

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

BRUNO DANIELETTO RAMLOW

**ESTUDO DE TÉCNICA DE CONTROLE DE RAZÃO APLICADA À
PD3 DA SMAR**

VIÇOSA
2016

BRUNO DANIELETTO RAMLOW

TÉCNICA DE CONTROLE DE RAZÃO APLICADA À PD3 DA SMAR

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. André Gomes Torres

VIÇOSA
2016

BRUNO DANIELETTO RAMLOW

**ESTUDO DE TÉCNICA DE CONTROLE DE RAZÃO APLICADA À
PD3 DA SMAR**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 16 de dezembro de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. André Gomes Torres - Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Profa. Dra. Kétia Soares Moreira - Coorientadora
Universidade Federal de Viçosa

Engenheiro Eletricista Daniel Khede Dourado Villa - Membro
Universidade Federal de Viçosa

“A vida é um processo fluente e em alguns lugares do caminho coisas desagradáveis ocorrerão. Podem deixar cicatrizes, mas a vida continua a fluir. É como a água fluente, que ao estagnar-se, torna-se podre; não pare! Continue bravamente... porque cada experiência nos ensina uma lição. ”

(Bruce Lee)

Dedico esse trabalho aos meus pais, pelo seu amor incondicional e apoio em todos os momentos, até mesmo nos que nem eu mesmo tive força.

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela oportunidade me dada e por mais uma conquista na minha vida.

Agradeço também aos meus pais, pois sem seu apoio e incentivo esse sonho não seria realidade.

Agradeço à minha família pelas orações em momentos de fraqueza e turbulência.

Agradeço à minha namorada pelo amor incondicional e apoio em todos os momentos difíceis e em todas as alegrias compartilhadas.

Agradeço aos meus queridos amigos que fiz em Viçosa, e fora dela, por todos os momentos compartilhados e incríveis memórias que serão lembradas para sempre.

Agradeço aos meus mestres e professores, em especial ao meu orientador André, por terem me mostrado o caminho do conhecimento e me guiado durante todas as etapas da graduação.

Resumo

O presente trabalho consiste em implementar uma técnica de controle de razão na planta didática SMAR – PD3. A escolha da planta didática se deve ao fato de que a mesma possibilita a simulação de diversos processos industriais, uma vez que os equipamentos e dispositivos nela presentes são os mesmos encontrados no chão de fábrica das maiores indústrias atualmente.

A primeira parte do projeto consiste em configurar o mesmo no *Syscon*, software fornecido pela SMAR como parte do pacote Studio302, onde serão selecionados os dispositivos *Fieldbus* utilizados e como será configurada a malha de controle através dos blocos funcionais.

A segunda parte no projeto foi a elaboração de um sistema supervisor a fim de verificar o funcionamento do projeto elaborado na etapa anterior. A técnica de controle escolhida é comumente utilizada nas indústrias químicas.

Sumário

1	Introdução.....	13
2	Revisão Bibliográfica.....	14
2.1	Planta Didática.....	14
2.2	Equipamentos	15
2.2.1	Fieldbus Universal Bridge DFI302	15
2.2.2	Posicionador de Válvulas Fieldbus FY302	16
2.2.3	Transmissor de Pressão Fieldbus LD302	17
2.3	Controle de Razão	18
3	Desenvolvimento.....	20
4	Resultados	26
5	Conclusão	31
	Referências Bibliográficas	32

Lista de Figuras

Figura 1 - Planta Didática (PD3) <i>SMAR</i>	15
Figura 2 - Módulo controlador DF51.	16
Figura 3 - Posicionador de Válvulas Fieldbus FY302.....	17
Figura 4 - Transmissor de Pressão Fieldbus LD302	17
Figura 5 - Controle de razão em um sistema de mistura simples.	18
Figura 6 - Esquema para aplicação de controle de razão.	19
Figura 7 – Disposição geral dos Blocos funcionais utilizados.	21
Figura 8 - Conexão dos blocos funcionais segundo o esquema escolhido.....	22
Figura 9 - Visão esquemática do processo pela IHM.	26
Figura 10 - Resposta da planta ao iniciar a operação.	27
Figura 11 - Resposta do sistema quando o fluxo A diminui.	28
Figura 12 - Resposta do sistema quando o fluxo A aumenta.	29

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Parametrização dos blocos funcionais das entradas dos sensores de vazão.....	23
Tabela 2 - Parametrização dos blocos funcionais matemáticos utilizados.....	24
Tabela 3 - Parametrização do bloco funcional do PID. *Valores obtidos empiricamente.....	24
Tabela 4 - Parametrização do bloco funcional que gera saída para a válvula controladora do fluxo B.	25
Tabela 5 - Parametrização do bloco funcional 'Constante'	25

1 Introdução

A automatização de processos na indústria apresenta diversas vantagens sobre o produto final, pois o mesmo passa a ser padronizado, produzido de forma mais rápida e com qualidade superior comparado quando o mesmo não passa por processos automatizados.

Os primeiros sistemas de controle foram desenvolvidos no século 19 através de dispositivos mecânicos que automatizavam tarefas críticas e repetitivas das linhas de montagem. Nos anos 20, os dispositivos mecânicos foram substituídos por relés e contadores. A lógica a relés viabilizou funções mais complexas de controle e desde então, têm sido amplamente empregados em todo o mundo. Mais tarde, por volta dos anos 70, os circuitos integrados (CI's) proporcionaram o advento de uma nova geração de sistemas de controle.

Na mesma época, os primeiros computadores comerciais começaram a ser utilizados como controladores em sistemas de grande porte, pois os mesmos poderiam ser reprogramados, o que proporcionava mais versatilidade às plantas já instaladas. A partir de uma demanda na indústria automobilística norte-americana, o primeiro Controlador Lógico Programável (CLP) foi desenvolvido. O CLP é um computador compacto projetado para trabalhar em ambientes industriais e, por esse motivo, apresenta menos configurações disponíveis em prol do tamanho reduzido e da robustez do mesmo. [1]

O tipo mais comum de controle em sistemas industriais é o controlador PID, devido ao seu baixo custo e facilidade de implementação em qualquer sistema, fornecendo um desempenho satisfatório para a maioria das aplicações industriais. O PID consiste na ação Proporcional (P), Integral (I) e Derivativa (D) da variável controlada, manipulando seu valor ao longo do tempo. Alguns métodos são citados em [2] e [3] para o desenvolvimento de tal controlador.

Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo desenvolver e aplicar um sistema de controle de razão de uma mistura de dois fluidos na planta didática SMAR – PD3, que utiliza protocolos de comunicação Foundation Fieldbus. Para isto, será aplicado um controle PID à válvula de vazão do fluxo não controlado segundo a técnica de controle de razão expicada na Seção 2.3, bem como elaborado um sistema supervisório para aquisição dos dados obtidos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Planta Didática

Para a realização do projeto foi utilizada a Planta Didática (PD3) *SMAR* juntamente com o pacote *Studio302* da *SMAR*. A PD3 representa de forma simples e objetiva a operação de diversas malhas de controle que podem ser implementadas em diferentes plantas industriais. Ela ainda utiliza os mesmos instrumentos de campo e *softwares* para configuração e operação que são desenvolvidos para aplicações em larga escala.

