

# AVALIAÇÃO GRANULOMÉTRICA DE CORPOS MOEDORES, POR IMAGEM E TRATAMENTO COM SOFTWARE METALOGRÁFICO, NA REFINARIA DE ALUMINA DA VOTORANTIM METAIS/CBA<sup>1</sup>

André Luiz Arantes<sup>2</sup>  
Cristiane Yahara Seko<sup>3</sup>  
Daniel Cavichioli<sup>4</sup>  
Daniel Soares<sup>2</sup>  
Marco Aurélio Moura<sup>2</sup>  
Roberto Seno Júnior<sup>5</sup>  
Rodrigo Moreno<sup>6</sup>  
Rodrigo Santos<sup>3</sup>  
Wagner da Silva Guerra<sup>2</sup>

## Resumo

A cominuição da bauxita é realizada em moinhos contendo corpos moedores (barras/bolas) que impacta na eficiência de extração da gibbsita da bauxita (produtividade). O fator principal para se obter uma bauxita com distribuição granulométrica adequada, que resulta em maior produtividade e menor perda, é a quantidade e granulometria dos corpos moedores contidos no moinho. A determinação desses parâmetros não era realizada devido a dificuldade de parada de produção por longo período (descarga de todos os corpos moedores no chão e avaliação manual). O presente trabalho apresentará os estudos realizados para avaliar a granulometria dos corpos moedores (bolas) contido no moinho, por análise de imagem (foto) e uso de *software* aplicado para análise metalográfica (Imagem Pró-Plus, da Olympus), permitindo melhor controle da granulometria da bauxita e redução de custo com corpos moedores. Os resultados esperados: melhor granulometria de saída da pasta densa dos moinhos; melhor eficiência de digestão, reduzindo as perdas de soda na lama; e redução da perda de alumina no processo, principalmente na areia.

**Palavras-chave:** Corpos moedores; Distribuição granulométrica.

## EVALUATION OF GRANULOMETRIC OF BODIES GRINDERS, BY PICTURE AND TREATMENT WITH METALLOGRAPHIC SOFTWARE, IN THE VOTORANTIM METAIS/CBA's ALUMINA REFINERY

## Abstract

The comminution of bauxite is realized in the mills which contain bodies grinders (bars/balls) that impact in the efficiency of gibbsite extraction from bauxite (productivity). The main factor to get bauxite with appropriate granulometry and fewer losses, is the quantity and the particle size of bodies grinders in the mill, where this determination wasn't realized, because of it, it was very difficult and longtime of stopped production (discharging all bodies grinders on the floor and manual evaluation). In this current job it will show the studies realized to evaluate particle size of bodies grinders (balls) contained in the mill, by picture analysis (photo) and use of a *software* applied to metallographic analysis (Imagem Pró-Plus by Olympus), allowing best control of bauxite particle size and reduction costs with bodies grinders. The expected results are: best outgoing particle size of bauxite slurry after grinder; better digestion efficiency, reducing the losses of soda in the mud; and reduction of loss of alumina in the mud.

**Key words:** Bodies grinders; Granulometric distribution.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67<sup>o</sup> Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Técnico Químico, Especialista de processo, VM\_CBA, Alumínio / SP, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Químico, Eng<sup>a</sup> de processo, Trainee, VM\_CBA, Alumínio /SP, Brasil.

<sup>4</sup> Engenheiro Químico, Eng<sup>o</sup> de processo, VM\_CBA, Alumínio /SP, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro Químico, Gerente de processo, VM\_CBA, Alumínio /SP, Brasil.

<sup>6</sup> Bacharel em Química, Consultor Químico, VM\_CBA, Alumínio /SP, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

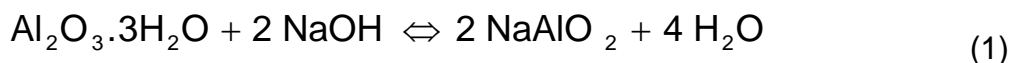
### 1.1 O Processo Bayer

O óxido de alumínio é a principal matéria-prima para a produção de alumínio metálico através do processo *Hall-Héroult*. A rota comercial mais comum para a produção de óxido de alumínio, também conhecido como alumina, é o chamado Processo Bayer.

