

Homogeneizador/ quarteador de minérios - Projeto e construção

Ivan Lucas de Oliveira Luz *
Maria Lúcia Magalhães de Oliveira *
Clemente Figueiredo Messias **

1. INTRODUÇÃO
2. DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO
3. PARÂMETROS DO DIMENSIONAMENTO
4. OPERAÇÃO DO EQUIPAMENTO
5. EFICIÊNCIA DO EQUIPAMENTO
6. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES
7. BIBLIOGRAFIA

* Engenheiros Mecânicos do Depto. de
Tecnologia Mineral, do Centro de
Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
da NUCLEBRÁS

** Técnico Mecânico do Depto. de
Tecnologia Mineral, do Centro de
Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
da NUCLEBRÁS



Resumo

A aplicação de planos de amostragem em unidades de tratamento de minério, escala piloto e industrial, e o preparo de amostras minerais para testes de laboratório exigem a homogeneização e quarteamento de grande número de amostras em diferentes tamanhos e granulometrias.

No sentido de minimizar o trabalho envolvido no manuseio destas amostras, com qualidade garantia no quarteamento, foi desenvolvido e construído no Departamento de Tecnologia Mineral - Nuclebrás, um homogenizador/quarteador operando segundo o princípio de formação de pilha circular.

1. Introdução

A aplicação dos planos de amostragem em unidades de tratamento de minério, escalas piloto e industrial, e o preparo de amostras minerais para testes de laboratório, exigem a homogeneização e quarteamento de grande número de amostras com variadas características físicas.

No sentido de atender à minimização dos erros intrínsecos de amostragem e otimizar a operação decorrente das necessidades dos laboratórios de preparação de amostras sólidas, foi desenvolvido e construído no Departamento de Tecnologia Mineral-Nuclebrás, um homogenizador/quarteador de minérios, operando segundo o princípio de formação de pilha circular, que permite obedecer ao requisito básico para uma correta técnica de amostragem, ou seja, "tomar todo o fluxo durante uma parte do tempo".

As amostras obtidas no quarteamento pelo homogenizador/quarteador de minérios foram comparadas às obtidas no quarteador tipo Jones e os resultados foram avaliados através de análise estatística.

Neste trabalho são abordados os aspectos de desenvolvimento, construção, operação e testes comparativos de eficiência do referido equipamento.

O equipamento é constituído de quatro partes básicas:

1. Silo alimentador automático
2. Mesa de homogeneização
3. Mesa divisora
4. Estrutura com sistema de controle e acionamento mecânico e elétrico.

Para dimensionamento do equipamento foram considerados os seguintes parâmetros básicos: granulometria, massa inicial, massa dos produtos quarteados, umidade, facilidade de limpeza, operacionalidade e minimização de perda de amostra.

A eficiência do equipamento foi comprovada através de intercomparação com outros processos de homogeneização e quarteamento bem como por uma análise estatística da representatividade das amostras obtidas.

2. Descrição do equipamento

O homogenizador/quarteador de minérios se baseia na rotação de uma calha vibratória de vazão e altura de descarga variáveis, descrevendo uma trajetória circular, alimentada por um silo e acionada por um motovariador. São possíveis duas alternativas de utilização:

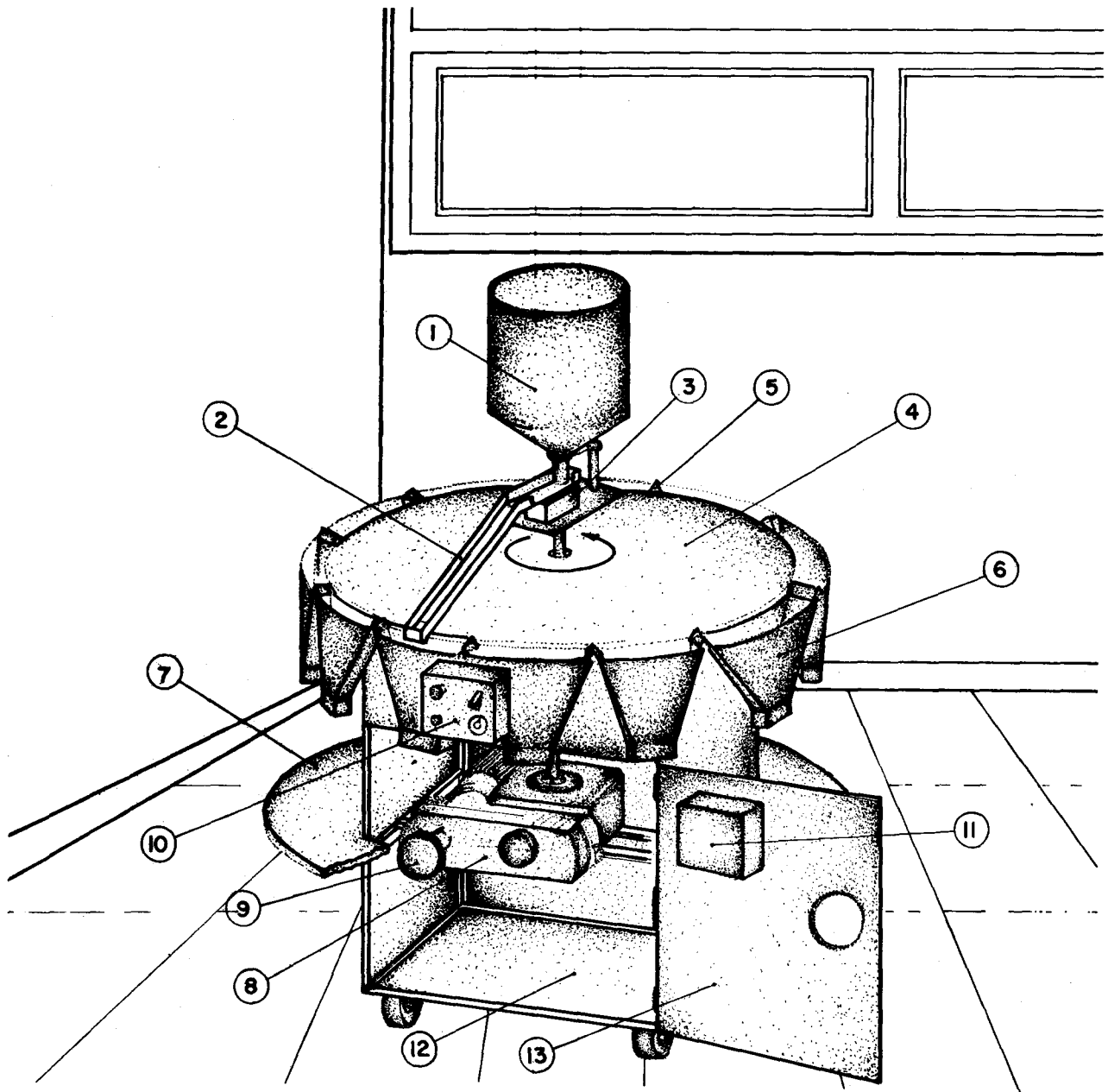
- a) Formação de uma pilha de seção triangular sobre uma superfície plana (mesa de homogeneização);
- b) Divisão de uma amostra através de sua distribuição ao longo de um conjunto de 12 calhas coletoras (mesa divisora) obtendo-se alíquotas qualitativa e quantitativamente homogêneas.

A figura 1 ilustra o equipamento montado com a mesa divisora e a figura 2 com a mesa de homogeneização.