Em sua forma compacta, a Planta Didática (Figura 1) disponibiliza os processos de controle e supervisão em um sistema compacto e ao mesmo tempo fiel à Automação industrial entregando aos instrutores e aprendizes todos os componentes necessários de um controle de automação para manipulação e monitoriamento.

As malhas de controle da Planda Didática reproduzem as mesmas características de campo encontradas por profissionais experientes de instrumentação, ou seja, tanto o aprendiz quanto seu instrutor têm acesso a mais alta tecnologia disponível no mercado em seu próprio laboratório de ensino.

A flexibilidade de configuração dos dispositivos através dos *softwares* de controle permite a criação de malhas de controle diferentes das malhas previamente fornecidas pela *SMAR*, sem que haja a necessidade de reestruturação física de equipamentos, permitindo um melhor aproveitamento e integração da Planta Didática com qualquer metodologia de ensino.

[4]

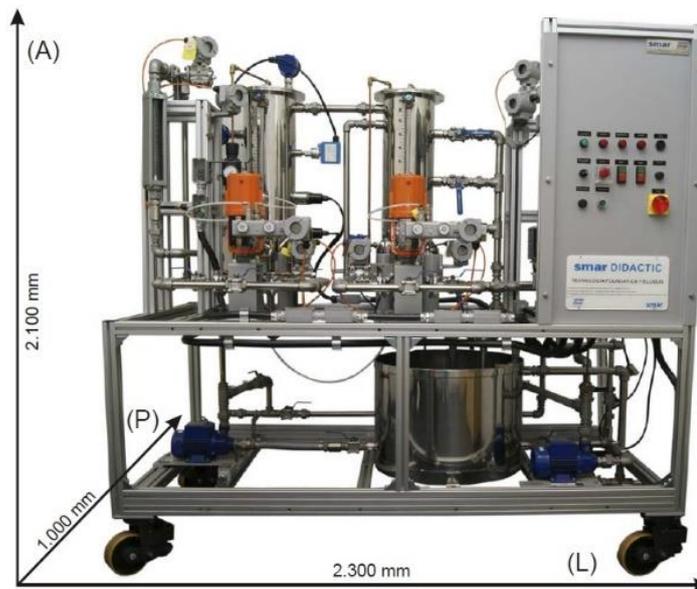


Figura 1 - Planta Didática (PD3) SMAR.

2.2 Equipamentos

2.2.1 Fieldbus Universal Bridge DFI302

O DFI302 é um componente de hardware multifunção integrado ao *software* System302 que incorpora o que há de mais atualizado em *hardware* e *software* para gerenciar, monitorar, controlar, manter e operar uma planta industrial. Uma vez instalado, o DFI302 executa a maioria das funções exigidas pelo sistema de controle, resultando em um número reduzido de componentes adicionais.

O DFI302 é um equipamento modular multifunção, montado em um backplane, conectado a um trilho DIN, onde todos os módulos são instalados, incluindo as Fontes Pincipal (DF50) e Fieldbus (DF52), Controladores (DF51, DF62, DF73, etc) e Impedância de Linha (DF53). Os módulos são fixados usando conectores industriais e por um robusto parafuso de metal. Opcionalmente, um subsistema de E/S convencional, com módulos para entradas e saídas analógicas e discretas, pode ser conectado. A modularidade é a chave para a flexibilidade do DFI302. Ainda, considerando que todos os equipamentos estão em módulos e em um mesmo backplane, pode-se considerar o DFI302 totalmente integrado. O controlador presente na PD3 utilizada é o DF51.

O DF51 é um módulo controlador com capacidade de Linking Device FOUNDATION fieldbus™ que conecta equipamentos Fieldbus no barramento H1, executando a função de LAS

(Link Active Scheduler) da rede. Através do uso conjunto com o DF65 (módulo co-processador), é possível programar a lógica via linguagem ladder e também interagir com todos os outros módulos do sistema DFI302. Com o controlador DF51 é possível trabalhar em modo de redundância Hot Standby, desta forma oferece redundância para todas as funcionalidades e bases de dados. A Figura 2 mostra um desenho do DF51. Todos o conjunto modular que compõe o DIF302 está localizado atrás do painel dom botões da PD3. [5]

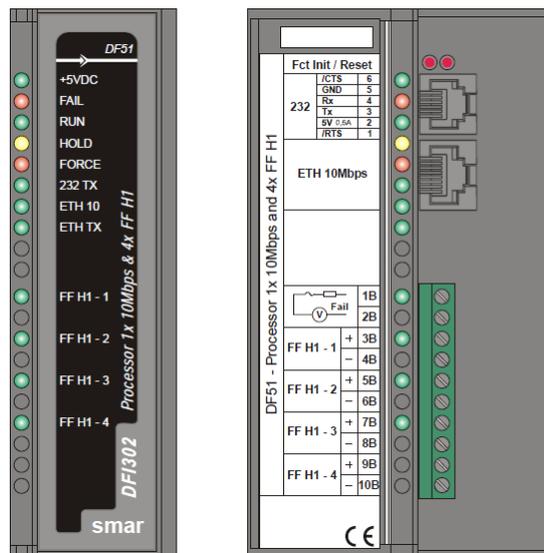


Figura 2 - Módulo controlador DF51.

2.2.2 Posicionador de Válvulas Fieldbus FY302

O FY302 é um posicionador Fieldbus para válvulas de controle linear de ação simples (retorno por mola) ou ação dupla como, válvulas rotativas ou plugado com atuadores pneumáticos. O FY302 é baseado no bico-palhetas, consagrado pelo uso no campo e no sensor de posição por efeito Hall, sem contato físico, que fornece alto desempenho e operação segura.

A tecnologia digital usada nesse posicionador permite a escolha de vários tipos de características de vazão, uma interface simples entre o campo e a sala de controle e muitas características interessantes que reduzem consideravelmente o custo de instalação, operação e manutenção. A tecnologia de Fieldbus é muito interessante em aparelhos de campo pois, além de ser um sistema de comunicação digital completo, também permite que haja distribuição de funções de controle nos equipamentos da planta. A Figura 3 mostra em vermelho a localização do FY302 na PD3. [6]

