

Controle de Vazão utilizando PID desenvolvido em linguagem gráfica LabVIEW e Transmissor Virtual

Leonardo de Carvalho Vidal
leonardo.carvalho.vidal@hotmail.com
AEDB, UBM , UNIFEI

Tiago Martins de Oliveira
tiago.oliveira.eng@gmail.com
UBM

Leonardo Candido Coutinho
leonardo.eng@hotmail.com
UBM

Fábio Fernandes Fonseca
fabiof.fonseca@hotmail.com
UBM

Resumo: Na indústria são muitos os processos nos quais se deseja implementar um controle de vazão. No entanto, a maioria destes sistemas de controle envolve estruturas complexas, equipamentos sofisticados e de elevado custo. Além disso, a maioria das soluções disponíveis no mercado é limitada e pouco flexível, dificultando a introdução de novas tecnologias para melhoria do desempenho. Para atender a estas aplicações propõe-se através deste trabalho de pesquisa o controle de vazão utilizando PID desenvolvido em plataforma LabVIEW® e transmissor de vazão virtual. A proposta utiliza o PLC como interface de aquisição de dados e software de desenvolvimento com interface gráfica amigável, permitindo a sua utilização didática em projetos de pesquisa de controle compatível com o meio industrial. Um ambiente de projeto e implementação de técnicas de controle, utilizando-se um modelo reduzido de uma planta industrial de tanques acoplados. A solução permite introduzir e avaliar com relativa facilidade uma grande diversidade de algoritmos de controle digital.

Palavras Chave: Controle - PID - simulação - OPC - Instrumentação

1. INTRODUÇÃO

É muito comum encontrarmos nas empresas processos que dependam de um sistema automatizado. Automatizar e aperfeiçoar processos já faz parte da sobrevivência das empresas no mercado.

O projeto visa oferecer mais opções na área de automação de processos industriais, implementando uma solução com grande diversidade de tecnologias e baixo custo, pois utiliza sensor virtual, controlador proporcional, integral e derivativo (PID) desenvolvido na plataforma gráfica LabVIEW®, Excel® e PLC Allan Bradley® como interface de aquisição de dados.

Propõe-se através deste trabalho de pesquisa, o controle de vazão através de sistema lógico desenvolvido em computador e realimentação (*Feedback*) utilizando um transmissor de vazão virtual.

A solução permite introduzir e avaliar uma grande diversidade de algoritmos de controle digital.

2. DESENVOLVIMENTO DO HARDWARE E ENSAIOS

2.1. ARQUITETURA DO SISTEMA

A Figura 1 mostra os níveis hierárquicos do processo, respeitando os critérios da conhecida pirâmide da automação.

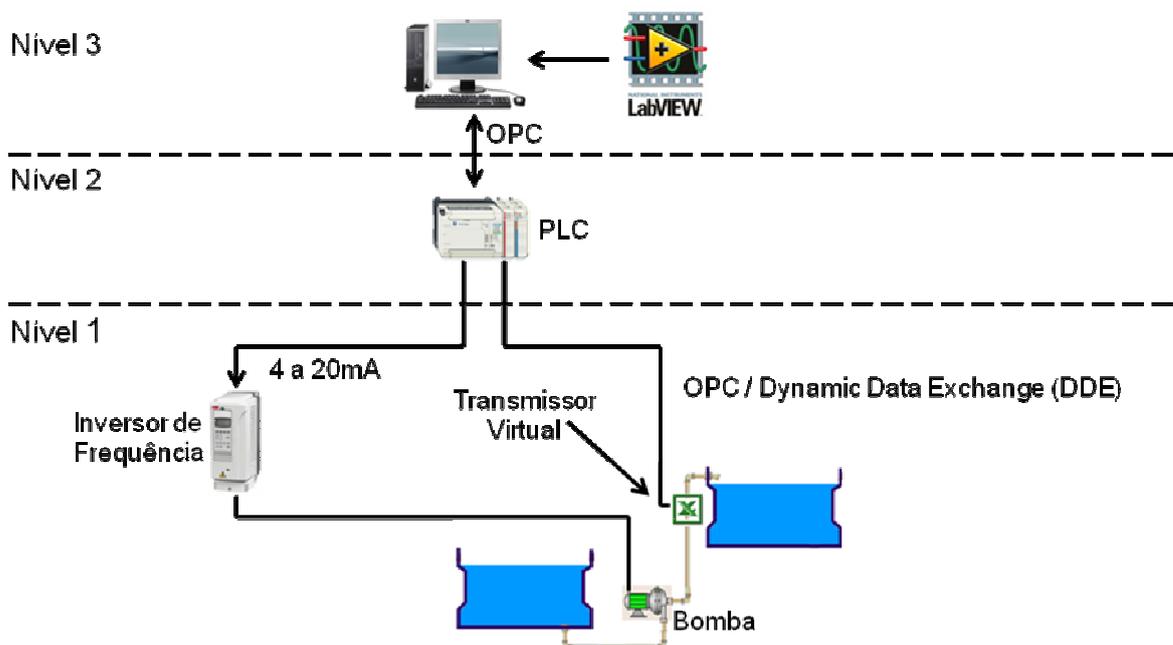


Figura 1: Divisão Hierárquica do Sistema

- Nível 1 - Responsável pelas ligações físicas da rede ou o nível de E/S. Neste nível encontram-se os sensores discretos, as bombas, as válvulas, os contadores, os CLPs e os blocos de E/S. O principal objetivo é o de transferir dados entre o processo e o sistema de controle. Estes dados podem ser binários ou analógicos e a comunicação pode ser feita horizontalmente (entre os dispositivos de campo) e verticalmente, em direção ao nível superior. E neste nível, comumente referenciado como chão de fábrica, que as redes industriais tem provocado grandes revoluções.

- Nível 2 - É o nível dos controladores digitais, dinâmicos e lógicos.
- Nível 3 - Permite o controle do processo produtivo; normalmente é constituído por bancos de dados com informações com os índices de qualidade da produção, relatórios, estatística de processos e de algum tipo de supervisão. Aqui se encontram concentradores de informações sobre o nível 1, e as interfaces homem – máquina (IHM).

2.2. DIAGRAMA DE BLOCOS

O método dos diagramas de bloco para representar um sistema procura combinar a descrição puramente matemática do sistema através de equações, com a visualização proporcionada por um diagrama. Um bloco pode representar um único componente ou um grupo de componentes, mas cada bloco é completamente caracterizado por uma função de transferência. A Figura 2 mostra o diagrama de bloco do sistema.

