

**TECNOLOGIA  
MINERAL**

# AMOSTRAGEM DE MINÉRIOS

49

**MARIA ALICE CABRAL GOES  
MARIO VALENTE POSSA  
ADÃO BENVINDO DA LUZ**

STM 49

CE



**CETEM**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA  
Fernando Collor de Melo

SECRETÁRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
José Goldemberg

PRESIDENTE DO CNPq  
Gerhard Jacob

DIRETORIA DE UNIDADES DE PESQUISA  
José Duarte de Araújo

DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO  
Jorge Almeida Guimarães

DIRETORIA DE PROGRAMAS  
Augusto Cesar Bittencourt Pires

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral

DIRETOR  
Roberto C. Villas Bôas

VICE-DIRETOR  
Peter Rudolf Seidl

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS - DTM  
Adão Benvindo da Luz

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRATIVA - DME  
Juliano Peres Barbosa

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE QUÍMICA INSTRUMENTAL - DQI  
José Antonio Pires de Mello

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO - DES  
Ana Maria B. M. da Cunha

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO - DAD  
Vornei Mendes

## AMOSTRAGEM DE MINÉRIOS

Maria Alice Cabral Goes\*

Mario Valente Possa\*\*

Adão Benvindo da Luz\*\*\*

*Ex: 1006452*

CT-00005227-7

*STH 44*

*CE*

*ex: 1*

\*"Quality Engineer" (American Society for Quality Control), M.Sc em Engenharia Metalurgica e de Materiais (COPPE/UFRJ)

\*\*Engenheiro de Minas, Pos-Graduação em Carvão Mineral Nacional (UFRGS)

\*\*\*Engenheiro de Minas, Pos-Graduação em Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa (COPPE - UFRJ)

FICHA TÉCNICA

COORDENAÇÃO EDITORIAL  
Dayse Lúcia M. Lima

REVISÃO  
Milton Torres B. e Silva

EDITORACÃO ELETRÔNICA

PROGRAMAÇÃO VISUAL  
Alessandra S. Wisnerowicz

COMPOSIÇÃO DE TEXTO  
Suzana Magalhães  
Fátima Mello

ILUSTRAÇÃO  
Jacinto Françgella

CETEM  
BIBLIOTECA  
Reg. N.º 852 Data 30/09/91  
ex: 1

TECNOLOGIA  
MINERAL

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL  
CETEM / CNPq  
BIBLIOTECA

# AMOSTRAGEM DE MINÉRIOS

Pedidos ao:  
CETEM - Centro de Tecnologia Mineral  
Departamento de Estudos e Desenvolvimento - DES  
Rua 4 - Quadra D - Cidade Universitária - Ilha do Fundão  
21949 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil  
Fone: 260-7222 - Ramal: 218 (BIBLIOTECA)

Solicita-se permuta.  
We ask for change.

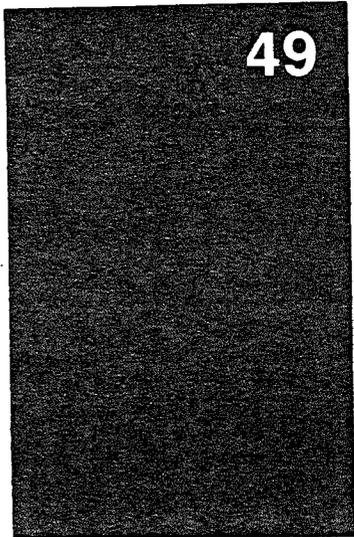
Goes, Maria Alice Cabral  
Amostragem de minérios/ Maria Alice Cabral Goes,  
Mario Valente Possa, Adão Benvindo da Luz.  
- Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1991.

48 p.: il. - (Série Tecnologia Mineral, 49)

1. Amostragem de minérios  
I. Possa, Mario Valente. II. Luz, Adão Benvindo da.  
III. Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro  
IV. Título. V. Série.

ISSN - 0103-7382  
ISBN - 85-7227-012-4

CDD 622.7



 **CNPq** **CETEM**

PATRIMÔNIO	
17-B - 4107	
COL. DE	VOL
DATA	VOL N.º
28/04/93	
REG. N.º	
BMB	

~~MARIA ALICE CABRAL GOES~~  
**MARIO VALENTE POSSA**  
**ADÃO BENVINDO DA LUZ**

## APRESENTAÇÃO

*Os conceitos de Qualidade e Produtividade pressupõem a consciência sinérgica dos processos envolvidos na elaboração/produção de bens e produtos.*

*Toda a seqüência operacional da série de manufatura de um produto ou serviço deve ser visualizada no seu todo, e ações previstas em cada operação unitária que leve à consecução do objetivo (produto) final.*

*O elo inicial dessa seqüência é a amostragem. Esta deve ser feita sobre matérias-primas e insumos variados, assegurando a homogeneidade e harmonia da produção.*

*Na área mineral, a amostragem sendo de fundamental importância, é, muitas vezes, relegada a um plano secundário, resultando em imensos e custosos problemas, mais tarde.*

*Este trabalho discute os conceitos e práticas da amostragem de minérios, e foi programado por profissionais atuantes no setor mineiro-metalúrgico, os três, e com vasto conhecimento de Qualidade Industrial, a primeira autora.*

*ROBERTO C. VILLAS BÔAS*

## SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUÇÃO	3
2. CONCEITUAÇÃO	4
2.1 Da Amostragem	4
2.2 Dos Erros	5
2.3 Da Constituição e Distribuição da Amostra	7
3. ESTABELECIMENTO DO PLANO DE AMOSTRAGEM	8
3.1 Características Principais de um Plano de Amostragem	9
3.2 Avaliação do Plano de Amostragem	14
4. DETERMINAÇÃO DA MASSA MÍNIMA DE AMOSTRA	14
4.1 Amostra com Disponibilidade de Informações	14
4.2 Amostra com Poucas Informações	18
5. TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM	18
5.1 Amostragem de Minérios Sólidos ou em Polpa	18
6. AMOSTRA FINAL PARA TESTE OU ANÁLISE QUÍMICA	33
REFERÊNCIAS	34
ANEXOS	37

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o estabelecimento de critérios, rotinas e procedimentos para amostragem de minérios. Sendo assim, é feita inicialmente uma abordagem envolvendo conceituação de amostragem e dos erros pertinentes.

Para determinação da massa mínima de amostra numa amostragem, são apresentados exemplos práticos de aplicação da teoria de Pierre Gy e tabela de Richards.

## ABSTRACT

The objective of this work is the establishment of criterions, routines and proceedings for ore sampling. Therefore, an approach involving sampling concepts and pertinent errors is presented.

Practical examples are shown using Pierre Gy's theory and Richards' table to predict the minimum sample weight for a particular particle size and error.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de amostragem consiste na retirada de quantidades moduladas de material (incrementos) de um todo que se deseja amostrar, para a composição da amostra primária ou global, de tal forma que essa seja representativa do todo amostrado. Em seguida, a amostra primária é submetida a uma série de etapas de preparação que envolvem operações de redução de granulometria, homogeneização e quarteamento, até a obtenção da amostra final, com massa e granulometria adequadas para a realização de testes e/ou análises química e instrumental.

Cabe ressaltar que a representatividade referida é válida para parâmetro(s) de interesse (densidade, teor, umidade, distribuição granulométrica, constituintes minerais) definido(s) *a priori*. E, ainda, que cuidados devem ser tomados para que essa representatividade não se perca, quando da preparação da amostra primária.

A amostragem é um processo aleatório, e sua teoria envolve o estudo dos diferentes erros passíveis de ocorrer, tanto na etapa de amostragem propriamente dita como na etapa de preparação.

A importância da amostragem é ressaltada, principalmente, quando entram em jogo a avaliação de depósitos minerais, o controle de processos em laboratório e indústria, e a comercialização de produtos. Ressalte-se que uma amostragem mal conduzida pode resultar em prejuízos vultosos ou em distorções dos resultados, de conseqüências técnicas imprevisíveis.

## 2. CONCEITUAÇÃO<sup>[1]</sup> [2]

### 2.1 Da Amostragem

#### 2.1.1 Amostra

Amostra é uma quantidade representativa do universo que se deseja amostrar.

O método de retirada da amostra deve garantir que ela seja representativa desse universo, no que diz respeito ao(s) parâmetro(s) de interesse. Normalmente uma amostra deve ser composta pelo maior número possível de incrementos.

#### 2.1.2 Incremento

Incremento é uma quantidade modular de material retirada do universo que se deseja amostrar, para composição de uma amostra.

#### 2.1.3 Lote

Lote é uma quantidade manipulável de material.

#### 2.1.4 Amostra Primária ou Global

A amostra primária ou global é a quantidade de material manipulável resultante da etapa de amostragem propriamente dita.

#### 2.1.5 Amostra Final

A amostra final é uma quantidade de material, resultante da etapa de preparação da amostra primária, que possui massa e granulometria adequadas para a realização de testes e/ou análises química e instrumental.

