

ANÁLISE CONTÍNUA DE GRANULOMETRIA DE PRODUTOS PARTICULADOS EM CORREIAS TRANSPORTADORAS

*Bruno Soares Martins*¹
*Marco Aurélio Soares Martins*²
*Luiz Tavares dos Santos Junior*³
*Ricardo Olympio de Freitas*⁴

Resumo

A automação das operações de processamento mineral tem sido possível pelo desenvolvimento da instrumentação, que é capaz de medir as respostas do processo. Mas mesmo com toda evolução na instrumentação, ainda existia uma lacuna muito grande a ser preenchida que é a análise granulométrica contínua do produto dos circuitos de linhas de britagem. Com o avanço dos computadores pessoais e a apurada tecnologia de vídeo disponível hoje no mercado, é possível transpor barreiras que existiam há pouco tempo atrás e construir softwares precisos, rápidos e economicamente viáveis para análise contínua de granulometria do produto da britagem.

Palavras-chave:

Contribuição técnica para 60º CONGRESSO ANUAL DA ABM – 25 a 28 de julho de 2005, Belo Horizonte – Minas Gerais

¹ *Gerente de Produto – CEMI - Consultoria em Engenharia Mineral*

² *M. Sc. e Diretor de Operações da CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

³ *Eng. de Processos – CEMI - Consultoria em Engenharia Mineral*

⁴ *Eng. de Processos – CEMI - Consultoria em Engenharia Mineral*

INTRODUÇÃO

A determinação contínua da granulometria do produto da britagem na mineração e no processo mineral é necessária para otimizar a performance dos equipamentos de britagem e moagem. Muito esforço já foi feito desde a década de 70 para implementar um sistema de análise contínua de partícula. A maioria dos sistemas não foi capaz de satisfazer à necessidade da indústria em performance de análise e custo do sistema.

Hoje, a análise granulométrica contínua de partículas já é uma realidade palpável, com vários exemplos de aplicações pelo mundo. Para implantação de um sistema de análise granulométrica, duas questões devem ser observadas. O sistema de vídeo que fará a aquisição de imagem deve ser concebido com a iluminação correta para eliminar distorção na imagem ou problema de entrelaçamento. Para evitar estes problemas, é requerido o perfeito sincronismo da velocidade da correia e a velocidade de captura da câmera. A segunda questão é o tamanho adequado da imagem que deve ser considerada.

Neste artigo serão abordadas todas as questões para obtenção de uma análise apropriada do produto de um circuito de britagem e também será mostrado o software **OPSA – On Line Particle Size Analyzer**, que é desenvolvido pela **MTI – Mineral Technologies International**, Inc empresa situada em Utah – USA e representado no Brasil pela **CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral**, de Belo Horizonte-MG.

APLICAÇÃO DO SISTEMA DE ANÁLISE DE IMAGEM – OPSA NA BRITAGEM

O analisador contínuo de partículas é implantado pela **CEMI** especialmente para o controle de britagens. O objetivo principal da implantação do **OPSA** neste caso é a detecção de problemas no produto da britagem, relacionadas à não adequação da granulometria deste produto, que possam prejudicar a moagem posterior. O controle efetivo na alimentação da moagem garante a performance máxima da moagem, uma vez que uma das maiores restrições da moagem é o tamanho máximo de partícula na alimentação.

A seguir é mostrada a estrutura típica de um sistema de análise granulométrica por imagem.

