

UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE IMAGEM NO CONTROLE DA FLOTAÇÃO¹

Marco Aurélio Soares Martins²

Hugo Montalvão Gontijo³

Plínio Cruz Gianeli⁴

Mônica Guimarães Vieira⁵

Resumo

A flotação é uma operação largamente empregada no processamento mineral devido a sua capacidade de recuperar minerais de interesse de forma muito eficiente. Muitas vezes a flotação é responsável pela viabilização de exploração de depósitos minerais de baixa concentração. Esta operação é baseada na diferença de interação físico-química superficial das partículas presentes no minério com a polpa e com o ar injetado. Na flotação ocorrem diversos processos internos, sendo que alguns deles até hoje não foram explicados cientificamente. Devido a este fato não existem modelos que podem ser largamente empregados para o controle de uma flotação. Assim, na maioria dos casos o controle é feito a partir dos operadores experientes que são capazes de classificar os tipos de espuma visualmente em categorias diferentes, para cada uma das quais está associada uma estratégia de funcionamento. Diante desta situação a análise de imagem se configura como uma solução que já vem sendo empregada de diversas formas. No presente trabalho é apresentada uma estratégia simples de controle baseada na cor da espuma numa flotação direta de um metal não-ferroso. Além disso, revelar a base teórica do método, os pontos críticos, as dificuldades e melhorias que podem ser viabilizadas. Verificou-se que a cor vermelha apresentou a mesma tendência da curva de teor no concentrado. Então introduziu-se no controle otimizando a utilização deste dado, que é fornecido on-line. O teor de laboratório é utilizado para calibração do set point de cor. Desta maneira foi possível acompanhar em tempo real a tendência de enriquecimento e empobrecimento da espuma numa flotação direta de um mineral não-ferroso. Foi possível estabelecer uma estratégia de controle baseada em dados de aquisição simples e on-line. Como resultado foi obtido um aumento de produtividade de 10%. Análise de imagem, flotação, controle otimizando.

APPLICATION OF IMAGE ANALYSIS IN FLOTATION CONTROL

Abstract

Flotation is an operation widely used in mineral processing because of its ability to recover minerals of interest very efficiently. Often flotation is responsible for making possible the exploitation of mineral deposits of low concentration. In flotation various processes phenomena occur, some of which have still not been explained scientifically. Due to this fact, there are no models that can be widely applied in flotation control. Thus, in most cases the control is done by experienced operators who are able to visually classify the types of foam into different categories and each one of them is associated with an operating strategy. In this situation, image analysis is configured as a solution that has already been employed in several ways. In this paper a control strategy based on the colour of froth on a direct flotation of a nonferrous metal is presented. Moreover, the paper reveals the theoretical basis of the method, the critical points, difficulties and improvements that can be implemented. Data of grade were collected from the mineral of interest and RGB (red, green and blue) data of final concentrate of the froth. It was verified that the red colour showed the same trend of the grade curve in the concentrate. Thus the use of this online data in optimising control was introduced. The laboratory grade is used to calibrate the colour set point. Therefore it was possible to monitor in real time the trend of enrichment and depletion of a non-ferrous mineral in a flotation. It was possible to establish a online control strategy based on simple data acquisition. The result was a productivity increase of 10%.

Image analysis, flotation, optimizing control Key words:

¹ Contribuição técnica ao 16º Seminário de Automação e TI Industrial, 18 a 21 de setembro de 2012, Belo Horizonte, MG.

² Engenheiro de Minas. Diretor de Operações. CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia, Belo Horizonte, Minas Gerais.

³ Engenheiro de Controle e Automação. Gerente de Automação CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia, Belo Horizonte, Minas Gerais.

⁴ Engenheiro de Minas. Gerente de Processos. CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia, Belo Horizonte, Minas Gerais.

⁵ Engenheira Química. Consultora Técnica. CEMI – Tecnologia de Processos e Engenharia, Belo Horizonte, Minas Gerais.

