



Copyright 2004, Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP

Este Trabalho Técnico Científico foi preparado para apresentação no 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, a ser realizado no período de 2 a 5 de outubro de 2005, em Salvador. Este Trabalho Técnico Científico foi selecionado e/ou revisado pela Comissão Científica, para apresentação no Evento. O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pelo IBP. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões do Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, Sócios e Representantes. É de conhecimento e aprovação do(s) autor(es) que este Trabalho será publicado nos Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás

TECNOLOGIA FOUNDATION FIELDBUS APLICADA NO CONTROLE AVANÇADO DA VAZÃO E DO NÍVEL DE UMA COLUNA DE DESTILAÇÃO PILOTO

Giovani Pasetti¹, Julio Elias Normey Rico²

¹ UFSC, Florianópolis - SC, pasetti@pop.com.br

² UFSC, Florianópolis - SC, julio@das.ufsc.br

Resumo – Fieldbus Foundation (FF) é uma tecnologia designada não somente para a transferência digital de dados, mas também para a resolução de aplicações de controle de processos. Toda a instrumentação é inteligente, o que possibilita o estabelecimento de malhas de controles locais entre os próprios instrumentos, não dependendo de um controlador central para a execução dos algoritmos, ao contrário de outras tecnologias. Adotando o FF como protocolo de comunicação de uma coluna de destilação piloto, foi possível a demonstração de alguns recursos do sistema, bem como a aplicação de algumas estratégias de controle. Foram feitas linearizações de válvulas de controle, identificação de modelos, controle simples da vazão de alimentação e controle avançado (cascata e *feedforward*) do nível da base da coluna de destilação.

Palavras-Chave: Fieldbus; Controle; Cascata; Feedforward; Destilação.

Abstract – Fieldbus Foundation (FF) is a technology assigned not only to the digital data exchange, but also to the resolution of control process application. All the instrumentation is intelligent, what makes it possible to establish local control loops between the instruments, not depending on a central controller executing the algorithms, in contrast to other technologies. Adopting the FF as a communication protocol of a pilot distillation column made possible the demonstration of some of the system's resources, as well as the application of some control strategies. Linearization of control valves, identification of models, simple control of the inflow and advanced control (cascade and feedforward) of the distillation column's base level have been made.

Keywords: Fieldbus; Control; Cascade; Feedforward; Distillation.

1. Introdução

Foundation Fieldbus (FF) é uma evolução tecnológica para a comunicação digital na instrumentação e no controle de processos. Ele difere de outros protocolos porque é designado a resolver aplicações de controle de processos ao invés de apenas transferir dados na rede de uma forma digital. Isto graças à inserção de processadores em cada instrumento de campo que compõe o sistema. O sistema de comunicação serial bidirecional permite a interligação em rede de múltiplos instrumentos diretamente no campo realizando funções de controle e monitoração de processos através de softwares supervisórios.

Um sistema FF é um sistema heterogêneo distribuído, composto por softwares de configuração e supervisão, equipamentos de campo, interfaces de comunicação e supervisão, fontes de alimentação e pela própria rede que os interconecta. Uma das funções dos equipamentos de campo é executar a aplicação de controle e supervisão do usuário que foi distribuída pela rede. Essa é a grande diferença entre FF e outras tecnologias como Hart ou Profibus, que dependem de um controlador central para executar os algoritmos.

Uma das grandes revoluções da rede FF foi estender a visão da área de processo até o instrumento e não até o último elemento inteligente então existente que era o CLP (Controlador Lógico Programável) ou o SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído). Desta forma, é possível migrar as estratégias de controle do controlador (antes representado por um CLP) para o elemento de campo, representado pelos transmissores de temperatura, pressão, vazão e outros, e pelos atuadores em sua maior parte válvulas de controle. Isto irá permitir que dois ou mais instrumentos estabeleçam malhas de controle, que uma vez configuradas remotamente irão operar de forma completamente independente do controlador externo.

Tendo em vista os grandes benefícios que o FF proporciona em diversas áreas industriais, inclusive na área petrolífera, foram feitos investimentos com este tipo de tecnologia em uma coluna de destilação piloto. Um dos objetivos dessa planta é desenvolver e aplicar técnicas de controle que visam aprimorar o rendimento de uma coluna de destilação.

No que segue, será apresentado um exemplo de aplicação de controle utilizando a tecnologia Fieldbus no controle simples da vazão de alimentação e no controle avançado do nível da base. Todas as aplicações serão embasadas em resultados reais o qual mostrarão os benefícios do uso de técnicas como o controle cascata e o *feedforward*.

