

REQUERIMENTOS DE AMOSTRAS PARA ENSAIOS NA PRENSA DE ROLOS DE ALTA PRESSÃO*

Claudio Luiz Schneider¹
Thaís Ferreira Marks Brasil Duque²

Resumo

Projetos *green field* exigem quantidades relativamente grandes de amostra de alma de sondagem. Se a rota de processamento do projeto inclui moagem no HPGR, são necessários testes em escala de laboratório para o escalonamento. A caracterização da moagem pode ser realizada em um HPGR com rolos de pequeno diâmetro, como o LABWAL. Alguns laboratórios comerciais recomendam utilizar amostras de 20-30 kg para estes testes, resultando em um custo elevado. A pergunta que está sendo avaliada aqui é o quanto de amostra é realmente necessário para realizar esses ensaios? Certamente, quanto maior a quantidade de material disponível mais confiáveis serão os resultados dos testes. No entanto, quando o tamanho da amostra é reduzido, qual será o impacto sobre os dados que são produzidos? Neste trabalho, seis amostras de flogopitito pesando 20 kg foram testadas no HPGR LABWAL, usando seis pressões hidráulicas iniciais, de 10 a 60 BAR. Todos os parâmetros dos ensaios foram determinados. O trabalho foi então repetido utilizando amostras de 5 e 10 kg. Os resultados mostram que, sob as condições que foram escolhidas, as amostras pesando 5 kg são suficientes para a caracterização no HPGR LABWAL.

Palavras-chave: HPGR; Cominuição; Geometalurgia; Caracterização.

SAMPLE REQUIREMENTS FOR HIGH PRESSURE GRINDING ROLLS

Abstract

Green field projects demand large amounts of sample from drill-cores. If the project's process route includes HPGR grinding, lab-scale tests for scale-up are required. HPGR grinding characterization can be carried out in a small diameter roll HPGR, such as the LABWAL. Some commercial labs recommend 20-30 kg samples for steady-state tests, but this is a rather large sample from the point of view of a green field project campaign. The question that is being assessed here is how much sample is really required? Surely, the more material that is available the more reliable will be the test results. However, when the sample mass size is reduced, what is the impact on the data that is produced? In this work, six phlogopitite samples weighing 20 kg were tested in the LABWAL HPGR using six initial hydraulic pressures, from 10 to 60 BAR. All parameters from the tests were determined. The work was then repeated using 5 and 10 kg samples. Results show that, under the conditions that were chosen, samples weighing 5 kg are sufficient for characterization in the LABWAL HPGR.

Keywords: HPGR; Comminution; Geometallurgy; Characterization.

¹ Engenheiro de Minas, PhD., Tecnologista Sênior, Coordenação de Processos Mineraiis, Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

² Engenheira Química, M.Sc. (em andamento), Colaboradora, Coordenação de Processos Mineraiis, Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Amostras de alma de sondagem são muito caras. Esta é a principal razão pela qual as empresas de mineração que utilizam técnicas modernas de geometurgia estão interessadas no desenvolvimento de procedimentos de caracterização que não requerem grandes quantidades de amostras. A campanha típica de variabilidade da cominuição na fase conceitual de um novo projeto envolverá cerca de 150 amostras de alma de sondagem pesando 20 kg cada uma, 30 amostras pesando 50 kg cada e 5 amostras pesando 100 kg cada [2].

Normalmente, as cinco amostras grandes são usadas em testes mais elaborados, como o ensaio de DWT Completo, todos os índices de trabalho (BWI e CWI) e o índice de abrasão, ensaios de moagem e o PLT, bem como medições de densidade. Estas amostras não fornecem informações de variabilidade mas elas fornecem informações suficientes para projetar um circuito de moagem, incluindo etapas de britagem e moagem. É possível executar testes no HPGR também, mas estes testes devem contemplar, pelo menos, um par de pressões de moagem e o efeito da umidade. Se as condições são colocadas para o limite mínimo, com quatro testes de moagem em uma prensa de rolos LABWAL, por exemplo, utilizando-se 10 kg de amostra em cada teste, seria necessário consumir 40% da amostra disponível.

Para os testes no HPGR, tem sido estabelecido que o mínimo de quantidade de amostra que é necessário é de 20 a 30 kg. Estas informações são facilmente encontradas na internet. A JK Tech afirma que "O tamanho de amostra recomendado para cada HPGR 'pass' é entre 20 e 30 kg", disponível em: <<http://www.jktech.com.au/high-pressure-grinding-roll-test>> (1 de março de 2014) e o SGS Minerals Technical Bulletin 2005–06 contém uma tabela especificando como requisito uma amostra de 25 kg para um Teste de Moabilidade na prensa LABWAL. O boletim técnico está disponível também em: <<http://www.sgs.com/~media/Global/Documents/Technical%20Documents/Technical%20Bulletins/SGS%20MIN%20WA345%202008%2049%20The%20Development%20of%20a%20Small%20scale%20Test%20EN%2011.pdf>> (1 de março de 2014).

