



## MEDIÇÃO ON LINE DE FERRO, SÍLICA E GRANULOMETRIA PARA O CONTROLE DO PROCESSO NO CONCENTRADOR II DA SAMARCO MINERAÇÃO S.A.<sup>1</sup>

Dieuvane Lima Morais<sup>2</sup>  
Marcelo de Paula Lopes<sup>3</sup>  
Paulo Sérgio de Oliveira<sup>4</sup>  
Valdiney Chaves<sup>5</sup>

### Resumo

Em 2008, entrou em operação o complexo da Terceira Pelotização, projeto de expansão que representou a elevação da capacidade produtiva da Samarco em 54%, passando de 14,1 milhões para 21,7 milhões de toneladas de pelotas de minério de ferro por ano. Ele representa o marco na história de quem há mais de 30 anos vem se dedicando a excelência no fornecimento de pelotas de minério de ferro para setor siderúrgico mundial. Nele foram utilizados recursos tecnológicos desenvolvidos internamente e ou tecnologias existentes no mercado, a fim reduzir a quantidade de amostras a serem preparadas e analisadas nos laboratórios físico e químico, sem comprometer a qualidade dos produtos e otimizando seus recursos. Os coeficientes de correlação obtidos são considerados aceitáveis para dados industriais. Além dos benefícios trazidos ao laboratório pela utilização dos equipamentos, eles têm operado com boa repetibilidade e disponibilidade, assegurando um maior controle sobre o processo.

**Palavra chave:** Recursos tecnológicos.

### ON LINE MEASUREMENT OF IRON, SILICA AND PARTICLE SIZE ANALYSIS FOR THE CONTROL OF THE PROCESS IN CONCENTRATOR II OF THE SAMARCO MINING S.A.

### Abstract

In 2008, the complex started its operation of the Third Pellet Plant expansion project that represented the elevation of the productive capacity of Samarco in 54%, from 14.1 million to 21.7 million tonnes of iron ore pellets per year. It represents a milestone in the history of Samarco that has been dedicating for over 30 years to the excellence in the supply of iron ore pellets for the steel industry worldwide. Technological resources used in it were developed internally and / or technologies in the market in order to reduce the amount of samples to be prepared and analyzed in laboratories and physical chemist, without compromising product quality and optimizing their resources. The correlation coefficients obtained are considered acceptable to industry data. In addition, the use of equipment have operated with good repeatability and availability, ensuring greater control over the process to the benefits brought to the laboratory.

**Keyword:** Technology resources.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 19 a 22 de setembro de 2010, Belo Horizonte, MG.*

<sup>2</sup> *Técnico Metalurgista, Técnico de Laboratório Físico*

<sup>3</sup> *Técnico Mineração, Técnico de Laboratório Físico*

<sup>4</sup> *Engenheiro de Minas, MSc., Engenheiro de Processo Sr.*

<sup>5</sup> *Administrador de Empresas, Analista de Processo*

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de reduzir os procedimentos analíticos de preparação das amostras, redução de custos e acréscimo do número de análises a efetuar, justifica um grande interesse no desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias para análise automática e contínua de amostras.

Do preparo ao resultado final da análise de cada amostra, seja química ou física, depende-se um tempo longo que sempre se procura reduzir. Com a implementação da tecnologia de medição de teores e granulometria on line estaria assegurado que não haveria aumento significativo de amostras a serem preparadas e analisadas pelos laboratórios químico e físico, e que o processo/produção teria em mãos resultados que suportassem qualquer tomada de decisão para seu controle praticamente em tempo real.

Foram implantadas novas tecnologias (para a Samarco) e também utilizadas tecnologias desenvolvidas internamente, que passados dois anos de início de operação encontram-se operando de forma muito satisfatória e que trouxeram vários benefícios, tais como redução do tempo para tomada de decisão por parte da operação, redução de custo, minimização da variabilidade no processo. Esses benefícios têm sido entendidos como uma valiosa ferramenta para minimizar os esforços físicos repetitivos, riscos e custos, tornando o laboratório mais seguro e agradável para as pessoas.

