



## **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE BOLAS FORJADAS E FUNDIDAS NA MOAGEM DE MINÉRIO DE FERRO**

Victor H. M Rodrigues<sup>1</sup>; Antônio E. C. Peres<sup>2</sup>

1 SAMARCO Mineração SA

2 Universidade Federal de Minas Gerais

### **RESUMO**

Diante da alta fração de materiais semi-compactos na alimentação das usinas de concentração da Samarco, a moagem tornou-se uma etapa crucial para o processo.

A substituição de cylpebs por bolas, a troca de revestimentos de borracha por revestimentos metálicos e o aumento do grau de enchimento dos moinhos foram algumas ações tomadas ao longo dos anos para aumentar a eficiência desta etapa.

A fim de aumentar ainda mais a potência dos moinhos, propõe-se a substituição das bolas fundidas por bolas forjadas, pois a densidade das bolas forjadas é superior às bolas fundidas.

No presente trabalho avaliou-se a capacidade moedora e o desgaste de bolas forjadas e fundidas. As bolas forjadas foram mais eficientes energeticamente que as bolas fundidas. O desgaste das bolas forjadas foi significativamente inferior ao das bolas fundidas no início da operação, a diferença desaparecendo após três horas de teste. O preço dos corpos moedores não foi levado em consideração na análise.

### **EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF FORGED AND CAST IRON BALLS IN THE GRINDING OF IRON ORE**

#### **ABSTRACT**

Due to the increase in semi-compact materials in the ROM feeding Samarco's concentrators, grinding turned into a crucial stage in the process. Balls substituting for cylpebs, metallic linings replacing rubber linings, and increase in the mills filling degree were some actions taken to enhance the grinding efficiency. Aiming at further increasing the power of the mills, it is proposed the use of forged balls instead of cast iron balls, for the density of forged balls is higher than that of cast iron media.

The present study addressed the grinding capacity and the wearing of forged and cast balls. Forged were energetically more efficient than cast balls. The wearing of forged balls was significantly lower than that of cast balls in the initial stages of operation, the difference fading after three hours of testing. The cost of grinding media was not taken into consideration in the analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

A diminuição do grau de liberação do minério processado na Samarco, fruto do aumento de sua dureza tem reduzido a eficiência dos processos de concentração. Para aumentar o grau de liberação é necessário um aumento no fornecimento de energia nas etapas da britagem e/ou moagem. Existe uma relação direta entre a fragmentação e a liberação, ou

seja, quanto maior o grau de redução sofrido pelas partículas maior será a liberação.

Neste estudo o foco será a etapa da moagem no Concentrador I, onde será avaliada a possibilidade de aumento da potência fornecida aos moinhos. Segundo ROWLAND (1982), a potência consumida por moinho de bolas é calculada pela equação (1):

$$P = 4,879 \times D^{0,3} (3,2 - J) \times \varphi_c \times \left( 1 - \frac{0,1}{2^{9-10 \times \varphi_c}} \right) + S \quad (1)$$

onde:

D = diâmetro do moinho em metros;  
J = fração de enchimento de carga do moinho;  
 $\varphi_c$  = fração da velocidade crítica do moinho.  
Sendo S dado pela equação (2):

$$S = 1,102 \times \left( \frac{b - 12,5 \times D}{50,8} \right) \quad (2)$$

onde:

b = tamanho da bola de reposição em polegadas.

SEPÚLVEDA (2006) afirma que a potência é diretamente proporcional à densidade das bolas e, dependendo do processo de fabricação das mesmas, podem não atingir a densidade máxima, característica das bolas forjadas.

A moagem primária do Concentrador I é composta por seis moinhos, os quais estão

com o grau de enchimento máximo. Então, uma das maneiras para aumentar a potência consumida por esses moinhos é aumentar a densidade da carga moedora.

A densidade aparente é calculada segundo a equação (3):

$$Dens.ap. = (1 - G.E.) \times dens.bola \quad (3)$$

onde G.E. é o grau de enchimento.

As bolas forjadas atingem a densidade teórica máxima do aço de 7,8g/cm<sup>3</sup>, enquanto as bolas fundidas chegam a 7,65g/cm<sup>3</sup>.

ALBERTIN e MORAES e Moraes (2007) investigaram o desgaste de bolas forjadas e fundidas em moagem de carvão. Utilizaram um moinho piloto de 10 litros de capacidade com carga e bolas de 132 kg, velocidade de 31 rpm, onde testaram dois tipos de bolas forjadas e sete tipos de bolas fundidas de alto cromo. Concluíram que o desgaste de bolas forjadas foi superior ao desgaste das bolas fundidas de alto cromo.

CASSOLA et al. (2006) também compararam diferentes corpos moedores: fundido de baixo cromo, aço temperado e fundido de alto cromo. Os autores utilizaram um circuito com moinho piloto e classificação para moagem de minério de ferro e bolas marcadas, através dos testes eles verificaram que os corpos moedores de ferro fundido de alto cromo chegaram a ter resistência ao desgaste 150% maior que o corpo moedor de pior desempenho, que foi o de ferro fundido de baixo cromo. Os corpos moedores de aço tiveram resistência até 25% maior que os corpos moedores fundidos de baixo cromo. Os autores verificaram ainda que reagentes inibidores corrosão só tiveram efeitos

significativos para os corpos moedores fundidos de baixo cromo.

