

OTIMIZAÇÃO DAS MALHAS DE CONTROLE - PROCESSO CARBOQUÍMICOS DA GERDAU AÇOMINAS¹

Eduardo Soares Figueiredo²

Gilmar do Carmo Rocha³

Jonnathan Seixas Fonseca de Rezende³

Marcio Jose Marques Curty³

Marlon Rosa de Gouvea⁴

Mateus de Araújo Carvalho⁵

Mauricio Rodrigues Ferreira⁶

Resumo

Este trabalho tem como objetivo apresentar as soluções computacionais implantadas na Planta de Produtos Carboquímicos para otimização das malhas de controle dos processos de produção Óleo Leve, Alcatrão, Phosam, Cyam e Tratamento Biológico. Para o trabalho em questão, foi realizada uma revisão de todas as malhas de controle da planta de produtos Carboquímicos da Gerdau-Açominas, ajustando a sintonia de diversos controladores PID e “em cascata”. Para algumas malhas, casos especiais, foram implementadas técnicas de controle avançado (Feed Forward) e técnicas de Inteligência Computacional (Controlador Fuzzy). Como resultado deste, obteve-se uma melhoria considerável no desempenho das malhas de controle PID, com a redução do erro das variáveis controladas, redução da movimentação dos atuadores e o aumento da estabilidade do processo. Ressalta-se também o aumento da segurança operacional, devido à redução do número de controladores em modo de operação manual, além de se obter a redução do desgaste dos atuadores, a redução do consumo de ar e de energia.

Palavras-chave: Carboquímicos; Controle de processo; Variabilidade; Controlador fuzzy.

¹ IX Seminário de Automação de Processos, 05 a 07 de outubro de 2005, Curitiba-PR.

² Analista de Sistemas Industriais (Eng. Trainee)- Gerência de Tecnologia da Informação.

³ Operador Centro Controle Carboquímicos – Gerência de Carboquímicos.

⁴ Engenheiro Eletricista Especialista – Gerência de Engenharia Operacional e Utilidades.

⁵ Engenheiro de Processo (Eng. Trainee)-Gerência de Carboquímicos.

⁶ Analista de Sistemas Industriais - Gerência de Tecnologia da Informação.

INTRODUÇÃO

O projeto de otimização das malhas de controle, utilizando técnicas computacionais, tornou-se viável após a modernização da automação da planta de Produtos Carboquímicos. Neste processo foi efetuada a substituição dos controladores analógicos convencionais por um sistema de SDCD.

Através do histórico dos problemas de controle apresentado pela equipe da Área de Carboquímicos, selecionaram-se as malhas a serem estudadas. Durante este processo foi avaliada a possibilidade de se fazer novamente a sintonia dos controladores. Em alguns casos, foi verificado que a estrutura de controle utilizada não era adequada, ou a malha apresentava excessivas perturbações externas, impossibilitando uma boa atuação de controle. Constatou-se então a necessidade de uma avaliação mais profunda do sistema existente, para a determinação e avaliação destas perturbações.

Ao fim desta avaliação, verificou-se que a maior parte das perturbações existentes nas malhas estava sendo gerada por outros controladores, que apresentavam resultados de controle relativamente satisfatórios para suas variáveis, no entanto, apresentavam oscilações capazes de provocar perturbações significativas em outras malhas. Nesta etapa do trabalho, foi verificado que não bastaria abordar apenas os controladores que apresentavam resultados inadequados, sendo proposto então a reavaliação de todas as malhas de controle da Área de Carboquímicos.

Entretanto, para alguns controladores, a sintonia não foi suficiente para atender a necessidade do processo. Foi verificado que a estrutura de controle adotado não era capaz de controlar as perturbações causadas pelo aumento da carga de produção, ou mesmo as oscilações naturais de processo. Avaliando os sistemas físicos das malhas e as condições de operação de cada malha, foi determinado qual seria a melhor metodologia de controle para o processo.

A seguir apresentaremos três estudos de casos, o primeiro onde se obteve uma estabilização do processo através da sintonia das malhas, o segundo exemplifica o uso da estratégia de controle a três elementos para o controle de nível das torres de destilação (Feed-Forward), e por último, um caso de aplicação de controle especialista (Fuzzy).

CASO 1 - CONTROLE DE TEMPERATURA DO 24º PRATO DA TORRE DE DESTILAÇÃO T-3

A torre de destilação T-3 é a última etapa do processo produtivo de amônia anidra da Gerdau-Açominas. Devido ao processo, é desejável que a temperatura varie o mínimo possível, de maneira a garantir uma produção estável de amônia. A seguir apresentaremos os gráficos da temperatura (Figura 1) e da vazão de produção de amônia (Figura 2), anteriores a implementação do projeto.

O estudo consistiu de duas etapas:

- Levantamento dos possíveis motivos de perturbação;
- Análise das outras variáveis da torre T-3 procurando-se uma correlação com a temperatura da torre.

