

METODOLOGIA PARA SIMULAÇÃO E ESCALONAMENTO DE PENSAS DE ROLOS

V. K. Alves¹; A. E. C. Peres²; C. L. Schneider³

¹VALE S.A. - Brasil

²Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais – UFMG - Brasil

³Centro de Tecnologia Mineral – Brasil
aecperes@demet.ufmg.br

RESUMO

Vale, uma das maiores mineradoras do mundo, priorizou o desenvolvimento da tecnologia HPGR para aplicação prática em seus projetos atuais. Um modelo de balanço populacional para HPGR existente foi avaliado sob diferentes condições de moagem para um dado material de alimentação. Os efeitos da pressão de moagem e da distribuição de tamanhos da alimentação foram investigados. A resposta do modelo do balanço populacional mostrou uma clara dependência da distribuição de tamanhos do produto com a pressão específica de moagem. Como resultado, a pressão específica de moagem foi incorporada no modelo de balanço populacional, permitindo a predição da distribuição de tamanhos do produto para valores práticos desse importante parâmetro. Com base nesse resultado, um procedimento de caracterização foi concebido para uso no modelo de balanço populacional e para parâmetros de escalonamento do modelo. O procedimento não requer testes de compressão lenta, e todos os testes podem ser realizados de forma expedita em HPGR instrumentada de escala de bancada, usando-se pequenas amostras de cerca de 10 kg. As únicas análises requeridas são distribuições de tamanhos. O modelo do balanço populacional foi implementado no simulador de planta amplo Modsim™.

Palavras-chave: Simulação, modelamento, cominuição, minério de cobre, HPGR

ABSTRACT

Vale, one of the largest mining companies in the world, has prioritized the development of HPGR technology for practical application in its current projects. An existing population balance model for the HPGR has been evaluated under distinct grinding conditions for one feed material. The effect of grinding pressure and feed size distribution was investigated. The population balance model response showed a clear dependency of product size distribution with specific grinding pressure. As a result, specific grinding pressure was incorporated into the PBM, allowing for predicting product size distribution at practical values of this important parameter. Based on this result, a characterization procedure was envisaged so as to produce PBM and scale-up parameters for the model. The procedure does not require slow compression tests, and all of the testing can be carried out in an expedited form in an instrumented bench scale HPGR, using small samples of about 10 kg. The only analyses required are size distributions. The PBM model was implemented in the Modsim™ plant wide simulator.

Keywords: Simulation, modeling, comminution, copper ore, HPGR

1. INTRODUÇÃO

A figura 1 (fora de escala) ilustra um material de alimentação sendo comprimido em segmentos horizontais à medida que é puxado (*nipped*) como um leito particulado e se move em direção ao vão (*gap*) entre os rolos. Em princípio, as forças compressivas (horizontais) em cada segmento diferencial

podem ser calculadas, e variam de zero no ângulo crítico (*nip angle*) até um máximo, na altura do vão. Partículas frágeis quebram no topo e produzem fragmentos menores que se movem para baixo e requebram juntamente com as partículas menos friáveis da alimentação. Isto ocorre até o vão, onde a pressão é aliviada.

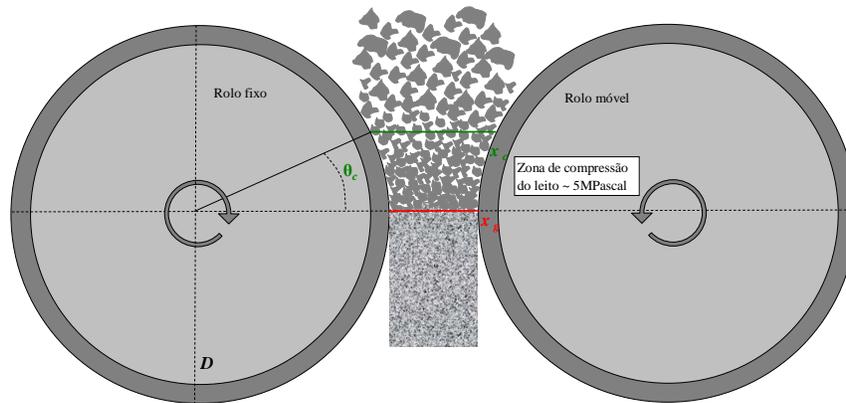


Figura 1. Representação esquemática do fluxo de material em direção ao vão operacional entre rolos.

Este é um sistema difícil de estudar porque a quebra em cada secção não pode ser medida, e somente a distribuição granulométrica do produto final pode ser obtida. Por esta razão algumas simplificações (que aparentemente funcionam bem) devem ser feitas. Assume-se que não importa onde no sistema um tamanho em particular (e.g. $\sqrt{2}$ de tamanho de peneira) é produzido, uma vez que, no final, a chance de uma partícula sair sem quebrar depende da sua resistência relativamente à força que ela experimenta, ou seja, a pressão no vão entre rolos. Assume-se também que a distribuição de friabilidade das partículas de um dado tamanho é a mesma para as partículas produzidas no moinho e para as partículas na alimentação do mesmo.

