

**DINCON 2017**CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE DINÂMICA, CONTROLE E APLICAÇÕES
30 de outubro a 01 de novembro de 2017 – São José do Rio Preto/SP

Um bom desempenho do PID com dois graus de liberdade de um CLP

Juliana Dalmaso da Silva¹Saul da Silva Munareto²

Engenharia de Controle e Automação, Instituto Federal do Espírito Santo, Serra, ES.

Resumo. Com o passar dos anos a tecnologia se expandiu por diversas áreas, principalmente no ramo industrial, onde há busca por maior produção em menos tempo e maior lucro. A automação busca obter esses resultados através de controladores robustos sintonizados de acordo com o processo. Este artigo avalia o desempenho de um controlador PID com dois graus de liberdade (PID 2GL). Inicialmente há uma comparação, por simulação, a dois controladores PID de um grau de liberdade, sendo um sintonizado para compensar distúrbios (regulatório) e o outro para variações de *setpoint* (servo). Estes apresentam resultados satisfatórios quando utilizados especificamente para a situação a que foram sintonizados. Por outro lado, o PID 2GL é capaz de dar boas respostas para ambas as situações. Nos testes práticos o PID 2GL também confirmou o bom desempenho.

Palavras-chave. Sintonia de PID, PID 2 graus de liberdade, servo e regulatório.

1 Introdução

Cerca de 90% de processos industriais utilizam o controlador proporcional-integral-derivativo PID [3]. Ele é bastante utilizado no desenvolvimento de sistemas de controle industriais por possuir pequena quantidade de parâmetros a serem sintonizados [1]. Os principais requisitos a serem controlados em plantas industriais são as respostas a *setpoint* SP e a distúrbio D. Há denominações associadas ao controle dessas respostas: controle servo para compensar alterações no SP e controle regulatório para compensar D. Devido a flexibilidade e complexidade dos processos atuais, estes são submetidos a alterações de SP e D. O problema é que quando se obtém um bom controle servo, este não é satisfatório para compensar D, e vice-versa. Diante disso, uma solução é um controlador com dois graus de liberdade. O grau de liberdade indica o número de funções de transferência de malha fechada que podem ser ajustadas de modo independente. Portanto, pode-se projetar um sistema de controle que responda bem a D e a SP com um controlador PID de dois graus de liberdade, PID 2GL [2]. O PID 2GL possui dois parâmetros extras (alfa e beta) tornando possível compensar D e alterações no SP satisfatoriamente. Enfim, o que se quer com o PID 2GL é manter uma satisfatória sintonia regulatória para K_p , T_i e T_d , e sintonizar alfa e beta para obter um controle servo também satisfatório.

2 Propósito

A motivação do trabalho originou-se do uso da teoria de controle de processos numa planta didática, onde é possível recriar um ambiente de controle e supervisão próximo ao industrial. A indústria atual continua a usar o PID 1GL, mas seus processos estão sujeitos a mudanças de SP e D, o que desperta o interesse no PID 2GL. Além disso, alguns controladores lógicos programáveis (CLP) atualmente possuem o PID 2GL, o que torna viável o uso desse controlador nos processos industriais. Então, o propósito desse trabalho é avaliar este controlador e experimentalmente constatar o desempenho do PID 2GL de um CLP.

3 Métodos

A planta utilizada para o trabalho é mostrada na Figura 1. Ela é composta por dois tanques, um sensor ultrassônico, duas válvulas manuais e uma bomba. A altura de cada tanque é de 300 mm. A variável que se quer controlar VP é o nível do reservatório superior.

Foi utilizado um supervisório, software que faz a interface homem-máquina, que permite que um computador comunique-se com o CLP que está ligado a planta com função de transferência dada na Equação 1.

$$\frac{VP(s)}{SC(s)} = \frac{2,084}{38,41s + 1} \quad (1)$$



Figura 1. Planta didática utilizada

Pelo fato da planta ter um modelo de primeira ordem sem atraso representando a dinâmica do processo, a síntese direta [4] é o método de sintonia que resulta em simplicidade de sintonia servo e regulatória. Assim, a Equação 2 representa o controlador PID 1GL relacionado a esse método de sintonia.

$$C(s) = \frac{\tau}{K\tau c} \left(1 + \frac{1}{\tau s}\right) \quad (2)$$

A única variável de projeto na Equação 2 é a constante de tempo para a malha fechada τ_c , em que valores arbitrariamente atribuídos resultam em uma sintonia regulatório mais agressiva que a servo. São adotados $\tau_c=2\tau/3$ para controle servo e $\tau_c=\tau/20$ para controle regulatório. Assim, o PI 1GL servo é dado pela Equação 3 e o PI 1GL regulatório pela Equação 4.

