

ANÁLISE DE SOFTWARE DE SIMULAÇÃO DE CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS – ESTUDO DE CASO DE VAZÃO

Pedro Henrique Quintino Garcia, Renato F. Fernandes Jr
Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Uberlândia – Minas Gerais
pedrohqgarcia@gmail.com, renfernand@gmail.com

Resumo - Sistemas de controle industrial é uma área essencial na engenharia e está em constante desenvolvimento. Para a pesquisa e o ensino de controle são necessário equipamentos e sistemas complexos e caros para a obtenção dentro do meio acadêmico. Então é necessário a busca por ferramentas de simulação de sistemas que supra esta necessidade recorrente de tecnologias e também seja flexível o suficiente para oferecer a possibilidade de exploração de diferentes tópicos dentro da disciplina. Uma ferramenta além de possuir esta capacidade de simulação ela deve ter uma interface que seja muito próxima a linguagem utilizada no ambiente industrial. Neste contexto, este trabalho tem como propósito a exploração e análise de uma nova ferramenta de simulação de plantas de controle industrial chamada TDPS de forma a aplicá-la nas disciplinas de controle e automação. Para isso será feita uma profunda análise baseado na malha de vazão.

Palavras-Chave – identificação, controle PID, processos industriais, simulação, TDPS.

ANALYSIS OF SOFTWARE SIMULATION OF INDUSTRIAL PROCESSES CONTROL – STUDY OF OUTFLOW CASE

Abstract - Systems of industrial control are an essential area in engineering and are in constant development. For the research and the education of control they are the necessary complex and expensive equipment and systems for the attainment inside of the half academic. Then the search for tools of simulation of systems is the necessary to supply this recurrent of technologies and either also flexible necessity the sufficient to offer the possibility of exploration of different topics inside of the discipline. A tool beyond possessing this capacity of simulation it must have an interface that is very next the language used in the industrial environment. In this context, this work has as intention the exploration and analysis of a new tool of simulation of plants of industrial control called TDPS in order to apply it in disciplines of control and automation. For this a deep analysis based on the outflow mesh will be made.

Keywords - identification, PID control, industrial processes, simulation, TDPS.

I. INTRODUÇÃO

No ensino acadêmico de controle em engenharia é necessário possuir plantas didáticas em diferentes processos com dinâmicas diferentes em diferentes configurações e tipos de equipamentos. No caso particular de válvulas de controle, que é o elemento mais comum no sistema industrial, existem diferentes tipos de válvulas com diferentes características. Os processos industriais são complexos e os equipamentos são caros o que torna a parte prática muito cara e consequentemente escassa ou mesmo inexistente [1].

Para contornar estes problemas, existem os softwares de simulação de sistemas de controle que é bastante utilizando no ambiente acadêmico como MATLAB, Simulink, FluidSim, entre outros. Estes softwares apesar de ter uma extensa biblioteca de funções e possibilidade de criar os mais diferentes sistemas de engenharia eles são difíceis para criar as estratégias e simulações e cada um tem sua particularidade, não sendo voltado diretamente para o controle industrial. Atualmente, um software chamado de TDPS desenvolvido pela UFMG foi desenvolvido com o objetivo de atender de forma adequada a esta demanda de simuladores de processos controlados com aplicações de forma simples de configurar e com uma base de templates prontos para serem utilizados [4].

Com isso, o presente trabalho visa estudar e avaliar as funcionalidade do software TDPS em simulações de estratégias de controle com variações de características do processo com o objetivo de utilização em disciplina de controle de processos. Para isso será realizado um estudo de caso em uma malha de vazão e utilização de todos os conceitos que serão abordados na disciplina. Para atender estes objetivos este trabalho foi dividido da seguinte forma: a seção 1 apresenta a introdução e os objetivos. Na seção 2 aborda uma revisão bibliográfica sobre o tema. A seção 3 descreve o software TDPS que é utilizado na validação deste trabalho. Na seção 4 é apresentado a proposta deste trabalho. Na seção 5 é explorado um estudo de caso de vazão. Por fim na seção 6 apresentamos as conclusões do presente trabalho.