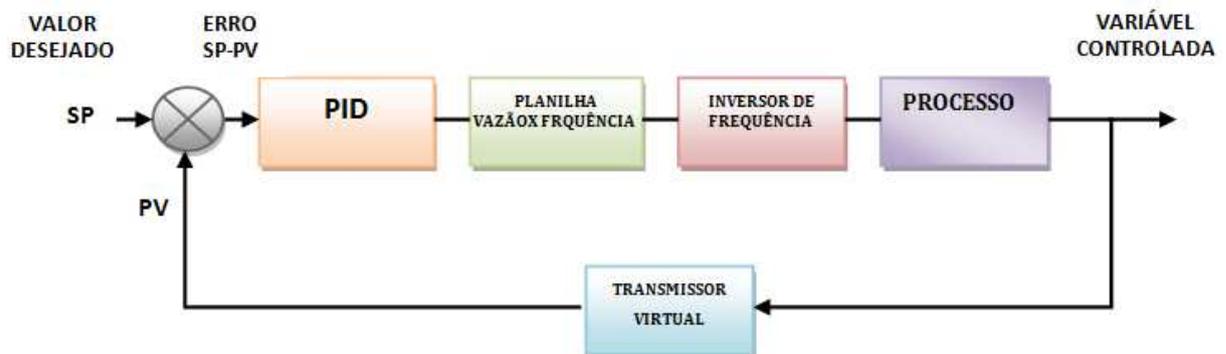


Figura 2: Diagrama de Blocos do Sistema

2.3. LABVIEW

Segundo Santos (2009), o LabVIEW® é uma linguagem de programação analítica que utiliza um fluxograma com símbolos, ao invés de linhas de texto, para desenvolver as aplicações.

O programa é constituído pelos seguintes módulos:

- Painel frontal – É a interface com o usuário;
- Diagrama de blocos – Contém o código fonte (gráfico) que determina as funções do programa.

A seguir na Figura 3 tem-se a tela Front Panel, desenvolvida no LabVIEW® com a finalidade de ser a interface com o usuário.

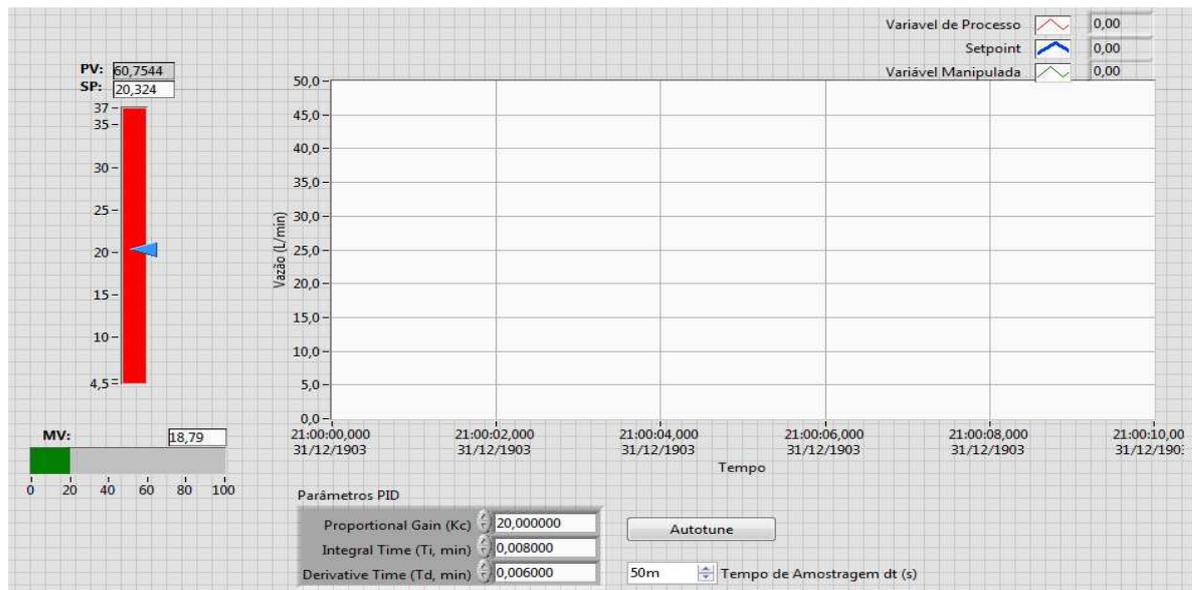


Figura 3: Tela Front Panel LabVIEW®

A Figura 4 mostra a tela *Block Diagram* do LabVIEW®, neste tela foi desenvolvido toda parte lógica do processo.

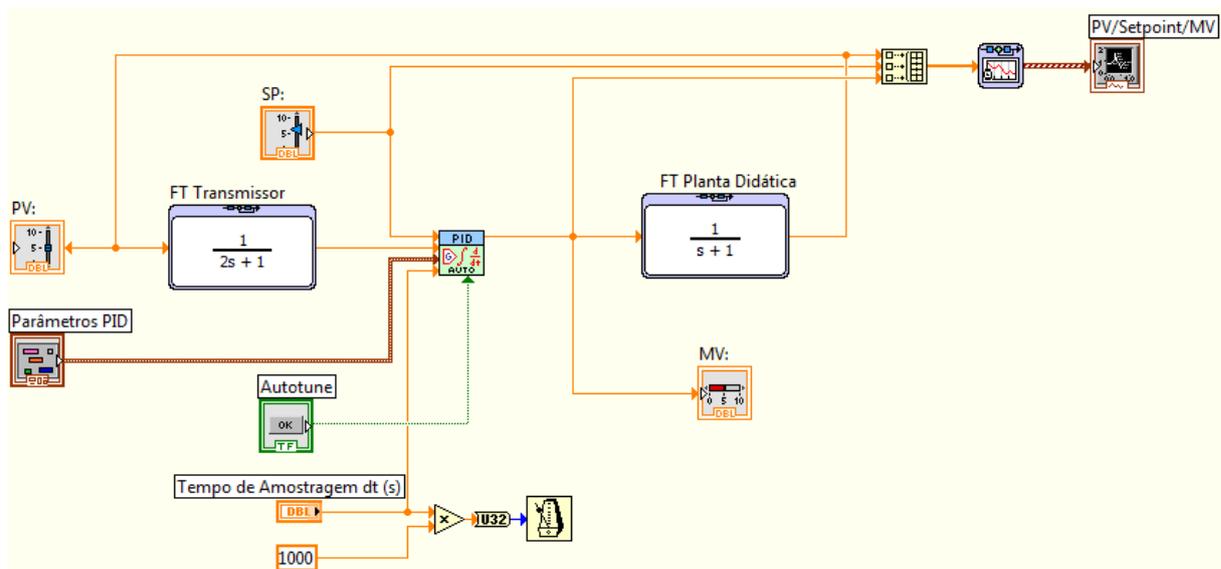


Figura 4: Tela Block Diagram LabVIEW®

2.4. INTERFACE DE AQUISIÇÃO DE DADOS

A seguir na Figura 5 tem-se a programação desenvolvida no RSLogix para ser a interface de aquisição de dados entre LabVIEW® / PLC e Excel® / PLC. O PLC recebe a Variável Manipulada vinda do LabVIEW® (Vazão), envia para a Planilha do Excel®, recebe o respectivo valor de Frequência (Hz) e faz o escalonamento para a saída analógica.

