

# PLANO DE MELHORIAS NO PROCESSO DE LIXIVIAÇÃO NEUTRA DA UNIDADE JUIZ DE FORA DA VOTORANTIM METAIS<sup>1</sup>

*Andréia Abrahão Sant'Anna<sup>2</sup>  
Lanusse Dias Cruz e Silva<sup>3</sup>  
Flávio Waltz Moreira e Silva<sup>2</sup>  
Georges Chaoubah<sup>3</sup>*

## Resumo

O zinco possui ampla aplicação na produção de ligas e na galvanização de estruturas de aço. Para o beneficiamento desse mineral, a rota Ustulação-Lixiviação-Eletrorecuperação RLE) é a mais utilizada. Dentre as etapas do beneficiamento de zinco, a lixiviação neutra é uma das mais importantes, consistindo da formação de uma solução de sulfato de zinco ( $ZnSO_4$ ) que atua como parte do processo de purificação desse mineral e remoção de impurezas. Para que essa etapa tenha uma eficiência máxima, é necessário que o pH da solução esteja controlada, com valor apropriado. As conseqüências de um controle ineficiente são o entupimento de equipamentos, alto consumo de reagentes, alto gasto de energia, dentre outros. Esses problemas foram identificados na operação da Unidade Juiz de Fora da Votorantim Metais. Esse trabalho visa apresentar as melhorias de engenharia e automação propostas para essa unidade, com intuito de solucionar problemas operacionais, com foco em redução do consumo de reagentes, redução das paradas na produção e melhorias no controle do processo. Para elaboração dessas melhorias, utilizou-se como metodologia as etapas de levantamento de informações (LI), diagnóstico do processo e instrumentação (DPI) e elaboração do plano conceitual de melhorias (PCM), este último sendo o resultado final desse trabalho. Conclui-se que ao executar as melhorias descritas no PCM é possível melhorar o desempenho das malhas de controle de pH, aumentar a eficiência na recuperação de zinco além de diminuir o número de paradas na usina.

**Palavras-chave:** Zinco; Lixiviação neutra; Controle de pH; Plano conceitual de melhorias.

## CONCEPTUAL PLAN OF IMPROVEMENTS AT NEUTRAL LEACHING PROCESS VOTORANTIM METAIS JUIZ DE FORA UNIT

### Abstract

Zinc has wide application in the production of alloys and plating of structural steel. For the benefit of this mineral, the route Ustulation-Leaching-Electrorecovering RLE) is the most used. Among the steps of the processing of zinc, the neutral leaching is one of the most important consisting in the formation of a solution of zinc sulphate ( $ZnSO_4$ ) that acts as part of the process of purification of this mineral and removal of impurities. For this step maximum efficiency, it is necessary that the pH of the solution is controlled, with appropriate value. The consequences of an inefficient control are the clogging of equipment, high consumption of reagents, high cost of energy, among others. These problems were identified in the operation of Votorantim Metais Juiz de Fora Unit. This work aims to suggest improvements in automation and engineering for this unit, in order to solve operational problems, with a focus on reducing consumption of reagents, reduction of downtime in production and improvements in process control. It was used a method of lifting the steps of information (LI), process and instrumentation diagnosis (DPI) and preparation of conceptual plan for improvements (PCM), the latter being the final result of this work. It follows that to implement the improvements described in PCM is possible to improve the performance of the pH loop control, increase efficiency in the recovery of zinc as well as reduce the number of stops in the plant.

**Key words:** Zinc; Neutral leaching; pH control; Conceptual plan of improvements.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 12º Seminário de Automação de Processos, 1 a 3 de outubro de 2008, Vitória, ES*

<sup>2</sup> *Graduado Nível Superior. Chemtech Serviços de Engenharia e Software LTDA.*

<sup>3</sup> *Graduado Nível Superior. Votorantim Metais.*

## 1 INTRODUÇÃO

A alta demanda na produção de aço galvanizado promoveu um aquecimento no mercado de produção de zinco a partir de 2005 atingindo 10,1 milhões de toneladas no mundo. Atualmente os maiores produtores de zinco são a China, Austrália, Peru, Canadá e Estados Unidos. Esses países juntos ocupam 64,8% da produção mundial.