O equipamento é basicamente constituído de quatro unidades abaixo listadas e, a seguir, descritas:

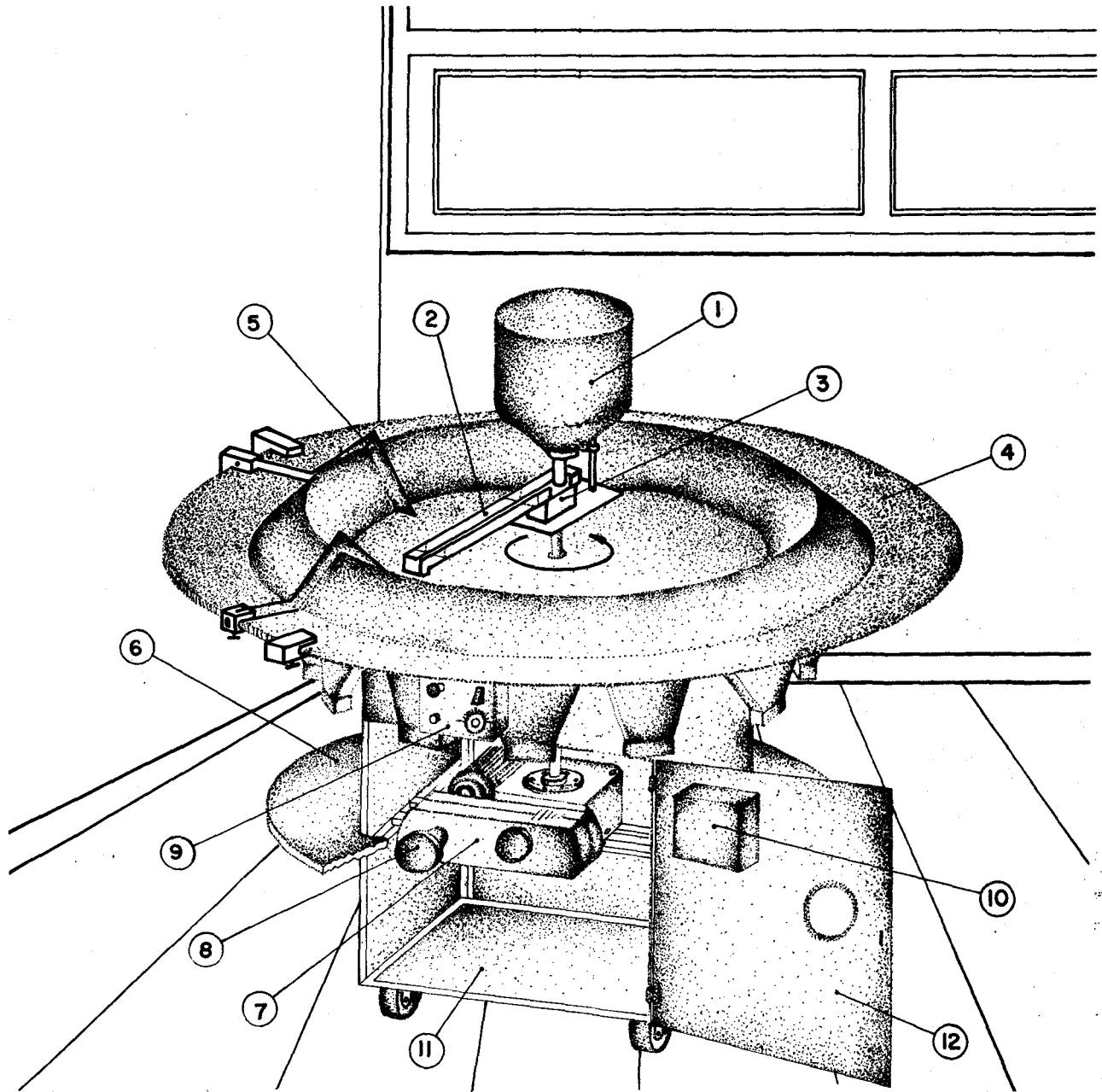
- . Sistema de alimentação de minérios;
- . Mesa de homogeneização;
- . Mesa divisora;
- . Estrutura com sistema de controle.

