



# Montagem e controle de um protótipo veicular

## Design and control of a vehicular prototype

Fernando Silva Costa<sup>1</sup>,

Cristiano Marcos Agulhari<sup>2</sup>

### RESUMO

O objetivo do presente trabalho é realizar a montagem, desenvolvimento e implementação de um controle de velocidade para um protótipo veicular. Para isso, foram coletadas amostras da posição do veículo e realizada a modelagem da dinâmica da velocidade. Em seguida, foram calculados os parâmetros necessários para a montagem do controle. Os resultados obtidos no trabalho foram satisfatórios e compatíveis com a teoria, resultando no êxito do projeto.

**PALAVRAS-CHAVE:** controle; função de transferência; modelagem; protótipo veicular; velocidade.

### ABSTRACT

The objective of the present work is to carry out the assembly, development, and implementation of a speed control for a vehicle prototype. For this purpose, samples of the vehicle's position were collected and the dynamics of the speed were modeled. Then, the necessary parameters for assembling the control were calculated. The results obtained in the work were satisfactory and compatible with the theory, resulting in the success of the project.

**KEYWORDS:** control; modeling; speed; transfer function; vehicular prototype.

### INTRODUÇÃO

A função de transferência de um sistema é um modelo matemático que constitui um método operacional para expressar a equação diferencial que relaciona a variável de saída à variável de entrada (OGATA, 2010). Com uma função conhecida é possível estudar a saída, para várias maneiras de entrada, afim de verificar e entender a natureza do sistema e sua dinâmica. De modo semelhante o atual trabalho visa a implementação de um controle funcional, para entender como agir sobre um dado sistema de modo a obter um resultado arbitrariamente especificado, através da respectiva função de transferência do sistema.

Entretanto a identificação da função de transferência pode não ser trivial, havendo a necessidade de se seguir uma metodologia, que pode ser determinada experimentalmente (UFRN, 2003) com o auxílio de entradas conhecidas e do estudo das respectivas respostas do sistema. Tal procedimento foi feito através do sensor ultrassônico, obtendo-se a função de transferência por sensoriamento, e assim alcançar a modelagem e o controle para esse sistema.

Analogamente a um veículo real, para seu controle, pode-se optar principalmente pelo controle de velocidade, analisando a velocidade atual e comparando-a a um valor de referência desejado e

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: fercos@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 7288565215304466.

<sup>2</sup> Docente do Departamento de Engenharia Elétrica - DAELE, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil. E-mail: agulhari@utfpr.edu.br. ID Lattes: 4935395556663775.



então, com um controle eficaz, é possível fazer com que o veículo siga uma velocidade constante. Isso torna a condução mais relaxada, além de ajudar a economizar combustível e se manter dentro do limite de velocidade (ICARROS... , 2016)

Com base nesse contexto, este trabalho tem objetivo a construção de um protótipo veicular e seu controle afim de que se siga sempre uma velocidade constante.

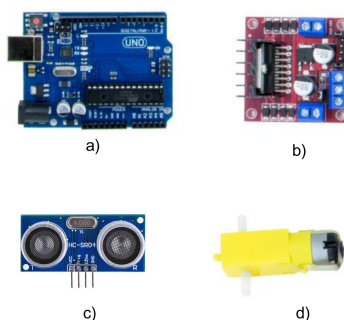
## METODOLOGIA

Nesta seção serão apresentados os materiais e métodos utilizados para a construção do protótipo veicular.

## MATERIAIS

Os materiais foram adquiridos na compra do "Kit Carrinho Arduino com Bluetooth" no site da *MakerHero*®. Os principais componentes utilizados são mostrados na Figura 1

Figura 1 – Principais Componentes.



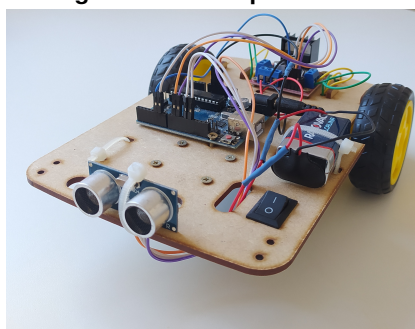
Fonte: autoria própria.