RIVERA (2012) comparou o aumento energético do moinho com corpos moedores de diferentes densidades e mostrou a alta correlação entre energia total na moagem e densidade da carga moedora. O autor verificou que as bolas fundidas forneciam cerca de 2% menos energia que as forjadas e as de alto cromo até 5,5% a menos energia. As bolas de bronze forneceram mais de 9% a mais de energia que as bolas forjadas.

Os mecanismos de desgastes de corpos moedores no interior de um moinho podem ser descritos por duas teorias. Na primeira delas, a teoria de Davis, o desgaste dos corpos moedores é atribuído principalmente ao impacto e, portanto, à energia cinética da carga que é função de sua massa ou volume; na outra teoria, a de Prentice, a abrasão é considerada o fator determinante, sendo esta proporcional à superfície da carga, uma vez que somente a mesma está exposta à abrasão. Analisando apenas essas duas teorias, a distribuição da carga deveria exibir características definidas com uma distribuição hiperbólica para a teoria volumétrica e com o mesmo número de bolas em cada intervalo de tamanho para quando a superfície é o fator determinante. Em casos reais existe sempre uma combinação das duas teorias, sendo que, de um modo geral, pode ser atribuído a mecanismo abrasivo cerca de 75% do desgaste, todavia as condições operacionais podem mudar substancialmente esse valor (MINTEK, 1991). Apesar da contribuição significativa do componente abrasivo do desgaste, não se deve esquecer que toda polpa mineral possui íons em solução, que podem adicionar um

componente de desgaste corrosivo, tendo ação sinérgica com o desgaste abrasivo (ROVERI e CHAVES, 2011).

O alvo do presente estudo foi avaliar se há diferença de capacidade moedora e desgaste entre bolas forjadas e bolas fundidas.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo foi dividida em duas partes. A primeira envolveu testes de eficiência de moagem em bancada utilizando os dois tipos de bolas, forjadas e fundidas, com amostra da alimentação do Concentrador I, sendo dividida em três etapas: (i) amostragem e preparação da amostra; (ii) caracterização da amostra; (iii) execução dos ensaios tecnológicos. A segunda parte envolveu a realização de testes de desgaste dos corpos moedores, dividida em duas etapas: (i) caracterização das bolas; (ii) execução dos ensaios tecnológicos.

A amostra da alimentação da usina foi formada por um incremento tomado diariamente durante 30 dias. No final dos 30 dias, os incrementos formaram uma amostra com aproximadamente 300 kg. A fração retida em 9,50 mm (3/8") foi britada até toda a amostra ficar abaixo de 9,50 mm. O produto foi homogeneizado e quarteado gerando alíquotas de 5664 g para ensaios de moagem (três ensaios com bolas fundidas, três ensaios com bolas forjadas) nos tempos de 5 min, 10 min, 15 min e 20 min e análises granulométrica, química e de determinação do grau de liberação. Os procedimentos gerais de execução dos ensaios e processamento dos dados são apresentados na figura 1.