FIGURA 1 - Mesa divisora



- 1 - Silo alimentador
- 2 - Calha vibratória
- 3 - Vibrador eletromagnético
- 4 - Mesa divisora
- 5 - Orientador de fluxo
- 6 - Divisor
- 7 - Mesa suporte
- 8 - Motovariador
- 9 - Controlador de rotação
- 10 - Quadro de comando
- 11 - Quadro de proteção
- 12 - Estrutura com rodízios
- 13 - Porta para manutenção

FIGURA 2 - Mesa de homogeneização



- 1 - Silo alimentador
- 2 - Calha vibratória
- 3 - Vibrador eletromagnético
- 4 - Mesa homogeneizadora
- 5 - Divisor de pilha
- 6 - Mesa suporte
- 7 - Motovariador
- 8 - Controlador de rotação
- 9 - Quadro de comando
- 10 - Quadro de proteção
- 11 - Estrutura com rodízios
- 12 - Porta p/ manutenção

2.1. Sistema de alimentação de minérios

Para que seja formada uma pilha cujas seções transversais sejam qualitativa e quantitativamente homogêneas ou a divisão de uma amostra em um grupo de alíquotas homogêneas, os seguintes parâmetros devem ser considerados:

- Taxa de alimentação e velocidade angular constantes ao longo da operação;
- Independência das características físicas (densidade, granulometria, etc) dos constituintes da amostra.

Pela avaliação destes parâmetros optou-se pela construção de um silo posicionado sobre uma calha vibratória.

2.1.1. Silo

Para atender às variadas características químicas das amostras processadas em nossas instalações optou-se pela construção de um silo em aço inox AISI 316 com capacidade para 15,3 dm³, e recarregável ao longo da operação. O sistema de fixação do silo permite a variação da espessura da camada de minério sobre a calha.

2.1.2. Calha vibratória

Para assegurar a versatilidade do equipamento quanto à variação do diâmetro da pilha e altura de descarga optou-se pela construção de uma calha com seções articuladas. Para garantir a constância da taxa de alimentação a calha foi acoplada a um vibrador eletromagnético de frequência regulável.

2.2. Mesa de homogeneização

Com a finalidade de obter-se uma pilha circular homogênea através da superposição de camadas constituindo uma seção triangular, optou-se pela construção de mesa plana, em compensado naval, 20mm de espessura, 1500mm de diâmetro e 56 dm³ de capacidade máxima (limitada pela altura de descarga e diâmetro da pilha).

2.2.1. Divisor de Pilha

Para a execução tecnicamente correta da amostragem da pilha, foi desenvolvido um dispositivo mecânico (Divisor de Pilha) que permite, com facilidade e precisão, que a operação seja independente da habilidade e experiência do operador. Este dispositivo consiste de dois interceptores triangulares, articulados e reguláveis pelo deslizamento de seu suporte em um aro graduado (menor divisão-5°) limitado a um ângulo máximo de 45°. O aro poderá ser fixado em qualquer posição do perímetro da mesa pelo acionamento de duas travas tipo morsa.

2.2.2. Revestimento

Objetivando evitar a contaminação de amostras resultante do desgaste por abrasão ou corrosão e facilitar a operação de limpeza, optou-se pelo revestimento com lençol de poliuretano, 3mm de espessura e dureza equivalente à 90/95 shores A.

2.3. Mesa divisora

No sentido de minimizar os erros de operação provenientes do manuseio de minérios na divisão de uma amostra primária em um conjunto de alíquotas, desenvolveu-se uma mesa divisora onde as amostras são quarteadas e coletadas durante a homogeneização.

2.3.1. Divisores

Os divisores foram construídos em aço inox AISI 316 em número de 12 unidades independentes fixados lateralmente na parte superior da estrutura metálica, constituindo uma coroa circular de 860mm e 960mm de diâmetros interno e externo respectivamente. Para garantir a igualdade das massas divididas foram instalados orientadores de fluxo nas extremidades laterais dos divisores.

2.3.2. Sistema coletor

Os coletores (normalmente sacos de plástico) podem ser acoplados diretamente a saída inferior dos divisores através de "o-rings" e apoiados em prateleiras de altura variável.

