

# CONTROLE PREDITIVO IMPLEMENTADO NA REGULAÇÃO DO PH EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS<sup>1</sup>

Cláudio José Barcelos Dal'Có<sup>2</sup>  
Luciano França Rocha<sup>2</sup>  
Henrique Dias Gatti Turrer<sup>3</sup>  
Fabiane Cappellini Vettoraci<sup>4</sup>  
Anderson Fernandes da Paixão<sup>5</sup>

## Resumo

Este trabalho objetiva reduzir a variabilidade no controle de pH na estação de tratamento de efluentes e, principalmente, reduzir o consumo de CO<sub>2</sub>. O fluxo de água obedece a seguinte ordem: espessador-clarificador, estação de tratamento de efluente (ETEI) e caixas com água para recirculação. O pH do efluente é um importante parâmetro no processo de tratamento. A eficiência dos aditivos químicos utilizados para facilitar a aglomeração dos sólidos em suspensão (Coagulante e Floculante), depende do pH do efluente. Desta forma, a qualidade do efluente tratado tem grande dependência do pH. Na implementação deste controle, foi empregada a técnica de controle preditivo. Na nova estrutura de controle, a vazão do efluente é considerada como distúrbio medido e, por esse motivo, a influência da vazão (através de um modelo aproximado de primeira ordem) é utilizada no cálculo da saída de controle. Observou-se, ao longo do projeto, que o pH do efluente é uma dinâmica extremamente não linear. Para conviver com essa característica, definiu-se uma faixa de operação e, nessa faixa, considerou-se o processo linear. O controle preditivo mostrou-se extremamente robusto para essa aplicação. Utilizando o controle em modo automático, observou-se uma redução da variabilidade do pH em torno de 50%.

**Palavras-chave:** Controle Preditivo; pH; Efluente.

## PREDICTIVE CONTROL IMPLEMENTED IN THE REGULATION OF PH IN INDUSTRIAL EFFLUENT TREATMENT PLANT

### Abstract

This work aims to reduce the variability in pH control in effluent treatment plant and, especially, reduce the consumption of CO<sub>2</sub>. The water flow obeys the following order: thickener, clarifier, effluent treatment plant and boxes with water to recirculation. The effluent pH is an important parameter in the treatment process. The efficiency of chemical additives used to facilitate the agglomeration of suspended solids (coagulants and flocculants), depends on the pH of the effluent. Thus, the quality of treated effluent has high dependence on pH. In implementing this control, was used the predictive control. In the new control structure, flow of effluent is considered as measured disturbance and, therefore, the influence of flow (through an approximate first order model) is used to calculate the control output. It was observed throughout the project, the pH of the effluent is a highly nonlinear dynamics. To deal with this feature, we defined an operation range and, in this range, we considered the process linear. The predictive control was extremely robust for this application. Using the control in automatic mode, we observed a reduction in the variability of pH around 50%.

**Key words:** Control; Predictive; pH; Effluent.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 15º Seminário de Automação e TI Industrial, 20 a 22 de setembro de 2011, São Paulo, SP.

<sup>2</sup> Engenheiro de Automação – Samarco Mineração.

<sup>3</sup> Engenheiro de Processos – Samarco Mineração.

<sup>4</sup> Engenheiro de Produção – Samarco Mineração.

<sup>5</sup> Técnico de Controle de Processos – Samarco Mineração.

## 1 INTRODUÇÃO

A unidade industrial da Samarco Mineração localizada em Ponta Ubu é responsável pela pelotização do minério de ferro recebido na forma de concentrado. Aproximadamente, 24 milhões de toneladas de sólidos são enviadas na forma de concentrado, que é comumente chamado de polpa. O transporte é realizado por minerodutos de aproximadamente 396 km de extensão. No início do processo, a polpa é recebida em uma torre e direcionada através de válvulas para o espessador. No espessador, através da sedimentação das partículas, o percentual de sólidos é elevado de 66% para 72%. Após a etapa de espessamento, a água é enviada para outro equipamento espessador chamado comumente de clarificador e, após essa última recuperação de sólidos, a água é enviada para uma estação de tratamento de efluentes industriais para, depois de tratada, ser utilizada no processo e, caso haja necessidade, ser incorporada ao meio ambiente. O fluxo do processo pode ser visto na Figura 1.