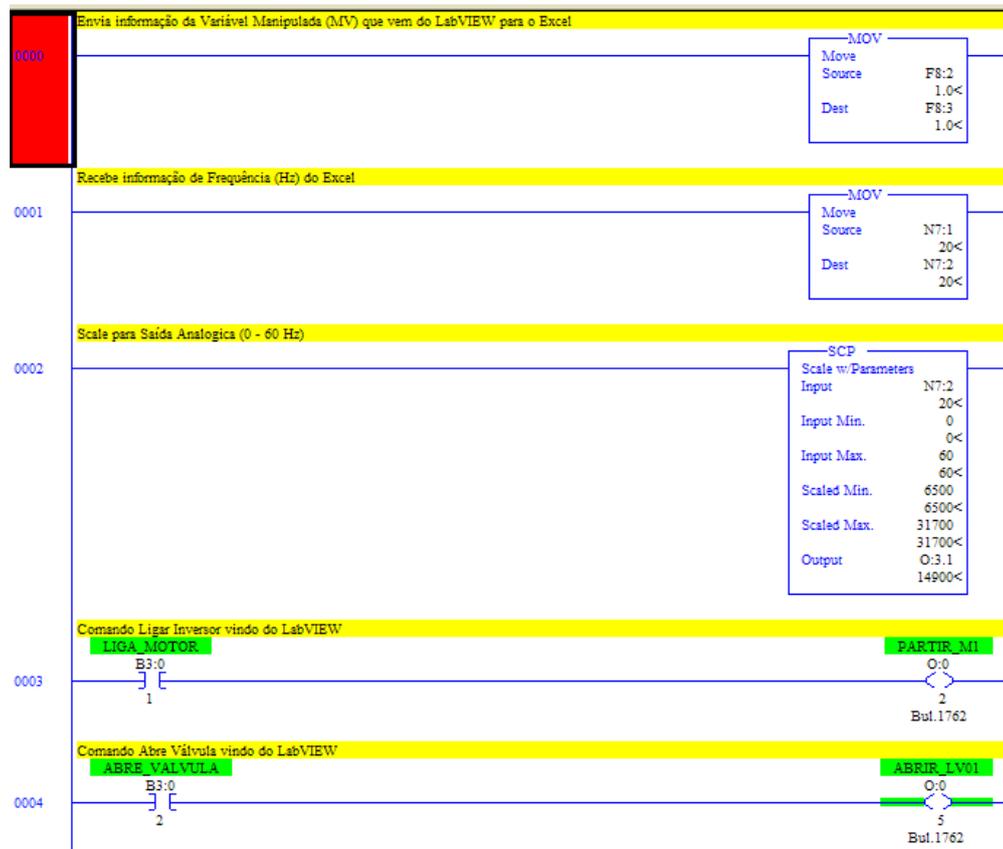


Figura 5: Interface de aquisição de dados entre LabVIEW® / PLC e Excel® / PLC

2.4.1. OPC

OPC é a sigla para “*OLE for Process Control*”, onde OLE significa “*Object Linking and Embedding*”. Este é o nome dado a uma interface padronizada de comunicação que foi criada na tentativa de minimizar os problemas relacionados à inconsistência dos “*drivers*” de equipamentos industriais de diferentes fabricantes. A “*OPC Foundation*” é a organização responsável pelas normas que estabelecem as características disponíveis aos clientes dos equipamentos que possuem o padrão OPC.

Os equipamentos dotados de comunicação via OPC (CLPs, câmeras industriais, robôs, etc.) disponibilizam dados internos em uma interface simplificada, onde aplicações externas podem interagir com a leitura e/ou escrita de valores em parâmetros, registradores de programas, resultados, etc. Cada fabricante disponibiliza os dados mais convenientes, de acordo com o equipamento. Normalmente, dados inerentes à segurança do equipamento não estarão mapeados no “*driver*” e conseqüentemente serão invisíveis ao usuário. A intermediação da comunicação entre aplicação cliente e equipamento é realizada por um servidor OPC (*OPC Server*). Este servidor possui os “*drivers*” referentes aos equipamentos suportados, e de acordo com o modelo configurado, disponibiliza a região de dados específica. Por exemplo, em uma comunicação com um CLP, é possível ler ou escrever valores de memórias internas, utilizadas no programa do usuário, ou até mesmo ler estado de entradas e saídas. Em câmeras industriais é possível obter o resultado da aplicação de análise de imagens, ou mesmo carregar as imagens, entre outras funcionalidades.

2.4.2. AMOSTRAGENS DE DADOS

A tabela 1 mostra a relação Vazão x Frequência das amostragens retiradas na planta didática do laboratório.

Tabela 1: Relação Vazão x Frequência

Vazão x Frequência		
Relação Vazão x Frequência		
Vazão (L/min)	Frequência (Hz)	
4,5	10	00:10:52 652 s 50 litros
7,2	12,5	
10,0	15	00:05:00 300 s 50 litros
13,0	17,5	
16,0	20	00:03:00 180 s 50 litros
18,5	22,5	
21,0	25	00:02:22 142 s 50 litros
24,5	27,5	
29,0	30	00:01:44 104 s 50 litros
31,5	32,5	
34,0	35	00:01:28 88 s 50 litros
34,2	37,5	
34,5	40	00:01:27 87 s 50 litros
35,0	42,5	
35,5	45	00:01:25 85 s 50 litros
35,7	47,5	
36,0	50	00:01:23 83 s 50 litros
36,2	52,5	
36,5	55	00:01:22 82 s 50 litros
36,7	57,5	
37,0	60	00:01:21 81 s 50 litros

No Gráfico 1 tem-se a relação Vazão x Tempo, a resposta é típica de um sistema de 1ª ordem, o perfil de vazão em função da frequência do inversor se demonstra como uma função não linear, pois os valores de vazão aumentam de forma exponencial com uma alteração linear dos valores de frequência. Tal perfil é retirado dos dados de vazão levantados nas Tabelas 1.