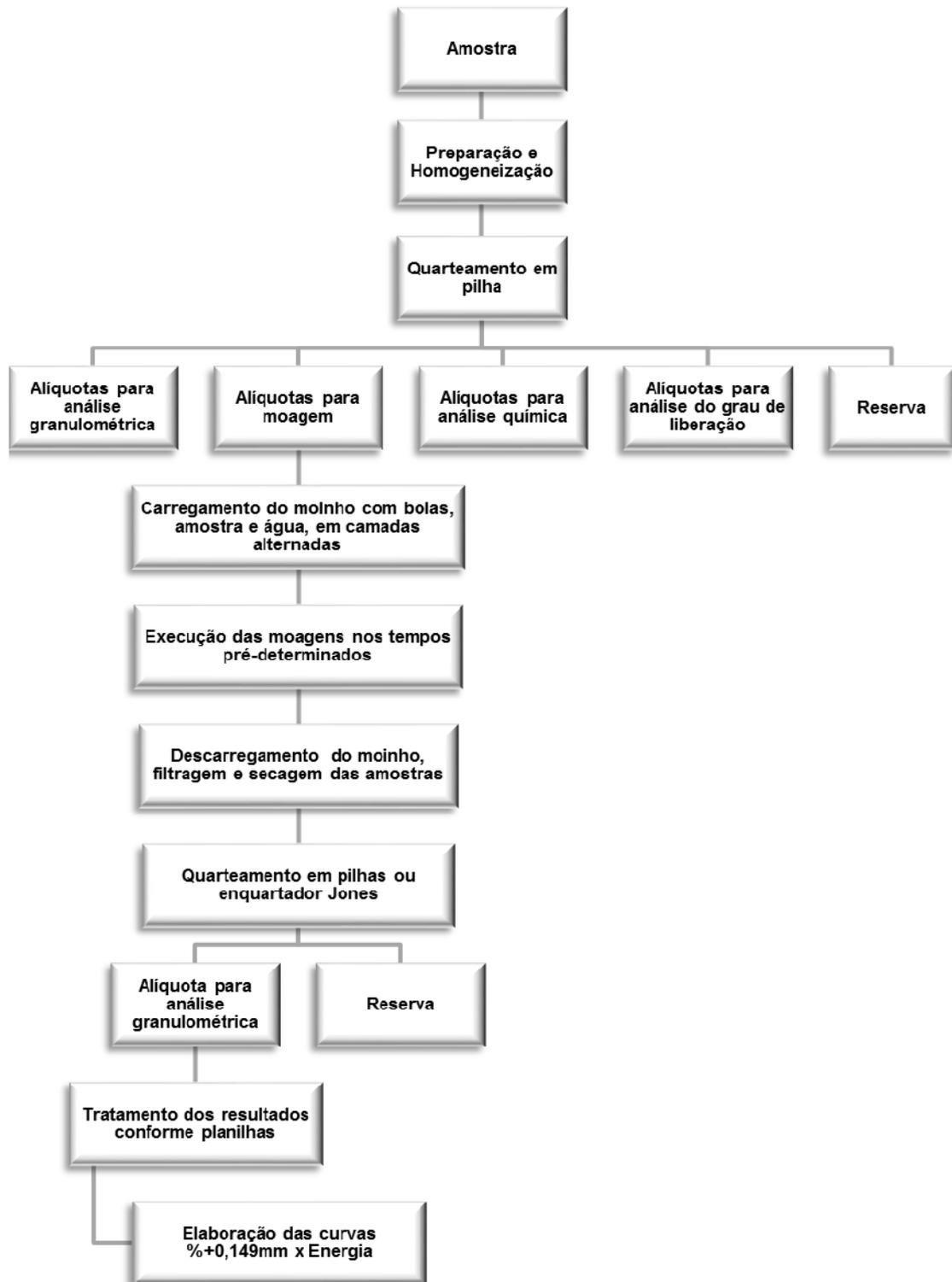


Figura 1 – Fluxograma de execução dos ensaios e processamento dos dados.

Os ensaios de moagem foram realizados pela metodologia desenvolvida por DONDA (2003), que consiste em efetuar moagens em diferentes tempos (0, 5, 10, 15 e 20 minutos), em condições padronizadas, convertendo-se tempo em consumo específico de energia, através do cálculo da potência dos moinhos de laboratório

utilizando-se a equação de Rowland para moinhos de pequenos diâmetros. Foram feitas análises granulométricas da alimentação e dos produtos dos ensaios e plotado gráfico, como exemplificado na figura 2. A partir do valor desejado para o percentual retido em 0,149 mm determina-se a energia necessária para atingir este valor.

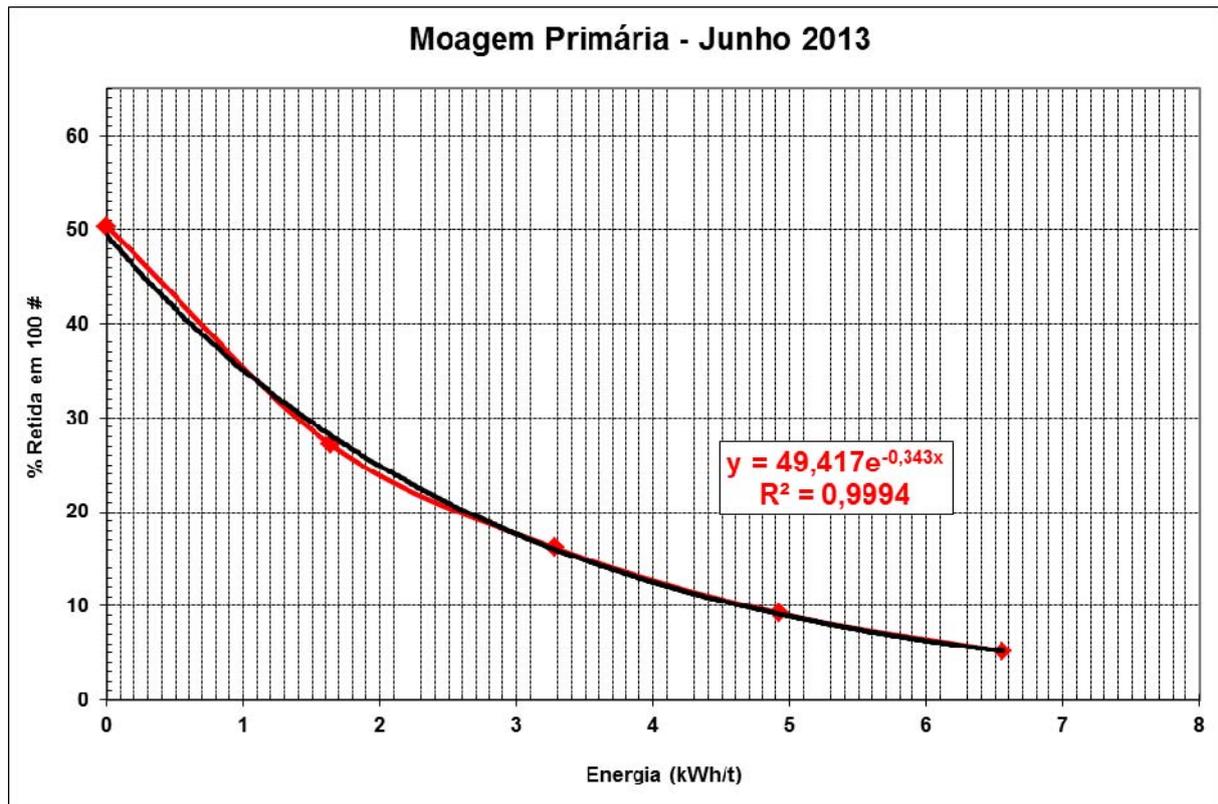


Figura 2 – Exemplo de dados de ensaios de moagem plotados.

As condições geralmente utilizadas para a os ensaios referentes a moagem primária são apresentadas na tabela I.