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda de recursos naturais não-renováveis e o esgotamento das jazidas com teores mais elevados definem a indústria da mineração frente o desafio para processamento de minérios mais complexos e tendo de atender às especificações de mercado, que são cada vez mais restritas.⁽¹⁾ A perda para o rejeito é um fator importante na decisão se uma aplicação é viável ou não para ser explorada. A quantidade de rejeitos depende muito da disseminação e da mineralogia do minério e também da tecnologia disponível para alcançar uma concentração eficaz. Sob este cenário, novos equipamentos e técnicas para a concentração de minérios têm sido desenvolvidos nos últimos anos.

Neste contexto, a flotação desempenha um papel importante desde que seu desenvolvimento permitiu a exploração de muitos depósitos de baixa qualidade que antes não eram viáveis para o beneficiamento.⁽²⁾ Além disso, a partir da sua evolução é possível reduzir as perdas, gerando rentabilidade aumentada e reduzidos passivos ambientais.

A flotação consiste em vários fenômenos que ocorrem em uma escala microscópica e até hoje eles não são totalmente entendidos cientificamente. Em geral, a flotação pode ser descrita como um processo em que há uma fase consistida de minerais com características de interação superficiais diferentes com um dado fluido. Portanto, um constituinte é removido em uma concentração mais elevada em nesse fluido, devido à aderência da sua superfície com o mesmo. Quando não há diferença marcante destas características de superfície, ela pode ser induzida pela adição de reagentes específicos. Ajustando as características da polpa com reagentes é possível fazer um mineral se tornar hidrofóbico e outro hidrofílico.

Operações de flotação devem ser conduzidas da forma mais eficiente possível, uma vez que em alguns casos, é uma das operações que exige maiores investimentos. Por exemplo, numa unidade de concentração de cobre, a flotação representa 16,2% dos custos de processamento, vindo em terceiro lugar na lista de despesas do processamento. Assim, é uma fonte significativa de redução de custos em uma planta, o que requer métodos de aplicação de controle de processo.

O controle por um sistema especialista com lógica fuzzy é muito adequado para a flotação, pois reproduz as estratégias de controle realizadas por um operador experiente. A lógica fuzzy é baseada na adoção de incrementos em pontos de ajuste que são calculados por meio de uma avaliação de uma variável do processo configurada no sistema, tal como ilustrado na Figura 1.

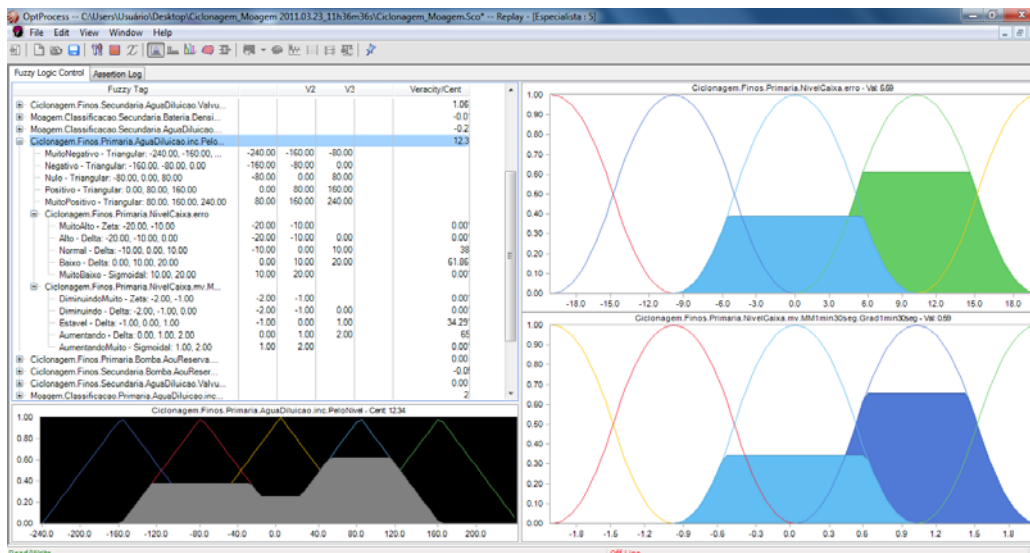


Figura 1: Gráficos de controle fuzzy.