Ao longo dos últimos anos, milhares de testes de moagem foram executados na Vale S.A. (a seguir "Vale") nas suas instalações de pesquisa, visando avaliar a variabilidade de projetos de *green field* e também o desenvolvimento de modelos de moagem no HPGR [1,6,7]. A maior parte destes testes foram realizados com amostras de 5 kg, mas uma série de testes também foram realizados com amostras maiores quando disponíveis. A análise dos dados dos testes de moagem invariavelmente dá a impressão de que a prensa HPGR LABWAL atinge o estado estacionário de moagem muito rapidamente, e nunca houve dúvida sobre a qualidade dos resultados dos ensaios com amostras muito menores do que o que é geralmente aceito na comunidade técnica. São duas as perguntas a serem respondidas neste trabalho: Por que são necessárias amostra de 20 kg (ou mais) para um Teste de Moabilidade na prensa LABWAL? Existe algum problema com os dados da Vale em virtude dos dados serem gerados com amostras comparativamente pequenas?

As respostas a estas perguntas podem ser facilmente obtidas através da comparação dos resultados dos testes com amostras com quantidades variadas de massa. Se os resultados de moabilidade forem diferentes para as amostras maiores, então amostras maiores devem ser adotadas ao invés de amostras menores.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Dezoito amostras de flogopitito, uma rocha composta principalmente de mica flogopita, foram preparadas para o teste na prensa de rolos LABWAL no CETEM. As amostras foram cuidadosamente preparadas de modo que todas elas têm distribuições de tamanho praticamente idênticas.

A composição das amostras é homogênea porque a amostra original é composta, para todos os efeitos práticos, por um único mineral, a mica flogopita. Esta rocha é usada como insumo para rochagem na agricultura porque ela libera potássio (proveniente da flogopita) quando adicionada ao solo, em climas tropicais.

Foram preparadas dezoito amostras, seis amostras pesando 5 kg cada, seis amostras pesando 10 kg cada e mais seis amostras pesando 20 kg cada. As amostras foram todas testadas na prensa de rolos LABWAL com seis pressões hidráulicas (de óleo e N₂) iniciais distintas: 10, 20, 30, 40, 50 e 60 BAR. A relação padrão de pressão de 75% N₂/óleo foi observada em todos os testes. Um resumo com todas as condições dos testes é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Condições de Teste na prensa LABWAL

Diâmetro do Rolo	250 mm
Largura do Rolo	100 mm
Gap inicial (Gap zero)	1 mm
Condição do Revestimento do Rolo	Novo
Pressão Hidráulica (BAR)	10, 20, 30, 40, 50, 60
Pressão de N ₂ (BAR)	7.5, 15, 22.5, 30, 37.5, 45
Velocidade Periférica Inicial do Rolo (m/s)	0.33
Velocidade Periférica Inicial do Rolo (RPM)	15.2

Nesta campanha de testes um sistema de aquisição de dados foi implementado para adquirir a pressão do óleo, a potência do motor e os vãos entre os rolos para cada amostra testada. A válvula de retorno de óleo permaneceu 50% aberta como recomendado, exceto para um teste. A primeira amostra de 5 kg a 10 BAR foi testada com a válvula de retorno de óleo totalmente aberta. Este teste produziu um perfil instável fazendo com que o vão começasse a fechar muito cedo, antes mesmo de 3/4 da amostra passar entre os rolos.

As amostras moídas foram divididas em frações menores e aproximadamente 500 g foram utilizadas para determinar a distribuição de tamanhos de partícula do produto. Antes do peneiramento, as amostras foram colocadas num banho de ultrassom, debaixo d'água, durante 15 minutos cada. Este banho desagrega todos os flocos que são eventualmente formados durante a moagem. O tempo necessário para o banho de ultrassom não é constante e, dependendo do material, ele pode não ser suficiente. Para estes testes foram utilizados banhos ultrassônicos de 5, 10, 15, 20 e 25 min e verificou-se que as distribuições de tamanho medidas após o banho ultrassônico de 15 min ou de tempo superior produziram exatamente os mesmos resultados. Todas as medidas de distribuição foram realizadas à úmido.

Todas as amostras foram moídas a seco. Sob esta condição é de se esperar que a moagem de estado estacionário seja atingida numa fase posterior, quando comparado com amostras contendo alguma umidade. A razão é que a adição de um pouco d'água aumenta os coeficientes de atrito internos do leito produzindo forças de moagem conseqüentemente maiores. Sendo assim, o vão entre os rolos abre mais rápido, atingindo um valor bem maior e aumentando a capacidade de moagem.