2. Unidade Experimental

A execução dos experimentos e avaliação da estratégia de controle (Figura 1), foram aplicadas em uma coluna de destilação piloto, localizada nas dependências do Laboratório de Controle de Processos da Universidade Federal de Santa Catarina (Figura 2).

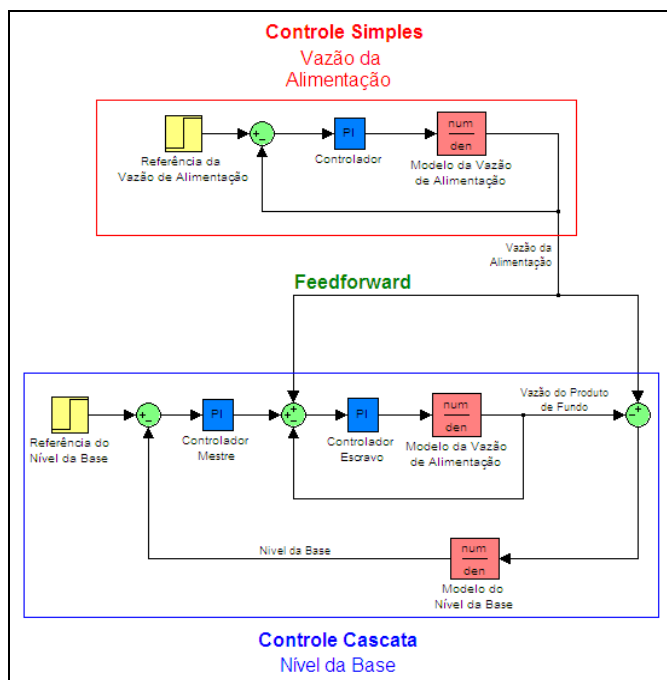


Figura 1. Estratégia de controle.



Figura 2. Coluna de destilação piloto.

Esta unidade experimental possui características semelhantes a algumas colunas de destilação de refino de petróleo, inclusive em relação à tecnologia de equipamentos e *softwares* empregados em aplicações industriais. A unidade permite o máximo de flexibilidade quanto as variáveis de operação e misturas a serem destiladas, possibilitando o estudo, implementação e a operação de diversas malhas de controle.

A unidade possui 15 instrumentos Foundation Fieldbus (linha *System 302* fabricados pela empresa Smar). São 6 posicionadores para as válvulas de controle (FY302), 2 sensores de nível (LD302), 3 sensores de vazão (LD302), 2 sensores de pressão manométrica (LD302) e 2 conversores de corrente (LI302).

Para interligar os instrumentos entre eles e também a uma rede HSE (*High Speed Ethernet*) é utilizado um *Linking Device* (DFI302). Além disso, um CLP (LC700) também ajuda a interligar os instrumentos de E/S que não fazem parte do sistema Foundation Fieldbus, tais como bombas, inversores, válvulas solenóides e sensores de temperatura (PT-100).

São utilizados três aplicativos para o desenvolvimento e supervisão da unidade de destilação: o Syscon, para configuração, manutenção e operação dos instrumentos Fieldbus da Smar; o Conf700, para programar o CLP; e o Indusoft, para a construção do sistema de controle supervisório. A Figura 3 mostra uma parte da tela do aplicativo responsável pelo controle supervisório da coluna de destilação, no qual é possível identificar os instrumentos destinados ao controle da vazão da alimentação e do nível da base.

