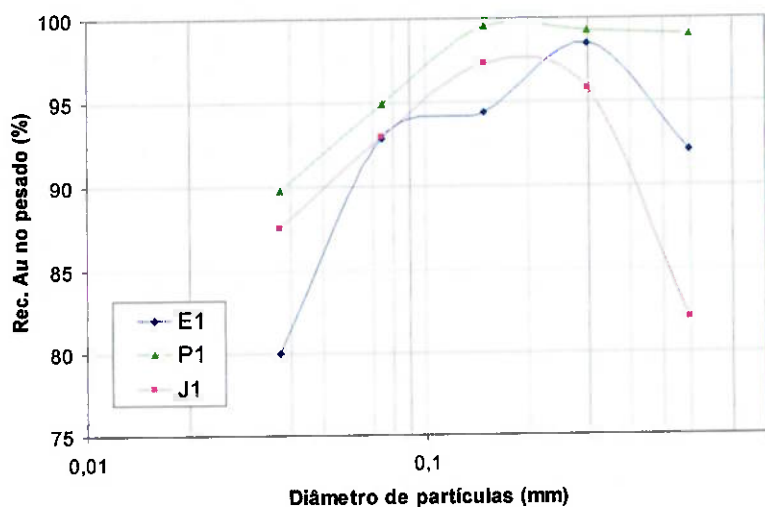


Gráfico 3 – Recuperação de ouro no produto pesado



Imagens de microscopia eletrônica de varredura exploratórias realizadas no produto pesado da elutriação confirmam o alto teor de ouro no produto, facilitando dessa forma a busca pelas associações do ouro, seja ela feita manualmente ou por programas de busca automatizada por contraste de tons de cinza (número atômico) e composição química.

Fotomicrografias obtidas em MEV apresentadas na Figura 9, Figura 10 e Figura 11 demonstram que o concentrado da elutriação permite a recuperação de partículas com grãos de ouro grosso, como também ouro associado a minerais leves, como mica e também grãos de ouro de pequenas dimensões. Dessa forma garante-se que o material estudado ao MEV apresenta diversas associações de ouro.

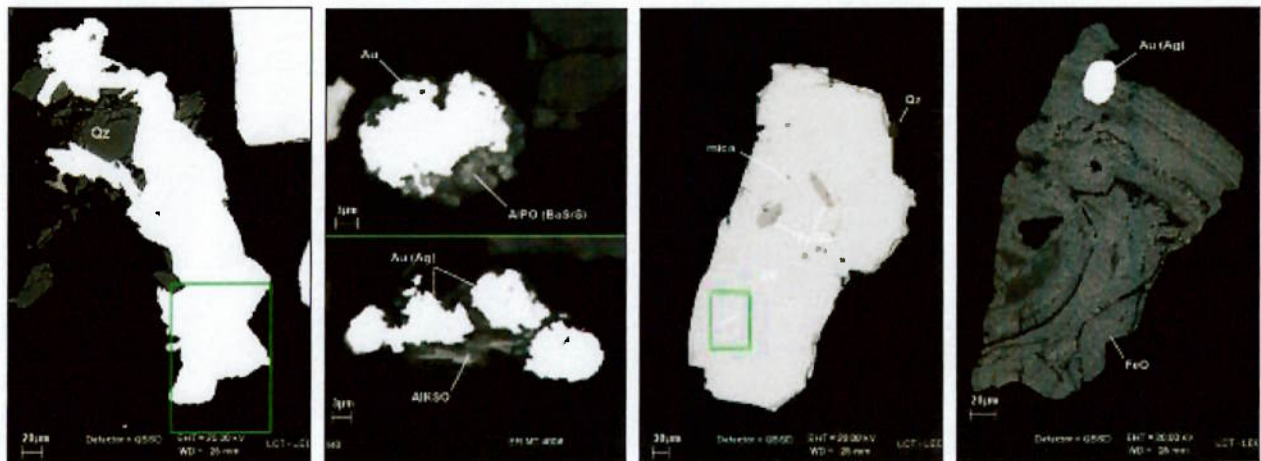


Figura 9 – Imagens em MEV, amostra E1

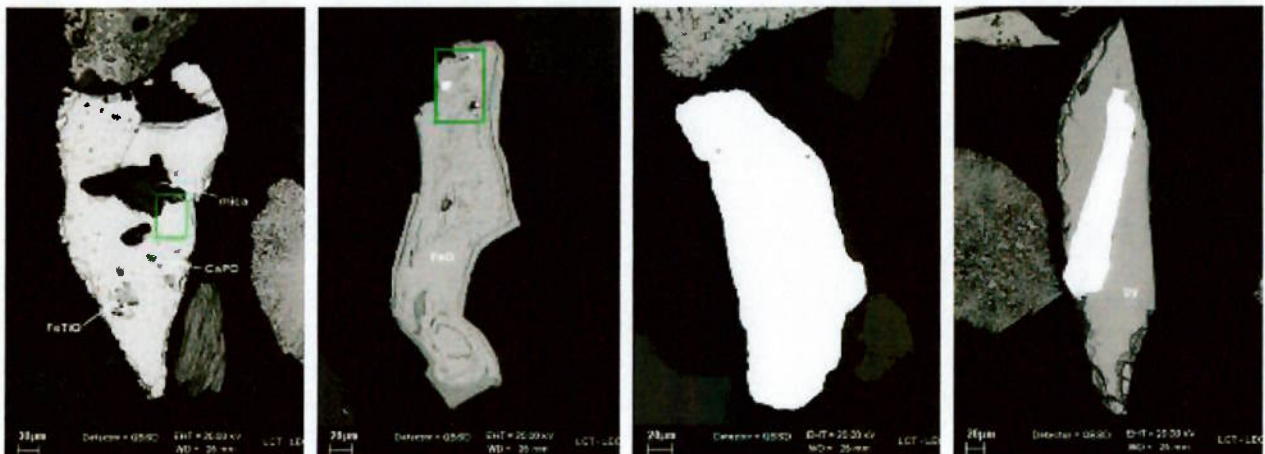


Figura 10 – Imagens em MEV, amostra P1

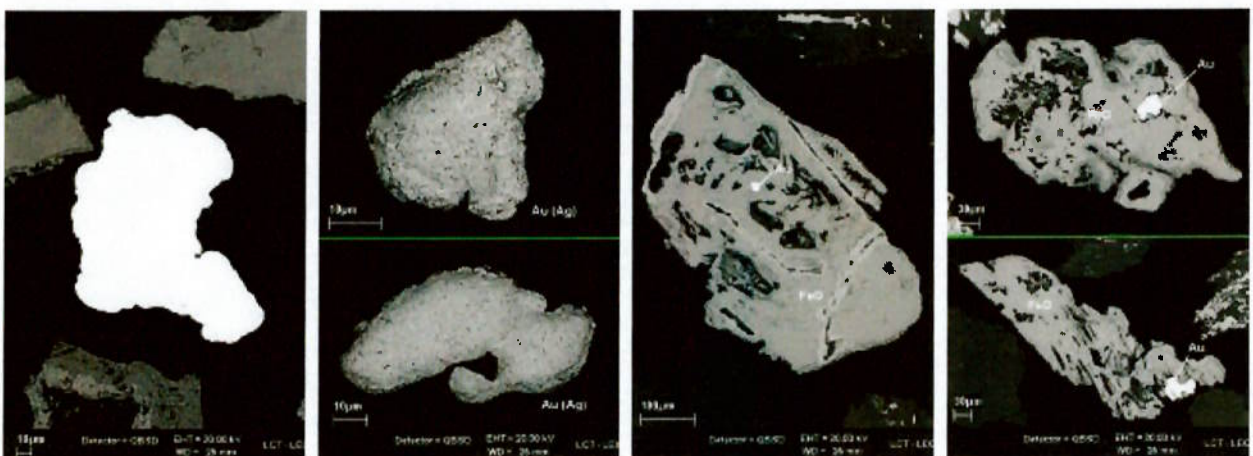


Figura 11 – Imagens em MEV, amostra J1

## 5. CONCLUSÕES

A utilização do elutriador para uma etapa prévia de concentração de minerais traços de elevado peso específico mostra uma boa eficiência em relação à redução de massa para a fração em que se encontra o material de interesse, no caso deste estudo o chumbo (pese específico de 11,3), e com uma elevada recuperação, principalmente para as frações acima de 0,054 mm. Ou seja, o método é eficiente para concentrar os minerais pesados (elevados teores, elevada recuperação metalúrgica e baixas recuperações em massa).

