

# **CONTROLE AVANÇADO DE CIRCUITOS DE BRITAGEM E MOAGEM SAG ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE ANÁLISE DE IMAGEM<sup>1</sup>**

*Marco Aurélio Soares Martins<sup>2</sup>*  
*Marcelo Montalvão Gontijo<sup>3</sup>*  
*Hugo Montalvão Gontijo<sup>4</sup>*  
*André Nogueira<sup>5</sup>*  
*Plínio da Cruz Gianelli<sup>5</sup>*

## **Resumo**

Neste trabalho, será apresentada a aplicabilidade de ferramentas de controle avançado de processos e análise granulométrica on-line por imagem em circuitos de britagem e moagem SAG. Na britagem, são instaladas câmeras nos transportadores de correia dos produtos do circuito. O sistema de visão processa continuamente as imagens adquiridas e obtém a variação da curva granulométrica. A partir dessas medições, o sistema de controle avançado de processo pode, por exemplo, atuar na abertura do britador de forma a manter o P80 na faixa desejada. Além disso, através das informações de potência e nível da câmara dos britadores é possível maximizar a capacidade do circuito de britagem. Caso o britador não seja dotado de um sistema automático de regulação de abertura, um aviso pode ser emitido ao operador para providenciar este ajuste de forma manual. Em processos minerais que se utilizam de moagem autógena e semi-autógena para fragmentação, através da obtenção on-line do F80 via sistema de visão, o controle avançado poderia manipular os parâmetros de velocidade de rotação e concentração de sólidos, com o objetivo de manter aceitável a quantidade de material de tamanho crítico produzido e o ruído no moinho. Dessa forma, é possível prevenir contra quebras de revestimento e maximizar a capacidade da moagem. A análise de imagem aliada a um sistema especialista que traduza esta informação e atue no processo de forma a buscar a granulometria mais adequada, traz maior estabilização ao processo maximizando-se a capacidade dos equipamentos o que possibilita ganhos significativos de produção.

**Palavras-chave:** Controle; Análise de imagem; Britagem.

## **ADVANCED CONTROL OF CRUSHING CIRCUITS AND AUTOGENOUS GRINDING CIRCUITS THROUGH THE USE OF IMAGE ANALYSIS**

### **Abstract**

This work intends to present the applicability of tools for advanced control of processes and online particle size image analysis in circuits of crushing and autogenous grinding. In crushing plant, cameras are installed in the conveyor belts of the products in the circuit. The vision system continuously processes the acquired images and obtains the variation of the size distribution curve. From these measurements, the advanced control system can operate, for example, at the opening of the crusher in order to keep the P80 in the desired range. In addition, through the power information and level of the crusher's chamber it is possible to increase the capacity of the crushing circuit. If the crusher is not equipped with an automatic opening adjustment, a warning may be issued to the operator to provide this setting manually. In mineral processes that use autogenous grinding and semi autogenous to fragmentation, by obtaining online F80, through the vision system, the advanced control system could manipulate the parameters of rotation speed and solids concentration, with the aim of controlling the amount of critical size material and noise produced in the mill. Thus, it is possible to prevent against breaches and optimize the capacity of grinding. Image analysis combined with an expert system that translates this information and act in the process to seek the most appropriate particle size distribution, brings greater stability to the process optimizing the capacity of the equipment, which allows for significant gains in production.

**Key words:** Advanced control; Image analysis; Crushing.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 12 a 26 de setembro de 2011, Vila Velha, ES*

<sup>2</sup> *Eng. M. Sc. e Diretor de Operações da CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia*

<sup>3</sup> *Eng. de Controle e Automação, M. Sc. – CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia*

<sup>4</sup> *Eng. de Controle e Automação – CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia*

<sup>5</sup> *Eng. de Processos – CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia*

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente os sistemas de controle avançado são parte integrante no processo produtivo industrial. Esta nova situação se justifica não somente por fatores financeiros, mas também, pela estabilidade proporcionada aos processos e à qualidade da produção.

Os sistemas ou módulos de visão complementam o trabalho, medindo, continuamente, a velocidade da espuma e o tamanho de bolhas no processo de flotação, o tamanho de partículas em correias transportadoras ou chutes e o tamanho de pelotas verdes em processos de pelletização, além de outras características relacionadas a cor e textura.

O objetivo deste trabalho é mostrar a aplicabilidade de ferramentas de controle avançado de processos e análise granulométrica on-line por imagem em circuitos de britagem e moagem SAG.