Variáveis relacionadas com a eficiência da operação são relacionadas com as partículas e as características da polpa. As partículas a serem separadas por flotação diferem principalmente em três aspectos: tamanho, liberação e grau de revestimento químico. Além da flotabilidade da partícula, outras variáveis influenciam a eficácia da operação como a homogeneidade da polpa no tempo de residência, distribuição de tamanho de bolhas e tensão superficial da polpa.

O estado destas variáveis é difícil de determinar, sendo mais facilmente detectado pela análise da estrutura da espuma. Através desta análise, podem-se identificar os efeitos sobre o teor e a recuperação de minerais de interesse. Estes efeitos são bem conhecidos por operadores de processo experientes, que agem no processo de acordo com a análise visual da espuma.

Este fato não é surpreendente, pois as imagens têm um papel importante sobre a percepção humana. No entanto, ao contrário dos humanos, que são limitadas a alcance visual do espectro electromagnético, as máquinas de cobrir quase todo o espectro, sendo capazes de realizar uma avaliação das imagens de forma mais eficiente.

Por isso, a aplicação de sistemas de análise de imagem de flotação tem sido amplamente utilizada com sucesso. Além disso, a informação obtida a partir de análise de imagem pode ser facilmente utilizada em um sistema especialista de controle, padronizando a operação.

Através de sistemas de análise de imagem é possível alcançar três tipos de características da polpa: estatística, dinâmica e física. Características estatísticas são utilizados no reconhecimento de padrões. As características dinâmicas são a velocidade e a direção do movimento da espuma bem como a taxa colapso da bolha, a fração de ar transbordando ea taxa de mudança na aparência da espuma, permitindo a medição da taxa de flotabilidade, a estabilidade das bolhas e à identificação de distúrbios.

As características físicas são geralmente obtidos como forma das bolhas, distribuição de tamanho e da cor da espuma. Com estas informações, é possível medir a distribuição de ar no sistema e a susceptibilidade da polpa para formar bolhas. Além disso, a detecção da cor da espuma pode ser utilizada como uma indicação do teor através do modelo de cor RGB. RGB é a abreviatura do sistema de cor aditivo consistido de vermelho, verde e azul. A

finalidade principal do sistema é a reprodução de cores em dispositivos eletrônicos. Uma cor neste modelo pode ser descrito pela indicação da quantidade de vermelho, verde e azul que ele contém. Cada um pode variar entre o mínimo (completamente escuro) e máximo (intensidade máxima). Quando todas as cores são em concentrações mínimas, o resultado é preto. Se todos estão no seu máximo, o resultado é branco.

Neste artigo, é apresentado um projeto de controle baseado em um sistema de análise de imagem que pode detectar características da espuma de uma célula de flotação online, o OptVision. Ele utiliza um algoritmo de adaptação baseado na estimulação de fluxo óptico (vetor de fluxo óptico) para a detecção e análise do movimento para além da detecção de RGB. Com estes dados podemos avaliar as variações que devem ser controlados a fim de manter o teor e recuperação desejados.

2 METODOLOGIA

Em uma certa usina de processamento para minerais não ferrosos, um sistema especialista utilizando a lógica fuzzy foi instalado. O processo consiste em duas etapas de deslamagem e dois estágios de flotação, um reverso e o outro direto. O controle mais importante é da flotação, pois esta é a operação onde se pode obter ganhos mais elevados a partir da estabilização da operação.

Lógica de velocidade controlada da espuma foi adotada de uma maneira que manipula o nível de cada célula para garantir a estabilidade da taxa de flotação, permitindo uma maior produtividade e qualidade do material a ser obtido.

Foi observado que os operadores controlaram a qualidade do material flotado de acordo com a cor da espuma nas células. Portanto, além do controle da velocidade da espuma, uma nova lógica foi introduzida, que leva em conta a cor da espuma da última célula de flotação em linha, ou, a cor da espuma do produto final. A lógica reproduziu as ações tomadas pelos operadores, porém em um tempo muito mais curto, já que o ciclo de tomada de decisão do programa de controle é de apenas 30 segundos. Em adição à velocidade, outra vantagem é a padronização de controle e da tomada de decisão baseada na estratégia definida por operadores experientes, engenheiros de processo e engenheiros de controle responsáveis pela implantação do sistema.

