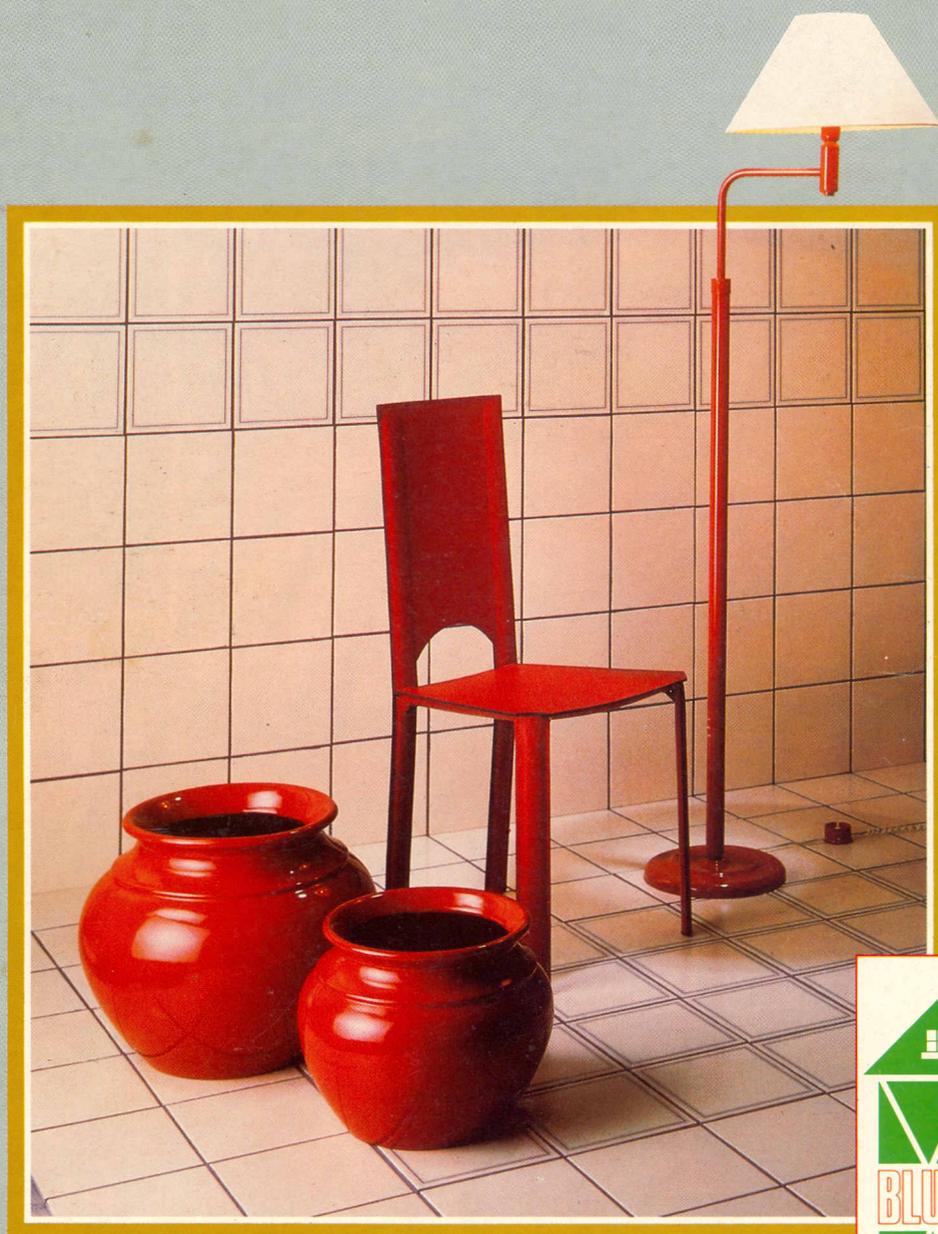


# Cerâmica

ÓRGÃO OFICIAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CERÂMICA - ANO XXXVI - VOL. XXXVI - Nº 241 - FEVEREIRO 1990



**Nesta edição,  
o Jornal do Congresso**



# Construção de gráficos via planilha de cálculos para análise granulométrica em peneiras (\*) (\*\*)

ABRAHAM ZAKON

MAURÍCIO B. DE FRANÇA TEIXEIRA

Departamento de Processos Inorgânicos,  
Escola de Química — Centro de Tecnologia

Universidade Federal do Rio de Janeiro,  
21945, Ilha da Cidade Universitária, RJ

OSCAR DELGADO CUELLAR

Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais

COPPE — Centro de Tecnologia

Universidade Federal do Rio de Janeiro,

21945, Ilha da Cidade Universitária, RJ

PÉRSIO DE SOUZA SANTOS

Departamento de Engenharia Química,

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Caixa Postal 61548

05568 Cidade Universitária, SP

## ABSTRACT

Graphical work through microcomputer worksheet applied to particle-size analysis by screening

A microcomputer worksheet software contains the following options of graphical work: line, histogram, XY, bar and pie charts. The options "line" and "XY" give one the possibility of locate in the horizontal axis the values of only one variable. The vertical axis accepts to plot till eight distributions, e.g., the plotting of values for eight variables or curves. Sizing analysis employs charts on rectangular coordinate, semilogarithmic and logarithmic papers in order to show types of particle-size distribution, expressed by frequency and oversize or undersize cumulative curves. The experimental data on kinetics studies of grinding, mobility of materials and choice of ball charge of a mill may be conveniently computed by a microcomputer worksheet software. It is possible, utilizing the arithmetic operations and supplied functions, to obtain, from experimental tables, new groups of values that give the desirable graphics, concerning one or different comminuted materials and ceramic products, which can be quickly seen in the screen and reproduced in a printer. Some examples are presented for raw materials destined to cement production.

## OBJETIVOS E PREMISAS

As análises granulométricas são realizadas quando se deseja obter informações quantitativas em relação à distribuição de tamanho de um sistema ou para observar relações existentes em processos laboratoriais ou industriais, como a cominuição de sólidos.