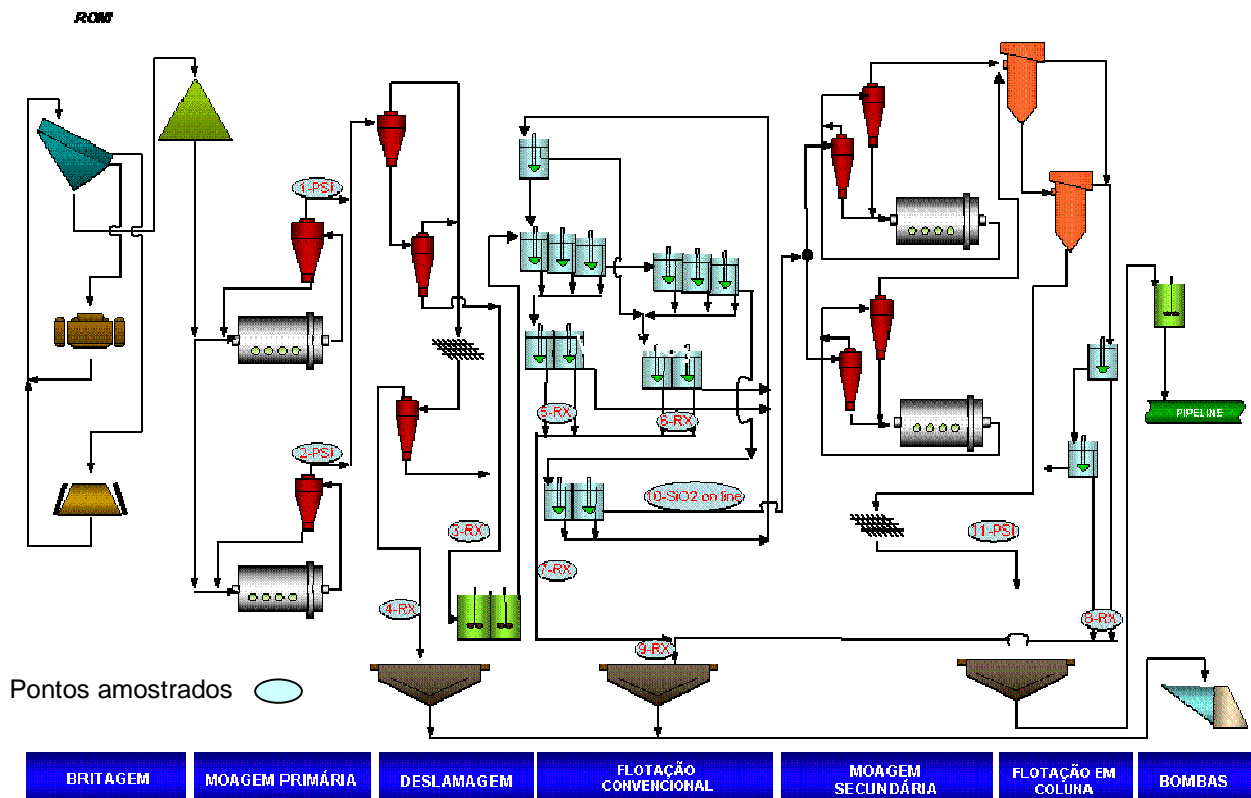


Figura 1: Fluxograma do circuito do Concentrador II e os pontos amostrados.

## 1.1 Objetivos

Apresentar os ganhos que a utilização de tecnologias de medição on line tem trazido em segurança, qualidade de vida, controle do processo e redução de custos no Concentrador II da Samarco Mineração S.A.

## 1.2 Revisão Bibliográfica

Métodos modernos de cálculos do espectro de liberação, baseados em análise de imagens, fornecem resultados mais precisos e completos. A liberação é uma das informações mais importantes na caracterização.

A caracterização mineralógica engloba a identificação dos minerais de minério e de ganga numa amostra, e a sua quantificação.

Análise mineralógica constitui em recurso essencial na identificação dos constituintes e determinação de suas propriedades.<sup>(1)</sup>

As técnicas que proporcionam a observação e a identificação das espécies minerais são fundamentais na determinação dos parâmetros da matéria prima mineral, sejam eles mineralógicos ou não.

A identificação dos minerais é baseada nas propriedades que o definem como o mineral, ou seja, composição química e estrutura, e propriedades físicas decorrentes.<sup>(2,3)</sup>

Para a caracterização, normalmente se trabalha em escala microscópica, apesar das observações em escala mesoscópica (amostras de mão) serem muito úteis, permitindo a identificação de boa parte dos minerais mais importantes. Os métodos mais empregados para identificação dos minerais nesta escala são as microscopias ópticas (lupa, microscópio estereoscópico, microscópio petrográfico de luz transmitida e de luz refletida) e eletrônica, e a difração de raios-X.

A difratometria de raios-X corresponde a uma das principais técnicas de caracterização microestrutural de materiais cristalinos, encontrando aplicações em diversos campos do conhecimento. É uma metodologia que permite a determinação das fases a partir de espectro gerado pela estrutura cristalina, sendo uma ferramenta extremamente útil na identificação das espécies minerais. É comumente aplicada em duas modalidades básicas: método do pó e câmaras de monocristal.

A microscopia eletrônica de varredura é a técnica de caracterização microestrutural mais versátil hoje disponível, encontrando aplicações em diversos campos do conhecimento. Produz a imagem resultante da interação de um feixe de elétrons com a amostra, permitindo aumentos de 30 a 100.000 vezes.<sup>(1)</sup>

A interação de um fino feixe de elétrons focalizado sobre a área ou o volume a ser analisado gera uma série de sinais que podem ser utilizados para caracterizar propriedades da amostra, tais como composição, superfície topográfica, cristalografia etc.

Análises químicas por via úmida, embora nos forneça resultados de alta confiabilidade, vêm sendo substituídas por métodos instrumentais. Elas se baseiam em métodos conhecidos e praticados durante muitos anos, constam nos livros textos clássicos de Química Analítica e geralmente são de difícil execução, lentas, além de requerem instalações adequadas e grande treinamento dos operadores.<sup>(4)</sup>

A seguir, serão apresentados os métodos de análise utilizados para o controle do processo no Concentrador II.

### **1.2.1 Analisador *on line* de teores de ferro**

A identificação das espécies minerais é auxiliada pela determinação da sua composição química, o que pode ser obtido por sistemas de microanálise, que habilitam à análise de elementos em áreas pequenas, de até 0,001 mm<sup>2</sup> (análises pontuais). A metodologia de análise aplicada é a espectrometria por fluorescência de raios-X (FRX), utilizando detector de dispersão de energia (EDS), ou de dispersão de comprimento de onda (WDS), ambos adequados para análises qualitativas de elementos, e para as quantitativas diferindo em resolução/sensibilidade: a primeira com capacidade para determinação de teores de 0,1% a 100%, e a segunda desde teores da ordem de dezenas a centenas de partes por milhão (> 0,01%).

A análise multielementar instrumental por FRX se baseia na medida das intensidades dos raios X característicos emitidos pelos elementos químicos componentes da amostra, quando devidamente excitada.

Os raios emitidos por tubos de raios-X, excitam os elementos da amostra, que por sua vez, emitem linhas espectrais com energias características do elemento e cujas intensidades estão relacionadas com a concentração do elemento na amostra.