A lógica de controle foi baseada em um extenso banco de dados de variáveis contendo os teores e as cores vermelho, verde e azul. Inicialmente uma análise dos dados foi feita em tempo na tentativa de estabelecer a relação entre o teor do elemento químico de interesse e a cor. Através desta análise, a melhor relação direta encontrada foi entre o teor e a cor vermelha. A Figura 2 contém os dados obtidos durante dois dias. Através da análise visual da espuma é possível identificar tendência similar das variáveis no tempo, especialmente quando se utiliza 15 minutos de média móvel da cor.

Relationship between Red color and grade in flotation froth (Raw Data)

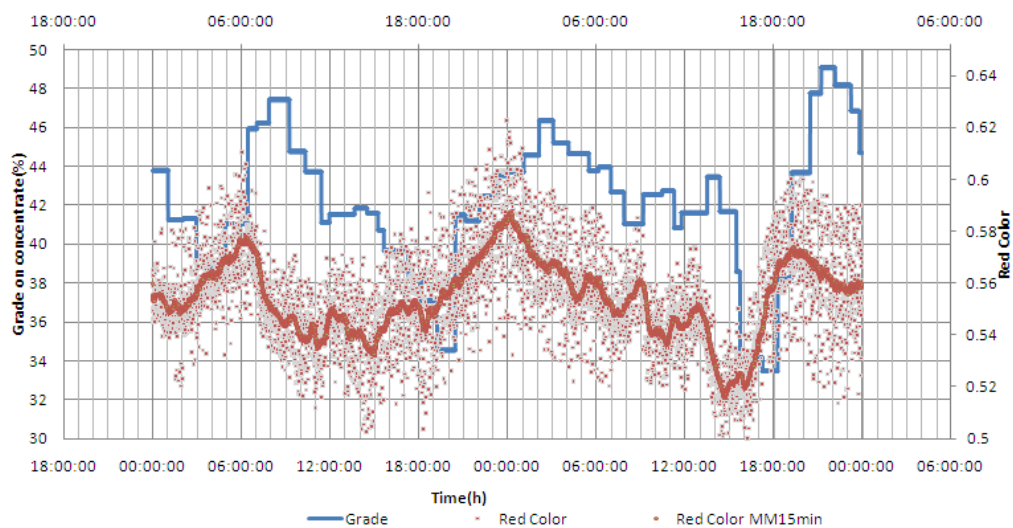


Figura 2. Conteúdo de dados brutos do elemento químico de interesse e cor vermelha coletados durante dois dias

Pode ser observado que o grau máximo é deslocado para a frente em relação à média móvel da cor. Isto é devido ao fato de cada nível de teor representar a média de uma hora de amostragem e estes dados estão na verdade referindo-se aos 40 minutos anteriores (este é o tempo gasto entre a coleta da amostra e disponibilidade de dados para o sistema de controle). A fim de obter uma correspondência mais verdadeira, uma interpolação foi feita dos dados de teor, de modo a obter uma curva contínua. Além disso, os dados de cor foram defasados no tempo de modo que, teoricamente, a cor vermelha e o teor obtido em cada tempo eram correspondentes. O resultado pode ser visto na Figura 3.

Grade (interpolated) e Red Moving Average (Moved forward on time)