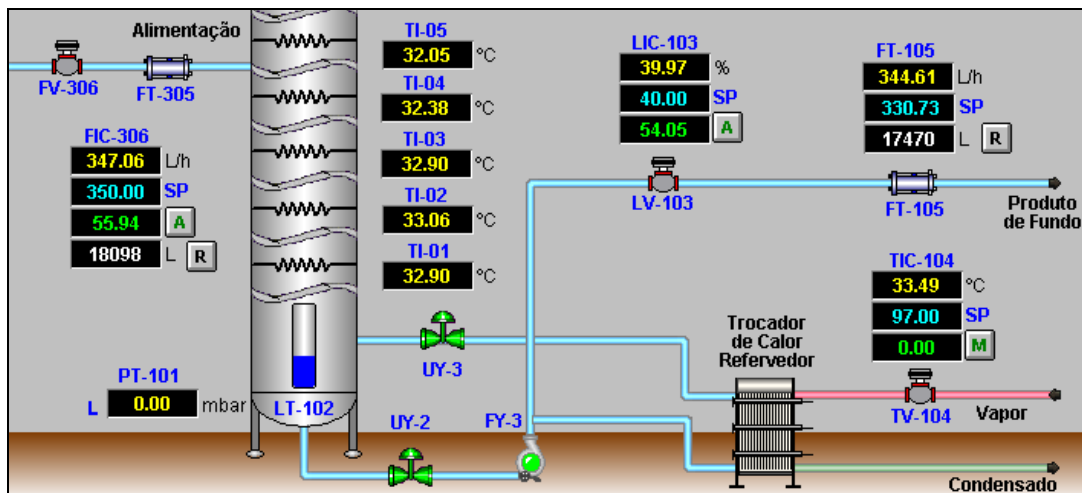


Figura 3. Parte da tela do controle supervisório responsável pelo controle da vazão e do nível.

3. Linearização e Identificação

Com ênfase no controle do nível da base e na vazão de alimentação da coluna de destilação, será utilizado apenas uma parte da estrutura de instrumentação da unidade.

Para o controle da vazão da alimentação será utilizado um sensor de vazão (FT-305) para a medição e um posicionador de válvula (FV-306) para a atuação.

Para o controle do nível serão utilizados um sensor de nível (LT-102) e um sensor de vazão (FT-105) para a medição e um posicionador de válvula (LV-103) para a atuação. Este conjunto irá controlar o nível em cascata. Além disso, o mesmo medidor de vazão (FT-305) utilizado no controle da alimentação servirá como medidor de perturbações para o controle *feedforward* do nível.

As Figuras 4, 5 e 6 mostram um sensor de vazão, dois posicionadores de válvulas e um sensor de nível, todos instrumentos Fieldbus da empresa Smar.



Figura 4. Sensor de vazão.



Figura 5. Posicionador de válvula.



Figura 6. Sensor de nível.

3.1. Linearização das Válvulas

Para uma melhor performance do controle é desejável que a região de atuação das válvulas seja o mais linear possível. Desta forma, os posicionadores permitem a linearização da curva de operação (porcentagem de abertura *versus* vazão) das válvulas de controle através de uma tabela de dados no qual a curva real é adaptada a uma curva linear. As Figuras 7 e 8 mostram as curvas antes e após a linearização das válvulas FV-306 e LV-103 respectivamente.

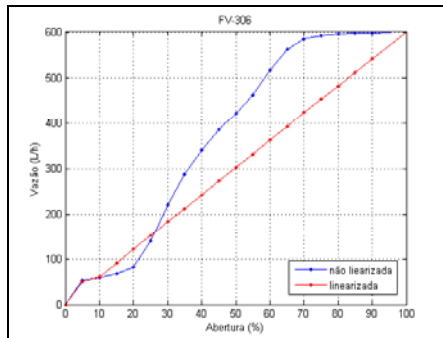


Figura 7. Linearização da válvula FV-306.

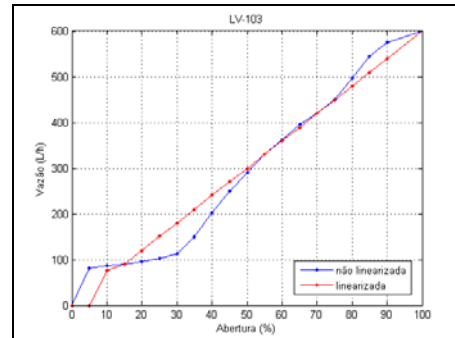


Figura 8. Linearização da válvula LV-103.

3.1. Identificação dos Modelos

Após a linearização das válvulas foram feitas as identificações em malha aberta (MA) dos sistemas. Inicialmente foram aplicadas variações nas aberturas das válvulas para observar a resposta ao degrau. Posteriormente foram identificados os modelos da vazão de alimentação e do produto de fundo (responsável pelo controle do nível) através do método dos mínimos quadrados não-recursivo (*off-line*).

Para estimar o modelo do nível foi necessário simplesmente medir a área da base da coluna. Alternativamente, poderia ser identificada através da inclinação da reta da variação do nível.

Os modelos estimados para a vazão da alimentação, vazão do produto de fundo e nível da base são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos estimados.