Neste cenário, as amostras secas exigem que maiores quantidades de amostra passem entre os rolos antes que a moagem atinja o estado estacionário, razão pela qual os ensaios foram realizados a seco (pior cenário).

Todos os testes foram registrados em vídeo digital, de modo que a qualidade de cada teste pode ser verificada no caso de uma anomalia ser encontrada nos resultados dos testes. Como será visto na seção de resultados, todos os testes produziram resultados excelentes e consistentes.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições de densidade aparente seguiram um procedimento semelhante ao utilizado no teste padrão de moagem de Bond, em triplicata. A densidade aparente medida do flogopitito cominuído é igual a $1397,5 \text{ kg/m}^3$. As medidas de densidade também foram realizadas utilizando um picnômetro de gás hélio, após pulverização do material. Isto resultou em uma densidade real igual a $2970,7 \text{ kg/m}^3$.

O sistema de medição do vão adquire vinte e cinco medições por segundo. O sistema de medição do vão é independente do sistema de aquisição de dados que foi fornecido com a prensa de rolos LABWAL. A variação do vão entre rolos durante um teste de moagem típico é ilustrado na Figura 1.

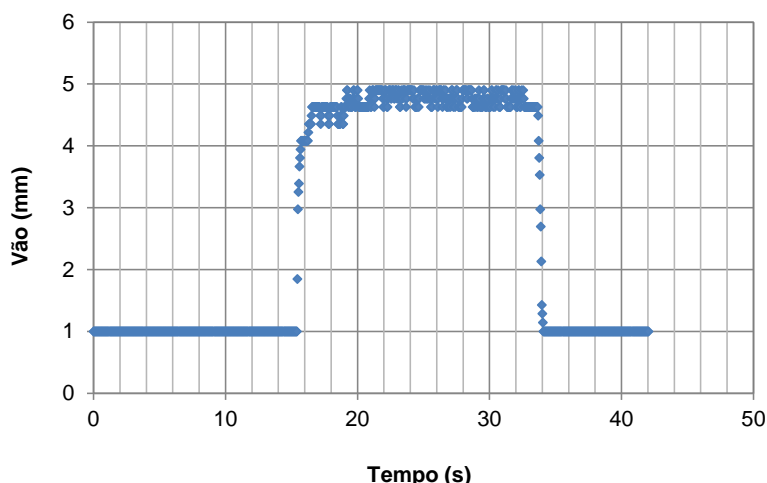


Figura 1. Medições do vão adquiridas pelo sistema de aquisição de dados para uma amostra de 10kg. Pressão hidráulica inicial fixada em 10 BAR.

Na Figura 1, a definição do vão inicial de 1 milímetro é claramente vista antes do início da moagem e após o término da moagem. Todos os testes de moagem são caracterizados por um aumento muito acentuado da abertura a partir de sua configuração inicial, seguido de uma diminuição de igual intensidade, retornando ao valor do ajuste inicial. O número de pontos que são vistos durante estas alterações é inferior a 10, e isto indica que a prensa de rolos vai de nenhuma moagem para um estado completo de moagem em menos de meio segundo. E também leva menos de meio segundo para o rolo mover-se e retornar à sua posição original ao final do ensaio, quando toda a amostra do silo de alimentação foi consumida. O tempo de moagem é de cerca de 18 segundos, se o intervalo entre a abertura e fechamento do vão for considerado como tempo de moagem. Para este ensaio, um total de 18/25 segundos ocorreram em uma condição de estado não estacionário (rolo móvel em movimento). É evidente a partir dos resultados que o vão no estado estacionário é, em média, igual a 4,75 milímetros durante a moagem. O vão oscila

apenas uma fração de um milímetro durante a moagem. Este comportamento geral foi observado em todos os dezoito ensaios realizados.

O sistema de aquisição de dados fornecido com o HPGR LABWAL pode gravar várias variáveis operacionais. Neste trabalho, a pressão hidráulica e a potência do motor são as variáveis de maior interesse. As pressões de óleo de ambos os cilindros foram medidas, assim como o consumo de energia de ambos os motores. O sistema mede cerca de oito pontos de dados por segundo. Os resultados estão ilustrados na Figura 2.