1.1. Fratura por Estorço (*nipping breakage*) no Vão

Quando um britador de duplo rolos lisos roda em condições de alimentação normal (*non-choke feed*), cada partícula é beliscada (*nipped*) e quebrada ou passa através do vão do britador sem quebrar, independentemente da presença de outras partículas. Se

alimentação forçada (*choke feed*) é utilizada, um leito de partículas pode chegar ao vão entre rolos e passar por ele de forma comprimida. Uma vez que o vão (ou fresta) é fixo (diferentemente da prensa de rolos de alta pressão, PRAP) uma situação pode surgir na qual os rolos estão comprimindo um leito altamente incompressível, gerando forças altíssimas nos rolos, muito maior do que aquelas requeridas para comprimir e fraturar partículas individuais. Quando esta situação aparece, ela é evitada diminuindo a taxa de alimentação, e evitando a alimentação forçada.

No entanto, foi descoberto que em alimentações não-forçadas, para cada tamanho (em uma série de intervalos de tamanhos de $\sqrt{2}$) existe uma fração que passa a fresta entre os rolos sem quebrar. Obviamente a fração que quebra é 1 para partículas muito maiores que a fresta e zero para partículas muito menores que a fresta. Porém, para tamanhos similares ao tamanho da fresta, a variedade de formas de partícula e probabilidades de orientação com respeito à fresta produz uma distribuição de

probabilidades de quebra. A equação usada por Austin^[1] é

$$a_i = \begin{cases} \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i}{\mu x_g}\right)^{-\lambda}}, & n > i \geq 1 \\ 0, & i = n \end{cases} \quad (1)$$

onde a_i é a fração em massa das partículas do intervalo de tamanhos i que quebra, x_i é o tamanho da peneira de cima do intervalo de tamanhos indexado por i e μ e λ são números característicos independentes do tamanho x_i ou do tamanho da fresta x_g . Para rolos lisos, $\lambda = 6,7$ para todos os materiais testados^[2]. Este valor alto de λ significa que $a_i \rightarrow 1$ para $x_i/x_g > 1$ e $a_i \rightarrow 0$ para $x_i/x_g < 1$.

Este conceito será usado no modelo porque se o leito de compressão não quebra uma partícula grande, então ela certamente quebrará quando ela for beliscada (*nipped*) pelos rolos em alguma altura da fresta.

1.2. Modelo de Compressão mais Estorcego

Primeiramente, definimos a pressão formal de moagem^[3] como

$$P = \frac{\psi}{DL} \quad (2)$$

onde P é a pressão de moagem, ψ é a força horizontal nos rolos, D é o diâmetro dos rolos e L o comprimento. Em geral D/L será uma razão fixa. A pressão máxima na fresta será mais alta do que, mas proporcional a, P e P pode ser usado como uma medida das condições de quebra do leito comprimido.

Considera-se a distribuição granulométrica do produto produzido por uma alimentação toda de tamanho 1. Igualar-se a fração de material no intervalo de tamanhos indexado por i que é quebrada em uma passagem pelo moinho a a_i , com a fração não quebrada sendo $1-a_i$, devido à compressão no leito. A fração remanescente é $p_1 = (1-a_1)(1-a'_1) =$ fração do tamanho 1 no produto. A fração

que passa para o tamanho 2 é $b_{2,1}a_1 + b'_{2,1}a'_1(1-a_1)$, onde $b_{2,1}$ é o valor de b para quebra por estorcego (*nipping breakage*) e $b'_{2,1}$ é o valor correspondente para quebra por compressão. Assumindo-se que $b'_{2,1} = b_{2,1}$, pode-se escrever (convenientemente) $p_2 = b_{2,1}a_1 + b_{2,1}a'_1(1-a_1)$. A fração de material que permanece depois da quebra por estorcego é $1-a_2$ e a fração remanescente depois da quebra por compressão é $1-a'_2$, dando $p_2 = p_2^*(1-a_2)(1-a'_2)$. A massa de material por unidade de alimentação que passa para o tamanho 3 é $p_3^* = [b_{3,1}a_1 + b_{3,1}a'_1(1-a_1)] + [b_{3,2}a_2p_2^* + b_{3,2}a'_2(1-a_2)p_2^*]$ e $p_3 = p_3^*(1-a_3)(1-a'_3)$. A expressão geral é

$$p_i^* = \begin{cases} 0, & i = 1 \\ b_{i,1}a_1^* + \sum_{j=1}^{i-1} b_{i,j}a_j^*p_j^*, & n \geq i > 1 \end{cases} \quad (3)$$

$$p_i = \begin{cases} 1-a_i^*, & i = 1 \\ 1-a_i^*p_i^*, & n \geq i > 1 \end{cases}$$

onde $a_i^* = a_i + a'_i(1-a_i)$ e $a_n = 0, a'_n = 0$.