XIV CEEL - ISSN 2178-8308
03 a 07 de Outubro de 2016
Universidade Federal de Uberlândia - UFU
Uberlândia - Minas Gerais - Brasil

II. SISTEMAS DE CONTROLE PROCESSOS

Sistema de controle de processos realimentados são sistemas que tem por objetivo manter as variáveis de uma planta industrial entre os seus limites operacionais desejáveis [5]. A malha de controle mais simples é composta por um sensor para medição da variável de processo que se deseja controlar correspondente a entrada de controle, o controlador que compara o sinal do processo com o setpoint (SP) e produz um sinal apropriado para o controle, e um elemento final de controle que altera a variável manipulada.

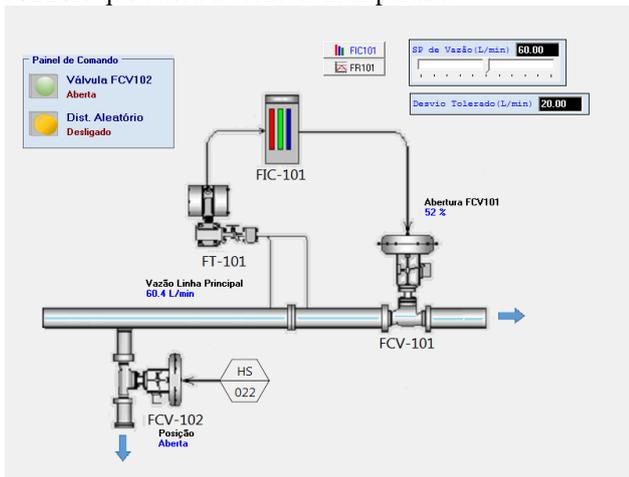


Fig. 1. Exemplo de uma malha de vazão simples

A figura 1 mostra um exemplo de um sistema de controle de vazão. A entrada do processo é realizada pelo transmissor de pressão (FT-101), o controlador é o elemento (FIC-101) e por fim o elemento final de controle é a válvula (FCV-101). Baseado neste exemplo da figura 1 cada um dos elementos será descrito em detalhes abaixo.

A. Sensores e Transmissores

Os sensores e transmissores são os elementos são os elementos de entrada na malha de controle e responsável pela medição da variável do processo (PV). Em uma malha de vazão como da figura 1, por exemplo, a variável de entrada é constituída por uma placa de orifício ligada a um transmissor de pressão diferencial, neste caso o FT-101. Ela geralmente é inserida numa linha do processo perpendicular ao movimento do fluido, com a intenção de produzir uma queda de pressão que é proporcional ao quadrado da vazão volumétrica através do orifício.

Geralmente a variável de entrada tem pouca influência no sistema de controle comparado com a dinâmica do processo e do elemento final de controle. Desta forma, eles geralmente são desconsiderados ou mapeados somente com um ganho ao sistema. Porém, a aplicação de filtros de entrada de ruídos ou transmissores ou sensores lentos em relação ao processo como um todo podem exigir o mapeamento deste elemento de entrada para uma análise mais criteriosa do processo.

B. Controlador PID

Nos dias atuais, mesmo com os desenvolvimentos tecnológicos aplicados aos processos industriais, ainda se observa que os controles Proporcional-Integral-Derivativo (PID) oferecem soluções simples e muito eficientes para a

grande maioria dos sistemas de controle industrial. E três diferentes estruturas do algoritmo de controlador PID são mais comumente encontradas na literatura: a forma padrão ou ISA (*The Instrumentation Systems and Automation Society*), a forma paralela e a forma série [7]. Porém a mais utilizada principalmente para estudo de métodos de sintonia é a forma ISA ou padrão mostrada em (1).

$$G_c = \frac{Y(s)}{U(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (1)$$

Sendo K_c o ganho proporcional, T_i o tempo integral, T_d o tempo derivativo.

Quanto a sintonia de um controlador PID, consiste na determinação dos parâmetros Proporcional, Integral e Derivativo que melhor se adéquem ao sistema, tal que a robustez e os critérios de desempenho desejado sejam obtidos. A etapa de sintonia visa assegurar que os critérios de desempenho estabelecidos para a malha de controle sejam alcançados [3].