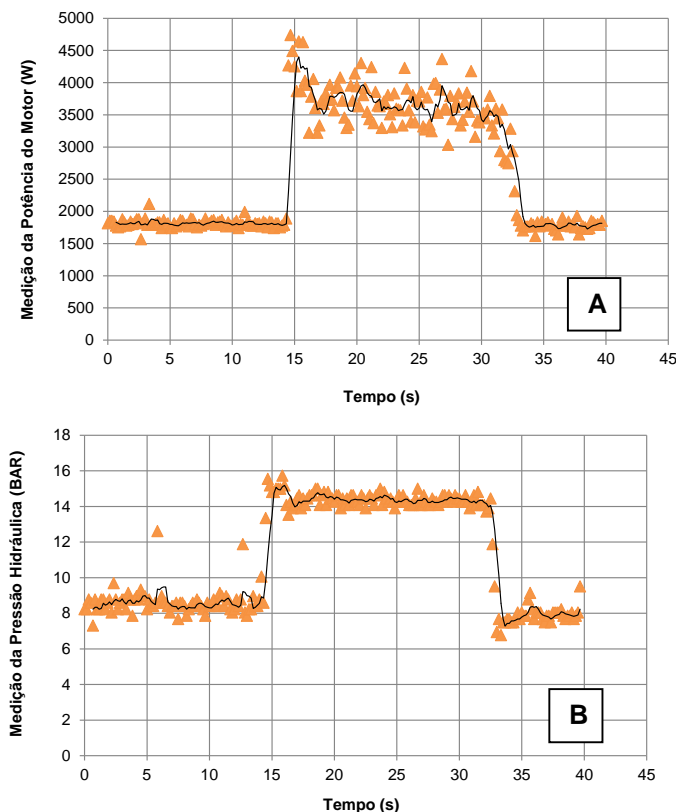


Figura 2. Medições da potência do motor (A) e da pressão hidráulica (B) para uma amostra de 10 kg. Pressão hidráulica inicial planejada de 10 BAR.

Os resultados mostrados na Figura 2 apresentam muitos ruídos quando comparados com os resultados obtidos a partir do sistema de medição do vão, mas eles ainda apresentam o mesmo comportamento geral. Alguns pontos são coletados antes mesmo que a moagem propriamente dita comece. A partir das medições de potência, uma estimativa pode ser feita a respeito da potência sem carga (no-load power) e da potência de moagem. A potência sem carga é a potência medida nos motores antes do início da moagem e é em torno de 1800 W, segundo a medição apresentada na Figura 2. Durante a moagem a potência média é cerca de 3600 W. Também é possível estabelecer o tempo de moagem a partir das medições de potência de moagem para aproximadamente 18 segundos, e isso é consistente com as medições do vão da Figura 1. O gráfico de pressão hidráulica mostra que a pressão de óleo inicial foi ajustada ligeiramente acima de 9 BAR. Normalmente, a pressão hidráulica inicial não pode ser definida com precisão para o valor desejado, por isso, pressões aproximadas são aceitáveis, desde que os valores reais sejam conhecidos. Durante a moagem a pressão hidráulica foi mantida em 14,5 BAR, aproximadamente.

É fácil transferir as informações do sistema de aquisição de dados para uma planilha Excel™. No entanto, a análise de tantos pontos de dados, incluindo as decisões a respeito de onde cada ensaio começa e termina para fazer estimativas das taxas (potência, pressão, vão, etc.), é bastante trabalhosa. Para superar isso, foi escrito um programa de linha de comando simples que lê todos os arquivos de aquisição de dados, determina o início e término de cada ensaio decorrido, a potência sem carga (*no-load*), a potência durante a moagem, a variação do vão entre rolos, a pressão hidráulica inicial e a pressão hidráulica durante a moagem. Os resultados desta análise dos ensaios é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Resumo dos resultados dos ensaios segundo os sistemas de aquisição de dados

Tamanho da amostra (kg)	Pressão Hidráulica Inicial Estimada (BAR)	Pressão Hidráulica Inicial Medida (BAR)	Pressão de Moagem (BAR)	Potência sem carga (W)	Potência de Moagem (W)	Incremento do Vão de Moagem (mm)
5	10 ^a	8,46	13,67	1885,13	4119,84	5,15
	20	19,69	25,85	1780,95	4935,38	4,11
	30	28,71	40,84	1775,61	6171,4	4,10
	40	36,99	47,07	1759,62	6828,02	3,82
	50	47,77	57,02	1705,81	7701,75	3,25
	60	57,56	68,19	1680,69	8585,88	2,99
10	10	8,62	14,35	1817,29	3654,96	4,76
	20	18,61	25,15	1746,87	4761,46	4,06
	30	28,08	40,05	1737,18	6199,80	4,38
	40	37,55	46,34	1708,58	6842,35	3,55
	50	47,21	57,15	1668,81	7629,19	3,56
	60	57,16	67,69	1651,51	8599,78	3,14
20	10	8,10	13,79	1795,17	3672,78	5,06
	20	18,57	25,37	1727,07	4860,00	4,22
	30	27,80	40,40	1683,13	6224,77	4,39
	40	37,37	46,28	1696,41	6787,93	3,56
	50	47,19	56,66	1655,88	7675,99	3,54
	60	57,14	67,31	1635,14	8507,56	3,27

^a Essa amostra foi testada com a válvula de retorno de óleo totalmente aberta.

