

## Pesquisa, Desenvolvimento e Análise de Índices de Desempenho para Esterçamento Autônomo de Veículos

Bruno Campos Trovatti

[brunoct@estudante.ufscar.br](mailto:brunoct@estudante.ufscar.br)

Lucas Barbosa Marcos

[lucasmarcos@ufscar.br](mailto:lucasmarcos@ufscar.br)

Universidade Federal de São Carlos – Departamento de Engenharia Elétrica

**INTRODUÇÃO.** A pesquisa e o desenvolvimento de veículos autônomos ganharam bastante tração nos últimos anos com o advento de sistemas embarcados mais potentes. Neste sentido, foi criada a possibilidade de implementação de controladores mais complexos e eficientes para aplicações veiculares (Barbosa et al., 2019). Contudo, as implementações práticas desses sistemas ainda estão em desenvolvimento, e o desempenho desses vários tipos de controladores ainda não foi testado para uma variada gama de aplicações e situações. Este projeto de iniciação científica procura criar uma classificação quantitativa e qualitativa para diferentes tipos de controladores quando são utilizados para controlar o esterçamento de veículos autônomos. Durante o projeto serão organizados quais são os critérios de desempenho mais relevantes para certas aplicações veiculares e a partir disso determinar quais são as técnicas de controle mais adequadas para cada caso. Na conclusão, estará criada uma nova metodologia para determinar a qualidade de controladores nessa aplicação, assim como um *ranking* dos controladores estudados. Esta classificação contribuirá para que os próximos pesquisadores e engenheiros de controle tenham uma base para avaliar ou escolher os modelos de controle mais adequados para seus veículos autônomos.

**MATERIAIS E MÉTODOS.** O trabalho foi dividido em quatro tarefas principais:

- 1. Levantamento dos critérios de desempenho:** Na primeira tarefa, foi feita uma pesquisa na literatura da área de controle de veículos autônomos para coletar os critérios de desempenho mais relevantes a serem avaliados para os testes de desempenho dos controladores. Essa pesquisa foi feita nas bases de dados do *Google Scholar*, *arXiv* e *Scopus*.
- 2. Criação dos Modelos e Simulações Numéricas do MATLAB:** Com os critérios de desempenho definidos, em sequência foram implementados os modelos matemáticos dos veículos em MATLAB. Então foi adicionado o primeiro controlador da pesquisa (PID) para testes numéricos com essas plantas. O próximo passo será adicionar o modelo do Regulador Linear Quadrático Robusto e o modelo do controlador *H-infinito*, propostos por Terra et al. (2014), e um sistema de controle por Redes Neurais, para completar a gama de teste dos controladores nas plantas.
- 3. Simulação em Ambientes Virtuais com *Physics Engine*:** Os modelos dos veículos e controladores serão introduzidos em ambientes virtuais de simulações físicas: **CARLA Simulator** e **CoppeliaSim**, para serem realizados os mesmos testes feitos em MATLAB. A seguir os valores obtidos nestas simulações serão comparados com os valores das simulações numéricas, com o objetivo de que todos esses experimentos tenham resultados condizentes entre si e com a teoria pesquisada na literatura.
- 4. Criação do Ranking de Controladores:** Alguns trabalhos relacionados, como o de Banginwar e Sands (2022), procuravam fazer uma análise entre controladores utilizando apenas uma única planta e chegando a apenas uma única conclusão para a pergunta “Qual é o melhor controlador?”. Nessa pesquisa, no entanto, o objetivo é criar um *ranking* com diversos aspectos positivos e negativos sobre cada controlador, com avaliações quantitativas e qualitativas

padronizadas. O *ranking* incluirá quatro controladores diferentes testados em três plantas diferentes (carro, carro + trailer, caminhão) em cenários diferentes (rodovia, cidade, estrada de terra, etc.). Ao final será possível determinar qual é o melhor controlador a depender da aplicação e prioridades do engenheiro projetista e do usuário dos veículos.

**RESULTADOS.** No momento (09/12/2024), a pesquisa se encontra com aproximadamente 3 meses de desenvolvimento, sendo executada a etapa número 2. Os principais resultados parciais obtidos foram relacionados a implementação do controlador PID discretizado para um sistema SIMO da planta de um carro (veículo de 2 eixos fixos).