Tabela I - Condições de execução do método para a moagem primária

Condições para moagem primária				
Parâmetro	Condição			
Diâmetro interno do moinho (m)	0,3048 (12 pol)			
Comprimento interno (m)	0,3048 (12 pol)			
% de enchimento	29,6			
Relação $V_{polpa}/V_{vazios}$	1,07			
% de sólidos em volume	49,75			
% de sólidos em peso*	79			
% velocidade crítica	70			
Peso de minério (kg) para *peso específico = 3,8	5,0			
Peso da carga (kg)	30,578			
Tipo de corpo moedor	Bolas			
Distribuição da carga	Diâmetro	%	Peso (kg)	
	63,5	35	10,702	
	50,8	41	12,537	
	38,1	18	5,504	
	25,4	6	1,835	
Área específica da carga	15,5m <sup>2</sup> /t			
Volume interno do moinho (litros)	22,24			
Volume aparente da carga (litros)	6,576			
Volume da vazios da carga (litros)	2,630			
Volume da polpa (litros)	2,645			
Volume real de minério (litros)	0,696			
Volume de água (litros)	1,329			
Potência (kW) no eixo pinhão	0,1114			
Fator de conversão do tempo de moagem (minutos) em energia (kWh/t)	0,3713			
Energia no eixo pinhão (kWh/t)	2	4	8	12
Tempos de moagem (minutos)	5,4	10,8	21,5	32,3
Revestimento/ "lifters"	Sem revestimento e sem lifters			
Limite para cálculo do K	Malha com no mínimo 5 % retido			
Amostra para execução dos ensaios	Alimentação do circuito britada e peneirada, 100% passante em 9,53 mm			

Foram efetuados três testes de eficiência energética contemplando diferentes distribuições de carga moedora: (i) efetuado equalizando as massas de corpos moedores, independentemente da quantidade de bolas e do diâmetro; (ii) efetuado eliminando o diâmetro de 60 mm das bolas forjadas, a fim de se conseguir uma maior quantidade de

carga moedora; (iii) efetuado equalizando o diâmetro e a massa dos corpos moedores.

Os testes de desgaste envolveram análise química quantitativa e determinação de dureza. O fluxograma de execução dos ensaios e processamento dos dados é mostrado na figura 3.

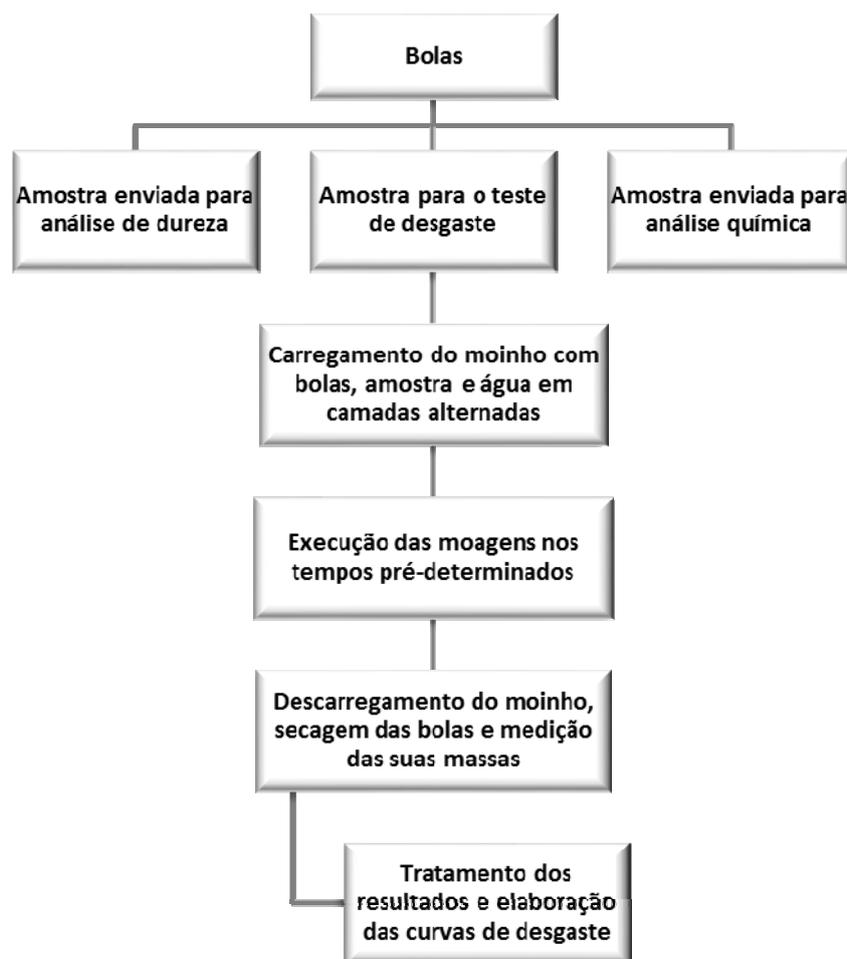


Figura 3 - Fluxograma de execução dos ensaios e processamento dos dados.

Os ensaios de desgaste foram realizados em um moinho 30,48cm x 30,48cm (12" x 12"), com a mesma amostra utilizada no teste de eficiência energética, onde foram efetuadas 20 moagens para cada tipo bola (forjada e fundida), sendo cada moagem em 60 minutos. As bolas eram lavadas e secadas em cada moagem, em seguida eram pesadas e retornadas para o moinho juntamente com nova alíquota para moagem.

Conhecendo a teoria volumétrica do desgaste de bolas que afirma que a razão de desgaste de uma bola é proporcional à sua massa, portanto ao seu volume, ou seja, ao cubo de seu diâmetro, determinou-se o diâmetro equivalente a partir dos valores de massa e densidade dos corpos moedores.