Embora seja possível comparar os números diretamente da Tabela 2, para fazer uma avaliação dos requisitos de tamanho da amostra também é necessário comparar as distribuições de tamanho resultantes de todos os ensaios, os parâmetros do balanço de massa-tamanho que resultam das medições das distribuições de tamanhos da alimentação e dos produtos em diversas pressões, a força específica de moagem e todas as grandezas correlacionadas, como o vão crítico, o ângulo crítico e a capacidade.

A partir das distribuições de tamanhos e os dados da Tabela 2, é possível calcular os parâmetros do modelo do balanço populacional usando o modelo de Austin [3-4]. Os resultados são apresentados na Tabela 3 para os três conjuntos de ensaios.

Tabela 3. Parâmetros do banho de massa-tamanho para o modelo de Austin do HPGR

	5 kg	10 kg	20 kg
Parâmetros de Quebra do leito			
$\kappa @ 1 \text{ Mpa (mm)}$	31,10	32,70	27,24
α	0,241	0,241	0,248
γ	1,16	1,16	1,19
β	2,72	1,18	1,23
φ	0,986	0,578	0,373
Parâmetros de Quebra do contato direto com o rolo			
$\mu \text{ (mm)}$	6,451	8,947	6,732
α	1,122	1,205	0,682
γ	0,804	0,803	1,076
β	5	5	5
φ	0,99	0,99	0,99
Soma Normalizada dos Resíduos	11,46	9,95	10,18

Os parâmetros da Tabela 3 são essencialmente os mesmos, exceto para o valor de φ que descreve a função quebra. Aqui, é muito provável que a função objetivo seja insensível ao valor de φ por causa de outros dois parâmetros, γ e β que possuem valores muito próximos um do outro, indicando que a função quebra tem uma inclinação única para a amostra de flogopitito.

4 CONCLUSÃO

Não é sequer necessário executar simulações para mostrar que os parâmetros resultantes na Tabela 3 produzirão escalonamentos muito semelhantes para os três tamanhos de amostra testados. Isso porque os parâmetros calculados a partir dos diferentes tamanhos de amostra são essencialmente os mesmos. É possível concluir que o modelo de Austin para o HPGR pode ser calibrado usando amostras tão pequenas quanto as de 5 kg, embora o procedimento de caracterização completa requeira seis amostras para fornecer informações sobre uma gama de pressões de moagem, exigindo, assim, 30 kg. Isso também significa que as distribuições granulométricas obtidas nos produtos são muito semelhantes para 5, 10 e 20 kg de amostra, nos seis níveis de pressão de moagem testados.

Grandezas correlacionadas podem ser calculadas a partir das densidades medidas e dos dados operacionais das Tabelas 1 e 2. Alguns destes parâmetros são mostrados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Grandezas correlacionadas geradas nos ensaios de moagem na prensa LABWAL

Tamanho da amostra (kg)	Pressão Hidráulica Inicial Estimada (BAR)	Vão Crítico (mm)	Ângulo Crítico (°)	Densidade do leito no Vão (kg/m ³)	Força Específica de Moagem (N/mm ²)	Força de Moagem (N/mm ²)	Capacidade (t/h)
5	10 ^a	9,79	8,69	1954,9	0,6837	17,1	1,61
	20	11,41	12,07	2651,0	1,2926	32,3	1,85
	30	10,63	11,20	2481,9	2,0420	51,1	1,73
	40	10,77	11,68	2636,6	2,3537	58,8	1,75
	50	10,29	11,79	2805,0	2,8511	71,3	1,67
	60	10,23	12,00	2936,4	3,4093	85,2	1,66
10	10	12,08	12,09	2527,6	0,7176	17,9	1,96
	20	10,91	11,57	2563	1,2575	31,4	1,78
	30	10,68	10,92	2382,7	2,0023	50,1	1,74
	40	10,83	12,05	2781,3	2,3169	57,9	1,76
	50	10,34	11,49	2656,7	2,8575	71,4	1,68
	60	10,52	12,16	2927,7	3,3844	84,6	1,71
20	10	12,39	12,11	2478,6	0,6894	17,2	2,01
	20	11,5	12,05	2623,9	1,2687	31,7	1,87
	30	10,82	11,08	2409,1	2,0200	50,5	1,76
	40	10,88	12,1	2789,7	2,3142	57,9	1,77
	50	10,45	11,64	2694,4	2,8332	70,8	1,70
	60	10,34	11,82	2807,0	3,3654	84,1	1,68