O outro método utilizado foi a Mesa Mozley que apesar da alta recuperação de chumbo no produto pesado em todas os ensaios, observa-se que para as frações abaixo de 0,15 mm teve menor porcentagem se quartzo, mostrando uma boa separação, porém com maior quantidade de massa do que o produto da elutriação. Para as frações acima de 0,15 mm a presença de quartzo foi alta apresentando uma separação não eficiente em relação à elutriação. Um aspecto em que não houve mudança foi na redução de massa no produto pesado em que na elutriação obteve-se sempre abaixo de 2%, enquanto que na Mesa Mozley foi sempre acima de 4% da massa inicial.

As imagens em MEV confirmam que a elutriação é eficiente não só para concentração de grãos de ouro grosso como também para partículas com pequenas inclusões de ouro. Este parâmetro deve ser ajustado na escolha da densidade da separação no ensaio.

Outro ponto positivo foi o uso de outros dois elutriadores diferentes em que foi realizada uma transformação necessária de vazões para que se pudesse efetuar separação para granulometrias mais grossas, indicando que a aplicabilidade e validade dos fundamentos teóricos.

Por fim, foi construído um gráfico que correlaciona vazão, fração granulométrica e peso específico, permitindo que ensaios de elutriação sejam controlados. Dessa forma pode-se estabelecer a vazão necessária para a separação em qualquer densidade de corte, para qualquer tipo de minério.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almendra, E. R., Velocidade de sedimentação de sistemas particulados, 1979, Dissertação de Mestrado, Programa de Engenharia Metalúrgica, COPPE/UFRJ.
- Burt, R. O. Developments in Mineral Processing vol. 5: Gravity Concentration Technology, Elsevier, 1984, Cap. 2, p. 12.
- Cabri, L.J. et al, Hydroseparation: a new development in process mineralogy of platinum-bearing ores, CIM Magazine, Vol.1, No.1, 2006.
- Rudashevsky, N.S., Garuti, G., Andersen, J.C.O., Kretser, Y.L., Rudashevsky, V.N. e Zaccarini, F. Separation of accessory minerals from rocks and ores by hydroseparation (HS) technology: method and application to CHR-2 chromitite, Niquelândia, Brazil. Trans. Inst. Min. Metall. (SectionB: Appld. Earth sci.) , 2002, 111, pp. B87-B94.
- Sampaio, C. H., Tavares, L. M. M. Beneficiamento Gravimétrico: Uma introdução aos processos de concentração mineral e reciclagem de materiais por densidade, Editora UFRGS, 2005, Cap. 2, p. 70-73.

## **ANEXOS**

**Anexo1 – Teores dos produtos e alimentação da elutriação e sua distribuição**

**Anexo 2 – Análise química dos produtos da Mesa Mozley**

**Anexo 3 - Composição de fases do produto pesado da elutriação**

**Anexo 4 - Correlação entre vazão calculada e vazão ensaiada**



# ANEXO 1 - Teores dos produtos e alimentação da elutriação e sua distribuição

Fração -0,84+0,60 mm

| Vazão (l/h)<br>Alfredo Conde | Velocidade<br>(cm/s) | Massa (em %)<br>Pesado Leve | Teores Pesado(%) |                                |                                |      |      | Teores Leve(%)   |      |                  |                                |                                | Teores na alimentação (% - calculado) |      |                  |      |                  | Distribuição no pesado (%)     |                                |      |      |                  |     |
|------------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-----|
|                              |                      |                             | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO                                   | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO |
| -                            | -                    | 0,0% 100,0%                 |                  |                                |                                |      |      |                  |      |                  |                                |                                |                                       |      |                  |      |                  |                                |                                |      |      |                  |     |
| 308,5                        | 560                  | 37,6% 62,4%                 | 69,9             | 10,3                           | 6,07                           | 7,16 | 5,92 | 0,30             | 0,30 | 90,4             | 0,80                           | 2,22                           | 2,82                                  | 2,78 | 0,01             | 0,12 | 31,8             | 88,6                           | 0,62                           | 60,5 | 56,2 | 94,8             |     |
| 396,6                        | 720                  | 7,06% 92,9%                 | 40,9             | 35,5                           | 14,8                           | 3,54 | 3,88 | 0,93             | 0,93 | 87,1             | 0,70                           | 3,07                           | 4,48                                  | 3,69 | 0,03             | 0,09 | 3,45             | 79,4                           | 26,8                           | 5,67 | 7,40 | 70,2             |     |
| 484,8                        | 880                  | 3,07% 96,9%                 | 1,41             | 88,6                           | 7,53                           | 0,14 | 0,00 | 1,52             | 1,52 | 86,5             | 0,84                           | 3,51                           | 4,45                                  | 3,88 | 0,05             | 0,10 | 0,05             | 77,0                           | 6,36                           | 0,10 | 0,00 | 49,1             |     |
| 572,9                        | 1040                 | 1,66% 98,3%                 | 0,57             | 95,0                           | 1,86                           | 0,05 | 0,00 | 1,76             | 1,76 | 86,8             | 1,89                           | 3,35                           | 3,84                                  | 3,24 | 0,05             | 0,08 | 0,01             | 45,9                           | 0,93                           | 0,02 | 0,00 | 37,3             |     |
| 661,1                        | 1200                 | 0,85% 99,1%                 | 0,88             | 96,0                           | 0,29                           | 0,03 | 0,00 | 2,18             | 2,18 | 85,9             | 2,04                           | 3,56                           | 4,01                                  | 3,64 | 0,08             | 0,10 | 0,01             | 28,9                           | 0,07                           | 0,01 | 0,00 | 19,0             |     |

Fração -0,60+0,42 mm

| Fração - 40,60+0,42 mm | Vazão (l/h)<br>Alexis Conde | Velocidade<br>(cm/s) | Massa (em %) |       | Teores Pesado(%) |                                |                                |      |      | Teores Leve(%)   |      |                  |                                |                                | Teores amostra cabeça CALCULADOS (%) |      |                  |      |                  | Recuperações Pesado (%)        |                                |      |      |                  |     |
|------------------------|-----------------------------|----------------------|--------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-----|
|                        |                             |                      | Pesado       | Leve  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO                                  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO |
| -                      | -                           | -                    |              |       |                  |                                |                                |      |      |                  |      |                  |                                |                                |                                      |      |                  |      |                  |                                |                                |      |      |                  |     |
|                        | 261,7                       | 400                  | 47,6%        | 52,4% | 78,1             | 4,41                           | 4,71                           | 6,69 | 5,30 | 0,19             | 91,8 | 0,46             | 3,04                           | 1,70                           | 1,25                                 | 0,01 | 0,10             | 43,5 | 89,7             | 58,4                           | 78,1                           | 79,4 | 94,5 |                  |     |
|                        | 314,1                       | 480                  | 19,7%        | 80,3% | 61,9             | 11,6                           | 9,07                           | 8,98 | 7,64 | 0,41             | 90,7 | 0,61             | 2,51                           | 2,78                           | 2,20                                 | 0,01 | 0,09             | 14,3 | 82,3             | 47,0                           | 44,2                           | 46,0 | 90,9 |                  |     |
|                        | 366,4                       | 560                  | 9,2%         | 90,8% | 38,7             | 26,3                           | 16,6                           | 8,26 | 8,80 | 0,74             | 89,1 | 0,78             | 2,68                           | 3,45                           | 2,83                                 | 0,01 | 0,08             | 4,23 | 77,4             | 38,6                           | 19,6                           | 24,0 | 88,3 |                  |     |
|                        | 471,1                       | 720                  | 3,6%         | 96,4% | 1,24             | 80,2                           | 15,6                           | 0,20 | 0,00 | 2,01             | 86,7 | 0,79             | 3,49                           | 4,22                           | 3,78                                 | 0,01 | 0,08             | 0,05 | 79,2             | 14,4                           | 0,18                           | 0,00 | 88,3 |                  |     |
|                        | 575,8                       | 880                  | 1,8%         | 98,2% | 0,96             | 89,1                           | 6,94                           | 0,21 | 0,03 | 2,18             | 86,3 | 1,35             | 3,55                           | 4,27                           | 3,46                                 | 0,04 | 0,07             | 0,02 | 54,8             | 3,47                           | 0,09                           | 0,02 | 53,4 |                  |     |