Este trabalho mostra a utilização de planilhas eletrônicas integra-

(\*) Este trabalho é parte da pesquisa utilizada na tese de doutoramento do Prof. Abraham Zakon a ser apresentada ao Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

(\*\*) Trabalho apresentado ao 33.º Congresso Brasileiro de Cerâmica, em Serra Negra, SP, 1989.

das para microcomputador, destinadas a gerenciar dados, que podem ser usadas para avaliar informações de análises granulométricas. As operações de moagem e classificação de partículas permitem gerar diferentes tipos de gráficos, aqui exemplificados, para casos clássicos da literatura de Tecnologia Mineral. Assim, o uso desses aplicativos pode contribuir para otimizar processos de moagem, auxiliar no controle estatístico da qualidade de produtos e reduzir seus custos.

Para o presente trabalho foram obtidas amostras de calcários junto à Cibrex (antiga Cimento Irajá S.A.) oriundas dos Municípios de Cantagalo e Italva, localizados ao Norte do Estado do Rio de Janeiro, e outra de minério de ferro, a hematita, extraída do Quadrilátero Ferrífero de Minas Gerais.

## CURVAS GRANULOMÉTRICAS TÍPICAS E APLICAÇÕES

A representação gráfica mais adequada de um material cominuído envolve a distribuição do tamanho das partículas por massa (através dos pesos das frações retidas ou passantes numa série de peneiras). É útil porque revela características do material, da cominuição realizada e facilita a comparação dos resultados experimentais. Assim, as inconsistências porventura ocorridas podem ser facilmente avaliadas e cheçadas quanto a erros experimentais ou falta de homogeneidade do material(1). A peneiração fornece tantas frações retidas de tamanhos de partículas quantas forem as peneiras usadas. Cada fração é pesada e os pesos individuais e total fornecerão uma tabela dos teores percentuais dos tamanhos presentes na amostra. Tais resultados poderão ser locados e fornecerão gráficos de percentagens ponderais contra tamanhos de partículas, denominados *curvas granulométricas*. Existem diferentes tipos de gráficos caracterizados pelas funções de massa e de tamanhos plotadas, respectivamente, na ordenada e na abscissa. Tais gráficos classificam-se em diretos e cumulativos, sendo que estes podem referir-se às frações passantes ou retidas. As funções de ambos os grupos podem ser representadas em escalas aritmética e logarítmica. Algumas delas podem ser representadas sob a forma probabilística. Podemos considerar cinco grupos de gráficos granulométricos, partindo dos exemplos de Taggart(2) (figura 1), e aplicando-os para os materiais citados, através da planilha integrada SAMBA.

## GRÁFICOS GRANULOMÉTRICOS DIRETOS (DISTRIBUIÇÕES SIMPLES)

As ordenadas de uma curva granulométrica direta são, *geralmente*, as percentagens das frações retidas pelas peneiras e as abscissas podem ser a abertura real da peneira, expressa em milímetros ou polegadas, ou *alguma outra função do tamanho*. Os dados de frequência podem ser representados sob a forma de pontos nos gráficos, que poderão ser unidos entre si para gerar uma curva suave, ou poderão indicar intervalos unitários de um histograma, do qual se interpola uma curva contínua(1,3,4).

Os gráficos granulométricos diretos mais utilizados são:

- **Frequência Simples ou Percentagem Ponderal X Tamanho de Partícula (emprega escalas decimais)** — tal gráfico tem a vantagem de ser simples(2) e a desvantagem de concentrar os pontos das partículas finas numa região, dificultando sua leitura e tornando-os, geralmente, inexpressivos (figura 1A).
- **Frequência Simples X Log Tamanho (papel mono-log)** — usando-se peneiras com aberturas crescentes proporcionais a um fator (ex.:  $2^{1/2}$ ), o logaritmo do valor da abertura aumenta por uma constante. Assim, as abscissas das aberturas sucessivas são igualmente espaçadas (figura 1B). A curva necessariamente termina com a fração retida da peneira mais fina, devido à falta de conhecimento da distribuição de tamanhos do material passante na mesma. Comparando-se as figuras 1A e 1B, verifica-se que na última ocorre um espalhamento dos pontos das partículas finas e uma concentração dos relativos aos grossos, facilitando a leitura dos dados das primeiras(2).
- **Frequência Simples X Log Tamanho ou Espelho (papel mono-log)** — a curva original é representada simetricamente abaixo do eixo horizontal no mesmo gráfico (figura 1C). Esta forma foi proposta por Coghill como uma forma de auxiliar a visualização do significado de uma análise granulométrica em peneira. Assim, a comparação entre a curva do material de alimentação ( $t = 0$  min) com a do produto ( $t = 9$  min), permite observar o desempenho da cominuição(2).
- **Log Frequência Simples X Log Tamanho (papel dilogarítmico)** — tal gráfico é usado(2) para o estudo da aplicabilidade da análise de distribuição de Gaudin (figura 1D).