Uma simplificação é feita de forma que a função distribuição de quebra seja normalizável. Neste caso $b_{i,j}$ pode ser substituído por $b_{i-j}, n \geq i \geq j$. Também se assume que a função quebra primária na sua forma cumulativa pode ser expressa como

$$B_{i,j} = \phi \left(\frac{x_{i-1}}{x_i} \right)^\gamma + (1-\phi) \left(\frac{x_{i-1}}{x_i} \right)^\beta, \quad n \geq i > 1 \quad (4)$$

com

$$b_{i-j} = \begin{cases} B_{i-j} - B_{i+1-j}, & n > i > j \\ B_{n-j}, & i = n \end{cases} \quad (5)$$

O tratamento acima é baseado em uma alimentação toda no tamanho 1, que é $f_1 = 1$. No entanto, foi demonstrado que a distribuição de tamanhos do produto medida para uma alimentação consistindo de quatro tamanhos distintos é igual àquela prevista

pela combinação linear das distribuições de tamanhos nos produtos previstas para cada uma das alimentações individual e independentemente.^[4] Assumindo-se que isto seja verdade para qualquer distribuição de tamanhos na alimentação, o vetor de valores p_i determinados para uma alimentação de tamanho 1 pode ser generalizado para a matriz de valores para alimentações de tamanhos j , já que o que é chamado de tamanho 1 é altamente arbitrário. Portanto a equação (3) pode ser mais generalizada para

$$\left. \begin{aligned}
 d_{i,j}^* &= \begin{cases} 0 & , \quad i = j \\
 b_{i-j} a_j^* + \sum_{k=j}^{i-1} b_{i,k} a_k^* d_{k,j}^* & , \quad n \geq i > j \end{cases} \\
 a_i^* &= \begin{cases} 0 & , \quad i = n \\
 a_i + a_i'(1 - a_i) & , \quad i < n \end{cases} \\
 d_{i,j} &= \begin{cases} 1 - a_i^* & , \quad i = j \\
 1 - a_i^* d_{i,j}^* & , \quad n \geq i > j \end{cases} \\
 p_i &= \sum_{j=1}^i d_{i,j} f_j
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

onde f_i é a fração da alimentação no intervalo de tamanhos i .

A matriz dos valores $d_{i,j}$ é a matriz de transferência e $d_{i,j}^*$ são os parâmetros de transferência, ou seja, a fração da alimentação que tem tamanho j que sai no produto no intervalo de tamanho i . Notar que quando $i > j$, $d_{i,j} = 0$, como expresso nas desigualdades. A última parte da equação (6) pode ser escrita em forma de uma operação matricial

$$p = d f \quad (7)$$

se os zeros são entrados de forma apropriada na matriz d . O tempo de computação está na geração da matriz. Considerando-se a capacidade computacional dos computadores pessoais mais comuns dos dias de hoje, este tempo computacional é absolutamente irrelevante.

1.3. Implementação do Modelo Combinado

A implementação do modelo combinado requer um par de funções seleção, uma especificamente para o processo de quebra por estorço (*nipping*) e outra para quebra por compressão, e um par de funções quebra normalizáveis, igualmente para estorço e quebra por compressão. O modelo implementado utiliza as seguintes formas funcionais para estes processos:

Função seleção de estorço:

$$a_i = \frac{1}{1 + \left(\frac{\mu x_g}{x_i} \right)^\lambda} \quad (8)$$

Função seleção para quebra por compressão:

$$\left. \begin{aligned}
 a_i' &= \left(\frac{x_i}{k} \right)^\alpha, \quad x_i > k \\
 a_i' &= 1, \quad x_i \leq k
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Função quebra do processo de estorço:

$$B_{i,j} = \phi \left(\frac{x_i}{x_{j+1}} \right)^\gamma + (1 - \phi) \left(\frac{x_i}{x_{j+1}} \right)^\beta, \quad n \geq i > 1, x_i > x_j \quad (10)$$

Função quebra do processo de compressão:

$$B_{i,j} = \phi' \left(\frac{x_i}{x_{j+1}} \right)^{\gamma'} + (1 - \phi') \left(\frac{x_i}{x_{j+1}} \right)^{\beta'}, \quad n \geq i > 1, x_i > x_j \quad (11)$$

Os parâmetros do modelo são, portanto, μ , λ , κ e α para as funções seleção e ϕ , γ , β , ϕ' , γ' , β' para as funções quebra. A implementação do modelo requer que o tamanho da fresta x_g durante a operação da PRAP seja conhecido. Este parâmetro importante define a capacidade da PRAP, e é uma função da pressão de moagem, da

geometria do equipamento e das características do material a ser prensado [5].

2. IMPLEMENTAÇÃO DE UMA INTERFACE GRÁFICA PARA O CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO MODELO DE PRAP A PARTIR DE ENSAIOS EM PRENSA DE BANCADA

O sistema para o cálculo de parâmetros do modelo da PRAP é baseado no princípio em que os parâmetros das equações 8 a 11 sejam invariáveis com a distribuição de tamanhos da alimentação. Assim, para uma sequência de testes com diferentes pressão e mantendo-se as demais condições operacionais constantes, existe um jogo de parâmetros que interpola as distribuições granulométricas medidas em cada teste com o modelo descrito acima.