Quando um elemento da amostra é excitado, ele tende a ejetar elétrons dos níveis mais internos do átomo, e como consequência, elétrons dos níveis mais afastados realizam um salto quântico para preencher a vacância. Cada transição eletrônica constitui uma perda de energia para o elétron, e esta energia é emitida na forma de fóton de raios X, com energia característica e bem definida para cada elemento. De forma concisa, a análise por FRX consiste em três fases: excitação dos elementos que constituem a amostra, dispersão dos raios X característicos emitidos pela amostra e detecção desses raios X.<sup>(5)</sup>

### **1.2.2 Análises químicas por via úmida**

As análises químicas podem ser qualitativas ou quantitativas, e na via úmida baseiam-se na manipulação de amostras com reagentes específicos. As análises qualitativas consistem na observação da solubilização ou não em diferentes ácidos, observação da cor da chama queimando o pó, precipitação de grupos de cátions e ânions e observação de resíduo insolúvel em ácidos. As análises quantitativas envolvem geralmente solubilizações, precipitações e reprecipitações. Elementos traço são dosados com métodos muito específicos.

As principais técnicas da via úmida são a gravimetria (precipitação de um composto e dosagem pelo peso obtido), volumetria (titulação de compostos diante de um indicador de cor específico) e colorimetria (medida do comprimento de onda da cor de uma solução obtida com indicador específico).

Embora análises químicas por via úmida não atendam em volume e velocidade, seus conhecimentos ainda são imprescindíveis em técnicas instrumentais por dosagem de elementos em solução. A solubilização de materiais pode ser total ou parcial, dependendo da finalidade da análise.

As ações dos ácidos mais comumente usados podem ser assim resumidas:

HCl: o ácido clorídrico é o solvente básico para análise de minérios, minerais e algumas ligas metálicas. Rochas carbonáticas são facilmente solubilizadas deixando resíduo insolúvel (geralmente sílica, pirita, grafita e silicatos). Óxidos e hidróxidos de sódio, de ferro e de manganês dissolvem-se em HCl com maior ou menor facilidade. Hematita e magnetita dissolvem-se em 15 minutos. Silicatos são, em sua grande maioria, insolúveis em HCl.

HNO<sub>3</sub>: o ácido nítrico, diluído ou concentrado, é um ótimo solvente para inúmeros minerais, particularmente sulfetos e fosfatos. Por ser oxidante, o ácido nítrico dissolve a maioria dos elementos de forma metálica, bem como ligas metálicas.

HF: o ácido fluorídrico tem alta afinidade por alguns íons, formando complexos importantes com Be, B, Nb, Ti e Zr. Por esta característica, o HF tem sido usado industrialmente para separar esses e outros íons de soluções complexas.

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>: embora possa decompor vários minérios, o ácido sulfúrico é pouco empregado em material geológico, principalmente quando a quantificação final é feita por absorção atômica. É o mais denso dos ácidos minerais até agora mencionados, e a viscosidade resultante provoca um forte abatimento de sinal, que deve ser compensado pela identidade ácida de padrões e amostras. Pode ser empregado na decomposição de muitos minérios como sulfetos, terras raras, fluorsilicatos e compostos de Nb, Ta, Ti e Zr.

HClO<sub>4</sub>: o ácido perclórico é usado como oxidante, em pequenas quantidades, junto a outros ácidos, como o fluorídrico. A fluorização de amostras é usada pela eliminação de boa parte da massa pela volatilização do silício. O ácido perclórico é preferido ao sulfúrico nas fluorizações pelo fato dos sais resultantes (cloretos) serem mais solúveis que os sulfatos e o poder oxidante ser maior, auxiliando a solubilização em geral.

H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>: o ácido fosfórico tem ação semelhante à do sulfúrico sobre os minerais, podendo ser usado tanto na destilação do flúor como na solubilização de minerais portadores de terras raras, fosfatos, cromita, minérios de manganês e ferro.

### 1.2.3 Espectrometrias de emissão atômica por plasma de acoplamento induzido (ICP)

Os primeiros equipamentos de plasma entraram no mercado em 1965 (1970 no Brasil), marcando um importante progresso técnico na espectrometria de emissão. Um ICP é constituído basicamente de um sistema de vaporização e nebulização, uma fonte de geração de plasma, um sistema óptico, um sistema de detecção da resposta do átomo à excitação e um microcomputador para comando do conjunto e tratamento dos dados.

O plasma é formado por mecanismos de colisão entre moléculas e íons de argônio em um campo magnético induzido por radiofrequência. A tocha que sustenta o plasma é formada por três tubos de quartzo concêntricos, circundados por uma bobina de indução através da qual energia de 2 KW a 3 KW é fornecida. O fluxo de argônio passa através da tocha e é ionizado pelo campo magnético produzido pela bobina de indução; o campo magnético tem linhas de força axiais e as partículas de argônio encontram resistência produzindo aquecimento e mais ionização. O fluxo de gás é semeado de elétrons livres que interagem com o campo magnético, adquirindo energia suficiente para ionizar ainda mais o fluxo de gás. Um plasma em forma de chama de vela aparece sobre a tocha de quartzo e se auto-sustenta pela continuidade do processo. Nos três tubos de quartzo da tocha flui argônio, e a temperatura obtida no plasma, próximo à bobina indutora, é de 9.727°C.

A amostra em solução é levada à tocha por uma bomba peristáltica, cujo controle de fluxo pode ser regulado e deve ser mantido constante durante as etapas de calibração e análise para não gerar erros.

A emissão atômica depende da fonte de energização. A combustão de ar e GLP (Bico de Bunsen) pode atingir 1.700°C, ar e acetileno geram 2.100°C a 2.400°C, acetileno e óxido nitroso até 2.600°C a 2.800°C. A técnica do ICP, com seus 9727°C atuando sobre os elementos, produz uma quantidade de linhas de emissão muito maior que em outros sistemas, sendo essa energia suficiente para excitar os átomos e também os íons que chegam ao plasma.

O ICP, após a calibração instrumental, executa trabalhos de rotina de forma adequada. Devem-se investigar as raias que podem ser utilizadas para cada elemento em função da matriz a ser trabalhada. Deve-se investigar o efeito de ácidos ou sais presentes na solubilização das amostras e avaliar variações de *background* para estabelecer as correções necessárias.