Fração -0,42+0,30 mm

| Fração -0,42+0,30 mm |                   |              |       |                  |       |                  |                                |                                |      |                |                  |      |                  |                                |                                |                                      |      |                  |      |                  |                                |                                |      |      |                  |       |  |
|----------------------|-------------------|--------------|-------|------------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|----------------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------|--|
| Vazão (l/h)          | Velocidade (cm/s) | Massa (em %) |       | Teores Pesado(%) |       |                  |                                |                                |      | Teores Leve(%) |                  |      |                  |                                |                                | Teores amostra cabeça CALCULADOS (%) |      |                  |      |                  |                                | Recuperações Pesado (%)        |      |      |                  |       |  |
|                      |                   | Alexis       | Conde | Pesado           | Leve  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F              | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO                                  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO   |  |
| -                    | -                 |              |       |                  |       |                  |                                |                                |      |                |                  |      |                  |                                |                                |                                      |      |                  |      |                  |                                |                                |      |      |                  |       |  |
| 209,4                | 320               |              |       | 44,7%            | 55,3% | 75,0             | 5,23                           | 4,86                           | 5,66 | 6,51           | 1,56             | 0,21 | 90,4             | 0,49                           | 3,22                           | 2,30                                 | 1,64 | 0,00             | 0,00 | 40,2             | 89,6                           | 55,0                           | 66,6 | 76,3 | 100,0            | 100,0 |  |
| 261,7                | 400               |              |       | 18,2%            | 81,8% | 53,8             | 16,5                           | 11,8                           | 5,51 | 6,31           | 4,28             | 0,44 | 87,3             | 0,40                           | 3,33                           | 4,50                                 | 2,53 | 0,00             | 0,01 | 12,1             | 90,2                           | 44,1                           | 21,4 | 35,7 | 100,0            | 90,7  |  |
| 314,1                | 480               |              |       | 7,2%             | 92,8% | 3,72             | 50,0                           | 23,9                           | 1,20 | 1,81           | 16,3             | 1,24 | 79,7             | 0,75                           | 4,57                           | 7,95                                 | 4,48 | 0,02             | 0,10 | 0,36             | 83,9                           | 28,9                           | 1,16 | 3,05 | 98,5             | 90,6  |  |
| 366,4                | 560               |              |       | 4,2%             | 95,8% | 2,42             | 53,0                           | 20,2                           | 0,26 | 0,00           | 21,0             | 1,68 | 80,0             | 1,20                           | 4,76                           | 7,77                                 | 3,78 | 0,03             | 0,02 | 0,13             | 66,0                           | 15,7                           | 0,15 | 0,00 | 96,8             | 78,7  |  |
| 471,1                | 720               |              |       | 1,4%             | 98,6% | 3,23             | 37,8                           | 15,6                           | 0,00 | 0,00           | 37,9             | 3,20 | 79,5             | 2,18                           | 4,94                           | 7,29                                 | 3,59 | 0,26             | 0,05 | 0,06             | 19,8                           | 4,30                           | 0,00 | 0,00 | 67,5             | 47,7  |  |

Fração -0,30+0,21 mm

| Fração -0,30+0,21 mm         |                      |                        |       |                  |                                |                                |      |      |                  |      |                  |                                |                                |      |      |                  |      |                                      |                                |                                |      |      |                  |                         |                  |                                |                                |      |      |                  |       |
|------------------------------|----------------------|------------------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------|
| Vazão (l/h)<br>Alfredo Conde | Velocidade<br>(cm/s) | Massa (em %)<br>Pesado | Leve  | Teores Pesado(%) |                                |                                |      |      |                  |      | Teores Leve(%)   |                                |                                |      |      |                  |      | Teores amostra cabeça CALCULADOS (%) |                                |                                |      |      |                  | Recuperações Pesado (%) |                  |                                |                                |      |      |                  |       |
|                              |                      |                        |       | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub>                     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO                     | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO   |
| -                            | 200                  | 69,9%                  | 30,1% | 74,3             | 3,39                           | 5,62                           | 9,54 | 2,47 | 1,53             | 0,13 | 90,0             | 0,79                           | 4,84                           | 0,70 | 0,60 | 0,00             | 0,00 | 79,0                                 | 2,61                           | 5,38                           | 6,88 | 1,91 | 1,07             | 0,09                    | 65,7             | 90,9                           | 72,9                           | 96,9 | 90,5 | 100,0            | 100,0 |
| -                            | 240                  | 31,8%                  | 68,2% | 65,8             | 8,61                           | 7,47                           | 6,94 | 6,86 | 2,25             | 0,29 | 86,4             | 0,53                           | 5,40                           | 2,56 | 1,84 | 0,00             | 0,01 | 79,8                                 | 3,10                           | 6,06                           | 3,95 | 3,44 | 0,72             | 0,10                    | 26,2             | 88,3                           | 39,2                           | 55,8 | 63,5 | 100,0            | 93,1  |
| -                            | 280                  | 15,8%                  | 84,2% | 45,9             | 17,6                           | 12,9                           | 7,35 | 8,16 | 5,00             | 0,54 | 83,5             | 0,52                           | 5,75                           | 4,26 | 2,34 | 0,00             | 0,01 | 77,5                                 | 3,22                           | 6,87                           | 4,75 | 3,26 | 0,79             | 0,09                    | 9,34             | 86,4                           | 29,6                           | 24,5 | 39,5 | 100,0            | 91,0  |
| -                            | 320                  | 6,9%                   | 93,1% | 7,12             | 43,5                           | 24,0                           | 3,45 | 3,77 | 13,5             | 1,11 | 80,9             | 0,73                           | 5,88                           | 5,86 | 3,43 | 0,00             | 0,00 | 75,8                                 | 3,70                           | 7,13                           | 5,69 | 3,45 | 0,94             | 0,08                    | 0,65             | 81,6                           | 23,3                           | 4,21 | 7,58 | 100,0            | 100,0 |
| -                            | 400                  | 3,8%                   | 96,2% | 1,55             | 56,4                           | 13,2                           | 0,48 | 0,52 | 23,7             | 1,69 | 76,9             | 1,12                           | 6,72                           | 7,13 | 4,36 | 0,02             | 0,03 | 74,0                                 | 3,24                           | 6,97                           | 6,87 | 4,21 | 0,93             | 0,09                    | 0,08             | 66,8                           | 7,29                           | 0,27 | 0,47 | 97,9             | 69,2  |
| -                            | 560                  | 1,1%                   | 98,9% | 5,82             | 37,9                           | 0,78                           | 0,00 | 0,00 | 50,9             | 2,80 | 76,4             | 1,91                           | 6,97                           | 6,77 | 4,02 | 0,27             | 0,08 | 75,6                                 | 2,32                           | 6,90                           | 6,69 | 3,97 | 0,85             | 0,11                    | 0,09             | 18,7                           | 0,13                           | 0,00 | 0,00 | 68,6             | 28,9  |