O sistema desenvolvido é baseado em uma rotina de otimização de Rosenbrock. Esta escolha foi feita porque esta rotina não necessita de derivadas, e pode ser utilizada com restrições quanto aos valores que cada parâmetro pode assumir. O aplicativo calcula os parâmetros das equações (8), (9) e (11), mantendo os parâmetros da equação (10) invariáveis. Esta metodologia foi adotada porque os parâmetros da equação (10) podem ser medidos nos mesmos testes descrito acima, utilizando alimentação forçada.

3. EXPERIMENTAL

500 kg de uma amostra de minério de cobre da Vale S.A. foi britada inicialmente em um

britador de mandíbulas com abertura de 13 mm e classificados em peneira com abertura de 12,7 mm. O material retido foi alimentado em um britador de rolos com abertura de 10 mm.

Com a amostra britada em 100 % menor que 12,7 mm foi montada uma pilha longa e coletadas 6 alíquotas de aproximadamente 10 kg cada. O restante da amostra foi escalpado em 2,36 mm. Uma nova pilha longa foi montada e geradas mais 6 alíquotas de aproximadamente 10 kg cada.

As seis amostras escalpadas e as seis amostras naturais (sem escalpe) foram submetidas a ensaios na prensa de rolos de bancada (figura 2) operando com vão inicial de 1 mm, velocidade dos rolos de 0,33 m/s e pressões iniciais de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 bar. Foram feitas análises granulométricas da alimentação e produto a úmido.

Antes da análise granulométrica do produto, a amostra foi submetida a um banho de ultrassom por aproximadamente 1 hora para garantir que o material peneirado estivesse completamente desaglomerado.

Durante o ensaio foram medidos o vão operacional, a pressão de óleo e a potência dos motores.

É importante medir o vão operacional resultante para cada material, bem como a pressão de moagem resultante e a velocidade de rolos, uma vez que todas estas variáveis devem ser conhecidas para fins de modelagem.



Figura 2. Prensa de rolos Polysius usada nos testes. (a) parafusos para ajuste da posição dos batentes (gap 0); (b) batentes separando as carcaças dos rolos móvel e fixo, lado esquerdo; (c) pistões do rolo móvel, lado esquerdo.

No detalhe da figura 3 são mostrados dois quadros da moagem de uma amostra composta por 10 kg em um teste com pressão inicial de 5 MPa (100 bar de pressão de óleo), com o detalhe do batente inferior do lado esquerdo. Fica claro que o batente não encosta na carcaça do rolo móvel durante a moagem, e toda a força dos pistões é exercida no material que está sendo cominuído, entre rolos. Durante a moagem, existe pouca variação de posição

do rolo móvel, e o vão operacional é praticamente constante. Exceto no início do ensaio, quando o rolo móvel abre repentinamente admitindo a alimentação nova, e no final do ensaio, quando o rolo móvel move abruptamente para a posição de descanso (vão inicial) ao término da amostra. Este comportamento é típico da moagem com a prensa operando completamente afogada.

