

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JOÃO PEDRO PACHECO PEREIRA

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE DIFERENCIAL ELETRÔNICO PARA UM
PROTÓTIPO EM PEQUENA ESCALA DE TRAÇÃO INDIVIDUAL NAS RODAS
TRASEIRAS**

FLORIANÓPOLIS, 2024.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JOÃO PEDRO PACHECO PEREIRA

**ESTUDO DE UM SISTEMA DE DIFERENCIAL ELETRÔNICO PARA UM
PROTÓTIPO EM PEQUENA ESCALA DE TRAÇÃO INDIVIDUAL NAS RODAS
TRASEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Leandro de Medeiros Sebastião, Eng.
Mep.

FLORIANÓPOLIS, 2024.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Pereira, João Pedro Pacheco
Estudo de um Sistema de Diferencial Eletrônico para um Protótipo em Pequena Escala de Tração Individual nas Rodas Traseiras / João Pedro Pacheco Pereira; orientação de Leandro de Medeiros Sebastião. - Florianópolis, SC, 2024.

44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Inclui Referências.

1. Sistema de Controle. 2. Geometria de Ackermann. 3. Simulação em Matlab. 4. Protótipo. I. Sebastião, Leandro de Medeiros. II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. Estudo de um Sistema de Diferencial Eletrônico para um Protótipo em Pequena Escala de Tração Individual nas Rodas Traseiras.

ESTUDO DE UM SISTEMA DE DIFERENCIAL ELETRÔNICO PARA UM PROTÓTIPO EM PEQUENA ESCALA DE TRAÇÃO INDIVIDUAL NAS RODAS TRASEIRAS

JOÃO PEDRO PACHECO PEREIRA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 06 de dezembro, 2024.

Banca Examinadora:

Leandro de Medeiros Sebastião, Mep. Eng

Adriano de Andrade Bresolin, Dr. Eng

André Luiz Fuerback, Dr. Eng

Dedico este trabalho, ao meu querido pai
que mesmo não estando mais entre nós
continua presente em cada conquista,
me inspirando.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, que sempre foram meu porto seguro e que, com todo amor, paciência e apoio incondicional, me incentivaram a seguir em frente nos momentos mais desafiadores. À minha avó, que com sua sabedoria e carinho, sempre me ensinou o valor de nunca desistir dos meus sonhos. Agradeço também a toda minha família, por acreditarem no meu potencial e por estarem sempre presentes, oferecendo palavras de motivação e suporte ao longo de todo este caminho.

Ao meu orientador, Leandro de Medeiros Sebastião, expresso minha profunda gratidão pela orientação precisa, pelo incentivo constante e pela confiança em meu trabalho. Seu conhecimento e disponibilidade foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

Um agradecimento especial a dois pilares fundamentais da minha vida: ao meu tio Giliar Ferreira Pacheco, por sempre me guiar ao longo da minha jornada, especialmente nos estudos, oferecendo apoio e orientação incansáveis; e ao meu padrinho Delmir Marques Gonçalves, cuja trajetória foi e continua sendo minha maior inspiração para seguir o caminho da Engenharia Elétrica. A ambos, minha eterna gratidão.

Por fim, agradeço aos meus amigos, que de diversas maneiras contribuíram para a realização deste trabalho, seja com palavras de apoio, ajuda prática, ou simplesmente por estarem ao meu lado nos momentos difíceis. A vocês, meu muito obrigado.

RESUMO

O artigo descreve o desenvolvimento de um protótipo em pequena escala com tração individual nas rodas traseiras, focando na implementação de um Sistema de Diferencial Eletrônico (SDE) para coordenar os motores e permitir velocidades independentes em curvas. Utilizando um *Arduino* como unidade de controle e criando um protótipo em escala reduzida de quatro rodas, onde a gestão da velocidade das rodas é feita pelo algoritmo de Ackerman, simulado no *software Matlab*. Este estudo visa comparar a trajetória simulada com resultados experimentais, obtidos ao registrar a trajetória do protótipo em uma folha com eixos métricos, utilizando canetas de cores diferentes para marcar as trajetórias em três etapas distintas, com direções esterçadas específicas. O estudo tem foco na análise do erro relativo entre os pontos simulados e os obtidos experimentalmente com o protótipo. Como resultado dos ensaios, obteve-se um erro médio máximo de 6 %, o que atesta a preditibilidade da trajetória do veículo quando utiliza-se o algoritmo de Ackerman.

Palavras-chave: Sistema de Diferencial Eletrônico; Protótipo em Pequena Escala; Algoritmo de Ackerman; Modelo Cinemático; Sistemas de Coordenadas.

ABSTRACT

The article describes the development of a small-scale prototype with individual traction on the rear wheels, focusing on the implementation of an Electronic Differential System (EDS) to coordinate the motors and allow for independent speeds in curves. Utilizing an Arduino as the control unit and creating a scaled-down prototype with four wheels, where wheel speed management is done by the Ackerman algorithm, simulated in Matlab software. This study aims to compare the simulated trajectory with experimental results obtained by recording the prototype's trajectory on a sheet with metric axes, using different colored pens to mark trajectories in three distinct stages, with specific steered directions. The study focuses on analyzing the relative error between simulated points and those obtained experimentally with the prototype. As a result of the tests, a maximum average error of 6 % was obtained, which confirms the predictability of the vehicle's trajectory when using the Ackerman algorithm.