A principal matéria-prima utilizada no Processo Bayer é a bauxita. A bauxita é um composto formado por vários minerais, sendo que os principais são os óxidos de alumínio, (mono ou tri hidratados), óxidos de ferro, principalmente hematita e goetita, óxidos de titânio e silicatos.

No Processo Bayer, o óxido de alumínio hidratado é solubilizado em uma solução de aluminato de sódio e soda cáustica, conhecido como Licor Bayer, em alta temperatura. O tipo de óxido de alumínio hidratado é determinante para as condições em que a dissolução deverá ocorrer. Os óxidos mono-hidratados, conhecidos como bohemita ( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) e diásporo ( $\beta\text{-Al}_2\text{O}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$ ), necessitam de condições mais severas para sua dissolução, isto é, a mesma ocorre em temperaturas e concentrações cáusticas mais elevadas. No caso do óxido tri-hidratado, conhecido como gibsita, a dissolução ocorre em condições mais brandas. A VM/CBA utiliza a bauxita “gibsítica”.

As reações que representam a dissolução do óxido de alumínio tri hidratado são dadas nas Equações 1 e 2.



Após a dissolução do óxido de alumínio, o licor Bayer, supersaturado em alumina, é separado de seu resíduo insolúvel, conhecido como lama vermelha. Esta separação ocorre através de sedimentação gravimétrica. Esta separação ocorre em decantadores atmosféricos, comumente chamados de espessadores. Como a solubilização do óxido de alumínio hidratado ocorre em temperatura e pressão superiores às ambientes, é necessário despressurizar a suspensão de licor e lama antes de enviá-la ao espessador. Esta despressurização é feita através de um conjunto de vasos de expansão e trocadores de calor que reaproveitam a energia para a própria etapa de solubilização.

No espessador, a lama vermelha é separada rapidamente do licor e este segue para uma etapa de filtração de polimento (Filtração de Licor), de forma a reter as partículas sólidas mais finas residuais. A lama, por sua vez, passa por uma série de outros decantadores e filtros para recuperação de soda cáustica e alumina, antes de ser enviada para o depósito de resíduo (barragem de lama vermelha).

O licor livre da lama residual é resfriado em outra unidade de reaproveitamento de energia, composta também por trocadores de calor e vasos expansores, como forma de elevar a supersaturação, e é enviado para a etapa de precipitação.

Na precipitação, a alumina que está supersaturada no licor Bayer é precipitada na forma de hidróxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), conforme o sentido inverso da reação descrita na Equação 1. O processo é realizado através de sementeira, normalmente em dois estágios. A etapa de precipitação é responsável pela produtividade da refinaria de alumina e de importantes parâmetros da qualidade da alumina como teor de sódio, resistência e distribuição de tamanho de partículas do produto final.

O hidróxido de alumínio precipitado é separado em diferentes tamanhos através de hidrociclones, sendo que as frações menores retornam como sementes para a precipitação e as frações maiores serão calcinadas para eliminação das três moléculas de água, obtendo-se dessa forma o óxido de alumínio, ou, a alumina. A Figura 1 mostra o fluxograma do processo de produção de óxido de alumínio da VM/CBA.