Fração -0,21+0,15 mm

| Fração -0,21+0,15 mm         |                      |              |       |                  |                                |                                |      |      |                  |      |                  |                                |                                |      |      |                  |      |                                      |                                |                                |      |      |                  |       |                         |                                |                                |     |   |                  |     |  |  |  |
|------------------------------|----------------------|--------------|-------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|---|------------------|-----|--|--|--|
| Vazão (l/h)<br>Alfredo Conde | Velocidade<br>(cm/s) | Massa (em %) |       | Teores Pesado(%) |                                |                                |      |      |                  |      | Teores Leve(%)   |                                |                                |      |      |                  |      | Teores amostra cabeça CALCULADOS (%) |                                |                                |      |      |                  |       | Recuperações Pesado (%) |                                |                                |     |   |                  |     |  |  |  |
|                              |                      | Pesado       | Leve  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub>                     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO   | SiO <sub>2</sub>        | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | F | SnO <sub>2</sub> | PbO |  |  |  |
| -                            | 165                  |              | 44,6% | 70,6             | 5,93                           | 5,94                           | 6,97 | 5,75 | 1,76             | 0,20 | 87,2             | 0,71                           | 5,27                           | 1,91 | 1,54 | 0,00             | 0,00 | 39,5                                 | 87,0                           | 47,6                           | 74,6 | 75,0 | 100,0            | 100,0 |                         |                                |                                |     |   |                  |     |  |  |  |
| -                            | 185                  |              | 23,6% | 60,3             | 11,3                           | 8,94                           | 7,08 | 8,00 | 0,93             | 0,28 | 89,1             | 1,51                           | 3,70                           | 1,68 | 1,65 | 0,00             | 0,00 | 17,3                                 | 69,8                           | 42,8                           | 56,6 | 60,0 | 100,0            | 100,0 |                         |                                |                                |     |   |                  |     |  |  |  |
| -                            | 205                  |              | 11,1% | 31,5             | 25,8                           | 19,1                           | 7,93 | 7,24 | 2,76             | 0,66 | 87,1             | 1,16                           | 4,15                           | 2,83 | 2,44 | 0,00             | 0,00 | 4,34                                 | 73,8                           | 36,5                           | 26,0 | 27,1 | 100,0            | 100,0 |                         |                                |                                |     |   |                  |     |  |  |  |
| -                            | 245                  |              | 5,0%  | 11,3             | 41,5                           | 22,2                           | 5,04 | 4,92 | 7,96             | 1,28 | 82,9             | 1,32                           | 5,14                           | 4,21 | 3,31 | 0,00             | 0,00 | 0,71                                 | 62,2                           | 18,4                           | 5,90 | 7,22 | 100,0            | 100,0 |                         |                                |                                |     |   |                  |     |  |  |  |
| -                            | 285                  |              | 2,9%  | 5,58             | 52,7                           | 13,0                           | 1,74 | 2,20 | 18,3             | 2,35 | 82,6             | 1,85                           | 5,18                           | 4,12 | 3,49 | 0,00             | 0,01 | 0,20                                 | 45,3                           | 7,06                           | 1,26 | 1,87 | 100,0            | 87,7  |                         |                                |                                |     |   |                  |     |  |  |  |
| -                            | 325                  |              | 1,9%  | 5,42             | 46,2                           | 12,5                           | 1,74 | 3,53 | 24,7             | 2,05 | 82,3             | 2,20                           | 5,24                           | 4,08 | 3,24 | 0,02             | 0,02 | 0,12                                 | 28,4                           | 4,32                           | 0,80 | 2,02 | 95,9             | 66,0  |                         |                                |                                |     |   |                  |     |  |  |  |