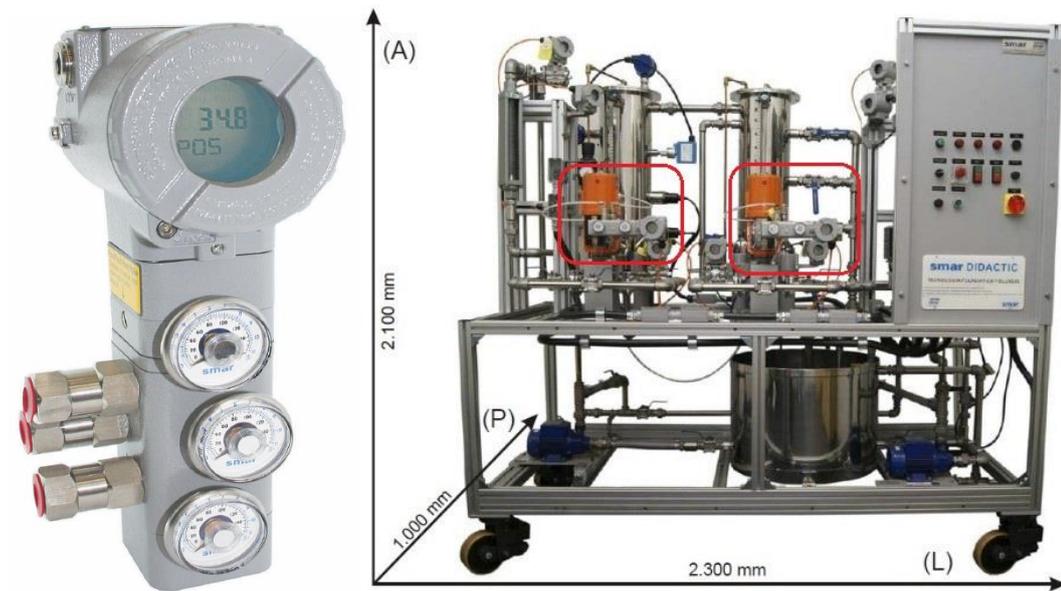


Figura 3 - Posicionador de Válvulas Fieldbus FY302

2.2.3 Transmissor de Pressão Fieldbus LD302

O LD302 é um transmissor para medida de pressão diferencial, absoluta e manométrica, de nível e de vazão. O Transmissor possui um sensor capacitivo que proporciona uma operação segura e um excelente desempenho em campo. A tecnologia digital usada permite a escolha de vários tipos de funções de transferência, um interfaceamento fácil entre o campo e a sala de controle e algumas características que reduzem consideravelmente a instalação, operação e custos de manutenção. A Figura 4 mostra em vermelho a localização do LD302 na PD3. [7]

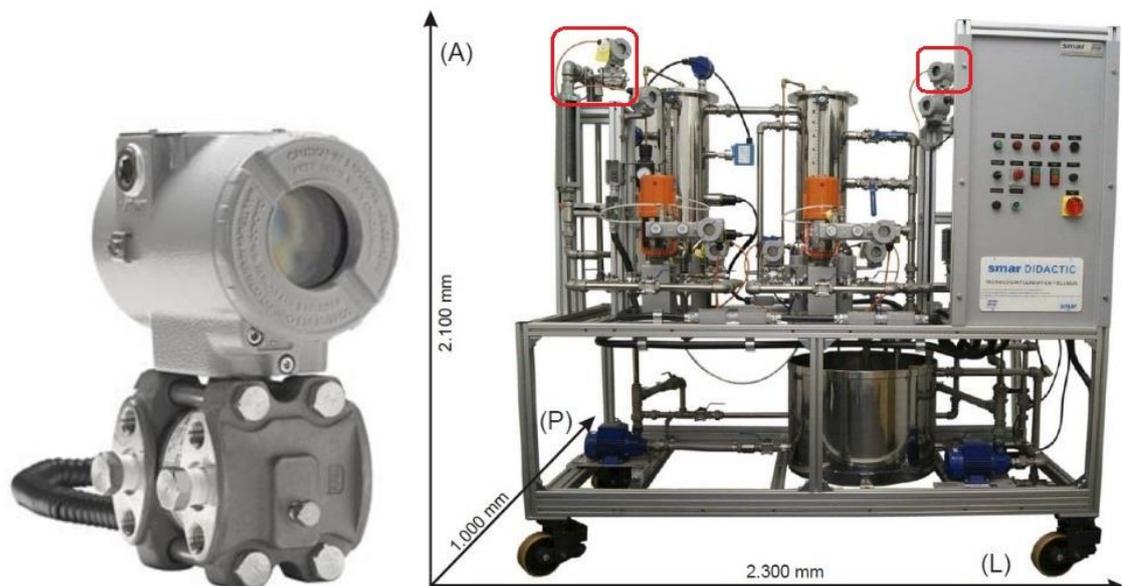


Figura 4 - Transmissor de Pressão Fieldbus LD302

2.3 Controle de Razão

É uma técnica de controle bastante utilizada na indústria química e, como o nome sugere, consiste em manipular um fluxo de uma determinada variável para mantê-la como uma proporção de outra. Ela pode ser melhor elucidada através de exemplos.

No primeiro exemplo, imagine que seja necessário misturar duas substâncias, A e B conforme mostra a Figura 5, de forma que a proporção de ambas (dada pela razão R) possa ser mantida constante, segundo a Eq. 1:

$$R = \frac{F_B}{F_A} \quad (1)$$

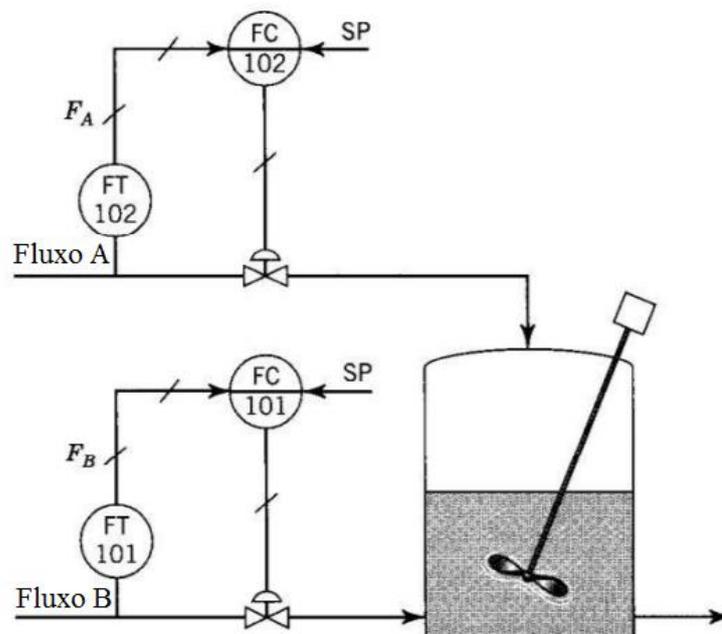


Figura 5 - Controle de razão em um sistema de mistura simples.

Onde F_A e F_B são as velocidades dos fluxos A e B. A Figura 5 mostra que cada fluxo pode ser controlado individualmente através dos controladores FC101 e FC102, mas considere que, por algum motivo, o fluxo A não possa ser controlado, apenas mensurado pelo medido FT102, evidenciando a motivação para se aplicar essa técnica de controle. Assim, é possível controlar apenas o fluxo B, o que torna o controle um pouco mais difícil.

A Figura 6, a seguir, mostra dois esquemas distintos para se realizar o controle no caso citado acima. O primeiro, Figura 6-a, consiste em medir o fluxo A não controlado e multiplicá-lo pela razão R desejada (que varia de acordo com cada aplicação), no controlador FY102, para

se obter o fluxo B necessário segundo a Eq. 1. Dessa forma, conforme o fluxo em A varia, o controlador irá indicar para a válvula FC101 quanto ela deve abrir ou fechar para manter a proporção R constante.