Tabela 5. Grandezas correlacionadas, continuação da Tabela 4

Tamanho da amostra (kg)	Pressão Hidráulica Inicial Estimada (BAR)	Energia específica (kWh/t)	Fator Específico de Capacidade	Fator Específico de Potência	Xg/D
5	10 ^a	2,56	1,8215E-05	0,7304	0,0692
	20	2,67	2,0989E-05	0,4628	0,0588
	30	3,57	1,9617E-05	0,3663	0,0587
	40	3,90	1,9846E-05	0,3516	0,0559
	50	4,60	1,8960E-05	0,3274	0,0502
	60	5,17	1,8820E-05	0,3053	0,0476
10	10	1,86	2,2224E-05	0,6174	0,0653
	20	2,68	2,0120E-05	0,4590	0,0583
	30	3,56	1,9730E-05	0,3753	0,0615
	40	3,89	1,9923E-05	0,3580	0,0532
	50	4,54	1,9067E-05	0,3236	0,0533
	60	2,04	1,9356E-05	0,3080	0,0491
20	10	1,83	2,2795E-05	0,6458	0,0683
	20	2,60	2,1163E-05	0,4643	0,0599
	30	3,53	1,9982E-05	0,3735	0,0616
	40	3,84	2,0021E-05	0,3555	0,0533
	50	4,52	1,9265E-05	0,3284	0,0531
	60	5,06	1,9049E-05	0,3064	0,0504

^a Essa amostra foi testada com a válvula de retorno de óleo totalmente aberta.

Há duas variáveis que são fundamentais no escalonamento de uma prensa de rolos com base nos resultados dos ensaios na prensa LABWAL, o fator de capacidade específica m , que equivale a \dot{M} , e o fator de potência específica p [5]. As Figuras 3 e 4 comparam os fatores de potência e capacidade de cada pressão de moagem para os três tamanhos de amostra testadas. Nestas figuras os dados da amostra de 5 kg processada a 10 BAR foram removidos, em virtude do ensaio ter sido realizado com a válvula de retorno do óleo totalmente aberta.

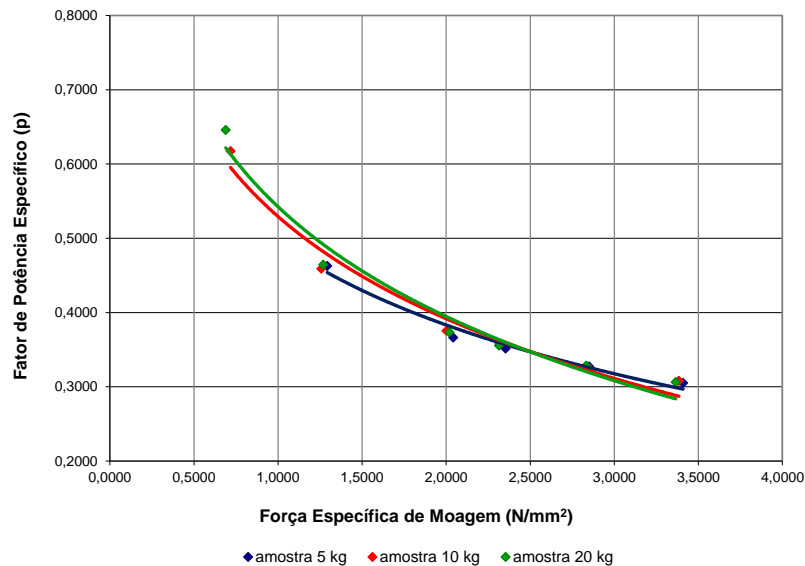


Figura 3. O fator de potência específico como uma função da força específica de moagem para os três tamanhos de amostra testados.

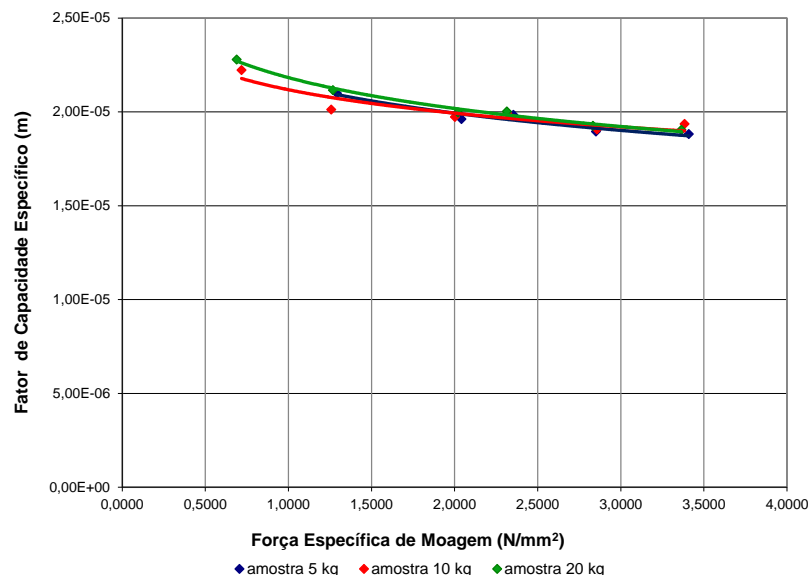


Figura 4. O fator de capacidade específica como uma função da força específica de moagem para os três tamanhos de amostra testados.