Os procedimentos de sintonia são geralmente obtidos seguindo duas etapas básicas: a identificação do processo e a determinação dos parâmetros do controlador.

A identificação do processo o método mais comum é com o sistema em malha aberta através de uma excitação a degrau na entrada [5].

A partir da identificação do modelo é possível então a determinação dos parâmetros do controlador. A proposta de uma sintonia pode ser realizada através do projeto de controladores ou utilização de métodos heurísticos.

O projeto dos controladores utilizam a modelagem teórica de métodos como de frequência ou lugar das raízes do sistema.

Quanto aos métodos heurísticos são baseados em parâmetros de ajuste baseado no modelo. Dos vários métodos existentes, neste trabalho são estudados três dos métodos mais utilizados baseados em sistemas de primeira ordem com tempo morto: CHR, controle por modelo interno (IMC) e os métodos baseados em critério de desempenho de erro integral. Como vantagens destes métodos destacam-se baixo overshoot e bom tempo de acomodação [5].

Os parâmetros do método CHR para um sistema de primeira ordem com tempo morto para mudança de SP sem sobrevalor é mostrado na tabela 1.

Tabela I – Sintonia pelo método CHR (Critério: sem sobrevalor – Problema servo)

Controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{0.3 \times \tau}{K \times \theta}$	-	-
PI	$\frac{0.35 \times \tau}{K \times \theta}$	$1.16 \times \tau$	-
PID	$\frac{0.6 \times \tau}{K \times \theta}$	τ	$\frac{\theta}{2}$

Os métodos baseados na integral do erro tem vantagem de considerar toda a curva de resposta ao invés de apenas dois pontos como no método CHR. Critérios mais utilizados são IAE e ITAE. Onde para variação de SP é proposto as seguintes equações para um sistema primeira ordem com tempo morto:

$$K_p = \frac{1}{K} x \left(A^* x \left(\frac{\theta}{\tau} \right)^{B^*} \right) \quad (2)$$

$$T_I = \frac{\tau}{\left(C^* + D^* x \left(\frac{\theta}{\tau} \right) \right)} \quad (3)$$

$$T_D = \tau x \left(E^* x \left(\frac{\theta}{\tau} \right)^{F^*} \right) \quad (4)$$

Onde as constantes A, B, C, D, E e F são:

Tabela II - Constantes para cálculo da sintonia do PID (Rovira et al., 1969)

		A*	B*	C*	D*	E*	F*
PI	IAE	0.758	-0.861	1.02	-0.323	-	-
PI	ITAE	0.586	-0.916	1.03	-0.165	-	-
PID	IAE	1.086	-0.896	0.740	-0.130	0.348	0.914
PID	ITAE	0.965	-0.850	0.796	-0.147	0.308	0.929

O método IMC tem como objetivo a partir do modelo do processo e de uma especificação de desempenho obter o controlador adequado. Objetivo é que a resposta do sistema a um degrau no SP tenha uma dinâmica conhecida e fornecida como critério de ajuste (λ) que é o critério de desempenho do sistema:

$$\frac{Y(s)}{SP(s)} = \frac{1}{\lambda s + 1} \quad (5)$$

O parâmetro λ deve ser escolhido respeitando as restrições dinâmicas do processo. Para um processo de 1ª ordem com tempo morto, o método sugere a sintonia:

Tabela III - Sintonia do PID segundo (Rivera et al., 1986) para processos com tempo morto.

Controlador	K_p	T_I	T_D	Sugestão para o desempenho
PID	$\frac{2\tau + \theta}{K x (2\lambda + \theta)}$	$\tau + \left(\frac{\theta}{2} \right)$	$\frac{\tau x \theta}{(2\tau + \theta)}$	$\frac{\lambda}{\theta} > 0.8$
PI	$\frac{(2\tau + \theta)}{K x 2\lambda}$	$\tau + \left(\frac{\theta}{2} \right)$	-	$\frac{\lambda}{\theta} > 1.7$

C. Elementos finais de controle

Elementos finais de controle são mecanismos que variam a quantidade de energia ou material (agente de controle), em resposta ao sinal enviado pelo controlador, a fim de manter a PV em um valor (ou faixa de valores) pré-determinado.