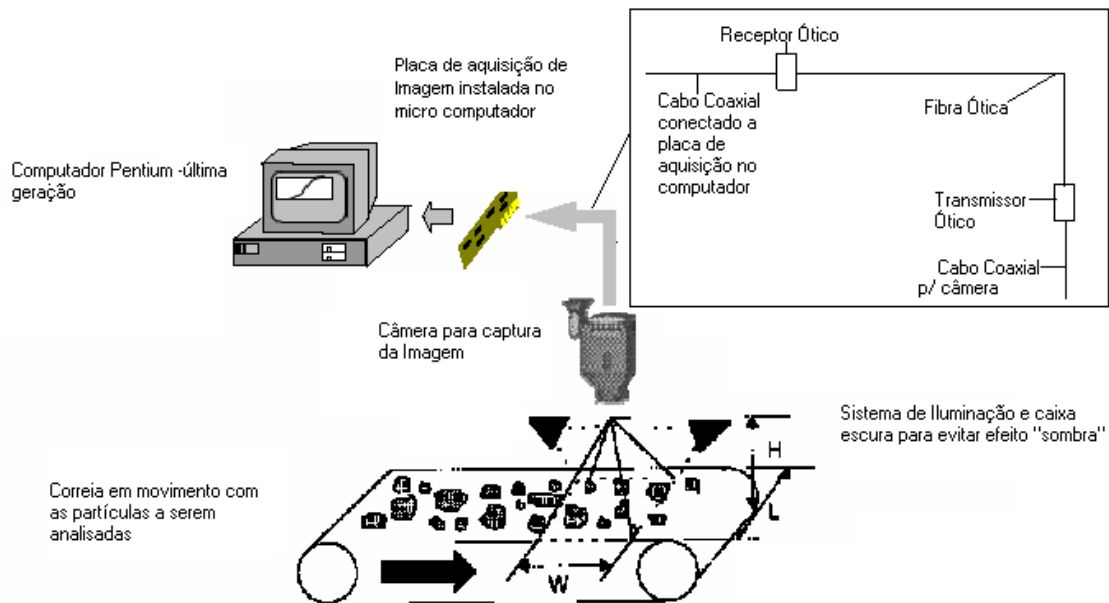
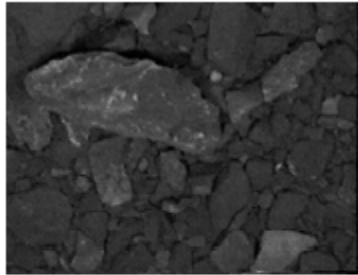


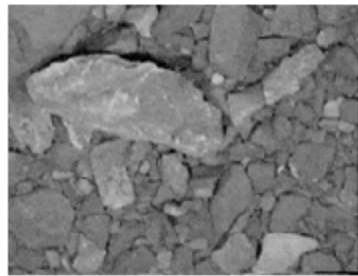
Figura 1. Representação do sistema de análise granulométrica.

MÉTODO DE ANÁLISE

O procedimento de análise dos dados para medidas de distribuição granulométrica requer três etapas principais. O primeiro estágio tem como objetivo fazer a segmentação da imagem para obter o comprimento linear da interseção entre as partículas. Devido à variação nas propriedades das partículas, é usado um algoritmo para realçar e aumentar o contraste do contorno entre as partículas. Então um método de detecção de contorno é usado para separar partículas que estejam sobrepostas. O segundo estágio para a análise dos dados de granulometria consiste em transformar a medida linear de interseção das partículas em medida volumétrica usando técnicas de esteriologia. Finalmente, é necessário calibrar a análise de granulometria da imagem com uma amostra de referência. Os resultados das análises feitas através da imagem, quando comparadas com a análise do laboratório, sugerem que um fator de correção linear pode ser usado com o propósito de correção do problema de sobreposição de partículas. Para isso, funções empíricas de correção são usadas para correlacionar a distribuição granulométrica da camada superior da correia com a análise granulométrica feita no laboratório de toda a amostra da correia transportadora.



**Imagem do Material
na Correia**



**Imagem após aplicação
do algoritmo para
realçar o contorno das
partículas**

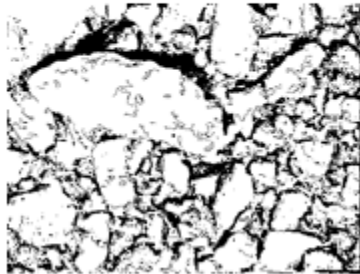


Imagem Segmentada

Figura 2. Passos na rotina de segmentação da imagem.

MONTAGEM DO SISTEMA

O sistema de imagem pode ser montado na estrutura de correias transportadoras ou em pontos de transferência do material (transferência de uma correia para outra). Um dos fatores mais preocupantes a ser observado diz respeito à variação de luminosidade no ponto onde vai ser feita a aquisição das imagens. Com o objetivo de evitar a variação de luminosidade, é construída para uma caixa, que é instalada na estrutura da correia e possui iluminação artificial constante. Uma segunda caixa é instalada por cima contendo a câmera e os cabos de fibra ótica, protegendo também a câmera de poeira e intempéries. A seguir é mostrada a montagem do sistema.



Figuras 3 e 4. Montagem da caixa e a caixa da câmera sobre a correia transportadora.