A. GRAFICO GRANULOMETRICO DIRETO  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

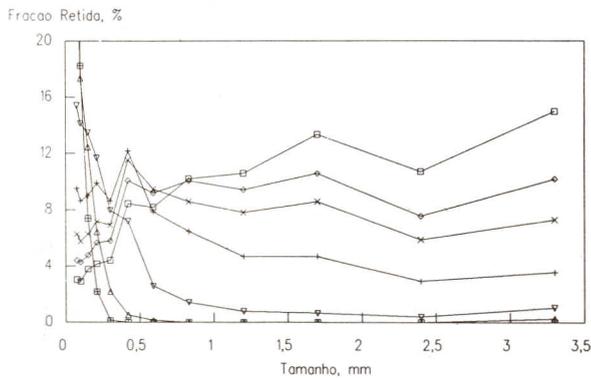


Figura 1A

B. GRAFICO GRANULOMETRICO DIRETO MONOLOG  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

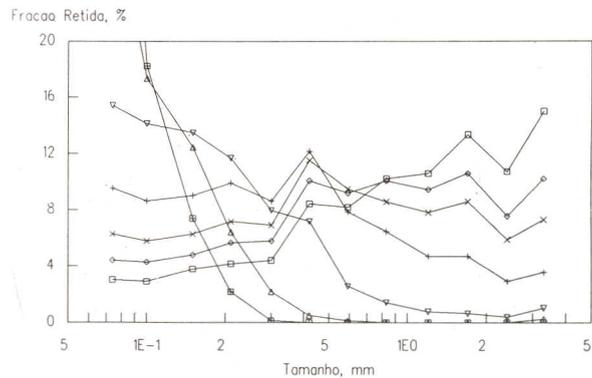


Figura 1B

E. GRAFICO CUMULATIVO DIRETO  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

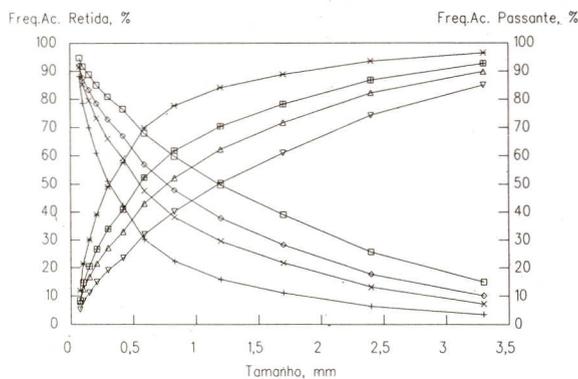


Figura 1E

F. GRAFICO CUMULATIVO MONOLOG  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

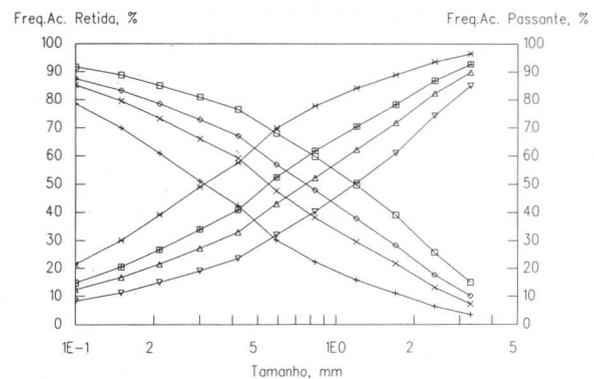


Figura 1F

I. GRAF.CUMUL. INVERSOS DAS ABERTURAS  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

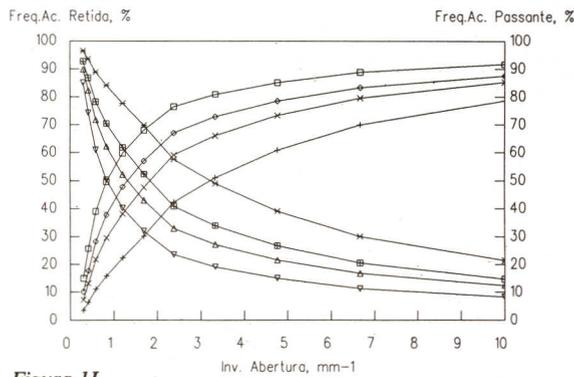


Figura 1I

J. GRAFICO DA FUNCAO DE ROSIN-RAMMLER  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

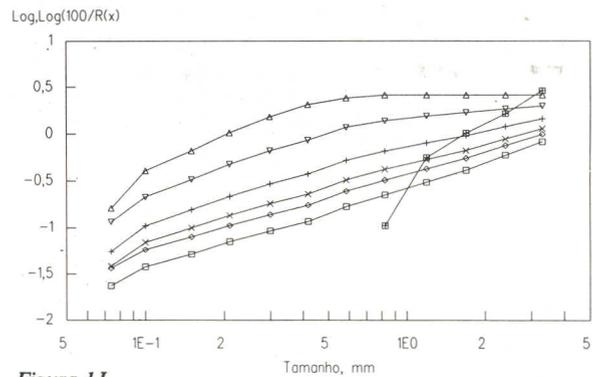
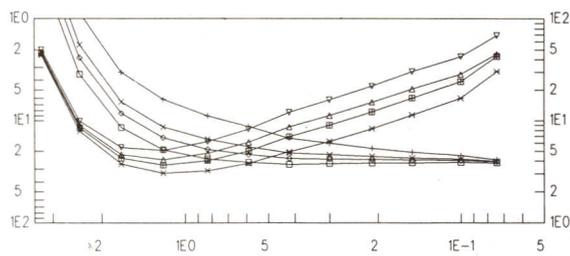


Figura 1J

SIMBOLOGIA ADOTADA NOS PONTOS DAS CURVAS  
(SAMBA X-Y)

t = 0 min    t = 1 min    t = 2 min    t = 4 min    t = 9 min ou 0 min  
t = 16 min ou 1 min    t = 24 min ou 2 min    t = 32 min ou 4 min



Os graficos com eixos X, Y1 e Y2 correspondem a quatro distribuicoes e os de X e Y1 a sete tempos de moagem

Figura 1 — Simbologia.

Figura 1 — Métodos para construção de gráficos granulométricos(2).

NOTA: Quando a planilha gera gráfico com simbologia, o diagrama resultante diminui de tamanho, para que os símbolos sejam impressos.