#### 2.1.6 Amostragem

O esquema completo de amostragem é uma seqüência de etapas de amostragem propriamente dita e de preparação da amostra primária, visando a obtenção de uma amostra final.

### 2.2. Dos Erros

#### 2.2.1 Erro de Amostragem ( $EE$ )

O erro de amostragem é o somatório de sete erros independentes, envolvidos no processo de seleção da amostra primária, e provenientes, principalmente, da variabilidade do material amostrado.

$$EE = ED + EI_1 + EI_3 + EF + ES + EC + EP$$

onde:

$ED$  = erro de ponderação, resultante da não uniformidade da densidade ou da vazão do material amostrado;

$EI_1$  = erro de integração, resultante do grau de heterogeneidade de distribuição do material amostrado;

$EI_3$  = erro de periodicidade, resultante de variações periódicas da qualidade do material amostrado;

$EF$  = erro fundamental, resultante da heterogeneidade do material amostrado. Depende fundamentalmente da massa da amostra e, em menor instância, do material amostrado. É o erro que se comete quando a amostragem é realizada em condições ideais;

$ES$  = erro de segregação, resultante da heterogeneidade de distribuição localizada do material amostrado;

$EC$  = erro de delimitação, resultante da configuração incorreta da delimitação da dimensão dos incrementos;

$EP$  = erro de extração, resultante da extração efetiva dos incrementos.

Os erros  $ED, EI_1, EI_3, EF$  e  $ES$  podem ser definidos quantitativamente. Suas média e variância podem ser estimadas através de resultados de experimentos variográficos.

Os erros  $EC$  e  $EP$  não podem ser estimados experimentalmente mas, através de procedimentos referendados, é possível minimizá-los e, também, eliminar prováveis erros sistemáticos.

### 2.2.2 Erro de Preparação ( $EZ$ )

O erro de preparação é o somatório de cinco erros independentes, provenientes das operações de redução de granulometria, homogeneização e quarteramento a que a amostra primária é submetida.

$$EZ = EZ_1 + EZ_2 + EZ_3 + EZ_4 + EZ_5$$

onde:

$EZ_1$  = perda de partículas pertencentes à amostra;

$EZ_2$  = contaminação da amostra por material estranho;

$EZ_3$  = alteração do parâmetro de interesse a ser medido na amostra final;

$EZ_4$  = erros não intencionais do operador (como a mistura de subamostras provenientes de diferentes amostras);

$EZ_5$  = alteração intencional do parâmetro de interesse a ser medido na amostra final.

Os erros  $EZ_1, EZ_2, EZ_3, EZ_4, EZ_5$ , não podem ser estimados experimentalmente, mas, através de procedimentos referendados, é possível minimizá-los e, também, eliminar prováveis erros sistemáticos.

### 2.2.3 Erro Total de Amostragem ( $ET$ )

O erro total de amostragem é o somatório dos erros provenientes das etapas da amostragem propriamente dita e da preparação da amostra primária.

$$ET = EE + EZ$$

### 2.3 Da Constituição e Distribuição da Amostra

#### 2.3.1 Constituição Homogênea

Diz-se que um lote de material goza de constituição homogênea

quando todos os seus elementos constitutivos (fragmentos que o compõem) são idênticos entre si. Caso contrário, diz-se que possui uma constituição heterogênea.

### 2.3.2 Heterogeneidade de Constituição

A heterogeneidade de constituição é uma característica intrínseca e inalterável da matéria, sobre a qual a homogeneização não tem qualquer influência.

### 2.3.3 Distribuição Homogênea

Diz-se que um lote de material goza de distribuição homogênea quando um volume corrente, de dimensões constantes, levado a ocupar todas as posições possíveis no espaço do lote, possui uma composição média constante.

### 2.3.4 Heterogeneidade de Distribuição

A heterogeneidade de distribuição é função da heterogeneidade de constituição, da distribuição espacial dos fragmentos e da escala de observação, ou seja, da dimensão do volume corrente.

## 3. ESTABELECIMENTO DO PLANO DE AMOSTRAGEM<sup>[1]</sup>

Antes de um material ser amostrado, faz-se necessário definir as características principais do plano de amostragem, tendo como base o objetivo da amostragem e o conhecimento anterior sobre o assunto.

## 3.1 Características Principais de um Plano de Amostragem

### 3.1.1 A Precisão Requerida

Em geral, quanto maior a precisão requerida, maior o custo envolvido. Erros de amostragem e de análise sempre existem, devendo ser balanceados entre si em relação ao valor intrínseco do material, bem como em relação ao custo proveniente dos erros.

### 3.1.2 O Método de Retirada da Amostra Primária

A experiência normalmente determina a técnica de retirada de amostra. Entretanto, algum trabalho experimental pode ser necessário para a determinação do método de amostragem.

A maneira pela qual os incrementos são selecionados para a composição da amostra primária depende do tipo de material, de como ele é transportado e também do objetivo da amostragem.

Cabe ressaltar que o método de amostragem deve ser definido antes de se estabelecer a massa da amostra primária.

Alguns métodos típicos de amostragem são apresentados a seguir.

#### 3.1.2.1 Amostragem Aleatória

É normalmente utilizada quando se dispõe de pouca informação sobre o material a ser amostrado. Nela, os incrementos são escolhidos de maneira fortuita, fazendo, dessa maneira, com que todas as partes do material possuam a mesma probabilidade de serem selecionados.

Na realidade, a amostra verdadeiramente aleatória é de difícil obtenção, dando vez, na prática, uma amostra sistemática, já que o operador, com o propósito de cobrir todas as partes do material a ser amostrado, o subdivide grosseiramente em áreas iguais, nas quais seleciona incrementos.

### 3.1.2.2 Amostragem Sistemática

É aquela onde os incrementos são coletados a intervalos regulares, definidos *a priori*.

Deve-se ter em mente a possibilidade de existência de ciclos de variação do parâmetro de interesse e desses ciclos coincidirem com os períodos de retiradas dos incrementos; nesse caso não se recomenda a utilização da amostragem sistemática.

Por outro lado, se a ordem de retirada dos incrementos não tiver qualquer relacionamento com os ciclos de variação do parâmetro de interesse, então a amostragem sistemática terá efeitos equivalentes à amostragem aleatória, podendo ser usada sem restrições.

### 3.1.2.3 Amostragem Estratificada

É uma extensão da amostragem sistemática, envolvendo a divisão do material em grupos. Esses são normalmente amostrados proporcionalmente a seus pesos. São casos específicos: amostragem de material em vagões ou *containers*, tambores de líquido com sedimento e de refugo de itens de metal classificados quanto ao tipo.

### Nota

O erro de amostragem é a diferença entre o valor da média real,  $\mu$ , de um parâmetro de interesse do universo a ser amostrado, e o valor da média,  $\bar{x}$ , deste mesmo parâmetro de interesse em uma amostra.

A distribuição das médias  $\bar{x}$ , segundo técnicas de amostragem aleatória ou sistemática, tende a uma Distribuição Normal com média  $\bar{x}$  (média das médias  $\bar{x}$ , melhor estimativa da média real  $\mu$ ) e desvio padrão  $S_s$  (o erro de amostragem). Assim, segundo o Teorema do Limite Central<sup>1</sup>

$$S_s = \frac{\sigma_s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

onde:

$S_s$  = erro de amostragem expresso como desvio padrão;  
 $\sigma_s$  = variabilidade real do material expressa como desvio padrão;  
 $n$  = número de incrementos retirados para compor cada amostra.

O limite de confiança para média real  $\mu$  é dado por:

$$E_s = t \frac{S_s}{\sqrt{k}} \quad (2)$$

onde:

$E_s$  = erro de amostragem expresso como limite de confiança;  
 $t$  =  $t$ -Student para  $(n-1)$  graus de liberdade e um dado nível de confiança (Anexo 1);  
 $k$  = número de amostras retiradas do universo.

<sup>1</sup>Teorema do Limite Central - Considere uma distribuição qualquer, com média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ : a distribuição das médias de amostras de  $n$  elementos tende a normal, com média  $\mu$  e desvio padrão  $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ :

### 3.1.3 O Tamanho da Amostra Primária

É determinado estabelecendo-se, inicialmente, a dimensão do incremento e o número de incrementos a serem retirados.

A dimensão do incremento de amostragem é definida pelo tipo de ferramenta utilizada para a retirada da amostra primária e pela granulometria do material. O incremento deve ser suficientemente grande, para que uma porção representativa de grossos e finos seja retirada.

Definida a técnica de amostragem, faz-se necessário estimar a variabilidade do material, caso esta não seja conhecida através de testes exploratórios.