A válvula de controle é o elemento final mais usado nos sistemas de controle industrial, representam aproximadamente 5% dos custos totais de uma indústria de processos químicos.

O desempenho de uma válvula depende da forma e do tipo de obturador utilizado e como ele reduz a área do orifício (sede) através do qual passa o fluido. A característica de vazão de uma válvula demonstra a proporcionalidade da variação da vazão do fluido em relação à variação do deslocamento da haste. Existem três características de vazão: a linear, a de abertura rápida e a de igual percentagem.

1) Linear

Uma válvula de característica de vazão linear produz uma variação proporcional à variação de sua abertura.

2) Abertura rápida

Uma válvula de característica de vazão de abertura rápida produz uma grande variação na taxa de vazão, para uma pequena variação na posição da haste. Este tipo de válvula é frequentemente utilizado em controles *on-off*.

3) Igual percentagem

Para um deslocamento unitário da haste da válvula, a vazão varia à mesma percentagem. Assim, por exemplo, se a haste da válvula se mover 5mm de sua posição inicial, a vazão variará 20% do seu valor inicial. Quando a haste da válvula mover outros 5mm, a vazão variará mais 20% em cima do valor de vazão deixado pela primeira variação de 5mm da haste. Portanto, esta característica resultará em uma exponencial.

Aproximadamente 30% das malhas de controle são oscilatórias principalmente devido a não linearidades da válvula de controle, causadas por histerese, agarramento, entre outros fenômenos. [9]

4) Histerese

A histerese é um fenômeno que existe em todas as válvulas de controle. Ela se caracteriza pela ocorrência da diferenciação do ganho da malha de controle quando a válvula de controle é submetida a perturbações de intensidades iguais, porém em direções opostas.

Quanto maior a histerese de uma válvula de controle, pior o desempenho da mesma. Pelo fato de introduzir não linearidades ao processo, a histerese afeta a eficácia da resposta da ação do controlador, dificultando o controle da malha.

5) Agarramento

O agarramento é definido pela ISA (2000) como a resistência a iniciar movimento, geralmente medido como a diferença entre os valores exigidos para superar o atrito estático e o atrito dinâmico.

III. TDPS GERAL

O TDPS é uma ferramenta para simulação de estratégias de controle em processos industriais para fins de ensino e pesquisa. O aplicativo utiliza objetos que reproduzem o funcionamento de controladores do tipo PID, resposta de sistemas dinâmicos lineares e não-lineares e blocos de cálculos. Também possui um gerador de sinais e objetos para interface com usuário semelhante a uma estação de operação SCADA, com tela sinótica, registradores gráficos, textos animados, chaves e botões. Os resultados da simulação são acompanhados em tempo real, arquivados ou gerados instantaneamente [8]. A figura 1 mostra um exemplo de um sistema de controle do software TDPS.

IV. DESENVOLVIMENTO

Este trabalho visa a validação de uma ferramenta computacional para a disciplina de controle aplicado de processos contínuo. Como os processos industriais são difíceis de serem reproduzidos e demandam de equipamentos muito caros, e também por existirem diferentes características em diferentes processos industriais, o que se deseja é de criar um ambiente simulado que traga o conhecimento básico sobre determinados assuntos da disciplina, e também que explore as diferentes características ou condições do processo em questão.

A princípio foi escolhido os processos de vazão, nível, pressão e temperatura para abordagem dentro da disciplina de controle. E dentro destes processos foi estudado as características dos elementos do processo ou as estratégias de controle como: Características de Válvulas, Características de Transmissores, Filtros, Controle Cascata, Controle Seletivo e de Override, Controle Split-Range e FeedForward.