### GRÁFICOS GRANULOMÉTRICOS CUMULATIVOS (DISTRIBUIÇÕES ACUMULADAS)

Um gráfico cumulativo representa as frações de partículas *acumuladas* contra os seus tamanhos. As abscissas podem ser tanto as aberturas reais das peneiras, expressas em milímetros ou polegadas, ou qualquer outra função do tamanho(2), e os valores indicados variam do menor para o maior na escala adotada. Existem duas maneiras de representar uma distribuição acumulada:

1 — pelas frações retidas (*oversize*, mais usual, (4,5,6) — a ordenada representa as percentagens ponderais de partículas retidas nas malhas

C. HEMIGRAFICO DE COGHILL  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

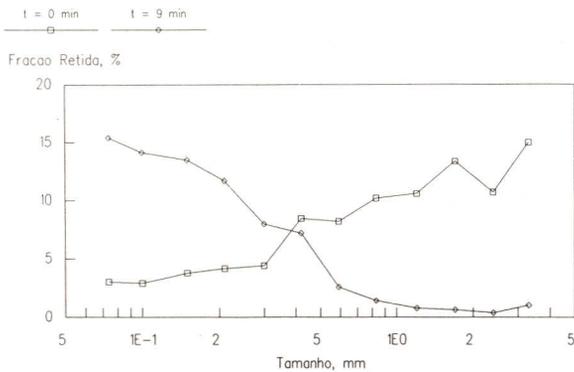


Figura 1C

D. GRAFICO GRANULOMETRICO DIRETO DILOG  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

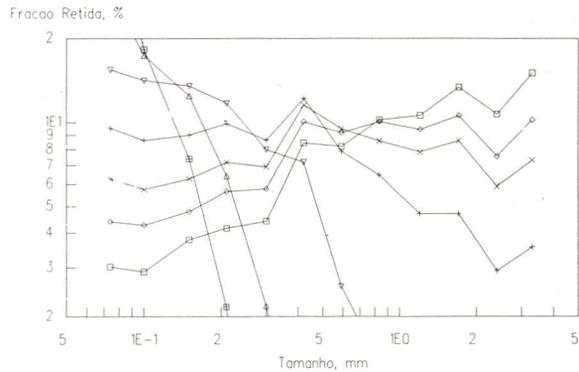


Figura 1D

G. GRAFICO CUMULATIVO DILOG  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

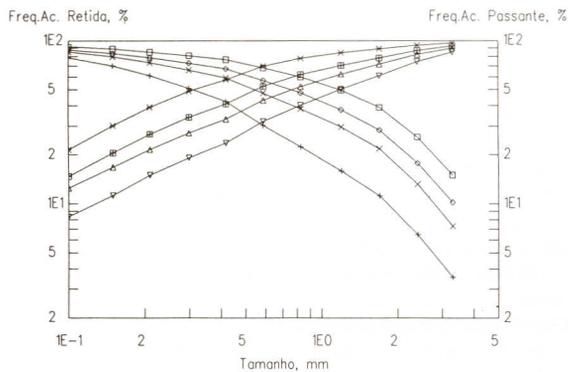


Figura 1G

H. GRAF. CUMULATIVO de ABERT. LIMITANTES  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

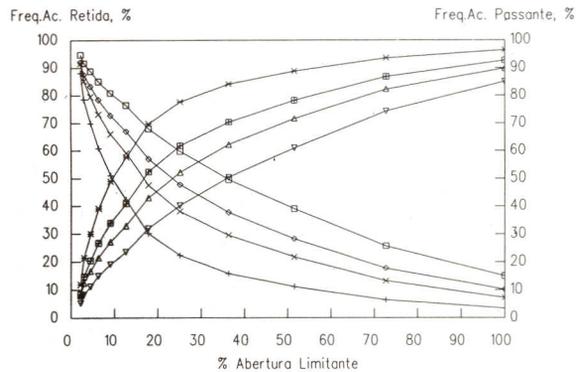
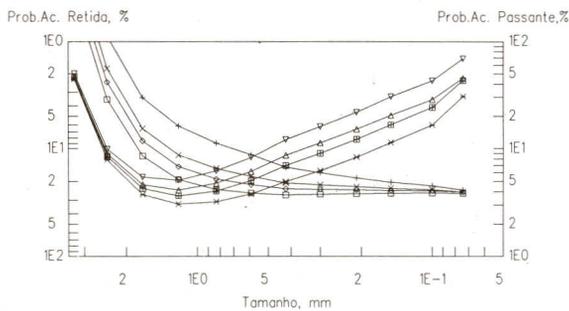


Figura 1H

K. AVALIACAO DA NORMALIDADE DAS CURVAS  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)



As freq. acumuladas substituem o numero de particulas na funcao probabilidade (Taggart, eq.114, pag. 19-145).

Figura 1K

L. GRAFICO DA FUNCAO DE ROLLER  
CALCARIO DE CANTAGALO  
(SAMBA X-Y)

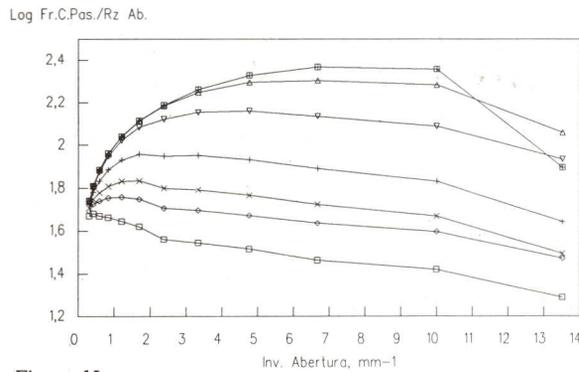


Figura 1L

ou peneiras menores do que um dado tamanho. Essa curva subirá de zero até 100% no intervalo de tamanhos entre a menor e a maior das partículas.

2 — pelas frações passantes (*undersize*, (2,5) — a ordenada indica as percentagens do peso total de partículas mais grossas do que um tamanho de referência, isto é, passantes por cada peneira maior até chegar à mais fina. Nessa curva, os valores descerão de 100% até zero % oferecendo uma visão complementar da anterior.

Os gráficos granulométricos cumulativos típicos são:

- **Frequência Acumulada (retida e/ou passante) X Tamanho de Partícula (escalas decimais)** — tal gráfico (2) possibilita ler imediatamente as frações retida e passante numa peneira (figura 1E) nas duas curvas complementares, mas apresenta dificuldades na leitura da região do gráfico relativa às partículas de menor tamanho, conforme na figura 1A.

- **Frequência Acumulada X Log Tamanho (papel mono-log)** — tal

gráfico facilita a leitura da região relativa às partículas finas (figura 1F)(2).

- **Log Frequência Acumulada X Log Tamanho (papel dilogarítmico)** — este gráfico (figura 1G) é utilizado para o estudo da aplicabilidade da função *derivada de Gaudin* (2).

