



# Estudo e modelagem de uma malha de vazão para compensação de erros de controle no atuador.

*Study and modeling of a flow loop to compensate for control errors in the actuator.*

Lucas Stefanello Ferrari Remenegildo \*, Wagner Endo †

7 de outubro de 2021

## RESUMO

Este artigo tem a finalidade de estudar o comportamento da válvula de entrada de água da planta didática SMAR-PD3-P, por ser um equipamento que sofre desgastes, a modelagem matemática resultaria em um sistema complexo e não linear, dificultando o projeto de controladores, por isso, a modelagem foi feita a partir da análise da resposta temporal, o qual utiliza um gráfico com dados do sistema coletados em um teste prático para encontrar a função de transferência que melhor representa o sistema. Após os estudos, foi observado que a válvula não tem um comportamento constante quando é analisado o seu comportamento na totalidade, porém quando é feita uma divisão em intervalos, pode ser notado que existe uma similaridade. Em intervalos distintos, seu comportamento não tem quase nenhuma semelhança. Devido a este fato, foi escolhido realizar a modelagem de três intervalos. Este trabalho serve como base para que em trabalhos futuros possam ser implementadas técnicas de controle.

**Palavras-chave:** Identificação. Modelagem. Válvula.

## ABSTRACT

This article aims to study the behavior of the water inlet valve of the SMAR-PD3-P teaching plant, as it is a piece of equipment that suffers from wear and tear, the mathematical modeling would result in a complex and non-linear system, making the design of controllers difficult, therefore, the modeling was made from the analysis of the temporal response, which uses a graph with system data collected in a practical test to find the transfer function that best represents the system. After the studies, it was observed that the valve does not have a constant behavior when its behavior is analyzed as a whole, but when a division into intervals is made, it can be noticed that there is a similarity. At different intervals, their behavior bears almost no resemblance. Due to this fact, it was chosen to perform the three interval modeling. This work serves as a basis so that in future works control techniques can be implemented.

**Keywords:** Identification. Modeling. Valve.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho é um estudo da planta didática SMAR-PD3-P, mais especificamente, é estudado o sistema que controla a entrada de água no tanque de aquecimento. Este sistema pode ser visto em destaque na Fig. 1.

A planta representada pela Fig. 1 é de grande importância para auxiliar no estudo de varias áreas da engenharia, pois, é possível ser estudado na pratica vários processos reais em pequena escala.

Para diversos sistemas a modelagem matemática pode ser aplicada, porem em certos sistemas sua utilização é dificultada pela sua deterioração física, pela complexidade dos cálculos ou por falta de informação para realizar

\* DAELE, COEAU, Engenharia de Controle e Automação; lucasremenegildo@gmail.com.

† DAELE, DAELE, Departamento Acadêmico De Elétrica; wendo.utfpr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-4985-482X>.

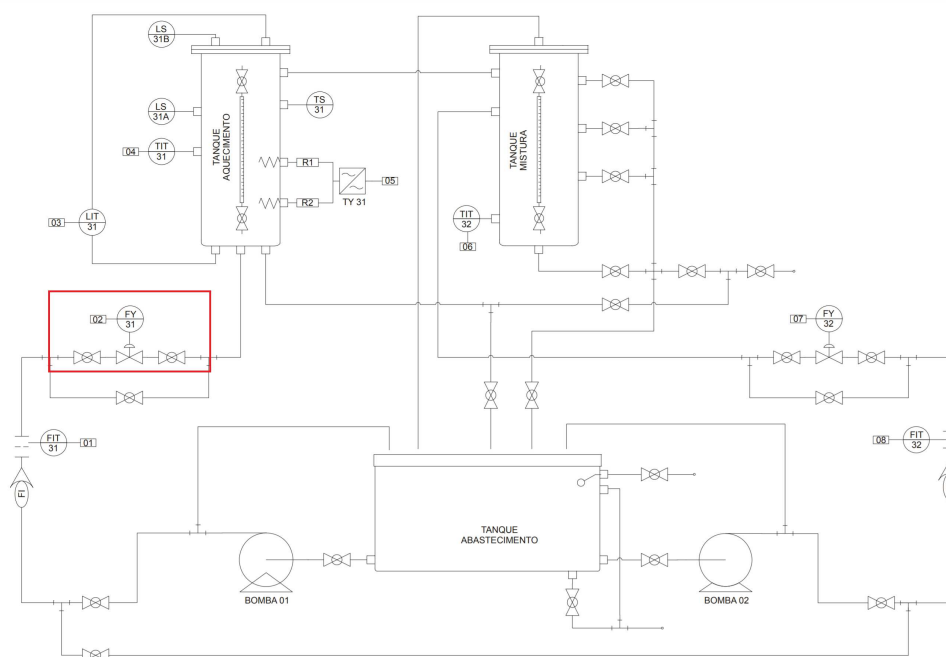
a análise(FRUK; VUJISIĆ; ŠPOLJARIĆ, 2013). Por isso podem ser empregados vários métodos que utilizam a respostas da planta para construir sua função de transferência e poder assim realizar simulações e estudos da planta.