$$Cs(s) = 0,7197(1 + \frac{1}{38,41s}) \quad (3)$$

$$Cr(s) = 9,5969(1 + \frac{1}{38,41s}) \quad (4)$$

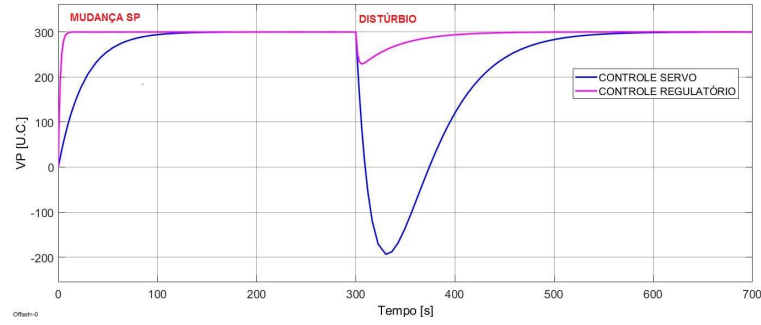


Figura 2. Simulação das respostas a SP e D para controles servo e regulatório.

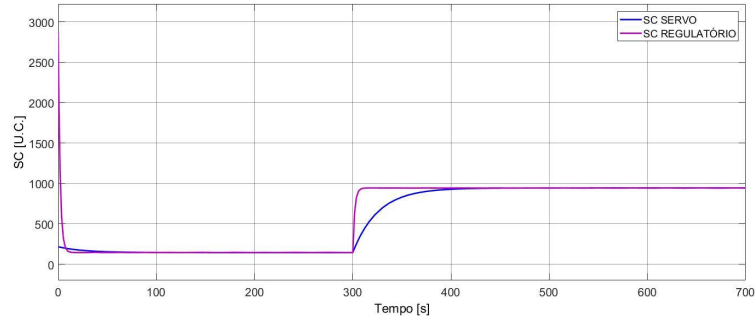


Figura 3. Simulação do SC para controles servo e regulatório.

Para explicitar o problema e validar as sintonias, a comparação das respostas obtidas com os dois controladores pode ser vista na Figura 2 e a comparação dos sinais de controle na Figura 3.

Ao analisar as Figuras 2 e 3, pode-se observar o problema da sintonia PID 1GL. Quando se tem um bom controle regulatório, o mesmo não satisfaz a resposta a SP porque exige inicialmente um SC elevado, Figura 3. Por outro lado, quando se tem um bom controle servo, o mesmo não satisfaz para D, pois permite um grande erro e, consequentemente, um retorno demorado ao SP, Figura 2. Para um degrau de 300 u.c. a constante de tempo para o controle servo foi de 25,85s e para o controle regulatório foi de 1,93 s, onde esses valores correspondem aproximadamente aos valores de τ_c pretendidos, sendo $\tau_c=2\tau/3=25,85s$ para

servo e $\tau_c = \tau/20 = 1,92s$ para regulatório.

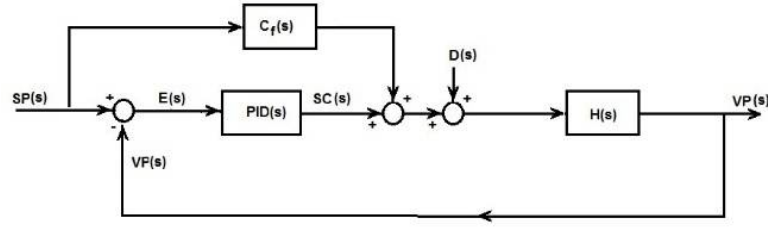


Figura 4. Diagrama de blocos do PID 2GL[2].

Uma solução para satisfazer ambas as respostas a SP e D, com um mesmo controlador, é usar o PID 2GL. Assim, é mantido um PID 1GL regulatório satisfatório e sintonizado um controlador secundário $C_f(s)$, Figura 4, para melhorar a resposta a SP. Os controladores PID(s) e $C_f(s)$ que compõem o PID 2GL são dados pelas Equações 5 e 6, respectivamente.

$$PID(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{1 + \delta T_d s} \right) \quad (5)$$

$$C_f(s) = -K_p \left(\alpha + \frac{\beta T_d s}{1 + \delta T_d s} \right) \quad (6)$$

Onde $0,05 < \delta < 0,2$ [4].

O CLP utilizado permite que os valores de α variem de 0 a 1, sendo que β já está fixado pelo fabricante em 1. Portanto, foram feitas simulações variando α com a finalidade de encontrar uma resposta próxima ao do controle servo combinado ao do controle regulatório.

4 Resultados e discussões

Nas simulações, Figura 5, usamos três valores para α na tentativa de obter do PID 2GL uma resposta a mudança de SP próxima a do PID 1GL servo.