2.4. Estrutura com sistemas de controle

2.4.1. Estrutura

Com o objetivo de sustentar e assegurar uma estabilidade ao sistema foi construída uma estrutura em cantoneira de aço SAE 1020 de 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4" apoiada em 4 rodízios com 3" de diâmetro.

2.4.2. Sistema de variação de velocidade

O conjunto silo e calha vibratória é acionado por um motovariador que permite variar a rotação de 5 a 10 rpm pelo acionamento de um volante externo à estrutura e comandado eletricamente por uma botoeira liga-desliga.

2.4.3. Controle de vibração

O vibrador eletromagnético é acionado por uma chave liga-desliga e regulado através de um potenciômetro instalado no quadro de controle.

3. Parâmetros do dimensionamento

No dimensionamento do equipamento foram considerados os seguintes parâmetros básicos:

3.1. Granulometria do minério

máxima - 3/8"

3.2. Capacidade

Mesa homogeneização: 56 dm³
(limitado pela altura e diâmetro da pilha)

Mesa divisora : 40 dm³

3.3. Taxa de alimentação

máxima - 450 kg/h

mínima - 0,6 kg/h

obs: Para uma amostra de densidade
2,7 g/cm³

3.4. N.º de incrementos por amostra

mínimo - 150

obs: Considerando a capacidade total
da mesa e uma amostra de
densidade 2,7 g/cm³

3.5. Umidade

máxima - 5%

3.6. N.º de alíquotas

12

Obs: Este número poderá ser modificado em
função da necessidade da instalação.

3.7. Rotação do silo

máxima - 10 rpm

mínima - 5 rpm

3.8. Inclinação da calha

máxima - 32º

mínima - 8º

3.9. Altura da pilha

máxima - 125mm

3.10. Altura de alimentação do silo

máxima - 1400mm

3.11. Altura do tampo da mesa de homogeneização

máxima - 910mm

3.12. Aplicação

Aplica-se às amostras minerais envolvidas
em estudos de caracterização tecnológica,
desenvolvimento e controle de processos.

4. Operação do equipamento

4.1. Variáveis de operação

4.1.1. Taxa de alimentação

Regulável pela variação da frequência de
vibração e/ou espessura da camada de

minério na calha.
Pode ser definida como:

$$Q = \frac{M \times \ell}{n}$$

Onde: Q = vazão

M = massa inicial

ℓ = Número de incrementos necessários

n = Número de rotações da calha

4.1.2. Rotação da calha

Regulável pela ação sobre o volante de
regulagem do motovariador.

4.1.3. Altura da pilha

Regulável pela articulação da calha. Pode
ser definida como:

$$h = \frac{2.V}{\pi.d.b}$$

Onde: h = Altura

V = Volume

d = diâmetro

b = base

4.1.4. Tempo de operação

Pode ser definido como:

$$T = \frac{n}{\ell}$$

Onde : T = tempo

n = Número de rotações da calha

ℓ = Número de incrementos necessário

4.2. Seqüência de operação

- Dimensionamento da massa representativa
da amostra (visando a minimização do erro
fundamental pode-se recorrer à equação de
Pierre Gy);

- Definição do número de camadas ou
incrementos necessários à obtenção da
amostra homogênea;

- Compatibilização do número de rotações
com a taxa de alimentação para se obter o
número de incrementos necessários;

- Carregamento do silo;

- Partida do motovariador que aciona a
rotação da calha;

- Acionamento da vibração;

- Recarga do silo (se necessário).

5. Eficiência do equipamento

Com o objetivo de avaliar a eficiência do
equipamento foi planejado e executado um
conjunto de testes capaz de evidenciar a
similaridade entre os resultados obtidos
no quarteamento através do homogeneizador/
quarteador de minérios e os obtidos através
do quarteador tipo Jones.

Em todos os testes realizados considerou-se a massa mínima representativa segundo a equação de Pierre Gy para um grau de certeza igual a 95%.