A função de transferência encontrada serve para caracterizar um processo, assim determinando como o processo reagiria a uma determinada entrada.(CORRIPIO; SMITH, 1997)

Diversas aplicações de controle podem ser observadas diariamente, desde o ajuste de temperatura em condicionadores de ar quanto em aviões ou foguetes(NISE, 2010). Um dos motivos da sua utilização é a capacidade de deixar um processo mais eficiente e seguro.

No caso deste trabalho, é apresentado uma proposta de identificação de sistemas que é aplicada para que o processo seja modelado e futuramente sejam implementadas técnicas de controle.

Figura 1 – Diagrama da Planta Didática SMAR PD3-P.



Fonte: SMAR (SMAR, 2020)

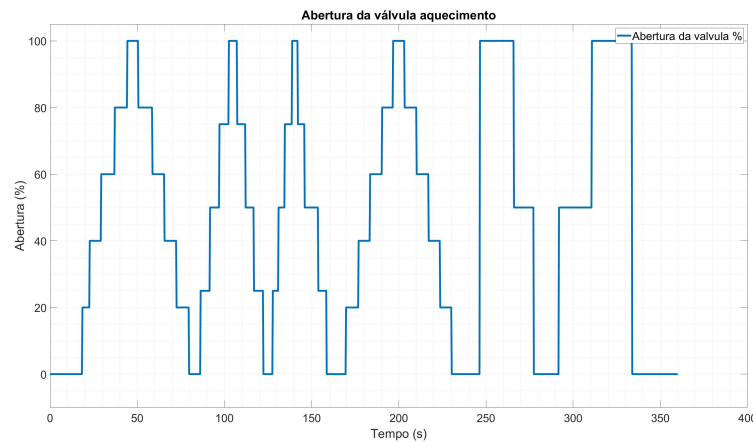
## 2 METODOLOGIA PROPOSTA

Como pode ser observado na Fig. 3 dependendo da vasão da válvula, o seu comportamento é diferente. É observado que quando sua abertura é de no máximo 25% ela tem um comportamento de primeira ordem. Já se a abertura for de 25% a 75%, tem um comportamento de segunda ordem com um *overshoot* alto. Para a abertura de 75% a 100% o seu comportamento é de segunda ordem com um *overshoot* brando, muitas vezes se comportando como um sistema de primeira ordem com ruídos.

Levando em consideração os pontos levantados anteriormente, foi optado por identificar funções de transferência que se aproximam ao comportamento de cada intervalo.

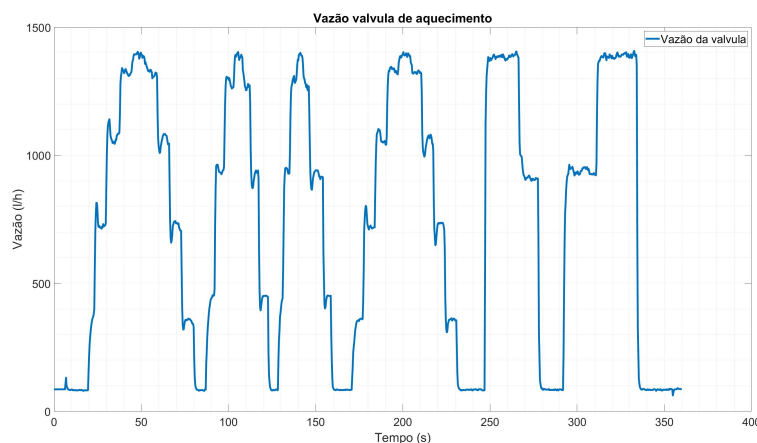
Para isso, foi utilizada a análise da resposta temporal, que consiste em encontrar o tempo de subida( $T_s$ ), máxima ultrapassagem (Mpt) e o valor final (Vf).