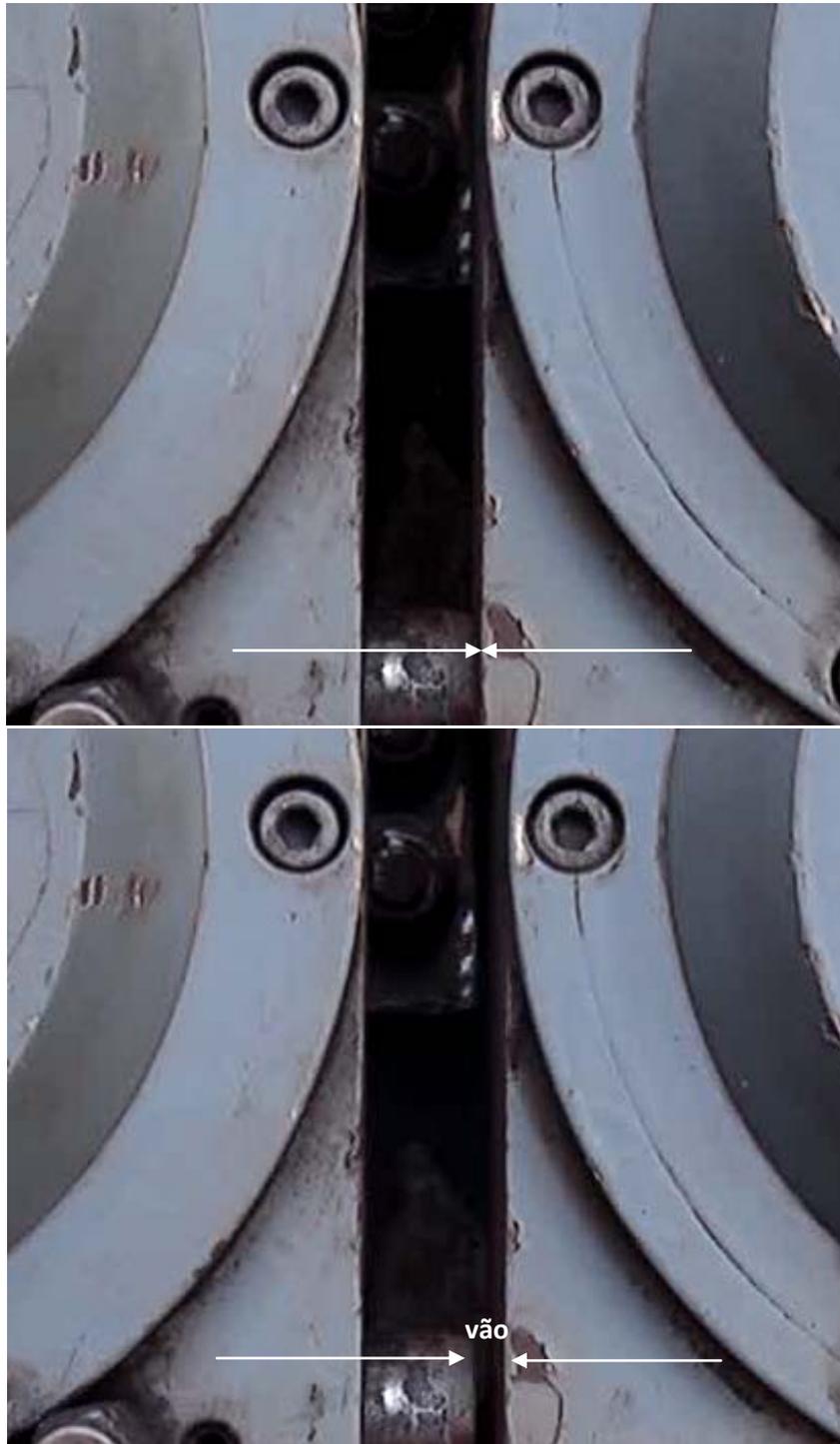


Figura 3. Quadros obtidos a partir da filmagem dos testes.

Na figura 3 a foto superior mostra a situação da prensa antes do material ser alimentado e a foto abaixo, durante a moagem. Nota-se que o rolo móvel, à direita, é empurrado para a esquerda em direção ao rolo fixo pela pressão dos pistões. O batente evita que os

rolos entrem em contato direto, mantendo uma distância mínima. Durante a moagem, no quadro de baixo, o rolo móvel se desloca para a direita, pela ação de moagem, e toda a força dos pistões é exercida sobre o minério, entre os rolos. A distância entre o

batente e a carcaça do rolo móvel é o vão induzido pelo leito.

Ao aumento do vão, medido por diferença antes e durante a moagem de cada amostra,

deve ser adicionado o valor do vão zero, ou distância entre os rolos com a carcaça do rolo móvel apoiada nos batentes. Este aspecto é ilustrado na figura 4.

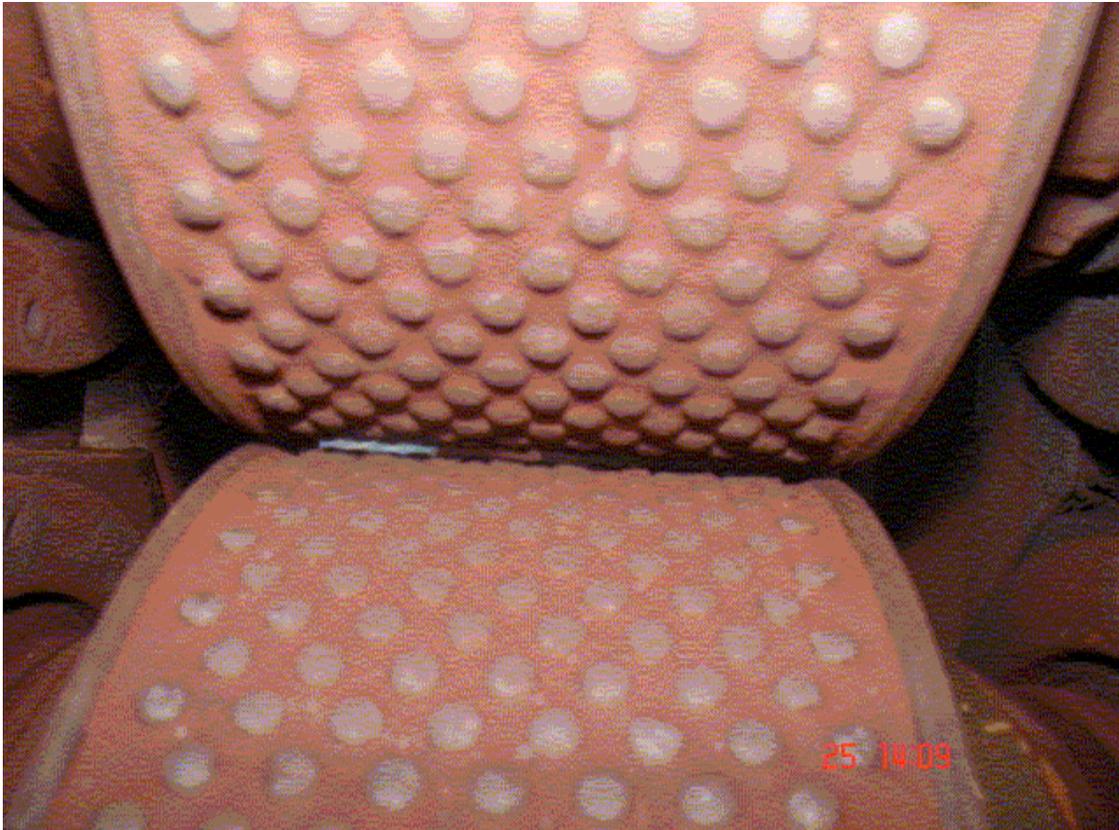


Figura 4. Rolos da prensa de bancada com vão 0 em 1 mm.