# ANEXO 1 - Teores dos produtos e alimentação da elutriação e sua distribuição

| Fração -0,15+0,105 mm  |                   |                          |       |       |                                                                                                       |      |      |                                                                                                     |      |      |                                                                                                                           |      |      |                                                                                                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|-------------------|--------------------------|-------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Vazão (l/h)            | Velocidade (cm/s) | Massa (em %) Pesado Leve |       |       | Teores Pesado(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores Leve(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores amostra cabeça CALCULADOS (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Recuperações Afundado (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -                      | 125               | 2,2                      | 56,5% | 43,5% | 80,5                                                                                                  | 4,52 | 4,15 | 4,79                                                                                                | 4,29 | 0,19 | 0,11                                                                                                                      | 90,9 | 1,16 | 2,46                                                                                                           | 1,98 | 2,17 | 0,01 | 0,01 | 85,0 | 3,06 | 3,41 | 3,57 | 3,37 | 0,11 | 0,07 | 53,5 | 83,5 | 68,7 | 75,9 | 72,0 | 96,1 | 93,5 |
| -                      | 145               | 2,5                      | 26,2% | 73,8% | 73,0                                                                                                  | 9,98 | 6,47 | 3,55                                                                                                | 3,77 | 0,82 | 0,26                                                                                                                      | 87,2 | 1,12 | 3,09                                                                                                           | 3,61 | 3,57 | 0,02 | 0,01 | 83,5 | 3,44 | 3,98 | 3,59 | 3,82 | 0,23 | 0,08 | 22,9 | 76,0 | 42,7 | 25,9 | 27,3 | 93,6 | 90,2 |
| -                      | 165               | 2,9                      | 11,6% | 88,4% | 62,5                                                                                                  | 18,0 | 8,49 | 2,65                                                                                                | 2,82 | 2,09 | 0,54                                                                                                                      | 87,3 | 1,38 | 3,18                                                                                                           | 3,62 | 3,19 | 0,02 | 0,01 | 84,4 | 3,30 | 3,79 | 3,51 | 3,15 | 0,26 | 0,07 | 8,56 | 63,0 | 25,9 | 8,73 | 10,4 | 93,2 | 87,6 |
| -                      | 205               | 3,6                      | 7,3%  | 92,7% | 65,3                                                                                                  | 16,7 | 7,00 | 2,56                                                                                                | 2,32 | 2,92 | 0,58                                                                                                                      | 85,1 | 2,07 | 3,43                                                                                                           | 4,14 | 3,76 | 0,03 | 0,03 | 83,7 | 3,14 | 3,69 | 4,02 | 3,65 | 0,24 | 0,07 | 5,71 | 38,9 | 13,9 | 4,65 | 4,64 | 88,5 | 80,4 |
| -                      | 245               | 4,3                      | 2,2%  | 97,8% | 32,4                                                                                                  | 21,8 | 4,86 | 0,55                                                                                                | 0,00 | 33,6 | 2,40                                                                                                                      | 83,5 | 2,86 | 3,66                                                                                                           | 4,06 | 3,78 | 0,49 | 0,08 | 82,4 | 3,29 | 3,69 | 3,98 | 3,69 | 1,23 | 0,14 | 0,88 | 14,9 | 2,96 | 0,31 | 0,00 | 61,5 | 39,9 |
| -                      | 285               | 5,0                      | 0,9%  | 99,1% | 23,8                                                                                                  | 31,1 | 6,34 | 0,98                                                                                                | 2,00 | 28,8 | 2,05                                                                                                                      | 83,0 | 2,35 | 3,91                                                                                                           | 4,96 | 3,38 | 0,49 | 0,08 | 82,5 | 2,61 | 3,93 | 4,92 | 3,37 | 0,74 | 0,10 | 0,26 | 10,6 | 1,43 | 0,18 | 0,53 | 34,5 | 18,7 |
| Fração -0,105+0,074 mm |                   |                          |       |       |                                                                                                       |      |      |                                                                                                     |      |      |                                                                                                                           |      |      |                                                                                                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Vazão (l/h)            | Velocidade (cm/s) | Massa (em %) Pesado Leve |       |       | Teores Pesado(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores Leve(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores amostra cabeça CALCULADOS (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Recuperações Pesado (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -                      | 65                | 1,1                      | 52,1% | 47,9% | 77,3                                                                                                  | 5,20 | 4,50 | 5,40                                                                                                | 4,84 | 1,40 | 0,17                                                                                                                      | 92,8 | 1,06 | 2,03                                                                                                           | 1,45 | 1,76 | 0,02 | 0,01 | 84,7 | 3,21 | 3,32 | 3,51 | 3,36 | 0,74 | 0,09 | 47,5 | 84,2 | 70,6 | 80,2 | 74,9 | 98,7 | 96,9 |
| -                      | 85                | 1,5                      | 37,6% | 62,4% | 72,4                                                                                                  | 8,15 | 5,89 | 4,63                                                                                                | 5,29 | 2,12 | 0,22                                                                                                                      | 91,5 | 1,06 | 2,28                                                                                                           | 2,17 | 2,11 | 0,01 | 0,01 | 84,3 | 3,72 | 3,64 | 3,09 | 3,31 | 0,80 | 0,09 | 32,3 | 82,2 | 60,9 | 56,2 | 60,2 | 99,1 | 93,7 |
| -                      | 105               | 1,8                      | 24,5% | 75,5% | 67,1                                                                                                  | 10,8 | 6,38 | 5,37                                                                                                | 5,38 | 3,06 | 0,34                                                                                                                      | 90,6 | 1,16 | 2,52                                                                                                           | 2,56 | 2,30 | 0,04 | 0,01 | 84,8 | 3,52 | 3,47 | 3,25 | 3,06 | 0,78 | 0,09 | 19,4 | 75,1 | 45,1 | 40,5 | 43,2 | 96,6 | 90,1 |
| -                      | 125               | 2,2                      | 10,1% | 89,9% | 49,1                                                                                                  | 22,1 | 8,41 | 4,15                                                                                                | 3,77 | 0,10 | 0,72                                                                                                                      | 87,4 | 1,76 | 3,00                                                                                                           | 3,36 | 3,47 | 0,07 | 0,02 | 83,6 | 3,81 | 3,54 | 3,44 | 3,50 | 0,07 | 0,09 | 5,91 | 58,4 | 23,9 | 12,1 | 10,8 | 14,1 | 80,9 |
| -                      | 145               | 2,5                      | 5,1%  | 94,9% | 36,7                                                                                                  | 28,5 | 7,71 | 4,16                                                                                                | 4,28 | 14,2 | 1,02                                                                                                                      | 86,7 | 2,20 | 2,73                                                                                                           | 3,31 | 3,45 | 0,13 | 0,05 | 84,2 | 3,54 | 2,98 | 3,83 | 3,49 | 0,85 | 0,10 | 2,23 | 41,1 | 13,2 | 5,54 | 6,25 | 85,5 | 50,4 |
| -                      | 185               | 3,2                      | 1,6%  | 98,4% | 46,0                                                                                                  | 20,6 | 6,96 | 2,71                                                                                                | 4,80 | 14,9 | 1,34                                                                                                                      | 84,9 | 2,70 | 3,26                                                                                                           | 4,06 | 3,36 | 0,51 | 0,09 | 84,3 | 2,98 | 3,32 | 4,04 | 3,38 | 0,74 | 0,10 | 0,85 | 10,7 | 3,26 | 1,04 | 2,20 | 31,5 | 19,9 |
| Fração -0,074+0,054 mm |                   |                          |       |       |                                                                                                       |      |      |                                                                                                     |      |      |                                                                                                                           |      |      |                                                                                                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Vazão (l/h)            | Velocidade (cm/s) | Massa (em %) Pesado Leve |       |       | Teores Pesado(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores Leve(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores amostra cabeça CALCULADOS (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Recuperações Pesado (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -                      | 45                | 0,8                      | 56,0% | 44,0% | 79,6                                                                                                  | 4,74 | 4,42 | 4,58                                                                                                | 4,44 | 1,05 | 0,16                                                                                                                      | 91,8 | 1,11 | 2,32                                                                                                           | 1,86 | 1,82 | 0,17 | 0,01 | 79,1 | 5,94 | 4,51 | 3,79 | 4,02 | 1,45 | 0,18 | 50,7 | 89,0 | 71,3 | 67,6 | 68,5 | 93,0 | 91,5 |