Keywords: Electronic Differential System; Small-Scale Prototype; Ackerman Algorithm; Kinematic Model; Coordinate Systems.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
RMSE	Root Mean Squared Error
SDE	Sistema de Diferencial Eletrônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Definição do Problema	11
1.2	Justificativa	11
1.3	Objetivo	12
1.3.1	Objetivo Geral	12
1.3.2	Objetivos Específicos	12
1.4	Metodologia de trabalho	13
1.5	Estrutura do trabalho	13
	REFERÊNCIAS	15
	APÊNDICES	16
	APÊNDICE A - ARTIGO COMPLETO	17
	APÊNDICE B - COMPROVANTE DE APRESENTAÇÃO	24
	APÊNDICE C - SLIDES APRESENTADOS NO CONGRESSO	26
	ANEXOS	36
	ANEXO A - FOLDER DE CHAMADA DO CONGRESSO	37
	ANEXO B - PROGRAMAÇÃO DO CONGRESSO	38

1 INTRODUÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem o objetivo de consolidar os conhecimentos adquiridos durante o curso e desenvolver as competências e habilidades que constituem o perfil do egresso, sendo parte obrigatória da matriz curricular do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), Câmpus Florianópolis.

As formas de TCC permitidas, conforme o Projeto Pedagógico do Curso e o Regulamento de TCC do Curso de Engenharia Elétrica do IFSC – Câmpus Florianópolis (IFSC, 2019a; IFSC, 2019b) são as seguintes:

1. Apresentação de monografia;
2. Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica; ou
3. Publicação de artigo em periódico nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Nesse sentido, este trabalho se enquadra na forma nº 2 - Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Outrossim, ressalta-se o cumprimento dos requisitos obrigatórios descritos nos Regulamentos de TCC do IFSC Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, em especial, a saber:

- O(a) acadêmico(a) cursou e foi aprovada na unidade curricular de TCC-I no segundo semestre de 2024;
- O(a) acadêmico(a) em conjunto com seu orientador submeteu o artigo intitulado “Estudo de um Sistema de Diferencial Eletrônico para um Protótipo em Pequena Escala de Tração Individual nas Rodas Traseiras” (Apêndice A) para o XXV Congresso Brasileiro de Automática 2024;
- O aceite do artigo pelo congresso ocorreu no dia 15 de Julho de 2024, enquanto o(a) acadêmico(a) estava matriculada em/já havia finalizado TCC-I;
- O(a) acadêmico(a) apresentou o artigo no congresso no dia 17 de Outubro de 2024 (Apêndice B);

Portanto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) atente a todos os requisitos exigidos nos regulamentos e diretrizes do IFSC – Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica para que possa ser realizada a defesa pública do trabalho.

1.1 Definição do Problema

Há a necessidade de um controle eletrônico independente de torque e rotação, atuando nas rodas de tração de um veículo elétrico que não utilize diferencial mecânico, quando a configuração dos veículos utiliza dois motores. No protótipo, por escolha do autor, dois motores elétricos serão inseridos nas rodas traseiras. Sendo um motor para cada roda, para auxiliar o carro que ao fazer uma curva, as rodas tenderão a derrapar e o mesmo perderia sua trajetória, fazendo com que o veículo não consiga efetuar a curva corretamente (CASTRO; SALGADO, 2017). No artigo, é apresentado um sistema de controle SDE para veículos com tração independente nas rodas traseiras, utilizando dois motores. A estratégia de controle de velocidade e torque é baseada em um sistema de diferencial eletrônico, que calcula as velocidades individuais das rodas. As velocidades dos motores são determinadas com base no ângulo de direção e na velocidade linear do veículo, aplicando o modelo de direção de Ackermann para corrigir as velocidades das rodas traseiras (YILDIRIM; KURUM, 2020).

Para elaboração desta pesquisa, o projeto busca estudar, modelar e analisar o funcionamento de um SDE em um protótipo em pequena escala, elaborando uma estrutura de controle, observando-se os dados obtidos pela parte prática para validar o modelo através de simulações no *software Matlab*.

1.2 Justificativa

Atualmente, ao pesquisar-se sobre fabricação e a comercialização de veículos elétricos, nota-se um grande crescimento nos últimos cinco anos, especialmente no contexto de países mais desenvolvidos. Destaca-se ainda que, em diversos países da Europa, já existem propostas que pretendem cessar a produção de veículos à combustão até 2040, sendo a Noruega até 2025, a Alemanha até 2030 e Reino Unido até 2040 (ZHAO, 2018).

Segundo a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), no ano de 2023 o Brasil havia registrado seu melhor desempenho da história da eletromobidade, com uma venda total de 93927 veículos. Todavia, já no mês de julho de 2024, o mercado nacional emplacou um acumulado de 94616 veículos leves eletrificados, ultrapassando o ano completo de 2023. Com esses números, o mercado brasileiro também superou 300 mil veículos elétricos e híbridos leves em circulação no país, de

diferentes tecnologias de eletrificação, fatos que denotam a relevância desse tópico para estudos e desenvolvimento de tecnologias (ABVE, 2024).

A cobrança pelo aumento dos sistemas de segurança dos automóveis está cada vez mais rígida. A resolução 954, de 28 de Março de 2022 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), leva em consideração a necessidade de aperfeiçoar e atualizar os requisitos de segurança para os veículos nacionais e importados por meio da implementação do sistema de controle de estabilidade. Uma das soluções propostas pela resolução consiste em otimizar a estabilidade direcional do veículo, atuando diretamente no controle de maneira automática e individual dos torques de frenagem das rodas, para a melhorar o desempenho do automóvel durante a trajetória, baseado na análise do comportamento obtido a partir da ação do condutor (CONTRAN, 2022).