Os rolos da prensa são revestidos com pinos, como a configuração de um rolo industrial. Os pinos protegem o revestimento dos rolos reduzindo significativamente o desgaste. Na figura 4, a prensa está parada, e os rolos estão separados por uma distância fixa, uma vez que a carcaça do rolo móvel está apoiada nos batentes ajustáveis. Esta distância é conhecida com vão zero, ou seja, a fresta entre rolos sem qualquer material entre rolos. Tal distância é definida como aquela entre o topo dos pinos de cada rolo. Esta distância é medida com paquímetro de lâminas que são inseridas entre os rolos. Uma chave é empregada para o ajuste da posição dos batentes. Na figura 4 o vão zero foi medido em 1 mm. O ajuste deve ser feito com pressão de óleo e gás nos pistões. Deve-

se assegurar que os rolos estejam perfeitamente paralelos um em relação ao outro, realizando medidas do vão nas bordas e centro do rolo.

Para esta prensa, a pressão de nitrogênio é 75% da pressão de óleo, ou seja, para uma pressão de óleo de 100 bar, primeiramente a pressão de nitrogênio é ajustada para 75 bar. A pressão de moagem, sempre expressa em MPa, é diferente da pressão de óleo, sendo uma função do diâmetro dos cilindros, variando conforme o equipamento. Neste caso a relação adotada foi:

$$P = \frac{P_{\text{óleo}}}{2}$$

(12)

Assim, quando a pressão inicial de óleo foi ajustada para 100 bar = 10 MPa, a pressão específica inicial de moagem foi de 5 MPa.

Piloto

3.000 kg de uma amostra de cobre sulfetado para ensaios piloto foram britados em um britador de mandíbulas com abertura de 25,4 mm e classificados em peneira com abertura de 25,4 mm. O material retido foi alimentado no britador até estar 100 % menor do 25,4 mm. Foi montada uma pilha longa e coletada uma alíquota de aproximadamente 1.000 kg.

O restante da amostra foi escalpada em uma peneira com abertura de 6 mm e coletada uma nova alíquota de aproximadamente 1.000 kg.

Estas amostras foram enviadas para a Polysius na Alemanha onde foram submetidas a ensaios em uma prensa de rolos REGRO. Nas instalações da Polysius foram geradas alíquotas de aproximadamente 150 kg das amostras sem e com escalpe. As condições de cada ensaio são mostradas em detalhe na tabela 1.

Tabela 1. Condições de ensaios piloto com amostra de cobre sulfetado

Ensaio	R1	R3	R4	R6
Pressão inicial (bar)	25	55	40	40
Velocidade dos rolos (m/s)	0,29	0,29	0,29	0,29
Umidade (%)	3	3	1	3
Granulometria alimentação (mm)	< 25,4	< 25,4	< 25,4	<25,4 e >6

Tabela 2. Equipamentos utilizados nos ensaios de prensa de rolos de bancada e piloto

Equipamento	Laboratório, LABWAL	Piloto Polysius, REGRO
Diâmetro do rolo (m)	0,250	0,710
Comprimento do rolo (m)	0,100	0,210
Velocidade do rolo (m/s)	0,33	0,29
Vão Inicial (mm)	1,00	1,00

4. CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO MODELO

Com as distribuições de tamanhos medidas nos ensaios, os dados de distribuição granulométrica correspondentes podem ser utilizados nos aplicativos desenvolvidos neste trabalho para o cálculo dos parâmetros do modelo proposto. Primeiramente, os

resultados dos experimentos de estorço, no britador de rolos, são utilizados para o cálculo dos parâmetros da equação (10). Com estes parâmetros, os dados de distribuição granulométrica dos testes de prensagem no PRAP de bancada, são utilizados para o cálculo dos parâmetros da equações (8), (9) e (11). Os resultados são sumarizados a seguir.

Tabela 3. Resultados do cálculo dos parâmetros de modelo para os dados da amostra de minério de cobre testadas.

		Todos os testes	Bancada, amostra natural	Bancada, amostra escalpada	Piloto, amostra natural	Piloto, amostra escalpada
Parâmetros de quebra por compressão	κ mm		118,36	55,41	946,88	443,28
	α		0,62	1.4	0,23	0,52
	β	1.598				
	γ	0,244				
	ϕ	0,367				
Parâmetros de quebra convencional	μ	1,222				
	λ	4,877				

Deve-se frisar que rotinas de otimização com modelos complexos como este não podem ser relegadas simplesmente como uma usina de resultados, uma análise prévia, mais cuidadosa dos dados deve ser feita.