Os componentes apresentados na Figura 1 são: a) Placa Arduino Uno R3 ; b) Driver Motor Ponte H L298n; c) Sensor Ultrassônico; d) Motor DC.

Além desses componentes, foram necessários alguns outros componentes para a montagem completa do protótipo veicular, registrado na Figura 2.



Figura 2 – Protótipo veicular.



Fonte: autoria própria.

## MÉTODO

O principal objetivo do trabalho é realizar o controle de velocidade do protótipo considerado. Para tanto, primeiramente é necessário obter sua função de transferência. Visando uma maneira simples de computá-la, foi incorporado na estrutura do protótipo o sensor ultrassônico, a fim de recolher informações de posição usados posteriormente para obtenção da informação da velocidade do protótipo.

Consequente, utiliza-se da teoria da análise de resposta transitória de sistemas de primeira ordem (OGATA, 2010) para desenvolver a função de transferência a partir dos dados coletados. Com a dinâmica identificada, pode-se então partir para o controle de velocidade, que neste trabalho é realizado a partir de um controle PI (WANG; LUO; CHEN, 2009). A seção a seguir detalha os passos descritos.

## DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

### AQUISIÇÃO DAS AMOSTRAS DE POSIÇÃO

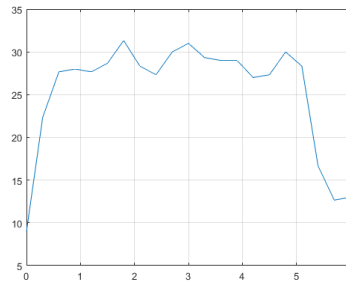
A primeira etapa foi coletar amostras para ser possível o desenvolvimento do restante do trabalho, utilizando o *Arduino®* para o funcionamento do protótipo. O acionamento dos motores DC é realizado a partir do envio de sinais PWM (YU; MOHAMMED; PANAHI, 1997), e o sensor ultrassônico é utilizado para coletar os valores de posição.

### OBTENÇÃO DOS GRÁFICOS DO PROTÓTIPO

Foram realizados diversos ensaios para aquisição das informações de posição do protótipo. Todos os ensaios seguiram a seguinte metodologia: o veículo inicia a uma certa distância de uma parede, e é enviada uma entrada PWM constante aos motores, igual a 120. Posteriormente, as amostras de posição são coletadas e, com o auxílio do software *MatLab®*, o sinal de posição é derivado a fim de obter a velocidade. A Figura 3 apresenta a informação média de velocidade após a realização dos ensaios.



Figura 3 – Gráfico de velocidade média.



Fonte: autoria própria.

Em conformidade com a Figura 3, identifica-se a velocidade final próxima de 28cm/s.

### DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO DE TRANSFERÊNCIA

Considere a função de transferência de primeira ordem dada por

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1}, \quad (1)$$

sendo  $K$  o ganho DC do sistema e  $T$  sua constante de tempo.

Como foi aplicado na entrada um valor de PWM de 120, equivalente a uma tensão de 5.647V na entrada, então tem-se teoricamente a saída  $y(t)$  mostrada na Equação (2), utilizada para determinar os parâmetros da função de transferência.

$$y(t) = 5.647K \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (2)$$

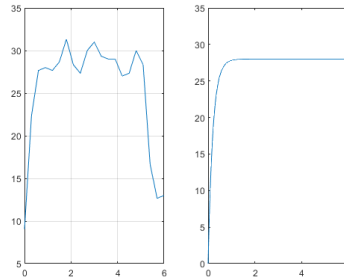
Com a Equação (2) descobre-se o valor de  $K$ , igualando-a à velocidade final obtida na Figura 3, obtendo  $K = 4.9584$ . A próxima etapa é encontrar a constante  $T$ , que correspondente ao tempo com que a saída chega a 63.2% da velocidade final (NISE, 2012), resultando em  $T \approx 0.2$ . Dessa forma, a função de transferência do protótipo veicular é dada pela Eq. (3).

$$G(s) = \frac{4.9584}{0.2s + 1} \quad (3)$$

A Figura 4 apresenta o gráfico da velocidade encontrado previamente, em conjunto com a resposta ao degrau teórica resultante da função de transferência (3), validando as informações apresentadas.