Durante o estudo encontrou-se uma correlação entre a temperatura da torre e a vazão de vapor injetado, correlação esta muito superior ao esperado pela operação. O controlador de vazão de vapor sempre foi considerado pelos

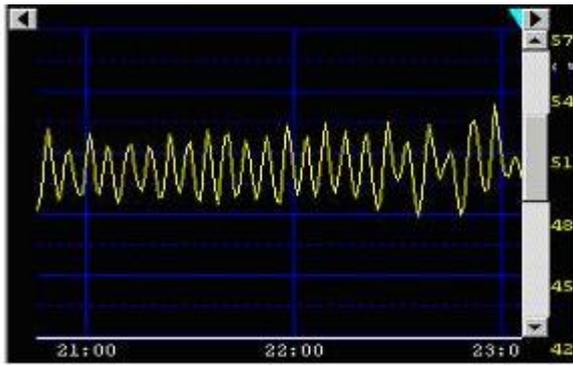


Figura 1. Temperatura (°C) de topo da torre T-3.

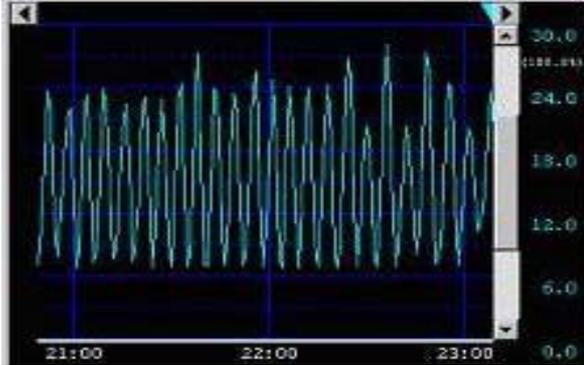


Figura 2. Vazão (L/min) de produção de amônia.

operadores um controlador muito eficiente, pois este apresentava um erro inferior a 1% do setpoint determinado (Figura 5). Devido à constatação da correlação das variáveis, realizou-se a sintonia do controlador de vazão de vapor, para minimizar as perturbações causadas por este na temperatura da torre. A Figura 6 mostra a vazão de vapor após a sintonia, as Figura 3 e Figura 4 referem-se à temperatura e à vazão de produção de amônia obtidas.

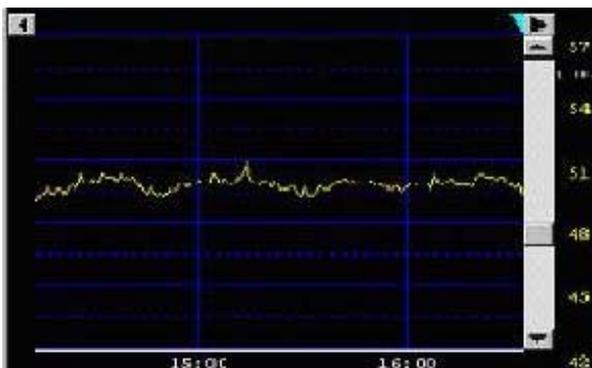


Figura 3. Temperatura (°C) de topo da torre T-3.

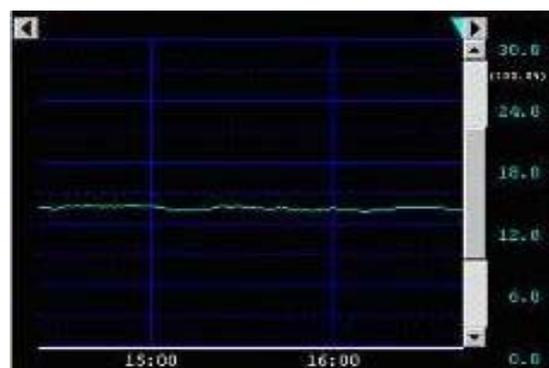


Figura 4. Vazão(L/min) de produção de amônia.

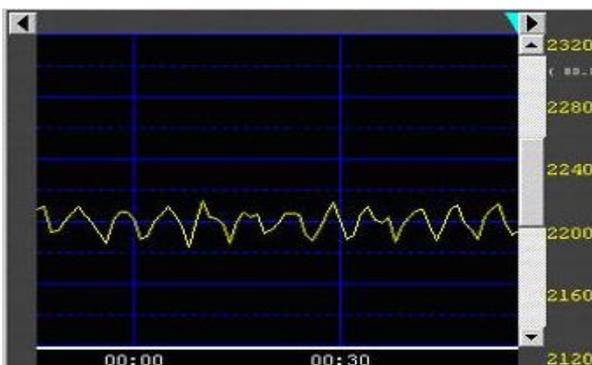


Figura 5. Vazão de Vapor (Kg/h).

