

UTILIZAÇÃO DE ANÁLISE DE IMAGEM PARA CONTROLE DE PROCESSOS

*Marco Aurélio Soares Martins*¹
*Cácio José da Silva*²
*Luis Albano Tondo*³
*Anatália Lara Silva*⁴
*Eramar Beckmam*⁵
*Armando José Moura*⁶
*Olivier Guyot*⁷

Resumo

A utilização de algoritmos de análise de imagem para o controle de processo é um dos mais recentes passos na tecnologia de controle otimizante. A utilização de imagens normalmente não se dá de forma direta, sendo que um algoritmo específico é utilizado para traduzir alguma informação que realmente possa ser utilizada para o controle do processo a partir da imagem em tempo real. Deste modo, a tecnologia de análise de imagens tem enorme potencial de promover ganhos operacionais quando associada a um sistema completo de controle otimizante, que geralmente inclui: sistema especialista baseado em regras, modelo físico de processo, módulo de estatísticas do processo, rede neural e lógica nebulosa. O desenvolvimento deste tipo de tecnologia vem para preencher um antigo desejo de automatizar o controle de processos com a utilização de “olhos virtuais” que reproduzissem da melhor forma possível os argumentos visuais que são utilizados para a tomada de decisões em diversas etapas do processo de tratamento de minérios. Deve ser lembrado que, em alguns casos, este era um dos principais limites encontrados no desenvolvimento de estratégias de controle de processos, pois, o recurso visual ainda era exclusivo do homem, que neste caso seria o único habilitado a tomar certas decisões.

Palavras-chave: Imagem; Controle otimizante; OCS.

Contribuição Técnica ao 60º CONGRESSO ANUAL DA ABM, de 25 a 28 de julho de 2005, em Belo Horizonte - MG.

¹ *Eng. M. Sc. e Diretor de Operações da CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

² *Eng. de Processos – CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

³ *Gerente de Desenvolvimento – Rio Paracatu Mineração*

⁴ *Eng. de Processos – Rio Paracatu Mineração*

⁵ *Chefe de Departamento Eletro Eletrônico - Rio Paracatu Mineração*

⁶ *Chefe de Departamento de Processos. - Rio Paracatu Mineração*

⁷ *Gerente de Desenvolvimento – Metso Mineral Cisa*

INTRODUÇÃO

A utilização de análise de imagem faz complementar a possibilidade de otimização do controle dinâmico de processos, onde, em alguns casos ela significa o rompimento de uma barreira anteriormente intransponível que limitava a atuação da estratégia de controle. Dentre todos os benefícios esperáveis, o mais expressivo é o de criação de uma ferramenta computacional que imita a razão humana na utilização do recurso visual para a tomada de decisões de controle de processo.

Esta ferramenta apresenta seu maior potencial quando integrada a um sistema de controle otimizador, que utilize as informações provenientes do sistema de análise de imagem para compor uma completa estratégia de controle de processos.

Tudo isto vem sendo visto de maneira cada vez mais freqüente, visto que no mundo de hoje, a indústria segue um ritmo frenético de mudança em busca da otimização dos processos produtivos. A automação de processos aparece neste contexto de maneira muito contundente para viabilizar a otimização dinâmica dos processos de tratamento de minérios, promovendo seu controle em tempo real segundo uma estratégia otimizante.

As técnicas de controle vem sendo aprimoradas constantemente e, atualmente, pode-se dizer que a tecnologia de controle otimizador de processos é uma tecnologia madura, factível e capaz de trazer ganhos significativos para o processo, em termos de qualidade dos produtos, redução de custos e aumentos de capacidade. A utilização de análise de imagem somente faz enriquecer ainda mais este quadro de possibilidades.

TÉCNICAS DE CONTROLE CONVENCIONAIS

Dentro da engenharia de controle convencional, um projeto pode ser dividido em duas classes de controle:

O controle das variáveis discretas, que efetuam os inter-travamentos de segurança dos equipamentos, o sequenciamento de partidas e paradas e a comunicação de defeitos.

O controle das variáveis analógicas tais como o controle de nível, temperatura, vazão, densidade, pressão, etc. possui muito maior complexidade que o primeiro.

Para o controle discreto, os equipamentos de controle ideais são os Controladores Lógicos Programáveis (CLP), de uso já consagrado no mercado, enquanto que para o controle analógico existem várias opções: os próprios CLP's, Controladores de Malha Única (Single loops) ou Multimalhas, SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído) e outros.