No Brasil, as reservas minerais de zinco estão distribuídas nos estados da Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso, Pará e Rio Grande do Sul. A produção se dá exclusivamente pela empresa Votorantim Metais, com duas unidades localizadas no estado de Minas Gerais: uma localizada em Três Marias e outra em Juiz de Fora. Em 2005, a produção da Votorantim Metais atingiu 171 mil toneladas.<sup>(1)</sup>

O zinco é um mineral que tem como características a alta resistência a corrosão, graças à produção de um óxido protetor à temperatura ambiente, alta maleabilidade em temperaturas entre 100-150° C, podendo ser laminado em chapas e estirado em fios. Além disso, o zinco apresenta pouca resistência ao ataque de ácidos usuais e de soda. Este mineral pode ser encontrado na forma de placas, lingotes, chapas, grãos e pó.

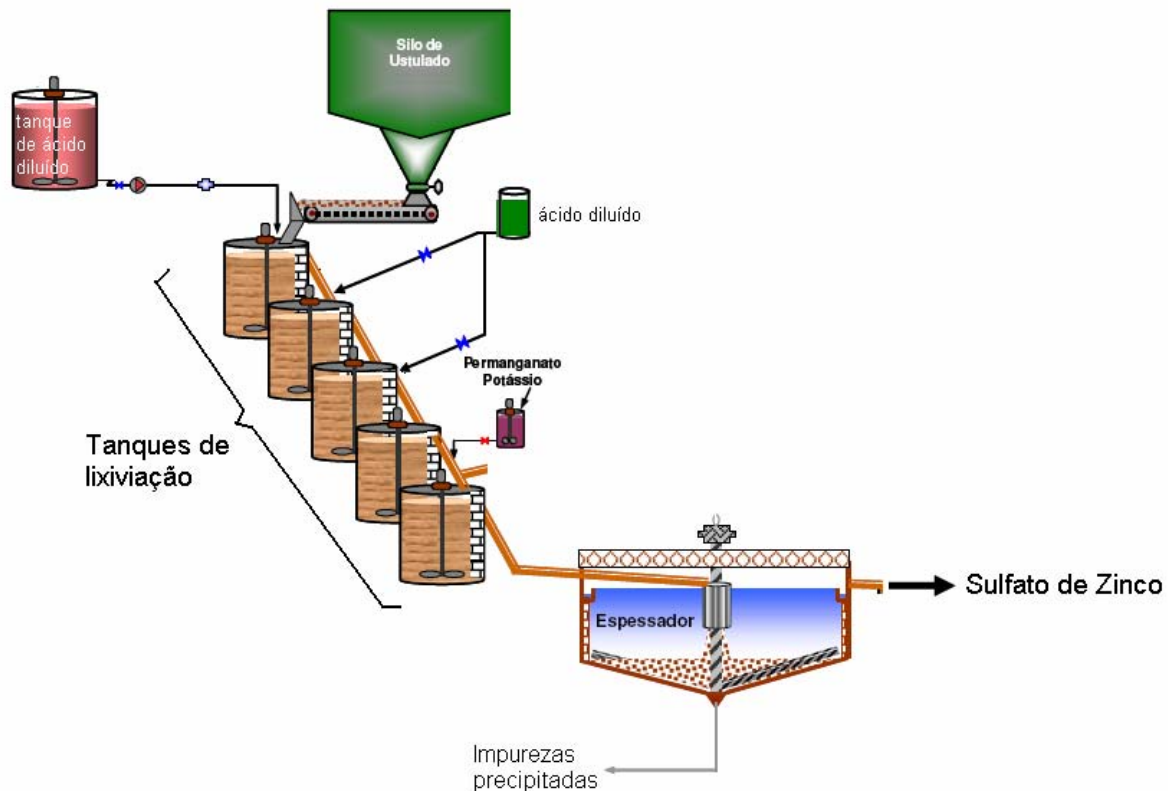
As aplicações do zinco variam de acordo com a forma como é encontrado. Partículas de zinco puro são usadas principalmente como adições em banhos de eletrolgalvanização, enquanto pós de zinco são usados em baterias e em tintas anticorrosivas. O óxido de zinco também é usado em pinturas iniciais e de acabamento, como agente redutor em processos químicos e como aditivo comum na fabricação de produtos de borracha. Já as ligas são usadas sob a forma de revestimentos, produtos fundidos, chapas laminadas, arames trefilados, peças forjadas e extrudadas. Outras aplicações importantes do zinco consistem no seu uso como elemento de liga importante na fabricação dos latões (Cu-Zn) e como anodo de sacrifício na proteção de aço usado na construção de navios submetidos às condições extremamente corrosivas existente na água marinha.