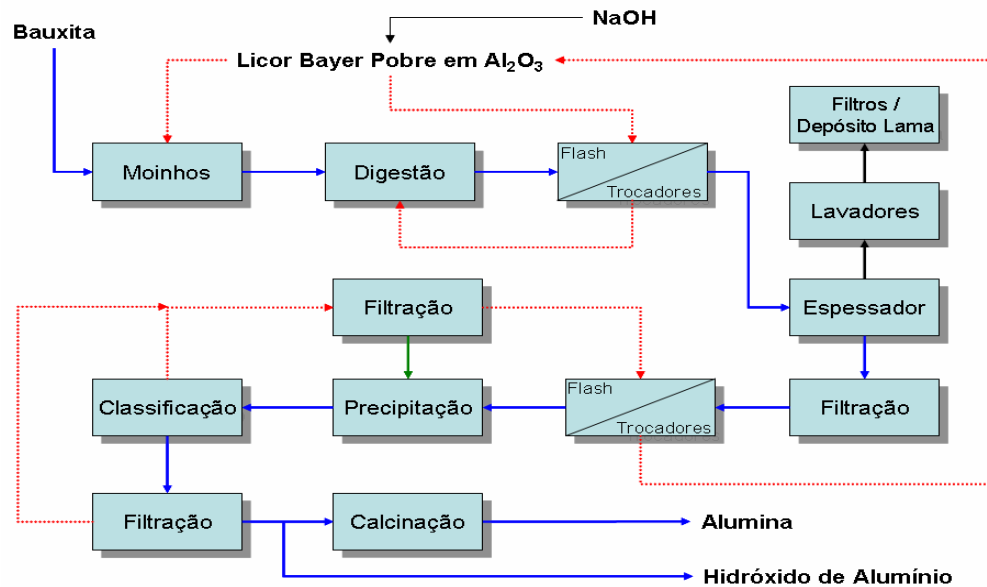


Figura 1. Fluxograma do processo bayer utilizado na VM/CBA.

## 2 MOAGEM DE BAUXITA

A moagem é o último estágio do processo de fragmentação da bauxita. Nessa etapa, o tamanho das partículas é reduzida pela combinação de quatro ações: impacto, compressão, abrasão e atrito até um tamanho adequado para a etapa de digestão.

Os objetivos dessa etapa de cominuição para redução do tamanho das partículas minerais são:

- obtenção de uma parte ou de todo o minério dentro das especificações granulométricas para seu uso posterior; e
- aumentar a área superficial específica dos minerais de um minério expondo-os mais facilmente ao ataque por reagentes químicos.

Assim, o principal objetivo da etapa de moagem na Refinaria de Alumina é fornecer uma pasta uniforme de bauxita moída de granulometria adequada para facilitar a extração de alumina.

A moagem expõe e aumenta a superfície do minério para o ataque da digestão, reduzindo o tamanho dos cristais de gibsita e boemita que consequentemente diminui o tempo de dissolução da alumina. O grau de cominuição da bauxita é determinante para a extração do  $Al_2O_3$  da bauxita.

Combina a ação dos moinhos de barras e bolas, assim a primeira câmara contendo barras é responsável pela moagem mais grossa e a segunda câmara, pela moagem mais fina.



Figura 2. Foto do moinho de barras e bolas - vista externa.

Na Figura 2 é possível ter uma visão externa do moinho de barras/bolas.

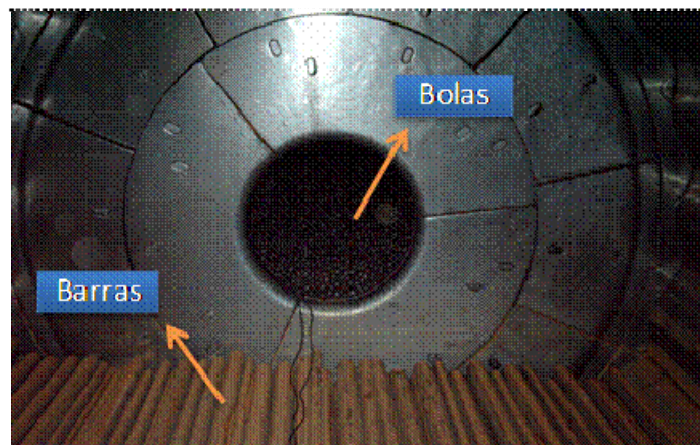


Figura 3. Foto do moinho barras e bolas – vista interna.

Na Figura 3 é possível ver as duas câmaras de moagem na parte interna, a primeira de barras e a segunda de bolas.

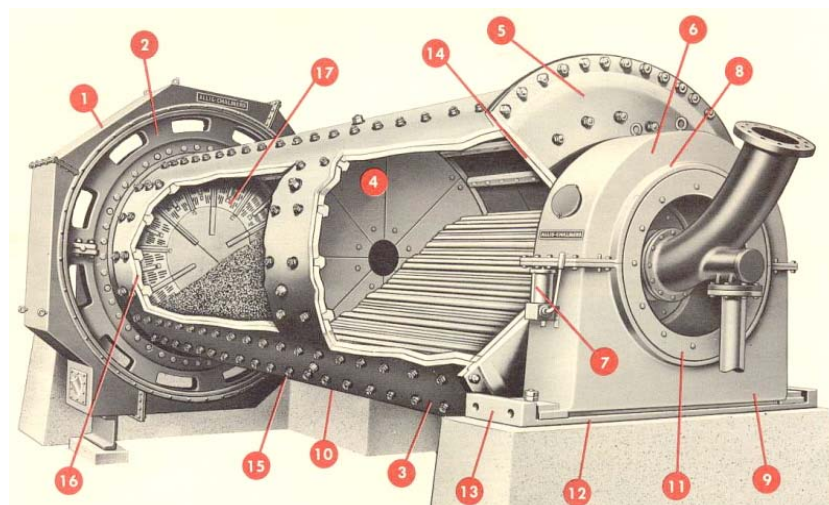


Figura 4. Ilustração do moinho barras e bolas. Fonte: VM\_CBA

A Figura 4 mostra cada uma das partes que compõe um moinho barras e bolas que estão descritas a seguir:

- 1- guarda de proteção da engrenagem, garante proteção contra entrada de poeira;
- 2- engrenagem helicoidal – coroa;
- 3- carcaça para serviço pesado de precisão e reversível para longa vida;
- 4- parede divisória tipo aranha protegida em ambos os lados contra abrasão;
- 5- cabeça cônica e munhão de fundição integral para resistência extra;
- 6- mancais refrigerados por água para moagem sob alta temperatura;
- 7- triplo circuito de lubrificação para proteção extra;
- 8- casquilhos e mancais de grande superfície para diminuir a carga;
- 9- alinhamento do moinho com os mancais é assegurado por meio de assentos dos mancais;
- 10- porta de inspeção;
- 11- selagem do mancal;
- 12- base de apoio;
- 13- chapa de posicionamento do munhão;
- 14- alinhadores;
- 15- câmara de moagem a prova de poeira e água;
- 16- placas de impacto removíveis; e
- 17- grelha de diafragma atua como uma bomba, assegurando alta vazão de descarga da pasta.

## 2.1 Operação do Moinho

A importância da operação da moagem reside no fato de que a maior parte da energia gasta no beneficiamento do minério está na moagem e que o estágio da moagem é a etapa fundamental para o bom desempenho e boa qualidade das etapas posteriores. Por isso otimizações e um acompanhamento criterioso dessa etapa são importantes.

Os parâmetros importantes são:

- velocidade de operação;
- grau de enchimento;
- distribuição granulométrica da carga moedora;
- grau de alimentação;
- carga de bolas;
- pressões, temperaturas e fluido de refrigeração dos mancais; e
- granulometria da alimentação e principalmente, a de saída.

A combinação harmônica desses fatores conduzirá a uma moagem de qualidade.

## 2.2 Consumos de Bolas e Reposição

A reposição de bolas nos moinhos é inevitável, por isso deve-se otimizar as reposições e tentar maximizar a duração dos corpos moedores, para isso, evita-se trabalhar com baixo grau de alimentação no moinho, ou seja, não permitindo que o moinho fique apenas “batendo bolas”. O minério dentro do moinho funciona como um colchão entre as bolas, o objetivo é exatamente manter o minério entre as bolas, para promover uma moagem adequada e evitar o contato direto bola com bola, que causa a quebra desnecessária desses corpos moedores e conseqüentemente, aumenta o seu consumo. Trabalha-se com velocidade mínima da esteira em 50% na

alimentação do moinho, já que abaixo desse valor aumenta a quebra das bolas e o desgaste por fricção.

### 2.3 Metodologia de Medição e Controle Anterior ao Trabalho

Realizamos as medições de HC (altura entre a superfície da carga e o topo do moinho, essa medição requer que a carga esteja espalhada dentro do moinho) antes e depois da reposição de bolas. Para calcular a carga dentro do moinho e o grau de enchimento, é necessária precisão nessas medições e cálculos para obter resultados corretos.

As reposições de bolas são feitas conforme o consumo e desgaste das mesmas. Assim, determinou-se que o moinho deve operar com 55 gramas de bola e 19,3 gramas de barra por tonelada de bauxita processada. Esses valores foram determinados pelos consumos desde o início de operação do moinho.

As bolas e barras deformadas e muito desgastadas devem ser retiradas periodicamente do moinho, pois são responsáveis por entupimento da grelha de saída do moinho e, além disso, a eficiência de moagem com esses corpos moedores é deficiente.

Ao obter o valor da carga de bolas a ser colocada dentro do moinho, distribuía-se escalonadamente a quantidade de carga de cada diâmetro, buscando repor igualmente os diferentes diâmetros de bolas no moinho para manter a carga dentro do valor especificado pelo projeto, porém a distribuição granulométrica das bolas não era acompanhada.