**Figura 2 – Sinal de comando enviado para a válvula.**



Fonte: Autoria própria (2021).

**Figura 3 – Vazão da válvula de acordo com o sinal de comando.**



Fonte: Autoria própria (2021).

O tempo de subida corresponde ao tempo entre o início da atuação da válvula até quando ela atinge o 100% do valor final.

A máxima ultrapassagem é o maior pico durante o intervalo de acionamento.

O valor final é o valor da vazão obtido após a válvula estabilizar sua abertura.

Para que a função de transferência descreva o período desejado e não somente um ponto específico, os valores encontrados são normalizados ( $M_{pt}/V_f$ ).

Para cada caso, os dados obtidos anteriormente são aplicados na Eq. (1) para encontrar a ultrapassagem percentual (%UP), após isso é utilizada a Eq. (2) para encontrar o fator de amortecimento ( $\zeta$ ) e a Eq. (3) para encontrar a frequência natural do sistema sem amortecimento ( $\omega_n$ ).

Para realizar a simulação foi utilizada a ferramenta Simulink®, nela, foi utilizado o bloco de edição de sinais, com ele é possível criar ou editar um cenário de simulação.

$$\%UP = 100 * \frac{M_{pt} - V_f}{V_f} \quad (1)$$



$$\zeta = \frac{-\ln\left(\frac{\%UP}{100}\right)}{\sqrt{\pi^2 + \ln^2\left(\frac{\%UP}{100}\right)}} \quad (2)$$

$$\omega_n = \frac{4}{\zeta T_s} \quad (3)$$

**Tabela 1 – Valores não normalizados**

	0 % a 25 %	26 % a 75 %	76 % a 100 %
Tempo de subida (Ts)	3,9s	4,5s	1,5s
Máxima ultrapassagem (Mpt)	3.695 .036	814,6	126,69
Valor final (Fv)	368,0966	722	123,29
Instante inicial	23,4s	87s	102,9s

Fonte: Autoria própria (2021).

**Tabela 2 – Valores normalizados**

	0 % a 25 %	26 % a 75 %	76 % a 100 %
Tempo de subida (Ts)	3,9s	4,5s	1,5s
Máxima ultrapassagem (Mpt)	1,0038	1,2845	1,0275
Valor final (Fv)	1	1	1
Instante inicial	23,4s	87s	102,9s

Fonte: Autoria própria (2021).

### 3 RESULTADOS

Inserindo os valores calculados na Eq. (4), é encontrada a função de transferência de cada intervalo. Nesta modelagem, foi desconsiderado o tempo morto.