Figura 4 – Comparação velocidade e resposta em degrau da função encontrada.



Fonte: autoria própria.

## OBTENÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO CONTROLE

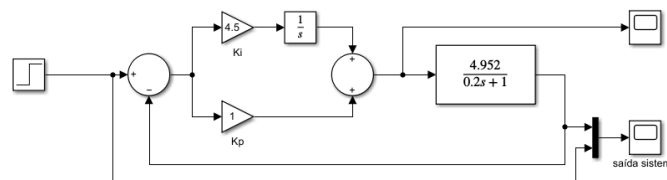
Primeiramente, é realizada uma simulação do controle proposto a tempo contínuo, a fim de validar os parâmetros utilizados. Considere o controlador dado por

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(\tau) d\tau, \quad (4)$$

sendo  $k_p$  e  $k_i$  os ganhos proporcional e integrativo, respectivamente.

Para identificar os valores adequados de  $k_p$  e  $k_i$  constrói-se o modelo do sistema simulado, ilustrado na Figura 5, e se encontra um valor para uma saída mais eficiente e real, que respeite a limitação do sistema.

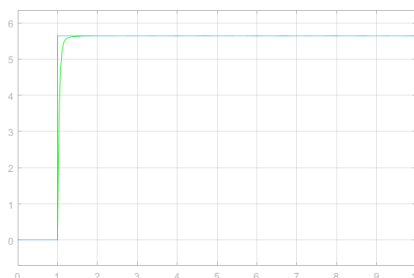
Figura 5 – Modelagem do sistema.



Fonte: autoria própria.

Para os valores de  $k_p = 4.5$  e  $k_i = 1$  obtém-se uma resposta considerada eficiente e rápida, chegando ao valor de referência em menos de 1 segundo, resultado representado na Figura 6.

Figura 6 – Resposta na saída do sistema.



Fonte: autoria própria.



Para implementação no controle PI no *Arduino*®, é necessário discretizar a função de transferência (3), resultando na equação a diferenças

$$y[n + 1] = 0.2231y[n] + 3.852u[n]. \quad (5)$$

Por restrições físicas e de tempo, não foi possível realizar a implementação do controlador no protótipo, com tal etapa a ser desenvolvida na continuação futura do projeto.

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, a equação da função de transferência encontrada se mostrou precisa, visto que sua resposta em degrau se assemelhou com o gráfico da velocidade encontrado de forma prática. Os valores para o controlador PI foram identificados empiricamente, e os resultados obtidos através dele foram satisfatórios para o proposto.

Por fim, espera-se o aprimoramento do projeto em futuros trabalhos, afim de prosseguir o desenvolvimento como por exemplo a melhoria do controlador, com intuito de buscar o resultado mais eficaz possível e a implementação deste no protótipo.

## Conflito de interesse

Os autores confirmam que não há conflitos de interesse na execução desse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ICARROS, Piloto automático: conheça os tipos e saiba como usar. Disponível em: <https://bit.ly/3rD8JPo>. Acesso em: 27 set. 2023. [S.l.], 2016.
- NISE, Norman S. **Engenharia de Sistemas de Controle 6ª Edição**. [S.l.]: LTC, 2012.
- OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno 5ª Edição**. São Paulo: Ed. São Paulo, SP: Pearson Prentice Hall, 2010.
- UFRN. **Sistemas de Controle I. Disponível em:** <https://www.dca.ufrn.br/~meneghet/FTP/Controle1/>. Acesso em: 18 set. 2023. [S.l.], 2003.
- WANG, ChunYang; LUO, Ying; CHEN, YangQuan. An analytical design of Fractional Order Proportional Integral and [Proportional Integral] controllers for robust velocity servo. In: 2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. [S.l.: s.n.], 2009. P. 3448–3453. DOI: [10.1109/ICIEA.2009.5138847](https://doi.org/10.1109/ICIEA.2009.5138847).
- YU, Z.; MOHAMMED, A.; PANAHI, I. A review of three PWM techniques. In: PROCEEDINGS of the 1997 American Control Conference (Cat. No.97CH36041). [S.l.: s.n.], 1997. v. 1, 257–261 vol.1. DOI: [10.1109/ACC.1997.611797](https://doi.org/10.1109/ACC.1997.611797).