Nesse caso,  $n_t$  incrementos são retirados para teste, sendo individualmente preparados e analisados quanto ao parâmetro de interesse. Supondo-se não significativos os erros provenientes das etapas de preparação e análise, a estimativa da variabilidade do material, pode ser obtida por:

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{(n_t - 1)}} \quad (3)$$

onde:

$S_t$  = estimativa da variabilidade do material a partir de  $n_t$  testes exploratórios, expressa como desvio padrão;

$x_i$  = valor atribuído ao parâmetro de interesse no incremento individual  $i$ ;

$\bar{x}$  = média de  $x_i$ ;

$n_t$  = número de incrementos selecionados para teste.

Cabe ressaltar que estamos supondo que os valores para os parâmetros de interesse, em todos os incrementos existentes no material a ser amostrado, se distribuem em relação à média segundo uma Distribuição Normal.

Como  $n_t$  é um número limitado de incrementos selecionados para teste,  $S_t$  é apenas uma estimativa da variabilidade real  $\sigma_s$ . E, portanto, quanto maior o número de incrementos, mais  $S_t$  se aproxima de  $\sigma_s$ .

Se for retirada uma amostra primária composta por  $n$  incrementos, o limite de confiança para a média  $\bar{x}$  é dado por:

$$E_s = t \frac{S_t}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

onde:

$E_s$  = erro de amostragem expresso como limite de confiança;

$S$  = estimativa da variabilidade do material a partir de  $n_t$  testes exploratórios, expressa como desvio padrão;

$t$  = *t-Student* para  $(n_t - 1)$  graus de liberdade e um dado nível de confiança (Anexo 1);

$n$  = número de incrementos retirados para compor a amostra primária.

Cabe ressaltar que nesse caso estamos supondo que a amostra primária é muito pequena em relação ao universo a ser amostrado.

O Anexo 2 apresenta um exemplo de determinação do número de incrementos de amostragem para compor uma amostra primária, dado o erro de amostragem requerido.

### 3.1.4 Tratamento da Amostra

A amostra primária é submetida a uma série de etapas de preparação que envolvem operações de redução de granulometria, homogeneização e quarteamento, até a obtenção da amostra final, com massa e granulometria adequadas à realização de testes e/ou análises química e instrumental.

### 3.2 Avaliação do Plano de Amostragem

É recomendável pôr em prática algumas metodologias de conferência do plano de amostragem.

Isso poderá reduzir, ou mesmo eliminar, possíveis erros ocorridos durante o processo, tais como troca de amostras por etiquetagem indevida, contaminação etc.

Recomenda-se também que sejam feitos testes contra fraudes ou contaminações e experimentos para a determinação dos erros de amostragem envolvidos.

## 4. DETERMINAÇÃO DA MASSA MÍNIMA DE AMOSTRA<sup>[1] [3]</sup> [4]

### 4.1 Amostra com Disponibilidade de Informações

A metodologia para o cálculo do tamanho da amostra primária apresentada no item 3.1.3 baseia-se em testes exploratórios para a determinação da variabilidade do material. Essa abordagem pode falhar, caso a variabilidade não siga uma Distribuição Normal, ou se for erradamente estimada a partir de poucas informações. A princi-

pal desvantagem dessa abordagem é a necessidade da realização de experimentos preliminares. Além disso, nenhuma informação pode ser deduzida para as etapas de preparação da amostra primária.

Várias teorias têm sido desenvolvidas com o objetivo de pré-determinar a massa mínima de amostra para uma dada granulometria e um dado erro. Sob certas circunstâncias, a massa da amostra primária pode também ser calculada.

Em geral, as teorias mais simples fazem uma estimativa pessimista e implicam amostras desnecessariamente grandes. Uma sofisticação adicional normalmente resulta numa teoria que requer uma grande quantidade de informação de difícil ou impossível obtenção.

A abordagem teórica desenvolvida pelo engenheiro francês Pierre Gy se destaca pela sua utilidade prática. Além de ser capaz de descrever várias características complexas de uma situação prática de amostragem, aproximações empíricas que foram desenvolvidas permitem que seja usada com facilidade.

#### 4.1.1 Teoria de Pierre Gy

A Teoria de Gy supõe que o material a ser amostrado esteja inteiramente homogeneizado e que não existam erros inerentes às ferramentas de amostragem ou máquinas de cominuição, e, além disso, que partículas individuais possam ser selecionadas com igual probabilidade.

A equação geral é dada por:

$$S_s^2 = d^3 \cdot Q \cdot \left( \frac{1}{w} - \frac{1}{W} \right) l \cdot f \cdot h \quad (5)$$

onde:

$S_s$  = erro de amostragem expresso como desvio padrão;

$d$  = tamanho das maiores partículas no material a ser amostrado; normalmente aproximada pela abertura de peneira, em centímetros, que retém 5% do material;

$Q$  = fator de composição mineralógica;

$w$  = massa mínima da amostra, em gramas;

$W$  = massa do material a amostrar, em gramas;

$l$  = fator de liberação do mineral;

$f$  = fator de forma das partículas;

$h$  = fator de distribuição de tamanho das partículas.

#### 4.1.1.1 Fator de Composição Mineralógica ( $Q$ )

$$Q = x(100 - x) \rho = x(100 - x) \left[ \frac{x}{100} \rho_A + \frac{(100-x)}{100} \rho_B \right] \quad (5.1)$$

onde:

$\rho$  = média ponderada dos pesos específicos de todas as partículas, em  $g/cm^3$ ;

$x$  = teor do mineral de interesse, em %;

$\rho_A$  = peso específico do mineral de interesse, em  $g/cm^3$ ;

$\rho_B$  = peso específico da ganga, em  $g/cm^3$ .

#### 4.1.1.2 Fator de Liberação do Mineral ( $l$ )

Para liberação do(s) mineral(is) de interesse de outros mine-

rais sem valor em particular (ganga), faz-se necessário promover a cominuição do minério. À medida que se processa a liberação, o material torna-se cada vez mais heterogêneo devido à grande diferença entre as partículas que o compõem.

Quando todas as partículas possuírem os mesmos constituintes minerais e forem perfeitamente homogêneas,  $l = 0$ . Se o tamanho das partículas ( $d$ ) for menor ou igual ao tamanho das partículas, em centímetros, onde ocorre a liberação total ( $d_0$ ),  $l = 1$ . Caso contrário  $l = \sqrt{\frac{d_0}{d}}$ .

#### 4.1.1.3 Fator de Forma das Partículas ( $f$ )

Na prática, as partículas possuem formas irregulares e podem tender mais a esféricas do que a cúbicas. Alguns minerais durante a cominuição podem ser liberados como placas ou agulhas e, nesses casos, os testes de peneiramento irão indicar erradamente um valor alto para o tamanho de partícula. Para os minérios em geral,  $f = 0,5$  e, particularmente para ouro,  $f = 0,2$ .

#### 4.1.1.4 Fator de Distribuição do Tamanho das Partículas ( $h$ )

É comum aproximar o tamanho da partícula pela abertura da peneira que retém 5% do material. Assim, apenas as partículas de maior tamanho na distribuição são utilizadas no cálculo de erro de amostragem, desprezando-se as partículas menores. Como  $S_s^2$  é proporcional a  $d^3$ , as partículas maiores levam a estimativas pessimistas e implicam amostras desnecessariamente grandes.

Portanto, recomenda-se:

$h = 0,25$ , para minérios que tenham sido cominuídos para passar

numa dada abertura de peneira;

$h = 0,5$ , caso os finos tenham sido removidos utilizando-se a próxima peneira da série, isto é, para minérios com granulometria compreendida entre duas peneiras sucessivas da mesma série.

O Anexo 3 apresenta um exemplo de determinação da massa mínima de uma amostra com disponibilidade de informações, utilizando a teoria de Pierre Gy.

#### 4.2 Amostra com Poucas Informações

Esse caso é o mais freqüente, principalmente em trabalhos de campo e de laboratório, onde ainda não se dispõe, ou até mesmo não se justifica, a busca das informações para aplicação da teoria de Pierre Gy (item 4.1.1). Nessas circunstâncias, sugere-se a utilização da Tabela de Richards<sup>[5]</sup>, como pode ser visto em exemplo no Anexo 4.

### 5. TÉCNICAS DE AMOSTRAGEM<sup>[6]</sup> [7] [8] [9] [10]

O estudo dessas técnicas tem por objetivo minimizar os erros cometidos nas etapas de amostragem propriamente dita e de preparação da amostra primária.

#### 5.1. Amostragem de Minérios Sólidos ou em Polpa

A amostragem nessas condições pode ser dividida de acordo com o estado de movimento em que se encontra o minério a ser amostrado: amostragem do minério em fluxo e amostragem do minério estático.

#### 5.1.1. Amostragem do Minério em Fluxo

É o caso da amostragem em usina industrial e em usina piloto. A amostra primária é formada a partir da coleta de incrementos e está sujeita a todos os tipos de erros já apresentados (item 2.2).

Quanto maior o número de incrementos, menor o erro total cometido. O número mínimo de incrementos está relacionado à massa mínima necessária para formar a amostra primária.

A coleta de incrementos é realizada em intervalos iguais de tempo, quando a vazão e o(s) parâmetro(s) de interesse do minério são constantes.