Figura 5. Caixa de proteção da câmera e conjunto Câmera/lente utilizado

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Várias análises mostraram que o material proveniente da britagem pode ser analisado com a utilização de imagem, através de uma série de algoritmos que processam e tratam a imagem obtendo uma boa separação entre as partículas. Uma boa separação das partículas é facilmente obtida com a combinação visão / cérebro humano, mas a questão se torna muito mais difícil quando feita por análise de imagem.

As complicações para a análise vêm desde o contato e sobreposição das partículas (incluindo muitas partículas pequenas sobre partículas grandes) até a grande quantidade de material fino no ponto de amostragem. A tecnologia **OPSA** executa com muito sucesso todas as etapas do tratamento de imagem fazendo com que as partículas fiquem bem definidas para a contagem das mesmas.

A figura a seguir mostra a análise sendo feita pelo software **OPSA**.

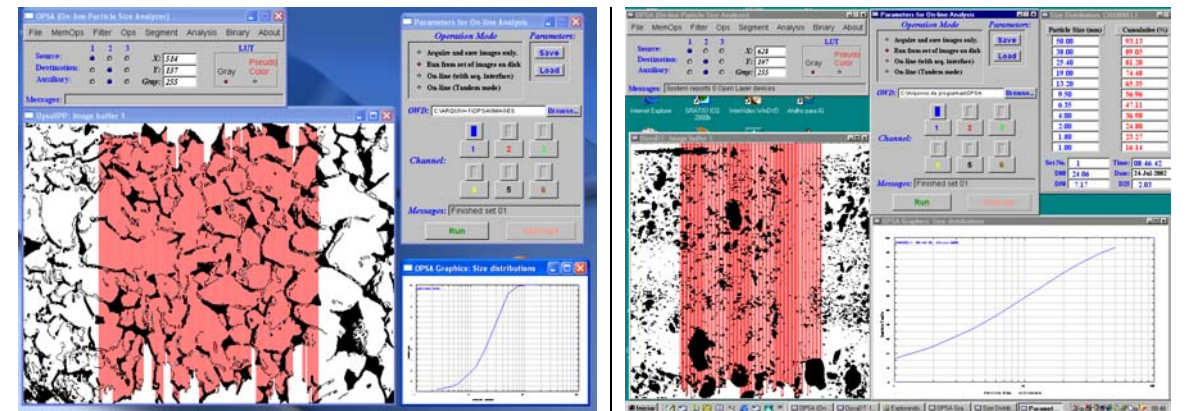


Figura 6. Análise do produto da britagem feita pelo OPSA.

CALIBRAÇÃO DOS RESULTADOS

A calibração da análise é feita em dois níveis. O primeiro passo da calibração consiste em colocar um objeto de tamanho conhecido sobre o ponto de amostragem (ponto onde a câmera faz a captura). Esta imagem é capturada pela câmera para calibrar a escala durante o processamento da imagem. A segunda calibração é feita utilizando a análise granulométrica do laboratório. Sistemáticamente, a análise do material pelo laboratório mostra um material mais fino do que a análise feita da imagem superficial da correia transportadora. Isto é devido ao fato das partículas menores possuírem grande probabilidade de segregarem no fundo da correia durante a formação da camada. É evidente que a distribuição granulométrica proveniente da análise da imagem pode ser transformada e corrigida, representando assim a distribuição granulométrica correta. Podemos comprovar este fenômeno com a calibração mostrada a seguir:

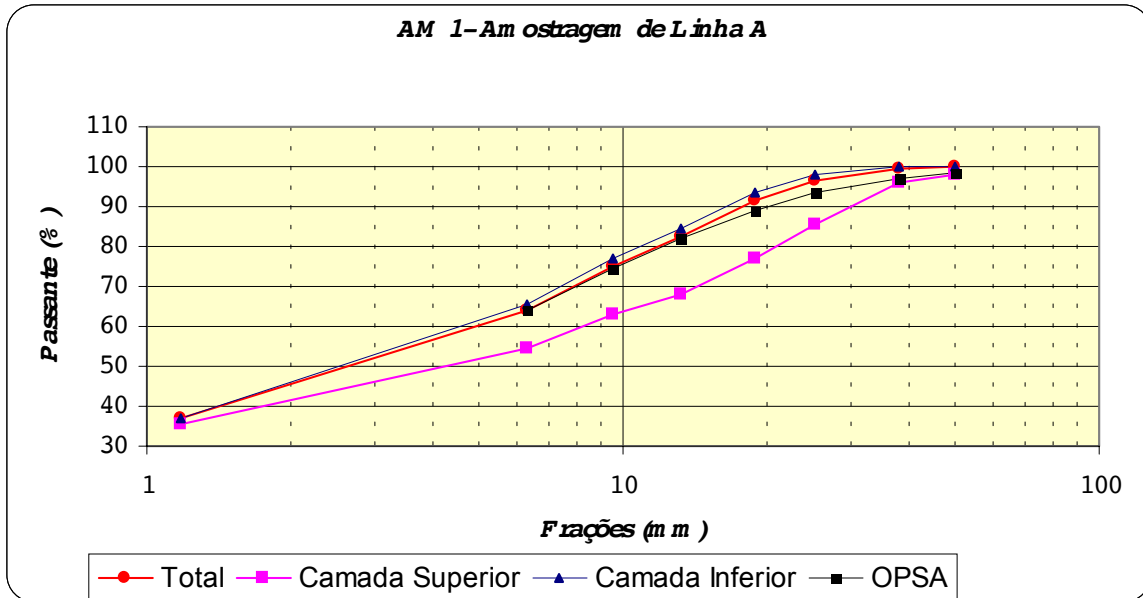


Figura 7. Análise do OPSA comparada com a análise do laboratório da camada superior, camada inferior e a análise total – Amostragem 1.

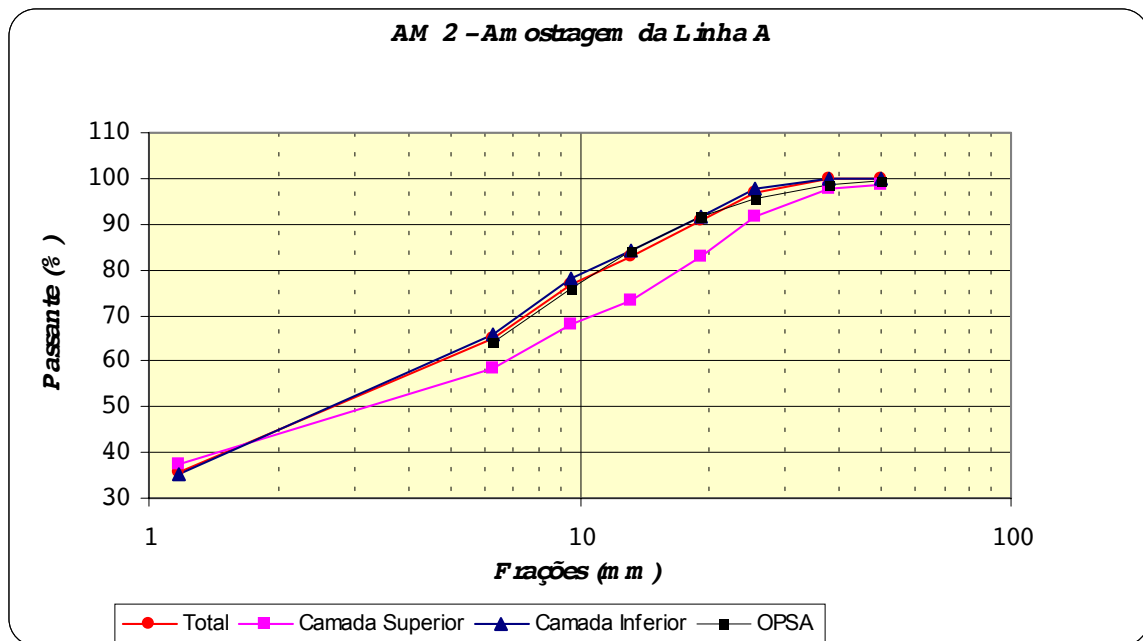


Figura 8. Análise do OPSA comparada com a análise do laboratório da camada superior, camada inferior e a análise total – Amostragem 2.

O **OPSA** oferece várias possibilidades de configuração da imagem para calibração da análise granulométrica. A interface de calibração do software pode ser vista a seguir:

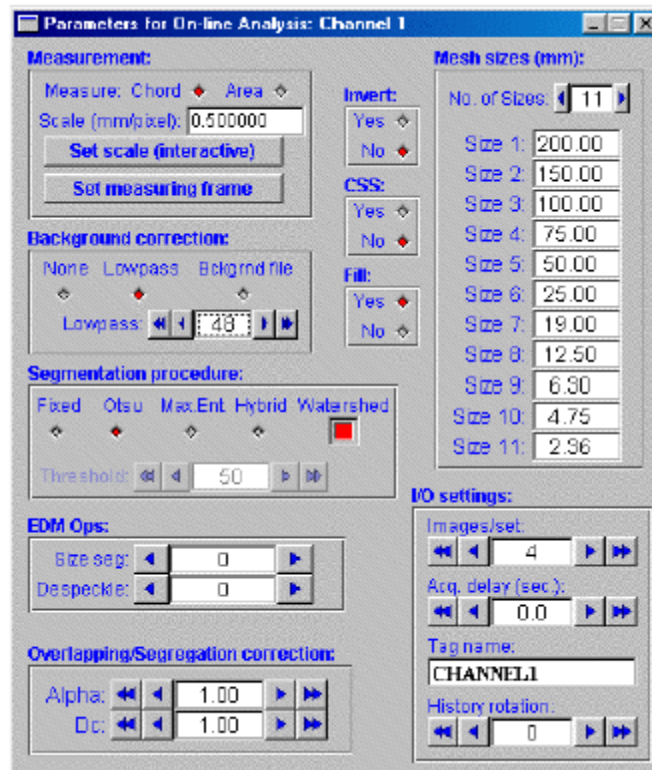


Figura 9. Interface de calibração da imagem do OPSA.

Em alguns casos em que a iluminação não é constante, é necessário que se use a correção de fundo (“background correction”), que é um algoritmo que elimina o fundo da imagem (como exemplo, as bordas de uma correia transportadora).

Como dito anteriormente, depois de processada, a imagem deve ser segmentada em imagens binárias (para realçar o contorno das partículas). No **OPSA** existem quatro algoritmos diferentes (Figura 10) com este objetivo que devem ser selecionados de acordo com a situação da imagem adquirida.

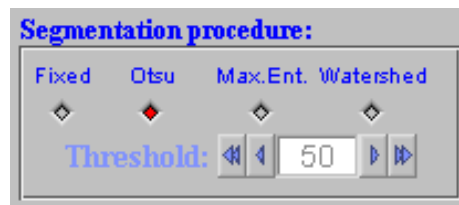


Figura 10. Algoritmos de segmentação presentes no OPSA.

Como mostrado nas Figuras 8 e 9, a análise granulométrica da camada superficial é diferente da camada inferior. Mas como o efeito de segregação das partículas sempre possui a mesma característica, uma correção empírica foi implementada no **OPSA** de forma simples e eficiente. A Figura 11 mostra os dois parâmetros que podem ser ajustados para calibrar a curva granulométrica de acordo com o laboratório, transpondo o problema de segregação. Os parâmetros Alpha

(correção da inclinação da curva) e Dc (correção da posição horizontal da curva) são as variáveis que devem ser mudadas para fazer tal ajuste.

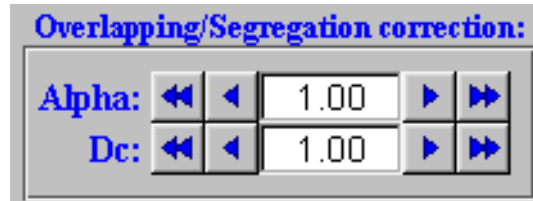


Figura 11. Parâmetros de correção de finos e sobreposição de partículas.

CONCLUSÃO

A avaliação do **OPSA** foi muito positiva, as conclusões que foram obtidas com o sistema são as seguintes:

- ✓ Concluiu-se que a tecnologia (os algoritmos) embutida no **OPSA** oferece uma boa separação das partículas para análise granulométrica
- ✓ O sistema **OPSA** é suficientemente rápido para fazer a análise granulométrica (cerca de 3 segundos para cada análise)
- ✓ A distribuição granulométrica analisada pelo **OPSA** possui boa correlação com a análise granulométrica feita pelo laboratório
- ✓ O sistema detecta as variações na característica do minério, bem como variação operacional dos equipamentos do circuito (problema com o peneiramento, problema com os britadores)
- ✓ O sistema de análise contínuo **OPSA** fornece uma medida robusta para ser utilizada juntamente com um sistema de controle para que seja executado o controle automático da britagem.

REFERÊNCIAS

- 1 Yen, Y.K., Lin, C.L. and Miller J.D., "Evaluation of a PC image-based on-line coarse particle size analyzer
- 2 Lin, C.L., 1998 "Beta Testing of On-line Particle Size Analyzer (OPSA) at National Steel Pellet Company (NSPC)
- 3 Mineral Technologies International, Inc., "OPSA – User Manual"