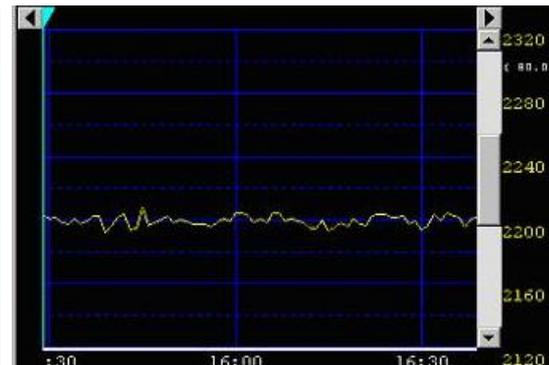


Figura 6. Vazão de vapor(Kg/h).

CASO 2 - ALIMENTAÇÃO DA TORRE DE DESTILAÇÃO TW-501

Na planta de processamento de BTX para produção de Benzeno de alta pureza, Tolueno e Xileno industrial, é utilizado um sistema de destilação em série. O BTX, preparado em etapas anteriores do processo, é direcionado para uma primeira torre de destilação (TW-401), para separação do benzeno (fração leve) dos outros

compostos. Nesta torre de destilação, o produto de topo (benzeno) segue para um tanque de refluxo e o excesso é direcionado para refinamento na torre TW-402.

O produto de base, TXN (Tolueno, Xileno, e Nafta) é circulado em um forno para fornecer calor para o processo, controlado por um medidor de vazão (FICA-404) e o excesso de nível da base da TW-401 é direcionado diretamente para a alimentação da TW-501, sem passar por nenhum tanque de estocagem.

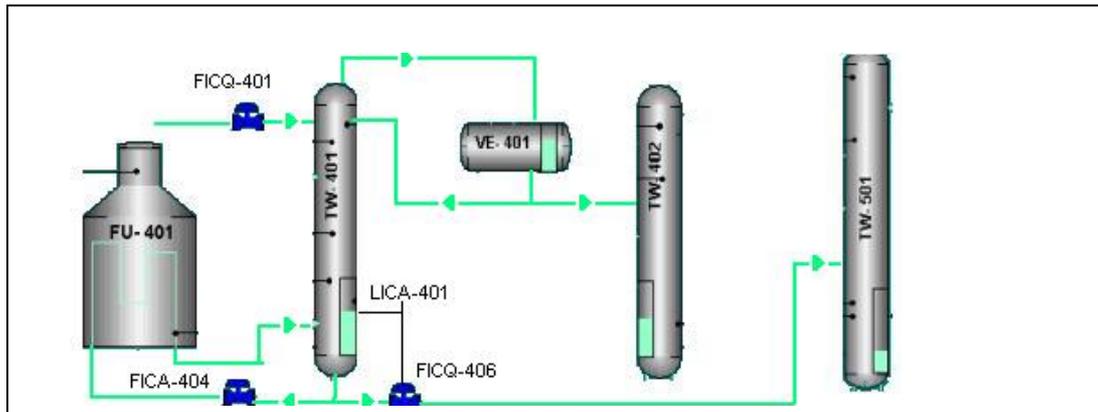


Figura 7. Ilustração esquemática da etapa de separação do BTX na torre de destilação TW-401 e sistema de alimentação das torres de refinamento do Benzeno (TW-402) e da torre de separação do tolueno do xileno e nafta (TW-501)

Através de um controle em cascata, é controlado (LICA-401) o nível adequado de base. Este controlador informa um Setpoint de vazão para a válvula de controle FICQ-406, de forma a garantir um nível fixo na base da TW-401 conforme mostrado na Figura 7.

Este controle apresentava atuação satisfatória em relação ao controle de nível (Figura 8). No entanto, observava-se uma grande variação na vazão registrada no FICQ-406 (Figura 9). Esta variação afetava bastante o processo da torre de destilação seguinte (TW-501) na etapa de separação do Tolueno dos outros compostos (Xileno e Nafta).

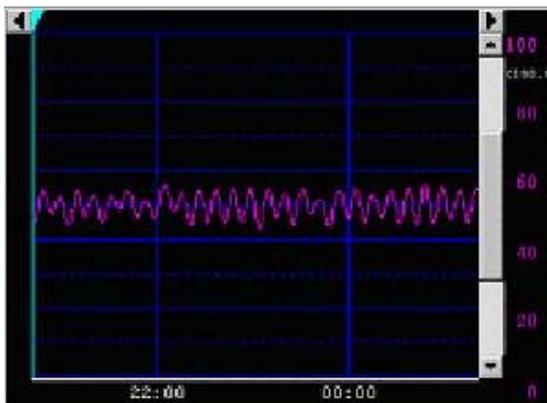


Figura 8. Nível da Torre TW-401(%)

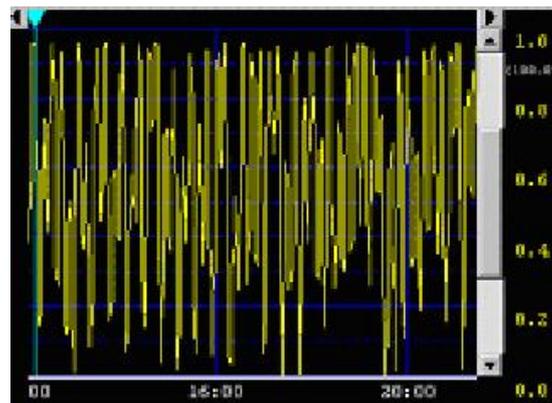


Figura 9. Vazão de alimentação da TW-501.