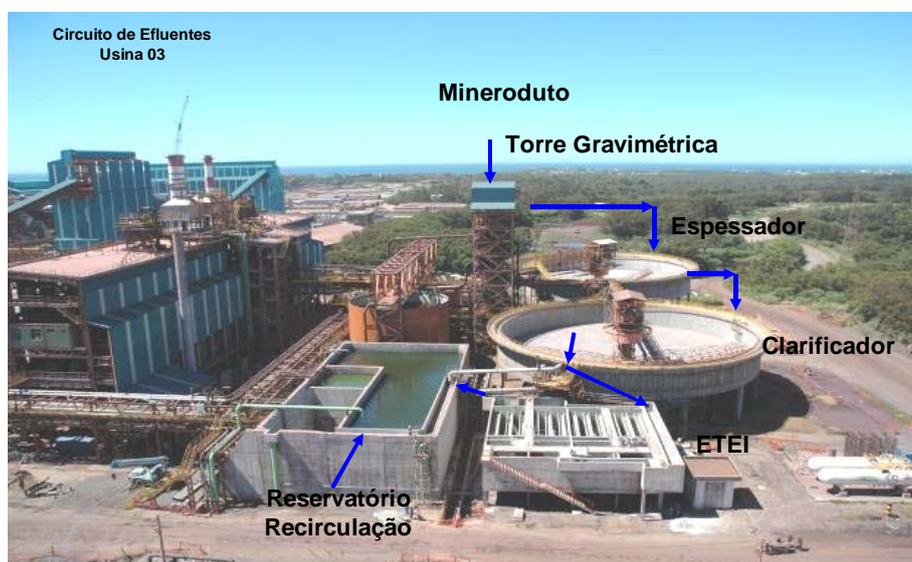


Figura 1. Fluxo do efluente industrial das usinas 1 e 2 de Ubu.

Na estação de tratamento de efluentes são adicionados dois reagentes, coagulante e floculante que são responsáveis por aumentar a eficiência do processo de aglomeração de partículas melhorando o tratamento da água. O pH é um importante parâmetro de controle ambiental medido na estação. Porém, além de ser requisito ambiental para a incorporação da água ao meio ambiente, o pH do efluente influencia muito na eficiência dos aditivos adicionados e na geração de espuma. Por essas razões, influencia na qualidade do efluente tratado e na eficiência da estação.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Reuniu-se uma equipe envolvendo engenheiros de automação e de processo, e técnicos de controle de produção. Foram realizadas algumas reuniões nas quais o processo de tratamento de efluentes foi bastante discutido. Nessas discussões todas as fontes de material a ser tratado que alimentam a estação e todos os aditivos químicos

que são adicionados foram levantados e estudados. O objetivo principal dessas reuniões era conhecer o processo e todas as fontes de distúrbio para então propor uma estratégia de controle que fosse adequada às particularidades do processo de tratamento de efluentes.

Após as discussões, as variáveis mais importantes do processo foram identificadas. Para estudar a influência dessas variáveis no pH final do efluente alguns testes de laboratório foram realizados no sentido de avaliar quais distúrbios, medidos ou não, poderiam influenciar no pH final do efluente.

Para a estimação dos modelos aproximados, havia disponível como ferramenta para análises estatísticas e modelagem o software Infoplus.21® e da AspenTech e um software do sistema DeltaV, o Predict Pro.

O software Infoplus.21® possibilita acessar informações históricas do processo e o Predict Pro foi utilizado para levantar as dinâmicas de primeira ordem. Essa ferramenta aplica pulsos pseudo aleatórios (PRBS) com duração proporcional ao tempo de estabilização da variável mais lenta. Este tempo de estabilização é definido pelo usuário com conhecimento prévio do processo. Para a identificação do sistema, escolheu-se um período no qual a estação estava com todas as dosagens de insumos constantes e alimentação constante. Nesse período os pulsos foram aplicados e a relação de causa e efeito da variável manipulada (abertura da válvula de CO<sub>2</sub>) com a controlada pH foi calculada.

Embora a resposta do pH é extremamente não linear, na faixa de operação escolhida, a resposta foi considerada linear e os modelos aproximados utilizados no controle foram modelos de primeira ordem em série com um tempo morto.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez identificada a influência do pH na eficiência da estação de tratamento, da oportunidade de melhorar o controle existente e de permitir que o processo acontecesse em determinado *setpoint* de pH. Decidiu-se, então, investir em uma tecnologia de controle de pH diferente do controlador PID que já existia. Então optou-se pela tecnologia de controle preditivo.

