

OPERAFLLOT

SISTEMA AVANÇADO DE OTIMIZAÇÃO E CONTROLE PARA A FLOTAÇÃO INVERSA DE MINÉRIO DE FERRO¹

Alexis Yovanovic²
Renato de Almeida Soares³
Danilo Ribeiro Gomes⁴

Resumo

O artigo apresenta o sistema Operafplot, software avançado para a otimização e controle de circuitos de concentração de massa mediante flotação, desenvolvido no Brasil e já testado industrialmente para a concentração de finos de minério de Ferro. O sistema une um modelo fenomenológico (Modelo Operacional) com técnicas de inteligência computacional. O objetivo do trabalho é descrever como este sistema foi gerado, como atua e suas fases de implantação nas usinas de beneficiamento. São descritos os fundamentos que dão base aos modelos utilizados. Também, é explicado o sistema de interface do programa e a forma como o circuito é avaliado, em tempo real, gerando as atuações de controle. A primeira experiência industrial em 2006, ainda como protótipo, comprovou ganhos de 10% na recuperação mássica de Ferro e diminuição nas dosagens de reagentes. A consolidação veio em 2008, quando o sistema chegou a sua versão final, totalmente em sistema automático e remoto. O teste para se quantificar os ganhos foi realizado industrialmente pelo próprio Cliente. Relatório final (ABM 2008, São Luís, MA) acabou confirmando os altos valores observados no teste de 2006. A mineração conta com um novo produto, de desenvolvimento local, devidamente comprovado e pronto para ajudar na tarefa de otimizar e controlar processos de beneficiamento mineral.

Palavras-chave: Sistema de controle; Otimização de processos; Flotação.

OPERAFLLOT: ADVANCED SYSTEM OF OPTIMIZATION AND CONTROL FOR IRON ORE INVERSE FLOTATION

Abstract

The article presents the system OPERAFLOT, software for advanced control and optimization of mass concentration by flotation circuits, developed in Brazil and already industrially tested for fine iron ore concentration. The system combines a phenomenological model (Modelo Operacional) with computational intelligence techniques. The objective of this work is to describe how this system was created, how it operates and its implementation phases in the concentration plants. The fundamentals on which are based the utilized models are described. The system interface of the program and how the circuit is evaluated, in real time, generating the control actions, are also explained. The first industrial experience, in 2006, still as a prototype, proved gains of 10% in the mass recovery and reduction of reagent consumption. The consolidation came in 2008, when the system reached its final version, fully automatic and remote. The test to quantify the gains was done industrially by the Client. Final report (ABM 2008, São Luís, MA) have just confirmed the high values observed in 2006 test. The mineral field has a new product, locally developed, duly established and ready to help in the task of optimizing and controlling mineral beneficiation processes.

Key words: Control system; Process optimization; Flotation.

¹ Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.

² Diretor Técnico, MOPE - Modelo Operacional Ltda.

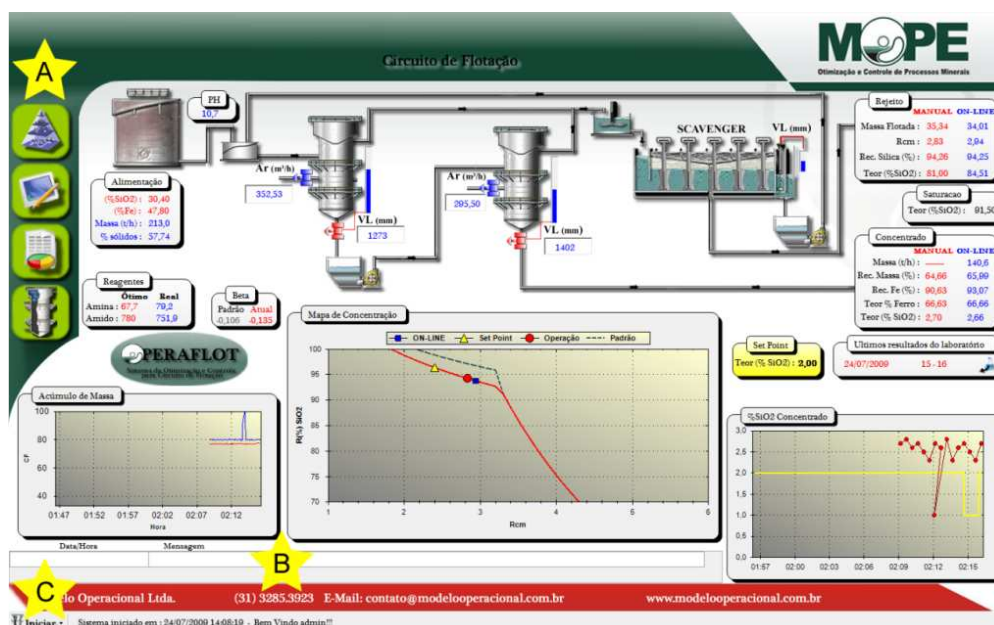
³ Engenheiro de Software, MOPE - Modelo Operacional Ltda.