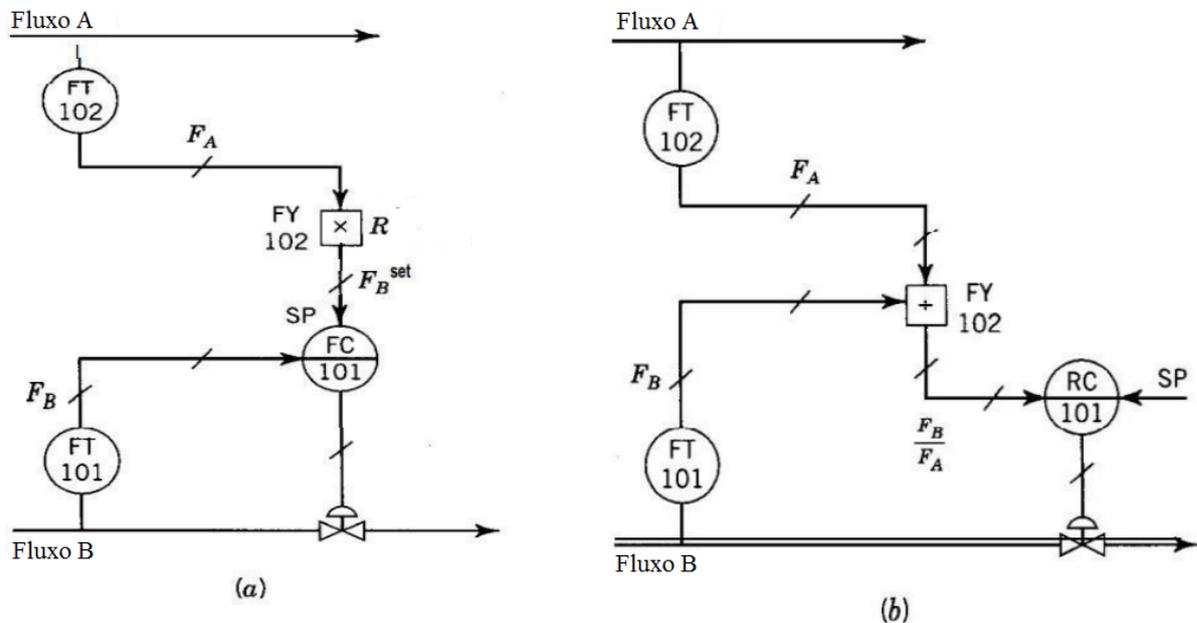


Figura 6 – (a) Esquema para aplicação de controle de razão onde o sinal do Fluxo B é o elemento de controle
(b) Esquema para aplicação de controle de razão onde a razão R é o elemento de controle.

O segundo esquema, como é mostrado na Figura 6-b, consiste em medir os dois fluxos e dividi-los para se obter a razão instantânea que circula no sistema. A razão calculada, então, é comparada ao *setpoint* desejado, no controlador RC101, que varia o fluxo B conforme necessário para se manter a proporção designada no *setpoint*.

Tendo em vista ambos os esquemas, é preferível que se aplique o primeiro (Figura 6-a) pois, além de ser de mais fácil implementação, o controle é realizado de forma mais fluida e linear. Outra vantagem da aplicação dessa técnica de controle é que, mesmo que ambos os fluxos possam ser controlados, a implementação desse tipo de controle permite ao operador variar apenas um dos fluxos, fazendo com que o outro se altere automaticamente.

Para um segundo exemplo, considere o controle de uma caldeira onde deve-se manter a proporção entre combustível e ar. Caso haja ar insuficiente durante a queima, irá ocorrer uma queima incompleta, gerando fumaça e produção de poluentes (além do desperdício de combustível). Em contrapartida, se houver excesso de ar, maiores serão as perdas de combustível. Portanto, o controle adequado entre combustível e ar se faz importante para uma operação segura, econômica e menos agressiva ao meio ambiente. [8]

3 *Desenvolvimento*

Para a implementação do controle de razão na PD3, foi utilizado o pacote *Studio302* da *SMAR*. O projeto foi realizado no software *Syscon*, presente no pacote *Studio302*, onde o novo projeto foi criado e inserido à planta didática, bem como a configuração de *bridge* no *Fieldbus Network*, onde se seleciona o módulo controlador utilizado (DF51).

Com a criação da *bridge*, foram adicionados os dispositivos utilizados nesse projeto para medir e controlar dois fluxos distintos, que foram os citados na seção anterior, FY302 e LD302. Após adicionar os dispositivos, foi necessário adicionar e parametrizar alguns blocos funcionais específicos. A parametrização pode ocorrer no modo *off line*, onde a configuração e parametrização ocorre antes da comunicação entre os equipamentos o que torna o processo um pouco mais rápido, ou *on line*, onde a comunicação já foi estabelecida.

O esquema de controle escolhido foi como mostra a Figura 6-a pelos motivos já citados. Ainda, foi aplicado parte da técnica mostrada na Figura 6-b apenas para se medir a razão instantânea obtida sem que houvesse um controle como mostra o esquema.

Os blocos funcionais específicos adicionados são como mostra a Figura 7, a seguir. Como os dispositivos presentes na PD3 possuem tecnologia *Fieldbus*, eles possuem alguma autonomia para realizar ações de controle e, por isso, a técnica de controle a seguir será implementada utilizando essa tecnologia, permitindo que o controlador DF51 possa ser utilizado em aplicações mais complexas por ser mais robusto. A escolha de quais equipamentos comportariam qual bloco funcional foi para que todas as tarefas necessárias para o controle fossem melhor distribuídas para que não houvesse sobrecarga de processamento em cada equipamento, de forma a não gerar atrasos desnecessários.

Os blocos RB (*Resource Block*), BLK (*Transducer*), TRDDSP (*Display*) e DIAG (*Diagnostics Transducer*) não precisam ser adicionados nem configurados, pois os mesmos já são configurados automaticamente quando o respectivo equipamento é adicionado. Os blocos de entrada analógica AI (*Analog Input*), matemático ARTH (*Arithmetic*), Constante (bloco que gera apenas um valor numérico constante), saída analógica AO (*Analog Output*) e o PID ‘EPID’ (*Enhanced PID*) devem ser adicionados e configurados separadamente.

Pela natureza da estrutura a ser controlada, os blocos de entrada AI devem ser adicionados exclusivamente nos equipamentos FT_01 e FT_02 (sensores de vazão LD302). Pelo mesmo motivo, o bloco AO deve ser adicionado exclusivamente ao equipamento FT_02 (válvula de controle FY302). O bloco EPID, que irá de fato controlar a razão entre fluxos medidos, foi designado ao mesmo equipamento que a saída AO para facilitar o controle sem que haja perda de informação durante a transmissão dos dados, aumentando a confiabilidade do sistema. Os demais blocos, ambos ARTH e Constante, foram distribuídos visando um melhor equilíbrio de processamento entre os equipamentos a fim de minimizar uma possível sobrecarga no sistema.

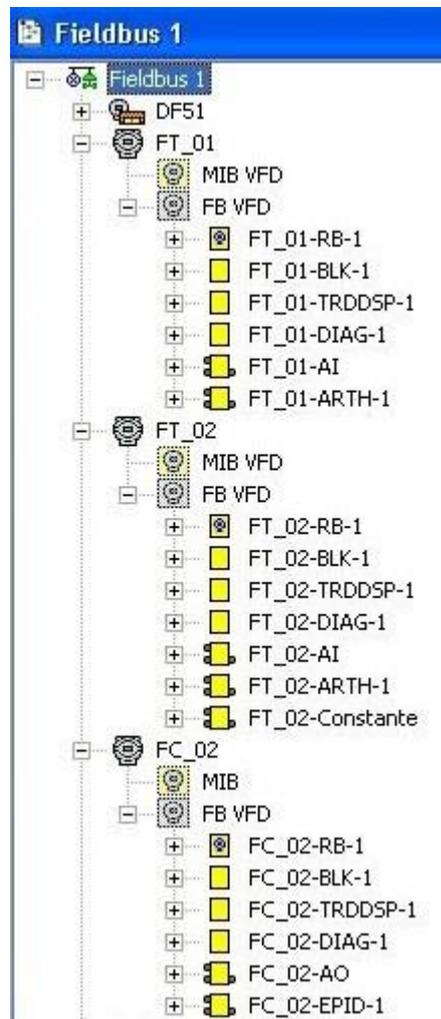


Figura 7 – Disposição geral dos Blocos funcionais utilizados.