Esse sistema é composto por quatro variáveis de estado: **velocidade lateral**, que diz respeito à velocidade perpendicular ao eixo longitudinal do veículo; **velocidade angular**, que se refere à velocidade de rotação do veículo em torno do seu centro de massa no plano XY; **erro lateral**, que diz respeito à diferença de posição lateral entre a trajetória do veículo (onde ele deveria estar) e sua posição verdadeira (onde ele de fato está); **erro angular**, semelhante ao erro lateral, esse estado se refere à diferença entre o ângulo para o qual o veículo deveria estar apontado e o ângulo que ele de fato está apontando.

O sistema possui apenas uma única entrada, o **ângulo das rodas**. Na prática poderia fazer mais sentido analisá-lo em função do ângulo do volante do veículo. Contudo, como a relação de esterçamento entre os pneus dianteiros e o ângulo do volante é diferente para cada modelo comercial de veículos, é possível fazer uma equivalência entre os dois pontos de vista ao final do desenvolvimento.

Para testar o funcionamento da implementação do controlador PID, foi utilizado um algoritmo genético simplificado para ajustar os seus ganhos. O teste foi feito em uma situação onde o veículo começa sua trajetória imediatamente com velocidade lateral de 1 m/s, velocidade angular de 0,2 rad/s, erro lateral de 1 m e erro angular de 0,5 rad. Então o controlador atua automaticamente para zerar todos esses valores. Os resultados dessa simulação se encontram nas **Figuras 1 e 2**.

Estados do Veículo em Função das Iterações da Simulação

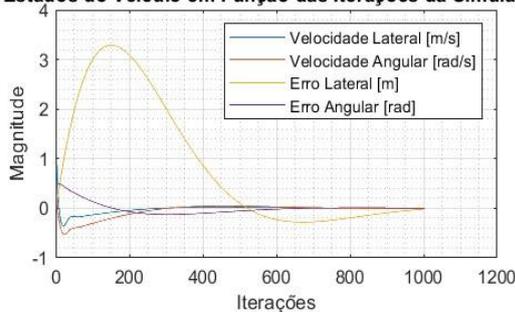


Figura 1

Ângulo das Rodas em função das Iterações da Simulação

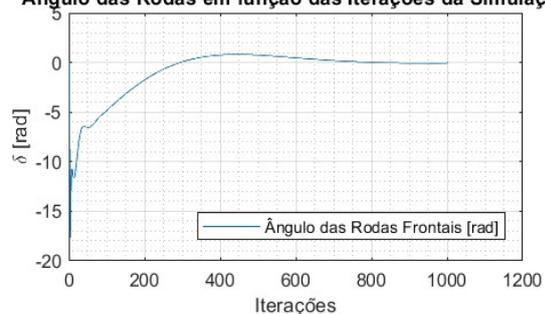


Figura 2

Fonte: Elaboração Própria.

**CONSIDERAÇÕES FINAIS.** Como a pesquisa ainda não está concluída, não é possível fazer asserções em relação às descobertas e análises dos resultados finais. Até o momento, foi possível validar a utilização de um algoritmo genético simples para o ajuste de um controle PID em tempo discreto aplicado ao carro. Nas próximas etapas serão testados os demais controladores no caminhão e na combinação carro e trailer.

**PALAVRAS-CHAVE:** Veículos Autônomos. Robótica. Sistemas de Controle.

**AGRADECIMENTOS:** Agradecemos a Universidade Federal de São Carlos e ao CNPq pelo apoio à nossa pesquisa via processo 154311/2024-3.



## Referências.

BARBOSA, Filipe Marques; MARCOS, Lucas Barbosa; DA SILVA, Maíra Martins; TERRA, Marco Henrique; GRASSI, Valdir, Junior. Robust path-following control for articulated heavy-duty vehicles. *Control Engineering Practice*. [S. l.]: Elsevier BV, abr. 2019. DOI 10.1016/j.conengprac.2019.01.017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conengprac.2019.01.017>.

BANGINWAR, Pruthvi; SANDS, Timothy. Autonomous Vehicle Control Comparison. *Vehicles*. [S. l.]: MDPI AG, 10 out. 2022. DOI 10.3390/vehicles4040059. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/vehicles4040059>.

TERRA, Marco H.; CERRI, João P.; ISHIHARA, João Y. Optimal Robust Linear Quadratic Regulator for Systems Subject to Uncertainties. *IEEE Transactions on Automatic Control*. [S. l.]: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), set. 2014. DOI 10.1109/tac.2014.2309282. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1109/TAC.2014.2309282>