Ante o exposto é evidente a projeção otimista acerca do aumento da frota de automóveis eletrificados no Brasil, bem como das ações propositivas para melhorar sua confiabilidade e segurança. Assim, esse trabalho visa desenvolver uma metodologia para validar um Sistema de Diferencial Eletrônico (SDE) em um protótipo de escala reduzida para contribuir em estudos futuros, proporcionando aliar a tecnologia que está se atualizando no mundo da mobilidade com a melhoria da segurança dos veículos, com o objetivo de se tornarem mais confiáveis.

1.3 Objetivo

Nestes tópicos serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos do trabalho.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é desenvolver um protótipo em escala reduzida com dois motores elétricos independentes, um em cada roda, implementando o algoritmo de Ackermann para coletar dados experimentais e compará-los com as simulações realizadas no *software Matlab*, buscando resultados convergentes.

1.3.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- a) desenvolver um SDE através de um *Arduino*;
- b) projetar e montar um protótipo em escala reduzida;
- c) simular por meio computacional o modelo de Ackermann;
- d) comparar os testes do SDE entre protótipo e simulação;
- e) analisar e realizar persistências de dados.

1.4 Metodologia de trabalho

A pesquisa apresenta um estudo sobre o sistema de diferencial eletrônico, utilizando o algoritmo baseado no modelo de Ackermann para corrigir as velocidades das rodas em um protótipo em escala reduzida. O modelo de geometria de Ackermann descreve a relação entre os ângulos de direção das rodas. Segundo os autores (MAGALLAN *et al.*, 2009), ω_{in} representa a velocidade angular da roda localizada na parte interna da curva, enquanto ω_{out} corresponde à velocidade angular da roda posicionada na parte externa da curva.

Os autores (MORENO *et al.*, 2020) consideram que o sistema de coordenadas locais (x_L , y_L) é fixo e está localizado no centro do eixo dianteiro, onde o eixo x_L é paralelo ao comprimento do veículo. De acordo com (RAFFO, 2005), como a trajetória pode ser pré-determinada no sistema de coordenadas globais, são obtidas as equações necessárias para projetar o trajeto do veículo.

Utilizando as coordenadas locais e globais, após a criação do código em *Matlab*, foram geradas três trajetórias distintas. As curvas S1, considerando $\delta_{S1} = 22^\circ$, S2, com $\delta_{S2} = 18^\circ$, e S3, com $\delta_{S3} = 14^\circ$, foram construídas com uma diferença de 4° entre elas, para garantir uma distinção clara em seus contornos.

Com base nas dimensões iniciais para o projeto e construção do protótipo, foi elaborada a listagem dos materiais a serem utilizados, que é apresentada no artigo. Em seguida, desenvolveu-se o código para o *Arduino*, implementando o algoritmo do modelo de Ackermann. Durante os experimentos, os ângulos foram ajustados a cada execução, registrando-se as trajetórias desempenhadas pelo protótipo durante os ensaios em folhas A4.

Após a realização do experimento e da simulação, os dados foram coletados para tratamento, visando minimizar os erros sistemáticos devido a possíveis interferências ocorridas durante o experimento. Conforme (HODSON, 2022), a métrica da raiz do erro quadrático médio (RMS_E , do inglês *Root Mean Squared Error*) é amplamente utilizada para avaliação de modelos. Por fim, os novos dados foram obtidos para a realização de uma análise comparativa. Com isso, foi possível tirar conclusões e estimar o erro médio máximo.

1.5 Estrutura do trabalho

Na Introdução apresenta-se a fundamentação legal e regulatória de enquadramento e os requisitos desta forma de TCC, assim como a definição do problema, a justificativa, os objetivos gerais e específicos e a metodologia de trabalho.

No Apêndice A é apresentado o artigo completo, sendo que os comprovantes da apresentação do artigo no congresso, tais como fotos e certificado de parti-

cipação e apresentação, estão no Apêndice B. No Apêndice C têm-se os slides de apresentação do artigo no congresso. No Anexo A tem-se o folder de chamada para apresentação dos artigos pelo congresso. E por fim, a programação do congresso pode ser vista no Anexo B.

REFERÊNCIAS

- ABVE. **Até julho, emplacamentos de veículos eletrificados em 2024 já supera total de 2023.** 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/ate-julho-vendas-de-eletrificados-em-2024-ja-supera-total-de-2023/>. 12
- CASTRO, L. F. O.; SALGADO, V. F. **Estudo de diferencial eletrônico para veículos de fórmula SAE da UFF.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2017. 11
- CONTRAN. **Resolução CONTRAN Nº 954, de 28 de março de 2022.** 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/resolucoes-contran>. 12
- HODSON, T. O. **Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE): When to use them or not.** *Geoscientific Model Development Discussions*, Göttingen, Germany, v. 2022, p. 1–10, 2022. 13
- IFSC. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.** 2019. Disponível em: <http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/documentos/>. 10
- IFSC. **Regulamento de TCC do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.** 2019. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/files/2019/05/Regulamento_TCC_EEL_CF_IFSC_2019.pdf. 10
- MAGALLAN, G. A. *et al.* **A neighborhood electric vehicle with electronic differential traction control.** In: *34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*. Orlando: [s.n.], 2009. 13
- MORENO, R. G. *et al.* **A waypoint tracking controller for autonomous road vehicles using ROS framework.** MDPI, 2020. 13
- RAFFO, G. V. **Algoritmos de controle preditivo para seguimento de trajetórias de veículos autônomos.** Florianópolis, SC, 2005. 13
- YILDIRIM, M.; KURUM, H. **Electronic differential system for na electric vehicle with four in-wheel PMSM.** *IEEE 91st Vehicular Technology Conference*, IEEE, 2020. 11
- ZHAO, Q. **Electromobility research in Germany and China: structural differences.** *Scientometrics*, Springer, v. 117, n. 1, p. 473–493, 2018. 11