**Tabela 1.** Escalonamento da reposição de bolas

Diâmetro Bolas	Especificação
50 mm	40%
40 mm	35%
30 mm	25%
Grau de Enchimento	33%
Massa Total	79,8 t

A Tabela 1 acima mostra a distribuição da carga de corpos moedores, grau de enchimento no compartimento de bolas e massa total da carga de corpos moedores projetado para o moinho da VM/CBA.

### 2.4 Distribuição Granulométrica dos Corpos Moedores (Bolas)

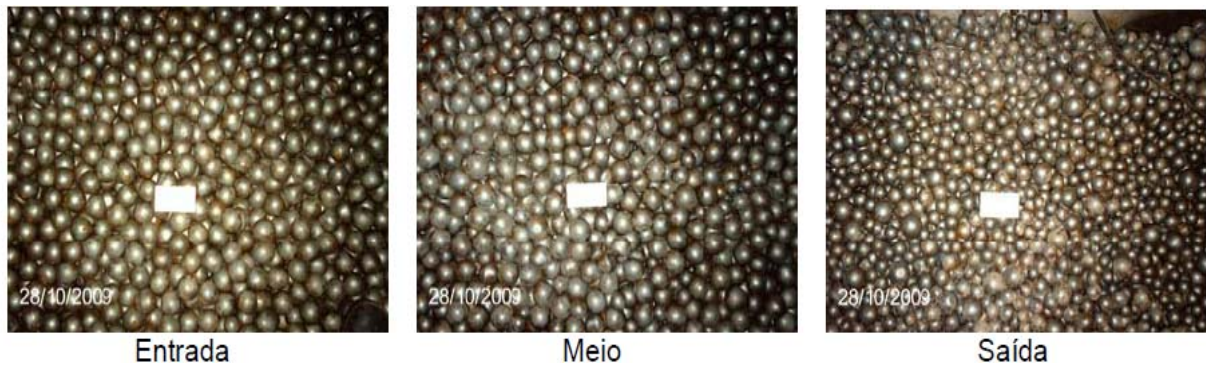
Em um trabalho desenvolvido anteriormente, uma relação ótima entre o tamanho da partícula a ser fragmentada e o diâmetro dos corpos moedores foi encontrada. A velocidade de quebra de partículas pequenas é maior com bolas pequenas e vice-versa. Assim, para uma mistura de tamanho de partículas (minério), recomenda-se uma carga moedora escalonada.

A alta granulometria da carga circulante indica falta de corpos moedores grandes. Já uma baixa granulometria da carga circulante indica falta de corpos moedores pequenos.

Periodicamente o moinho é parado para realização de manutenção preventiva em seus equipamentos e nessas paradas são inspecionados os componentes da

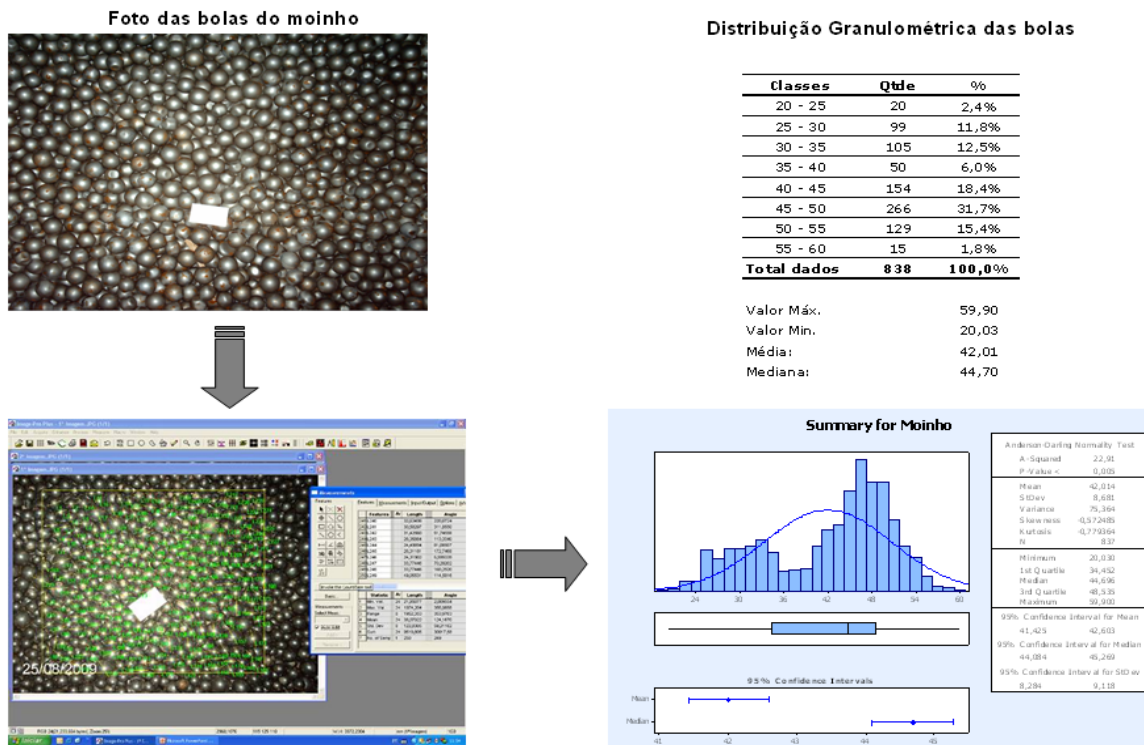
câmara de barras/bolas, (medição do nível de enchimento (HC); inspeção do revestimento; grelhas de saída e também é realizada a inspeção visual das cargas moedoras).