A parametrização dos blocos funcionais ocorre de acordo com a aplicação de cada bloco no sistema. O bloco AI é o que lê o fluxo de corrente d'água, enquanto a saída AO indica à válvula posicionadora B (FY 302) qual a porcentagem ela deve ficar aberta para que passe o fluxo de água necessário. Ainda, ambos devem identificar as unidades dos valores que estão

manipulando. O bloco EPID, que de fato realiza a tarefa de controle corrigindo o valor do fluxo B através da válvula posicionadora, deve identificar as unidades dos sinais trabalhados, seus valores máximos e mínimos e ter seus ganhos K_p (GAIN), K_i (RESET) e K_d (RATE) ajustados. Os blocos matemáticos 1 (FT_01-ARTH-1) e 2 (FT_02-ARTH-1) devem ser ajustados conforme a equação utilizada.

Como o esquema escolhido é segundo a Figura 6-a, a razão R desejada entre os fluxos A e B fica armazenada na variável GAIN do bloco matemático FT_01-ARTH-1, onde nesse trabalho foi utilizado 0,5. A equação que ordena o funcionamento de ambos os blocos matemáticos está armazenada na variável ARTH_TYPE, segundo o manual [9].

O bloco Constante foi inserido unicamente para que haja consistência com a equação utilizado no bloco matemático FT_02-ARTH-1 e tem como saída o valor numérico 1. Os blocos funcionais devem ser conectados entre si como mostra a Figura 8.

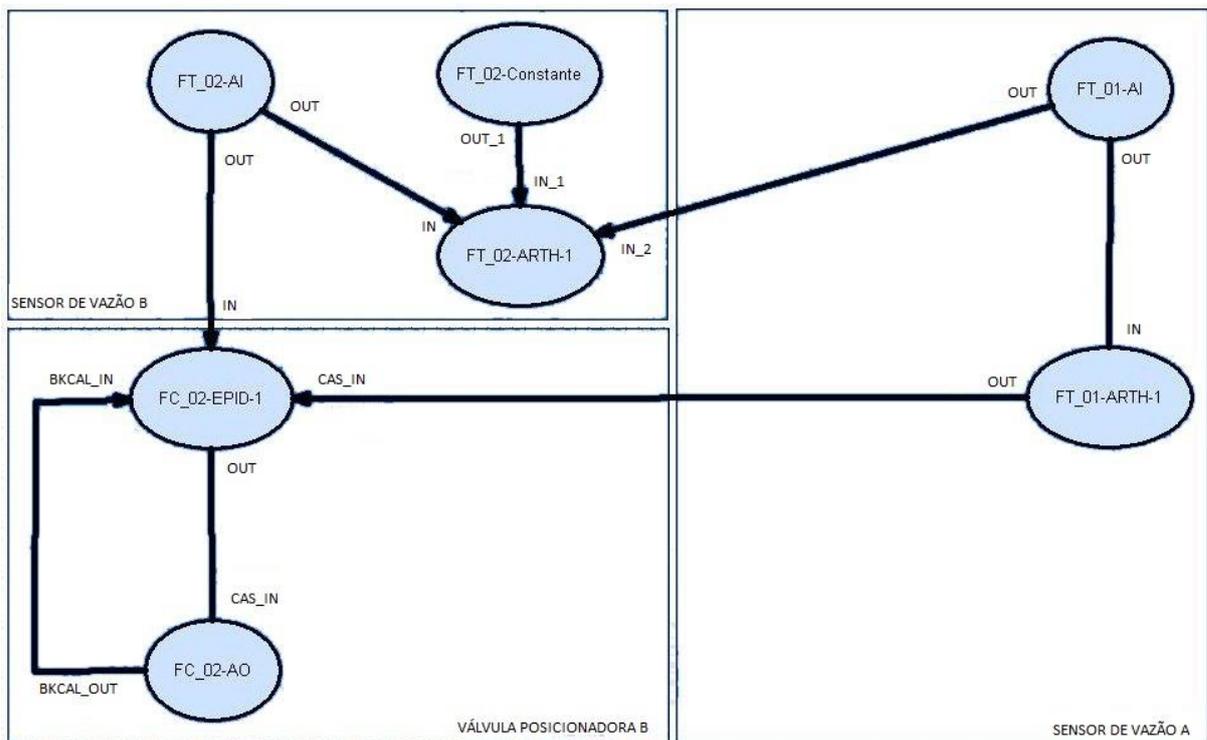


Figura 8 - Conexão dos blocos funcionais segundo o esquema escolhido.

A conexão final dos blocos mostra de forma bem clara como é implementado o esquema de controle segundo a Figura 6-a. O controle é realizado da seguinte maneira:

- 1) Os blocos de entrada analógica FT_01-AI e FT_02-AI medem o valor instantâneo dos fluxos A e B, respectivamente.

- 2) O valor do fluxo A, então, é direcionado ao bloco matemático FT_01-ARTH-1 onde é multiplicado pela razão R para se obter o valor desejado do fluxo B (set point do PID).
- 3) Em seguida, o PID compara o valor desejado do fluxo B obtido na etapa anterior com o valor instantâneo medido por FT_02-AI e realiza o controle de forma adequada, gerando um sinal entre 0 e 100% para a válvula posicionadora B.
- 4) O valor obtido na etapa anterior é, então, direcionado ao bloco FC_02-AO onde o mesmo irá ajustar a porcentagem de abertura da válvula posicionadora B para que a mesma mude o fluxo B que entra no tanque.
- 5) Há, em seguida, uma retroalimentação do bloco FC_02-AO com o PID para que o último ajuste a saída de forma mais precisa.
- 6) Por fim, os fluxos A e B obtidos na etapa 1 são direcionados ao segundo bloco matemático (FT_02-ARTH-1) para que o mesmo possa dividi-los (conforme ocorre no segundo esquema na Figura 6-b) para que se possa obter o valor instantâneo da razão R. O bloco FT_02-Constante, que gera um valor constante, existe unicamente para que o segundo bloco matemático funcione corretamente e gere o resultado esperado, conforme mostra a equação presente no manual [9].

As Tabelas 1 a 6 mostram um resumo dos valores das parametrizações de todos os blocos utilizados.

Tabela 1 - Parametrização dos blocos funcionais das entradas dos sensores de vazão.

Parâmetro		Bloco Funcional	
		FT_01-AI	FT_02-AI
Mode_BLK	Target	Auto	Auto
	Permitted	Auto:Man:OOS	Auto:Man:OOS
	Normal	OOS	OOS
XD_Scale	EU_100	2000	100
	Units	H2O(4°C)	H2O(4°C)
	Decimal	2	2
Out_Scale	EU_100	2000	2000
	Units	L/h	L/h
	Decimal	2	2

Tabela 2 - Parametrização dos blocos funcionais matemáticos utilizados.