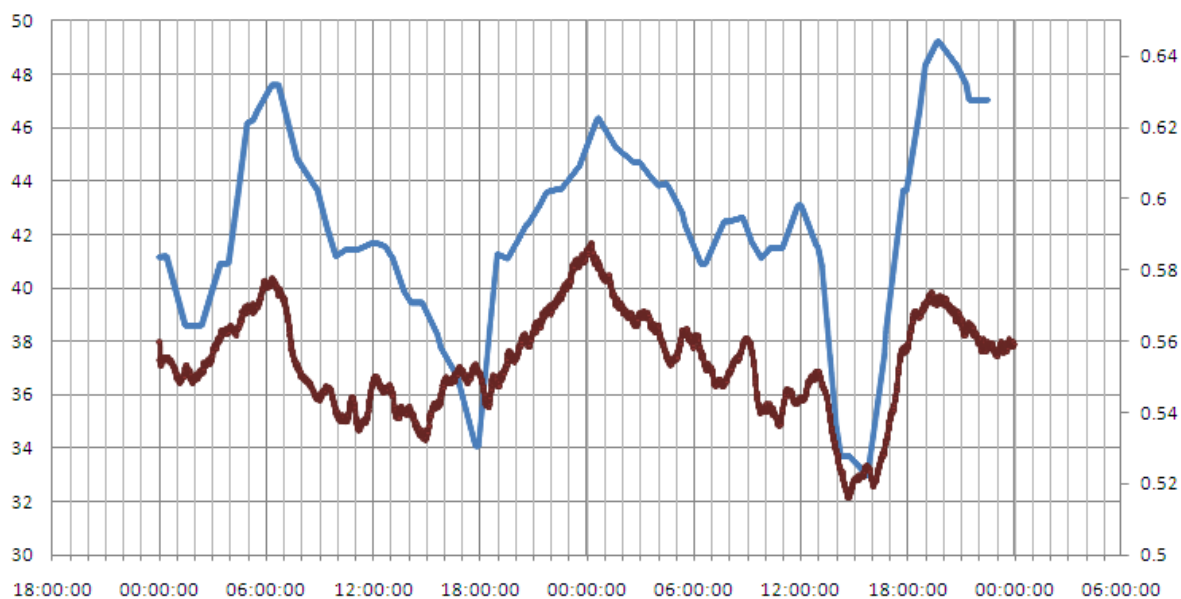


Figura 3. Dados de cor e teor processados.

Como visto na Figura 3, há uma relação entre a cor e teor na espuma. Em apenas dois dias durante três horas, as tendências não eram idênticas. Apesar da correlação clara entre as variáveis, não há um modelo definido que os relaciona diretamente. Como visto, há dois valores de cor que correspondem ao mesmo valor de teor.

Com base nesta informação, uma estratégia de controle que utiliza a ligação entre a cor e teor, é proposta. Esta consiste no seguinte rotina:

- Passo 1: Quando um resultado de laboratório real é lançado, ele é avaliada via fuzzy como alto ou baixo de acordo com o ponto de ajuste definido pelo operador;
- Passo 2: Para o laboratório, o resultado é um valor de cor atribuído (que será o valor de cor corrigido no tempo);
- Passo 3: De acordo com a avaliação feita anteriormente do teor, um incremento é dado no correspondente valor de cor e torna-se um ponto de ajuste; e
- Passo 4: Os reagentes e a velocidade serão controlados, a fim de atingir o ponto de ajuste de cor, enquanto um resultado de laboratório para o teor real não é liberado.

O aspecto interessante da estratégia é que, a cada resultado de laboratório, a medição de cor é corrigida para representar a situação do valor de teor correspondente. Isto dá a flexibilidade ao sistema para se adaptar a variações possíveis relacionados com o processo ou para captura de imagem.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a consolidação de estratégias para controlar ON-OFF, testes foram realizados para verificar a eficácia do sistema. Dez testes foram realizados equivalendo a mais de novecentos horas de tempo de funcionamento.

Houve uma maior estabilidade do processo de como pode ser visto na Figura 4, onde a população era mais concentrada no média requerida diminuindo o desvio padrão de 3,0 para 2,8.