Em parceria com o laboratório de metalografia, foi realizado o ensaio de distribuição granulométrica das bolas do moinho, através de imagens fotográficas. A análise da distribuição granulométrica foi realizada através de três imagens de diferentes pontos da câmara de bolas, na entrada próxima a câmara de barras, no centro do compartimento de bolas e outra próxima à grelha de saída, todas com um cartão como referência (cartão de visita, por exemplo) para calibração do *software*.



**Figura 5.** Fotos dos corpos moedores em três pontos diferentes no interior do moinho.

O método consiste em medir o diâmetro das bolas utilizando o *software* imagem Pró-Plus e extrair as informações convertendo-as em distribuição por classes e curva de Gauss (Figura 6).



**Figura 6.** Acompanhamento granulométrico das bolas.

### 3 CONCLUSÃO

O resultado da análise da distribuição granulométrica pelo software Pró-Plus é apresentado pela Figura 7.

Classes	Qtde	%
20 - 25	29	6,94%
25 - 30	119	28,47%
30 - 35	77	18,42%
35 - 40	9	2,15%
40 - 45	22	5,26%
45 - 50	135	32,30%
50 - 55	27	6,46%
<b>Total dados</b>	<b>418</b>	<b>100,0%</b>

Valor Máx.	53,73	mm
Valor Min.	21,85	mm
Média:	37,28	mm
Mediana:	33,74	mm
Desv.Pad.:	9,84	

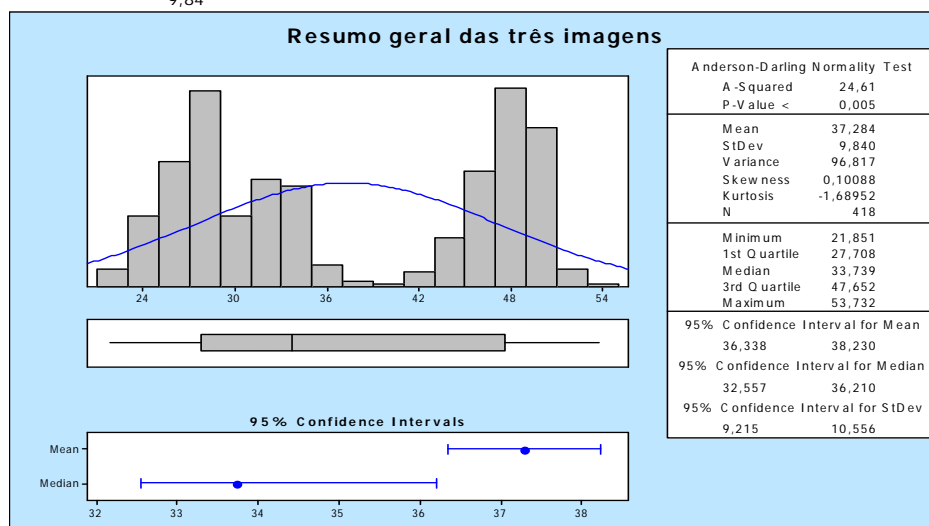
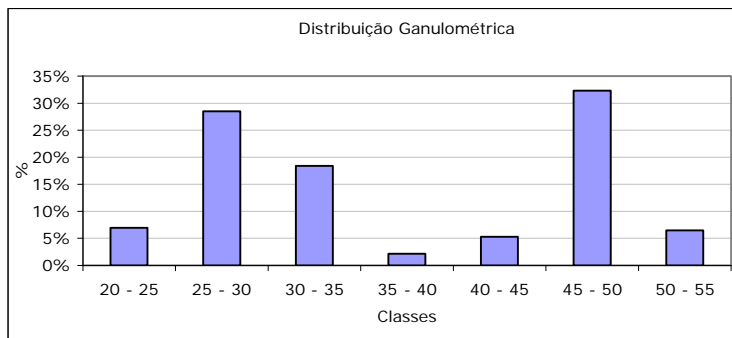