Caso a vazão não seja constante, o incremento é coletado em função de uma certa quantidade de massa acumulada ao longo do tempo.

A coleta de incrementos é efetivada aleatoriamente quando há variações periódicas de vazão e de parâmetro(s) de interesse do minério.

Quando o plano de amostragem estabelecer que determinados pontos na usina sejam amostrados num mesmo momento, é aconselhável o uso de amostradores automáticos. Não sendo possível a coleta simultânea, é recomendável que ela seja realizada em sentido inverso ao do fluxo, para que não haja alteração das características das amostras.

##### 5.1.1.1 Amostradores

Os amostradores podem ser manuais ou automáticos. Os amostradores são classificados segundo sua trajetória.

Os amostradores com trajetória retilínea devem ter arestas retas, paralelas, simétricas em relação ao seu eixo e de espessura

constante.

A distância entre as arestas é dada por:

$$D > D_0 \quad (6)$$

onde:

$D$  = distância entre as arestas, em mm;

$D_0 = 3d$  quando  $d > 3\text{mm}$  ( $d$  = diâmetro da maior partícula, em mm);

$D_0 = 10\text{mm}$  quando  $d \leq 3\text{mm}$ ;

A velocidade  $V$  (em mm/s) do amostrador é determinada pela expressão:

$$V < \frac{400D}{\sqrt{D_0}} \quad (7)$$

A massa  $M_i$  do incremento pode ser calculada pela expressão:

$$M_i = \frac{SD}{\sqrt{V}} \quad (8)$$

onde:

$S$  = vazão do fluxo em unidade de massa/segundo.

Os amostradores com trajetória circular devem ter arestas radiais.

Tanto os amostradores com trajetória retilínea como circular,

deverão mover-se perpendicularmente ao eixo do fluxo, através da secção total do fluxo com velocidade constante, e ter um volume pelo menos três vezes maior que o volume do incremento, para evitar derramamento.

### 5.1.2. Amostragem com o Minério Estático

Nessa condição a amostragem está sujeita aos erros de preparação, fundamental e de segregação.

Os erros mais comuns praticados na preparação de amostras, como já citados no item 2.2.2, são os seguintes:

a) perda de partículas pertencentes à amostra, como por exemplo o material retido nos amostradores;

b) contaminação da amostra na preparação, por material estranho, como, por exemplo, o resultante do desgaste dos instrumentos/equipamentos utilizados, da não limpeza prévia dos mesmos (ferrugem, minério estranho, poeira etc); quando a contaminação da amostra é crítica, utiliza-se gral de ágata ou moinho com discos ou bolas de porcelana;

c) alteração de uma característica a ser analisada, como, por exemplo, quando o parâmetro de interesse é a umidade, e o operador deixa a amostra exposta a uma fonte de calor ou de umidade;

d) erros não intencionais do operador, como misturar sub-amostras de diferentes amostras, etiquetar erradamente etc;

e) erros intencionais, como alterar o teor ou outro parâmetro importante ("salgar" a amostra).

O erro fundamental é o único erro que não pode ser evitado, pois teoricamente a massa ideal da amostra seria aquela que englobasse todo o seu universo. Para que se possa trabalhar com uma amostra de massa menor, é necessário diminuir a sua granulometria. De uma

maneira geral, a redução da granulometria pode ser realizada como segue:

- a) até cerca de 2 polegadas, utilizam-se britadores de mandíbulas;
- b) de 2 polegadas até 14 malhas, britadores cônicos ou de rolos;
- c) abaixo de 14 malhas, moinho de barras ou bolas, moinhos de discos, pulverizadores ou trituradores manuais (gral).

O erro de segregação é observado principalmente em silos e pilhas, onde as partículas maiores e/ou mais densas tendem a estratificar-se. Esse erro é minimizado através da homogeneização do material a ser amostrado e da diminuição da dimensão dos incrementos e conseqüente aumento do número de incrementos que compõem a amostra.

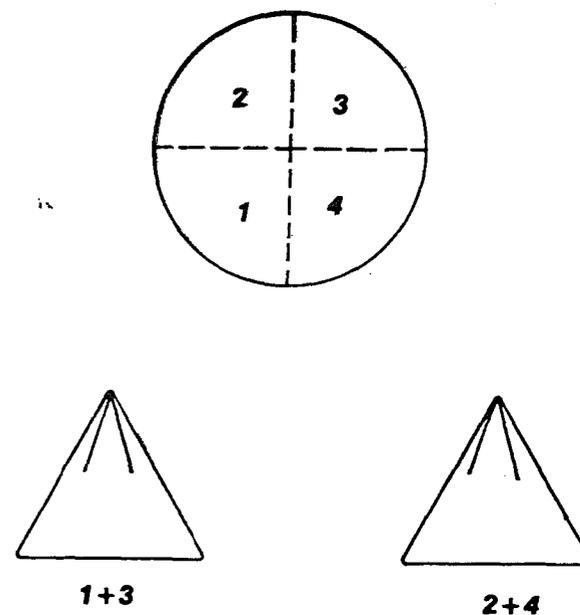
#### 5.1.2.1 Técnicas de Homogeneização e Quarteamento

É imprescindível que a amostra esteja bem homogeneizada antes de ser quarteada. A retirada dessa amostra, em todas as etapas de preparação, deve ser feita observando-se técnicas de homogeneização e quarteamento.

##### 5.1.2.1.1 Pilha Cônica (Figura 1)

Prepara-se uma pilha com a forma de tronco de cone e divide-se em quatro setores iguais. O quarteamento é feito formando-se duas pilhas cônicas (Figura 1), tomando-se para uma os setores 1 e 3, e para a outra, os setores 2 e 4.

Caso seja necessário dividir ainda mais a amostra, toma-se uma destas pilhas e repete-se a operação.



**FIG. 1 - PILHAS CÔNICAS**

### 5.1.2.1.2 Pilha Tronco de Pirâmide (Figura 2)

Partindo-se de uma pilha ou lote formado por uma grande quantidade de minério, deve-se primeiramente, dividi-lo em quatro regiões aproximadamente iguais (Figura 2 A).

Atribui-se a uma pessoa ou grupo de pessoas (A) a responsabilidade da retirada do minério, alternadamente, de quartos opostos (1 e 3); outra pessoa ou grupo de pessoas (B) serão responsáveis pelos outros quartos (2 e 4).

Forma-se a seguir uma outra pilha (Figura 2 B), com a forma de tronco de pirâmide, com uma das pessoas ou grupo (A) colocando sucessivas porções por pá ou equipamento adequado (Figura 3), num dado sentido; e a (o) outra (o), (B) no sentido oposto.

Deve-se ter o cuidado para que a quantidade de minério tomado da pilha anterior seja suficiente para descarregar ao longo de toda a pilha, a velocidade constante. O material constituinte das extremidades deve ser retomado, sendo distribuído novamente ao longo da pilha.

Divide-se a pilha em partes iguais em seu sentido transversal. A espessura de cada seção transversal deve estar relacionada com a largura da pá ou instrumento que será utilizado para a remoção do minério (incremento).

O quarteamento é feito formando-se duas pilhas cônicas, tomando-se para uma, as porções de índices ímpares (1 + 9) etc..., e para outra, as de índices pares.

Com uma das pilhas cônicas, repete-se a operação.

Para pequenas quantidades de amostra, da ordem de quilogramas, a formação da pilha poderá ser realizada distribuindo-se o minério, a velocidade constante (manualmente ou com equipamento adequado), ao longo de toda pilha, num dado sentido e no