$$G(s) = \frac{K\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (4)$$

**Intervalo de 0% a 25%:**

$$G(s) = \frac{1,3869}{s^2 + 2,0512s + 1,3869} \quad (5)$$

**Intervalo de 26% a 75%:**

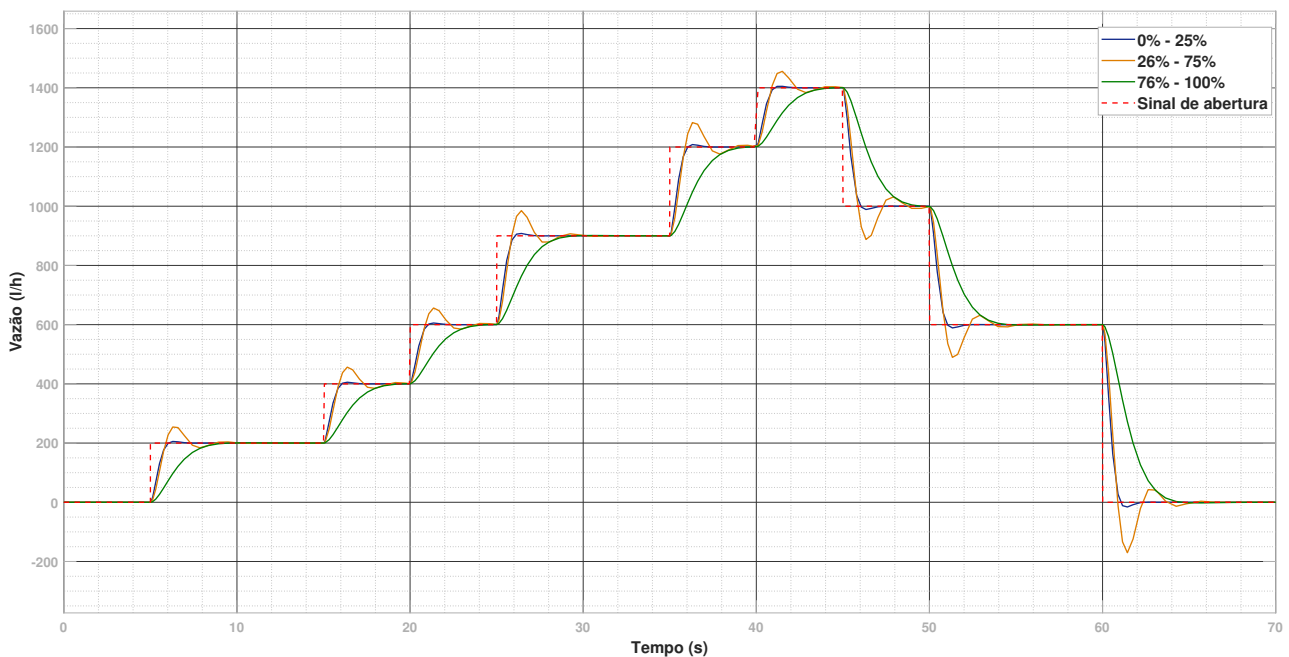
$$G(s) = \frac{5,725}{s^2 + 1,778s + 5,725} \quad (6)$$

**Intervalo de 76% a 100%:**

$$G(s) = \frac{12,5544}{s^2 + 5,3333s + 12,5544} \quad (7)$$

Foi criado um cenário de simulação com valores de *set point* que abrangem partes importantes do intervalo de funcionamento da válvula a partir da utilização do editor de cenários do Simulink®, com isso, foi possível analisar o comportamento das funções de transferência com sinal de entrada similar ao do teste prático.

**Figura 4 – Gráfico das funções de transferência e do sinal de comando**



**Fonte: Autoria própria (2021).**

Como pode ser observado no gráfico gerado a partir da simulação realizada no Simulink®, cada função de transferência se representa um determinado intervalo de funcionamento da válvula. Cada uma possui um comportamento muito distinto, mostrando a dificuldade de construir uma função de transferência que represente o processo por completo.

Vale notar que mesmo que algumas a função que representa o intervalo mediano possui um *overshoot* alto, o seu tempo de assentamento é abaixo, podendo ser facilmente melhorado com a implementação de um controlador.

Uma das vantagens da utilização deste método, é que é possível ser realizado o projeto de controladores que tenham um melhor desempenho quando aplicado no processo na prática. Pois assim, quando aplicado em um equipamento que contém variações de atuação, o controlador não fica genérico.



## 4 CONCLUSÕES

Levando em consideração que nos testes práticos podem existir vários elementos que colaboram para causar um comportamento irregular na abertura da válvula, e como modelagem exata de um sistema complexo como este tem uma dificuldade elevada, foi apresentada uma modelagem mais simples que foi construída a partir da análise temporal de alguns instantes de atuação da válvula.

Algo que vale frisar é a complexidade da válvula, ela apresenta comportamentos distintos em cada nível de abertura, o que pode ser visto na Fig. 3, quando sua abertura é inferior a 30% ela possui um comportamento de primeira ordem, já em aberturas maiores, seu comportamento se assemelha ao de um sistema de segunda ordem.

## REFERÊNCIAS

- CORRIPIO, A. B.; SMITH, C. A. **Principles and practice of automatic process control**. New York: Wiley, 1997. ISBN 0471575887 9780471575887. Disponível em: [🔗](#).
- FRUK, Mato; VUJISIĆ, Goran; ŠPOLJARIĆ, Tomislav. Parameter identification of transfer functions using MATLAB. In: 2013 36th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). [S.l.: s.n.], 2013. P. 571–576.
- NISE, Norman S. **Control Systems Engineering**. 6. ed. USA: [s.n.], 2010. ISBN 0470547561,9780470547564.
- SMAR. **PD3-P – Manual de Instruções, Operação e Manutenção**. [S.l.: s.n.], 2020. SMAR, São Paulo, Brazil.