- **Frequência Acumulada X Percentagem de Abertura Limitante (escalas decimais)** — é particularmente útil na comparação de dados de análises granulométricas de produtos em diferentes faixas de tamanho como, por exemplo, nos descarregamentos de um britador de mandíbulas e de um moinho de bolas (2). As ordenadas e abscissas são reduzidas à mesma escala e todas as curvas tem ponto final comum (figura 1H).

- **Frequência Acumulada X Recíproco da Abertura** — o gráfico da figura 1I inverte o abarrotamento observado no gráfico direto de frequência simples x abertura, que acontece na faixa das partículas menores. É aplicado nos casos em que a quantidade de material fino é pe-

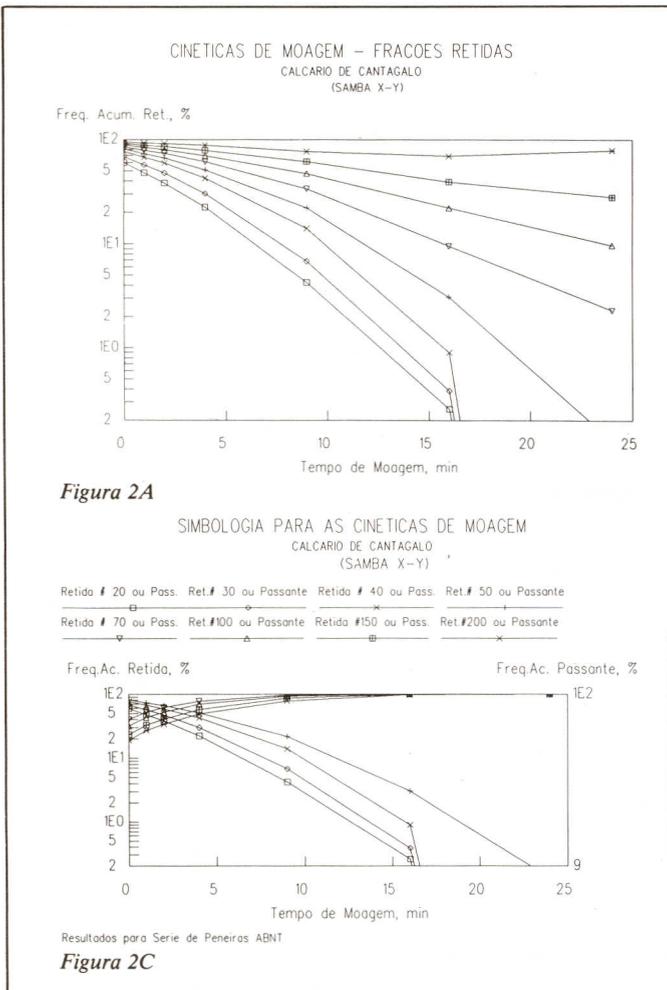


Figura 2A

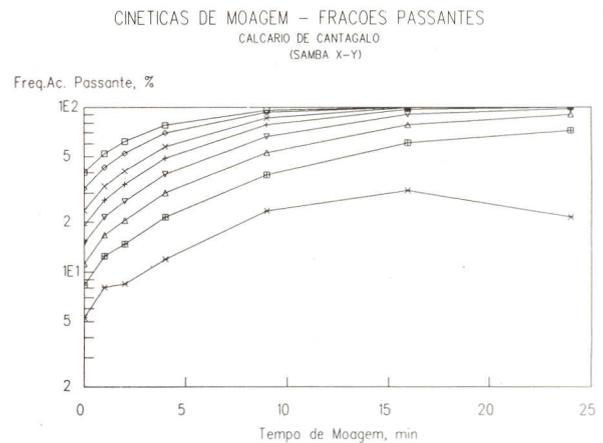


Figura 2B

Figura 2 — Alternativas gráficas para expressar cinéticas de moagem de materiais.

quena e a de grossos é grande. Se essa condição for invertida ocorrerá um acúmulo de pontos plotados na região dos grossos. As curvas das frações passantes e retidas são imagens espaciais (2).

### CURVAS LINEARIZADAS DE DISTRIBUIÇÃO DE TAMANHO

Além das técnicas de locação de pontos de frequências simples e cumulativas citadas, é possível empregar papéis de gráficos especiais para algumas distribuições de tamanho conhecidas e usuais (6). Tais papéis de gráficos facilitam o trabalho de analisar estatisticamente as populações envolvidas, sejam granulométricas ou não. São obtidos em gráficos de coordenadas logarítmicas e permitem caracterizar ou identificar as respectivas funções ou equações da distribuição de tamanho. Os casos mais conhecidos (2,6) são indicados abaixo:

• **Log, Log Recíproco da Frequência Acumulada X Log Tamanho (papel com escalas decimais ou logarítmicas)** — este gráfico (figura 1J) é utilizado no estudo da Distribuição de Rosin-Rammler (2), que é uma função cumulativa das frações retidas muito empregada, expressa abaixo (7):

$$F(x) = \exp \left( -(x/x_R)^n \right)$$

onde  $x_R$  é uma constante que dá uma medida do intervalo de tamanhos presentes e  $n$  é uma constante característica do material analisado, (isto é, sua *impressão digital* perante tal função) que indica a inclinação da curva no gráfico, que se obtém locando-se  $\ln(1/F(x))$  contra  $\ln x$  em papel dilogarítmico; tal distribuição apresenta-se geralmente encurvada para as frações mais grossas (6).

• **Probabilidade Acumulada X Log Tamanho** — o gráfico da figura 1K é utilizado no estudo da aplicabilidade da Lei de Distribuição Normal de Probabilidades. A curva é retilínea quando a distribuição é simétrica para alguns tamanhos específicos (2). Para diversos casos práticos e teóricos, a Estatística revela-nos que os modelos de distribuição de probabilidades são análogos ou válidos para as funções de frequên-

cias. Assim, este gráfico pode ser equivalente a outros modos de representação indicados adiante.