Figura 7. Resultado integrando as três imagens fotográficas.

#### 3.1 Granulometria Após Análises Granulométricas da Carga de Bolas

A granulometria da pasta é acompanhada para que menos de 10% do minério que sai do moinho tenha fração granulométrica superior a 590  $\mu\text{m}$  e um diâmetro médio de 215  $\mu\text{m}$ , essa condição garante a eficiência de extração da alumina na etapa de digestão. Já que uma menor granulometria significa maior área de contato para o ataque na digestão.

Atua-se na granulometria da pasta, alterando-se a velocidade da esteira de alimentação do moinho. Esse controle não é automático, isto é, não existe uma malha de controle dedicada a esse propósito, o controle é feito pela operação e por isso, há um *delay* entre a percepção da alteração da granulometria e a atuação na velocidade da esteira de alimentação.

A granulometria da pasta também é um forte indicativo da necessidade de reposição e troca da carga de corpos moedores.



### 3.2 Carga de Bolas

A carga de bolas dentro do moinho deve ser calculada pela Equação 3.

$$C = \frac{4,5 \times 40,9 \times F}{100} \quad (3)$$

Ou ainda pode ser escrita como:

$$C = 1,8405 \times F \quad (\text{Válida para qualquer moinho})$$

Onde:

- C = carga de bolas em toneladas; e
- F = grau de enchimento em %.

Após utilização do *software* Pró-Plus para identificação da distribuição granulométrica da carga de bolas, identificamos as necessidades de paradas e seleções das cargas moedoras atuando precisamente no momento da necessidade de troca e ou remanejamento da distribuição granulométrica, garantindo que a mesma fique escalonadamente distribuída para uma melhor eficiência de moagem.

#### Distribuição Granulométrica

##### Antes da troca de Bolas do moinho

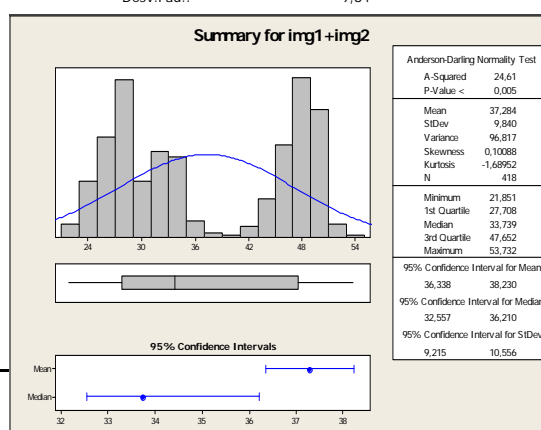
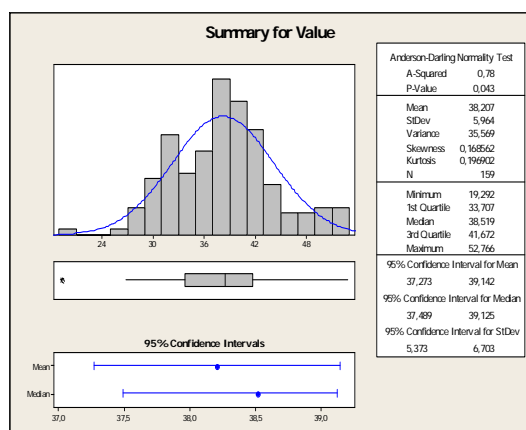
Classes	Qtde	%
30 - 35	46	28,93%
35 - 40	54	33,96%
40 - 45	41	25,79%
45 - 50	10	6,29%
50 - 55	8	5,03%
<b>Total dados</b>	<b>159</b>	<b>100,0%</b>