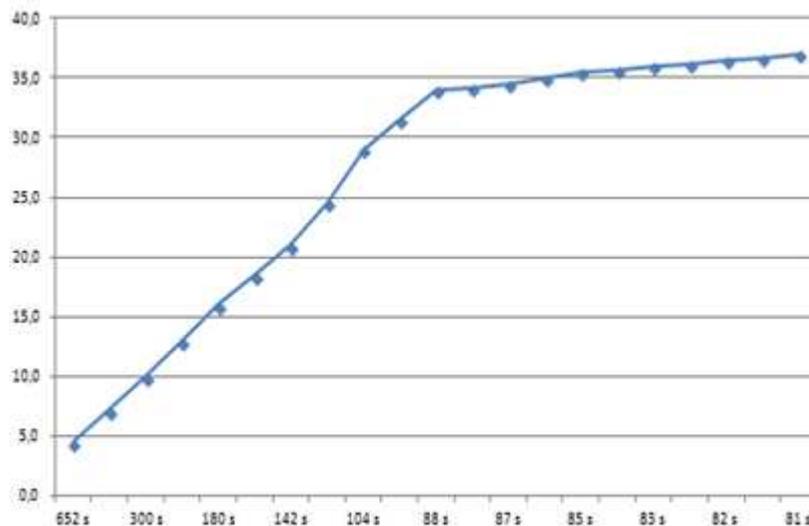


Gráfico 1: Resposta do sistema de 1ª Ordem

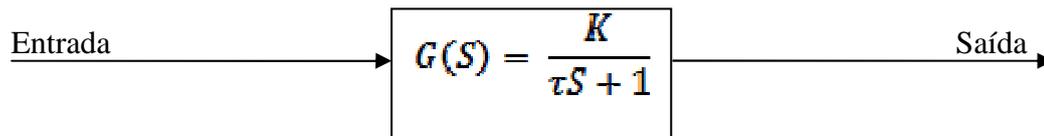
2.5. TRANSMISSOR

É um dispositivo que converte o sinal de leitura de um elemento primário de medição em um sinal padrão e o transmite a um mostrador ou controlador.

A Função Transferência para um transmissor de vazão é:

$$\tau \frac{dS}{dt} + S = KE \rightarrow \tau.DS + S = KE \rightarrow \frac{S}{E} = \frac{K}{\tau D + 1}$$

ou seja, um instrumento de primeira ordem pode ser representado pelo sistema :



A constante de tempo τ sempre tem a dimensão de tempo (segundo, minuto, hora, etc.), e é a responsável pelo atraso da resposta.

2.5.1. ATRASO DA RESPOSTA

Uma das formas mais claras de se avaliar a velocidade de resposta de um instrumento de medida é aplicando uma entrada repentina, cronometrando o tempo de resposta. Esse tipo de entrada é chamado de entrada degrau. A entrada degrau teria o aspecto mostrado na Figura 6:

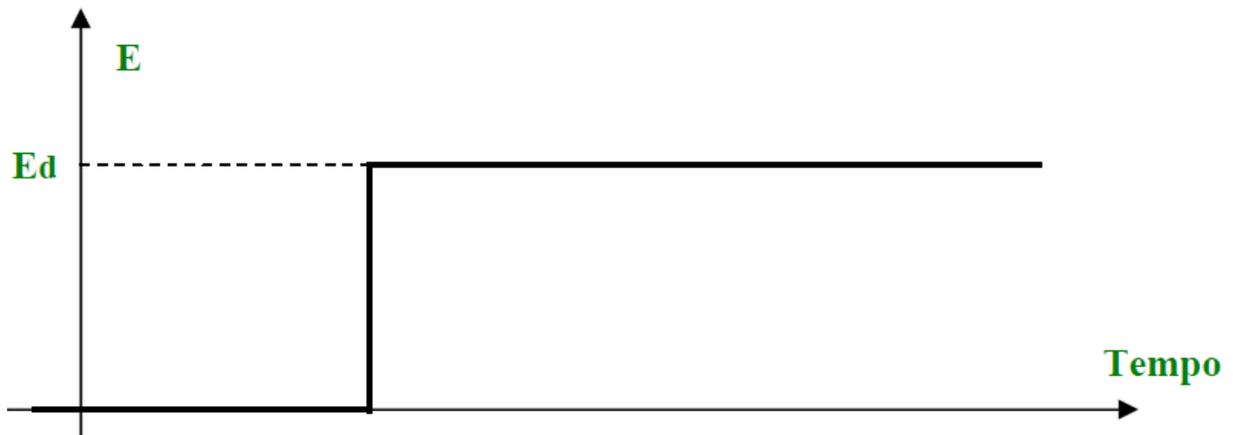


Figura 6: Entrada do tipo degrau

Obtendo a equação da resposta de um instrumento de 1ª Ordem para uma entrada degrau, tem-se:

$$S = K.E_d.(1 - e^{-t/\tau})$$

A Fig. 7 mostra a resposta de um sistema de 1ª Ordem a uma entrada degrau:

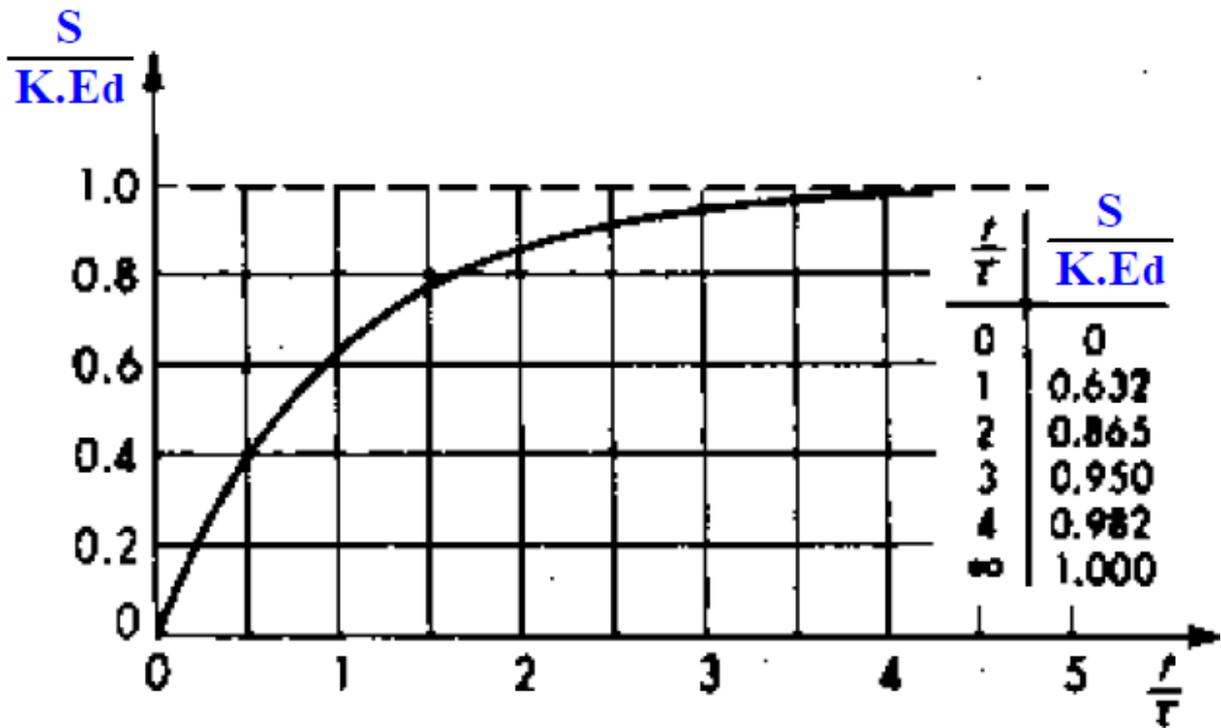


Figura 7: Resposta para uma entrada degrau

Nota-se que, para o tempo $t = \tau$, o sistema responde 63,2 % do degrau, e para $t = 3 \tau$, a resposta é de 0,95 do degrau. Podemos então definir como tempo de resposta (*settling time*) de um instrumento de medida, como o tempo que o sistema demora para alcançar a resposta, para uma dada precisão.