Desta forma foi levantado os requisitos mínimos necessários para a validação do software para utilização na disciplina, que foram:

- Disponibilidade de criação de processos com os itens dos conteúdos da disciplina.
- Possibilidade de mudança das características do processo e dos elementos do processo.
- Possibilidade de inclusão de controladores no processo e de montar diferentes estratégias de controle
- Possibilidade de validação das características atuais e proposta de novas sintonias para as malhas de controle.

Para atender estes requisitos propostos foi feito um estudo no software TDPS para verificar a viabilidade dele na utilização da disciplina. Este projeto mostra o estudo na validação no processo de vazão onde consistiu dos seguintes itens:

- Validação do modelo do processo. Neste caso, gostaríamos de responder a pergunta “Será que o TDPS gera funções de transferência do processo de forma confiável?”
- Qual o algoritmo de controle que ele possui e se existe a possibilidade de alteração das características do controlador.
- Para propor uma nova sintonia o software deveria dar possibilidade de avaliar a sintonia atual e confrontar com uma nova sintonia.
- Por fim, deseja-se saber se o software possibilitaria explorar diferentes características dos elementos do processo como não linearidades, histereses, entre outros devido a mudanças de processo durante a vida útil dos equipamentos.

Na próxima seção será mostrado um estudo de caso do processo de vazão do TDPS explorando todos os requisitos mínimos apontados nesta seção.

V. ESTUDO DE CASO DE VAZÃO

Nesta seção será apresentado um estudo de caso da malha de vazão utilizando o TDPS. Visando a utilização do sistema

na disciplina de controle, foram explorados: a validação do modelo do software, as características de avaliação da sintonia, identificação e proposta de uma nova sintonia.

A. Validação do Sistema Simulado pelo TDPS

Primeiramente desejava-se confrontar a função de transferência gerada pelo TDPS com o MATLAB, visto que não sabia até que ponto o software era confiável em sua simulação.

Como é possível entrar com uma Função de transferência dentro do TDPS para as diferentes partes da malha de controle, e também pela facilidade em salvar os dados simulados em arquivo texto, foi feito a identificação do sistema como uma caixa preta pelo MATLAB e comparado com a função real que estava sendo simulada.

Para a realização deste teste foi escolhido o exemplo “Malha de Vazão Linear Simples” do TDPS, conforme mostrado na figura 1. Esta malha é composta de um transmissor de pressão diferencial (FT-101) um controlador PID (FIC-101) e uma válvula de Controle (FCV-101). Existe uma válvula adicional (FCV-102) que serve para simular uma variação (distúrbio) de carga para o processo.

A Malha de vazão da figura 1 possui uma Função de transferência que é composta da dinâmica da vazão do duto e também das características dinâmicas da válvula de controle. A função de transferência do conjunto é representado pelo TDPS pela equação (6).

$$G_p(s) = \frac{1.2 * e^{-0.4s}}{(1.1s + 1)(0.8s + 1)} \quad (6)$$

Desejava-se obter um modelo caixa preta que fosse muito próximo do sistema da equação (1). Para isso foi tentado identificar um modelo com as mesmas características, ou seja, um sistema de segunda ordem com tempo morto. Então, foi colocado o controlador FIC-101 em modo manual desconectando a saída do controlador e onde é possível gerar alterações na variável CO% para excitar a malha de controle. A excitação neste caso foi de uma variação de um degrau de 10% e aguardar o devido tempo para o sistema voltar ao regime permanente. Foram alterados os valores da MV de 0 a 100% e capturado tanto os valores da excitação na MV como os respectivos valores da PV. A amostragem dos dados era de 0.1 segundo. Os resultados são mostrados na figura 2.

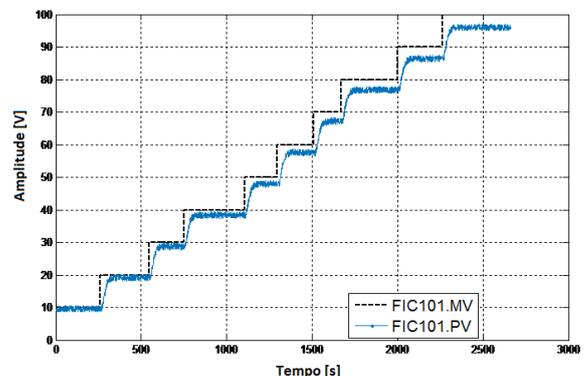


Fig. 2. Variação de FIC-101 em Malha Aberta

Com o arquivo gerado pelo TDPS foi feita a identificação do sistema pela ferramenta ident do MATLAB. Os valores obtidos pela identificação utilizando a identificação de “Modelo de Processo” com o modelo estimado com dois polos e tempo morto, apresentou uma porcentagem de acerto de 97,99% com a função de transferência obtida em (7):