Era necessário então uma topologia de controle que mantivesse o nível da torre TW-401 estável, sem gerar grandes variações na vazão de alimentação da TW-501.

Devido às características da torre TW-401, duas ações poderiam fazer com que o nível da mesma variasse bruscamente, a alteração da vazão de alimentação da torre realizada pela operação e a alteração de algum parâmetro operacional

refletindo em variação de retirada de material da torre. Sendo assim, o controlador de nível da torre TW-401 poderia ser constituído por duas partes, uma que respondesse instantaneamente a variação da alimentação da torre, e outra que atuasse suavemente na vazão de retirada de material (controlador sobre-amortecido) em função da variação do nível da torre, que poderia ser gerada por algum outro motivo. A Figura 10 mostra o diagrama da estrutura de controle implementada para a solução do problema.

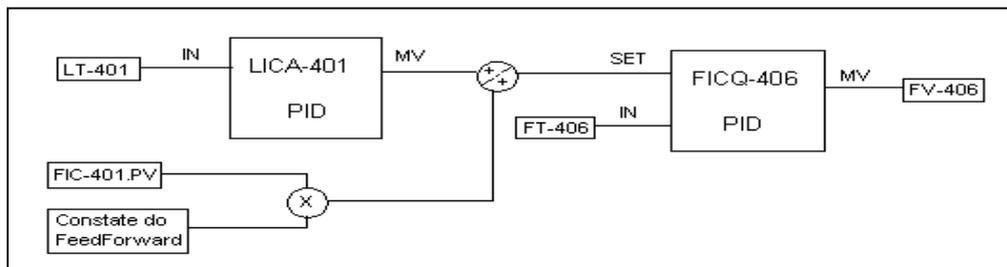


Figura 10. Diagrama de controle de nível a três elementos com Feed-Forward.

Nas Figuras 11 e 12, pode-se ver que com esta nova estrutura de controle foi possível manter o nível da torre TW-401 estável, com uma vazão de alimentação da TW-501 mais constante.

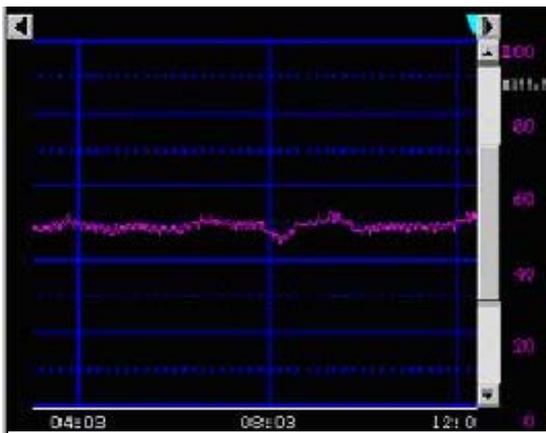


Figura 11. Nível da Torre TW-401(%).

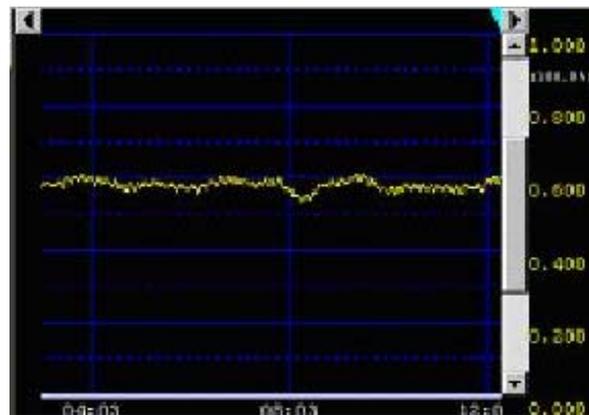


Figura 12. Vazão de alimentação da TW-501.

CASO 3 - CONTROLE DE NÍVEL DE BASE DA TORRE DESIDRATADORA T-1T

Outro controle que apresentava dificuldade de sintonia era o controle de nível de base da torre de desidratação de alcatrão, sendo este controle fundamental para manter a carga térmica da torre. No entanto, para o caso em questão, os problemas relacionados à desestabilização deste controlador poderiam ser bem mais sérios do que a perda de qualidade ou de estabilidade do processo. A T-1T é uma torre de dimensões relativamente pequenas para sua carga e, em algumas ocasiões o controlador não atuava de maneira eficiente causando uma elevação ou esvaziamento do nível da torre. Isto levava a alguns problemas mais sérios.

Quando ocorre o esvaziamento da torre, o alcatrão remanescente na tubulação do forno pode se solidificar, obstruindo o mesmo, em uma situação limite, sendo necessária a parada da planta para a troca de toda a tubulação do forno.