⁴ Formando em Engenharia de Controle e Automação, MOPE - Modelo Operacional Ltda.

1 INTRODUÇÃO

O sistema Operafлот faz parte da linha de soluções Opera, desenvolvida pela MOPE (Modelo Operacional Ltda.) para a otimização e controle de diversas operações unitárias de beneficiamento mineral, misturando um modelo fenomenológico com técnicas de automação e controle e de inteligência computacional.

O sistema Operafлот consiste de um software que, utilizando como fundamento fenomenológico o Modelo Operacional, permite controlar o circuito de flotação para manter a condição ótima de processamento definida pelo modelo, durante a maior parte do tempo quanto possível. Possui uma série de funcionalidades que permitem ao operador da planta acompanhar o controle realizado pelo sistema bem como outras facilidades que auxiliam no monitoramento da operação, inclusive o balanço de massas e metalúrgico, em tempo real.



a) Barra de seleção de tela: seleciona qual interface gráfica a ser apresentada; b) Mensagens: apresenta mensagens relevantes para o acompanhamento da execução do sistema; c) Menu Iniciar: disponibiliza a administração das contas de usuários, e dá acesso ao menu de configurações do sistema.

Figura 1. Interface do sistema avançado de controle e otimização Operafлот.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O Modelo Operacional propõe uma analogia com a transferência de massa dos processos químicos, sugerindo o estudo dos processos de transformação mineral sob o ponto de vista dos processos de transferência macromolecular de massa (partículas, grãos), tal como os processos de massa molecular são estudados em Engenharia Química, ou seja, se perguntando **como as partículas se comportariam se fossem moléculas?** Conhecendo esta condição, o operador pode mudar o circuito, promovendo o fluxo de massa a partir desta importante orientação. O modelo não simula condições operacionais aleatórias, mas define o caminho ótimo, ou seja, trata-se de um modelo de otimização, e não de simulação. Este modelo é macro fenomenológico porque define novos mecanismos que podem ser medidos para descrever os fenômenos envolvidos; é operacional porque incorporou a ação do operador no âmbito das equações que descrevem os

processos.^(1,2) O modelo também é otimizante, uma vez que determina as condições ideais para a operação e permite que o operador (ou o sistema de controle automático) atue continuamente no processo levando-o até as condições otimizadas de cada momento, em tempo real.

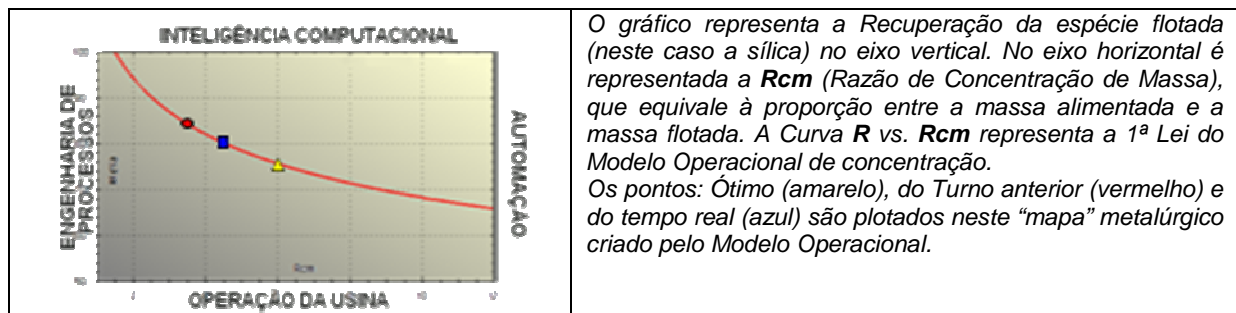


Figura 2. Curva de seletividade segundo modelo operacional.