O ICP não é conveniente para a dosagem de altos teores por sua notória sensibilidade. Mesmo procurando-se comprimentos de onda menos sensíveis e diluindo-se as amostras, as oscilações resultantes refletirão erros devidos às variações instrumentais multiplicadas pelo fator de diluição, acrescidos pelos erros devidos à qualidade da calibração da vidraria.

#### **1.2.4 Sistemas de medição de teor de sílica em minério de ferro por análise de imagem**

O material retirado da descarga da célula de flotação está em forma de polpa. Se uma amostra desta polpa retirada do processo for secada e espalhada numa camada fina sobre uma superfície, é possível distinguir visualmente os grãos de quartzo. O sistema de medição foi inteiramente desenvolvido por uma equipe multidisciplinar da Samarco que percebeu a possibilidade de se tornar quantitativa a observação visual pelo emprego de visão de máquina orientando o desenvolvimento do sistema.

O sistema desenvolvido tem por objetivo:

- amostrar, desaguar e secar automaticamente as amostras do processo;
- espalhar sobre uma superfície as amostras secas numa camada controlada, contínua e uniforme, de espessura compatível com a granulometria dos minerais presentes na amostra;
- obter imagens digitalizadas da camada de amostra; e
- processar os dados das imagens digitais, quantificando a massa de sílica em relação à massa e informar o teor aos sistemas de automação da planta de beneficiamento para controle automático dos processos.<sup>(6)</sup>

#### **1.2.5 Analisador de tamanhos de partículas - PSI 300**

PSI 300 Analisador de Tamanho de Partículas é um sistema on-line para a medição de granulometria em polpa de minérios. Ele é usado para o monitoramento e o controle da moagem, classificação e espessamento em plantas de processamento mineral. O PSI 300 coleta automaticamente amostras de polpa medindo uma faixa de tamanhos de partículas entre 25 µm a 600 µm (500 mesh a 28 mesh).

O analisador possibilita o monitoramento e controle do processo em tempo real, enviando automaticamente os resultados das análises para o sistema de automação da planta, informando a distribuição granulométrica dos tamanhos das partículas.



Os tamanhos das partículas são informados pela medição direta na sonda de medição através de um dispositivo diferencial de indutância variável de alta precisão (LVDT). Um sistema tipo apalpador faz as medidas no intervalo de tempo por linha, esta informação é convertida em frações granulométrica através de modelamentos matemáticos para cada fração medida em cada linha. As frações podem ser definidas passantes ou retidas, em microns, mesh ou P40, P50, P80 com precisão de 1% a 2% (absoluto). A informação das frações é mostrada na tela local e também pode ser enviada via rede para o sistema de controle da planta através de diversos protocolos de comunicação. O analisador PSI 300 é calibrado utilizando como padrão os resultados do laboratório de análises, que pode utilizar peneiramento ou outro método de análise de granulometria.

A calibração é robusta e não é afetada por mudanças no processo, viscosidade da polpa, temperatura, reagentes ou variações de outras propriedades.

Periodicamente o analisador executa automaticamente uma rotina de auto compensação de zero, se auto compensando de eventuais desgastes nos elementos de medição.<sup>(7)</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os pontos de amostragem da usina chegam ao laboratório físico por meio de bombas ou por gravidade. Esses fluxos são direcionados devidamente para os equipamentos que executarão as análises pertinentes.

No laboratório físico do concentrador II estão instalados os aparelhos para medição de:

- granulometria dos overflows dos ciclones primários linhas 01 e 02 (+100#) - PSI 300;
- granulometria do concentrado final (+ 200# e - 325#) – PSI 300;
- analisadores de sílica para o concentrado da flotação convencional; e
- analisador de ferro para o rejeito da flotação convencional, rejeito das colunas e alimentação do espessador de rejeitos.

As informações são disponibilizadas em tempo real no sistema de controle da planta, podendo ser acessadas de qualquer ponto interligado à rede.

O Analisador de Tamanho de Partículas testado foi o PSI 300. Ele coleta automaticamente amostras de polpa da moagem primária e o fluxo do concentrado final, medindo uma faixa de tamanhos de partículas entre 25 µm a 600 µm (500 mesh a 28 mesh).

No laboratório foram instalados dois equipamentos. O primeiro possui entrada para dois fluxos, sendo utilizado no controle da moagem primária. Nele é monitorada a malha de 149 µm do overflow do ciclone primário. O segundo que recebe somente o fluxo do concentrado final, onde estão sendo monitoradas as malhas de 74 µm e 44 µm.

A amostra coletada pelo instrumento é direcionada a um tanque de estabilização de fluxo, onde posteriormente passa por um sistema de medição. Os tamanhos das partículas são informados através da medição direta na sonda de medição que utiliza um dispositivo diferencial de indutância variável de alta precisão (LVDT).<sup>(7)</sup>

Para calibrar o equipamento foram coletadas diariamente cinco amostras de cada linha da moagem primária e cinco amostras do concentrado final (pellet feed) por um período de 15 dias. A determinação das frações +149 µm, +74 µm e -44 µm foram feitas através

de peneiramento a úmido. O peneiramento é realizado por 20 minutos utilizando um granulômetro automático (Bertel) e as peneiras da série Tyler 100#, 200# e 325#. Todos os ensaios foram realizados no horário administrativo por um mesmo técnico nos mesmos equipamentos (granulômetro, peneiras) a fim de evitar ruídos.

### 3 RESULTADOS

Foram construídos modelos de regressão entre os resultados analisados em laboratório e as saídas geradas pelo equipamento. O critério utilizado para a escolha de cada modelo foi o maior  $R^2$ .

As curvas de regressão obtidas foram validadas e estão inseridas nos respectivos equipamentos.