No caso contrário, quando o controlador permite que o nível da torre suba, esta pode encher as bandejas, prejudicando a separação da umidade. No controle existente anteriormente, o nível da base da torre desidratadora T-1T é feito em função da abertura de válvula de alimentação da planta de alcatrão. A Figura 13

mostra o nível da torre (azul), setpoint desejado (branco) e abertura da válvula (roxo).

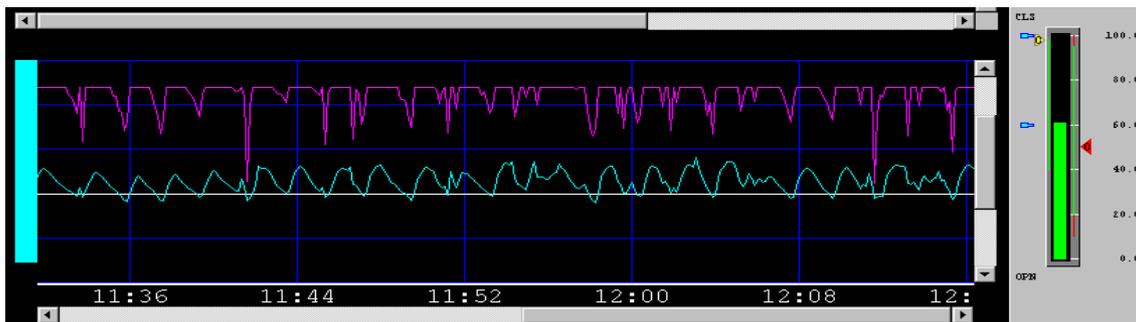


Figura 13. Nível (azul), Abertura da válvula (roxo) e setpoint (branco) do controlador LICA-2T.

Após passar pela válvula controladora de nível da T-1T, o alcatrão passa por um tanque desidratador pressurizado (V-6T). Na base deste tanque, existe uma válvula de controle que atua aumentando/diminuindo a vazão de alcatrão, em função da pressão do tanque. Este alcatrão alimenta a torre de destilação. Isto inseria no sistema um grande atraso, comprometendo completamente o controle do processo. Era observado que quando o nível de base variava o controlador criava uma desestabilização total do processo, causando enchimento e esvaziamento da torre, sendo necessário a atuação do operador.

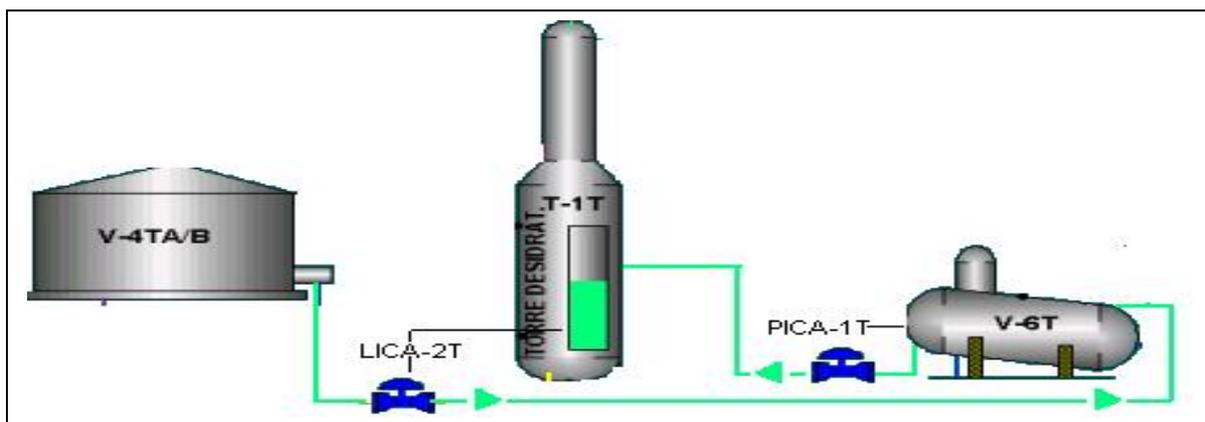


Figura 14. Fluxograma do Sistema de Desidratação do Alcatrão.

A equipe do projeto propôs então, a elaboração de um controlador que considerasse todas as variáveis que eram analisadas durante a operação em modo manual. Devido a característica requerida pelo controlador (multi-entradas), optou-se pela utilização de um controlador fuzzy. Uma outra vantagem do controlador fuzzy é sua característica de traduzir valores lingüísticos da operação em valores quantitativos.

O controlador implementado é basicamente um controlador integrativo puro, sua única peculiaridade é o fato do erro que alimenta o controlador não ser um erro medido e sim um valor “Fuzzificado”. Esta topologia de controle foi nomeada pela equipe do projeto por controlador **CIEF** (Controlador Integrador de Erro Fuzzificado). A Figura 15 apresenta o novo comportamento do nível da torre T-2T e da válvula de controle.