As condições para os ensaios de desgaste são apresentadas na Tabela II.

Tabela II - Parâmetros para a realização do teste de desgaste

Parâmetros					
Moinho	pH	Vol. H <sub>2</sub> O (mL)	Massa Minério (g)	Tempo (min)	Rotação RPM
12" x 12"	9,5	1.200	3.500	60	62

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados da análise química da amostra de minério são apresentados na tabela III.

Tabela III - Análise química da amostra utilizada nos ensaios

Fe	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	PPC	MnO <sub>2</sub>	Densidade
45,49	32,05	0,61	0,038	2,14	0,07	3,829

No Teste I de eficiência de Moagem buscou-se a equalização das massas de corpos moedores, não se levando em conta a quantidade de bolas e o diâmetro. Outra diferença foi o uso de bolas com diâmetro de 32 mm apenas na carga de bolas fundidas e

não na de bolas forjadas. Por esse fato, a razão superficial das bolas forjadas foi menor em aproximadamente 3 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>, beneficiando as bolas fundidas. As tabelas IV e V demonstram esta diferença.

Tabela IV - Distribuição da carga de bolas fundidas no Teste I

Bolas Fundidas						
D (mm)	Massa (g)	Nº Bolas	Esc. %	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
60	12693,6	13	43%	0,037	0,028	1,30
50	9823,4	19	33%	0,037	0,016	2,28
40	3421,3	12	11%	0,015	0,008	1,80
32	2187,3	19	7%	0,015	0,004	3,56
25	1717,7	23	6%	0,011	0,002	5,52
207	29843,3	86	100%	0,12	0,06	14,46

Tabela V - Distribuição da carga de bolas forjadas no Teste I

Bolas forjadas						
D (mm)	Massa (g)	Nº Bolas	Esc. %	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
63	12887,8	11	44%	0,034	0,033	1,05
50,8	11237,1	19	38%	0,039	0,017	2,24
38	3489,2	14	12%	0,016	0,007	2,21
25,4	1837,5	24	6%	0,012	0,002	5,67
177,2	29451,6	68	100%	0,101	0,059	11,17

A figura 4 apresenta os resultados do teste.

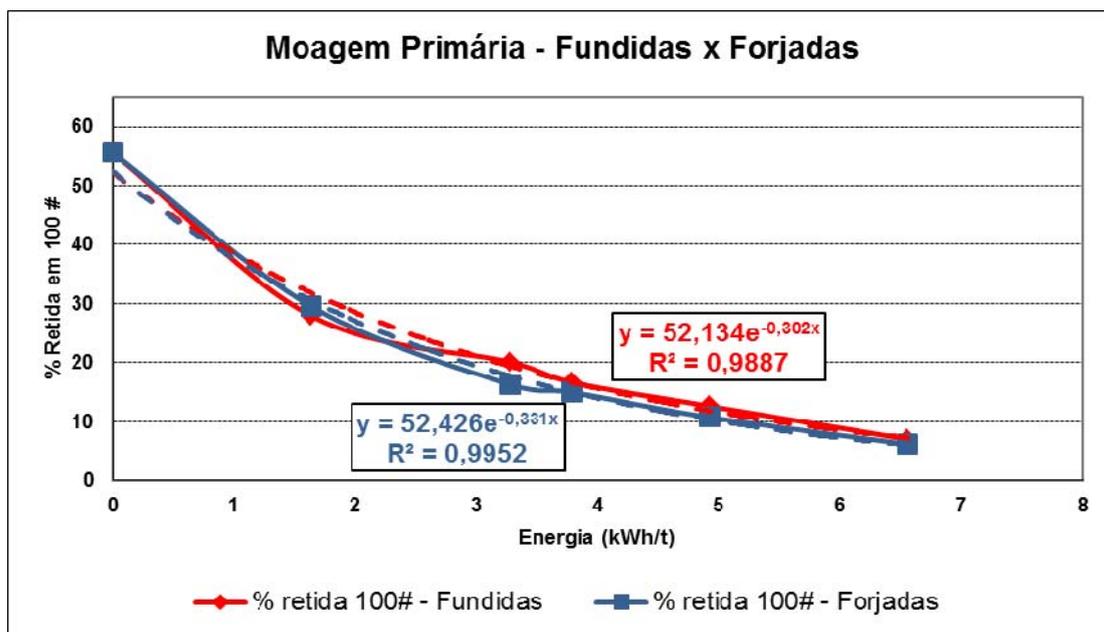


Figura 4 - Eficiência energética de moagem no Teste I.

Nota-se que as bolas forjadas foram 10% superiores às bolas fundidas, fazendo-se análise em função da constante K (t/kWh), ou seja, a função seleção. Isso significa que no moinho com bolas forjadas pode-se alimentar uma massa 10% superior ao moinho de bolas fundidas para uma mesma granulometria do produto desejada. Entretanto, utilizaram-se bolas alto cromo para compor a carga de bolas fundidas e é sabido que a densidade das bolas alto cromo é inferior à das bolas baixo cromo.

No Teste II de eficiência de Moagem, eliminou-se o diâmetro de 63mm das bolas forjadas, a fim de se conseguir uma maior quantidade de carga moedora e conseqüentemente aumentar a razão superficial dessas bolas. Este teste se deu em função das bolas forjadas terem maior densidade e por isso eliminou-se o seu maior diâmetro. As Tabelas VI e VII apresentam essas diferenças.