Como ilustrado na Figura 2r, as atitudes de controle levam o ponto real (azul) constantemente para o amarelo (ótimo) e, conseqüentemente, os valores efetivos de cada turno, acompanhando as atuações de controle.

As funcionalidades mais importantes do Operafлот são as seguintes:

- antecipação de distúrbios – acompanhamento da seletividade do minério;
- estabilidade operacional;
- adaptação para diferentes opções de arranjo;
- balanços de massa e metalúrgico em tempo real;
- atuação automática (orientação ao operador) ou remota (sem operador);
- alarmes para indicar situações excepcionais dentro do processo;
- controle de qualidade do produto – manutenção do set-point do teor de sílica nos concentrados;
- tela de Indicadores de desempenho, em tempo real;
- relatórios de avaliação e desempenho; e
- simulador estático para testar condições de operação e de set-point, sem necessidade de atuar diretamente na usina.

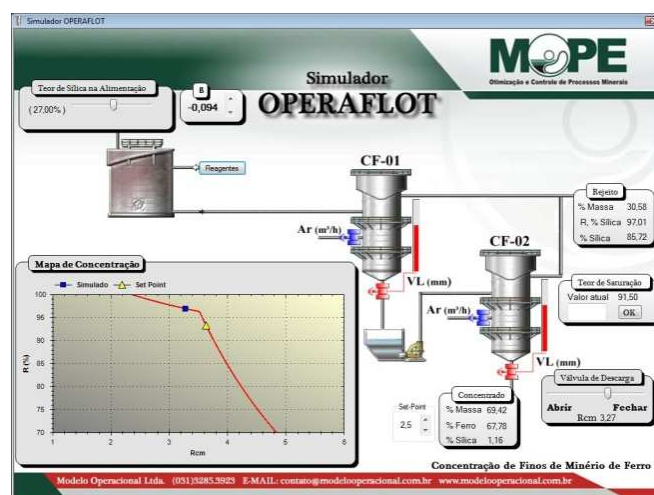


Figura 3. Interface do simulador estático Operafлот.

2.1 Aquisição de Dados

A leitura de informações operacionais da planta industrial é fator determinante para o perfeito funcionamento do sistema. Os dados de processo devem ser confiáveis e livres de interferências externas. Neste ponto, destaca-se a grande importância da equipe de campo e instrumentação para garantir a integridade dessas informações.

2.2 Variáveis Físicas

O fluxo de informações físicas é gerenciado pelo servidor OPC, padrão de comunicação aberto para automação industrial. O servidor OPC da usina permite o acesso direto aos endereços de memória dos PLCs (*Programmable Logic Controller*) e sua taxa de atualização é determinada pelos parâmetros do software (operando com um período de atualização de alguns segundos). As variáveis integrantes do sistema são selecionadas pela MOPE, de acordo com a sua disponibilidade, para cada usina/circuito onde o OPERAFLOT seja implantado.

2.3 Variáveis Químicas

As informações de laboratório, representadas pelos teores químicos de amostragens de alimentação, rejeito e concentrado, são atualizadas no sistema de forma automática pelo sistema PIMS (*Plant Information Managment System*), responsável por coletar os dados químicos do LIMS (*Laboratory Information Management System*) e armazená-los no banco local do sistema. O atraso na atualização dos valores químicos no sistema é cerca de 10 minutos a partir da disponibilização da informação no LIMS. Quando a atualização automática do PIMS não estiver sendo executada, porém existem resultados de laboratórios no LIMS, estes podem ser informados manualmente.

2.4 Inserindo Dados Químicos Manualmente

Ao acionar o ícone, é exibida a tela para entrada manual dos dados químicos, onde aparece a data, período atual e os devidos espaços para se digitar os teores de sílica e ferro na alimentação, concentrado e rejeito.

2.5 Processamento de Informações

O processamento das informações é realizado em diversas etapas onde modelos empíricos e fenomenológicos avaliam as condições operacionais do momento, determinando o ponto de operação atual e o ponto ótimo a ser atingido (pontos R/Rcm do mapa). Os ciclos de processamento são acionados por temporizadores que disparam a execução das rotinas de cálculo.