Parâmetros	Bloco Funcional	
	FT_01-ARTH	FT_02-ARTH
PV_Units	L/h	L/h
Out_Units	L/h	L/h
Inputs_Opts	Marcar todos, exceto 'Restricted'	Marcar todos, exceto 'Restricted'
Range_Hi	2000	2000
Range_Lo	0	0
Gain_In_1	1	1
Gain_In_2	-1	1
Comp_Hi_Lim	2000	2000
Comp_Lo_Lim	-2000	-2000
Arith_Type	Traditional summer	Flow comp. linear
Bias	-----	0
Gain	(Razão R desejada)	1
Out_Hi_Lim	2000	2000
Out_Lo_Lim	0	0

Tabela 3 - Parametrização do bloco funcional do PID. *Valores obtidos empiricamente.

Parâmetro		Bloco Funcional
		FC_02-EPID
PV_Scale	EU_100	2000
	EU_0	0
	Units	L/h
Out_Scale	EU_100	100
	EU_0	0
	Units	%
SP_Hi_Lim		2000
SP_Lo_Lim		0
Gain*		0.1
Reset*		1

Tabela 4 - Parametrização do bloco funcional que gera saída para a válvula controladora do fluxo B.

Parâmetro		Bloco Funcional
		FC_02-AO
Mode_BLK	Target	Auto
	Permitted	Cas:Cas:Auto:OOS
	Normal	OOS
PV_Scale	EU_100	100
	EU_0	0
	Units	%
	Decimal	2
XD_Scale	EU_100	100
	EU_0	0
	Units	%
	Decimal	2

Tabela 5 - Parametrização do bloco funcional 'Constante'

Parâmetro		Bloco Funcional
		FT_02-Constante
Mode_BLK	Target	Auto
	Normal	OOS
CT_Val_1		1

4 Resultados

O *software Syscon* permite o acompanhamento dos parâmetros do projeto em tempo real, ou seja, durante o funcionamento da planta. Esse acompanhamento, porém, pode se mostrar confuso devido ao excesso de variáveis que mudam simultaneamente e pela quantidade de informação na tela do usuário.

Sendo assim, após realizado os passos descritos na Seção 3 e implementado o projeto na planta, foi criado um sistema supervisório simplificado seguindo o manual [10], através do *software GraphWorX* presente no pacote Studio302, para verificação do correto funcionamento do projeto. Para verificação do seu funcionamento, foi analisado o tempo de resposta da planta em três situações:

1. Ao ligar a planta e iniciar a operação do sistema;
2. Quando ocorre aumento do fluxo A de 600 L/h para 1.200 L/h;
3. Quando ocorre diminuição do fluxo A de 1.200 L/h para 600 L/h.

A visualização do processo pela IHM é de forma amigável e mostra o essencial ao operador, como mostra a Figura 9.

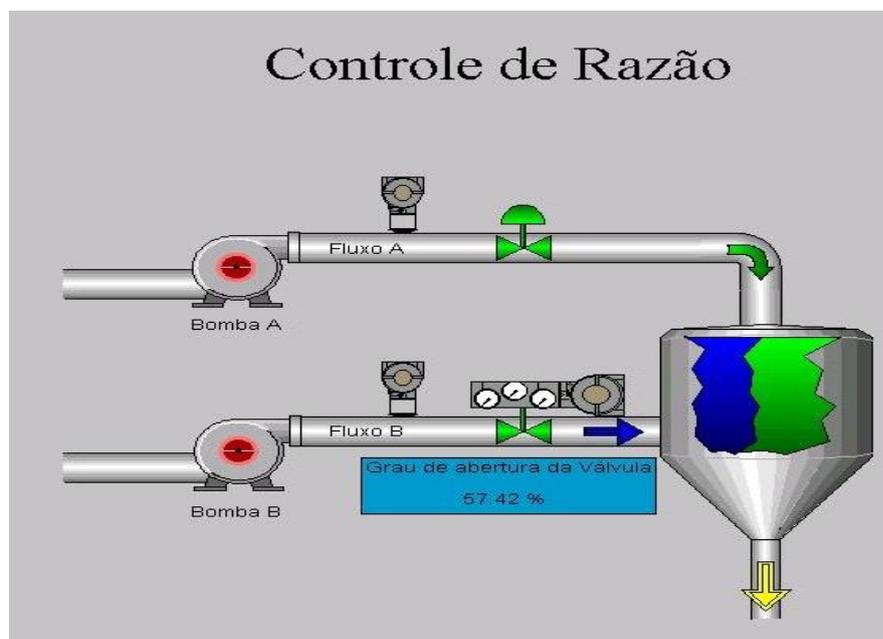


Figura 9 - Visão esquemática do processo pela IHM.

A IHM desenvolvida apresenta de forma clara e objetiva todas as informações necessárias ao operador do processo, consistindo basicamente em uma imagem esquemática do processo, mostrando todos os instrumentos utilizados necessários para o funcionamento físico do mesmo, assim como um indicador mostrando o grau instantâneo (em porcentagem) de abertura da válvula de controle do fluxo B; e gráficos de tendência das variáveis analisadas, sendo essas a razão real e fluxos A e B.

As Figuras 10 e 11 mostram o comportamento do sistema para os casos 1 e 3, citados acima, enquanto a Figura 12 representa a resposta do sistema ao caso 2.