$$G_p(s) = \frac{0,96 * e^{-0,7s}}{(1,10s + 1)(1,10s + 1)} \quad (7)$$

Desta forma pode-se concluir que o MATLAB obteve um modelo em (2) muito parecido com o modelo interno do próprio TDPS mostrado em (1). Para uma melhor identificação do modelo era necessário fazer mais testes com diferentes condições variando os parâmetros do modelo. Porém este teste mostra a validade do modelo proposto pelo TDPS.

B. Proposta de uma nova sintonia para sistema

Apesar do modelo obtido no item A ter indicado um modelo correto em relação ao original, muitas vezes um sistema de controle de processos pode ser reduzido para um sistema de mais baixa ordem, para facilitar a análise do sistema.

O objetivo deste experimento era de utilizar os dados obtidos em malha aberta e identificá-lo como um sistema de primeira ordem com tempo morto. Desta forma é possível utilizar qualquer método de sintonia heurístico da literatura para sintonizar o PID.

Então foi utilizado os mesmos dados obtidos anteriormente e somente mudado o modelo da função de transferência da identificação do MATLAB, para um modelo de primeira ordem com tempo morto. Foi obtido a função de transferência mostrada em (8). O modelo obtido pelo MATLAB apresentou um resultado de 97,85% de aproximação com o modelo real.

$$G_p(s) = \frac{0,96 * e^{-1,12s}}{(1,90s + 1)} \quad (8)$$

A partir de um modelo de primeira ordem com tempo morto do sistema foi proposto a sintonia do controlador. Para variações de setpoint e devido a planta de vazão ter muito ruído, foi feito testes para os seguintes métodos de sintonia CHR, ITAE e IMC com um controlador PI apenas.

Tabela IV – Parâmetros do PI para diferentes Métodos de Sintonia

Método	Kp	Ti
CHR	0.618	2.2
ITAE	0.989	2.04
IMC onde lambda = 2.013	1.27	2.46

Após a análise da resposta a degrau do sistema com os três métodos da tabela 4, o que obteve melhor resposta sem overshoot foi o método IMC. Desta forma ele será escolhido para ser utilizado na planta de vazão.

C. Comparação entre sintonia atual e proposta

O objetivo deste experimento é comparar os resultados atuais com os resultados propostos da nova sintonia. Para isso foi feito o teste do sistema em Malha fechada e gerado um degrau no sistema através da mudança de setpoint. Novamente

utilizou-se do salvamento dos dados em arquivo e análise dos dados pelo MATLAB.

O controlador atual tem os parâmetros: Kp=1, Ti=10 e Td=0. Foram feitos testes do sistema em malha fechada e excitação do sistema através da mudança no SP do controlador variando em degraus de 10 e em uma faixa de 20 a 70. Os resultados são mostrados na figura 4.

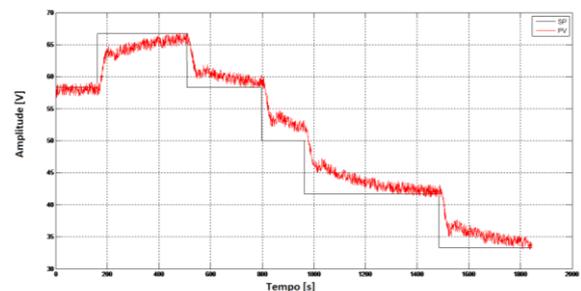


Fig. 4. Testes do Sistema em malha fechada com sintonia atual

A análise dos dados da figura 4 do sistema atual mostrou um tempo de acomodação de 5% da ordem de 42 segundos.