Os principais ciclos são:

- leitura de dados e fechamento de balanço (5 segundos);
- atualização de set-points de controle (15 minutos);
- escrita de saídas nos PLCs (valor usual de 1 minuto);
- verificação de alarmes (valor usual de 5 minutos);
- armazenamento de variáveis no banco local (valor usual de 1 minuto); e
- aviso de *watchdog* (valor usual de 1 minuto).

O aviso de *watchdog*, um timer que verifica se o sistema está recebendo os dados da planta, informa ao supervisor que o Operafлот está ligado, caso a escrita não seja realizada em um prazo de 5 minutos o supervisor assume que houve queda de comunicação com o Operafлот e transporta todas as malhas em remoto para o automático com o último set-point informado remotamente.

2.6 Atuações de Controle

As variáveis da planta que são controladas para cada circuito são: Dosagem de reagentes; vazão de ar (quando possível) e válvulas de descarga das células de flotação. O sistema reconhece automaticamente os set-points atuais da planta, quais as malhas de controle ativas nas válvulas de descarga (por pressão ou bóia) e como elas estão operando (manual/automático) e determina as atualizações a serem realizadas. O intervalo para a atualização dos set-points é de 15 minutos, ou seja, a cada vencimento do período os set-points de controle são ajustados para que o ponto de operação atual se aproxime do ponto ótimo determinado disponibilizando estas informações de forma gráfica e no servidor OPC.

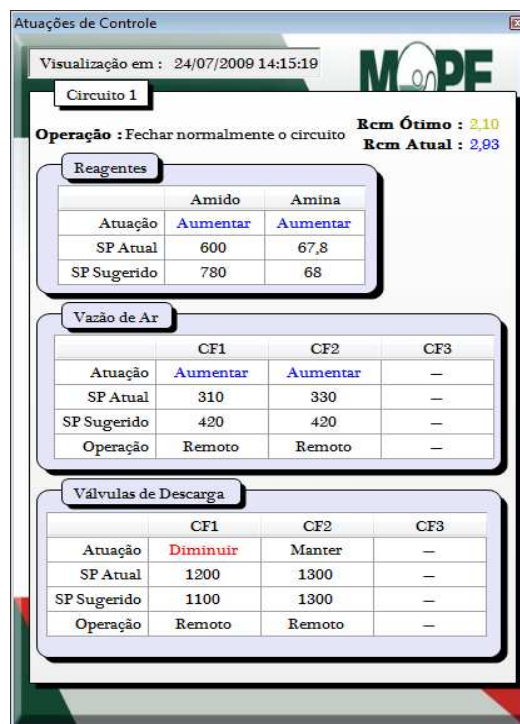


Figura 4. Janela de atuações de controle.

A arquitetura da solução faz interface com o sistema de laboratórios pelo sistema PIMS para a coleta automática de resultados laboratoriais. Existe também uma interface gráfica para o acompanhamento da operação e a comunicação direta com os PLCs da planta de flotação para a leitura e escritas das variáveis de processo. Um banco de dados local faz o registro das informações relativas ao sistema Operafлот.



Figura 5. Arquitetura do sistema Operaflot.

2.7 Fases de Implantação

Fase 1 - Operação Totalmente Manual: Os dados químicos são alimentados manualmente pelo operador. O sistema define as ações de controle e as repassa, de hora em hora, como orientação para o operador.



Figura 6. Fase 1, Operação totalmente manual.

Fase 2 - Operação Manual, recebimento remoto de dados: Os dados físicos e químicos são recebidos remotamente. O sistema define as ações de controle e as repassa, de hora em hora, como orientação para o operador.



Figura 7. Fase 2, Operação manual com recebimento remoto de dados.

Fase 3 - Operação Manual, com auxílio de uma RNA (Rede Neural Artificial): O recebimento de dados físicos e químicos é feito remotamente. O sistema define as ações de controle e as repassa de 15 em 15 minutos, como orientação ao operador.



Figura 8. Fase 3, Operação manual com auxílio de uma RNA.

Fase 4 - Operação Remota Automática, com auxílio de uma RNA: Os dados físicos e químicos são recebidos remotamente. O sistema define as ações de controle e atua remotamente, de 15 em 15 minutos, diretamente nas variáveis de controle.



Figura 9. Fase 4, Operação remota automática com auxílio de uma RNA.