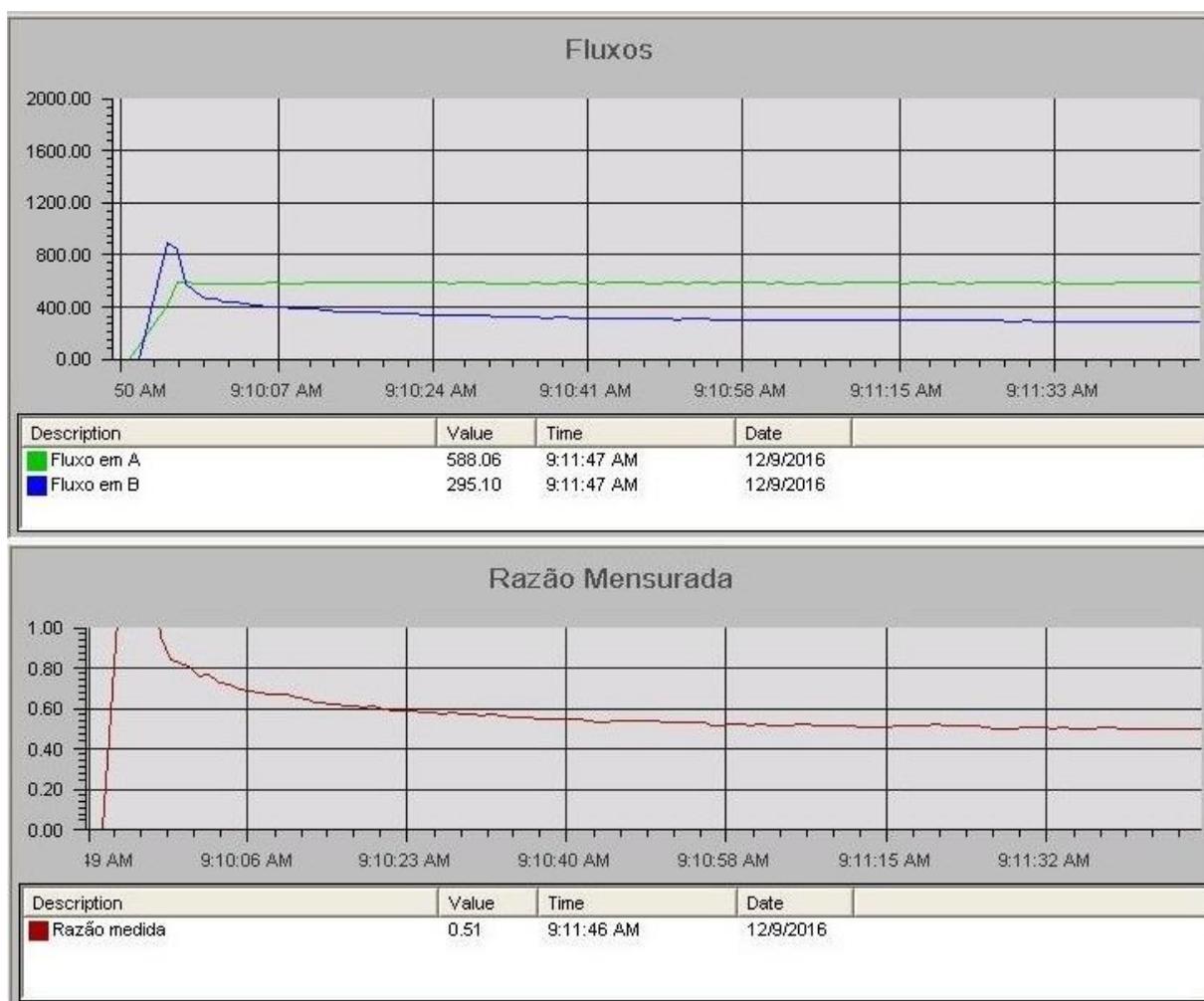


Figura 10 - Resposta da planta ao iniciar a operação.

É possível notar que, ao iniciar a operação do sistema, a razão instantânea mensurada apresenta *overshooting*. Esse fenômeno ocorre pois o sistema ainda se encontra em regime transitório e o PID não é capaz de atuar corretamente de forma tão rápida. Esse fenômeno demora cerca de 5,6s (duas divisões de tempo) para ocorrer e se extinguir, podendo demorar mais ou menos de acordo com a variação do fluxo A.

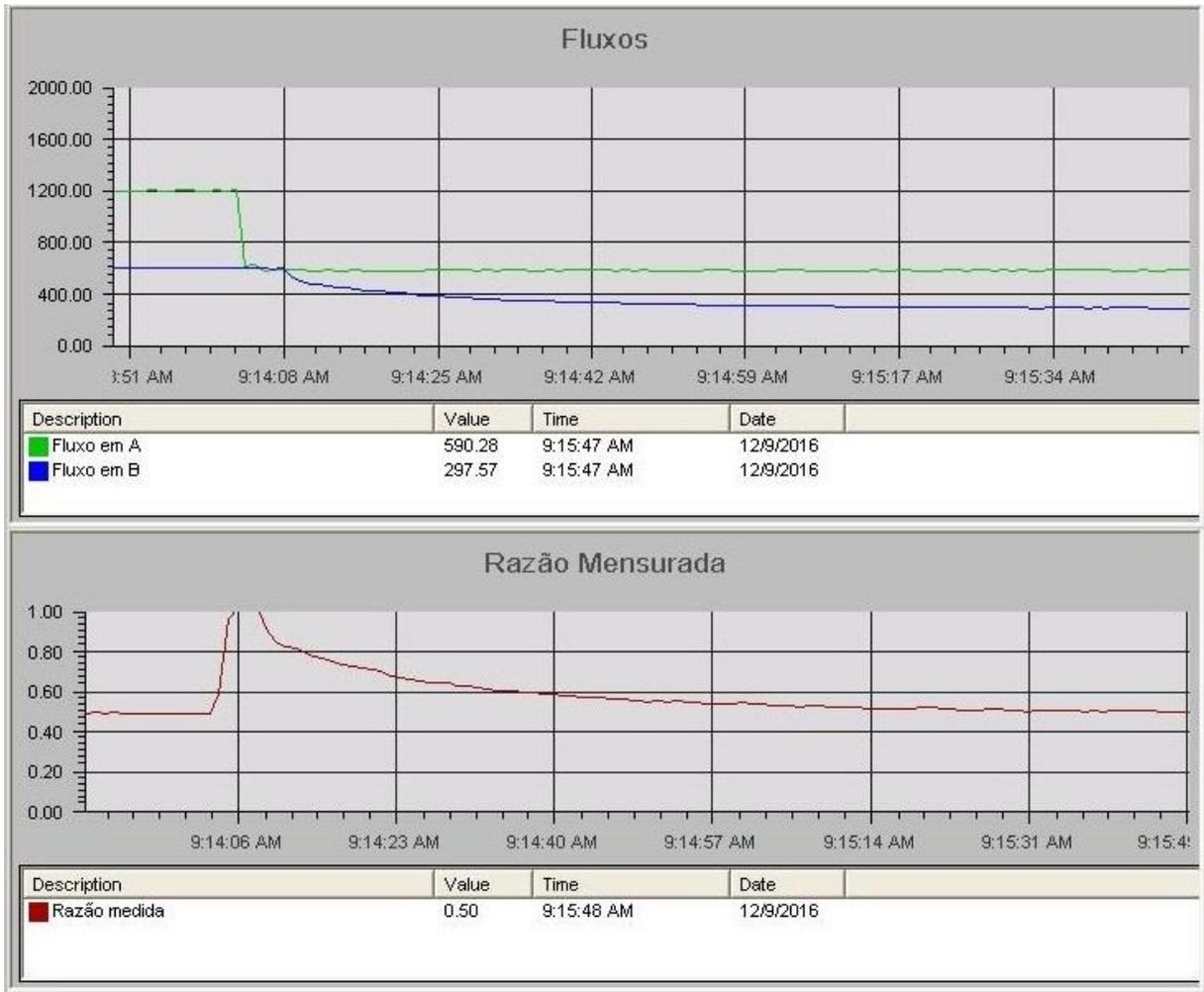


Figura 11 - Resposta do sistema quando o fluxo A diminui.

Mesmo após o regime transitório de todo o sistema, o *overshooting* pode ocorrer novamente quando há queda no fluxo A. Nessa situação, o PID não consegue atuar de forma instantânea e, por isso, a proporção B:A fica comprometida. De forma similar à anterior, esse fenômeno tem duração de 5,6s (duas divisões de tempo) para ocorrer e se extinguir, tempo esse variável de acordo com a variação do fluxo A.