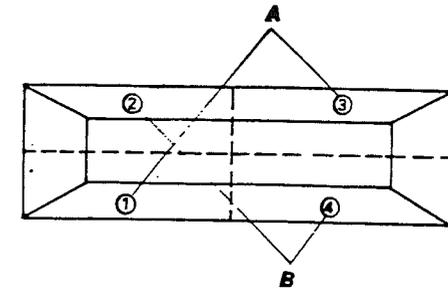


FIG. 2 A - PILHA TRONCO DE PIRÂMIDE

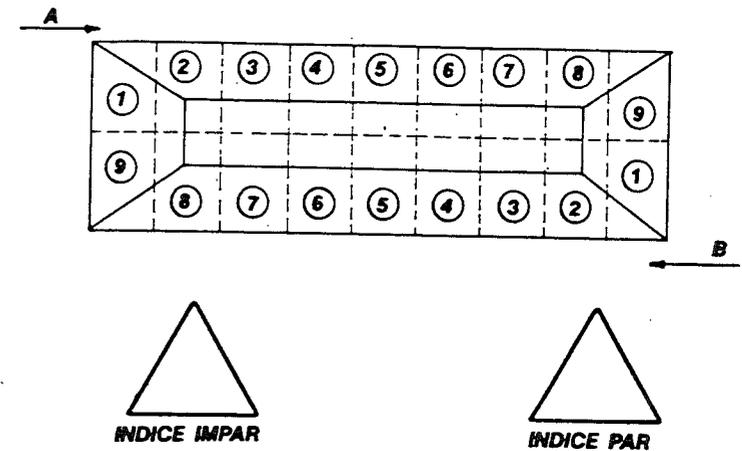


FIG. 2 B - PILHA TRONCO DE PIRÂMIDE

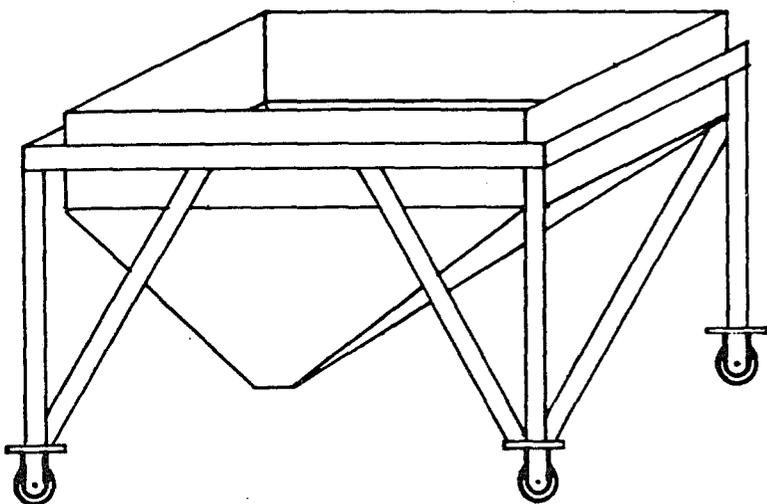


FIG. 3 - EQUIPAMENTO DE DISTRIBUIÇÃO DE MINÉRIO NA PILHA.

sentido oposto. Retoma-se o material das extremidades da pilha, distribuindo-o novamente na mesma. A seguir, divide-se a pilha em quatro partes iguais no seu sentido transversal e, tomando-se partes não adjacentes, repete-se a mesma metodologia.

Haverá casos em que cada seção transversal poderá constituir-se em uma amostra final. Para isso, a massa de cada seção deverá ter uma massa mínima calculada pela fórmula de Pierre Gy ou tabela de Richards.

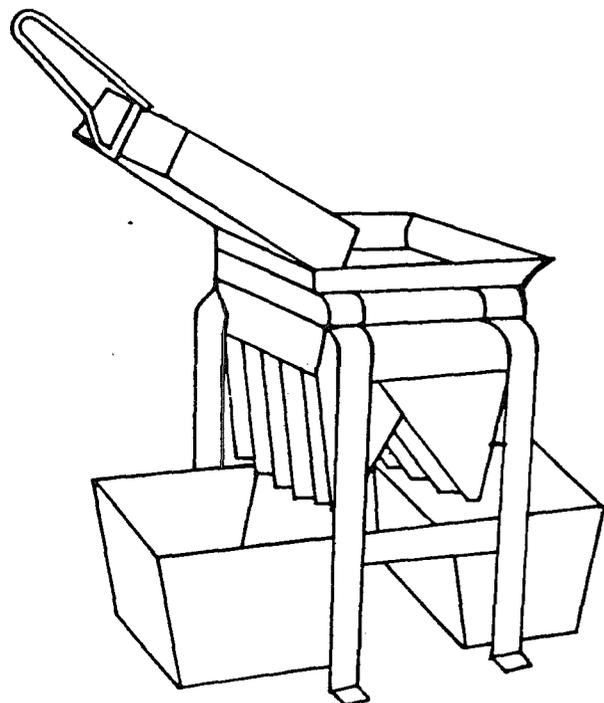
#### 5.1.2.1.3 Homogeneizadores em Y

Esse equipamento é destinado unicamente à homogeneização, tem a forma de um "Y" e um eixo que passando pelos braços na parte em V promove o movimento de rotação através de acionamento por um motor. Ele deve ser feito de aço inoxidável para evitar contaminação na amostra.

#### 5.1.2.1.4 Amostrador Jones (Figura 4)

Esse quarteador é constituído por uma série de calhas inclinadas, ora para um lado ora para o outro. Quanto maior o número de calhas mais fiéis são as amostras obtidas. As calhas devem ser de aço inoxidável, com uma inclinação  $> 45^\circ$  e não devem possuir ângulos vivos. O número de calhas deve ser par e todas devem ter a mesma largura, que deverá ser maior que  $2d + 5\text{mm}$  ( $d =$  diâmetro da maior partícula).

O operador deve colocar a amostra a ser quarteada sobre o amostrador, de maneira lenta e contínua, para evitar a obstrução das calhas e a emissão de partículas. Isso pode ser executado com uma pá ou com um terceiro recipiente coletor da amostra. É necessário que a amostra a ser quarteada esteja seca.



**FIG. 4 - AMOSTRADOR JONES**

#### 5.1.2.1.5 Mesa Homogeneizadora/Divisora (Figuras 5 e 6)

Esse homogeneizador e quarteador de minérios consiste de uma calha vibratória, de vazão e altura de descarga variáveis, que descreve trajetória circular, sobre uma mesa, sendo alimentada por um silo e acionada por um motovariador. É necessário que a amostra esteja seca.

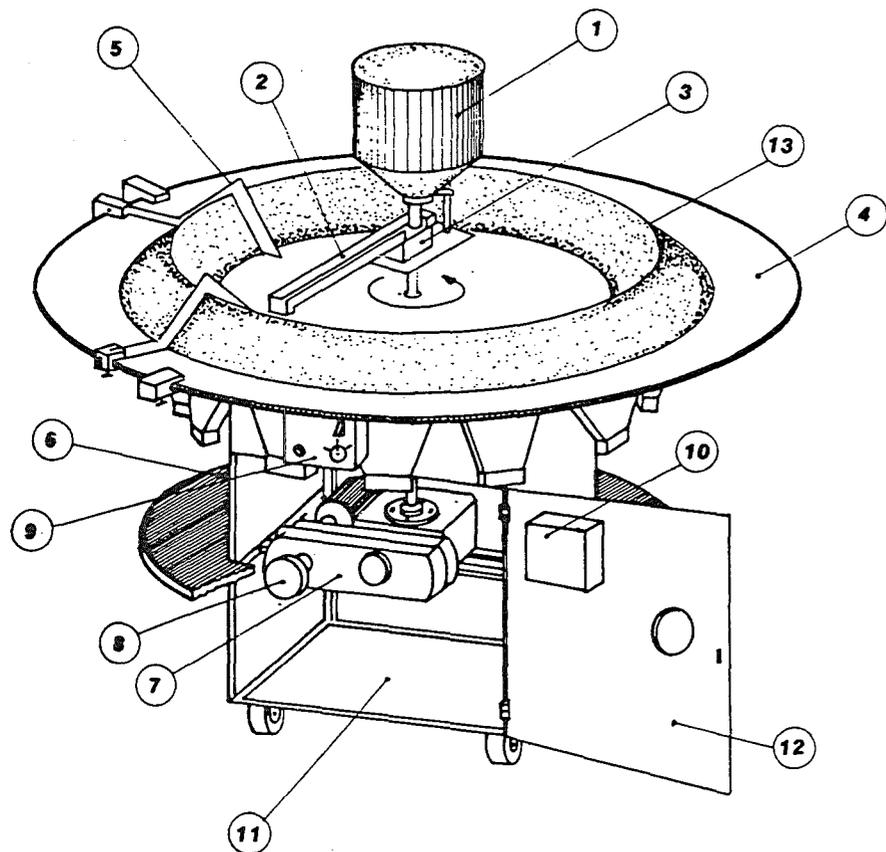
A utilização desse equipamento leva à formação de uma pilha de seção triangular (Figura 6), ou à divisão da amostra através de sua distribuição ao longo de um conjunto de calhas coletoras (Figura 7).

No primeiro caso, a divisão da pilha triangular é obtida por um dispositivo constituído de dois interceptadores triangulares, articulados e reguláveis pelo deslizamento de seu suporte em um aro graduado (menor divisão:  $5^\circ$ ) limitado a um ângulo máximo de  $45^\circ$ . Esse aro pode ser colocado em qualquer posição da mesa.