APÊNDICES

APÊNDICE A - Artigo completo

Estudo de um Sistema de Diferencial Eletrônico para um Protótipo em Pequena Escala de Tração Individual nas Rodas Traseiras

João Pedro Pacheco Pereira * Leandro de Medeiros Sebastião **

* Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, IFSC Câmpus
Florianópolis, SC, (e-mail: joao.ppp@aluno.ifsc.edu.br).

** Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, IFSC Câmpus
Florianópolis, SC, (e-mail: leandro.medeiros@ifsc.edu.br)

Abstract: The article describes the development of a small-scale prototype with individual traction on the rear wheels, focusing on the implementation of an Electronic Differential System (EDS) to coordinate the motors and allow for independent speeds in curves. Utilizing an Arduino as the control unit and creating a scaled-down prototype with four wheels, where wheel speed management is done by the Ackermann algorithm, simulated in Matlab software. This study aims to compare the simulated trajectory with experimental results obtained by recording the prototype's trajectory on a sheet with metric axes, using different colored pens to mark trajectories in three distinct stages, with specific steered directions. The study focuses on analyzing the relative error between simulated points and those obtained experimentally with the prototype. As a result of the tests, a maximum average error of 6 % was obtained, which confirms the predictability of the vehicle's trajectory when using the Ackermann algorithm.

Resumo: O artigo descreve o desenvolvimento de um protótipo em pequena escala com tração individual nas rodas traseiras, focando na implementação de um Sistema de Diferencial Eletrônico (SDE) para coordenar os motores e permitir velocidades independentes em curvas. Utilizando um *Arduino* como unidade de controle e criando um protótipo em escala reduzida de quatro rodas, onde a gestão da velocidade das rodas é feita pelo algoritmo de Ackermann, simulado no *software Matlab*. Este estudo visa comparar a trajetória simulada com resultados experimentais, obtidos ao registrar a trajetória do protótipo em uma folha com eixos métricos, utilizando canetas de cores diferentes para marcar as trajetórias em três etapas distintas, com direções esterçadas específicas. O estudo tem foco na análise do erro relativo entre os pontos simulados e os obtidos experimentalmente com o protótipo. Como resultado dos ensaios, obteve-se um erro médio máximo de 6 %, o que atesta a preditibilidade da trajetória do veículo quando utiliza-se o algoritmo de Ackermann.

Keywords: Electronic Differential System; Small-Scale Prototype; Ackermann Algorithm; Kinematic Model; Coordinate Systems.

Palavras-chaves: Sistema de Diferencial Eletrônico; Protótipo em Pequena Escala; Algoritmo de Ackermann; Modelo Cinemático; Sistemas de Coordenadas.

1. INTRODUÇÃO

Em veículos de eixos transversais convencionais (carros a combustão), ao percorrerem uma curva, seja ela aberta ou fechada, considera-se que as rodas que percorrem a parte externa necessitam de velocidades maiores que as posicionadas na parte interna da curva. Essa diferença de velocidade é necessária para a realização em segurança do trajeto da curva. No entanto, quando as rodas são interligadas ao motor por meio de um eixo, elas não conseguem girar separadamente. Para solucionar o problema, Costa (2019) afirma que foi criado um conjunto de engrenagens chamado diferencial mecânico. Conforme Cogorni (2009), uma das principais funções do diferencial, quando o veículo inicia uma curva, é permitir que uma roda gire mais do que a outra. Ainda segundo Cogorni (2009), dessa forma o torque gerado pelo motor se mantém igual entre as

rodas de tração. A diferença de giro nas rodas resulta em velocidades angulares distintas para as mesmas, afirma Queiroz et al. (2015), o que assegura a estabilidade do veículo e permite a realização da curva sem a perda de controle de sua trajetória.

Os carros elétricos que possuem um único motor, seja ele de tração traseira ou dianteira, ainda podem ser equipados com um diferencial mecânico, uma vez que não haverá alterações significativas na parte mecânica em relação aos carros a combustão. No entanto, segundo Vidyandandan (2018), ao considerar diferentes configurações de veículos elétricos, uma das opções é trabalhar com dois motores elétricos controlados por um dispositivo denominado *driver*. Para o funcionamento dos *drivers* que estão conectados aos motores, é necessário que o acelerador envie um sinal, que se replica por igual para cada um dos dispositivos,

resultando em velocidades iguais para as rodas. Assim como Draou (2013), as rodas, por não possuírem um eixo interligando-as aos motores elétricos, descartam a opção do uso de um diferencial mecânico.

Então, neste caso, precisa-se de algo que coordene os *drivers* que são responsáveis pelo controle dos motores de maneira que possa ser entregue a velocidade e o torque independentes e necessários em uma curva para cada uma das rodas. A estratégia é usar um Sistema de Diferencial Eletrônico (SDE), implementando o algoritmo para manter o controle sobre os *drivers* e proporcionar a estabilidade do veículo. Zhai and Dong (2011) afirmam que grande parte das pesquisas sobre diferencial eletrônico são construídas com o modelo de Ackermann de cinemática de direção e coordenadas com controle de velocidade ou torque dos motores nas rodas.