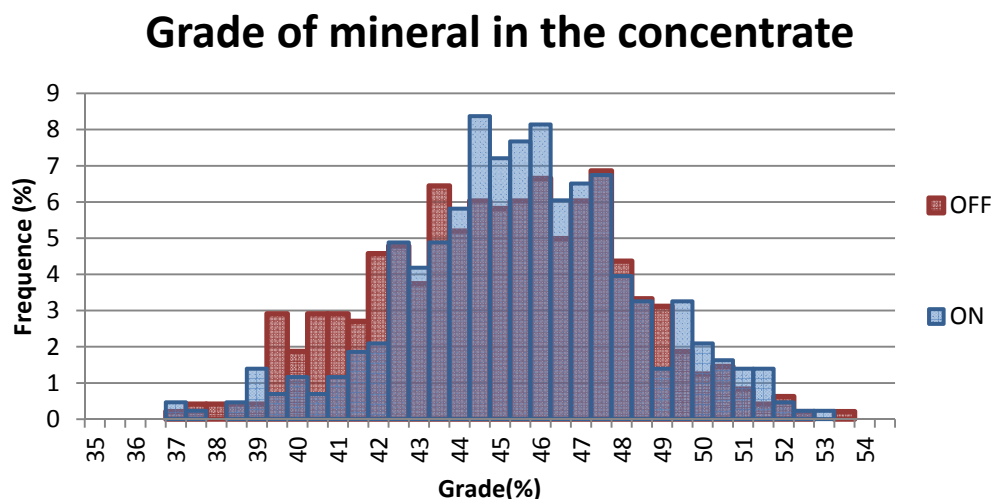


Figura 4. Frequência mineral no teor do concentrado nos testes ON e OFF.

A Figura 5 mostra que o teor do contaminante 1 foi mantido inferior por mais tempo, dado que ele é removido na flotação reversa e, portanto, o controle tenha sido eficaz. Também foi obtido um menor desvio padrão de 0,52 para 0,36.

Grade of contaminant 1 in the concentrate

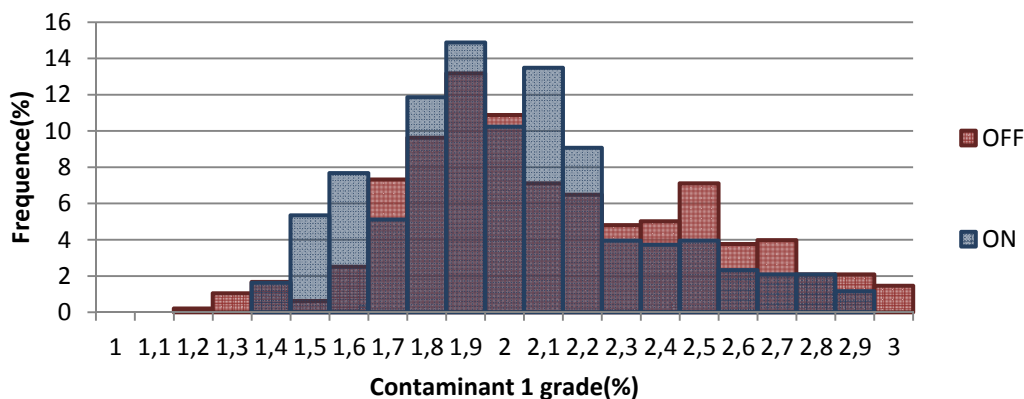


Figura 5 Resultados dos teores do contaminante 1 no concentrado nos testes ON e OFF.

Por outro lado a 2 contaminante teve maior média nos testes ON uma vez que foi utilizado como fator limitante da produção. Assim, o sistema admite um aumento no teor de contaminante 2 (até ao limite definido pela qualidade dos produtos) permitindo uma maior produção de flotado na flotação direta que permitiu um ganho de produção. O ganho na produção pode ser visto na Figura 7.