## 2 BRITAGEM

Em uma instalação de tratamento de minérios, o circuito de britagem e peneiramento tem o objetivo de garantir uma determinada granulometria a uma tonelagem de minério processada, que é restringida por certo número de fatores:

- restrições físicas individuais, como a capacidade de cada correia transportadora,
- ritmo de produção diferente do planejado pela lavra de curto prazo, principalmente com respeito à tonelagem processada nas britagens primárias e o planejado de chegada de caminhões da mina, ocorrendo filas de caminhões ou falta de minério em determinados momentos; e
- dificuldade para operar os circuitos manualmente, sendo as principais razões para isto:
  - muitos britadores alimentam o mesmo sistema de correias transportadoras, de forma que é impossível operar cada britador em sua capacidade máxima independentemente dos outros – algumas correias transportadoras ficariam sobrecarregadas;
  - o circuito é fisicamente muito grande e as distâncias são consideráveis. Isto causa dinâmicas complexas e atrasos. Uma vez que o material esteja em uma correia transportadora, seu tempo de residência no circuito é de vários minutos e um planejamento pobre para as paradas / inícios de operação dos britadores pode facilmente resultar em sobrecarga de correias ou perda de capacidade; e
  - a operação não é completamente contínua.

Como resultado destas dificuldades, combinada com a necessidade de operar os circuitos de forma segura, os circuitos são operados de forma conservadora, e oportunidades significativas de maximizar a tonelagem não são aproveitadas. Existem períodos com baixa produção, que são impossíveis de serem eliminados com a operação manual.

### 2.1 Controle do Processo

O primeiro passo para otimizar a britagem é avaliar a automação dos equipamentos do circuito e se necessário propor a instalação de novos instrumentos de forma que estas informações sejam utilizadas pelo sistema especialista, uma vez que o

controle dos britadores é fundamental para a eficiência da britagem e dos processos posteriores.  
Um circuito de britagem para minério de ferro é mostrado na Figura 1.

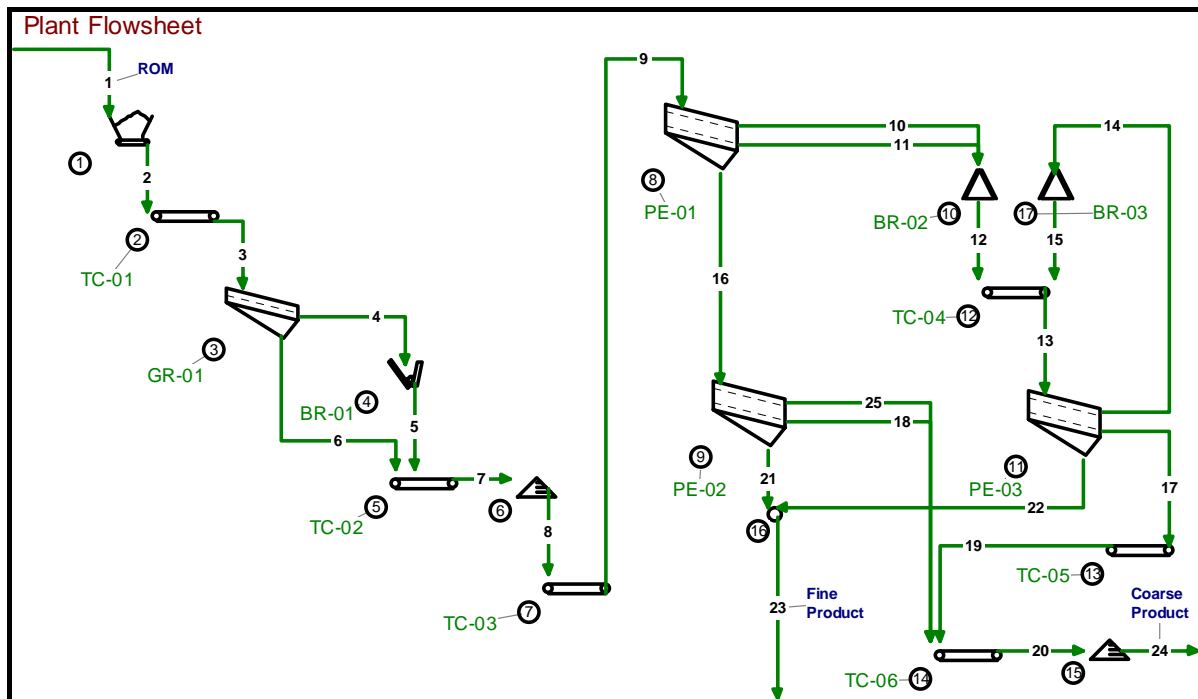


Figura 1. Fluxograma de processo – Britagem.