O principal processo de beneficiamento de zinco é o denominado “Ustulação-Lixiviação-Eletrólise” (RLE). O processo consiste na ustulação do minério de zinco, encontrado principalmente na forma sulfetada, seguida de uma lixiviação atmosférica, remoção de impurezas e da eletrorecuperação do metal. Esse processo é utilizado em 85% das plantas de zinco e tem como vantagem a obtenção de zinco metálico com alto grau de pureza.<sup>(2)</sup>

A lixiviação neutra é uma das etapas principais do processo de produção de zinco. Esta tem como finalidade formar uma solução de sulfato de zinco (ZnSO<sub>4</sub>) e atuar como parte do processo de purificação da solução, removendo impurezas (arsênio, germânio e antimônio) que prejudicam a etapa posterior de eletrólise. Para que as reações de lixiviação aconteçam com eficiência na recuperação de zinco, é preciso que as condições operacionais de pH e temperatura estejam controladas. Caso isso não aconteça, as conseqüências são: entupimento de equipamentos e linhas, alto consumo de reagentes em etapas posteriores, alto consumo de energia, além de excessivas paradas na produção para manutenção corretiva.<sup>(2),(3)</sup>

No caso da Votorantim Metais, o processo de lixiviação constitui-se dos seguintes passos: uma solução diluída de ácido sulfúrico é bombeada para um tanque denominado **tanque de lixiviação**, provido de agitação e aeração. É adicionada solução de ácido o **produto da ustulação** do minério de zinco. Para garantir o máximo rendimento da reação, a linha de produção conta ainda com outros tanques de lixiviação, estes providos dos mesmos recursos que o tanque primário. Nesses

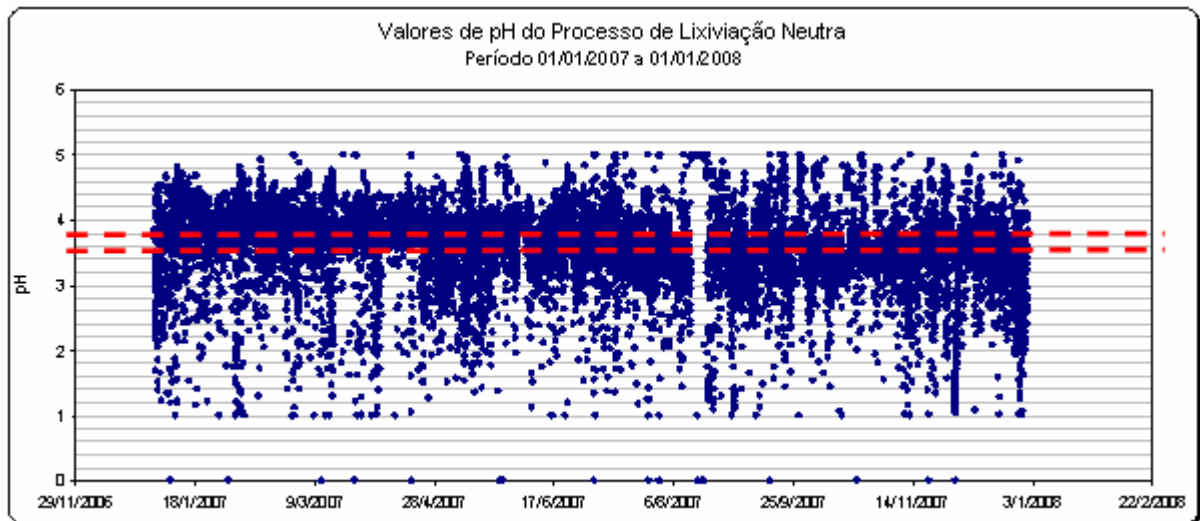
tanques intermediário são feitas correções do pH e da quantidade de íons ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) através da adição de soluções auxiliares como ácido sulfúrico diluído e permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ). A corrente resultante é encaminhada para o espessador onde se forma um líquido clarificado (sulfato de zinco) que é purificado e eletrolisado em etapas posteriores. O espessador ainda forma uma corrente de impurezas precipitadas. A Figura 1 mostra um fluxograma do processo de lixiviação neutra.