As duas técnicas clássicas de controle analógico, empregadas na maioria dos projetos convencionais, são o controle por realimentação (Feed Back Control) e o controle Antecipatório (Feed Forward Control), com predominância da primeira.

No controle por realimentação, a variável que desejamos controlar é medida através de um sensor e seu valor é comparado com o Valor de Referência (Set point). O erro serve de entrada para o controlador, cuja saída (variável manipulada) atua sobre o processo. Se a variável controlada tiver um valor acima da referência, o erro será negativo e o controlador agirá para diminuir o valor da variável controlada e vice-versa. Por isso, a realimentação é chamada de negativa, uma vez que a atuação é sempre no sentido a diminuir o erro.

A simples observação desse tipo de controle mostra que o controlador age sobre o fato já consumado. Só depois que a variável controlada foge do seu valor de referência é que o controlador atua para corrigir o erro.

No controle antecipatório, o controlador age com base no valor de referência e da perturbação medida. Quando ocorre uma perturbação, ele irá agir para evitar que a variável se afaste do valor de referência. Apesar deste tipo de controle ser mais eficiente, por agir antes que a perturbação já tenha afetado a variável controlada, é menos usado que o controle por realimentação, por ser de mais difícil implementação.

No controle por realimentação não precisamos conhecer quais são as perturbações que atuam sobre o processo e nem como estas perturbações afetam a variável controlada. Outra vantagem do controle por realimentação é que ele é universal, isto é, não depende nem do processo a ser controlado, nem do tipo de perturbação. Já o controlador do Controle Antecipatório deve ser projetado especificamente para um dado processo.

O algoritmo de controle mais utilizado em controle por realimentação é o algoritmo PID (Proporcional Integral Derivativo), que produz uma saída que é função do erro, da integral do erro e da taxa de variação do erro (da variável controlada na maior parte dos algoritmos práticos).

DEFICIÊNCIAS DO CONTROLE CONVENCIONAL

Controles de processos convencionais são baseados no estabelecimento de malhas de controle em partes específicas da indústria, onde uma saída do processo é mantida próxima ao valor do Valor de Referência pela manipulação de uma variável específica. Malhas de controle independentes são estabelecidas e calibradas para todas as saídas do processo.

Este enfoque não tem tido muito sucesso em circuitos de produção de clínquer, pelotas, moagem de cimento, processos de flotação e beneficiamento mineral em geral. Algumas das principais razões são:

- Primeiro, para operações como clínquerização, pelotização, moagem em moinho de bolas e flotação, o atraso entre as mudanças das entradas e a medida de seus efeitos nas saídas do processo tende a ser longo. Isto requer uma falta de sintonia entre as malhas de controle PID, acarretando um atraso em todo o sistema de controle.
- Em segundo lugar, há uma forte interação entre as malhas de controle, nas quais uma simples entrada afetará todas as saídas do processo. Portanto, as malhas de controle atualmente “lutam” umas contra as outras.
- Em terceiro lugar, o objetivo do controle PID é manter as variáveis de saídas próximas de um Valor de Referência pré-determinado, negligenciando a performance do processo como um todo. Esse tipo de controle não trás vantagens quando se processa matérias primas de características mais favoráveis, perdendo a oportunidade de ganhos adicionais de produtividade.
- Em quarto lugar, no caso da flotação há inúmeras situações onde a mudança de características do próprio minério faz com que ele reaja de forma completamente diferente do “normal” quando submetido ao processo de flotação, isto faz com que a mesma configuração de pedidos de níveis, por exemplo, leve a resultados

completamente diferentes de recuperação e de teor de concentrado. Este quadro exige uma imediata intervenção manual em todas as malhas, para readequar os objetivos das mesmas.

- Por último, cada malha de controle não leva em consideração o que o resto da usina está fazendo. Esta falta de controle integrado pode implicar em um desempenho mais pobre para a usina como um todo, o que leva até à desativação momentânea de algumas malhas automáticas de controle em várias situações.

SELEÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE APROPRIADO

Os seguintes critérios podem ser utilizados para seleção do sistema de controle mais apropriado:

- Se o processo é fácil de ser controlado, bem conhecido, com boas medidas das variáveis manipuladas controladas, o controle por PID é adequado.
- Se o processo é mais complexo e uma estratégia de controle pode ser definida, pode ser utilizado um controle baseado em regras ou um sistema especialista dotado de lógica nebulosa.
- Se existe um modelo fenomenológico disponível ou que possa ser desenvolvido, utilizar um sistema especialista baseado em modelo.
- Se não existe um modelo disponível e o processo possui controle difícil, utilizar uma rede neural ou controle multivariável.
- Se o processo possui uma rica relação de aspectos visuais com a performance do mesmo, em uma ou várias operações unitárias, deve-se optar por um sistema que integre controle otimizante com o uso de análise de imagem.
- Se nenhuma destas situações é adequada, talvez, conceber novamente o processo.

SISTEMA DE CONTROLE OTIMIZANTE – PREENCHENDO A LACUNA

A ferramenta de controle otimizante deve utilizar conceitos de automação, inteligência artificial e algoritmos avançados de modelamento de processo com o objetivo de suprir as deficiências do controle convencional. Mesmo os sistemas especialistas, sendo ferramentas típicas da área de automação, são o nível de controle mais acessível à equipe de processo. Esta particularidade dos sistemas especialistas é essencial para que os projetos de implantação sejam bem sucedidos.

O sistema de controle otimizante possui recursos de programação que o possibilita imitar a razão humana, dando pesos diferente aos diversos fenômenos que ocorrem ao mesmo tempo. Isto não quer dizer que ele necessariamente agiria da mesma forma que um ser humano, pois, ele apresenta uma grande vantagem que é a de estar monitorando todas as variáveis do circuito a todo instante, predizendo as perturbações que podem ser causadas às variáveis controladas (itens de controle ou objetivos) e atuando antes que ocorram os desvios. Outra vantagem é a grande capacidade de processar cálculos complexos que servem para suportar poderosos algoritmos de predição, que dão ainda mais robustez ao sistema.

Os processos minerais são sistemas complexos não lineares, influenciados por inúmeros fatores. A otimização contínua da qualidade, tonelagem e a obtenção de menores custos geralmente resultam em significativos ganhos de lucratividade.

Estratégias de controle complexas não podem ser implementadas convenientemente utilizando tecnologia convencional de controle. Os sistemas de controle otimizante podem ser desenvolvidos tão flexíveis quanto necessário.

Grande parte do conhecimento do processo não pode ser apreendida através do controle convencional e a tecnologia de controle otimizante oferece numerosas alternativas para isto, principalmente com a utilização de modelos físicos do processo e com a utilização da análise de imagens em tempo real.

A análise de imagens serve então para complementar toda esta tecnologia de controle otimizante de processos, servindo de olhos do processo, onde a utilização do argumento visual deixa de ser exclusividade do homem. É muito válido salientar que os algoritmos de análise de imagem não possuem um padrão único, sendo que a sua resposta em termos de cálculo depende inteiramente do processo que se deseja controlar, pois, este é que define qual ou quais variáveis devem ser obtidas pelo algoritmo de análise da imagem. Estas variáveis podem ser cor, distribuição de tamanhos, textura, velocidade de fluxo, etc.

APLICAÇÃO DO CONTROLE OTIMIZANTE UTILIZANDO ESTRUTURA DE ANÁLISE DE IMAGEM PARA O CONTROLE DE PROCESSOS.

O Brasil é hoje, sem dúvida alguma, uma das referências mundiais no que diz respeito à tecnologia de tratamento de minérios e de seu controle dinâmico. Temos diante deste quadro inúmeros exemplos de utilização de análise de imagem para controle de processos. Temos exemplos onde a automação é parcial, sendo que a resposta do algoritmo é utilizada como informação adicional para a equipe de operação, por exemplo, o sistema de análise de imagem apresenta um resultado de distribuição granulométrica e a equipe de operação decide seus caminhos levando em conta esta informação em tempo real. Outra modalidade é a de sistemas que absorvem um nível de autonomia bastante elevado no que diz respeito às decisões de controle a serem tomadas. Neste caso, o sistema efetua a captura da imagem em tempo real e processa o algoritmo que lhe fornece informações complementares que são utilizadas em sua estratégia de controle otimizante.

O desenvolvimento deste tipo de estrutura de software e hardware para captura e análise de imagem chegou a tal ponto de hoje ser possível fazê-lo utilizando-se de câmeras web e transmissão via cabos USB. Permitindo instalações de baixo custo de implantação e manutenção e de alto nível de qualidade.

Abaixo temos ilustrações simplificadas que representam estes dois níveis para este tipo de sistema, sendo é claro, que existe uma série de possibilidades entre um e outro.