• **(Log Frequência Cumulativa Passante/(abertura)<sup>1/2</sup> X Recíproco da Abertura** — tal gráfico (figura 1L) tem sido aplicado somente na determinação da aplicabilidade da função de Roller (2). Obtém-se locando-se a razão (Frequência Cumulativa Passante/raiz quadrada da abertura) em escala logarítmica versus o inverso da abertura em escala decimal.

• **Distribuição Normal Aritmética** — é uma função da média aritmética e do desvio-padrão; os dados da função cumulativa das frações retidas  $F(x)$  nas peneiras são locados contra os respectivos tamanhos de partículas em papel semilogarítmico, podendo as abscissas conter as frequências ou os tamanhos  $x$ , dependendo das preferências do usuário (6,7), emprega os recursos similares de cálculos, para obtenção dos valores a serem locados, que aqueles utilizados para a figura 1K.

• **Distribuição Log-Normal** — é função da média geométrica e do desvio padrão geométrico, sendo obtida a partir da distribuição normal, substituindo-se  $x$  pelo seu logaritmo natural ( $\ln x$ ), a média aritmética por  $\ln$  (média geométrica) e, também, o desvio padrão aritmético pelo  $\ln$  (desvio padrão geométrico). Os dados são locados em papel dilogarítmico, permitindo correlacionar graficamente os quatro tipos de distribuição de tamanhos (número, comprimento, superfície e massa), suas médias e valores modais; são obtidas linhas paralelas com espaçamentos iguais (6,7).

A obtenção de curvas linearizadas ou normalizadas envolve os cálculos da média conveniente e do desvio-padrão para cada distribuição granulométrica e, em seguida, calcular a frequência ou probabilidade cabível pela função pertinente, e locar os resultados em escalas monolog ou dilog. No *papel de curva normal* (8), os valores dos tamanhos de partículas são locados no eixo das abscissas e os da variável reduzida  $Z$  sobre o primeiro eixo das ordenadas  $Y_1$ , ao passo que as probabilidades podem ser locados em  $Y_1$ . Uma opção, vide figura 1K, é a de locar as probabilidades acumuladas, em %, sobre os dois eixos das ordenadas.

### CURVAS DAS CINETICAS DE MOAGEM

Para obtê-las é necessário moer a amostra várias vezes, anotando cada tempo de moagem e as respectivas distribuições granulométricas após cada cominuição. Quando se locam as frações acumuladas passantes (ou retidas) do material nas ordenadas (em escala decimal) contra os tempos de moagem, surge uma família de curvas, da qual podem ser obtidos os parâmetros cinéticos (figura 2A, 2B, 2C).

### CURVAS DE MOABILIDADE RELATIVA DE MATERIAIS

Também são curvas cinéticas de moagem, que permitem a comparação da dificuldade de se moer ou obter um material passante nu-

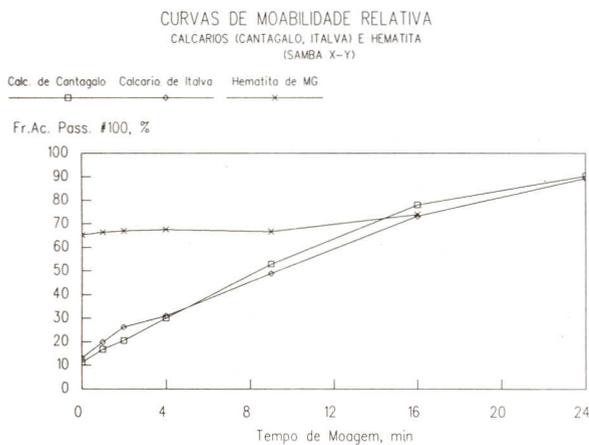


Figura 3A

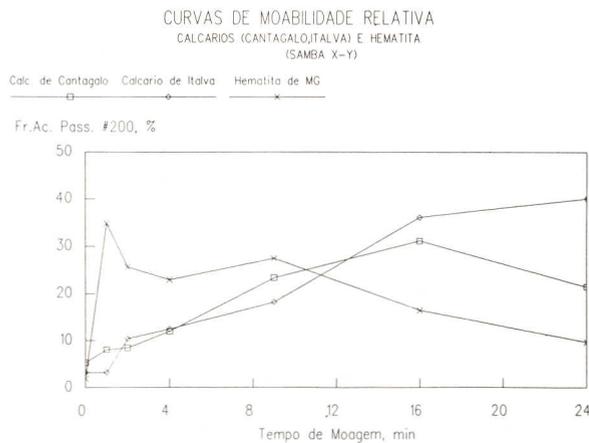


Figura 3C

ma peneira qualquer. Podem ser obtidas num gráfico de coordenadas decimais, a partir dos dados cinéticos mencionados acima, sendo que as abscissas representarão os valores das frações percentuais ponderais passantes na peneira escolhida correspondentes aos tempos de moagem alcançados nas ordenadas (figura 3A, 3B, 3C). Materiais com diferentes durezas ou friabilidades apresentarão comportamentos distintos quando cominuídos nas mesmas condições operacionais do equipamento considerado.

### ESCOLHA DO TIPO DE GRÁFICO EM PLANILHAS DE CÁLCULO

O emprego de planilhas de cálculo visa facilitar a obtenção de diversas figuras com rapidez e padronização. Assim, no caso de análises granulométricas, tais *softwares* possibilitam elaborar coleções de gráficos por material moído, sendo cada gráfico constituído por uma família de curvas experimentais. Em algumas versões disponíveis de planilhas de cálculos ocorre uma limitação inicial para elaborar cada figura, que é a de só permitir a locação de seis curvas experimentais em cada quadro. Porém, tal dificuldade acrescenta o trabalho de se desdobrar uma família de curvas em duas ou mais figuras, quando for necessário. A planilha de cálculos SAMBA permite locar oito curvas e empregar escalas decimais e logarítmicas.