Fonte: Votorantim Metais

**Figura 1.** Fluxograma do Processo de Lixiviação Neutra.

Um dos problemas que ocorrem nesse processo é a dificuldade de manter a variável de processos pH dentro de determinados valores que garantam a eficiência máxima do processo. Uma constatação disso é apresentada na Figura 2, que mostra os valores dessa variável no processo no ano de 2007 na Unidade de Juiz de Fora. As faixas em destaque compreendem os valores que garantem uma alta eficiência. Observa-se que durante esse período de tempo analisado o valor de pH apresenta comportamento oscilatório e fora dos valores que garantem um máximo rendimento.

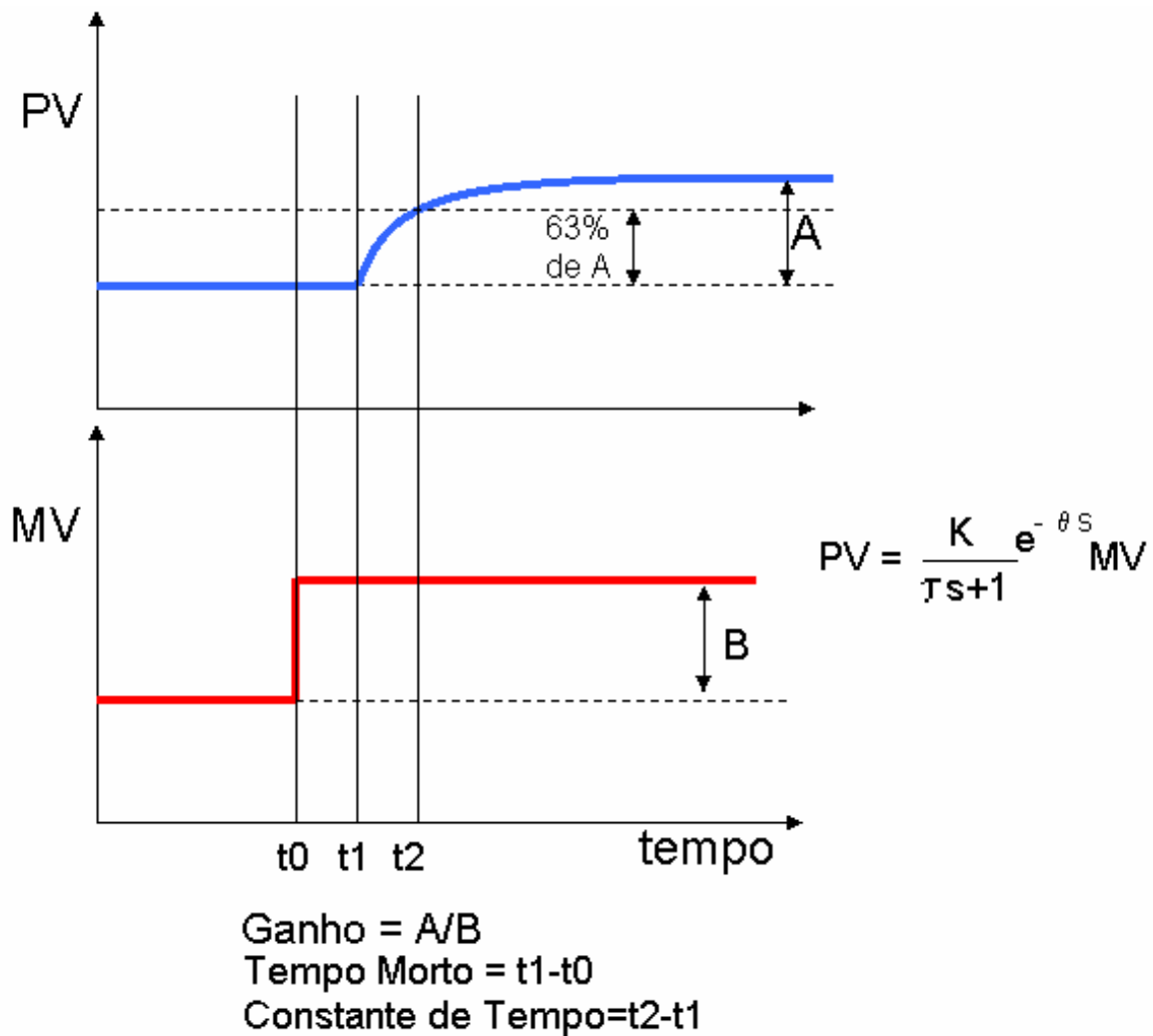


Fonte: Dados do processo de Lixiviação Neutra

**Figura 2.** Valores de pH do Processo de Lixiviação Neutra. As faixas vermelhas compreendem as condições de operação que garantem a eficiência máxima do processo.

Uma das formas de garantir o valor da variável de processo dentro do valor desejado é regular a quantidade de ustulado no tanque de lixiviação. Ao adicionar mais ustulado, a solução no tanque tende a neutralizar, aumentando o pH. Ao diminuir a quantidade de ustulado, a solução do tanque tem caráter ácido e com isso, o pH diminui. Para que esse controle seja realizado, é necessário que o operador fique durante 100% do tempo monitorando o processo, regulando a quantidade de ustulado no tanque de lixiviação. De forma a automatizar o processo, uma malha de controle é utilizada. Essa é composta por um controlador, que recebe o valor da variável de processo e compara com o valor de referência (setpoint). A diferença entre o valor medido e o valor de referência é denominada de erro. O controlador, que possui um algoritmo interno, envia um sinal para o atuador para corrigir o erro da variável.

A maioria dos controladores utilizados na indústria é do tipo PID. O algoritmo interno desse controlador é composto por três parâmetros principais: Proporcional (P), Integral (I) e Derivativo (D). Para que a malha de controle tenha um bom desempenho, é necessário que esses valores estejam ajustados (sintonizados) de forma adequada. Muitas técnicas de sintonia utilizadas atualmente são inspiradas em um