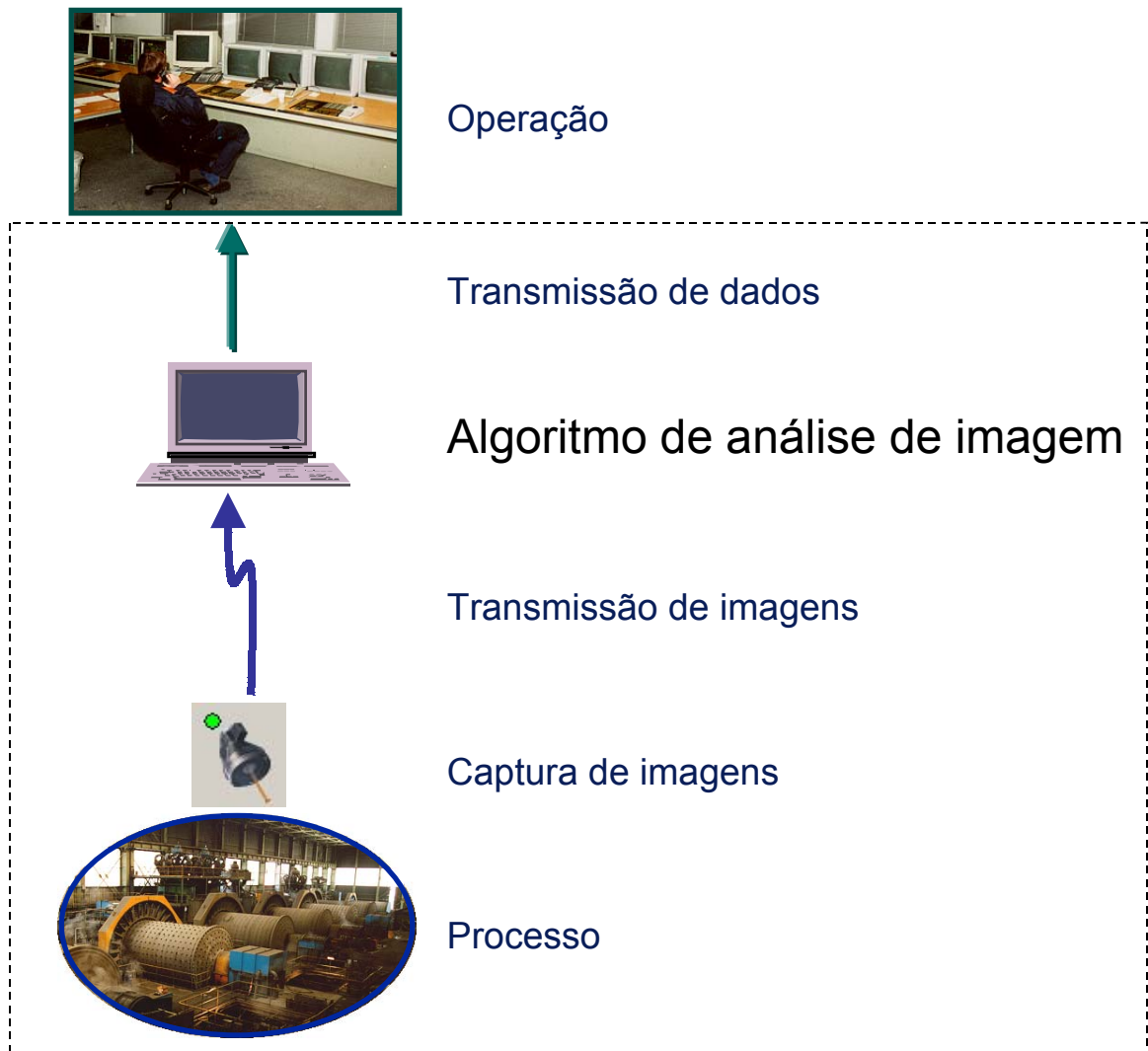


Figura 1. Representação esquemática de uma estrutura semi-automática de utilização de análise de imagem para o controle de processo.