Em geral, uma planilha de cálculos oferece as seguintes possibilidades de escolha de tipo de gráfico (9,10):

- a — Linha — representa até oito grupos de valores; os pontos das curvas correspondentes aos dados podem ser unidos entre si por linhas, podendo também ser representados por símbolos, ou ainda por ambos os recursos;
- b — Histograma ou Barras adjacentes — substitui as linhas contínuas por patamares de barras alinhadas lado a lado na posição vertical;
- c — XY — coloca tanto no eixo dos X quando no dos Y os valores de duas variáveis independentes; os pontos são obtidos pela interseção

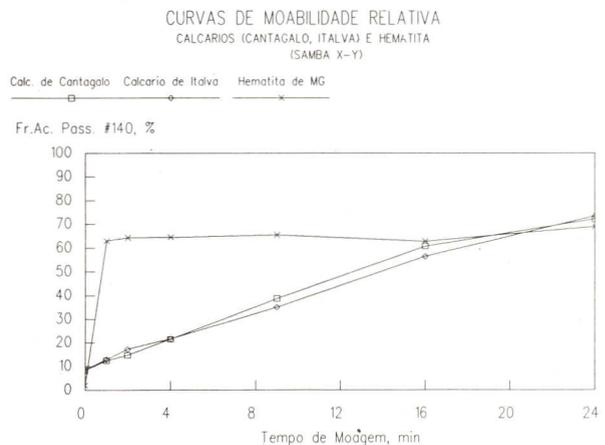


Figura 3B

Figura 3 — Gráficos para avaliação de mobilidade relativa de materiais.

dos valores assumidos pelas respectivas variáveis; também aceita até oito distribuições de valores;

d — Barras Sobrepostas — possibilita *empilhar* em uma mesma barra os diversos valores das variáveis; quando o conjunto de dados referir-se a uma só variável, os gráficos de *histograma* e *barras sobrepostas* apresentam o mesmo resultado;

e — Pizza ou Torta — representa percentuais obtidos de um conjunto de dados, sob a forma de setores de um círculo, tal qual fatias de uma pizza ou torta.

### PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Para o presente trabalho, decidiu-se adotar dois tipos de gráficos dentro das opções oferecidas: o XY e o de linha.

Cada série individual de moagens trata de um material moído. Para o estudo da moabilidade relativa dos materiais, é necessário utilizar o conjunto das séries individuais de moagens dos sólidos disponíveis. Para uma série individual de moagens de um material, pode-se elaborar os gráficos já exemplificados e ampliar o elenco de acordo com as demais alternativas gráficas oferecidas pelo *software*.

As curvas das cinéticas de moagem e moabilidade relativa de materiais exemplificadas anteriormente, foram resultantes das cominuições executadas em escala de bancada no Laboratório de Tratamento de Minérios do Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da COPPE/UFRJ.

As moagens foram conduzidas em dois moinhos cilíndricos de aço inoxidável, o menor e o maior medindo, respectivamente, 17 cm e 20 cm de diâmetro interno e 22 cm e 30 cm de altura, ambos fabricados pela Cimaq S/A Indústria e Comércio. Os jarros cilíndricos foram impulsionados separadamente, por um conjunto eletromecânico composto de motor elétrico, dotado de redutores de velocidade, acoplado a dois rolos acionadores, montados num berço de aço-carbono, ocupante de uma área de quase 1 m<sup>2</sup>, fabricado pela Denver Equipment Company.

A classificação dos tamanhos de partículas foi processada através de doze peneiras de aço inoxidável, empregando-se um agitador de peneiras *RO-TAP Testing Sieve-Shaker, Model B*, fabricado por W.S. Tyler, Inc. & Combustion Engineering, Inc. nos E.U.A. As peneiras foram empregadas em dois grupos de seis unidades, sendo que as frações finas foram sendo subdivididas em duas ou três parcelas a classificar, à medida que as partículas iam sendo moídas, para evitar aglomerações e erros experimentais.

Um estudo laboratorial preliminar sobre a carga de bolas adequada aos trabalhos de moagem no moinho acima descrito (ii) revelou ser conveniente adotar tamanhos diferentes de bolas de aço forjado, fornecidas pela Forjas Brasileiras S.A. Indústria Metalúrgica.

Os tempos de peneiração para materiais mais densos podem ser menores, pois suas partículas sofrem mais rapidamente os efeitos do

sacolejamento imposto pelas máquinas, que visam induzi-las a atravessar o percurso em direção à peneira inferior. Tais procedimentos estão em concordância com os aspectos e critérios abordados por Tavares e Torloni (12).

A princípio, foram adotados os seguintes critérios para representar as análises granulométricas: 1° — cada série de moagens abrangeria uma distribuição de tamanhos original e 5 a 8 coleções de dados, inclusive a original (tempo zero), referentes a tempos de operação tais como 1 min, 1 min, 2 min, 4 min, 8 min, 8 min, 8 min; para atender ao critério de oito curvas por gráfico; 2° — para cada série de moagens do material, seria elaborado um arquivo na planilha de cálculos incluindo os dados experimentais, indicando as frequências simples, acumuladas retidas e passantes e respectivos logaritmos, e, conforme o caso, o cálculo dos parâmetros das Funções de Rosin-Rammler e Roller; 3° — no caso da moabilidade relativa dos materiais, decidiu-se criar um arquivo maior contendo os dados experimentais e as frequências simples e acumuladas passantes, para gerar as figuras correspondentes.

Durante as tentativas iniciais de obtenção de gráficos, verificou-se que era preferível ou necessário adotar os seguintes critérios:

- 1° — utilizar o tipo *X-Y* oferecido pelas planilhas;
- 2° — durante a definição dos intervalos de valores das escalas horizontal e vertical, convém defini-los de acordo com os máximos e mínimos indicados pelos resultados experimentais, isto é, não empregar o *default* da planilha;
- 3° — os valores das escalas logarítmicas devem obrigatoriamente ser múltiplos de 5 (cinco) e 10 (dez), por exemplo: 0,05 — 0,10 — 0,5 — 1 — 5, etc., para que os valores reais sejam locados pela planilha no intervalo correspondente do gráfico desejado;
- 4° — o número de divisões entre cada intervalo numérico indicado pela escala pode ser zero, caso o usuário queira removê-las para desanuviar o gráfico resultante;
- 5° — é possível escrever títulos para os gráficos, subtítulos, rótulos para as escalas (os quais devem ser compatíveis com as divisões e serem regulares). Entretanto, para incluir as simbologias dos pontos das curvas traçadas surge uma dificuldade nas planilhas testadas pelos autores: somente alguns símbolos são desenhados abaixo ou acima da figura — a coleção é truncada, obrigando o usuário a elaborar um gráfico simbólico à parte com poucos pontos e títulos, para esclarecer-se e a outros interessados;
- 6° — uma planilha permite imprimir diretamente numa página do tamanho carta (ou A4) três pequenos gráficos indicativos do aspecto das curvas, porém que não oferecem resolução satisfatória, tornando necessário preparar arquivos tipo *slide* (extensão *sld*) ou *ploter* (extensão *plt*) para posterior impressão em impressora ou traçador gráfico.