Fase 5 - Operação Remota Automática, com auxílio de Rede Neural e Exportação via Web Server: Os dados físicos e químicos são recebidos remotamente. O sistema define as ações de controle e atua remotamente, de 15 em 15 minutos, diretamente nas variáveis de controle.

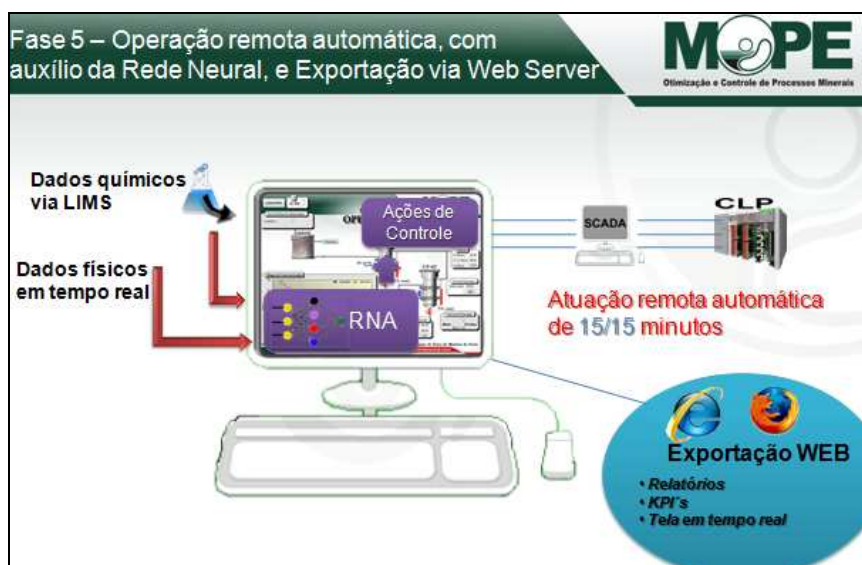


Figura 10. Fase 5, Operação remota automática com auxílio de uma RNA e Exportação via Web Server.

3 RESULTADOS

É apresentada a avaliação industrial final do sistema, operando em sistema remoto (sem intervenção do operador) durante o mês de fevereiro de 2008, junto com uma avaliação histórica sobre os ganhos já comprovados, como produto da aplicação dos conceitos do Modelo Operacional na unidade de Vargem Grande (VALE).

Os testes finais de avaliação foram planejados, executados e avaliados em conjunto com a equipe de operação da usina, atendendo ao pedido especial da

gerência de Operações de Vargem Grande, visando quantificar os ganhos auferidos junto com a implantação desta nova tecnologia.

Ainda sem considerar diversos outros benefícios auxiliares proporcionados pelo sistema (balanços on-line, mapa de operação, liberação de tempo do operador, etc.), os seguintes ganhos quantificados e comprovados podem ser imputados à decisão gerencial de implantar o sistema (na época chamado de iFlot) no circuito de flotação da usina de Vargem Grande.

3.1 Desde 2006 até Hoje

Parcialmente, devido à introdução de novos conceitos de operação e de engenharia de processos (Modelo Operacional) na usina de flotação de Vargem Grande, que permitiram uma evolução operacional na usina, com baixas dosagens de reagentes e com equilíbrio otimizado das colunas de flotação.⁽³⁻⁶⁾

- 33% de redução no consumo de Amina: 75 g/t, nos anos 2005/2006, para uma média atual próxima de 50g/t;
- 45% de redução de Amido: 1200 g/t, nos anos 2005/2006, contra uma média de 660 g/t nos dias de hoje;
- 10% de maior produção de massa concentrada, no teste do protótipo; E
- Melhorias na operação rotineira, devido ao incremento da qualidade de operação da usina, incluindo nisso o aprendizado dos operadores, a estratégia operacional introduzida pelo Modelo Operacional, correta utilização das colunas Scavenger, treinamento de processos aos operadores etc.

3.2 Ano 2008 - Operando Integralmente com o iFlot

Além dos benefícios anteriores, e como foi comprovado durante o mês de fevereiro de 2008,⁽⁷⁾ confirmando os resultados obtidos em Abril de 2006, o iFlot, como sistema de controle otimizador (software de controle avançado), integrando ferramentas de inteligência computacional em apoio aos novos conceitos fenomenológicos do Modelo Operacional, durante teste ON/OFF de 2 semanas, apresentou um ganho de 10% de produção de massa concentrada, quando comparado com a operação rotineira manual da usina (automático remoto vs. operação manual).