| -                      | 65                | 1,1                      | 21,7% | 78,3% | 71,5                                                                                                  | 9,44 | 5,74 | 4,57                                                                                                | 4,92 | 2,41 | 0,29                                                                                                                      | 88,8 | 1,48 | 2,94                                                                                                           | 2,79 | 2,88 | 0,23 | 0,03 | 82,4 | 4,79 | 4,28 | 3,48 | 2,69 | 1,19 | 0,12 | 16,0 | 75,3 | 40,8 | 26,9 | 31,4 | 85,9 | 79,4 |
| -                      | 85                | 1,5                      | 12,4% | 87,6% | 60,7                                                                                                  | 16,6 | 8,04 | 4,30                                                                                                | 3,88 | 4,71 | 0,45                                                                                                                      | 88,5 | 1,51 | 3,24                                                                                                           | 3,25 | 2,36 | 0,21 | 0,03 | 85,0 | 3,37 | 3,83 | 3,38 | 2,55 | 0,77 | 0,08 | 8,83 | 80,8 | 25,9 | 15,7 | 18,9 | 75,7 | 66,2 |
| -                      | 125               | 2,2                      | 3,4%  | 96,6% | 67,5                                                                                                  | 10,6 | 6,50 | 3,51                                                                                                | 6,37 | 3,84 | 0,53                                                                                                                      | 85,2 | 2,37 | 3,46                                                                                                           | 3,69 | 3,86 | 0,32 | 0,07 | 84,6 | 2,65 | 3,56 | 3,68 | 3,95 | 0,44 | 0,09 | 2,71 | 13,6 | 6,19 | 3,23 | 5,48 | 29,9 | 20,3 |
| -                      | 145               | 2,5                      | 1,7%  | 98,3% | 69,6                                                                                                  | 9,99 | 5,93 | 3,64                                                                                                | 5,82 | 3,45 | 0,43                                                                                                                      | 85,3 | 2,63 | 3,59                                                                                                           | 3,98 | 3,10 | 0,43 | 0,10 | 85,0 | 2,76 | 3,63 | 3,87 | 3,15 | 0,48 | 0,10 | 1,42 | 6,27 | 2,83 | 1,58 | 3,20 | 12,4 | 7,31 |
| Fração -0,054+0,037 mm |                   |                          |       |       |                                                                                                       |      |      |                                                                                                     |      |      |                                                                                                                           |      |      |                                                                                                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Vazão (l/h)            | Velocidade (cm/s) | Massa (em %) Pesado Leve |       |       | Teores Pesado(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores Leve(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores amostra cabeça CALCULADOS (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Recuperações Pesado (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -                      | 25                | 0,4                      | 45,7% | 54,3% | 80,6                                                                                                  | 5,31 | 4,62 | 3,17                                                                                                | 3,65 | 1,08 | 0,18                                                                                                                      | 87,8 | 1,93 | 3,41                                                                                                           | 2,28 | 2,90 | 0,39 | 0,02 | 84,5 | 3,47 | 3,96 | 2,69 | 3,24 | 0,71 | 0,09 | 49,6 | 69,8 | 53,2 | 53,9 | 51,4 | 69,9 | 88,3 |
| -                      | 45                | 0,8                      | 33,7% | 66,3% | 80,1                                                                                                  | 5,96 | 4,61 | 2,97                                                                                                | 3,65 | 1,19 | 0,21                                                                                                                      | 86,1 | 2,08 | 3,68                                                                                                           | 2,81 | 3,55 | 0,52 | 0,03 | 84,0 | 3,37 | 3,99 | 2,86 | 3,58 | 0,75 | 0,09 | 32,1 | 59,5 | 38,9 | 34,9 | 34,3 | 53,7 | 78,0 |
| -                      | 65                | 1,1                      | 8,3%  | 91,7% | 71,4                                                                                                  | 11,3 | 6,12 | 3,31                                                                                                | 3,49 | 2,25 | 0,39                                                                                                                      | 85,6 | 2,51 | 3,98                                                                                                           | 3,06 | 2,82 | 0,68 | 0,06 | 84,4 | 3,24 | 4,16 | 3,08 | 2,88 | 0,81 | 0,09 | 7,05 | 29,0 | 12,3 | 8,95 | 10,1 | 23,1 | 37,1 |
| -                      | 85                | 1,5                      | 3,4%  | 96,6% | 70,0                                                                                                  | 12,3 | 6,45 | 2,86                                                                                                | 4,82 | 1,46 | 0,35                                                                                                                      | 83,9 | 3,76 | 3,83                                                                                                           | 3,62 | 2,25 | 1,03 | 0,10 | 83,4 | 4,05 | 3,92 | 3,59 | 2,34 | 1,04 | 0,11 | 2,89 | 10,4 | 5,65 | 2,73 | 7,08 | 4,80 | 11,1 |
| -                      | 105               | 1,8                      | 1,9%  | 98,1% | 70,0                                                                                                  | 15,1 | 7,03 | 2,11                                                                                                | 2,40 | 0,88 | 0,38                                                                                                                      | 85,3 | 3,04 | 4,03                                                                                                           | 2,79 | 2,86 | 0,64 | 0,09 | 85,0 | 3,27 | 4,09 | 2,78 | 2,85 | 0,64 | 0,10 | 1,58 | 8,86 | 3,30 | 1,46 | 1,62 | 2,62 | 7,63 |
| Fração -0,037+0,020 mm |                   |                          |       |       |                                                                                                       |      |      |                                                                                                     |      |      |                                                                                                                           |      |      |                                                                                                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Vazão (l/h)            | Velocidade (cm/s) | Massa (em %) Pesado Leve |       |       | Teores Pesado(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores Leve(%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Teores amostra cabeça CALCULADOS (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F |      |      | Recuperações Pesado (%) SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO F   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| -                      | 25                | 0,4                      | 32,0% | 68,0% | 83,1                                                                                                  | 4,18 | 4,98 | 2,63                                                                                                | 3,27 | 0,34 | 0,13                                                                                                                      | 86,0 | 2,98 | 4,18                                                                                                           | 3,20 | 2,21 | 0,04 | 0,02 | 85,0 | 3,36 | 4,44 | 3,02 | 2,55 | 0,14 | 0,06 | 31,2 | 39,7 | 35,9 | 27,9 | 41,0 | 80,0 | 75,3 |
| -                      | 45                | 0,8                      | 18,7% | 81,3% | 82,4                                                                                                  | 4,94 | 5,23 | 2,65                                                                                                | 2,55 | 0,48 | 0,16                                                                                                                      | 85,7 | 3,21 | 4,16                                                                                                           | 3,18 | 2,16 | 0,15 | 0,03 | 85,1 | 3,53 | 4,36 | 3,08 | 2,23 | 0,21 | 0,05 | 18,1 | 26,1 | 22,4 | 16,1 | 21,3 | 42,3 | 55,0 |
| -                      | 55                | 1,0                      | 9,1%  | 90,9% | 80,5                                                                                                  | 6,10 | 5,47 | 2,38                                                                                                | 2,29 | 1,49 | 0,21                                                                                                                      | 86,6 | 2,97 | 3,94                                                                                                           | 3,02 | 1,83 | 0,09 | 0,02 | 86,1 | 3,25 | 4,08 | 2,96 | 1,87 | 0,22 | 0,04 | 8,50 | 17,0 | 12,2 | 7,30 | 11,1 | 62,3 | 51,2 |
| -                      | 65                | 1,1                      | 3,6%  | 96,4% | 80,9                                                                                                  | 5,38 | 5,54 | 2,20                                                                                                | 3,41 | 0,93 | 0,11                                                                                                                      | 86,3 | 3,28 | 4,35                                                                                                           | 2,88 | 1,63 | 0,19 | 0,05 | 86,1 | 3,36 | 4,39 | 2,86 | 1,69 | 0,22 | 0,05 | 3,36 | 5,73 | 4,51 | 2,75 | 7,20 | 15,4 | 7,54 |
| -                      | 85                | 1,5                      | 1,3%  | 98,7% | 77,6                                                                                                  | 7,71 | 6,23 | 2,23                                                                                                | 2,79 | 1,47 | 0,19                                                                                                                      | 86,8 | 3,04 | 4,01                                                                                                           | 2,98 | 1,60 | 0,12 | 0,03 | 86,7 | 3,10 | 4,04 | 2,97 | 1,62 | 0,14 | 0,03 | 1,16 | 3,23 | 2,00 | 0,98 | 2,24 | 13,9 | 7,69 |