Tabela VI - Distribuição da carga de bolas fundidas no Teste II

Bolas Fundidas						
D (mm)	Massa (g)	Nº Bolas	Esc. %	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
60	12693,6	13	43%	0,037	0,028	1,30
50	9823,4	19	33%	0,037	0,016	2,28
40	3421,3	12	11%	0,015	0,008	1,80
32	2187,3	19	7%	0,015	0,004	3,56
25	1717,7	23	6%	0,011	0,002	5,52
207	29843,3	86	100%	0,12	0,06	14,46

Tabela VII - Distribuição da carga de bolas forjadas no Teste II

Bolas forjadas						
D (mm)	Massa (g)	Nº Bolas	Esc. %	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
50,8	22541,7	38	81%	0,077	0,017	4,49
38	3489,2	14	12%	0,016	0,007	2,21
25,4	1837,5	24	7%	0,012	0,002	5,67
114,2	27868,4	76	100%	0,11	0,03	12,37

A figura 5 apresenta os resultados do Teste II.

As bolas forjadas apresentaram uma eficiência de 7,40% maior que as bolas fundidas. Apesar da eliminação das bolas de

63 mm no teste das bolas forjadas, ainda sim a razão superficial foi menor que a das bolas fundidas.

Vale ressaltar o fato das bolas fundidas terem ficado com uma massa 7% superior à das bolas forjadas.

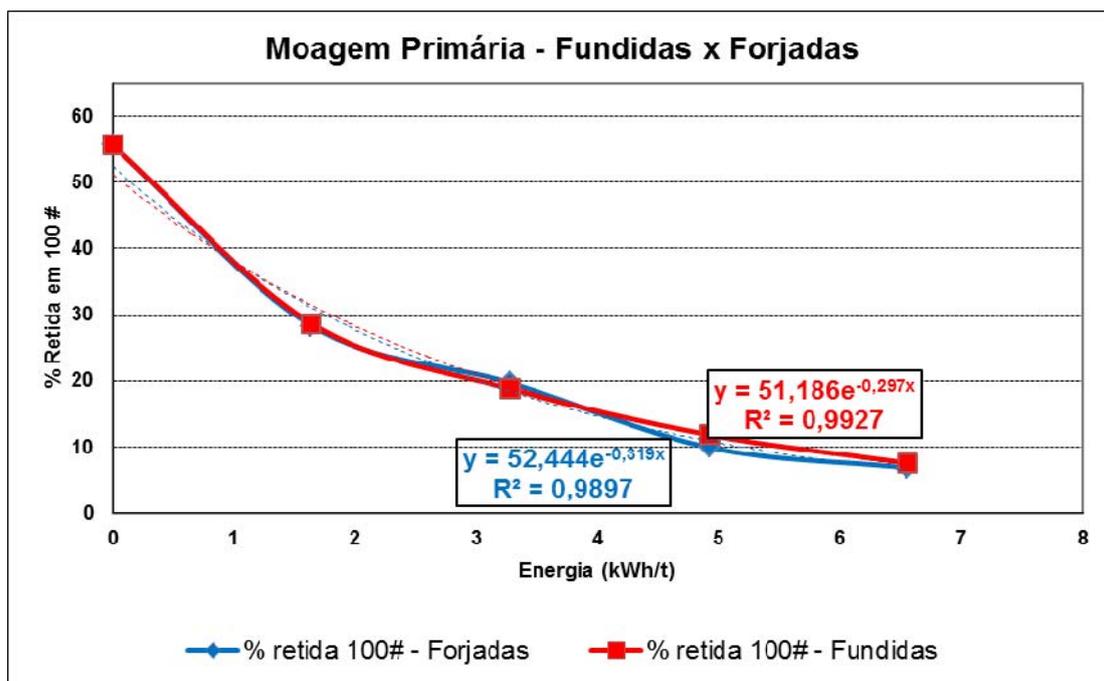


Figura 5 - Eficiência energética de moagem no Teste II.

No Teste III equalizou-se o diâmetro e a massa dos corpos moedores. O escalonamento da carga utilizada neste teste foi o proposto por Bond, onde para o diâmetro máximo de 65mm,

utiliza-se a seguinte distribuição: 34% para bolas de 65mm, 43% para bolas de 50mm, 17% para bolas de 40mm e 6% para bolas de 25mm. A distribuição da carga de bolas no teste III é apresentada na tabela VIII.

Tabela VIII - Distribuição da carga de bolas no Teste III

Bolas Fundidas						
D (mm)	Massa (g)	Nº Bolas	Esc. %	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
60	10033	10	33,5%	0,028	0,028	1,00
50	12913,7	29	43%	0,057	0,016	3,48
40	5285,8	19	17,5%	0,024	0,008	2,85
25	1822,8	28	6%	0,014	0,002	6,72
175	30055,3	86	100%	0,12	0,06	14,05

Bolas forjadas						
D (mm)	Massa (g)	Nº Bolas	Esc. %	m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
63	10630,8	9	35%	0,028	0,033	0,86
50,8	13092,2	22	43%	0,045	0,017	2,60
40	4719,6	19	16%	0,024	0,008	2,85
25,4	1782,5	23	6%	0,012	0,002	5,43
179,2	30225,1	73	100%	0,11	0,06	11,74

Os resultados do Teste III são apresentados na figura 6.