A técnica de controle do tipo MPC (*Model Predictive Control* ou Controle com Modelo de Predição) é recomendada em aplicações com características de dinâmica difíceis (tempo-morto dominante, dinâmicas interagentes e/ou não-lineares). Esta tecnologia é ideal para controle em casos de sistemas multivariável, compensação de perturbações medidas (*feed-forward*), controle por restrição (*override*) ou para otimização econômica do processo. O algoritmo MPC tem característica preditiva, ou seja, utiliza um modelo interno aproximado do processo para prever o comportamento das variáveis dependentes ao longo de um horizonte futuro de tempo, em função de variações nas variáveis manipuladas ou perturbações. Este modelo é gerado por meio de testes de variação na própria unidade de processo. Utilizando as predições futuras das variáveis dependentes, o algoritmo calcula os movimentos necessários nas variáveis manipuladas que minimizem a soma dos erros futuros. Estes erros são equivalentes às diferenças entre os valores previstos e a trajetória desejada para estas variáveis.<sup>(1-3)</sup> A resposta do controle preditivo pode ser verificada na Figura 2.

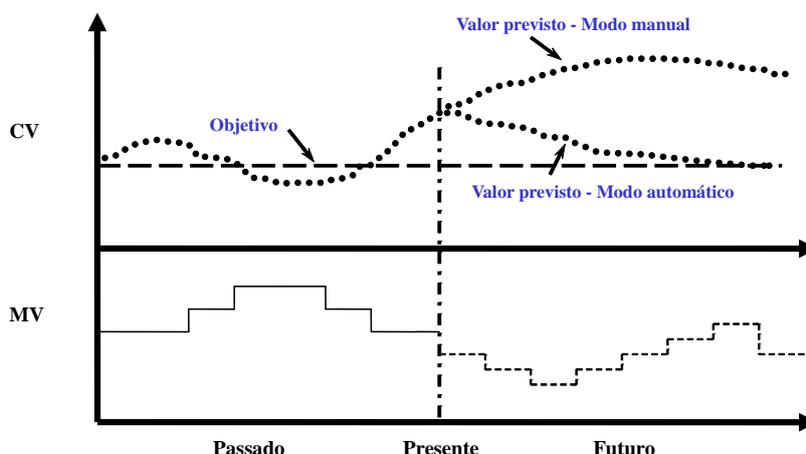


Figura 2. Resposta do controle preditivo.<sup>(4)</sup>

Após exaustivas discussões sobre o processo e, uma vez que a dosagem de CO<sub>2</sub> era realizada de forma manual, ou seja, dosagem constante, foi possível confirmar que o controle do pH do efluente, medido por um eletrodo na estação de tratamento, tinha grande dependência da vazão de entrada da estação de tratamento e que o processo tinha uma dinâmica extremamente não linear, ou seja, a adição de CO<sub>2</sub> apresentava respostas bastante distintas (tempo de reação e estabilização) para diferentes faixas de operação. O controle foi modelado e configurado para operar numa pequena faixa que atendia aos requisitos ambientais e de processo e, nessa faixa escolhida, os modelos aproximados foram de 1ª ordem em série com um tempo morto.

O primeiro passo foi verificar a influência da vazão de entrada. Pelas características não lineares do sistema, os modelos foram identificados em diferentes dias e diferentes situações para então confirmar que o modelo aproximado de 1ª ordem era representativo. A Figura 3 exemplifica dois modelos da variação do pH pela variação da vazão de entrada levantados em dois momentos distintos.