	Vazão da Alimentação	Vazão do Produto de Fundo	Nível da base
Modelo estimado	$G_a = \frac{5.99}{2.05s + 1}$	$G_f = \frac{6}{2.15s + 1}$	$G_n = \frac{1}{91s}$

A Figura 9 apresenta as curvas real e do modelo estimado da vazão da alimentação para determinadas aberturas da válvula FV-306 no decorrer do tempo. Do mesmo modo, a Figura 10 apresenta as curvas real e do modelo estimado da vazão do produto de fundo para determinadas aberturas da válvula LV-103 no decorrer do tempo. Já a Figura 11 mostra a curva real e a curva do modelo estimado do nível da base da coluna para uma vazão de entrada constante de 300 L/h e uma variação na abertura da válvula de saída (LV-103) no decorrer do tempo.

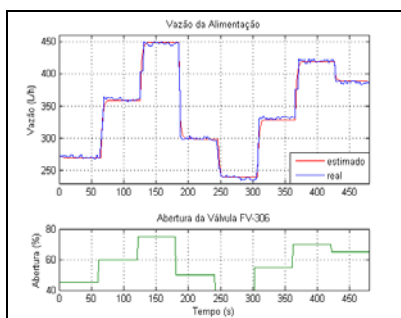


Figura 9. Resposta da vazão da alimentação em MA.

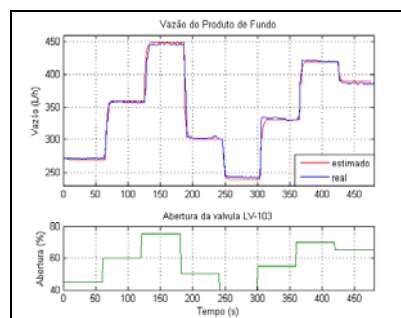


Figura 10: Resposta da vazão do produto de fundo em MA.

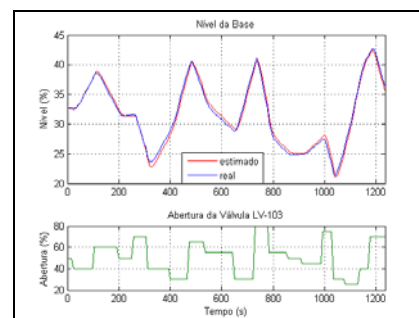


Figura 11. Resposta do nível da base em MA.

4. Controle da Vazão de Alimentação

Utilizando o método do Lugar das Raízes aplicado no modelo estimado da vazão da alimentação, projetou-se um controlador PI com $K_p=0.28$ e $T_i=2.4$. A Figura 12 apresenta a resposta do sistema em malha fechada (MF) para

variações do tipo degrau aplicadas na referência. A Figura 13 mostra o gráfico da rejeição a perturbações ocasionadas pela alternância no fechamento parcial (FP) e na abertura completa (AC) de uma válvula manual posicionada após a válvula de controle FV-306.

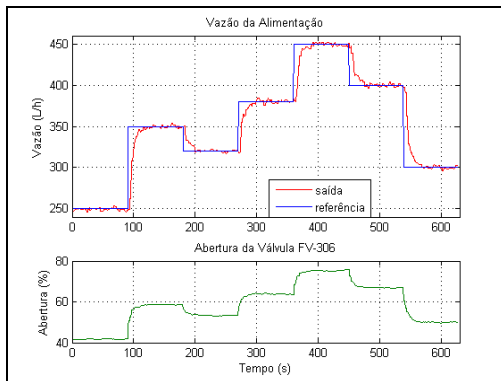


Figura 12. Variações na referência da vazão da alimentação em MF

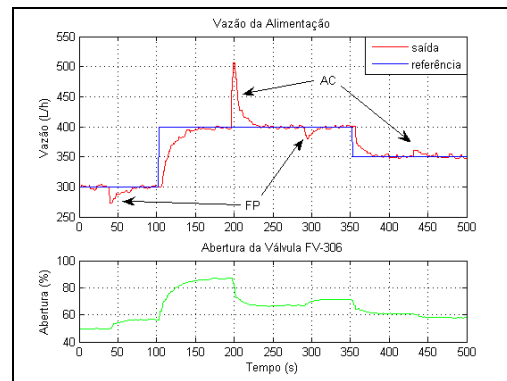


Figura 13. Perturbações alternadas na vazão de alimentação em MF

5. Controle do Nível da Base

Para o controle do nível da base foi projetado um sistema em cascata juntamente com um controle *feedforward*.