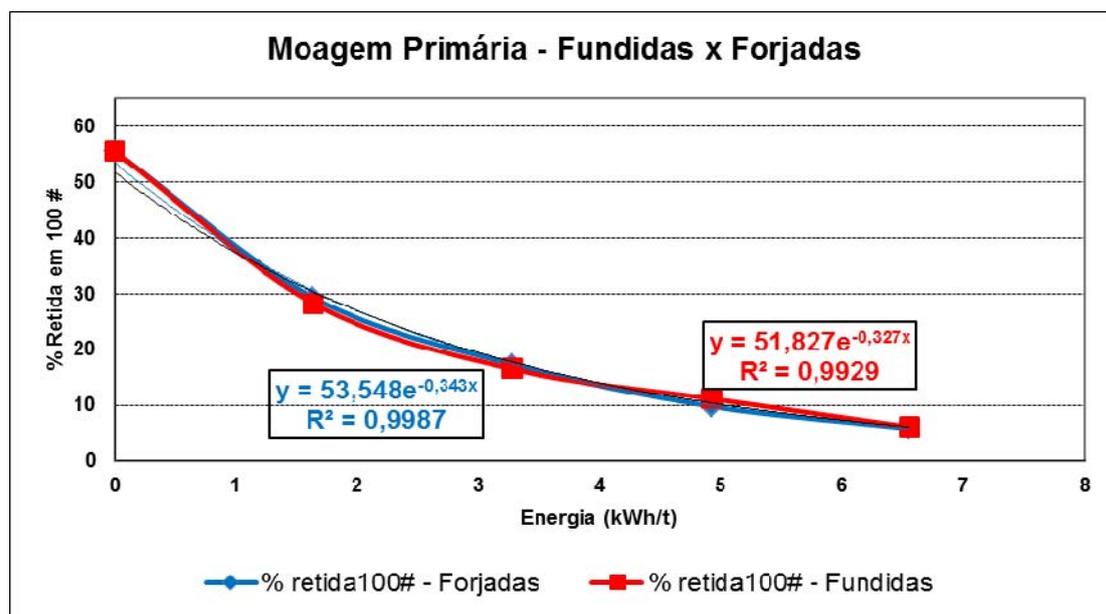


Figura 6 - Eficiência energética de moagem no Teste III.

As bolas forjadas foram 4,9% superiores às bolas fundidas. Mesmo com as massas equalizadas a razão superficial para as bolas

forjadas foi 16% inferior à das bolas fundidas.

A tabela IX apresenta a composição química das bolas utilizadas nos ensaios de desgaste.

Tabela IX - Análise química dos corpos moedores

Tipo	Carbono (%)	Manganês (%)	Silício (%)	Fósforo (%)	Enxofre (%)	Cromo (%)
Fundida	0,85	0,96	0,40	0,034	0,041	0,39
Forjada	0,99	0,95	0,26	0,021	0,023	0,68

Os resultados dos testes de desgaste constam da tabela X.

Tabela X - Resultados dos testes de desgaste

Tempo (h)	Bolas Fundidas			Bolas Forjadas		
	Peso médio (g)	Diâmetro médio (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Peso médio (g)	Diâmetro médio (mm)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
0	30.721	197,21	7,65	31.680	197,95	7,80
1	30.683	197,13	7,65	31.660	197,91	7,80
2	30.665	197,09	7,65	31.655	197,90	7,80
3	30.654	197,06	7,65	31.652	197,89	7,80
4	30.645	197,04	7,65	31.643	197,88	7,80
5	30.627	197,01	7,65	31.636	197,86	7,80
6	30.620	196,99	7,65	31.634	197,86	7,80
7	30.617	196,98	7,65	31.630	197,85	7,80
8	30.611	196,97	7,65	31.623	197,84	7,80
9	30.606	196,96	7,65	31.617	197,82	7,80
10	30.603	196,96	7,65	31.611	197,81	7,80
11	30.602	196,95	7,65	31.608	197,80	7,80
12	30.597	196,94	7,65	31.603	197,79	7,80
13	30.593	196,93	7,65	31.599	197,78	7,80
14	30.589	196,92	7,65	31.594	197,77	7,80
15	30.584	196,91	7,65	31.589	197,76	7,80
16	30.579	196,90	7,65	31.584	197,75	7,80
17	30.574	196,89	7,65	31.579	197,74	7,80
18	30.571	196,89	7,65	31.574	197,73	7,80
19	30.566	196,88	7,65	31.570	197,72	7,80
20	30.562	196,87	7,65	31.565	197,71	7,80

As bolas fundidas apresentaram um consumo médio de 0,017mm/h, enquanto as bolas forjadas apresentaram um consumo de 0,012mm/h, ou seja, um consumo 30% menor. Essa elevada diferença é provavelmente função das poucas horas do

teste, pois as bolas fundidas tem alta porosidade em sua superfície, o que acentua o seu desgaste inicial. Isso é notório para as cinco horas iniciais do teste, onde o seu consumo foi igual a 0,04mm/h, conforme ilustrado na figura 7.