Neste circuito, os britadores BR-02 e BR-03 contam com sensores de posição, utilizados para contagem de abertura de dentes e os transportadores de correia TC-03 e TC-04 possuem balanças para aferição da vazão mássica, sendo que um alimentador de esteira faz a retomada do material da pilha para a britagem secundária.

A próxima etapa é a instalação das câmeras para análise de imagem. As câmeras estão instaladas após a descarga dos britadores BR-02 e BR-03 sobre os transportadores de correia TC-04. Elas foram montadas dentro de uma caixa escura para proteção de interferências luminosas, sujeira e impactos. Luminárias de LEDs de alta potência são responsáveis por prover uma iluminação uniforme ao leito de material na correia.

O papel do sistema especialista é fazer a segmentação da imagem e determinar a granulometria do material transportado pela correia. Com base nesta informação ele envia um novo *set point* ao processo, atuando na abertura ou fechamento dos britadores de forma a obter a granulometria desejada.

Também pode ser adotada uma estratégia para proteção dos equipamentos em função da vibração, caso os equipamentos sejam automatizados com sensores de vibração. Deste modo o sistema atuará na abertura automática dos dentes caso a vibração exceda um valor limite.

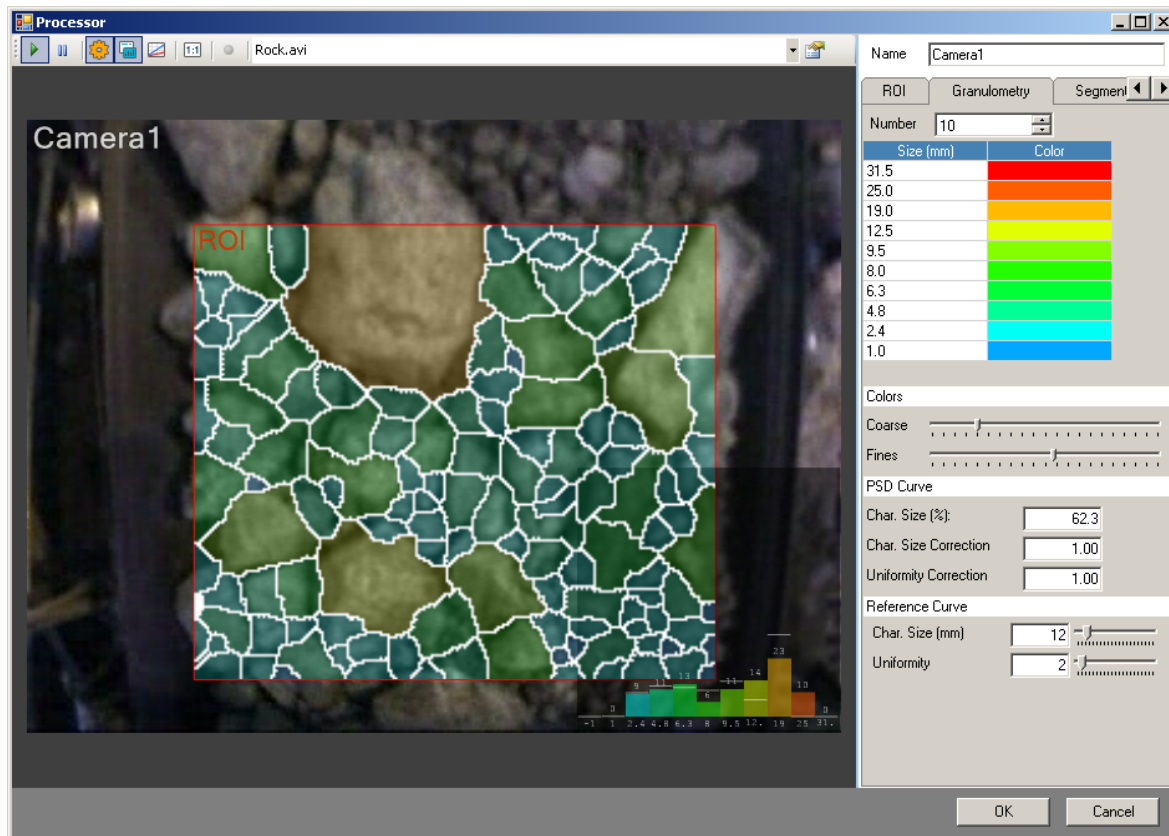


Figura 2. Segmentação da Imagem.