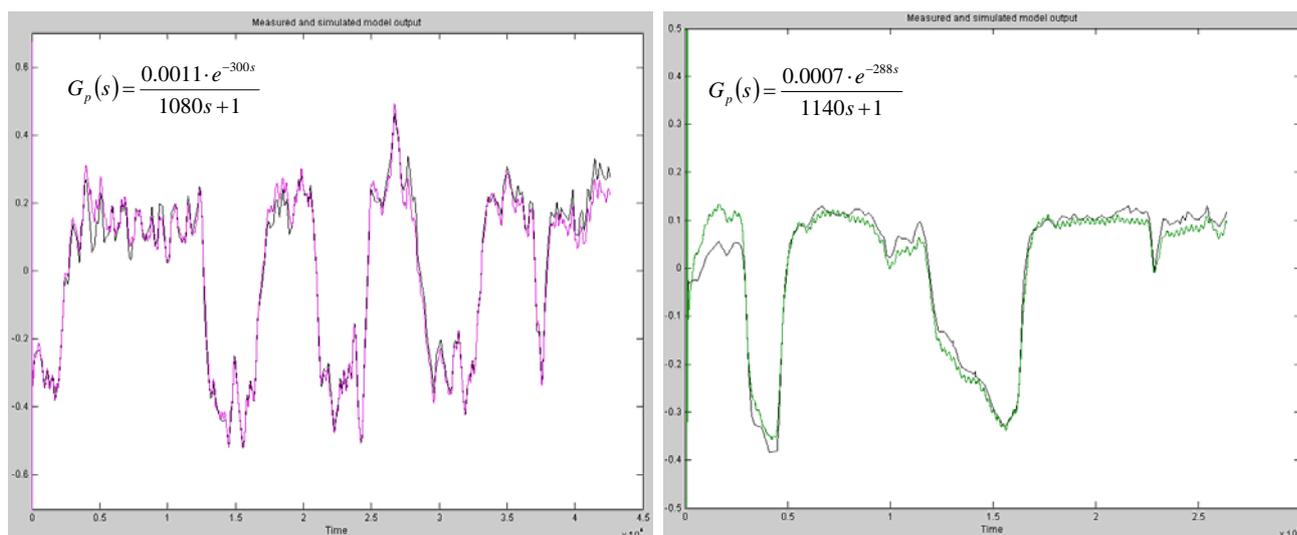


Figura 3. Variação do pH pela variação da vazão de entrada.

Os modelos apresentaram um coeficiente aproximado de correlação de 85% após serem comparados aos dados reais amostrados. Desta forma pôde-se comprovar que a vazão, que é um distúrbio medido, tem grande influência na variação do pH e, além disso, varia de forma bem mais rápida que a variação natural do pH do efluente de entrada. Após esse levantamento a estratégia de controle proposta foi a mostrada na Figura 4.

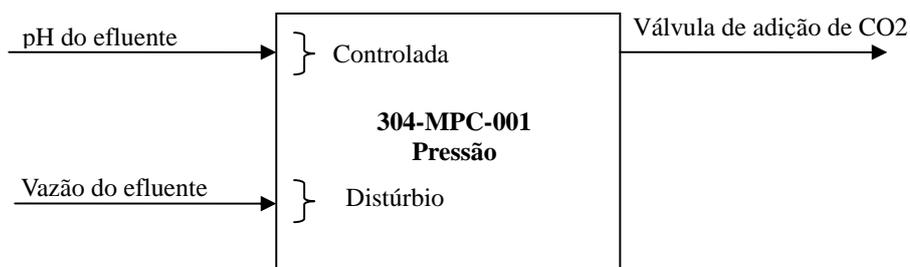


Figura 4. Nova estratégia de controle de pH.

O modelo da vazão foi novamente levantado juntamente com o modelo de adição de CO<sub>2</sub>. Nesse momento os modelos foram estimados pela ferramenta de configuração, já levando em consideração os valores de escala. Os modelos levantados são mostrados na Figura 5.

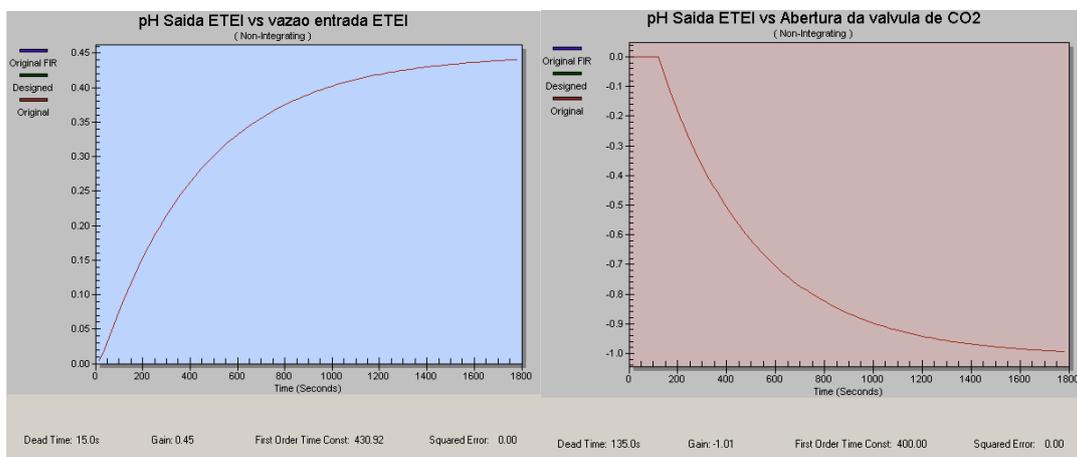


Figura 5. Resposta de primeira ordem da vazão e da abertura da válvula de CO<sub>2</sub>.