Como a finalidade de comprovarmos as informações anteriores, a seguir veremos 3 simulações com a constante de tempo τ diferentes.

Fazendo $\tau = 1$, $K_p = 2$, $T_i = 0$ e $T_d = 0$, tem-se:

Para o tempo $t = \tau$, o sistema já teria respondido 63,2 % do degrau, ou seja, em 1 segundo após ser aplicado à entrada degrau, ele estaria marcando $0,632 \times 25 = 15,8$ L/min; em 2 segundos, marcaria $0,865 \times 25 = 21,63$ L/min; em 3 segundos, marcaria $0,95 \times 25 = 23,75$ L/min; e em 4 segundos, marcaria $0,982 \times 25 = 24,55$ L/min. A Figura 8 mostra a resposta do transmissor virtual.

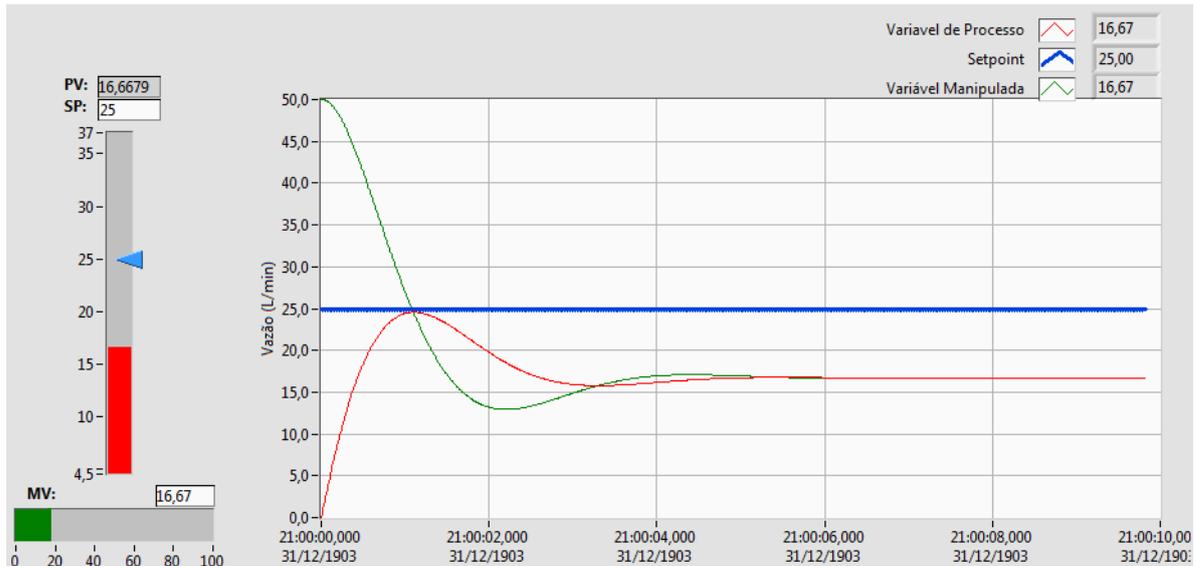


Figura 8: Resposta do sistema para $\tau = 1$

Fazendo $\tau = 3$, $K_p = 2$, $T_i = 0$ e $T_d = 0$, tem-se:

Para o tempo $t = \tau$, o sistema já teria respondido 63,2 % do degrau, ou seja, em 3 segundos após ser aplicado a entrada degrau, ele estaria marcando $0,632 \times 25 = 15,8$ L/min; em 6 segundos, marcaria $0,865 \times 25 = 21,63$ L/min; em 9 segundos, marcaria $0,95 \times 25 = 23,75$ L/min; e em 12 segundos, marcaria $0,982 \times 25 = 24,55$ L/min. A Figura 9 mostra a resposta do transmissor virtual.

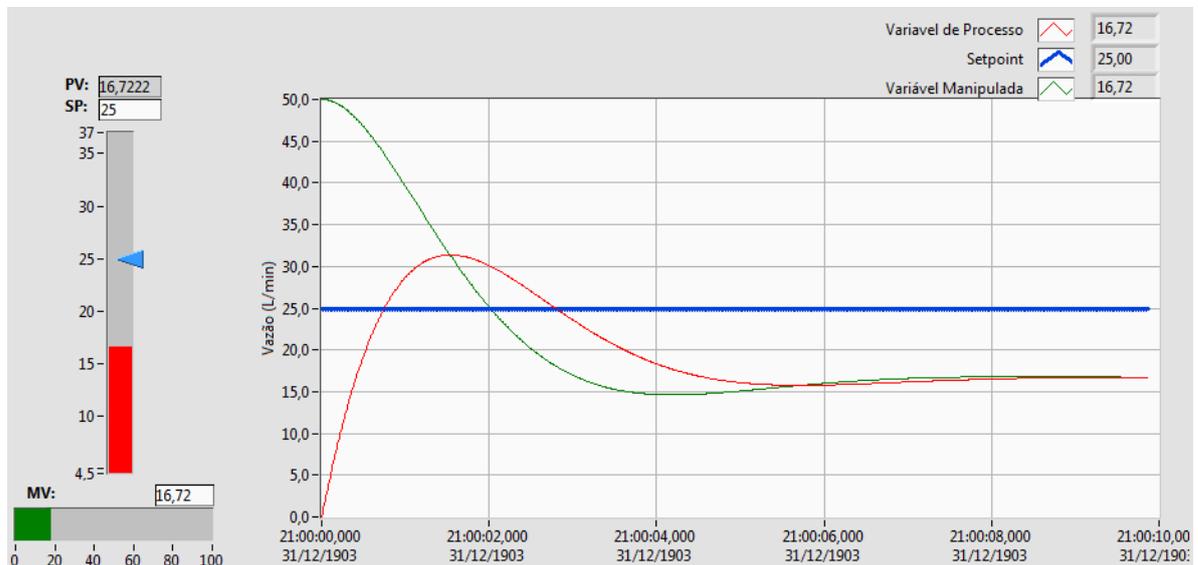


Figura 9: Resposta do sistema para $\tau = 3$

Fazendo $\tau = 6$, $K_p = 2$, $T_i = 0$ e $T_d = 0$, tem-se:

Para o tempo $t = \tau$, o sistema já teria respondido 63,2 % do degrau, ou seja, em 6 segundos após ser aplicado a entrada degrau, ele estaria marcando $0,632 \times 25 = 15,8$ L/min; em 12 segundos, marcaria $0,865 \times 25 = 21,63$ L/min; em 18 segundos, marcaria $0,95 \times 25 = 23,75$ L/min; e em 24 segundos, marcaria $0,982 \times 25 = 24,55$ L/min. A Figura 10 mostra a resposta do transmissor virtual.