Os resultados mostram que a capacidade e a potência como funções da força específica de moagem são basicamente invariáveis com o tamanho da amostra utilizada. Isto implica que os mesmos tamanhos da prensa de rolos e do motor seriam dimensionados com amostras de 5 kg, 10 kg ou 20 kg.

Podemos verificar na Figura 5 que os valores da energia específica e da capacidade como funções da pressão hidráulica inicial variam muito pouco em relação às amostras testadas, 5, 10 e 20 kg. Com isso podemos concluir que o consumo energético e a capacidade de processamento podem ser estimados com amostras pesando apenas 5 kg.

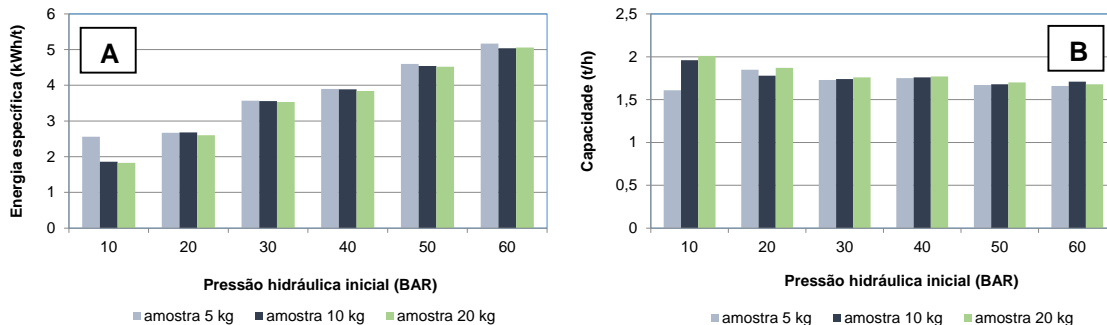


Figura 5. Energia específica (A) e Capacidade (B) como funções da pressão hidráulica inicial para os três tamanhos de amostras testados.

Uma comparação final tem que ser feita de modo a elaborar uma relação para os requisitos de tamanho de amostra. Isto é, comparar as distribuições de tamanhos produzidas nos ensaios realizados com pressões de moagem semelhantes. As comparações são mostradas na Figura 6.