Sendo assim, este artigo consiste em montar um protótipo de escala reduzida, utilizando um microcontrolador para criar o SDE, implementando a modelagem de Ackermann, iniciando com a construção do protótipo para coletar os dados. Em seguida, a fim de fazer um comparativo, o modelo será simulado por meio computacional pelo *software Matlab*. Por conta da simplificação e escala reduzida na elaboração deste trabalho, foi possível utilizar uma plataforma de desenvolvimento microcontrolado *Arduino* de baixo custo para a prototipagem, sem prejuízo dos resultados obtidos.

A motivação para este artigo baseia-se na análise do algoritmo implementado no protótipo em escala real. Embora os autores Magallán et al. (2009) tenham desenvolvido um protótipo em escala real, o objetivo foi verificar se o algoritmo possui uma boa resposta quando aplicado a um protótipo em escala reduzida. Portanto, o estudo visa analisar o algoritmo original, testando sua efetividade em um novo contexto, que possa viabilizar futuros desenvolvimentos e aplicações.

Considerando as dificuldades em obter medidas com origem idêntica, devido às limitações do protótipo em escala e da metodologia de coleta de trajetória para o experimento real, os dados lidos foram submetidos a um ajuste de correlação para viabilizar a comparação com a simulação, sem prejuízo da qualidade dos resultados. Para a determinação dos dados do protótipo, foram usadas como base as dimensões de um veículo em escala já previamente montado e disponível em laboratório. Tanto as dimensões construtivas quanto à velocidade nominal dos motores foram obtidas a partir dessa referência.

2. PROTÓTIPO EM ESCALA

2.1 Construção do Protótipo em Escala Reduzida

Para Vidyanandan (2018), com base no tipo de transmissão, embreagem, caixa de câmbio, diferencial e o número de motores, há uma variedade de configurações de veículos elétricos (VE). Essas configurações são possíveis de serem construídas, resultando em diferentes condições de aproveitamento de espaço e distribuição de massa do veículo. A escolha de configuração do protótipo será com os motores de tração posicionados diretamente nas duas rodas

traseiras, aumentando o torque de acionamento, conforme a Figura 1.

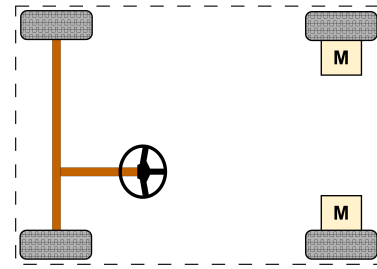


Figura 1. Configuração de tração do protótipo.

O bloco M mostra a posição dos motores em relação ao chassi do carro. Os mesmos se encontram ligados diretamente às rodas através de um eixo.

2.2 Arquitetura e Componentes

A estrutura de arquitetura do protótipo consiste em um veículo de quatro rodas. Na parte frontal, estão localizadas duas rodas fixadas em um eixo, o qual está conectado ao servo motor. No centro do chassi, encontra-se o *Arduino* e o receptor do rádio controle, juntamente com as baterias. Por fim, na parte traseira, encontram-se as outras duas rodas, cada uma delas conectada a um motor, com a ponte H centralizada entre eles. O projeto do protótipo em escala reduzida está à esquerda, enquanto a montagem real está à direita, conforme apresentado na Figura 2.

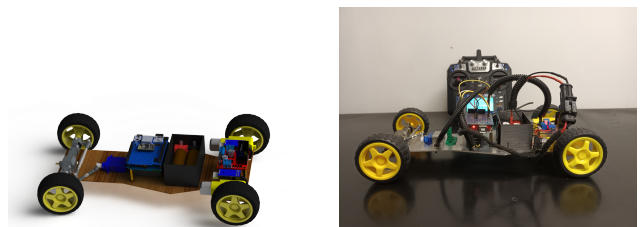


Figura 2. Projeto e protótipo.

Os principais componentes utilizados na montagem do protótipo estão listados como:

- *Arduino* UNO - Unidade de controle;
- Ponte H L298n - *Driver* dos motores;
- 2 Motorreduzidos DC 6V - Tração do protótipo;
- 2 Baterias Li-Ion 18650 LG 3,7V 3000mAh - Fonte de alimentação do protótipo;
- Servo Motor - Atuador de direção;
- FS-IA6B - Receptor do rádio controle;
- Flysky FS-i6 - Rádio controle;
- 4 Rodas - Pneu de borracha 68 mm;
- Braço de direção - Eixo de direção;
- Chapa de alumínio - Chassi.

A velocidade linear e o ângulo de direção são as principais variáveis de entrada para a implementação do algoritmo, que apresenta como resposta o controle da velocidade angular nas rodas.

3. DESCRIÇÃO DO ALGORITMO

A direção de Ackermann ou geometria de Ackermann são termos usados para descrever a geometria das rodas responsáveis pelos ângulos de direção. De acordo com Vozmilov et al. (2022), os ângulos corretos dependem da distância entre eixos do veículo e do ângulo de curvatura. Os erros nos ângulos de direção, em ambos os lados, podem influenciar significativamente o desgaste dos pneus. Conforme Gillespie (1992), esses erros não têm influência significativa em veículos com baixa velocidade. No entanto, para o protótipo em escala reduzida, esses erros interferem na trajetória desenvolvida pelo veículo, podendo ser considerados.