Valor Máx.	52,77	mm
Valor Min.	19,29	mm
Média:	38,21	mm
Mediana:	38,52	mm
Desv. Pad.:	5,96	

##### Depois da troca de Bolas

Classes	Qtde	%
20 - 25	29	6,94%
25 - 30	119	28,47%
30 - 35	77	18,42%
35 - 40	9	2,15%
40 - 45	22	5,26%
45 - 50	135	32,30%
50 - 55	27	6,46%
<b>Total dados</b>	<b>418</b>	<b>100,0%</b>

Valor Máx.	53,73	mm
Valor Min.	21,85	mm
Média:	37,28	mm
Mediana:	33,74	mm
Desv. Pad.:	9,84	



**Figura 8.** Resultado da distribuição granulométrica antes e após a troca da carga moedora do moinho.

Na Figura 9, mostramos o efeito da melhoria da distribuição granulométrica, o resultado da granulometria da pasta na perda de alumina na areia.

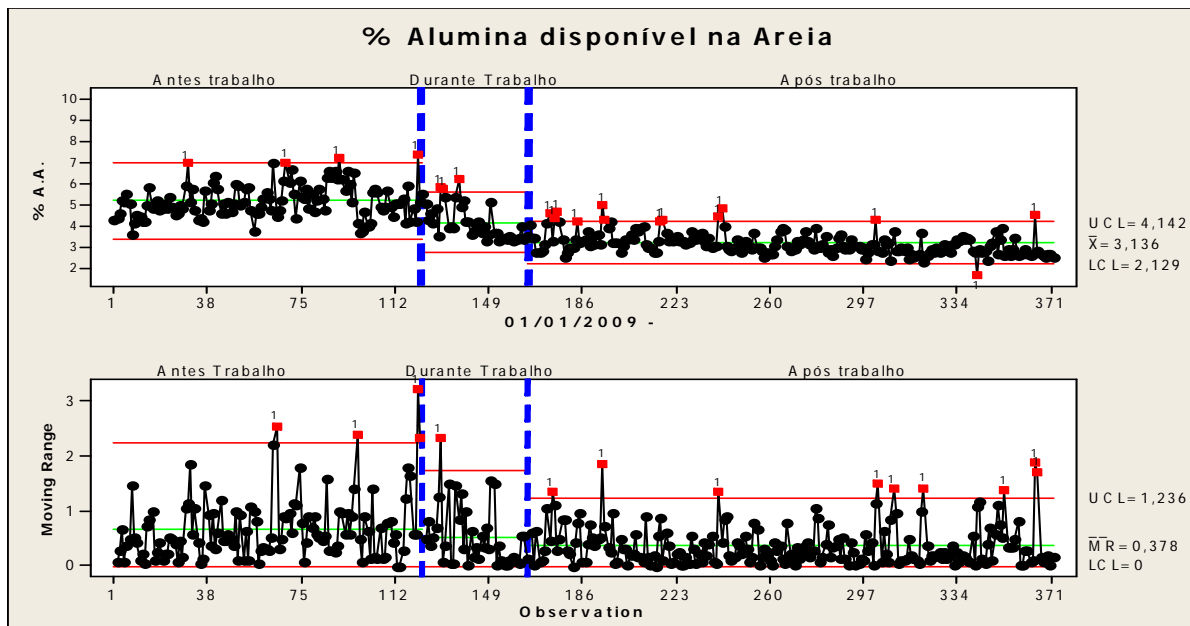


Figura 9. Resultado A.A. no processo antes e após controle.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 CHAVES, A.P *et al.* *Teoria e Prática de Tratamento de Minérios*. São Paulo: Signus: 1996.
- 2 METSO MINERALS. *Manual de Britagem*. 6<sup>a</sup>. ed. São Paulo: Metso Minerals, 2005.
- 3 CHAVES, A. P. & PERES, A. E. C. *Teoria e Prática do Tratamento de Minérios - Volume 3*. São Paulo: Signus, 1999.
- 4 Schooler, L.N. 1980. *Cominuation of Caribbean Bauxites in Rod Mills*. Light Metals, 19-38.