Grade of contaminant 2 in the concentrate

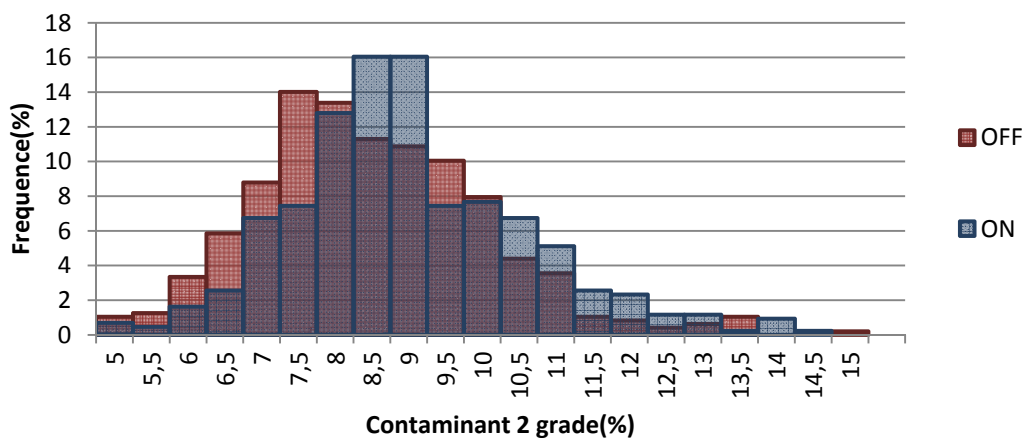


Figura 6. Resultados dos teores do contaminante 2 no concentrado nos testes ON e OFF.

Pode ser visto que a recuperação permaneceu em um nível superior com um desvio padrão inferior.

Mineral Recovery

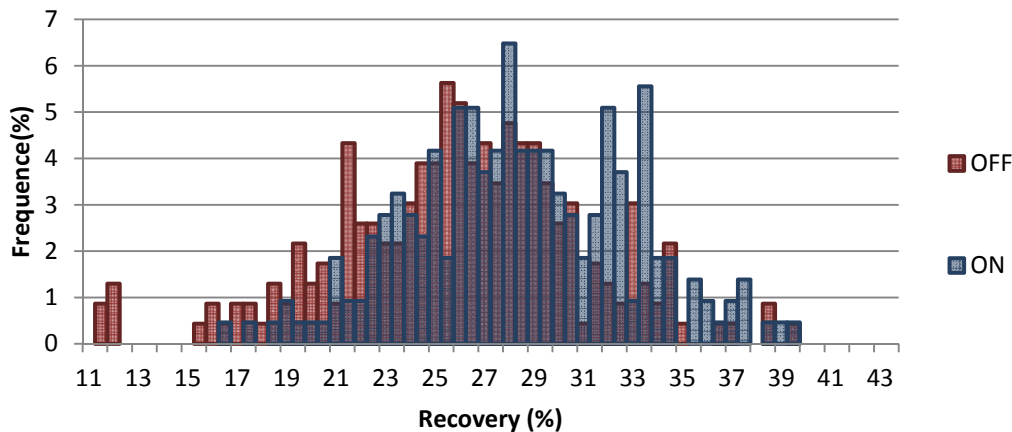


Figura 7. Resultados da recuperação mineral nos testes ON e OFF.

Em geral, a operação respondeu bem ao sistema de controle, tendo um ganho relativo de 10,26%.

5 CONCLUSÃO

A análise de imagem para o controle da flotação por cor é uma alternativa que pode ser utilizada em conjunto com análises laboratoriais para fornecer o controle com medidas da qualidade do produto em linha. A partir da utilização de análise e controle de imagem através do sistema especialista OptProcess, um aumento na recuperação foi possível, o que resultou num aumento de 10,26% na recuperação. Os passos seguintes são a aplicação de técnicas para modelar a relação entre a cor e o teor, incluindo todas as cores vermelha, verde e azul, além de realizar a modelagem a outros componentes (contaminantes 1 e 2). Técnicas tais como a rede neural ou método multivariável poderiam ser usados. Outras características da espuma poderiam ser investigadas na tentativa de obter outras informações que possam ajudar no controle, tais como a análise de tamanho de bolha ou análise de textura para medir o teor ou taxa, em massa, de flotado. Além disso, a aplicabilidade do controle de flotação por cor para outros tipos de minerais devem ser investigados.

REFERENCIAS

- 1 OLIVEIRA M.L.M., PENNA R., PERES A.E.C. & VALADÃO G.E.S. (2003) 'Estudo comparativo entre dois sistemas de aeração de coluna de flotação', *Revista Escola de Minas*, vol.56, no.3, pages 1-2.
- 2 NAPIER-MUNN, T. & WILLS, B. (2006) *Mineral Processing Technology: An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*, 7th edn, Elsevier Science & Technology Books, Queensland.