De acordo com Magallán et al. (2009), a geometria correta de Ackermann, considerando que um veículo está dentro de uma curva e em baixa velocidade, e desconsiderando as forças laterais exercidas sobre o veículo, ocorrendo escorregamento nas rodas de tração, pode-se utilizar o modelo geométrico proposto por Ackermann e Jeantad, de acordo com Gillespie (1992), mostrado na Figura 3. Esse modelo permite determinar o raio de rotação R a partir dos ângulos de direção (δ_{in} , δ_{out}) e, por sua vez, os valores de velocidade angular que cada roda de tração deve adotar (ω_{in} , ω_{out}).

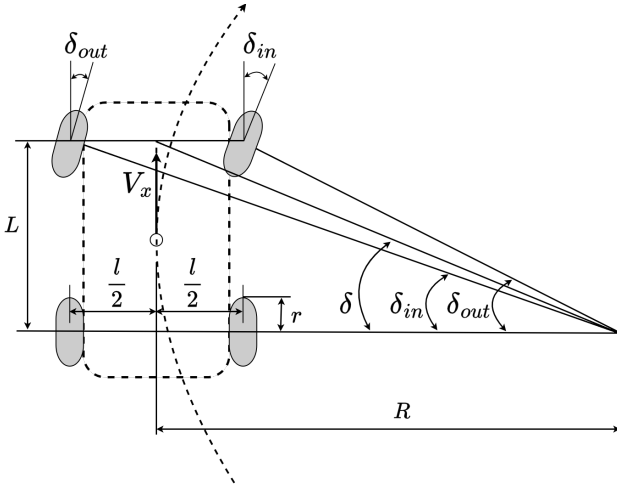


Figura 3. Geometria de Ackermann.

Segundo Gillespie (1992), na geometria básica, os ângulos de direção são representados pelo ângulo externo da curva δ_{out} e o ângulo interno da curva δ_{in} . A distância entre eixos L , o raio de rotação da curva dado pela distância entre o centro da curva e o centro do carro R , e a distância entre o centro das rodas traseiras l podem ser expressos em (1) e (2):

$$\tan(\delta_{out}) = \frac{L}{R + \frac{l}{2}} \quad (1)$$

$$\tan(\delta_{in}) = \frac{L}{R - \frac{l}{2}} \quad (2)$$

Para ângulos de direção pequenos, é possível considerá-los como um parâmetro denominado ângulo de Ackermann,

representado através de uma simplificação δ , expresso em (3):

$$\delta = \frac{\delta_{in} + \delta_{out}}{2} \quad (3)$$

Outra maneira de expressar o ângulo de Ackermann, com base na Figura 3, é dada em (4):

$$\tan(\delta) = \frac{L}{R} \quad (4)$$

Os autores Magallán et al. (2009) apresentam ω_{in} como a velocidade angular da roda que está na parte interna da curva, ω_{out} como o valor da velocidade da roda que está na parte externa da curva, r indicando o raio da roda, V_x a velocidade linear do veículo e δ o ângulo de direção. Sendo assim, as velocidades angulares para cada roda de tração são expressas em (5) e (6) para as velocidades interna e externa da curva, respectivamente.

$$\omega_{in} = \frac{V_x}{r} \left(1 - \frac{d \tan(\delta)}{2L} \right) \quad (5)$$

$$\omega_{out} = \frac{V_x}{r} \left(1 + \frac{d \tan(\delta)}{2L} \right) \quad (6)$$

Essas velocidades serão atribuídas às rodas do protótipo quando o modelo de Ackermann estiver acionado, de modo que a velocidade das mesmas seja corrigida a partir do valor do ângulo de direção. Esse fluxo pode ser melhor visualizado na Figura 4.

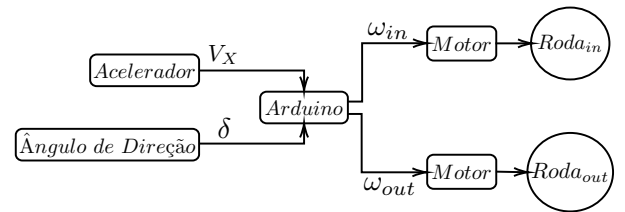


Figura 4. Diagrama de blocos do SDE

4. MODELO CINEMÁTICO

O artigo adota uma abordagem do modelo cinemático de um veículo, utilizando coordenadas locais e globais para estimar sua trajetória. Os autores Barraquand and Latombe (1989) propõem simplificar os cálculos representando os pares de rodas dianteiras e traseiras por apenas uma roda na frente e outra atrás, posicionadas no centro do eixo mecânico, como observado na Figura 5. Isso é feito assumindo a ausência de escorregamento, o que implica que a velocidade do veículo no centro das duas rodas de cada eixo mecânico é sempre tangente à sua orientação. Essa simplificação facilita a análise teórica do movimento do veículo.

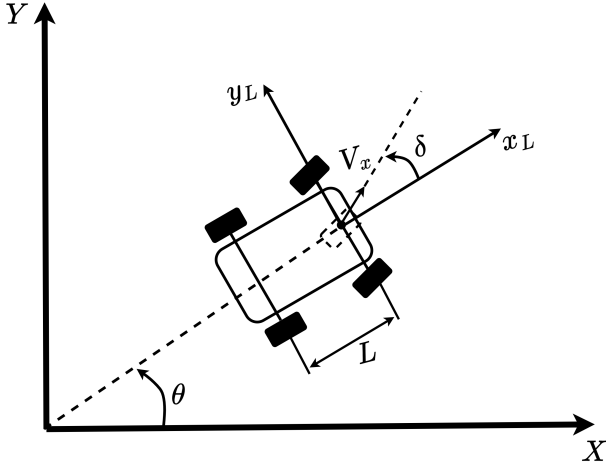


Figura 5. Sistema de coordenadas Locais.