Na nova estratégia de controle a válvula é modulada não somente pela variação de pH natural do efluente de entrada mas também pela variação da vazão de alimentação da estação de tratamento. Além disso, o controle, baseado nos modelos levantados, sabe que as duas dinâmicas têm constantes de tempo diferentes, ou seja, o pH medido no eletrodo da estação varia mais rápido pela variação de vazão do que pela variação do pH de entrada e atua de maneira a manter aproximadamente constante a concentração de CO<sub>2</sub> e, conseqüentemente, o pH. A resposta antes e depois do controle pode ser verificada nas Figuras 6 e 7. Observa-se que antes do controle, a variabilidade do pH era muito maior do que a atual, a redução foi cerca de 50%, já que a abertura da

válvula não se ajustava as mudanças na vazão do efluente, permanecendo, por longos períodos, em uma determinada abertura.



Figura 6. Resposta do controle antes da implementação do controle preditivo.

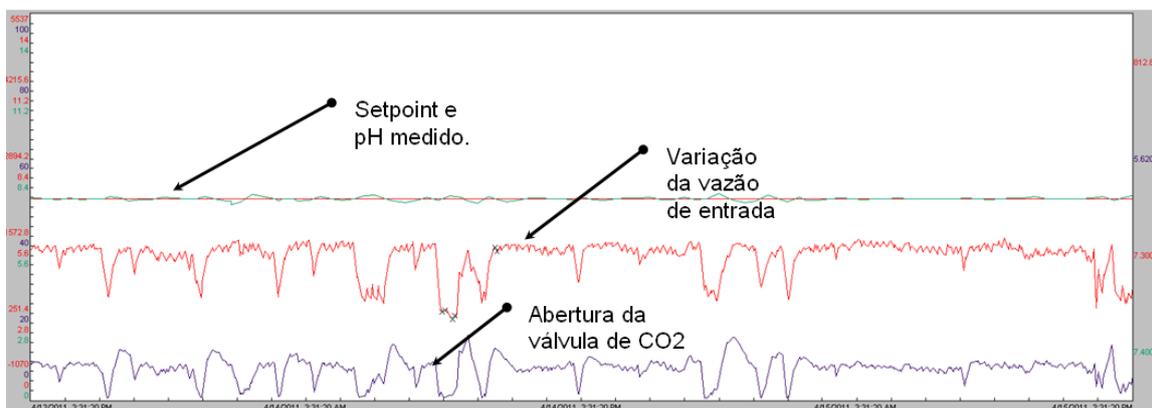


Figura 7. Resposta do controle após a implementação do controle preditivo.

#### 4 CONCLUSÕES

Nesse trabalho, conclui-se que o controle foi eficaz na redução de variabilidade do pH do efluente na faixa de controle escolhida. Após a implementação e ajuste do controle, a malha foi avaliada semanalmente e pôde-se comprovar que a variabilidade do pH se manteve estatisticamente igual durante muitos meses depois. Esse fato mostra que a técnica de controle preditivo é robusta e foi adequada ao controle de pH no processo de tratamento de efluentes.

A redução de variabilidade com o controle em operação foi da ordem de 50% e, com o processo operando mais próximo dos limites operacionais, foi observada uma redução do consumo de  $CO_2$  da ordem de 4%.

Outras áreas do processo produtivo tem potencial de aplicação dessa tecnologia e serão estudadas futuramente.

## Agradecimentos

Os agradecimentos vão para todos os envolvidos e, especialmente, aos profissionais de produção Anderson Fernandes da Paixão e Fabiane Capelini Vettoraci pelo importante suporte técnico e enorme disponibilidade para esse projeto. Muito obrigado também ao corpo gerencial, que providenciou todos os recursos humanos e tecnológicos necessários.

## REFERÊNCIAS

- 1 EMERSON, DeltaV Books Oline 10.3: Copyright © 1994-2009, Fisher-Rosemount Systems, Inc. All Rights Reserved.
- 2 Blevins, Terrence, “*Advanced Control Unleashed: Plant Performance Management for Optimum Benefit*”, Research Triangle Park, ISA – The International Society of Automation, ISBN 1-55617-815-8.
- 3 MCMILLAN, G. K., CAMERON, R. A. (3rd EDITION) *Advanced pH Measurement and Control*, ISA.
- 4 ROCHA, L. F.; DAL´CÓL, C. J. B.; QUEIROZ, G.; GUIMARÃES, J. (2010) Controle preditivo multivariável com otimização da alimentação implementado em Moinho de carvão: Aplicação de controle preditivo em moinho de carvão. In: 14º Seminário de Automação de Processos. Belo Horizonte/MG, 10p.