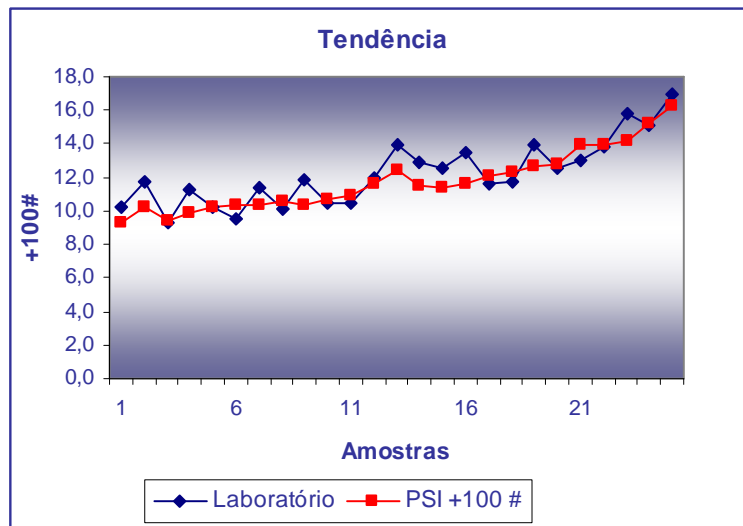


Figura 2 - Tendência do Analisador de Partículas – PSI.

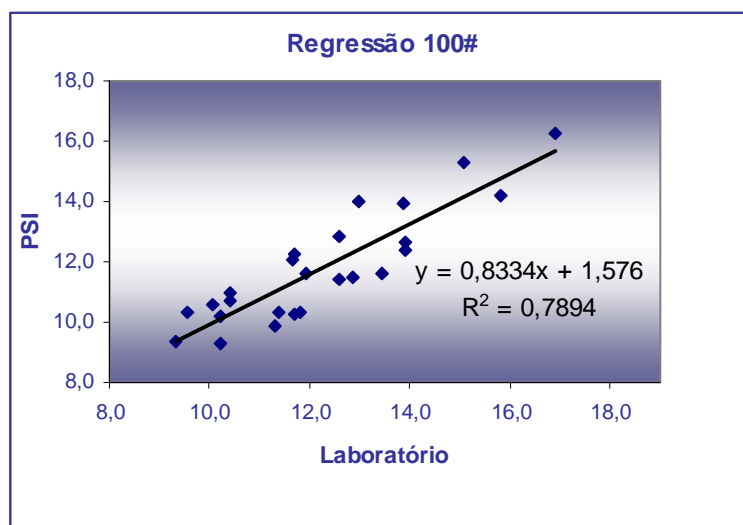


Figura 3 - Curva de regressão do Analisador de Partículas – PSI.



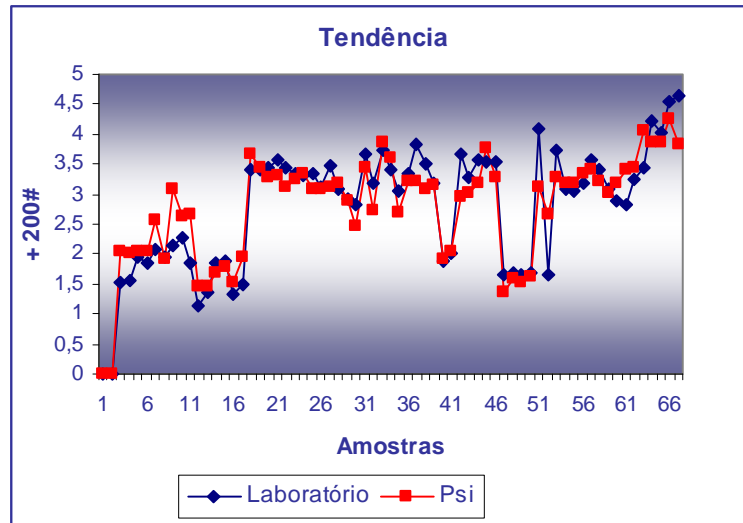


Figura 4 - Tendência do Analisador de Partículas – PSI.

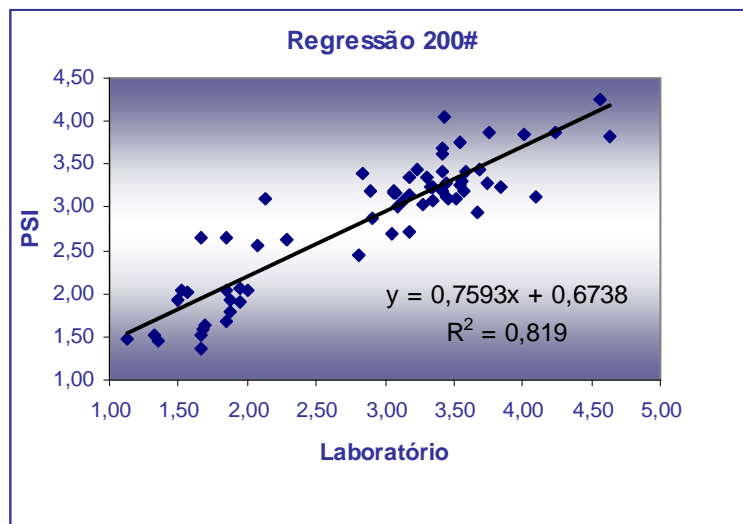


Figura 5 - Curva de regressão do Analisador de Partículas – PSI.

O analisador de imagem, que é o sistema de medição utilizado para acompanhamento do teor de sílica no concentrado convencional, é composto dos seguintes mecanismos:

- *mecanismo preparador de amostras* - é um mecanismo acionado por motores de passo, que executa todos os movimentos necessários para coletar amostras do processo, retirar o excesso de água, secar e entregar ao mecanismo seguinte. Todas estas etapas são realizadas em ciclos de cinco minutos;
- *mecanismo expositor* – encarregado de condicionar as amostras para aquisição de imagens adequadas à análise. Cada amostra é distribuída uniformemente numa superfície de modo a tornar visíveis á câmara os grãos minerais;
- *conjunto óptico* – é composto por um conjunto de lâmpadas para garantir uma iluminação uniforme sobre a superfície da amostra e uma câmara de vídeo RGB de alta resolução que adquire continuamente as imagens do quadro iluminado sobre a roda expositora, enviando sinais de vídeo composto para o computador.