modelo de processo dito de **primeira ordem com tempo morto**. Esse modelo é composto por três parâmetros: ganho (K), constante de tempo ( $\tau$ ) e tempo morto ( $\theta$ ). O ganho do processo é definido como sendo a variação na saída (variável de processo) dividida pela variação na entrada (variável manipulada). Um processo é dito linear se o ganho é constante em qualquer ponto de operação. A constante de tempo é definida como sendo o tempo em que a variável de processo leva para atingir 63% do valor final após uma perturbação degrau. Já o tempo morto é o tempo que a variável de processo leva para começar a variar após uma perturbação na variável manipulada. Para entender melhor esse tipo de modelo, a Figura 3 mostra graficamente a representação desses parâmetros.<sup>(4)</sup>



**Figura 3.** Representação gráfica dos parâmetros do modelo de primeira ordem com tempo morto.

Para o processo de lixiviação, o controle de pH se faz necessário para garantir a eficiência máxima de produção. Entretanto, o controle de pH é de grande dificuldade, principalmente devido à não-linearidade desse processo, uma vez que o pH varia em escala logarítmica em função da concentração de íons hidrogênio (H<sup>+</sup>). Parâmetros como o ganho podem variar em muitas ordens de grandeza dependendo do ponto de operação. A constante de tempo do processo pode variar, dependendo da vazão de entrada. Por esses motivos é necessária alta precisão dos atuadores, sensores e controlador para que o controle seja considerado eficiente.<sup>(5,6)</sup> Para resolver os problemas referentes ao controle de pH da Unidade Juiz de Fora da Votorantim Metais, a Chemtech elaborou um Plano Conceitual de Melhorias, que constitui um conjunto de ações de engenharia e automação para essa unidade, com intuito de solucionar problemas operacionais, com foco em redução do consumo de reagentes, redução das paradas na produção e melhorias no controle do processo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de melhorias na Unidade Juiz de Fora da Votorantim Metais abrangeu as etapas de Levantamento de Informações (LI), Diagnóstico do Processo e Instrumentação (DPI) e Plano Conceitual de Melhorias (PCM).