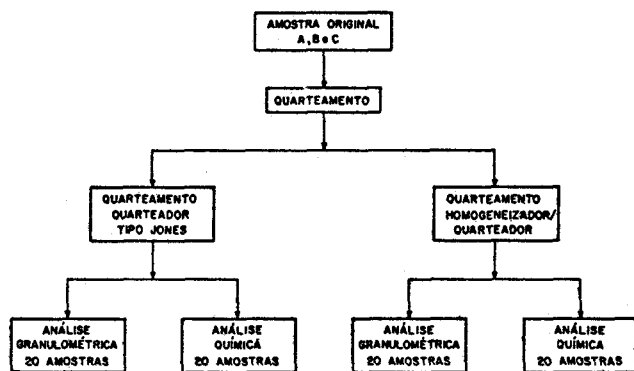
5.1. Metodologia

Considerando a necessidade da avaliação da eficiência em diferentes granulometrias foram tomadas três amostras distintas nas seguintes granulometrias e códigos.

Código	Granulometria (Mesh Tyler)
A	- 10
B	- 65
C	-400

A fig. 3 mostra o fluxograma dos testes de eficiência e o quadro 1 a programação de execução.

FIGURA 3 - Testes de eficiência
Fluxograma simplificado



QUADRO I - Testes de eficiência
Programação para execução

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	QUANT.
1	- QuarTEador Tipo Jones	372
	- Homogeneizador/QuarTEador	6
2	- QuarTEador Tipo Jones	372
	- Homogeneizador/QuarTEador	120
3	Preparação para Análise Química	120
4	Preparação para Análise de Fines	40
5	Análises Granulométricas	80
6	Análises de Fines	40
7	Determinações (Elementos)	360

DBS: Os testes foram realizados na mesa de homogeneização possibilitando assim a retirada simultânea das 20 amostras.

As amostras denominadas "A" e "B" foram analisadas para as aberturas de 28/65 e 150/400 Mesh Tyler respectivamente. Foram utilizadas peneiras de 8" de diâmetro.

As amostras "C" foram analisadas pelo método da Pipeta de Andreasen na faixa do

subpeneiramento para os diâmetros de 14,9 μm e 10,4 μm .

As análises químicas foram realizadas através da espectrometria de raios x.

Considerando que os testes são comparativos não foram estudadas as influências dos erros analíticos.

5.2. Resultados obtidos e tratamento estatístico

As vinte amostras obtidas no quarTEamento através do homogeneizador/quarTEador de minérios e através do quarTEador Jones foram analisadas química e granulometricamente.

Os resultados obtidos foram tratados segundo a distribuição de "Student"t, para um intervalo de confiança de 95% considerando o tamanho da amostra (N = 20).

Tabela I - Intercomparação de resultados
Análise química

Elementos Constituintes	QuarTEador Jones		Homogeneizador/quarTEador	
	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)
U ₃ O ₈	0,116 \pm 0,001	2,59	0,116 \pm 0,001	2,59
CaO	32,90 \pm 0,15	1,00	33,23 \pm 0,21	1,35
P ₂ O ₅	11,98 \pm 0,20	3,51	12,52 \pm 0,23	3,99

Tabela II - Intercomparação de resultados
Análise granulométrica

Faixa Granulométr. (Mesh Tyler)	QuarTEador Jones		Homogeneizador /quarTEador	
	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)
+ 28	50,93 \pm 0,52	2,20	50,60 \pm 0,36	1,50
- 28 + 65	25,70 \pm 0,18	1,48	25,86 \pm 0,23	1,93
- 65	23,29 \pm 0,39	3,56	23,56 \pm 0,24	2,21

Tabela III - Intercomparação de resultados
Análise química

Elementos Constituintes	QuarTEador Jones		Homogeneizador/quarTEador	
	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)
U ₃ O ₈	0,123 \pm 0,001	1,63	0,122 \pm 0,001	2,46
CaO	36,72 \pm 0,16	0,95	36,41 \pm 0,13	0,77
P ₂ O ₅	13,83 \pm 0,12	1,81	13,54 \pm 0,10	1,55