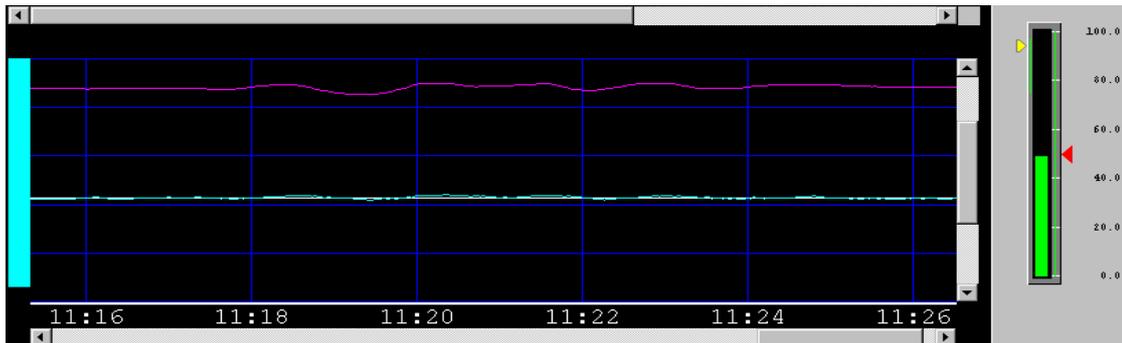


Figura 15. Nível (azul), Abertura da válvula (roxo) e setpoint (branco) do controlador LICA-2T.

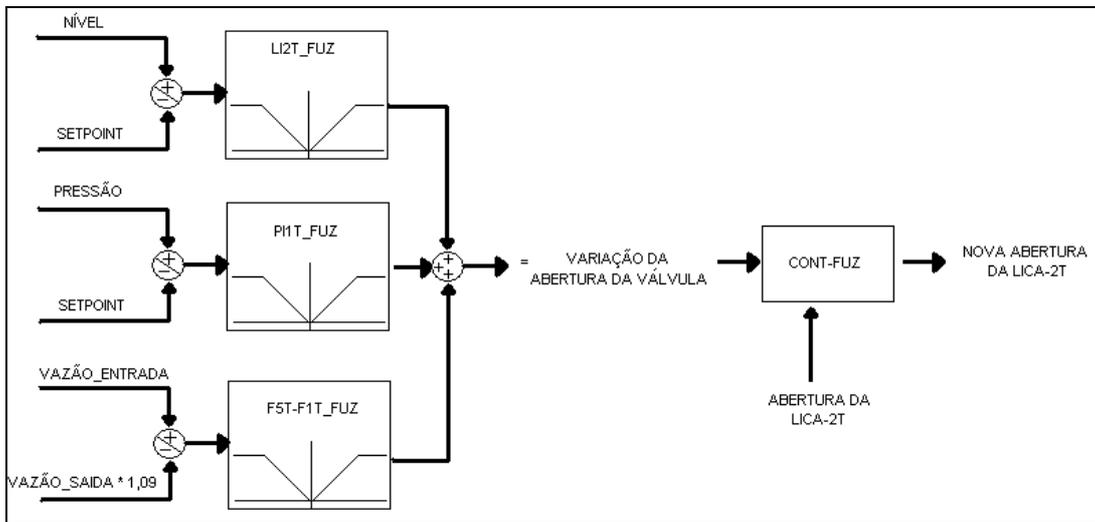


Figura 16. Diagrama do controlador CIEF para o nível da torre T-2T.

Outro ganho obtido com o CIEF foi a redução da variação da vazão de alimentação. A Figura 17 mostra a vazão de alimentação com o controlador original, e a Figura 18 com o novo controlador.

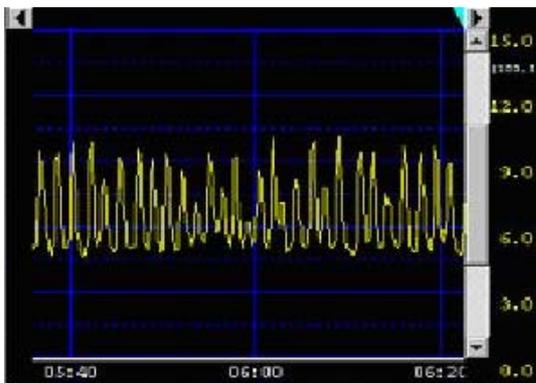


Figura 17. Vazão (m^3/h) de alimentação da T-2T (original)

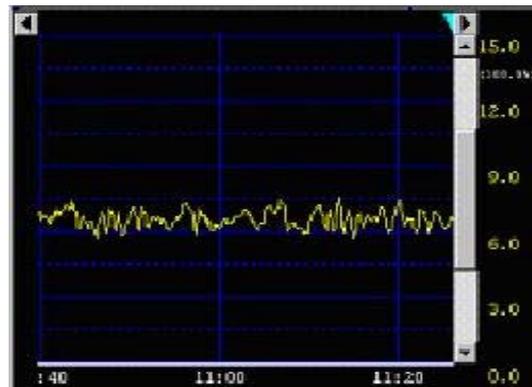


Figura 18. Vazão de alimentação da T2-T(CIEF).