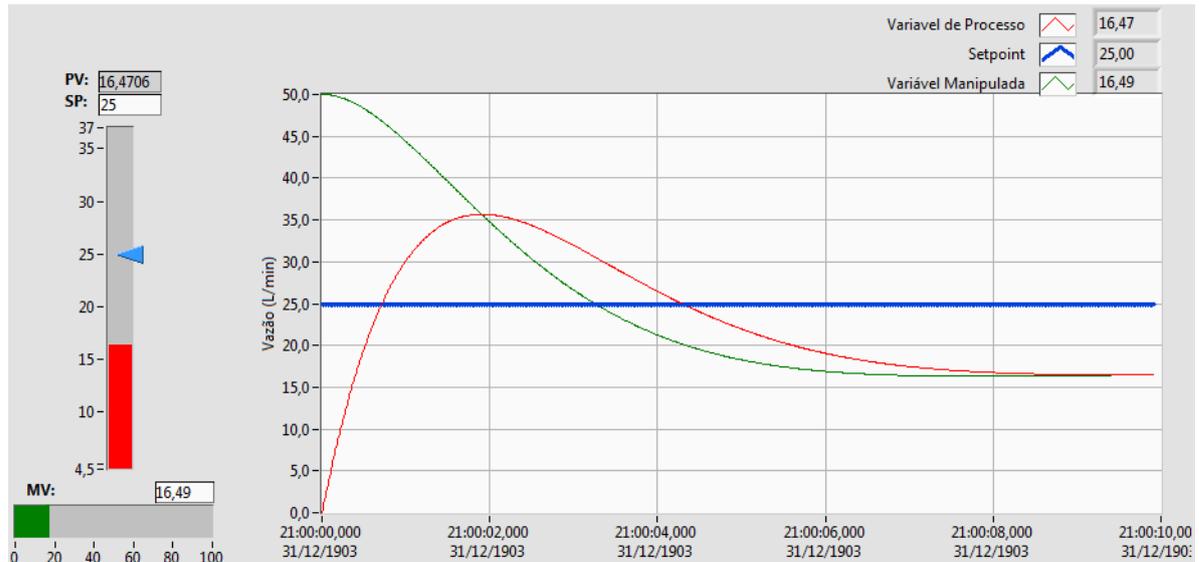


Figura 10: Resposta do sistema para $T = 6$

2.6. CONTROLE PID

Conforme Garcia (2003), apesar de novas técnicas de controle processos, com a utilização de tecnologia digital de ponta, o algoritmo de controle mais utilizado é o PID, apesar deste existir a mais de meio século. Isto se deve a sua fácil implementação tanto analógica quanto digital e à sua versatilidade, proporcionando resultados satisfatórios, mesmo para variações apreciáveis nas características dos processos.

Ainda, segundo Garcia (2003) o PID apresenta as seguintes vantagens:

- não requer conhecimento profundo da planta e nem um modelo matemático do processo, embora este seja útil pro projeto do sistema de controle;
- o PID, é um algoritmo de controle universal baseado na filosofia por realimentação, é versátil e robusto; se as condições de processo mudam a resintonia do controlador usualmente produz controle satisfatório.

Garcia (2003) ainda cita as desvantagens do PID:

- seu desempenho pode não ser satisfatório para processos com a constante de tempo grandes e/ou atrasos longos;
- se grandes perturbações são frequentes, o processo pode operar continuamente e nunca atingir o estado estacionário desejado.

As equações características são as seguintes:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

A sua função de transferência é dada por:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

2.6.1. SINTONIA DE CONTROLADORES PID

De acordo com Vidal (2012), o processo de encontrar os melhores parâmetros de um controlador é chamado de sintonia de malha de controle. Em alguns casos, esses parâmetros podem ser encontrados via tentativa e erro, entretanto cada um dos parâmetros K_p , T_i e T_d pode ter valores que variam desde 0,01 a 100. Aliados aos atrasos inerentes do processo, podem tornar a tarefa demorada e trabalhosa. Em outros casos, é necessário um modelo do sistema razoavelmente preciso para efetuar simulações. Nestes casos, o trabalho e o tempo envolvidos na modelagem e simulação muitas vezes não são justificáveis.

No trabalho utiliza-se o Método da Sensibilidade Limiar de Ziegler-Nichols para ajuste dos parâmetros PID.

1. Neste método faz-se inicialmente as constantes $T_i = \infty$, e $T_d = 0$, trabalhando apenas com a ação de controle proporcional.
2. Experimentalmente vamos aumentar o valor de K_p até que a resposta do sistema apresente uma oscilação sustentada pela primeira vez. A esse valor de K_p estabelece-se a notação de K_{cr} (ganho crítico).
3. O período da senóide encontrada será o nosso P_{cr} (período crítico).
4. Ziegler e Nichols sugeriram escolher valores de K_p , K_i e K_d de acordo com a fórmula que aparece na tabela abaixo.

Tabela 2: Método da Sensibilidade Limiar de Ziegler-Nichols para ajuste de PID

Type of Controller	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

De posse dos valores de ganho e período crítico e das fórmulas sugeridas por Ziegler e Nichols, amplamente difundidas por OGATA (1996), DORF (2001) e NISE (2002), foram ajustados os parâmetros do controlador. Para a sintonia do PID, o ganho proporcional do controlador foi aumentado até se atingir o limite de estabilidade do sistema, quando este apresenta oscilações mantidas conforme a Figura 11.