#### 5.1.2.1.6 Quarteador de Polpa (Figura 7)

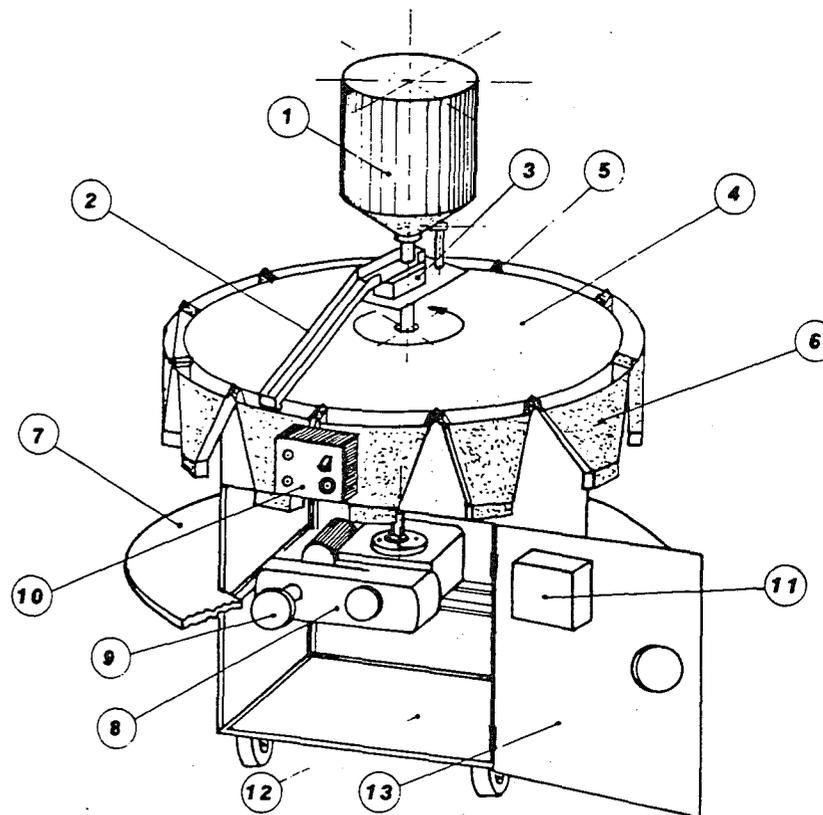
É constituído por um cilindro de terminação cônica, com uma válvula de abertura regulável de acordo com a granulometria do material que constitui a polpa, que é homogeneizada por um agitador.

Ao abrir-se a válvula, a polpa é quarteada por um disco giratório contendo 12 recipientes. Cada recipiente constitui uma fração do quarteamento. Caso se deseje maior massa, juntam-se as amostras dos recipientes diametralmente opostos.



- |                             |                                |
|-----------------------------|--------------------------------|
| 1) SILO ALIMENTADOR         | 7) MOTOVARIADOR                |
| 2) CALHA VIBRATORIA         | 8) CONTROLADOR DE ROTAÇÃO      |
| 3) VIBRADOR ELETROMAGNÉTICO | 9) QUADRO DE COMANDO           |
| 4) MESA HOMOGENEIZADORA     | 10) QUADRO DE PROTEÇÃO         |
| 5) DIVISOR DE PILHAS        | 11) ESTRUTURA COM RODÍZIOS     |
| 6) MESA SUPORTE             | 12) PORTA PARA MANUTENÇÃO      |
|                             | 13) PILHA COM SEÇÃO TRIÂNGULAR |
- Fonte : NUCLEBRÁS

FIG. 5 - MESA HOMOGENEIZADORA



- |                             |                            |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1) SILO ALIMENTADOR         | 7) MESA SUPORTE            |
| 2) CALHA VIBRATORIA         | 8) MOTOVARIADOR            |
| 3) VIBRADOR ELETROMAGNÉTICO | 9) CONTROLADOR DE ROTAÇÃO  |
| 4) MESA DIVISORA            | 10) QUADRO DE COMANDO      |
| 5) ORIENTADOR DE FLUXO      | 11) QUADRO DE PROTEÇÃO     |
| 6) DIVISOR                  | 12) ESTRUTURA COM RODÍZIOS |
|                             | 13) PORTA PARA MANUTENÇÃO  |
- Fonte: NUCLEBRÁS

FIG. 6 - MESA DIVISORA

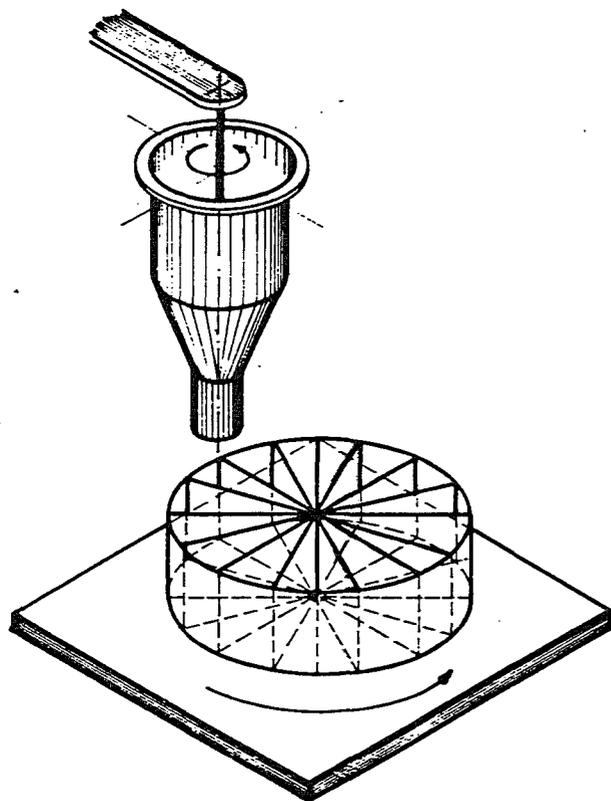


FIG. 7 - QUARTEADOR DE POLPA

## 6. AMOSTRA FINAL PARA TESTE OU ANÁLISE QUÍMICA

A amostra final, resultante da etapa de preparação da amostra primária, deve ser representativa em relação ao parâmetro de interesse, e possuir massa e granulometria adequadas para a realização de testes de laboratório e/ou análises química e instrumental.

Para testes de laboratório, a granulometria do material é determinada pelo processo, ou pode ser uma das variáveis em estudo. A quantidade de material necessário para o desenvolvimento do trabalho experimental deve ser suficiente para a realização de todos os ensaios e análises química e/ou instrumental, e, portanto, pode chegar a ser maior que a massa mínima correspondente a granulometria em questão.

A caracterização do material bem como o acompanhamento dos testes de laboratórios são, normalmente, feitos através de análises química e/ou instrumental. Nesse caso, utilizam-se amostras com granulometria na faixa de 100-150 malhas, pois estatisticamente amostras com essa granulometria apresentam a maioria dos elementos homogeneamente distribuídos. Isso corresponde a uma massa de até 60g, dependendo do elemento e do material a ser analisado.

## Referências

- [1] SMITH, R.; JAMES, G. V. The sampling of bulk materials. [s.n.t.]. (Analytical sciences monographs, v.8)
- [2] MARQUES, J.C. Teoria e prática de amostragem de materiais a granel segundo o formalismo de P. Gy. Técnica, v.40, n.451/452, p.157-201, 1979.
- [3] OTTLEY, D. J. Gy's sampling slide rule. Revue de L' Industrie Minerale.
- [4] GY, P. M. The sampling of particulate materials: A general theory. In: SYMPOSIUM ON SAMPLING PRACTICES IN THE MINERAL INDUSTRIES, Melbourn, Sept. 1976.
- [5] TAGGART, A. F. Handbook of mineral dressing: ores and industrial minerals. New York: John Wiley, 1945. 1v p.19-22.
- [6] LUZ, A. B.; POSSA, M. V. Amostragem para processamento mineral. Rio de Janeiro: CETEM, 1982. (CT/41)
- [7] POSSA, M. V. Amostragem e balanço de massas. Módulo VI; curso de beneficiamento de minérios para técnicos de nível medio da Serrana S/A. Rio de Janeiro: CETEM, 1986. (CA 09/86)
- [8] GIRODO, A. C. Amostragem de minérios para projetos e operações de instalações de beneficiamento mineral. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, 11., Natal, 1985.
- [9] LUZ, I. L. O.; OLIVEIRA, M. L. M.; MESSIAS, C. F. Homogeneizador/Quarteador de Minérios; Projeto e construção. In: ENCONTRO NACIONAL DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS E HIDROMETALURGIA, 10., Belo Horizonte, 1984.
- [10] CÂMARA, A. L.; COUTINHO, I. C. Amostragem aplicada a algumas matérias-primas pela Magnesita S/A. Belo Horizonte, 1977. 25p.
- [11] SAMPAIO, J. A. Estudos preliminares de concentração de Wolframita. Rio de Janeiro: CETEM/CPRM, 1980. (RT 04/80)
- [12] Amostragem e manuseios de amostras de minérios. Rio de Janeiro, CETEM, 1991. (CI 01/90)