A sintonia proposta pelo método do IMC com parâmetros Kp = 1.27, Ti = 2.46 é mostrado na figura 5. O tempo de acomodação de 5% foi de 17,6 segundos.

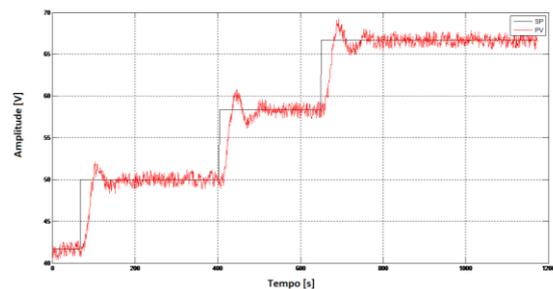


Fig. 5. Testes do Sistema em malha fechada com nova sintonia.

Como mostrado na figura 5 a nova sintonia proposta com o método IMC teve um tempo bem melhor do que o atual o que justifica a utilização destes novos parâmetros.

Desta forma foi mostrado as vantagens do software para simular um sistema com PID e propor uma nova sintonia.

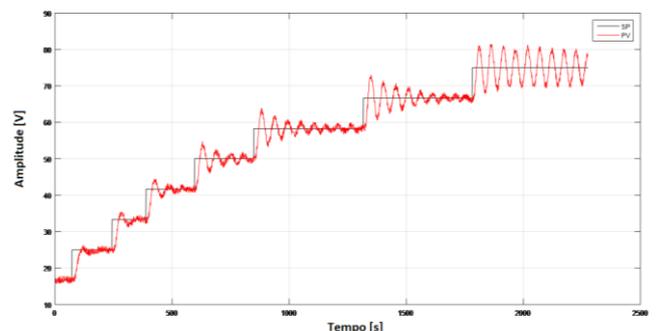


Fig. 6. Resposta dinâmica para curva de igual percentagem.

D. Alteração na característica da válvula

Neste teste foi alterado a característica da válvula de “linear” para “igual porcentagem” mantendo as mesmas características do processo e com a mesma sintonia do controlador proposta no item C. O resultado é mostrado na figura 6.

De acordo com a figura 6, o controlador sintonizado para malha de controle linear não é capaz de estabilizar o processo, levando-o ao regime oscilatório para um valor alto de setpoint, destacando desta forma as características não lineares da válvula.

E. Simulação de uma válvula com Histerese

Nesta seção foi acrescentado a malha de vazão da seção A uma característica não linear a válvula de controle, a fim de mostrar como o controlador sintonizado para características lineares não se adequa a um processo não linear.

As características não lineares são modificadas no mesmo bloco de processo das seções anteriores, com valores das características lineares: Histerese 3.5 e Agarramento 0.

Com os parâmetros configurados o setpoint da malha de controle foi alterado de 20 para 80 com um passo de 20 e a resposta do processo pode ser observado na figura 7.

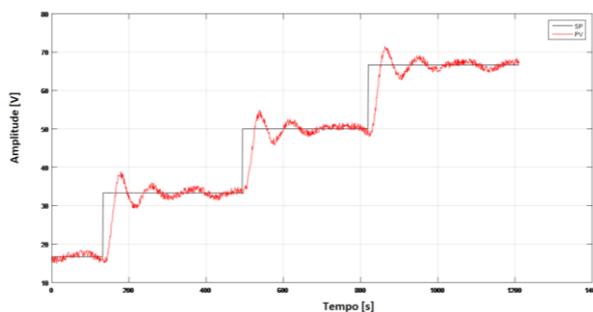


Fig. 7. Resposta dinâmica para válvula com histerese.

Percebe-se que o controlador não é capaz de propiciar uma resposta dinâmica que se assemelhe a figura 5. Portanto, para que a malha de controle tenha um comportamento mais próximo da linear é necessário realizar uma nova identificação para esta malha não linear e sintonizar outros parâmetros para o controlador PID.

F. Simulação de uma válvula com agarramento

Por fim, acrescentou-se a malha de vazão da seção A uma característica não linear a válvula de controle, a fim de mostrar ao leitor como o controlador sintonizado para características lineares não se adequa a um processo não linear.