PLANEJAMENTO DAS ATIVIDADES

Para a execução do projeto foi adotada uma estratégia de estudar ao mesmo tempo, todas as malhas que pertencessem a um mesmo setor da planta de carboquímicos. O cronograma da Figura 19 foi seguido para cada setor.

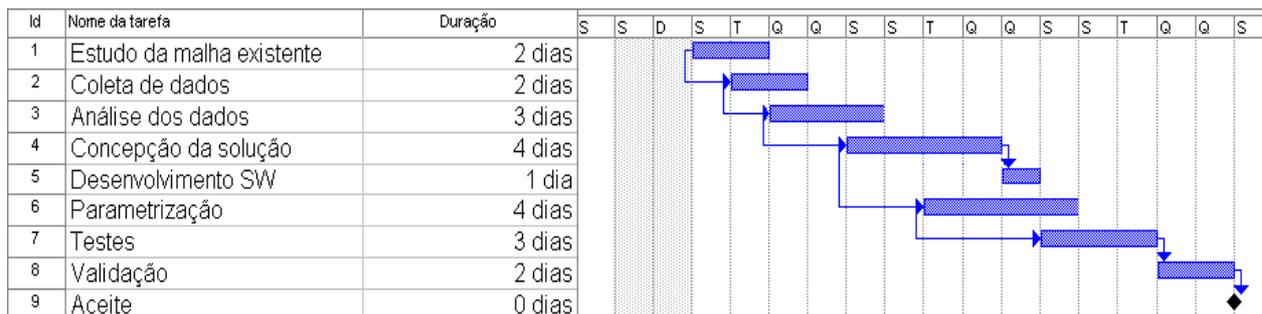


Figura 19. Cronograma das atividades por setor da planta.

O projeto teve uma duração total de 5,5 meses, sendo 2,5 meses para planta de Óleo Leve (5 setores), 1,5 meses para Alcatrão (3 setores) e 1,5 meses para planta de Phosan-Cyan(3 setores).

RECURSOS UTILIZADOS

Tabela 1. Recursos utilizados durante a execução do projeto.

Habilidade	Horas semanais	Horas Totais	Custo
Analista de Sistemas Industriais	30	720	Recurso próprio
Eng. de Processo	5	120	Recurso próprio
Tec. De Manutenção	1	24	Recurso próprio
Eng. Especialista	-	8	Recurso próprio
Operador de Centro de Controle	Apoio constante durante a execução do projeto		Recurso próprio
SW (SDCD, Matlab)	-	-	Recurso existente

RESULTADOS OBTIDOS

O primeiro resultado expressivo obtido após a conclusão do projeto, foi a reduções dos desvios padrões das vazões controladas, proporcionando uma operação mais estável, reduzindo as perturbações geradas entre os controladores.

Tabela 2. Redução das Variações das Vazões.

Controlador	Desvio Padrão Antes do projeto (L)	Desvio Padrão Após o projeto (L)	Redução do Desvio padrão(%)	Ação
Fi-1t	1405	126	91,03	CIEF
Fic-10t	70	17	75,71	Sintonia
Fic-504	210	28	86,67	feed-forward
Fic-510p	7,36	0,3	95,92	Sintonia
Fic-514p	10,5	3,5	66,67	Sintonia
Fica-405	1053	112	89,36	Sintonia
Fica-408	976	182	81,35	feed-forward
Ficq-406	283	14	95,05	feed-forward
Fq-508	140	52	62,86	feed-forward
Total de controladores: 9		Redução média	82,7%.	

Um outro resultado alcançado foi a redução do erro quadrático que existia nos controladores de nível, pressão e temperatura (Tabela 3).

Tabela 3. Redução dos Erros.

	Controlador	Erro quadrático Antes do Projeto	Erro quadrático Após o Projeto	Redução do Erro Quadrático(%)	Ação
1	Lica-1n	2,3	0,39	83,04	sintonia
2	Lica-2T	30,5	1,07	96,49	CIEF
3	Lica-401	17,7	3,06	82,71	feed-forward
...
20	Pica-516	0,04	0,005	87,5	sintonia
21	Tic-9t	47,6	3,97	91,66	sintonia
Total de controladores: 21		Redução média		86,1%.	

Em relação aos atuadores pôde-se medir uma redução da movimentação exigida pelos controladores. Dizemos isto por não existir na planta uma medição da posição dos atuadores, sendo assim não podemos afirmar corretamente em quanto foi a redução real das movimentações das válvulas, e sim quanto foi a redução da variação do valor exigido pelo controlador.

Tabela 4. Redução da Movimentação dos Atuadores.