Tabela IV - Intercomparação de resultados
Análise granulométrica

Faixa Granulométr. (Mesh Tyler)	QuarTEador Jones		Homogeneizador/quarTEador	
	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)
+ 150	43,13 \pm 0,26	1,30	42,68 \pm 0,19	0,94
- 150 + 400	38,23 \pm 0,34	1,91	37,91 \pm 0,16	0,90
- 400	18,65 \pm 0,30	3,49	19,45 \pm 0,18	1,95

Tabela V - Intercomparação de resultados
Análise química

Elementos Constituintes	QuarTEador Jones		Homogeneizador/quarTEador	
	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)	$\bar{x} \pm \Delta x$	Cv (%)
U ₃ O ₈	0,086 \pm 0,001	3,49	0,086 \pm 0,001	3,49
CaO	15,17 \pm 0,07	0,99	15,19 \pm 0,04	0,59
P ₂ O ₅	5,04 \pm 0,05	1,98	5,04 \pm 0,05	1,53

Tabela VI - Intercomparação de resultados
Análise granulométrica

Faixa Granulométr. (μm)	Quarteador Jones		Homogeneizador/quarteador		
	\bar{x}	$\pm \Delta x$	Cv (%)	Cv (%)	
- 14,9	75,06	$\pm 1,09$	3,09	77,03 $\pm 1,01$	2,79
- 10,4	68,66	$\pm 1,15$	3,57	70,23 $\pm 0,65$	1,96

Nas tabelas I à VI são mostrados:

\bar{x} - média aritmética das determinações das 20 amostras;

Δx - intervalo de confiabilidade dado por

$$\Delta x = \frac{t \cdot Sx}{\sqrt{N}} \quad \text{Onde:}$$

t = fator de Student para uma probabilidade de 95%

Sx = Desvio padrão

N = Número de medidas

Cv - Coeficiente de variação entre as medidas dado por: $Cv = \frac{Sx}{\bar{x}}$ Onde:

Sx = desvio padrão
 \bar{x} = média aritmética

- Capacidade de obtenção de uma ou mais alíquotas para análise a partir de uma única operação de quarteamento;

- Facilidade de operação e limpeza.

Como vantagem adicional podemos citar a possibilidade de obtenção simultânea de um grupo de amostras de características equivalentes.

7. Bibliografia

- (1) GY, P.M. Sampling of particulate materials. Amsterdam, Elsevier, 1979.
- (2) LUZ, A.B. & POSSA, M.V. Amostragem para processamento mineral. Rio de Janeiro Centro de Tecnologia Mineral, 1982.
- (3) COOK, P.E. A economia da amostragem automática. New Jersey, Denver Equipment Company Bulletin S1 - B10 1959.
- (4) DILLON, V.S. Assay practice on the Wtwatersrand, s.l., s.ed., 1958.

6. Discussões e conclusões

Pelos resultados obtidos pode-se observar que:

- Os coeficientes de variação e intervalos de confiabilidade dos resultados analisados apresentam-se predominantemente menores para o homogeneizador/quarteador de minérios;

- O maior coeficiente de variação obtido nos resultados das análises químicas das amostras quarteadas por ambos os métodos foi de 3,49%;

- O maior coeficiente de variação obtido nas análises granulométricas das amostras quarteadas no quarteador tipo Jones foi de 3,57%, enquanto que no homogeneizador/quarteador de minério foi de 2,79%;

- O valor do teor médio de cada elemento dentro dos intervalos de confiança, assim como os resultados das análises granulométricas das amostras em ambos os equipamentos não apresentam diferenças sensíveis;

- Concluiu-se que o equipamento desenvolvido apresenta resultados confiáveis, satisfazendo à técnica ideal de amostragem. Como vantagens operacionais podem ser citadas:

- Automatização da operação possibilitando, quando necessário, que os erros sistemáticos sejam quantificados;

- Reprodutibilidade de resultados;

- Redução da dispersão da amostra;