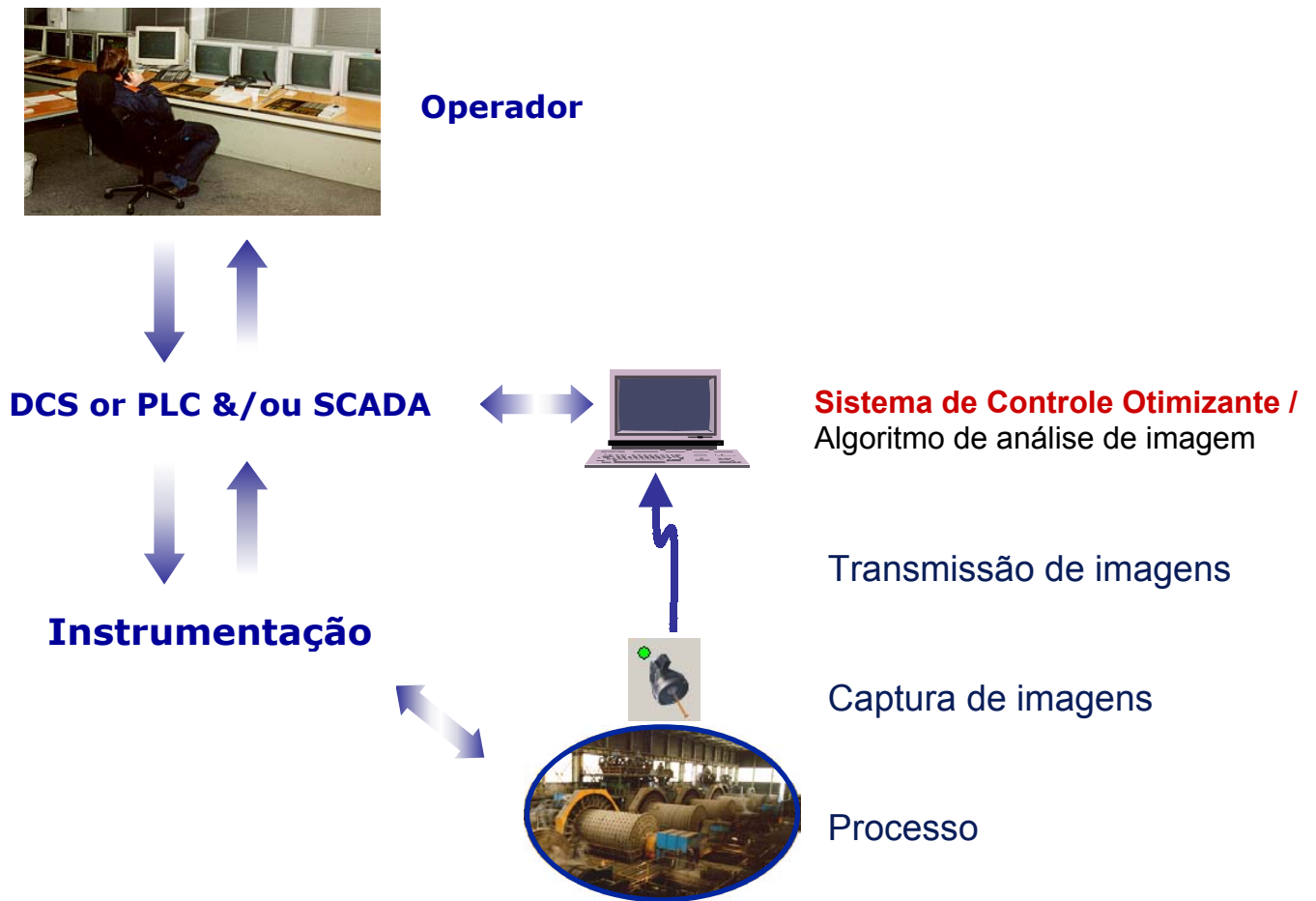


Figura 2. Representação esquemática da estrutura automatizada de controle otimizante integrada ao sistema de captura e análise de imagem.

Atualmente a Rio Paracatu Mineração - RPM, situada na cidade de Paracatu em Minas Gerais, é um dos melhores exemplos de utilização de sistemas deste nível. Esta empresa possui um sistema que faz uso de 10 câmeras para o controle de uma parte do circuito de flotação. Esta instalação é do mais alto nível de autonomia para tomar decisões para o controle do processo e sem dúvida merece ser destacada. A instalação atual é provisória e foi feita em caráter de teste de validação da tecnologia, por fim, a avaliação foi bastante favorável e a empresa já viabiliza a instalação da versão definitiva com um número bem maior de câmeras. A versão definitiva trará um nível ainda mais elevado de autonomia de controle, visto que, agora poderá abranger uma análise global do processo bem mais rica em detalhes.