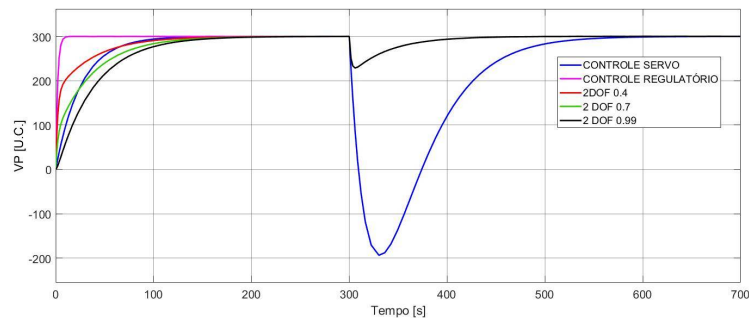


Figura 5. Simulação das respostas do controle servo e regulatório do PID 1GL e do PID 2GL com α igual a 0,4; 0,7 e 0,99.

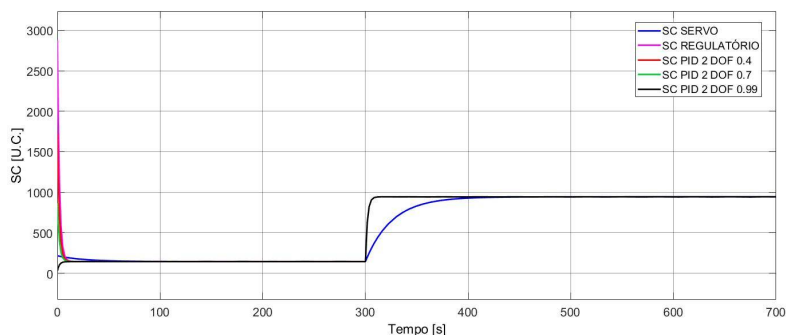


Figura 6. Simulação e comparação dos SC para controle servo e regulatório do PID 1GL com o PID 2GL com alfa igual a 0,4; 0,7 e 0,99.

Tabela 1. Índices avaliados na simulação da sintonia PID 2GL.

α	RESPOSTA A SP			RESPOSTA AO D		
	0,4	0,7	0,99	0,4	0,7	0,99
τ_z (s)	7	26,8	40,0	---	---	---
$ e _{\max}$ (UC)	300	300	300	71,1	71,1	71,1
$ \Delta SC _{\max}$ (UC)	1727	863	29	943	943	943
$t_{\text{acomodação}}$ (s)	130	140	150	130	130	130

De acordo com a Figura 5, o PID 2GL com α igual a 0,7 é a sintonia que resultou na constante de tempo de 26,8s, que foi a mais próxima dos 25,85s estabelecida na sintonia servo do PID 1GL. Ainda que o correspondente SC, Figura 6, apresente um esforço inicial significativo, o mesmo é menor em relação ao SC do PID 1GL regulatório. A Tabela 1 apresenta os índices avaliados na simulação da sintonia PID 2GL. Observe nessa tabela que a sintonia de $C_f(s)$ não modificou a resposta ao D da sintonia regulatória.

Testes experimentais com o PID 2GL de um CLP com α igual a 0,7 são mostrados nas Figuras 7 a 10. A Figura 7 apresenta o resultado para a variação de SP e a Figura 8 o respectivo SC. A Figura 9 mostra o resultado ao D e a Figura 10 o SC. Para uma variação de SP em degrau de 300 u.c., os testes experimentais validaram as análises previamente realizada com a simulação, pois a constante de tempo é 27,92s e a amplitude do erro ao D cerca de 100 u.c.

Logo, pode-se concluir que todos os resultados obtidos foram os esperados. Assim, fica evidente que é possível projetar um controlador PID 2GL com bom desempenho a mudanças de SP e D.

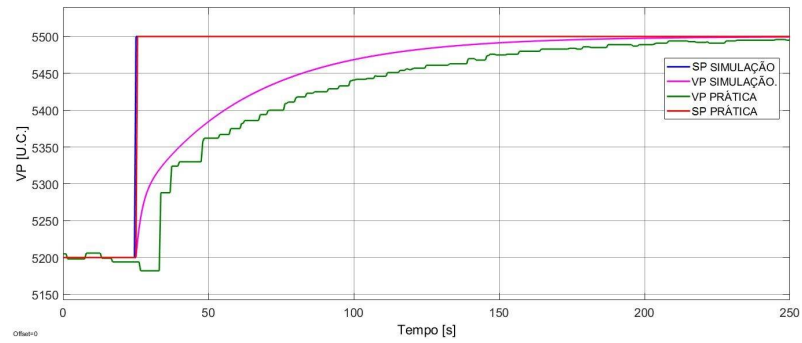


Figura 7. Resposta experimental a mudança de SP para PID 2GL com alfa 0,7.