# ANEXOS

# ANEXO 1

## VALORES DA DISTRIBUIÇÃO DE t-STUDENT<sup>[1]</sup>

GRAUS DE LIBERDADE	NÍVEL DE CONFIANÇA (%)							
	50	75	90	95	97,5	99	99,5	99,9
1	1,00	2,41	6,31	12,7	25,5	63,7	127	637
2	0,816	1,60	2,92	4,30	6,21	9,92	14,1	31,6
3	0,765	1,42	2,35	3,18	4,18	5,84	7,45	12,9
4	0,741	1,34	2,13	2,78	3,50	4,60	5,60	8,61
5	0,727	1,30	2,01	2,57	3,16	4,03	4,77	6,86
6	0,718	1,27	1,94	2,45	2,97	3,71	4,32	5,96
7	0,711	1,25	1,89	2,36	2,84	3,50	4,03	5,40
8	0,706	1,24	1,86	2,31	2,75	3,36	3,83	5,04
9	0,703	1,23	1,83	2,26	2,68	3,25	3,69	4,78
10	0,700	1,22	1,81	2,23	2,63	3,17	3,58	4,59
11	0,697	1,21	1,80	2,20	2,59	3,11	3,50	4,44
12	0,695	1,21	1,78	2,18	2,56	3,05	3,43	4,32
13	0,694	1,20	1,77	2,16	2,53	3,01	3,37	4,22
14	0,692	1,20	1,76	2,14	2,51	2,98	3,33	4,14
15	0,691	1,20	1,75	2,13	2,49	2,95	3,29	4,07
16	0,690	1,19	1,75	2,12	2,47	2,92	3,25	4,01
17	0,689	1,19	1,74	2,11	2,46	2,90	3,22	3,96
18	0,688	1,19	1,73	2,10	2,44	2,88	3,20	3,92
19	0,688	1,19	1,73	2,09	2,43	2,86	3,17	3,88
20	0,687	1,18	1,72	2,09	2,42	2,85	3,15	3,85
21	0,686	1,18	1,72	2,08	2,41	2,83	3,14	3,82
22	0,686	1,18	1,72	2,07	2,41	2,82	3,12	3,79
23	0,685	1,18	1,71	2,07	2,40	2,81	3,10	3,77
24	0,685	1,18	1,71	2,06	2,39	2,80	3,09	3,74
25	0,684	1,18	1,71	2,06	2,38	2,79	3,08	3,72
26	0,684	1,18	1,71	2,06	2,38	2,78	3,07	3,71
27	0,684	1,18	1,70	2,05	2,37	2,77	3,06	3,69
28	0,683	1,17	1,70	2,05	2,37	2,76	3,05	3,67
29	0,683	1,17	1,70	2,05	2,36	2,76	3,04	3,66
30	0,683	1,17	1,70	2,04	2,36	2,75	3,03	3,65
40	0,681	1,17	1,68	2,02	2,33	2,70	2,97	3,55
60	0,679	1,16	1,67	2,00	2,30	2,66	2,91	3,46
120	0,677	1,16	1,66	1,98	2,27	2,62	2,86	3,37
∞	0,674	1,15	1,64	1,96	2,24	2,58	2,81	3,29

## ANEXO 2

### EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE INCREMENTOS PARA COMPOR UMA AMOSTRA PRIMÁRIA

#### ● Problema

25 toneladas de um minério de antimônio, tendo em média 40% Sb, foram recebidos em 500 sacos de 50kg cada. A retirada dos incrementos de amostragem foi feita durante o descarregamento, utilizando-se pás. Qual o número de incrementos que deveria ser retirado para compor a amostra primária, de forma que o erro de amostragem fosse menor que 0,5% Sb, a um nível de 95% de confiança?

#### ● Solução

#### Cálculo de Estimativa de Variabilidade do Material ( $S_t$ )

Antes de se processar o descarregamento, foram realizados testes exploratórios para estimar a variabilidade do material, retirando-se incrementos de vinte sacos. Cada incremento foi preparado e analisado por fluorescência de raios X.

Os teores de Sb ( $x_i$ ) encontrados foram: 40,3; 40,3; 45,0; 35,4; 41,6; 40,9; 48,1; 40,0; 39,4; 39,8; 32,1; 44,0; 38,2; 36,3; 30,0; 39,5; 42,0; 37,2; 39,3; 33,8.

Para um determinado saco, com o objetivo de avaliar sua variabilidade interna, foram preparados e analisados quatro incrementos em replicata. Como os incrementos foram individualmente preparados e analisados, os erros de preparação e análise estão embutidos na variabilidade interna ao saco, estimada a partir do desvio padrão dos valores para os teores de Sb relativo a esses quatro incrementos. Os teores de Sb encontrados são: 33,8; 33,4; 33,5 e 33,7, tendo como média o valor de 33,6 e desvio padrão 0,183.

Observa-se que a variabilidade interna ao saco é pequena (coeficiente de variação = 0,5%). Portanto, supomos que os erros nas etapas de preparação e análise não são significativos.

Assim, a estimativa da variabilidade do material pode ser calculada por:

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{(n_t - 1)}} \quad (3)$$

A partir dos valores dos teores de Sb nos 20 incrementos selecionados para teste, obtém-se

$$S_t = 4,28$$

#### Cálculo do Número de Incrementos para Compôr a Amostra Primária

Supondo que a amostra primária é muito pequena em relação ao todo a ser amostrado, utiliza-se a Equação 4.

$$E_s = t \frac{S_t}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Para um erro de amostragem ( $E_s$ ), a estimativa de variabilidade do material ( $S_t$ ) de 4,28, de no máximo 0,5% Sb e um nível de 95% de confiança, pode-se calcular:

$$n = (t_{19;5\%})^2 \frac{S_t^2}{E_s^2}$$

$$n = \frac{(2,09)^2 \cdot (4,28)^2}{(0,5)^2}$$

$$n = 320$$

Os testes mostraram que são necessários 320 incrementos para compor a amostra primária.

## ANEXO 3

### EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DA MASSA MÍNIMA DE UMA AMOSTRA COM DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES<sup>[1]</sup>

#### • Problema

Um minério de zinco contém aproximadamente 5% ZnS (blenda) e tamanho máximo de partícula de 25mm. O peso específico da blenda é  $4,0\text{gcm}^{-3}$  e da ganga  $2,6\text{gcm}^{-3}$ . Qual a massa mínima de amostra que deve ser retirada, de forma que o erro não seja maior que 0,2% ZnS a um nível de 95% de confiança? O minério necessita ser cominuído a 1,5mm para que a blenda seja completamente liberada.

#### • Solução

Utilizando a teoria de Pierre Gy (Equação 5), e supondo-se que a massa do material a ser amostrado ( $W$ ) é muito grande, podemos considerar que a razão  $\frac{1}{W}$  tende a zero. Assim, a massa mínima de amostra ( $w$ ), em gramas, que deve ser retirada é dada por:

$$w = \frac{1}{S_s^2} d^3 \cdot Q \cdot l \cdot f \cdot h \quad (5A)$$

#### Cálculo do Erro de Amostragem ( $S_s$ ) - Equação 2

Tem-se que o limite de confiança para média real é dado por:

$$E_s = t \frac{S_s}{\sqrt{k}} \quad (2)$$

Considerando-se que será retirada apenas uma amostra do todo a ser amostrado ( $k = 1$ ) e que essa amostra é composta por um número infinito de partículas ( $n = \infty$ ), pode-se calcular o erro de amostragem ( $S_s$ ) para um limite de confiança ( $E_s$ ) de 0,2% ZnS a um nível de  $t \infty$ ; 5% de 95%, segundo:

$$S_s = 0,2 \frac{\sqrt{1}}{1,96}$$

$$S_s = 0,10$$

#### Cálculo do Fator de Composição Mineralógica (Q) - Equação 5.1

Sabendo-se que o minério contém 5% de ZnS ( $x = 5$ ), cujo peso específico é de  $4,0 \text{ gcm}^{-3}$  ( $\rho_A = 4,0$ ), e que o peso específico da ganga é de  $2,6 \text{ gcm}^{-3}$  ( $\rho_B = 2,6$ ), podemos calcular o fator de composição mineralógica segundo:

$$Q = 5 \cdot (100 - 5) \cdot \frac{5}{100} \cdot 4,0 + \frac{(100-5)}{100} \cdot 2,6$$

$$Q = 97,47$$

#### Determinação do Fator de Liberação do Mineral (l)

Considerando-se que o tamanho máximo de partícula é de 25mm ( $d = 2,5$ ) e que é necessário cominuir o minério a 1,5mm para que a blenda seja completamente liberada ( $d_o = 0,15$ ), tem-se:

$$d > d_o, \text{ logo} \quad l = \sqrt{\frac{d_o}{d}}$$

$$l = \sqrt{\frac{0,15}{2,5}}$$

$$l = 0,24$$

#### Determinação do Fator de Forma das Partículas (f)

Considerando-se os minérios em geral, tem-se:

$$f = 0,5$$

#### Determinação do Fator de Distribuição de Tamanho das Partículas (h)

Considerando-se que o minério foi cominuído para passar numa dada abertura de peneira, sem que tenham sido removidos os finos, tem-se:

$$h = 0,25$$

#### Cálculo de Massa Mínima da Amostra (w)

$$w = \frac{1}{S_s^2} \cdot d^3 \cdot Q \cdot l \cdot f \cdot h$$

Para cálculo da massa mínima de amostra, substitui-se os valores acima determinados na Equação 5 A.

$$w = \frac{1}{(0,1)^2} (2,5)^3 \cdot 97,47 \cdot 0,24 \cdot 0,5 \cdot 0,25$$

$$w = 4569 \text{ g}$$

## ANEXO 4

EXEMPLO DE DETERMINAÇÃO DA MASSA MÍNIMA DE UMA AMOSTRA COM POUCAS INFORMAÇÕES [11]

### • Problema

Foi recebida no CETEM uma amostra de 7 toneladas de wolframita na granulometria de 3". Desejava-se, a partir desta, obter uma amostra com massa mínima, na granulometria de 200 malhas, para análise química. Macroscopicamente foram constatadas concentrações preferenciais do mineral minério (wolframita).