## ANEXO 2 - Análise química dos produtos da Mesa Mozley

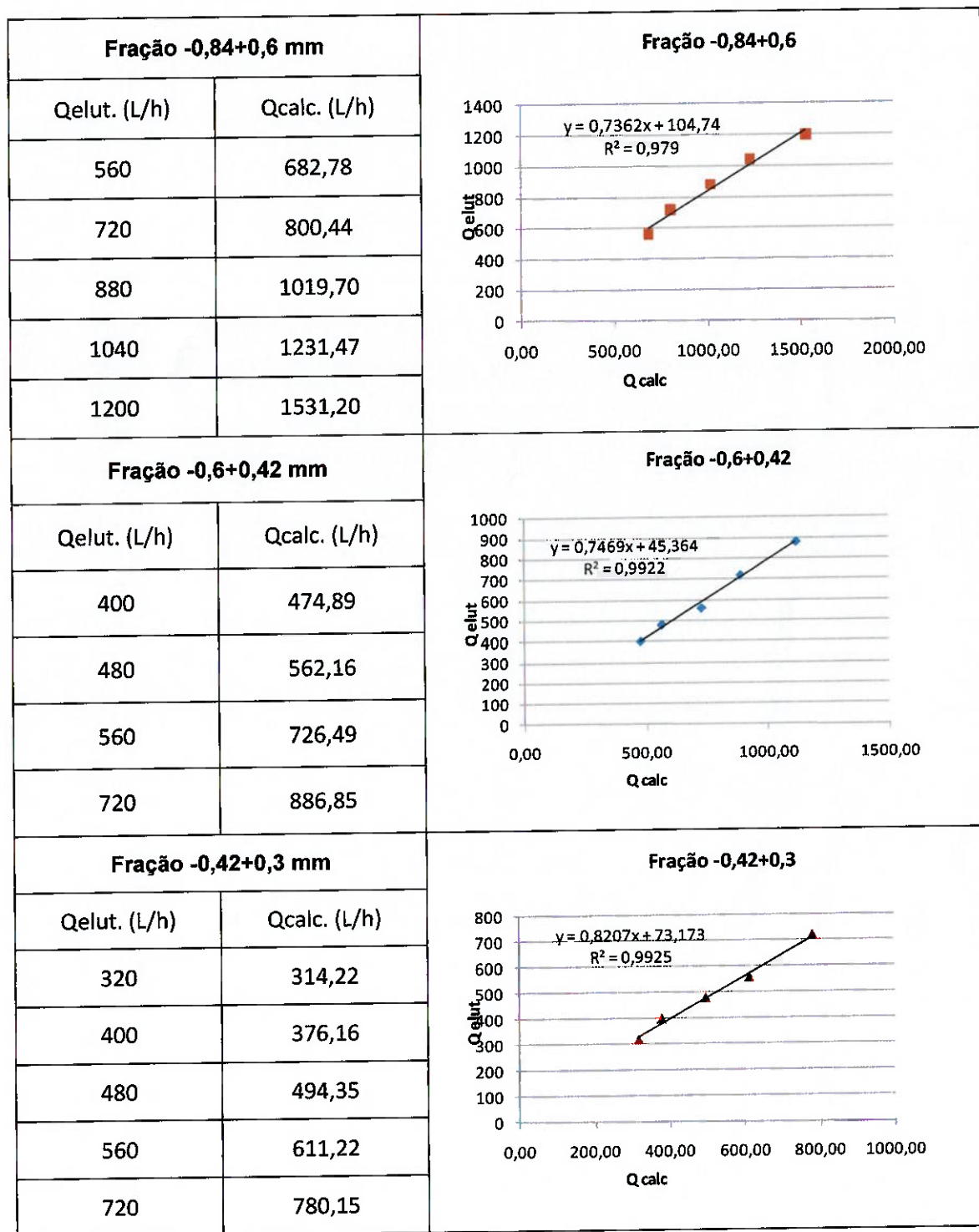
| Fração (mm)    | Massa em (%) | Teores Pesado(%) |                  |                                |                                |      |      | Teores Leve(%)   |      |                  |                                |                                |      | Teores na alimentação (% - calculado) |                  |      |                  |                                |                                | Recuperação no pesado (%) |      |                  |      |                  |                                |                                |       |       |                  |       |       |
|----------------|--------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|---------------------------------------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------|------|------------------|------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
|                | Pesado       | Leve             | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | F                                     | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO                       | F    | SnO <sub>2</sub> | PbO  | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO   | F     | SnO <sub>2</sub> | PbO   |       |
| -0,84 +0,60    | 5,64%        | 94,4%            | 30,2             | 19,9                           | 23,2                           | 10,6 | 9,67 |                  | 1,01 | 37,5             | 0,00                           | 3,82                           | 0,00 | 0,00                                  |                  | 0,00 | 0,00             | 37,1                           | 1,12                           | 4,91                      | 0,60 | 0,54             |      | 0,06             | 4,59                           | 100,0                          | 26,6  | 100,0 | 100,0            |       | 100,0 |
| -0,60 +0,42    | 5,80%        | 94,2%            | 48,6             | 30,1                           | 12,8                           | 3,52 | 2,61 |                  | 1,10 | 89,6             | 1,53                           | 2,77                           | 2,96 | 2,30                                  |                  | 0,01 |                  | 87,2                           | 3,18                           | 3,36                      | 2,99 | 2,32             |      | 0,08             | 3,23                           | 54,8                           | 22,2  | 6,83  | 6,53             |       | 82,8  |
| -0,42 +0,30    | 4,29%        | 95,7%            | 22,3             | 34,9                           | 17,1                           | 3,12 | 2,92 | 12,9             | 1,70 | 87,6             | 1,59                           | 3,14                           | 2,90 | 2,32                                  | 0,03             | 0,02 |                  | 84,8                           | 3,02                           | 3,74                      | 2,91 | 2,35             | 0,58 | 0,09             | 1,13                           | 49,6                           | 19,63 | 4,61  | 5,35             | 94,8  | 81,8  |
| -0,30 +0,21    | 6,31%        | 93,7%            | 32,2             | 39,8                           | 9,01                           | 0,62 | 0,00 | 10,5             | 1,47 | 86,5             | 1,24                           | 4,47                           | 3,49 | 2,36                                  | 0,02             | 0,01 |                  | 83,1                           | 3,67                           | 4,75                      | 3,31 | 2,21             | 0,68 | 0,10             | 2,45                           | 68,3                           | 12,0  | 1,18  | 0,00             | 97,9  | 95,2  |
| -0,21 +0,15    | 6,94%        | 93,1%            | 20,1             | 41,1                           | 14,01                          | 0,49 | 0,00 | 9,05             | 1,26 | 85,4             | 1,23                           | 4,33                           | 2,93 | 2,55                                  | 0,00             | 0,00 |                  | 80,8                           | 3,99                           | 5,00                      | 2,76 | 2,37             | 0,63 | 0,09             | 1,72                           | 71,4                           | 19,45 | 1,23  | 0,00             | 100,0 | 100,0 |
| -0,15 +0,105   | 7,82%        | 92,2%            | 9,68             | 37,5                           | 27,7                           | 2,80 | 2,55 | 9,13             | 1,09 | 88,7             | 1,01                           | 2,57                           | 3,08 | 2,56                                  | 0,08             | 0,02 |                  | 82,5                           | 3,86                           | 4,53                      | 3,05 | 2,56             | 0,79 | 0,11             | 0,92                           | 75,9                           | 47,77 | 7,16  | 7,78             | 90,7  | 80,7  |
| -0,105 +0,074  | 7,07%        | 92,9%            | 6,34             | 43,9                           | 26,3                           | 2,53 | 2,09 | 12,2             | 1,35 | 90,6             | 1,10                           | 2,34                           | 2,97 | 2,23                                  | 0,02             | 0,00 |                  | 84,6                           | 4,13                           | 4,03                      | 2,93 | 2,22             | 0,88 | 0,10             | 0,53                           | 75,2                           | 46,2  | 6,09  | 6,67             | 97,9  | 100,0 |
| -0,074 +0,054  | 6,15%        | 93,8%            | 3,10             | 44,4                           | 31,65                          | 2,35 | 2,31 | 10,8             | 1,32 | 89,4             | 0,89                           | 2,49                           | 2,80 | 2,30                                  | 0,03             | 0,01 |                  | 84,1                           | 3,57                           | 4,28                      | 2,77 | 2,30             | 0,69 | 0,09             | 0,23                           | 76,6                           | 45,5  | 5,21  | 6,17             | 96,6  | 93,5  |
| -0,054 + 0,037 | 5,97%        | 94,0%            | 6,30             | 45,7                           | 27,5                           | 3,81 | 2,64 | 8,91             | 1,53 | 89,6             | 1,04                           | 3,06                           | 2,69 | 2,26                                  | 0,09             | 0,01 |                  | 84,6                           | 3,70                           | 4,52                      | 2,75 | 2,28             | 0,61 | 0,10             | 0,44                           | 73,6                           | 36,3  | 8,26  | 6,91             | 86,9  | 94,2  |
| -0,037 +0,020  | 4,18%        | 95,8%            | 25,2             | 31,2                           | 18,9                           | 1,71 | 1,52 | 15,2             | 2,12 | 85,7             | 2,20                           | 4,12                           | 2,43 | 2,58                                  | 0,10             | 0,01 |                  | 83,1                           | 3,41                           | 4,74                      | 2,40 | 2,54             | 0,73 | 0,10             | 1,27                           | 38,2                           | 16,7  | 2,97  | 2,51             | 87,5  | 87,7  |



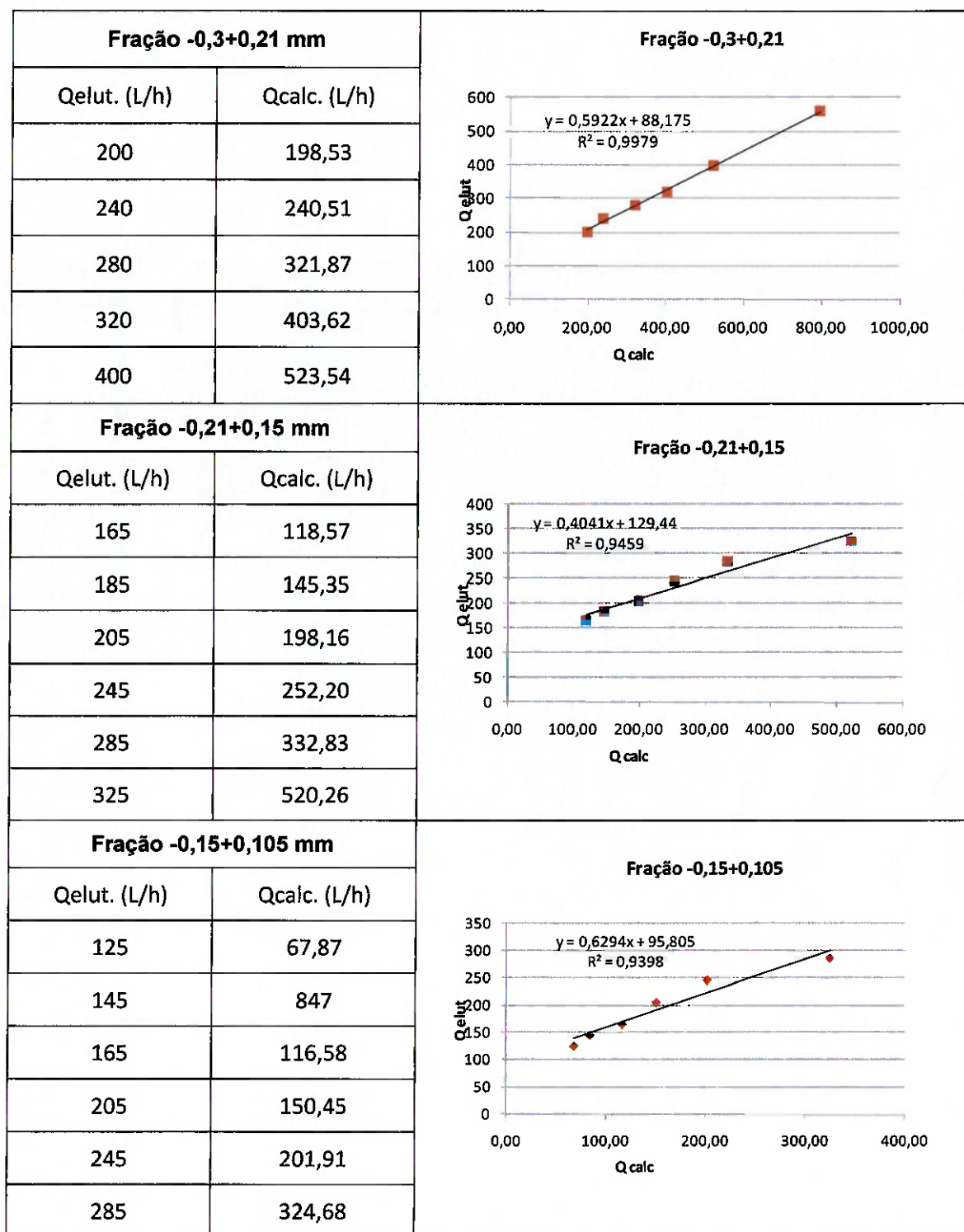
### ANEXO 3 - Composição das fases do produto pesado da elutriação