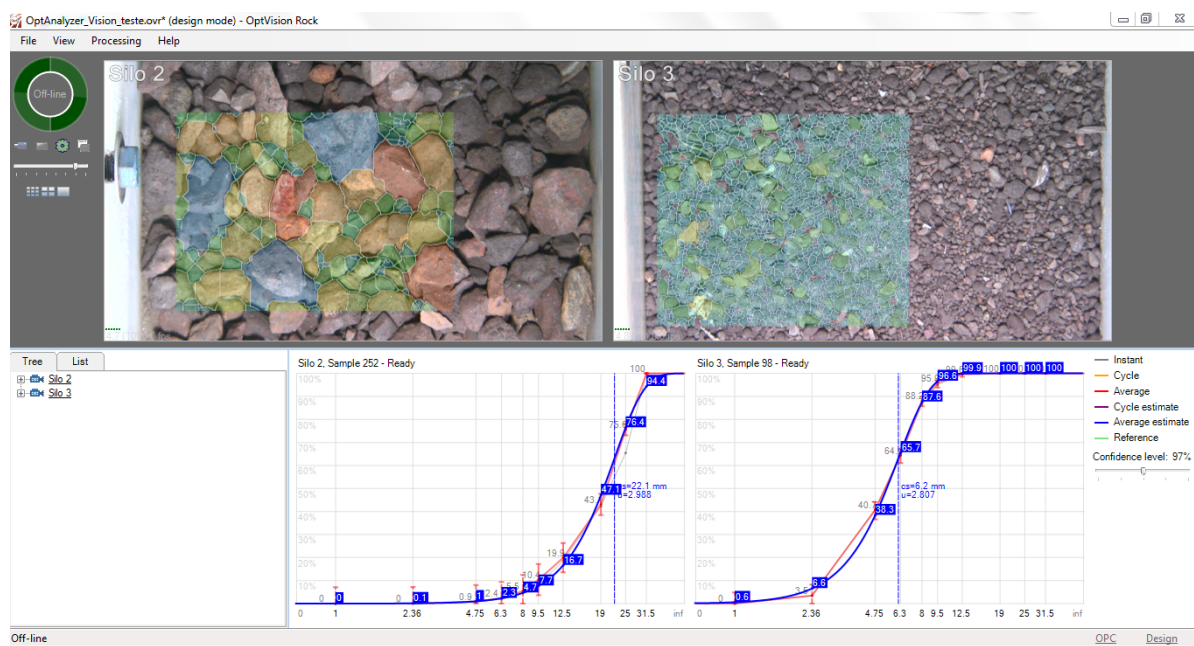


Figura 3. Análise granulométrica.

## 2.2 Estratégias de Controle

O principal objetivo do sistema de controle avançado é maximizar a capacidade de britagem do BR-02. Maximizando-se a capacidade de britagem e controlando-se a carga circulante, é possível estabilizar a alimentação nova e possibilitar ganhos significativos de produção.

### 2.2.1 Potência do britador BR-02

Utilizando a lógica *fuzzy*, o sistema especialista avalia a situação da potência do britador BR-02. Caso a potência do britador apresente tendência de queda, o sistema entende que o britador está com folga e aumentará o setpoint de vazão mássica do TC-03 (alimentação nova), através da lógica *fuzzy*.

### 2.2.2 Carga circulante – vazão mássica na TC-04

A mesma estratégia é utilizada para controlar a carga circulante. Caso a vazão mássica na TC-04 apresente tendência de aumento, o sistema atuará na taxa de alimentação nova, reduzindo o setpoint de vazão mássica da TC-03.

### 2.2.3 Granulometria

Através de lógica *fuzzy*, o sistema analisa a situação da granulometria após cada um dos britadores (BR-02 e BR-03) e atua na abertura de cada britador. Caso os britadores não estejam automatizados, pode ser emitido um aviso ao operador para providenciar esse ajuste de forma manual.

## 3 MOAGEM SAG

A tecnologia de análise de imagem também permite o controle da granulometria de alimentação do moinho SAG. Neste caso específico o moinho é alimentado por uma pilha cujo material é retomado por alimentadores de sapatas, conforme é mostrado no fluxograma da Figura 4.