O efeito não linear de agarramento foi modificado no bloco de processo do estudo de caso, com valores das características lineares: Histerese 0 e Agarramento 2.8. Foi definido um valor de agarramento razoável a fim de simular operações de válvulas de controle reais.

Após todos os estudos realizados pode-se perceber que as características não lineares aqui apresentadas acrescentam dificuldades ao controlador para estabilizar o processo. Porém, a característica não linear de agarramento foi a que apresentou melhor resposta, se aproximando bastante de uma malha de controle linear, como pode ser visto na figura 8.

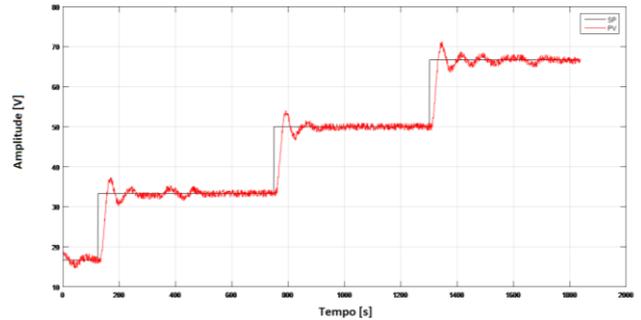


Fig. 8. Resposta dinâmica para válvula com agarramento.

VI. CONCLUSÕES

Este trabalho se propôs a estudar e avaliar as funcionalidade do software TDPS em simulações de estratégias de controle com variações de características do processo para utilização em disciplina de controle de processos.

Esta análise do TDPS mostrou que ela apresenta uma grande variedade de malhas industriais e pode ser aplicado na matéria como ferramenta de análise de condições de processo e também é possível simulação de dados para utilização em outras ferramentas como o MATLAB. No estudo de caso de vazão realizado pode-se explorar diferentes controles sobre tema como Características da Válvula, Histerese, Agarramento.

Porém ela ainda pode ser melhorada incluindo características de instalação como no caso da válvula onde é entrado parâmetros do processo que alterara as características da válvula. Para alteração de funções de transferência ou montagem de um processo ainda inexistente é difícil de ser realizado, entre outros problemas menores encontrados. Mas todos estes problemas e melhorias não ferem muito o excelente projeto que foi desenvolvido e que aqui pode ser validado.

REFERÊNCIAS

- [1] Ruel, M. (2003). The conductor directs this orchestra –Instrument Society of America. Intech, November 2003, vol 50, no 11, pp. 20-22.
- [2] Yu, C. C. (2006). Autotuning of PID Controllers : A Relay Feedback Approach. 2nd Edition, Springer, 2006.
- [3] ASTROM, K.J. and HAGGLUND, T. PID Controllers: Theory, Design and Tuning. Instrument Society of America, North Carolina. 1995.
- [4] F. S. Lima. Estratégia de Escalonamento de Controladores PID Baseado em Regras Fuzzy para Redes Industriais Foundation Fieldbus Usando Blocos Padrões: 2004. 57 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- [5] CAMPOS, M. C. M. M., TEIXEIRA, H. C. G. Controles Típicos de Equipamentos e Processos Industriais. Editora Edgard Blücher, 2006.
- [6] SMITH, C. A., CORRIPIO, A. B. Princípios e Prática do Controle Automático de Processo. Editora LTC, 2009.
- [7] ASTRÖM, K.J.; HAGGLUND, T. (2001). The future of PID control. In: Control Engineering Practice 9 (2001) 1163-1175.
- [8] J. B. R. Andrade, M. J. Cunha. Estudo de Caso do Programa TDPS para Simulação de Controle de Processos. XII CEEL. Outubro 2015.
- [9] S. E. Bialkowski. Automation and optimization of solid-phase microextraction. Analytical Chemistry 64 (17), 1960-1966
- [10] Portal Engrenagens, Simulação de Sistemas Dinâmicos para Controle de Processos. Disponível em <http://www.portalengrenagens.com.br/tdps>. Acesso em Maio de 2016.