5. METODOLOGIA DE ESCALONAMENTO DE PRAP

A interface desenvolvida permite escolher quais parâmetros devem ser otimizados e quais devem ser mantidos fixos. Por exemplo, para a amostra natural na prensa de bancada, todos os parâmetros devem ser idênticos, com a exceção do valor de κ da função seleção por compressão. Isso resulta das diferentes pressões de moagem utilizadas para cada teste. A análise repetitiva dos resultados indica que quanto maior a pressão de moagem, menor o valor de κ . A relação encontrada, e que satisfaz todos os testes, inclusive os testes piloto, é a seguinte:

$$\kappa = \frac{\kappa @ 1\text{MPascal}}{P} \quad (13)$$

onde P é a pressão específica de moagem do teste, em MPascal. O parâmetro κ a ser utilizado na equação (9) tem unidade de comprimento, i.e. mm. Portanto, para dividir pela pressão do teste, o conceito de κ

normalizado em 1 MPascal é introduzido, e o parâmetro que satisfaz todos os testes pode ser denotado por $\kappa @ 1 \text{ MPascal}$. Isso satisfaz as unidades já que quando $P = 1 \text{ MPascal}$, $\kappa = \kappa @ 1 \text{ MPascal}$, em mm.

Desta forma, estamos modificando o modelo para considerar a pressão de moagem como um parâmetro de controle, ou seja:

$$\left. \begin{aligned} a_i &= \left(\frac{x_i P}{k} \right)^\alpha, & x_i > \frac{k}{P} \\ a_i &= 1, & x_i \leq \frac{k}{P} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

A equação (14) inclui a pressão específica de moagem como um parâmetro de modelo, e considera-se que o parâmetro κ é normalizado em 1 MPascal, e tem unidade de comprimento.

6. ENSAIO DE PRAP PILOTO

A rotina de escalonamento para PRAP industrial deve ser testada contra dados de uma operação de moagem em escala industrial. Para tanto, as 3 toneladas de preparada no CDM, e enviada para Polysius para testes na PRAP piloto REGRO. Este equipamento é mostrado na figura 5.

Se houver formação de *flakes*, a espessura destes deve ser medida. Amostras

instantâneas de produto devem ser coletadas pelo menos uma vez durante o teste.

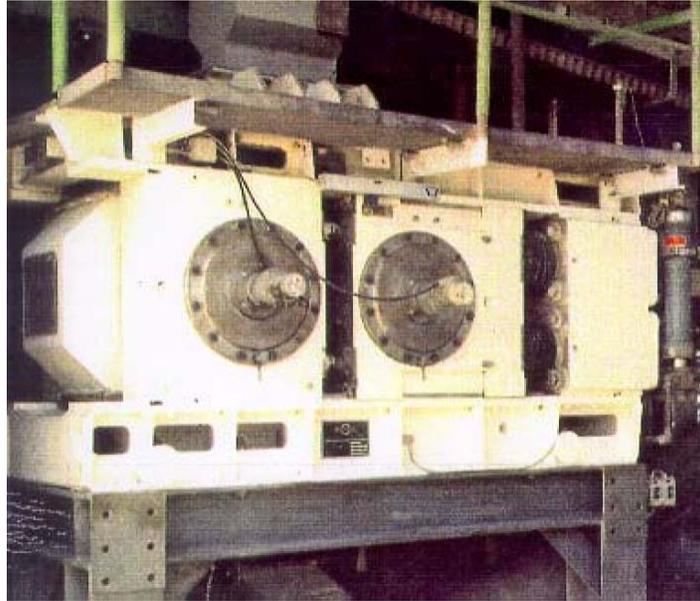


Figura 5. Prensa piloto REGRO da Polysius.

7. RESULTADOS

O modelo de escalonamento proposto foi implementado no simulador de plantas Modsim, versão 3.6.17. A interface gráfica para o modelo "PRAP" implementado no simulador é mostrada na figura 6. Nesta

interface são entrados os parâmetros obtidos nos testes em escala de bancada, bem como os parâmetros do moinho de testes e do moinho industrial. Os resultados da simulação com escalonamento são mostrados de forma sumária na figura 6.