Na etapa de Levantamento de Informações, foram utilizados como recursos os depoimentos dos responsáveis pelo processo e instrumentação da Unidade e de informações na literatura. Dentre as informações da literatura, as rotas de produção de zinco e as estratégias de controle regulatório e avançadas são avaliadas. Essas informações são úteis para identificar os problemas existentes no processo, além de constatar se as tecnologias existentes estão de acordo com processo produtivo utilizado.

A etapa de Diagnóstico de Processo e Instrumentação consiste de uma avaliação de todos os componentes do processo que poderiam ocasionar problemas na unidade: equipamentos, instrumentos de medição, atuadores, PLC's, sistemas supervisórios, sistema de gerenciamento de informações da planta (*Plant Information Management System* - PIMS) e malhas de controle do processo.

Dentre os equipamentos de processo, foram diagnosticados:

- Tanque de alimentação de ácido sulfúrico;
- Silos de Ustulado;
- Balanças
- Tanques de Lixiviação Neutra;
- Tanques de Soluções Auxiliares;
- Espessador.

Cada um desses equipamentos é avaliado através das análises dos dados de processo, do nível de automatização e dos fatores proporcional, integral e derivativo (PID) das malhas de controle, caso existam. Essas análises servem para identificar desvios do processo em relação ao existentes na literatura, desvios do comportamento do processo em relação aos parâmetros das malhas de controle e indicar pontos de melhoria.

Para os instrumentos de medição foram avaliados os modelos adotados na unidade, o princípio de medição, a correta instalação do instrumento, a periodicidade de calibração e os resultados obtidos através da aplicação de testes de comunicação entre o sinal oriundo do campo para a sala de controle. Para cada um dos elementos de medição, são geradas fichas relatando a conformidade ou não com os itens avaliados e recomendações para adequação dos mesmos.<sup>(6)</sup>

Os elementos finais de controle, nesse caso os inversores de frequência, são avaliados através do resultado de testes aplicados para detecção de problemas que possam estar ocorrendo entre a comunicação do sinal do sistema supervisório aos inversores de frequência das malhas da Unidade. Da mesma forma que os elementos de medição, são geradas fichas apontando os principais problemas e recomendações a serem adotadas para a correção dos mesmos.<sup>(6)</sup>

Os controladores lógico-programáveis (PLC's) são avaliados quanto à linguagem de programação, acondicionamento, exposição à poeira e cabeamento. A avaliação da linguagem de programação serve para identificar problemas nas malhas de controle ou em qualquer nó na rede de comunicação dos instrumentos de campo. Os demais itens são avaliados para evitar a indução de curtos circuitos, podendo gerar acidentes.

Os sistemas supervisórios são avaliados quanto ao número de estações de trabalho, facilidade de uso, tempo de atualização dos dados na tela a partir de comandos dados pelo operador.

O sistema PIMS é avaliado quanto à quantidade e tipo de informações armazenadas bem como os fatores de compressão. Tais informações são importantes para se calcular, quando necessário, os índices de desempenho da planta, dentro de um intervalo de tempo considerável.

Quando existem vários projetos ou várias propostas dentro de um mesmo projeto, a análise de retorno de investimento permite definir uma ordem de prioridade. Para a estimativa de retorno de investimento, é fundamental o conhecimento do desempenho atual do processo e das malhas de controle. O desempenho de malhas de controle é determinado através de KPI's (*Key Performance Indexes*) cujos principais são: variabilidade, integral do erro absoluto (IAE), integral do erro absoluto ponderado no tempo (ITAE), dentre outros. Para avaliar esses índices, é necessário o conhecimento de alguns atributos, como o setpoint e o modo da malha. Outra forma de avaliar o desempenho das malhas de controle é introduzir perturbações no setpoint das variáveis controladas.<sup>(6)</sup>