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A operação da usina mostra que não é possível deixar o iFlot operando 100% do tempo em remoto, como seria desejável, devido a problemas rotineiros de manutenção, entupimento de colunas, faixa muito estreita de operação de válvulas – devido ao deficiente sistema de controle e outros diversos imponderáveis de operação (queda de compressores, falta de reagentes, perda de referência de abertura de colunas – muito freqüente, erros de amostragens etc.). Os ganhos observados durante o teste final correspondem a esta condição.

O sistema não foi desenvolvido para substituir o operador, mas para ajudá-lo a operar com maior rapidez, com melhor desempenho metalúrgico e economia, além de outras numerosas funcionalidades de apoio. Por sua parte, o Operaflot faz apenas o que o operador lhe autorizar. O operador pode avançar até valores de variáveis onde o sistema está impedido, pois ele possui total liberdade para operar manualmente por fora destas limitações.

A estratégia fenomenológica introduzida pelo Modelo Operacional possui soluções para diversas outras operações unitárias na área de beneficiamento mineral, como Moagem, Separação Magnética e outras, no âmbito da engenharia de processos.

5 CONCLUSÕES

Não apenas fica justificado o investimento no desenvolvimento deste novo sistema, desde 2006, mas também fica comprovada a necessidade de manter em operação o sistema iFlot na usina de Vargem Grande, o qual, em ajuda aos operadores, permite uma significativa recuperação adicional de massa concentrada, além de diversos outros benefícios.

Agradecimentos

A MOPE gostaria de agradecer às dezenas de pessoas que participaram direta ou indiretamente neste desenvolvimento e na sua aplicação industrial. Todas elas foram fundamentais. Em particular, pela decisão gerencial de incorporar uma nova tecnologia dentro da usina, devemos citar ao Gerente Geral de processos de Vargem Grande (MBR, na época) Emir Birro de Castro e também ao Diretor Marcelo Fenelon o qual, na época de aquisição da MBR por parte da VALE, deu prosseguimento a este projeto. Os técnicos da usina, como Eliezer Felipe, o supervisor William Clara e todos os chefes de turno, cujos importantes conhecimentos e experiência foram incorporados ao sistema. Finalmente, aos colegas da empresa Arte&Byte, que tiveram a gentileza de convidar a nossa equipe de processos e incorporar o Modelo Operacional como a alma do novo sistema de controle aqui desenvolvido. Sempre seremos gratos a todos eles.

REFERÊNCIAS

- 1 YOvanovic, A.P., Engenharia da Concentração de Massa por Flotação, Volume I: Fundamentos da Flotação, Editado por Alexis Yovanovic, 2004, Brasil.
- 2 YOvanovic, A.P., Flotation as an Operation of Macromolecular Mass Transfer, in: Centenary of Flotation 2005 Symposium, Brisbane, Australia, 5-9 June 2005, pp. 651-657
- 3 "Controlando a planta em tempo real", **Revista Minérios & Minerais** Nº 288, Maio/Junho 2006
- 4 YOvanovic A.P., CARVALHO D.H.D., DE CASTRO E.B., RIBEIRO F.S., FELIPE E.A., MARINHO E., REZENDE F. Modelagem e Otimização de um Processo de Flotação Utilizando Ferramentas de Inteligência Artificial. In: X Seminário de Automação de Processos da ABM, Hotel Ouro Minas, Belo Horizonte, 04 a 06 de outubro 2006
- 5 YOvanovic A.P., ARAÚJO A.C., DE CASTRO E., CARVALHO D.H.D. Modelo Operacional and Computational Intelligence: A New Approach to Mineral Processing Optimization, In: APCOM 2007, Santiago, Chile, April 24-27, 2007
- 6 YOvanovic A.P. "Sistemas Avançados de Otimização e Controle na Área Mineral", in: XXII ENTMME / VII MSHMT – XXII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia - VII Encontro do Hemisfério Sul Sobre Tecnologia Mineral, Ouro Preto-MG, novembro 2007
- 7 CASTRO, E.B.; HORTA, F.I.; CRUZ, M.R.; Vargem Grande Plant Flotation Process Optimization: iFlot System, 2nd International Symposium on Iron Ore, September 22 - 26, 2008, São Luís City - Maranhão State - Brazil.