Segundo Nelson (1989), analisando a Figura 5, o ponto sobre o veículo que segue a trajetória de referência é definido no centro das rodas dianteiras, e o centro de rotação está localizado no centro de massa. O modelo cinemático de um veículo com translação bidimensional e rotação no plano é descrito em (7), (8) e (9):

$$\dot{x}(t) = V_x(t) \cdot \cos(\theta(t) + \delta(t)) \quad (7)$$

$$\dot{y}(t) = V_x(t) \cdot \sin(\theta(t) + \delta(t)) \quad (8)$$

$$\dot{\theta}(t) = \frac{V_x(t)}{L} \cdot \sin(\delta(t)) \quad (9)$$

Onde $x(t)$ e $y(t)$ são as coordenadas cartesianas globais, $V_x(t)$ é a velocidade tangencial do veículo, $\theta(t)$ é a posição angular do veículo em relação ao sistema de coordenadas globais, $\delta_D(t)$ é o ângulo de direção em relação ao eixo x_L fixo ao veículo e L é a distância entre eixos do veículo.

O modelo cinemático em coordenadas locais para um veículo, com a mesma configuração escolhida para o protótipo, está sendo apresentado na Figura 5. Os autores Gutiérrez Moreno et al. (2020) levam em consideração que o sistema de coordenadas locais (x_L , y_L) é fixo e localizado no centro do eixo dianteiro, onde o eixo x_L é paralelo ao comprimento do veículo. Sendo assim, obtemos o modelo cinemático em coordenadas locais expresso nas seguintes equações:

$$\dot{x}_L(t) = V_x(t) \cdot \cos(\delta(t)) \quad (10)$$

$$\dot{y}_L(t) = V_x(t) \cdot \sin(\delta(t)) \quad (11)$$

De acordo com Raffo (2005), como a trajetória pode ser pré-determinada dentro do sistema de coordenadas globais, utiliza-se a Figura 6 para obter as equações necessárias que irão projetar o trajeto do veículo, onde i é considerado o índice que define o número de amostras à frente do passo k .

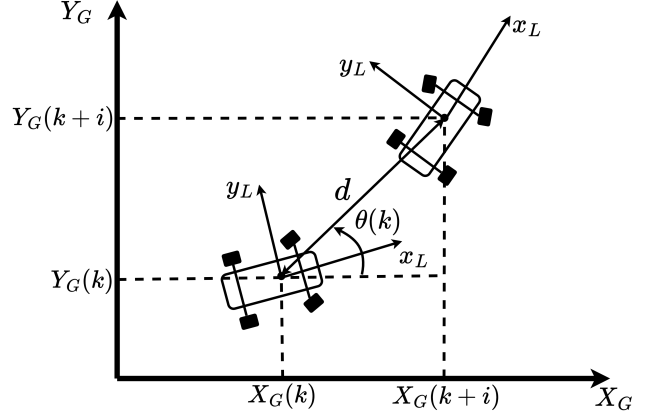


Figura 6. Sistema de coordenadas globais.

Assim, a distância d que surge entre o ponto atual e o ponto futuro do veículo pode ser obtida por:

$$d = \sqrt{(x_L(k+i) - x_L(k))^2 + (y_L(k+i) - y_L(k))^2} \quad (12)$$

Logo, as coordenadas globais, são expressas da seguinte forma:

$$X_G(k+i) = X_G(k) + d \cdot \cos(\theta(k)) \quad (13)$$

$$Y_G(k+i) = Y_G(k) - d \cdot \sin(\theta(k)) \quad (14)$$

Em conformidade com Kochem et al. (2002), a nova posição do veículo no passo $(k+i)$ pode ser calculada com base na posição anterior do passo k , além de uma alteração nas coordenadas e na orientação. A Equação 13 é válida tanto para a extensão do tradicional algoritmo da roda traseira quanto para a implementação do novo algoritmo, que se baseia no comprimento do caminho percorrido medido nas rodas dianteiras. Isso possibilita a estimativa da trajetória, cuja simulação é apresentada na sequência.

5. SIMULAÇÃO

Para simular a trajetória, a ferramenta utilizada é o *Matlab*. Inicialmente, foi realizada a medição de V_x , onde o protótipo foi submetido a um ensaio em velocidade constante por uma distância de 1,22m. A duração do deslocamento de 2,26 s foi cronometrada. Com base nesses dados, foi possível considerar a velocidade média do veículo de aproximadamente 0,54 m/s. A partir das variáveis listadas na Tabela 1, foram elaboradas três curvas de trajetórias simuladas, denominadas $S1$, $S2$ e $S3$, conforme ilustrado na Figura 7. Onde cada curva tem um valor diferente para δ , representando três níveis distintos de estiramento.

Tabela 1. Dados do protótipo.