| Fração (mm)  | Vazão (L/h) | Composição calculada para o pesado (%) |          |          |          |             |        |
|--------------|-------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|-------------|--------|
|              |             | quartzo                                | fluorita | coríndon | hematita | cassiterita | chumbo |
| -0,84+0,6    | 560         | 70%                                    | 12%      | 8%       | 10%      |             | 0,3%   |
|              | 720         | 33%                                    | 8,2%     | 22%      | 36%      |             | 1,0%   |
|              | 880         | 0,0%                                   | 0,0%     | 9,8%     | 89%      |             | 1,5%   |
|              | 1040        | 0,0%                                   | 0,0%     | 1,0%     | 97%      |             | 1,8%   |
|              | 1200        | 0,0%                                   | 0,0%     | 0,0%     | 98%      |             | 2,2%   |
| -0,6+0,42    | 400         | 79%                                    | 11%      | 5,5%     | 4,0%     |             | 0,2%   |
|              | 480         | 60%                                    | 16%      | 13%      | 11%      |             | 0,4%   |
|              | 560         | 30%                                    | 19%      | 24%      | 26%      |             | 0,8%   |
|              | 720         | 0,0%                                   | 0,0%     | 22%      | 77%      |             | 1,9%   |
|              | 880         | 0,0%                                   | 0,1%     | 8,8%     | 89%      |             | 2,2%   |
| -0,42+0,3    | 320         | 74%                                    | 13%      | 5,6%     | 4,8%     | 1,7%        | 0,2%   |
|              | 400         | 49%                                    | 13%      | 17%      | 16%      | 4,6%        | 0,4%   |
|              | 480         | 0,0%                                   | 3,5%     | 33%      | 46%      | 16%         | 1,2%   |
|              | 560         | 0,0%                                   | 0,0%     | 28%      | 49%      | 21%         | 1,6%   |
|              | 720         | 0,0%                                   | 0,0%     | 22%      | 36%      | 39%         | 3,1%   |
| -0,3+0,21    | 200         | 82%                                    | 5,7%     | 7,6%     | 3,2%     | 1,8%        | 0,1%   |
|              | 240         | 65%                                    | 15%      | 9,9%     | 8,3%     | 2,5%        | 0,3%   |
|              | 280         | 40%                                    | 18%      | 19%      | 18%      | 5,5%        | 0,6%   |
|              | 320         | 0,0%                                   | 7,7%     | 35%      | 42%      | 14%         | 1,1%   |
|              | 400         | 0,0%                                   | 1,0%     | 18%      | 55%      | 25%         | 1,6%   |
|              | 560         | 0,0%                                   | 0,0%     | 0,7%     | 40%      | 57%         | 2,9%   |
| -0,21+0,15   | 165         | 72%                                    | 12%      | 7,7%     | 5,7%     | 2,0%        | 0,2%   |
|              | 185         | 58%                                    | 17%      | 12%      | 11%      | 1,0%        | 0,3%   |
|              | 205         | 23%                                    | 16%      | 30%      | 27%      | 3,2%        | 0,7%   |
|              | 245         | 3,2%                                   | 11%      | 34%      | 42%      | 8,8%        | 1,3%   |
|              | 285         | 0,0%                                   | 4,7%     | 19%      | 54%      | 20%         | 2,4%   |
|              | 325         | 0,0%                                   | 7,4%     | 18%      | 46%      | 27%         | 2,1%   |
| -0,15+0,105  | 125         | 82%                                    | 9,0%     | 4,6%     | 4,1%     | 0,2%        | 0,1%   |
|              | 145         | 73%                                    | 7,9%     | 8,3%     | 9,6%     | 0,9%        | 0,3%   |
|              | 165         | 61%                                    | 6,0%     | 12%      | 18%      | 2,3%        | 0,6%   |
|              | 205         | 65%                                    | 5,0%     | 9,3%     | 17%      | 3,2%        | 0,6%   |
|              | 245         | 25%                                    | 0,0%     | 6,4%     | 25%      | 41%         | 2,7%   |
|              | 285         | 13%                                    | 4,8%     | 9,1%     | 36%      | 35%         | 2,3%   |
| -0,105+0,074 | 65          | 78%                                    | 10%      | 5,1%     | 4,8%     | 1,5%        | 0,2%   |
|              | 85          | 72%                                    | 11%      | 7,3%     | 7,7%     | 2,3%        | 0,2%   |
|              | 105         | 66%                                    | 11%      | 8,2%     | 11%      | 3,3%        | 0,3%   |
|              | 125         | 51%                                    | 9,3%     | 13%      | 26%      | 0,1%        | 0,9%   |
|              | 145         | 30%                                    | 9,8%     | 11%      | 31%      | 17%         | 1,1%   |
|              | 185         | 41%                                    | 10%      | 9,4%     | 21%      | 17%         | 1,4%   |
| -0,074+0,05  | 45          | 80%                                    | 9,2%     | 5,0%     | 4,3%     | 1,1%        | 0,2%   |
|              | 65          | 71%                                    | 10%      | 7,1%     | 9,1%     | 2,6%        | 0,3%   |
|              | 85          | 59%                                    | 8,3%     | 11%      | 17%      | 5,2%        | 0,5%   |
|              | 125         | 64%                                    | 13%      | 8,1%     | 10%      | 4,0%        | 0,5%   |
|              | 145         | 67%                                    | 12%      | 7,3%     | 9,5%     | 3,6%        | 0,4%   |
| -0,05+0,037  | 25          | 81%                                    | 7,5%     | 5,2%     | 4,8%     | 1,1%        | 0,2%   |
|              | 45          | 80%                                    | 7,5%     | 5,2%     | 5,5%     | 1,3%        | 0,2%   |
|              | 65          | 71%                                    | 7,3%     | 7,7%     | 11%      | 2,4%        | 0,4%   |
|              | 85          | 68%                                    | 10,0%    | 8,1%     | 12%      | 1,6%        | 0,3%   |
|              | 105         | 70%                                    | 5,1%     | 9,2%     | 15%      | 1,0%        | 0,4%   |
| -0,037+0,02  | 25          | 83%                                    | 6,7%     | 5,8%     | 3,6%     | 0,4%        | 0,1%   |
|              | 45          | 83%                                    | 5,3%     | 6,2%     | 4,4%     | 0,5%        | 0,2%   |
|              | 55          | 81%                                    | 4,7%     | 6,6%     | 5,6%     | 1,6%        | 0,2%   |
|              | 65          | 81%                                    | 7,0%     | 6,6%     | 4,8%     | 1,0%        | 0,1%   |
|              | 85          | 78%                                    | 5,8%     | 7,8%     | 7,2%     | 1,6%        | 0,2%   |

# ANEXO 4 - Correlação entre vazão calculada e vazão ensaiada



# ANEXO 4 - Correlação entre vazão calculada e vazão ensaiada



# ANEXO 4 - Correlação entre vazão calculada e vazão ensaiada