O Plano Conceitual de Melhorias (PCM) compreende a última etapa desse projeto. Para a elaboração do PCM, são utilizados como recursos as informações das etapas anteriores do projeto (LI e DPI), identificando os problemas existentes na unidade e identificando os principais pontos de melhoria no que tange ao controle de pH do processo. Cada melhoria a ser executada na unidade é denominada uma **ação**, classificada de acordo com o tempo de conclusão e grau de complexidade da mesma. Assim, são elaboradas no PCM ações de acertos imediatos, de maiores esforços e de longo prazo. Cada ação é detalhada quanto a sua especificação técnica, os materiais necessários para aquisição, o tempo de conclusão das atividades, a estimativa orçamentária e os ganhos tangíveis e intangíveis.

### 3 RESULTADOS

A partir das informações das entrevistas com os responsáveis da Unidade, da literatura, de levantamento de dados de campo e de levantamento de dados de processo, o Plano Conceitual de Melhorias resultou em diversas ações, divididas por tipo: acertos imediatos, prioritárias, de longo prazo e de baixa prioridade. Nessa seção são apresentadas as ações que trazem ganhos de forma mais significativa.

Na etapa de Diagnóstico de Processo e Instrumentação, observou-se a falta de alguns atributos de uma malha de controle cadastrados no PIMS, a saber: setpoint, modo (automático e manual), variável manipulada e sinalizadores de atividade da malha. Antes de implantar um projeto de alterações no processo, é recomendável previamente estimar o retorno de investimento para a viabilidade econômica.

Devido ao estado atual do PIMS, não foi possível realizar o diagnóstico das malhas de controle de forma quantitativa. A ação, denominada **Expansão da Cobertura do PIMS**, deve ser realizada antes de qualquer outra. Deve-se esperar um período de tempo entre o cadastro das variáveis no PIMS e a execução de qualquer outra ação, para que se possa ter um registro do estado atual da planta antes da execução de determinada ação.

Outro ponto de falha observado na etapa Diagnóstico foram os elementos finais de controle da malha, os inversores, que estão atuando de forma não linear. Para uma malha de controle PID, é fundamental que os elementos finais de controle atuem de forma linear de forma que a variável de processo atinja o valor desejado em qualquer ponto de operação. A ação de **Serviços de Instrumentação** consiste na parametrização dos inversores de frequência dentro da faixa de operação. Somente após a execução dessa ação, a atividade **Sintonia das Malhas de Controle** pode ser executada, para assim ter um desempenho máximo do processo.

Ainda na fase de Diagnóstico, observou-se um elemento chave que atrapalha o desempenho da malha de controle: o medidor de pH é do tipo amostral. O instrumento faz a sucção de uma amostra do processo para a célula de medição,

onde o pH é medido. A amostra é então retornada para o processo. Em seguida o instrumento faz a sucção de um ácido de limpeza e de água, repetidas vezes, realizando um ciclo de lavagem. Somente após o ciclo de lavagem é que uma nova amostra do processo é coletada. Observou-se que o período de amostragem é da ordem de 1,5 a 2 minutos, significando que a medição é insuficiente e o controle por sua vez é insatisfatório. A ação **Eletrodo de pH imerso no tanque**, consiste em substituir o elemento sensor por um acoplado aos tanques de lixiviação. Dessa forma, haverá uma medição contínua do valor do pH no processo e conseqüentemente, um melhor controle para a malha.

Durante a fase de Levantamento de Informações, foram levantadas na literatura diversas técnicas de controle de pH. Atualmente, o processo é controlado através de malhas de controle PID. Devido a não-linearidade inerente ao comportamento do pH, o controlador PID simples não apresenta bom desempenho para manter o processo nas condições desejadas. Por isso, várias técnicas têm sido propostas para controle desses sistemas, como por exemplo, o controle preditivo multivariável, redes neurais, lógica *fuzzy* e controle adaptativo. Dentre as estratégias de controle adaptativo, os controladores com ganho escalonado apresentam bons resultados e são simples de serem desenvolvidos devido a menor quantidade de parâmetros a serem configurados, quando comparados aos métodos de lógica *fuzzy* e redes neurais. Além disso, podem ser programados no próprio PLC, dispensando o uso de plataformas dedicadas, como é feito para a implantação do controle preditivo.<sup>(7),(8)</sup> A ação **Estabilização do pH nos tanques de lixiviação através da alteração da estratégia de controle** consiste na implantação de um controlador PID com ganho escalonado, ou seja, os parâmetros Proporcional, Integral e Derivativo variam de acordo com a faixa de operação.