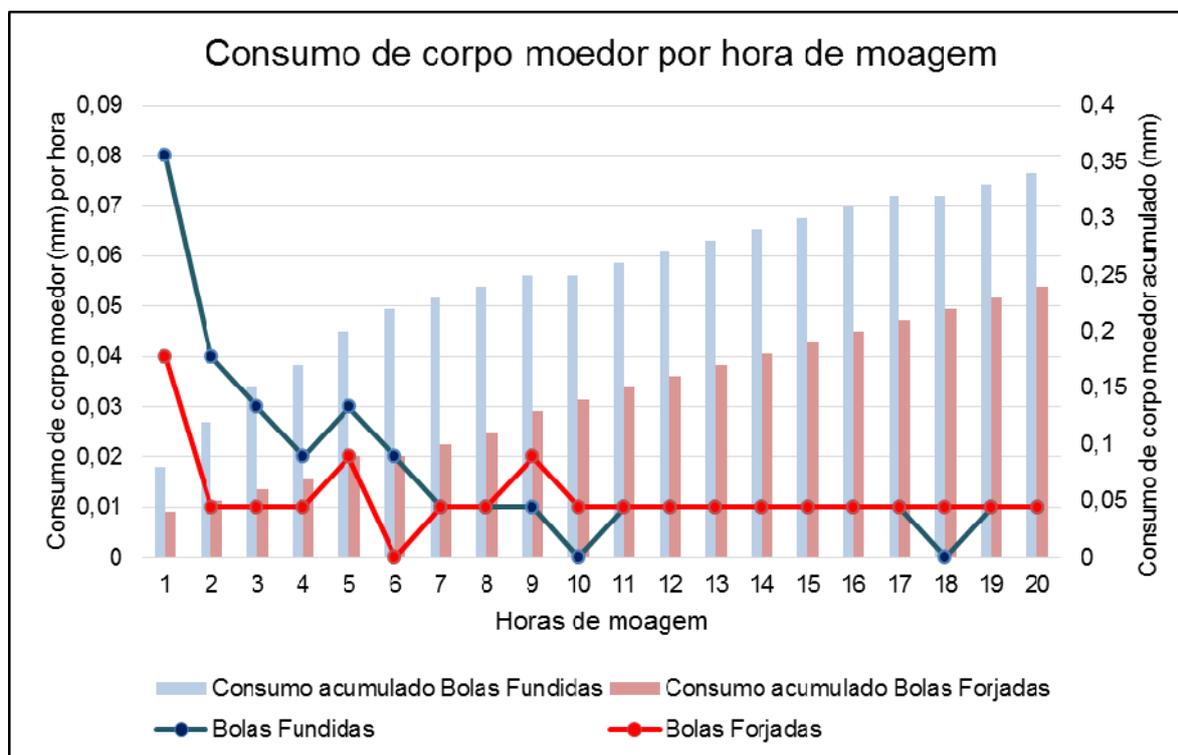


Figura 7 - Consumo de corpo moedor por hora de moagem e acumulado.

#### 4. CONCLUSÕES

As bolas forjadas mostraram-se mais eficientes que as bolas fundidas, tanto para os testes de eficiência de moagem quanto para o teste de desgaste.

Os testes de eficiência de moagem foram realizados de três maneiras, sendo a única diferença entre eles a composição da carga moedora. No primeiro teste, equalizou-se a massa de corpos moedores, tendo as bolas forjadas se apresentado 9,60% mais eficientes energeticamente que as bolas fundidas. No segundo teste, eliminou-se o diâmetro de 60mm das bolas forjadas, a fim de se conseguir uma maior quantidade de carga moedora, já que as bolas forjadas possuem uma maior densidade que as bolas

fundidas. Nessa situação as bolas forjadas foram 7,40% superiores às bolas fundidas. No terceiro teste, equalizou-se a massa e os diâmetros dos corpos moedores, sendo que as bolas forjadas foram 4,89% superiores às bolas fundidas.

O teste de desgaste foi realizado durante 20 horas, sendo que a cada hora, renovava-se a massa de minérios. Na média dessas 20 horas, as bolas forjadas apresentaram um desgaste 30% menor que as bolas fundidas. É sabido que as bolas fundidas apresentam um desgaste mais acentuado no início de operação, devido ao seu processo de fabricação, que as deixam com a superfície porosa. Portanto, retirando-se as primeiras 3 horas do teste, o desgaste das bolas se torna semelhante.

É importante ressaltar que o preço dessas bolas é diferente e deve ser levado em consideração, pois é um dos insumos mais caros e mais utilizados no tratamento de minérios.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PROEX CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio ao PPGEM.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTIN, E.; MORAES, S. L. Maximizing wear resistance of balls for grinding of coal. *Wear*, 263, pp. 43-47, 2007.

CASSOLA, M. S.; MORAES, S. L.; ALBERTIN, E. Desgaste na mineração: o caso dos corpos moedores. *Revista da Escola de Minas*, Vol. 59, Nº 2, pp. 173-178, Abr/Jun 2006.

DONDA, J.D. Uma metodologia para prever o consumo específico de energia na remoagem de concentrados de minério de ferro. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, 115 p. (Tese, Doutorado, Engenharia Metalúrgica e de Minas), 2003.

MINTEK (1991) The selection of grinding balls for specific ores and the development of a suitable theory of ball wear. Randburg, South Africa: MINTEK, 14p. (Application Report No. 10)

RIVERA, L. G. Efecto del tipo de médio moedor em la eficiencia de molienda. In: XII SIMPOSIO SOBRE PROCESAMIENTO DE MINERALES, Antofagasta, Chile, Nov/Dez 2012.

ROVERI, E.; CHAVES, A. P. Mecanismos de desgaste de corpos moedores em moinhos de bolas. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, Vol. 8, Nº 4, pp. 261-266, Out/Dez 2011.

ROWLAND, C.A. Selection of of Rod Mills, Ball Mills, Pebble Mills and Re grind Mills. In: MULAR, A. L.; GERALD II, V. J. Design and Installation of Comminution Circuits. New York, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., p. 393- 438, 1982.

SEPÚLVEDA, J.E. Criterios para la selección, aplicación y evaluación de médios de molienda. In: ENCUENTRO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES, Antofagasta, Chile, p.1-36, 2006.