- Todo conjunto é encerrado por numa caixa selada contra pó de modo a garantir a limpeza das lâmpadas e da lente, bem como a ventilação da câmera;
- *microcomputador* – conjunto composto de uma CPU Pentium, placa digitalizadora de imagens, interface com os mecanismos e porta de comunicação para rede. A CPU executa o programa de medição e controle, digitalizando as imagens obtidas pela câmera, efetuando os cálculos, enviando sinais de comando aos mecanismos do sistema de medição e fazendo a interface com o sistema de automação da planta de beneficiamento de minério. Todo sistema é concebido como um instrumento analítico de área para controle automático de processo.
  - *programa de medição e controle* – programa para processador Intel Pentium III, inteiramente desenvolvido em linguagem Assembler, em função das necessidades de processamento em tempo real de imagens digitais, algoritmos estatísticos e controle de equipamentos.

As imagens digitais colocadas na memória do microcomputador pela placa digitalizadora são inicialmente filtradas para eliminação de ruídos, por algoritmos DSP (*digital signal processing*).<sup>(8)</sup> Em seguida, o programa discrimina por aspectos de coloração e forma os grãos correspondentes ao quartzo em cada quadro de imagem e calcula suas quantidades e volumes respectivos. Através de estatística das quantidades e volumes dos grãos detectados nos quadros de imagem comparados com as estatísticas de amostras conhecidas usadas para calibração, o programa determina o teor de sílica contido em cada amostra. Tal determinação é baseada na modelagem das estatísticas da imagem visando obter a melhor correlação de forma iterativa, empregando-se a técnica de análise de regressão linear.

Simultaneamente aos cálculos, o programa comanda os mecanismos e se comunica com o sistema de automação, informando resultados de análise e recebendo sinais de controle.

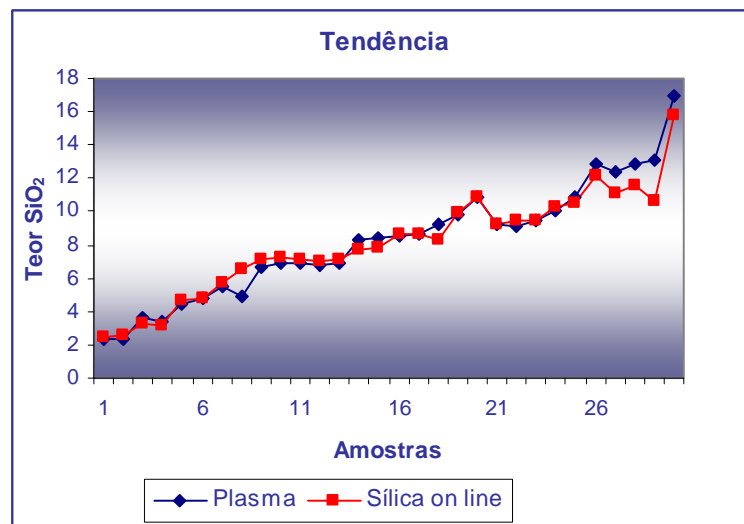


Figura 6 - Tendência do Analisador de Imagem.

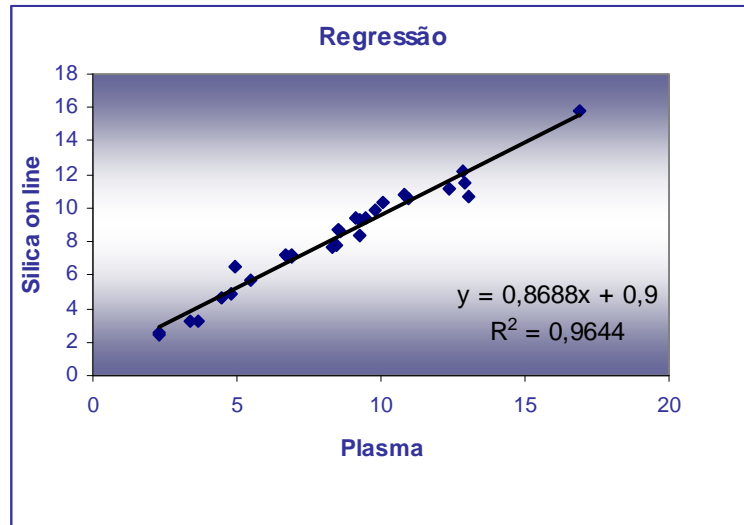


Figura 7– Curva de regressão do Analisador de Imagem.

O Sistema de análise de ferro on-line Courier 6 SL recebe as amostras bombeadas e por gravidade de diversos pontos da usina. As amostras são analisadas utilizando o seguinte princípio de medição: a sonda do analisador COURIER combina o método de medição por fluorescência de raios X por dispersão de longitude de onda (WDXRF) e o método de medição por fluorescência de raios X por energia (EDXRF). Esses analisadores XRF (Fluorescência de Raios X) foram projetado para medir elementos químicos on-line em fluxos de polpa, oferecendo uma melhor sensibilidade e um tempo de ciclo reduzido para o monitoramento e controle de processos em plantas de beneficiamento.

O analisador possui uma medição de referência automática que permite efetuar permanentemente rotinas de autodiagnóstico da operação do equipamento e parte elétrica. A sonda do analisador contém componentes blindados e enclausurados para cumprir com a norma NEMA 4X.<sup>(9)</sup>

O painel de controle da sonda possui um terminal gráfico complementado por luzes indicadoras e interruptores de controle. A tela mostra as medições mais recentes e o estado do equipamento. O mesmo gabinete aloja os módulos de interface e controle dos amostradores de polpa.

O analisador também conta com um computador disponível para projetar as análises atuais e históricas do equipamento para configurações necessárias, calibrar e diagnosticar a operação do analisador.