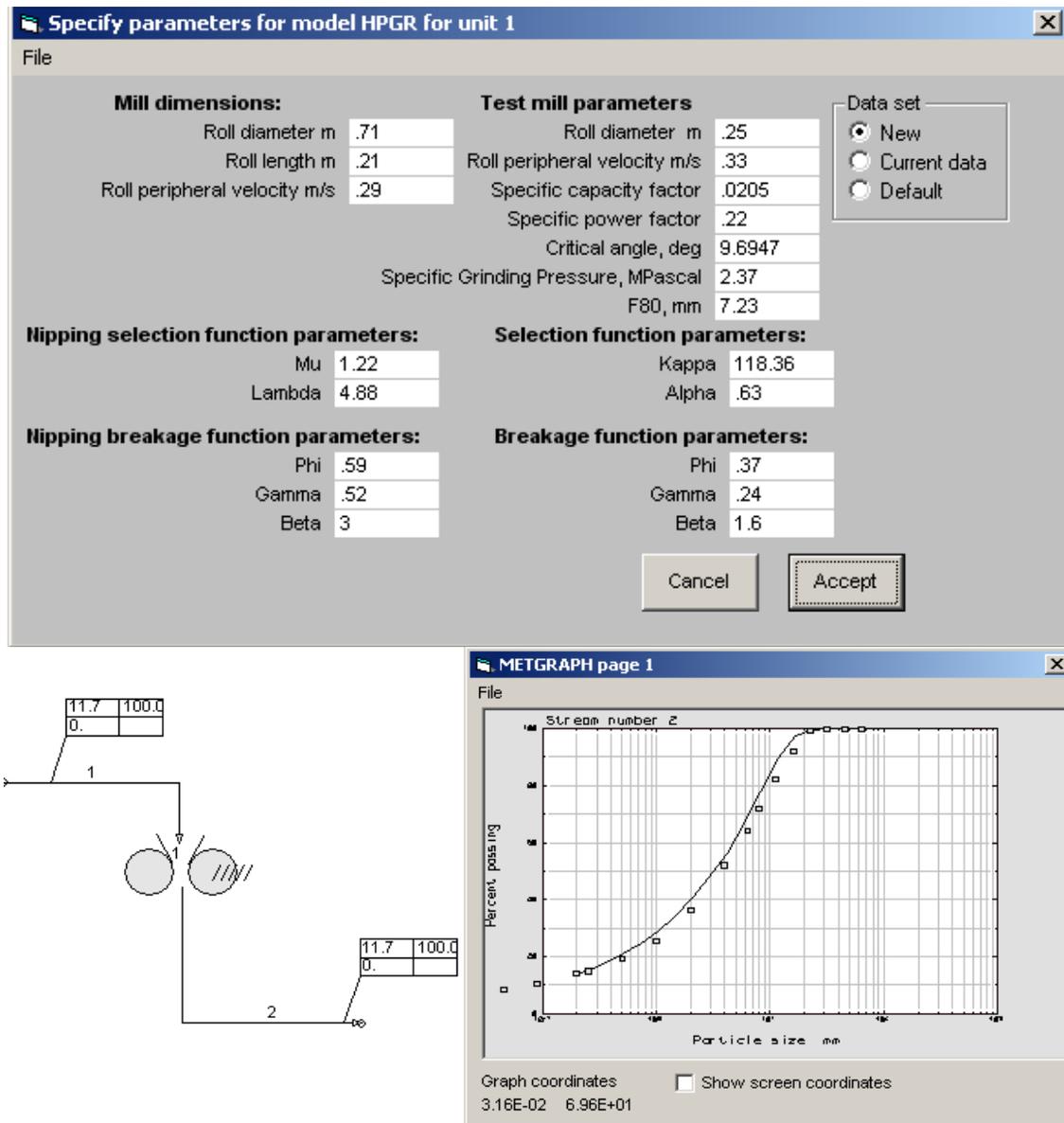


Figura 6. Interface gráfica no Modsim 3.6.17 para escalonamento de moinhos PRAP, mostrando os parâmetros medidos nos testes de bancada e os parâmetros referentes à prensa REGRO. Abaixo distribuições granulométricas medidas no produto da prensa REGRO e simulada usando o modelo de escalonamento proposto.

8. CONCLUSÕES

A rotina de escalonamento desenvolvida neste trabalho pode ser sumarizada da seguinte forma:

1. Realizar ensaios de compressão com uma prensa de bancada medir pressão de moagem, vão operacional de moagem, velocidade dos rolos e potência. Medir a distribuição granulométrica gerada em cada produto.

2. Utilizando o aplicativo de otimização e determinar parâmetros de quebra.
3. Utilizando o modelo de escalonamento "PRAP" implementado no Modsim3.6.17, simular uma prensa industrial para uma dada pressão e velocidade de rolos, granulometria da alimentação, diâmetro e comprimento de rolos.

Esta rotina de escalonamento pode ser utilizada para prever a distribuição

granulométrica no produto da prensa industrial bem com os parâmetros de consumo de potência e capacidade da prensa industrial.

É sempre aconselhável realizar testes em escala piloto para conferência dos resultados de escalonamento, e refinamento dos parâmetros obtidos em bancada.

9. REFERÊNCIAS

- [1] Austin, L. G., D. R. V. Orden, *et al.* A PRELIMINARY ANALYSIS OF SMOOTH ROLL CRUSHERS. International Journal of Mineral Processing, v.6, p.321-336. 1980.
- [2] Breakage Parameters of some Materials in Smooth Roll Crushers. Powder Technology, v.28, p.245-251. 1981.
- [3] Austin, L. G., M. P. Trubelja, *et al.* Capacity of High Pressure Grinding Rolls. Minerals and Metallurgical Processing, v.12, n.2, May, p.65-73. 1995.
- [4] Austin, L. G., K. R. Weller, *et al.* Phenomenological Modelling of the High Pressure Grinding Rolls. XVIII International Mineral Processing Congress. Sydney, Australia. 1: 87-95 p. 1993.
- [5] Kellerwessel, H. e G. Oberheuser. SCALE UP OF ROLLER PRESSES. XIX International Mineral Processing Congress. San Francisco, U.S.A.: SME - Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. 1: 67-70 p. 1995.