	Controlador	Movimentação do Atuador Antes do projeto (% dia)	Movimentação do Atuador Após o projeto (% dia)	Redução da Movimentação (%)	Ação
1	Liça-1n	9240	720	92,21	sintonia
2	Lica-451	14400	5760	60	sintonia
3	Lica-2T	27600	2100	92,39	CIEF
...
26	Tic-53t	8640	144	98,33	sintonia
27	Fica-408	15600	516	96,69	feed-forward
total de controladores: 27		Redução média		88,10%	

A redução da movimentação dos atuadores implica em um menor consumo do ar de instrumentação, um menor desgaste das válvulas provocadas pela movimentação das mesmas e um menor consumo de energia no caso das bombas acionadas por inversores.

Deve-se ressaltar também que ao final do projeto havia mais 5 válvulas operando completamente em modo automático.

RETORNO FINANCEIRO

Além dos ganhos relacionados a estabilidade operacional, foi levantado também o retorno financeiro deste trabalho, conforme descrição a seguir.

O patamar de trabalho (valor de referência para garantir a qualidade desejada pelo cliente) é determinado pelo valor desejado e a variabilidade média do sistema. Desta forma, diminuindo-se a variabilidade do sistema, é possível trabalhar em um patamar mais baixo, garantindo a mesma qualidade final do produto.

Após a conclusão do projeto, foi constatado através de resultados de laboratório a redução da variabilidade da qualidade do BN. Com isto foi possível obter aumento de pelo menos 1% na produção de BN.

Deve-se salientar que estamos falando do resultado de apenas um dos produtos. Este estudo não foi levantado para os outros produtos devido a dificuldades de levantamento de dados.

CONCLUSÃO

O objetivo central do projeto foi reduzir a variabilidade dos controladores e servir como base para trabalhos futuros visando otimizar as atuações operacionais em relação a qualidade, segurança e ganho de produção. Conforme observado nos resultados apresentados, estes ganhos foram bastante satisfatórios e, apesar de não ser o objetivo central do trabalho, foi possível levantar uma estimativa aproximada de ganho produtivo do processo.

Além disto, foi de grande importância no Programa de Formação e Capacitação dos engenheiros trainee, bem como para o desenvolvimento da equipe de operação na utilização das ferramentas do SDCD.

Agradecimentos

Agradecemos aos facilitadores, equipe de instrumentação e manutenção, e principalmente a equipe de operação da Gerência de Carboquímicos, os quais foram fundamentais para o sucesso do projeto.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Araújo, M; Justino, A,L; Carlos, A; “Usina de Óleo Leve - Manual de Treinamento”, Gerdau-Açominas, 2004.
- 2 Araújo, M; Curty, M; Barcelos, J; Daniel, L; Ildefonso, N; “Usina de Alcatrão - Manual de Treinamento”, Gerdau-Açominas, 2004.
- 3 Araújo, M; Carmo, G; “Unidade PhosAm- Manual de Treinamento”, Gerdau-Açominas, 2004.
- 4 Araújo, M; Carmo, G; “Unidade CyAm - Manual de Treinamento”, Gerdau-Açominas, 2004.
- 5 Araújo, M; Campolina, I; Santos, E; “Sistema de Tratamento Biológico - Manual de Treinamento”, Gerdau-Açominas, 2004.
- 6 Dorf, Richard; Bishop, H. Bishop “Modern Control Systems”, 9 ed. Prentice Hall

CONTROL LOOP OPTIMIZATION - BY-PRODUCTS PLANT OF GERDAU AÇOMINAS¹

Eduardo Soares Figueiredo²
Gilmar do Carmo Rocha³
Jonnathan Seixas Fonseca de Rezende³
Marcio Jose Marques Curty³
Marlon Rosa de Gouvea⁴
Mateus de Araújo Carvalho⁵
Mauricio Rodrigues Ferreira⁶

Abstract

This paper aims to present the computational solutions implanted in Gerdau-Acominas By- Products Plant, to optimize the control loop systems of production of Light Oil Plant, Tar Plant, PHOSAM System, CYAM System and Biological Treatment System. It was performed a review in all Gerdau-Acominas By- Products Plant control loop systems, setting the tuning parameters of various PID control loops and cascade PID loops. It was implanted advanced control technique (Feed Forward) and Computational Intelligence techniques (Fuzzy Controllers) for some special cases. As a result, there was a considerable increase in the PID controllers performance, with reduction of the controllable variables error, reduction of the actuators movement and the increase of process stability. It stand out that the operational security increased by the reduction of the number of controller manually operated and also, it was obtained a reduction of the actuators wearing and the reduction of the consumption of electrical energy and instrument air.

Key-words: By-products plant; Process control; Variability; Fuzzy controller.

¹ *Technical Contribution to the VIII Processes Automation Seminar by ABM (Brazilian Society for Metallurgy and Materials), Belo Horizonte, MG, Brazil, 2004, October 6-8.*

² *Industrial Systems Analyst - Information Technology Management.*

³ *By-Product Plant Operator - By-Products Management.*

⁴ *Expert Eletrical Engineer - Operational Engineering and Utilities Management.*

⁵ *Process Engineer - By-Products Management.*

⁶ *Industrial Systems Analyst - Information Technology Management.*