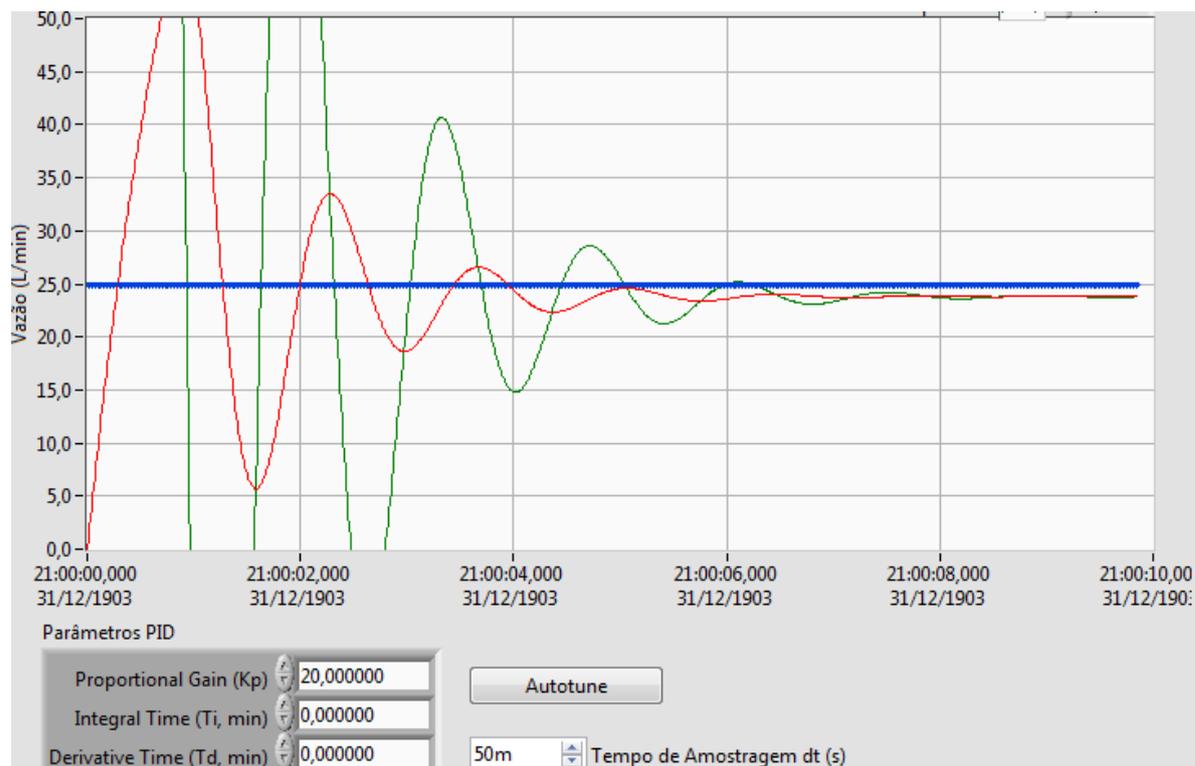


Figura 11: Resposta do sistema para $K_p = K_{cr} = 20$

Com isso, tem-se:

K_{cr} (ganho crítico) = 20

P_{cr} (período crítico) = 0,2 s

Logo, pode-se encontrar os parâmetros PID:

$K_p = 0,6 \times 20 = 12$

$T_i = 0,5 \times 0,2 = 0,10$

$T_d = 0,125 \times 0,2 = 0,025$

Inserindo os parâmetros encontrados pelo método da sensibilidade limiar de Ziegler-Nichols no controlador, tem-se na Figura 12 a resposta do sistema, uma resposta rápida e sem oscilações, pode-se classificá-la como uma resposta Criticamente Amortecida:

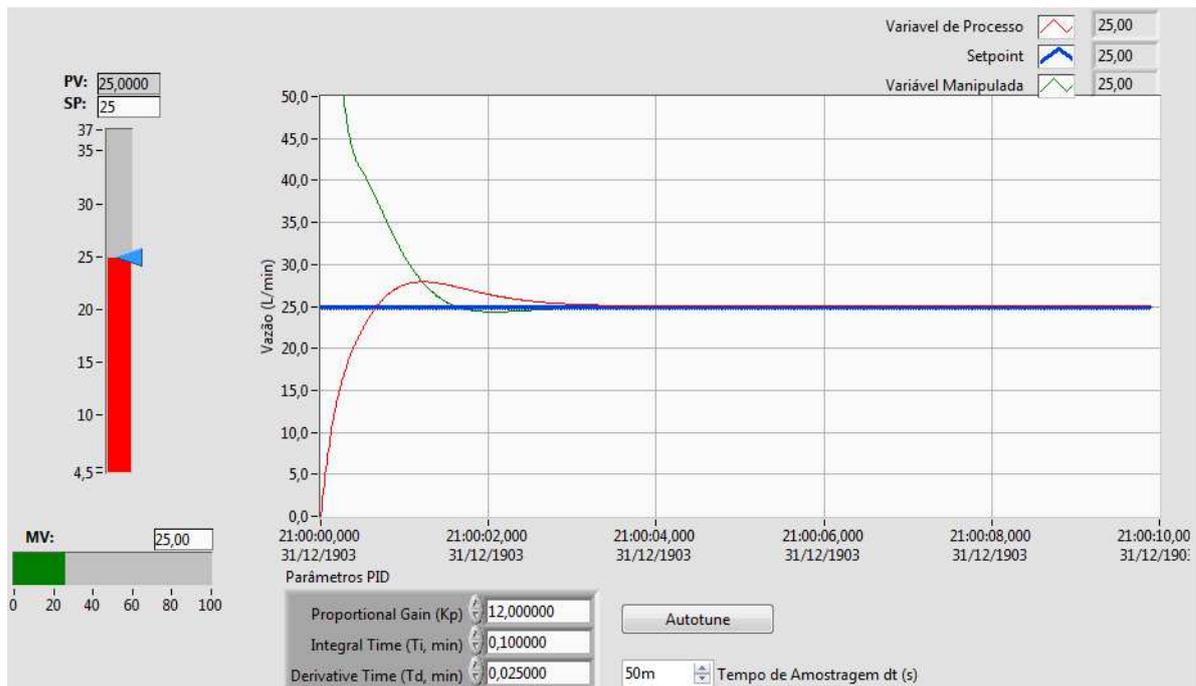


Figura 12: Resposta do sistema após sintonia do controlador

Com a finalidade de comprovarmos o método utilizado para sintonia do controlador, utilizamos a função *Autotuning* do LabVIEW® para descobrirmos os parâmetros PID, a Figura 13 mostra o resultado encontrado:

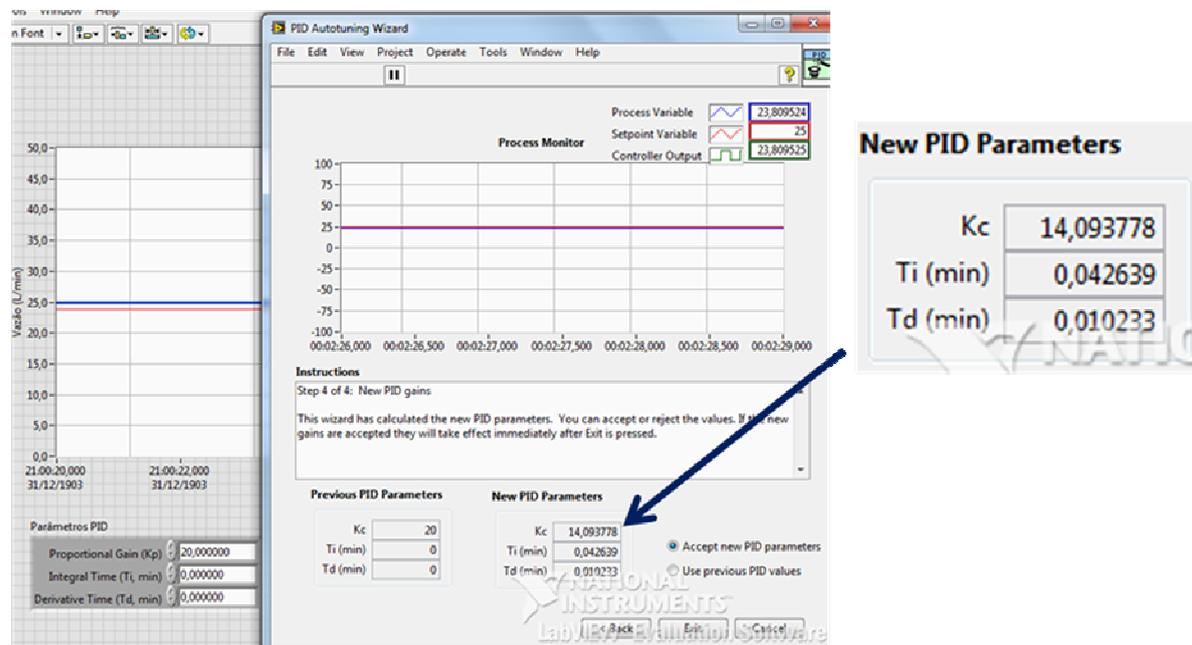


Figura 13: Autotuning LabVIEW®

Inserindo os parâmetros encontrados pelo *Autotuning* no controlador, tem-se na Figura 14 a resposta do sistema, uma resposta mais rápida e com considerável oscilação, pode-se classificá-la como uma resposta Subamortecida:

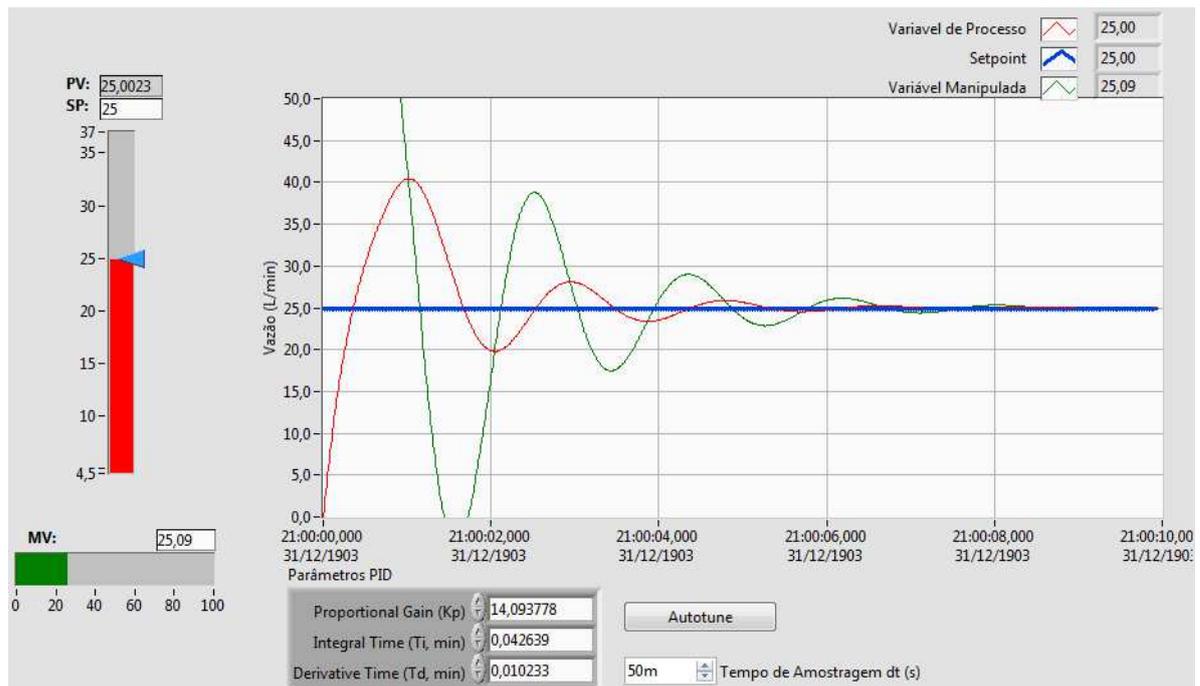


Figura 14: Resposta do sistema com os parâmetros calculados pelo *Autotuning* do LabVIEW®

Então, a melhor sintonia, ou seja, a sintonia que apresentou o menor sobressinal e o menor erro permanente foi o ajuste feito através método da sensibilidade limiar de Ziegler-Nichols.

3. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho apresentou o estudo e a implementação de controle de vazão utilizando PID desenvolvido na plataforma LabVIEW® e transmissor de vazão virtual.

A abordagem utilizou equipamentos similares aos tipicamente empregados na indústria, mostrando ser uma solução versátil, moderna e eficiente baseada em sistema de aquisição de dados e instrumentação virtual.

Além da aplicabilidade na indústria, a metodologia e a plataforma desenvolvidas podem ser utilizadas na preparação de experiências didáticas para o ensino de engenharia de controle, pois envolvem conceitos essenciais para profissionais que atuam nas áreas de instrumentação, controle de processos contínuos, acionamento de máquinas elétricas, redes industriais, dentre outras.

A validação do projeto foi efetuada comparando os resultados obtidos na prática com aqueles obtidos por simulação, utilizando o software LabVIEW®. A eficiência do projeto e a sintonia de controladores foram avaliados por meio da análise da resposta a variações na referência de vazão (set-point).

A semelhança entre os resultados práticos e de simulação evidenciam a eficiência do controle desenvolvido, que em ambos os casos mostram relativa precisão, mesmo quando o sistema é submetido a variações bruscas.

A partir dos dados obtidos, observa-se que para a Planta tem comportamento não linear em função da diferença de operação com vazões diferentes e ainda pela não linearidade apresentada pela razão da vazão das bombas em função da frequência do inversor (e conseqüente velocidade das bombas).



Além disso, se obteve através das comunicações estabelecidas entre os *softwares* utilizados, a possibilidade de inserção de novos estudos e aplicações na planta utilizada.

Propõe-se para trabalhos futuros a implementação de um banco de dados temporal integrado com o LabVIEW via OPC, com a finalidade de armazenar dados referentes ao processo, possibilitando consultas remotas, emissão de relatórios, gráficos, entre outras funcionalidades.

4. REFERÊNCIAS

DORF, R. C. BISHOP, R. H. Sistemas de Controles Modernos, 8ª ed, RJ, LTC, 1998.

GARCIA, C. Controle de processos industriais, Apostila do curso de pós graduação em Instrumentação, Automação e Controle, IMT – Instituto Mauá de Tecnologia, Escola de Engenharia Mauá, 2003

NISE, N. S. Engenharia de sistemas de controle, Rio de Janeiro, LTC, 2002.

OGATA, K. Engenharia do controle moderno, 3ª Ed, Rio de Janeiro: LTC, 1998.

SANTOS, W. Introdução a Programação com LabVIEW® – Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Eletrotécnica Núcleo de Pesquisas em Eletrotécnica, 2009.

VIDAL, L. C. Implementação e Comparação de Técnicas de Controle em Plantas Simuladas - Universidade de Taubaté – SP, 2012.