5.1. Controle Cascata

Como a dinâmica da vazão é um pouco mais rápida que a dinâmica da variação do nível, foi possível projetar um controle cascata entre o nível da base (mestre) e a vazão do produto de fundo. Desta forma, a perturbação existente na vazão do produto de fundo será amenizada pelo controle escravo antes que a mesma tenha efeito sobre o controle do nível da base.

Com base no modelo estimado da vazão do produto de fundo e semelhantemente ao projeto do controlador anterior, projetou-se um controlador PI escravo com $K_p=0.28$ e $T_i=2.4$. A Figura 14 apresenta a resposta do sistema em malha fechada (MF) para variações do tipo degrau aplicadas na referência. A Figura 15 mostra o gráfico da rejeição a perturbações ocasionadas pela alternância no fechamento parcial (FP) e na abertura completa (AC) de uma válvula manual posicionada após a válvula de controle LV-103.

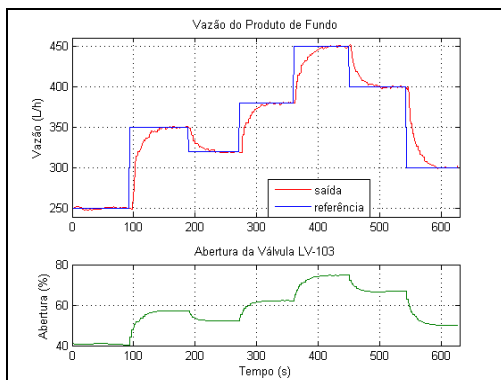


Figura 14. Variações na referência da vazão do produto de fundo em MF

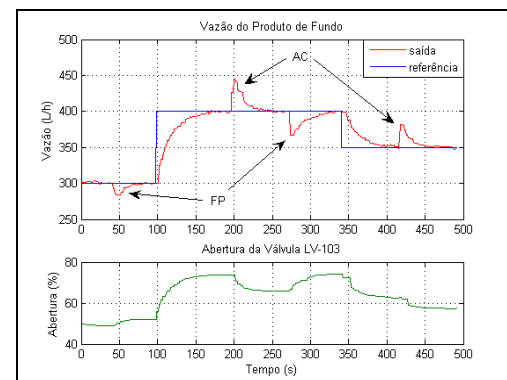


Figura 15. Perturbações alternadas na vazão do produto de fundo em MF

Para o controle mestre do nível foi projetado um controlador PI com $K_p=-4$ e $T_i=100$. A Figura 16 apresenta a resposta do sistema em malha fechada (MF) para variações do tipo degrau aplicadas na referência considerando uma entrada de vazão constante. A Figura 17 mostra o gráfico da rejeição a perturbações ocasionadas pela alternância no fechamento parcial (FP) e na abertura completa (AC) de uma válvula manual posicionada após a válvula de controle LV-103, considerando uma entrada de vazão constante. Comparativamente, um controlador de nível do tipo PI simples ($K_p=-6$ e $T_i=100$), com dinâmica de resposta de saída semelhante ao controle cascata, é submetido as mesmas perturbações apresentando uma resposta mostrada na Figura 18.

Observar-se que as perturbações que afetam o nível (circuladas no gráfico) possuem uma amplitude reduzida no controle cascata em comparação ao controle simples. Isto se deve ao fato de que as perturbações no controle cascata são amenizadas antecipadamente pelo controle escravo da vazão do produto de fundo.

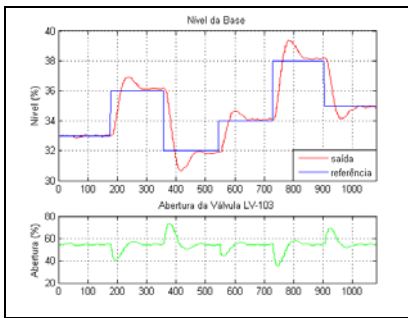


Figura 16. Variações na referência do nível da base em cascata com a vazão.

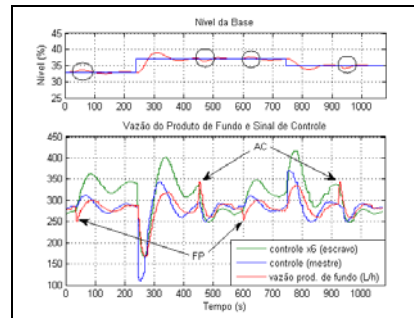


Figura 17. Perturbações no nível da base com o controle cascata.