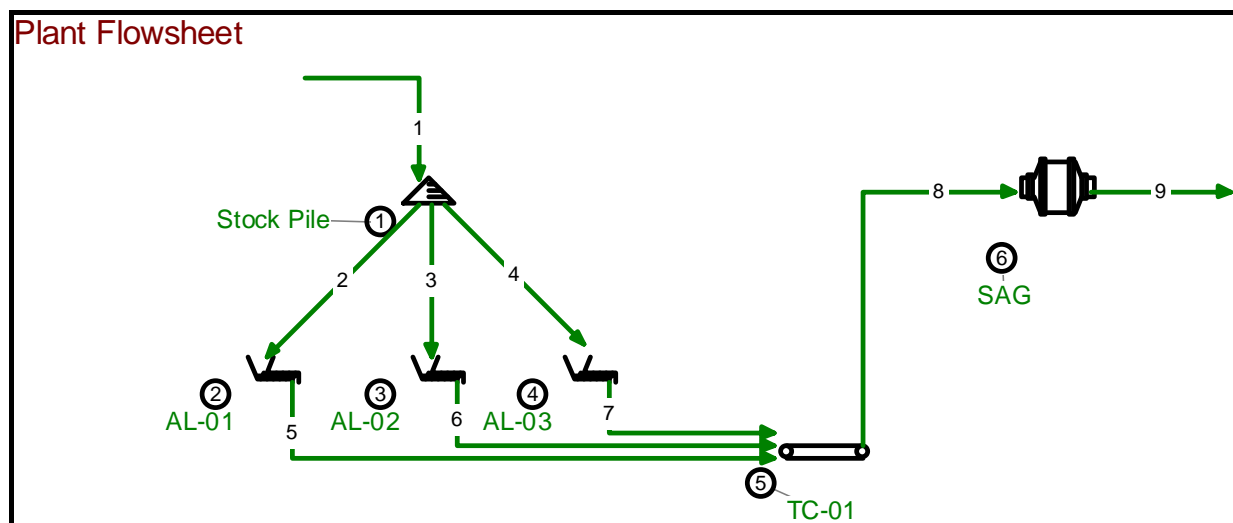


Figura 4. Fluxograma de processo - moagem SAG.

### 3.1 Controle do Processo

As câmeras são posicionadas após os alimentadores AL-01, 02 e 03 e sobre a correia de alimentação do moinho, TC-01. Os alimentadores contam com variadores de velocidade e o transportador de correia possui uma balança para aferição da vazão mássica.

A partir da análise on-line da granulometria de descarga de cada alimentador, o sistema faz a reconciliação dos dados para compor a curva granulométrica da alimentação do moinho.

### **3.2 Estratégias de Controle**

O objetivo do controle avançado é estabilizar a granulometria de alimentação do moinho de modo a proporcionar um significativo aumento de capacidade para o circuito de moagem SAG a partir da otimização da taxa de alimentação.

### **3.3 Velocidade dos alimentadores**

Através da lógica *fuzzy*, o sistema especialista compara a curva obtida com a granulometria do minério medida na alimentação do moinho. Após a validação da curva, o sistema atua na velocidade dos alimentadores para atingir os objetivos de granulometria definidos, uma vez que, pelo efeito de segregação das partículas, os alimentadores posicionados sob as extremidades da pilha trabalharão com material mais grosseiro enquanto que o alimentador posicionado sob o centro da pilha trabalhará com material mais fino.

## **4 CONCLUSÃO**

A utilização de uma ferramenta de análise de imagem aliada a um sistema de controle especialista torna-se bastante útil no sentido de maximizar a produção de forma contínua, eliminando ao mesmo tempo o risco de sobrecarga nos equipamentos. Pode ser necessária a melhoria da automação existente no circuito, principalmente nos pontos de ajuste manual, maximizando-se também sua disponibilidade.

Os benefícios esperados são:

- maximização na capacidade de processamento de minério;
- estabilidade no processo;
- aumento da produção média; e
- aumento da eficiência do circuito por meio da minimização da carga circulante.

Esses benefícios são inicialmente esperados considerando que, com o sistema especialista, o processo vai se recuperar mais rapidamente de situações anormais e será operado de forma otimizada em situações normais.

Além disso, novas informações serão disponibilizadas aos engenheiros e operadores, incluindo valores de processo inferidos por modelos e conclusões de regras avançadas de diagnóstico.