Em resumo, o sistema que opera atualmente na RPM é o mais puro retrato da condição de topo que a tecnologia de controle de processos de tratamento de minérios apresenta no Brasil de hoje, sendo que, este sistema possui poucos similares no resto do mundo.

SISTEMA DE CONTROLE PARA TODA A PLANTA

A lucratividade de uma indústria como um todo é função da tonelagem produzida, da qualidade do produto final, da utilização otimizada de energia e dos custos operacionais.

A otimização na indústria é a utilização da tecnologia para maximizar o lucro global, quando isto depende de vários objetivos localizados, associados às várias etapas da cadeia produtiva.

A otimização da indústria como um todo determina Valores de Referências locais simultaneamente para várias áreas da cadeia produtiva, levando em consideração todas as restrições conhecidas. O fator limitante tipicamente não se origina sempre da mesma parte da indústria.

A evolução a partir da “otimização localizada” para a otimização global reflete uma percepção mais integrada do sistema de produção.

Atualmente temos então uma nova possibilidade que é a utilização da análise de imagem para o controle de processos, que possui inúmeras possibilidades de aplicação e torna possível a criação de estratégias de controle de processos para certas etapas antes exclusivas do homem. Os sistemas de análise de imagem podem hoje ser utilizados até mesmo para o controle de adição de corpos moedores, incluindo ainda a possibilidade de controle de processos de flotação, processos de cominuição e uma série de outros onde a utilização do recurso visual é praticado pelos operadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Martins, M.A.S & Seixas, F. (1992) – “Avanços no Controle e Supervisão de Processos Minerais”.
- 2 Libaude, J., Morizot, G., Morin, D., Guillaneau, J.-C., “New Technological Developments in Mineral Processing”, Asian Mining, 1993, Índia.
- 3 Guillaneau, J.-C., Durance, M. V., Villeneuve, J., Brochot, S., Fourniguet, G., “Simulation Improvements in Mineral Processing”, Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 1995, Vol. 15, pp. 205-215
- 4 Control of Mineral Processing Systems – Svedala-Brenda Process Technology-Orlando, Florida – Março 1998
- 5 Herbst, J.A. & Oblad A.E., “Industrial Results Using Model-Based Expert System Control of Mineral Processing Plants”.
- 6 Herbst, J.A. & Rajamani, K. (1982) – “The Application of Modern Control Theory to Mineral-Processing Operations”. Proceedings, 12th CMMI Congress. Johannesburg, S. Africa.
- 7 Vien, A., Edwards R.P., Perry, R., e Flintoff B.C. (1996) – “Back to the Basics in Process Control”.

USE OF IMAGE ANALYSIS FOR PROCESS CONTROL

*Marco Aurélio Soares Martins*¹
*Cácio José da Silva*²
*Luis Albano Tondo*³
*Anatália Lara Silva*⁴
*Eramar Beckmam*⁵
*Armando José Moura*⁶
*Olivier Guyot*⁷

Abstract

The use of image analysis algorithms for the process control is one of the most recent steps in the technology of optimizing control. The use of images is not usually made directly and a specific algorithm is used to translate some information which can really be used for the control of the process, starting from the image in real time. This way, the technology of image analysis has a big potential of providing operational gains when associated to a complete optimizing control system, usually including: expert system based on rules, process physical model, statistics of the process, neural network and fuzzy logic. The development of this type of technology match an old desire of automating the control of processes with the use of "virtual" eyes that reproduce in the best possible way the visual arguments used for some decisions in several stages of the process for treatment of ores. It should be reminded that it was one of the principal limits found in the development of control strategies, since the visual resource was still a human being exclusive resource, in this case the only responsible for certain decisions.

Key-words: Image; Optimizing control; OCS.

Technical Contribution to 60th ANNUAL CONGRESS OF ABM – July-2005, 25 - 28, Belo Horizonte – Brazil.

¹ *M. Sc. and Operations Director - CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

² *Process Engineer – CEMI – Consultoria em Engenharia Mineral*

³ *Development Manager – Rio Paracatu Mineração*

⁴ *Process Engineer – Rio Paracatu Mineração*

⁵ *Boss of Department Electronic Eletro - Rio Paracatu Mineração*

⁶ *Boss of Department of Processes. - Rio Paracatu Mineração*

⁷ *Development Manager – Metso Mineral Cisa*