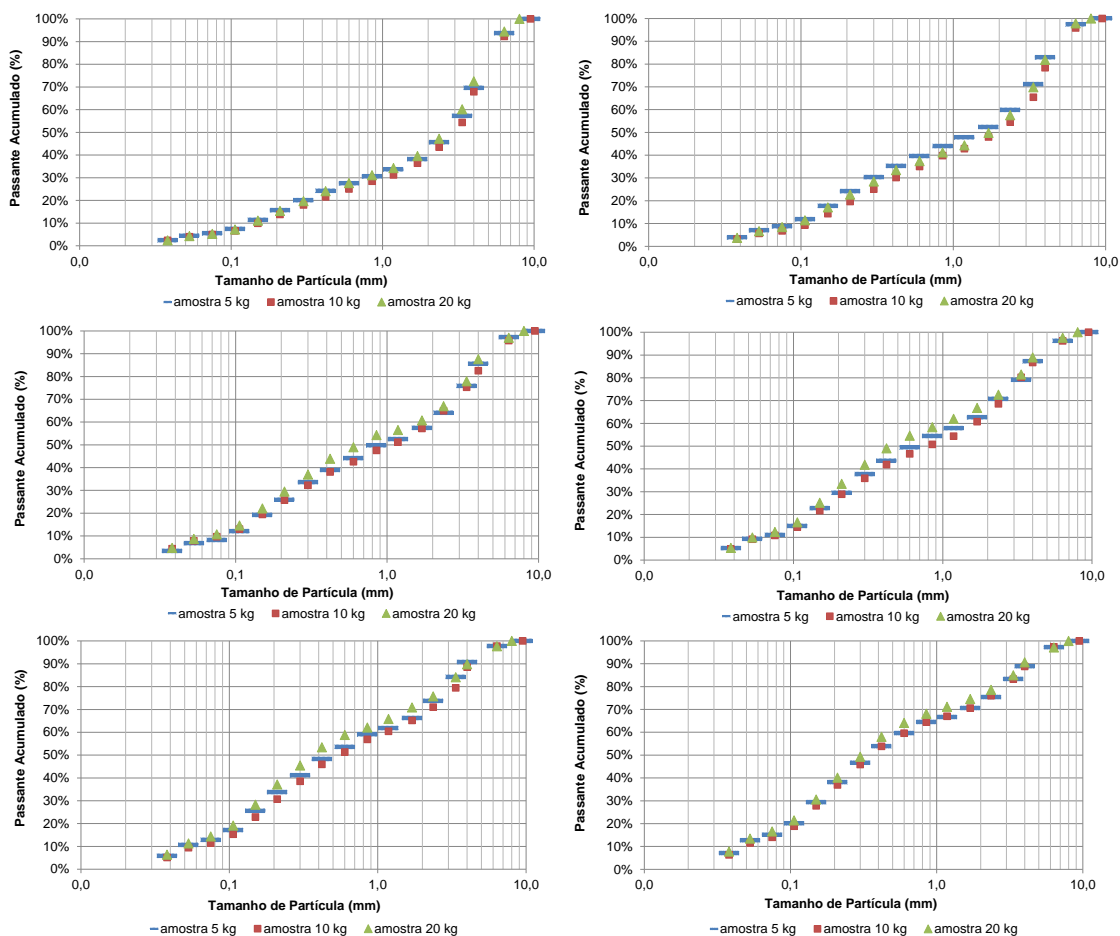


Figura 6. Distribuições de tamanhos de partícula medidas nos produtos das moagens com 5, 10 e 20kg. Superior à esquerda 10 BAR e inferior à direita 60 BAR.

A Figura 6 mostra que as distribuições de tamanhos são muito semelhantes para as amostras de 5 e 10 kg. Para as amostras de 20 kg parece que as partículas são moídas um pouco mais finas quando os ensaios são realizados a pressões mais elevadas. Isso não parece ser muito significativo, mas por outro lado as taxas da Tabela 3 refletiriam esse comportamento. Além disso, as amostras de 5 e 10 kg não mostram qualquer tendência, portanto não é possível concluir que amostras maiores resultariam em partículas mais finas.

Claramente os requisitos de amostras para o flogopitito são econômicos, produzindo dados de boa qualidade com amostras de apenas 5 kg. Os autores acreditam que esta é uma boa indicação de que outros minérios/rochas também possam ser completamente caracterizados com amostras de 5 kg. Este ponto de vista permanecerá até que dados sejam fornecidos mostrando o contrário. Este tipo de estudo pode ser realizado de muitas maneiras diferentes e utilizando diferentes abordagens. Espera-se que 5 kg (ou menos) de amostra seja suficiente para testes na prensa LABWAL. Isso não quer dizer que as amostras de 5 kg sejam preferidas, já que não há razão para não testar-se amostras maiores quando houver material prontamente disponível.

Agradecimentos

Os autores agradecem o contínuo financiamento da Norsk-Hydro, projeto SAG piloto em Paragominas e desenvolvimento de modelos de cominuição. Agradecemos também o apoio financeiro do CNPq, Fundo CT-Mineral, Projeto 550270/2011-6.

REFERÊNCIAS

- 1 Alves, V.K., Peres, A.E.C., Schneider, C.L. Methodology for high pressure grinding rolls simulation and scale-up. *Ingeniare. Revista de La Facultad de Ingeniería Universidad de Atacama*, 8, 1–13 (in Portuguese), 2012.
- 2 Alves, V.K., Fonseca, A., Schneider, C.L. Geometallurgical approach for scaling-up grinding circuits. In: *Proceedings of the 68th ABM International Annual Congress*, Belo Horizonte, Brazil, pp. 3378–3384, 2013.
- 3 Austin, L.G., Trubelja, M.P. The capacity and product size distributions of high pressure grinding rolls. In: *IV Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology*. Universidad de Concepcion, Concepcion-Chile, pp. 49–67, 1994.
- 4 Austin, L.G., Trubelja, M.P., von Seebach, H.M. Capacity of high pressure grinding rolls. *Miner. Metall. Process.*, 12 (2), 65–73, 1995.
- 5 Napier-Munn, T.J., Morrell, S., Morrison, R.D., Kojovic, T. Mineral comminution circuits – their operation and optimization. In: *JKMRC Monograph Series in Mining and Mineral Processing 2*, 1996.
- 6 Schneider, C.L., Alves, V.K., Austin, L.G. Modelling the contribution of specific grinding pressure for the calculation of HPGR product size distribution. *Minerals Engineering*, 22 (7–8), 642–649, 2009.
- 7 Alves, V.K., Schneider, C.L., Duque, T.B., Mazzinghy, D.B., Peres, A.E.C. Sample requirements for HPGR testing procedure. *Minerals Engineering*, 73, 31–38, 2015.