#### **4 DISCUSSÃO**

Não foram encontrados registros na literatura de trabalhos similares realizados no processo de Lixiviação Neutra.

O sistema PIMS não contempla alguns atributos das malhas de controle, sendo assim, os ganhos tangíveis não puderam ser calculados.

Os ganhos intangíveis para a Votorantim Metais variam de acordo com a ação executada, mas de forma geral observam-se melhorias no monitoramento do processo, possibilidade de avaliação do desempenho do processo e das malhas de controle, maior qualidade nas medições dos instrumentos (maior quantidade de valores amostrados em um mesmo intervalo de tempo) e acima de tudo, melhor desempenho das malhas de controle.

#### **5 CONCLUSÃO**

A partir do Levantamento de Informações e Diagnóstico de Processo e Instrumentação, foi possível elaborar o Plano Conceitual de Melhorias para o Processo de Lixiviação Neutra da Unidade Juiz de Fora da Votorantim Metais.

Para que o desempenho da unidade possa ser monitorado, é fundamental o cadastro de atributos das malhas de controle no PIMS como: setpoint, modo, variável manipulada e sinalizadores. Outro fator importante é o ajuste dos parâmetros dos elementos finais para que a malha de controle possa atuar corretamente.



Para que estratégias de controle avançado possam ser implantadas com sucesso, é fundamental que toda a instrumentação esteja funcionando adequadamente. Assim sendo, é fundamental que a amostragem do pH dos tanques de lixiviação seja melhorada, conforme sugerido no item 3.

Para que as malhas de controle funcionem com desempenho máximo, é necessário utilizar técnicas de controle adequadas ao processo que se deseja controlar. Sendo assim, tendo em vista o caráter não-linear do processo de pH, é necessário substituir o algoritmo PID clássico por um PID com ganho escalonado, ajustados para determinadas faixas de operação, compreendendo toda faixa em que o processo se comporta de maneira não-linear.

## **Agradecimentos**

À equipe técnica da Votorantim Metais Juiz de Fora que forneceu todas as informações necessárias para a execução desse trabalho.

## **REFERÊNCIAS**

- 1 NEVES, C. A. R. Aspectos Econômicos do Zinco. Departamento Nacional de Produção Mineral de Produção Mineral DNPM/BSB, 2006. Disponível em <[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1007](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=1007)> Acesso em 08 jun. 2008.
- 2 FEIJÓ, F. D. Redução das perdas de zinco associadas aos processos de purificação do licor por cementação e de tratamento dos resíduos gerados da Votorantim Metais. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO, Escola de Engenharia, UFMG. Belo Horizonte, 2007.
- 3 GUPTA, C. K., MUKHERJEE, T. K. Hydrometallurgy in Extraction Process. Flórida: CRC Press, 2000, vol. I.
- 4 CORRIPIO, A. B., SMITH, C. A. Principles and Practices of Automatic Process Control. John Wiley & Sons, 2005, 3ª Ed.
- 5 MCMILLAN, G. K., CAMERON, R. A. Advanced pH Measurement and Control. ISA-The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2005, 3ª Ed.
- 6 JEFERRY, H. M. Looping Checking: A Technician's Guide. ISA-The Instrumentation, Systems and Automation Society, 2005.
- 7 GOUVÊA, M. R., et al. Uso de Controlador Neurofuzzy baseado em redes NFN em sistemas de controle de pH e temperatura de topo de coluna de destilação. Revista Controle e Instrumentação, n. 130. 2007.
- 8 JUNIOR, H. G. O. Aplicações de Técnicas de Controle Avançado a uma Malha de Controle de pH. MONOGRAFIA DE FIM DE CURSO, Escola de Engenharia, UFMG. Belo Horizonte, 2007.