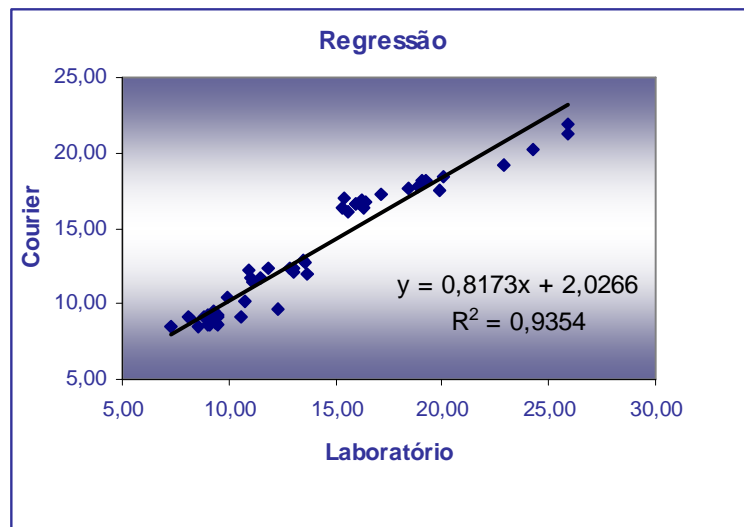
O equipamento faz a medição e multiplexa 10 fluxos de polpa, ou seja, os pontos amostrados na usina e os resultados das análises são enviadas via rede de forma automática.

Para calibrar o equipamento foram coletadas diariamente cinco amostras para determinação do teor de ferro de cada ponto, por um período de 15 dias, e as análises para determinação do teor de ferro foram realizadas no laboratório químico interno, utilizando o método volumetria (metodologia cloreto de titânio III).

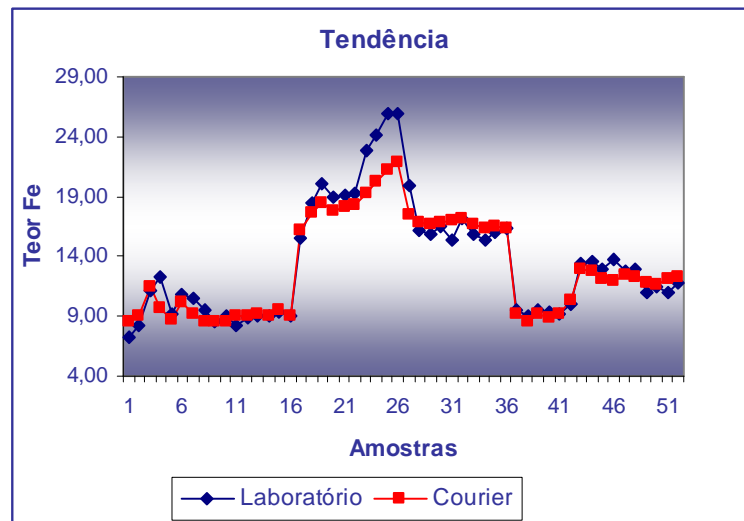
O analisador Courier 6SL oferece uma alta disponibilidade, bom desempenho e precisões consideradas satisfatórias em se tratando de um equipamento industrial, com coeficiente de correlação  $R^2$  superior a 0,94.

Foram construídos modelos de regressão entre os resultados analisados em laboratório e as saídas geradas pelo equipamento. O critério utilizado para a escolha de cada modelo foi o maior  $R^2$ .

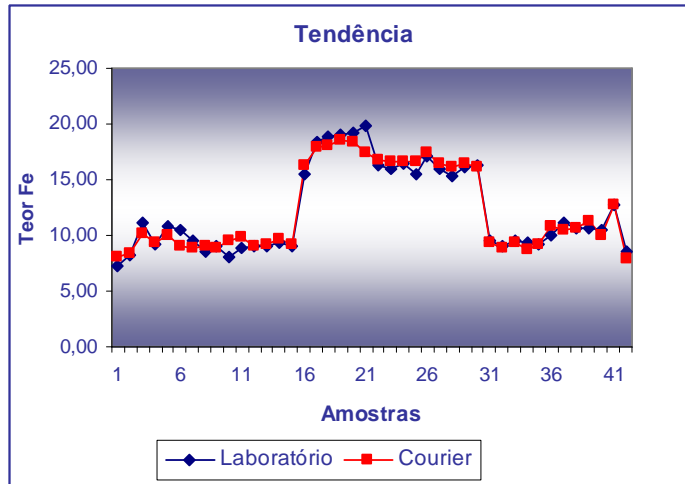
As curvas de regressão obtidas foram validadas e então inseridas nos respectivos equipamentos.



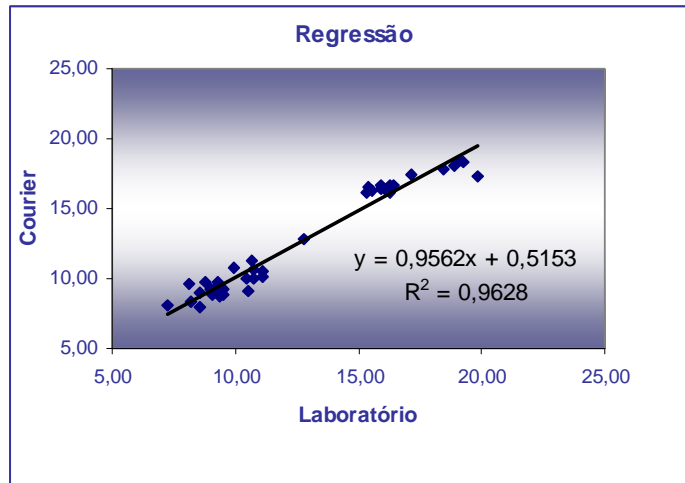
**Figura 8** – Curva de regressão do teor de Fe no espessador de rejeito.