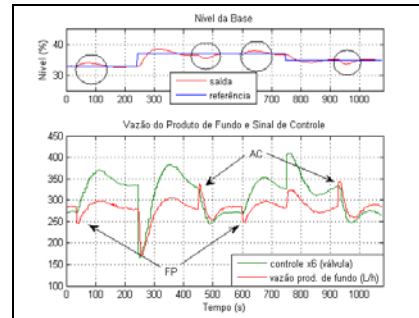


Figura 18. Perturbações no nível da base sem o controle cascata.

5.1. Controle Feedforward

Aproveitando a medição da vazão de entrada da alimentação, onde do ponto de vista do controle do nível sua variação é considerada uma perturbação para o sistema, implementou-se um controle *feedforward*. Assim, diante de uma perturbação na vazão da alimentação é possível tomar medidas antecipativas na correção do controle do nível.

Comparativamente as Figuras 19 e 20 apresentam o controle do nível em cascata com a vazão do produto de fundo respectivamente com e sem a realimentação *feedforward* para variações na vazão de alimentação.

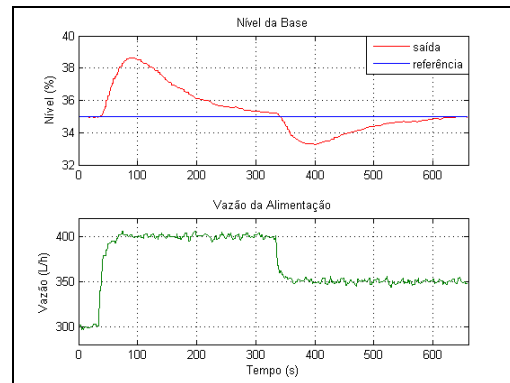
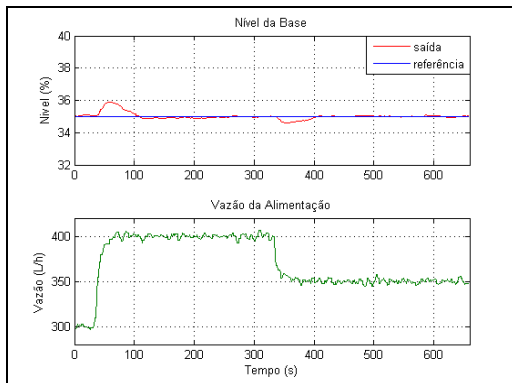


Figura 19. Controle do nível em cascata com *feedforward*.

Figura 20. Controle do nível em cascata sem *feedforward*.

6. Conclusão

A tecnologia Foundation Fieldbus provou ser bastante flexível e eficiente no desenvolvimento e aplicação de estratégias de controle clássicas e avançadas. Os resultados obtidos mostram o potencial que pode existir na aplicação de novas técnicas de controle no setor industrial utilizando o sistema Fieldbus.

A aplicação do controle cascata apresentou uma diminuição nas perturbações do nível da base causadas pela variação da vazão do produto de fundo. Neste caso em específico, a dinâmica da vazão do produto de fundo não apresenta um comportamento muito mais rápido que a dinâmica do nível da base e por isso o controle cascata trouxe apenas uma sensível melhoria no controle do nível. No entanto, processos onde existe uma diferença grande na dinâmica de uma variável a ser controlada e outra a ser manipulada (como por exemplo, o controle da temperatura de um produto através da manipulação da vazão de vapor que passa por um trocador de calor), os resultados frente a perturbações podem ser bastante notáveis.

No controle *feedforward* pode-se observar a eficiência desta aplicação na rejeição antecipada de perturbações. No entanto, podem existir outras perturbações no sistema que não podem ser medidas, e mesmo as que são medidas sempre apresentam um erro de modelagem. Desta forma, na prática o controle *feedforward* é sempre combinado com um controle *feedback*.

7. Referências

- SEBORG, DALE E. Process Dynamics and Control, p. 387-442, 1989.
 PERES FILHO, GILSON FONSECA. Tecnologia foundation fieldbus. *Mecatrônica Atual*,(18):54–59, 2004.
 SEIXAS FILHO, Constantino. Foundation Fieldbus. *Apostila de aula*, UFMG.
 EMPRESA SMAR. Como Implementar Projetos com Foundation Fieldbus, Revisão 2.0, 1998.
 EMPRESA SMAR. A Foundation Fieldbus Technology Overview.