## CONCLUSÕES

- 1 — Uma planilha de cálculos permite obter rapidamente os valores

de distribuições de tamanhos de partículas (frequências simples e acumuladas) e de funções consagradas.

2 — Possibilita também obter uma grande variedade de gráficos padronizados para representar adequadamente as curvas granulométricas de interesse tecnológico, isto é, efetuar cálculos e plotá-los pelo mesmo *software*.

3 — Foram apresentados aqui alguns exemplos envolvendo os gráficos tipo *X-Y* e *linha*. Dependendo do gosto ou padrão adotado pelo usuário, gráficos dos tipos *XY* e *linha* podem ser associados com o tipo *histograma*, os quais podem ser impressos em duplas nas mesmas páginas.

4 — Nem todas as versões de planilhas de cálculos oferecem a opção para obter gráficos com escalas logarítmicas. Tal recurso é oferecido pelo *software* integrado SAMBA, que inclui a planilha de cálculos, um gerenciador de banco de dados e um gerador de gráficos.

5 — O uso de uma boa impressora ou de um traçador de gráficos reduz enormemente o trabalho de elaboração de desenhos para relatórios e outros trabalhos técnicos. Os gráficos aqui expostos foram obtidos inicialmente em folhas brancas comuns de 80 colunas numa impressora "Rima XT-250", cuja trepidação em alguns casos é inconveniente. Posteriormente, foi utilizada uma impressora "HP Laserjet Series II", que eliminou o problema da trepidação e reduziu o tempo aproximado de impressão de 15 para 3 minutos, tendo sido empregadas folhas brancas de uso em máquinas da Xerox.

6 — Embora este trabalho tenha sido orientado para representar resultados experimentais de moagens de materiais, os procedimentos aqui empregados servem para uso em outras aplicações científicas e de engenharia.

7 — Uma indústria que utilize planilhas de cálculos por microcomputador com finalidades gerenciais poderá estender seu uso para aplicações tecnológicas ou de controle da produção e qualidade.

## AGRADECIMENTOS

Técnico Mecânico João Augusto Siqueira Gomes, do Laboratório de Tratamento de Minérios do PEMM-COPPE-UFRJ, aluno Antonio Carlos Silva Araújo, da Escola de Química da UFRJ, Prof. Dr. Cláudio Costa Neto, Eng.º M.Sc. Marcus Vinício de Araújo Fonseca e Prof.ª Dr.ª Regina Sandra Nascimento, do Pólo Piloto de Xistoquímica do IQ-UFRJ, Prof. Dr. Alfredo Silva, do Departamento de Meteorologia do Instituto de Geociências da UFRJ, Sr. Luís Carlos de Almeida Serpa, Sr. Rafael Nocito, Sr. Sérgio Guedes, do NCE-UFRJ, Eng.º M.Sc. Quirino Ponton Swenson e Sr. Sérgio Roberto Fernandes de Mello, da Eletrobrás, Prof. Dr. Benjamin Valdman, da Escola de Química da UFRJ, Sr. Francisco Pontes e Sr. Francisco Guedes, da PC Software e Consultoria Ltda., LABSIMCOM da EQ-UFRJ, NCE-UFRJ, Sr. Montalvani P. Monducci, da Cibrex Ltda, ao CNPq e a FINEP.

## REFERÊNCIAS

- (1) RATCLIFFE, A., "Trends in Size Reduction of Solids... Crushing and Grinding", Chemical Engineering, 79 (14): 62-75, July 10 (1972).
- (2) TAGGART, A.F., "Handbook of Mineral Dressing", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1954.
- (3) GAUDIN, A.M., "Principles of Mineral Dressing", TMH Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., New Delhi, 1978.
- (4) PERRY, R.H. e HILTON, C.H., "Manual de Engenharia Química-5ª"; Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.
- (5) COULSON, J.M. e RICHARDSON, J.F., "Tecnologia Química, Volume II/Operações Unitárias", Trad. de C.R. Carlos, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1968.
- (6) SVAROVSKY, L., "Solid-Liquid Separation", Butterworths, London, 1981.
- (7) ALLEN, T., "Particle Size Measurement", 3ª Edição, Chapman and Hall, London, 1981.
- (8) BERQUÓ, E.S.; SOUZA, J.M.P. e GOTLIEB, S.L.D.; "Bioestatística", E.P.U. — Editora Pedagógica e Universitária Ltda., São Paulo, 1980.
- (9) SWENSSON, Q.P. e GOMES, J.P.P., "Lotus 1-2-3", 2ª Edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1986.
- (10) "Samba Versão Outono/89 — Manual do Usuário" PC Software e Consultoria Ltda., Rio de Janeiro, 1989.
- (11) SILVA, A.C.A.; TEIXEIRA, M.B.F.; ZAKON, A. e CUELLAR, O.D.; "Seleção dos Tamanhos de Bolas para Moagem em Escala de Bancada", CICTE-88, VII Congresso de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia — CICTE-88, Escola de Engenharia de São Carlos — USP, 1988.
- (12) TAVARES, F.A. e TORLONI, M.; "Análise Granulométrica por Peneiração", Boletim do Departamento de Engenharia Química, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 21 (1965).

Registro na ABC: Trabalho nº 572