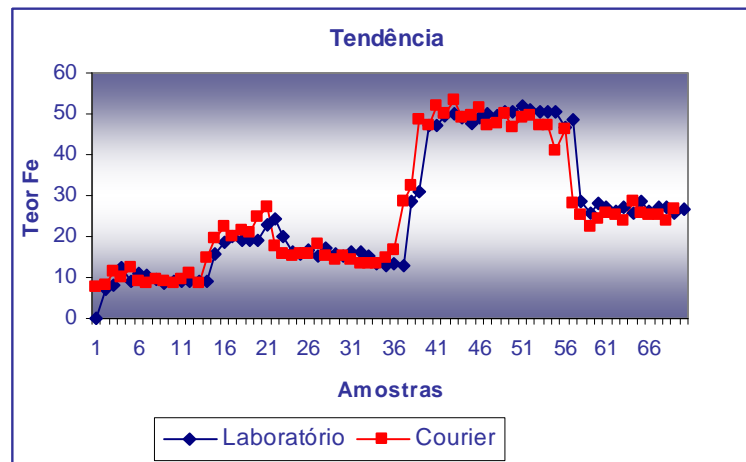
**Figura 9** – Tendência do teor de Fe no espessador de rejeito.



**Figura 10** – Tendência do teor de Fe no Rejeito Flotação Convencional.



**Figura 11** – Curva de regressão do teor de Fe no Rejeito Flotação Convencional.



**Figura 12** – Tendência do teor de Fe no Rejeito Flotação Colunas.

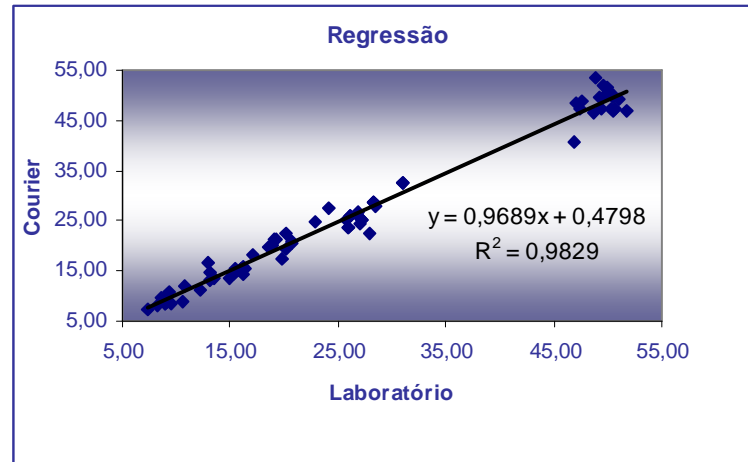


Figura 13 – Curva de regressão do teor de Fe no Rejeito Flotação Colunas.

#### 4 CONCLUSÕES

O PSI, o Analisador de Imagem e o Courier estão sendo utilizados como indicadores de tendência para um melhor controle do processo no concentrador II.

As curvas de regressão utilizadas para a predição das frações +149 $\mu$ m, +74 $\mu$ m, -44 $\mu$ m são consideradas satisfatórias, uma vez que se trata de dados industriais.

Para a fração +149  $\mu$ m o coeficiente de variação variou de (0,78 a 0,81). Já para as malhas de +74  $\mu$ m e -44  $\mu$ m o valor foi de 0,82.

A metodologia de análise de imagem se mostrou eficiente para a determinação do teor de sílica no concentrado da flotação convencional. O coeficiente de correlação obtido foi 0,964, o que supera as necessidades de um sistema de análise para aplicação em controle de processo.

Utilizando o analisador de ferro on line, evitou-se um acréscimo de 29,69% no número de amostras a serem preparadas no laboratório físico para determinação do teor de ferro em laboratório químico. Essa redução impacta diretamente no consumo e manuseio de reagentes, gerando ganhos qualitativos em segurança, meio ambiente e ergonomia.

O Courier disponibiliza resultados on line a cada 10 minutos, fornecendo uma quantidade considerável de informações, e o seu coeficiente de correlação variou de 0,93 a 0,98 para os pontos amostrados.

Os mecanismos do sistema de medição têm apresentado o desempenho esperado e o conjunto deles tem operado com boa repetibilidade e disponibilidade, assegurando um maior controle sobre o processo.

#### REFERÊNCIAS

- 1 SANT' AGOSTINHO, L. M.; KAHN, H. (1997) Metodologia para Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Mineraias – Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PMI/069 Departamento de Engenharia de Minas, São Paulo, 29p.
- 2 SCHNEIDER, C. L. (1995) Measurement and calculation of liberation in continuous milling circuits. Tese de Doutorado (PhD), Departamento de Engenharia Metalúrgica, Universidade de Utah, 356 p.



- 3 NEUMANN, R. (1999) Caracterização tecnológica dos potenciais minérios de terras raras de Catalão I, Tese de doutoramento, Igc/USP, Goais, 204 p
- 4 RATTI, G. (2001) Técnicas de Análise Química de Composto Inorgânico – III Curso de Caracterização Tecnológica de Matérias Primas Minerias, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Minas, Laboratório de Caracterização Tecnológica.
- 5 NASCIMENTO FILHO, V. F., Técnicas analíticas nucleares de raio X por dispersão de energia (ED-XRF) e por reflexão total (TXRF) . Departamento de Ciências Exatas /ESALQ,USP, SP,. Julho,1999. Disponível em < web.cena.usp.br/apostilas/Virgilio/cen-5723/EDXRF\_TXRF.doc>Acesso em maio de 2010.
- 6 Da Silva, A. J. Tecnologia em Mineração e Materiais, São Paulo, v. I, n.3, p. 63-67
- 7 MATTI kongas, KARI Saloheimo. Online Slurry Particle Size Analyzers – outotec- Minerals Processing, Riihitontuntie 7 D, FI – 02200 Espoo, Finland
- 8 BOVIK,A. Handbook of image processing, California: Academic Press, 2000
- 9 MATTI kongas, KARI Saloheimo. On-stream Elemental analysis for flotation circuit management and control – Outotec Minerals Oy PI 84, 02201 Espoo