Utilizando-se a Tabela de Richards e através de cominuição/ homogeneização/quarteamento sucessivos (Figura 4.1), foram obtidas quatro amostras representativas para análise química de  $WO_3$ . Essas foram analisadas e apresentaram os seguintes valores:

	$WO_3$ (%)
Amostra A.....	0,45
Amostra B.....	0,42
Amostra C.....	0,46
Amostra D.....	0,48

Os resultados da análise química atestam a viabilidade de utilização da tabela de Richards levando-se em consideração a amostra

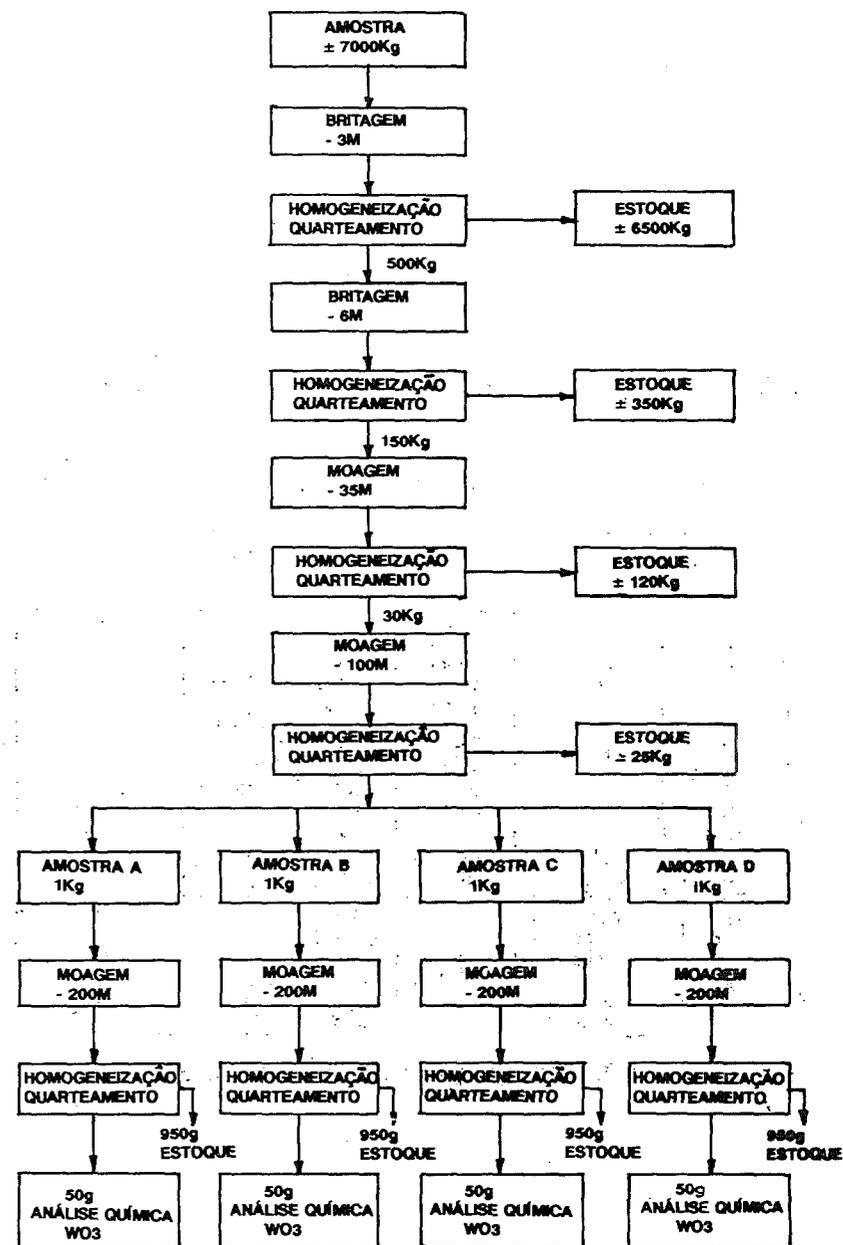


FIG. 4.1 - FLUXOGRAMA DE AMOSTRAGEM DO MINÉRIO WOLFRAMITA - CETEM

recebida. Cumpre esclarecer, no entanto, que a amostra "pode não representar o universo de onde foi retirado", pois uma amostra de sete toneladas somente seria representativa caso essa estivesse na granulometria de 1" (Tabela Richards). Deve-se ressaltar neste fato, a importância de haver, preliminarmente, uma discussão entre o solicitante e a instituição que executa o trabalho acerca de um planejamento de amostragem, evitando assim, que sejam dispendidos recursos na obtenção de resultados que podem ser não representativos.

TABELA DE RICHARDS: DETERMINAÇÃO DA MASSA MÍNIMA DA AMOSTRA EM (Kg)

Diâmetro da Maior Partícula	Caracterização do Minério					
	Muito Pobre ou Muito Uniforme	Pobre ou Uniforme	Médios	Rico ou "Spotty"	Muito Rico ou Exclusivamente "Spotty"	Ouro
8"	9 600	32 000	-	-	-	-
5"	3 800	12 500	-	-	-	-
4"	2 400	8 000	40 000	-	-	-
2"	600	2 000	10 000	26 000	-	-
1 1/2"	350	1 150	5 000	14 000	-	5 000
1"	150	500	2 500	6 500	-	2 500
3/4"	85	300	1 400	3 600	-	1 000
1/2"	35	125	600	1 600	-	500
1/4"	10	30	150	400	-	200
6M	2,5	8,5	43	110	14 000	100
10M	0,5	2,0	11	30	3 800	38
14M	0,4	1,0	5	14	900	-
20M	0,2	0,5	3	7	500	13
28M	0,08	0,3	1,5	3,5	250	5
35M	0,04	0,2	0,7	1,7	120	2
43M	0,02	0,1	0,3	0,9	60	0,5
65M	0,01	0,03	0,2	0,4	30	-
100M	0,005	0,02	0,1	0,2	15	-
150M	0,003	0,01	0,05	0,1	7,5	-
200M	0,002	0,005	0,02	0,05	4	-

Obs.: "Spotty" = grande concentração do mineral minério em pontos preferenciais

## NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE TECNOLOGIA MINERAL

- 01 - Flotação de carvão; estudos em escala de bancada; (esgotado)
- 02 - Beneficiamento de talco; estudos em escala de bancada; (esgotado)
- 03 - Beneficiamento de talco; estudos em usina piloto; (esgotado)
- 04 - Flotação de cianita da localidade de Boa Esperança (MG);
- 05 - Beneficiamento de diatomita do Ceará; (esgotado)
- 06 - Eletrorefino de zinco; uma revisão das variáveis influentes; (esgotado)
- 07 - Redução da gipsita com carvão vegetal; (esgotado)
- 08 - Beneficiamento de diatomita de Canaveira, Estado do Ceará; (esgotado)
- 09 - Moagem autógena de itabirito em escala piloto; (esgotado)
- 10 - Flotação de minério oxidado de zinco de baixo teor; (esgotado)
- 11 - Estudos de corrente de pulso sobre o eletrorefino de prata; (esgotado)
- 12 - Lixiviação bacteriana de sulfeto de cobre de baixo teor Caraíba; (esgotado)
- 13 - Flotação de minérios oxidados de zinco; uma revisão de literatura; (esgotado)
- 14 - Efeitos de alguns parâmetros operacionais no eletrorefino do ouro; (esgotado)
- 15 - Flotação de carvão de Santa Catarina em escala de bancada e piloto; (esgotado)
- 16 - Aglomeração seletiva de carvão de Santa Catarina, estudos preliminares;
- 17 - Briquetagem e sua importância para a indústria (em revisão); (esgotado)
- 18 - Aplicação de petrografia no beneficiamento de carvão por flotação;
- 19 - Recuperação de cobre do minério oxidado de Caraíba por extração por solventes em escala de bancada; (esgotado)
- 20 - Dynawhirpool (DWP) e sua aplicação na indústria mineral; (esgotado)
- 21 - Flotação dos rejeitos finos de scheelita em planta piloto; (esgotado)
- 22 - Coque de turfa e suas aplicações;
- 23 - Processo eletrolítico de ouro, processo Wohlwill; (esgotado)
- 24 - Flotação de oxidatos de zinco; estudos em escala piloto;
- 25 - Dosagem de ouro;