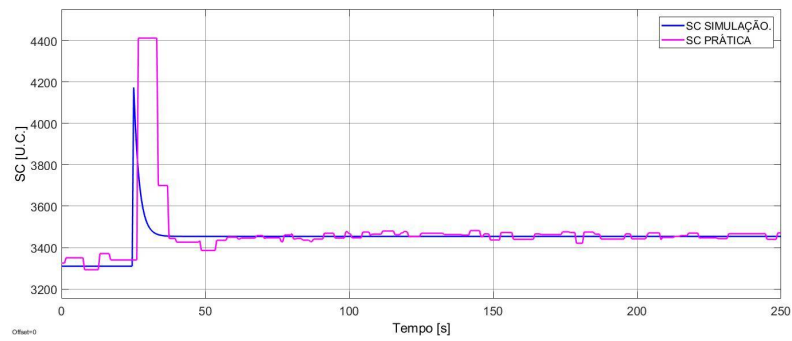


Figura 8. SC da resposta experimental a mudança de SP para PID 2GL com alfa 0,7.

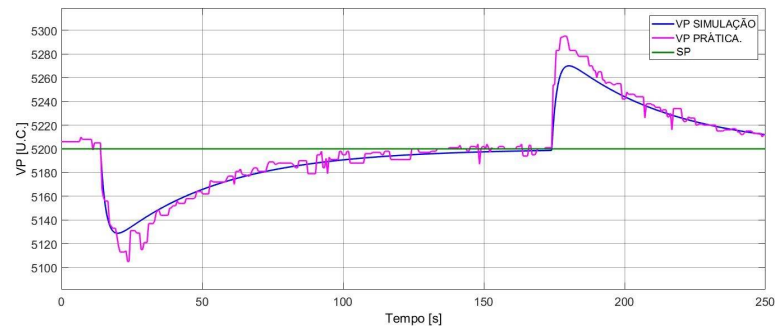


Figura 9. Resposta experimental ao D para PID 2GL com alfa 0,7.

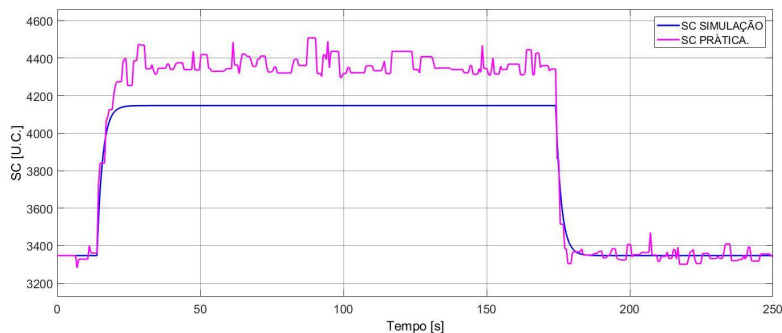


Figura 10. Resposta experimental ao D para PID 2GL com alfa 0,7.

4 Conclusões

Dos resultados das simulações e testes experimentais ficou evidente que é possível um sistema de controle que atue para compensar distúrbios e mudanças de *setpoint*. Porém, é preciso lembrar que o modelo matemático represente satisfatoriamente o processo para obter bons resultados de sintonia. Nas simulações fica evidente que um PID 1GL não satisfaz as duas respostas, SP e D, mas que com um PID 2GL é possível obter uma boa resposta a D e sintonizar o parâmetro adicional alfa com a finalidade de melhorar a resposta a SP. Como visto, a sintonia do parâmetro alfa influencia no tempo de resposta na mudança de SP, assim, é ajustado de acordo com a característica desejada. Aqui foi estabelecida uma constante de tempo de 25,85s, que foi aproximadamente obtida com alfa igual a 0,7, resultando no valor de 27,92s no teste experimental. Os testes experimentais concretizaram um bom desempenho do PID 2L presente em um CLP.

É importante que haja a difusão do conhecimento tecnológico para que se possa usufruir melhor dos atuais equipamentos industriais.

Agradecimentos

Ao Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Serra.

Referências

- [1] Åström, K. J. e Hagglund, T. PID Controllers: Theory, Design and Tuning, Instrument Society of America, Research Triangle Park. 2ª Edição.(1995)
- [2] Ogata, K..Engenharia de Controle Moderno. 4ª Edição, São Paulo: Prentice Hall.(2005)
- [3] Seborg, D. E..A perspective on advanced strategies for process control. Modeling, Identification and Control, UK, Vol.15, No. 3, pp. 179-189.(1994)
- [4] Smith, C. A. e Corripio, A..Princípios e Prática do Controle Automático de Processo. 3ª Edição. Editora LTC.(2008)