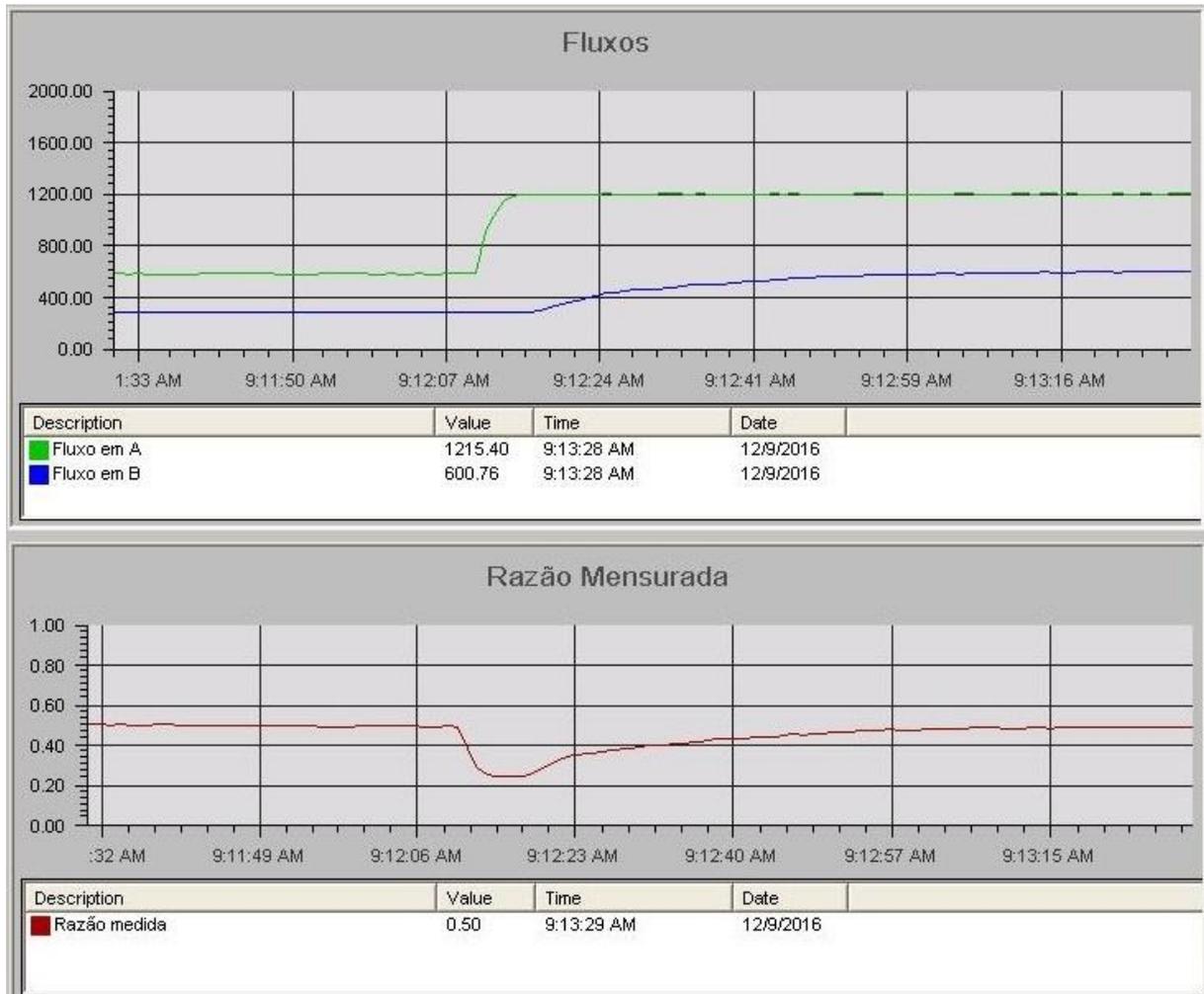


Figura 12 - Resposta do sistema quando o fluxo A aumenta.

Para o caso 2, quando o fluxo A aumenta, ocorre uma queda da razão instantânea. Analogamente ao que ocorre com a queda do fluxo A, o PID não atua de forma instantânea e a proporção B:A varia de forma não desejada. Para o caso analisado, esse fenômeno tem duração de aproximadamente 8,5s (três divisões de tempo), podendo variar para diferentes variações do fluxo A.

Através das respostas do sistema acima, pode-se ver que o sistema, de fato, se comporta como esperado, mantendo a razão em torno de 0.5 com uma margem de erro de 1% para mais ou para menos. O tempo de adequação do sistema para o estado permanente variou entre 1min a 1min30" nas três situações, sendo a mais longa no início da operação. Esse tempo pode ser mudado, dependendo da aplicação que se deseja controlar, sendo necessário mudar apenas os ganhos do PID.

Ambos os fenômenos observados, tanto o *overshoot* quanto a queda da razão, possuem ligação direta com o tempo de resposta do PID e impactam diretamente na qualidade do produto

final. Portanto, para que seus efeitos sejam minimizados, é essencial que o PID se comporte o mais próximo quanto possível do ideal ou que o seu comportamento seja rápido o suficiente para não prejudicar a qualidade final do produto ou processo realizado.

5 *Conclusão*

O trabalho proposto consistiu em aplicar um controle de razão para uma mistura simples de dois líquidos distintos à planta didática PD3 da SMAR, devendo sempre haver a mesma proporção entre ambos os líquidos. Foi apresentado dois esquemas diferentes para a implementação desse tipo de controle, sendo que segundo [8], ainda há outros métodos de implementação mais complexos de controle de razão para aplicações diferentes na indústria.

O controle implementado mostrou bom desempenho geral, com baixa taxa de erro da razão desejada e tempo de resposta do sistema. Como a PD3 é uma escala reduzida de muitas plantas industriais, possuindo os mesmos sensores e *softwares* utilizados por muitas empresas, esse trabalho pode ser aplicado em tais indústrias, onde deseja-se controlar uma proporção de duas substâncias diferentes em uma mistura.

A partir do trabalho desenvolvido, propostas de trabalhos futuros envolvem aplicar o controle de temperatura juntamente com o controle de razão, o que é muito interessante para indústrias alimentícias ou indústrias com determinados processos químicos. Além disso, um desenvolvimento mais elaborado do supervisor contendo históricos e alarmes, em conjunto com outros processos simultâneos na planta, se mostra igualmente interessante. Por fim, uma última proposta para trabalhos futuros seria a implementação de um controle de razão onde se deseje controlar a proporção entre três ou mais substâncias diferentes.

Referências Bibliográficas

CASOS

- [01] Filho, Constantino S. Evolução dos Sistemas de Controle. Página na internet acessada no dia 11 de dezembro de 2016: <http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaII/Download/DownloadFiles/HistoriaControladores.PDF>
- [02] Ogata, K. Engenharia de Controle Moderno, 4 edição, São Paulo: Prentice Hall, 2003.
- [03] R. C. Dorf e R. H. Bishop, Sistemas de Controle Modernos, 11a Ed., Addison Wesley, 2010.
- [04] Manual de Instrução, Operação e Manutenção SMAR, Plantas Didáticas.
- [05] Manual de Instrução, Operação e Manutenção Fieldbus Universal Bridge - DIF302, Smar, Fev/2008.
- [06] Manual de Instrução, Operação e Manutenção Posicionador de Válvula Fieldbus - FY302, Smar, Dez/2007.
- [07] Manual de Instrução, Operação e Manutenção Transmissor de Pressão Fieldbus - LD302, Smar, Ago/2016.
- [08] Carlos A. Smith e Armando B. Corripio, Princípios e Prática do Controle Automático de Processo, 3a ed., 2008, LTC.
- [09] Manual de Instruções dos Blocos Funcionais, Smar, Jul/2007.
- [10] ProcessView, Interface de Visualização de Processos, Smar, Jun/2004.