Variável	Valor	Unidade
V_x	0,54	m/s
L	0,26	m
l	0,16	m
r	0,34	m

As curvas $S1$, considerando $\delta_{S1} = 22^\circ$, $S2$, considerando $\delta_{S2} = 18^\circ$ e $S3$, considerando $\delta_{S3} = 14^\circ$, foram construídas com um decréscimo de 4° entre elas, para obter uma diferença nítida em seus contornos. Essas construções foram realizadas utilizando coordenadas locais, conforme especificado em (10) e (11), com o propósito de calcular d . Em seguida, as trajetórias foram geradas com coordenadas globais, como indicado em (13) e (14), podendo ser visualizadas na Figura 7.

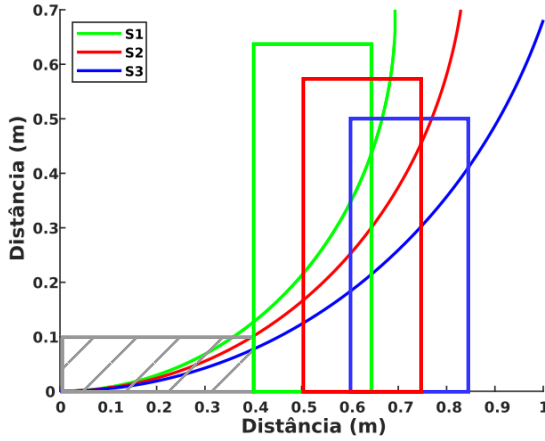


Figura 7. Simulação das trajetórias.

A região listrada da Figura 7 será desconsiderada da análise, haja vista que a variação no eixo Y é muito próxima à resolução do instrumento de medição utilizado, o que provocaria uma incerteza de medição exagerada e irrelevante para o presente estudo. As janelas de análise, com cores associadas às suas curvas, variam no eixo X de 0,40 m a 0,65 m para $S1$, de 0,50 m a 0,75 m para $S2$ e de 0,60 m a 0,85 m para $S3$, todas com passo de 0,05 m. Essas janelas foram selecionadas devido às necessidades para extrair uma abrangência adequada das características das curvas, permitindo uma avaliação mais assertiva de suas propriedades e comportamento.

Na Tabela 2, foram coletados 6 pontos de referência equidistantes dentro de cada janela de intervalo das curvas $S1$, $S2$ e $S3$ para fins de comparação com os pontos retirados do experimento. Apesar do número reduzido de amostras, de acordo com Albertazzi and Souza (2018), a aleatoriedade na seleção permite que as amostras coletadas reflitam a faixa de variação natural do processo.

Tabela 2. Pontos simulados.

	S1	S2	S3
Pontos	(X, Y)	(X, Y)	(X, Y)
P1	(0,40 ; 0,13)	(0,50 ; 0,16)	(0,60 ; 0,18)
P2	(0,45 ; 0,16)	(0,55 ; 0,20)	(0,65 ; 0,22)
P3	(0,50 ; 0,21)	(0,60 ; 0,25)	(0,70 ; 0,26)
P4	(0,55 ; 0,27)	(0,65 ; 0,31)	(0,75 ; 0,30)
P5	(0,60 ; 0,34)	(0,70 ; 0,37)	(0,80 ; 0,36)
P6	(0,65 ; 0,45)	(0,75 ; 0,46)	(0,85 ; 0,42)

Após simular a trajetória e listar os pontos de referência, o próximo passo é realizar os testes e analisar os resultados reais obtidos.

6. TESTE EXPERIMENTAL E RESULTADOS

6.1 Teste Experimental

O teste experimental consiste em três etapas, todas elas sendo registradas em uma folha A0, que contém os eixos cartesianos X e Y . Na primeira etapa, o protótipo percorre a folha, traçando com uma caneta verde sua trajetória real, denominada de $R1$, com a direção esterçada em aproximadamente 22° . Na segunda etapa, o protótipo percorre novamente por cima da mesma folha, traçando com uma caneta vermelha sua trajetória real, denominada de $R2$, com a direção esterçada em aproximadamente 18° . Na terceira e última etapa, o protótipo percorre novamente por cima da mesma folha, traçando com uma caneta azul sua trajetória real, denominada de $R3$, com a direção esterçada em aproximadamente 14° , conforme a Figura 8.

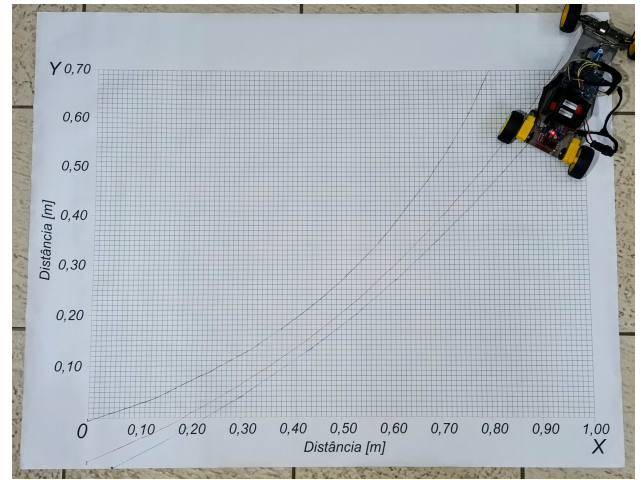


Figura 8. Trajetórias experimentais.

Em todas as trajetórias, a velocidade média do protótipo é fixada em aproximadamente 0,54 m/s. O *Ackermann* implementa o algoritmo para a correção das rodas que ficam na parte interna das curvas, conforme visto em (5), e, ao mesmo tempo, corrige as rodas da parte externa da curva, como observado em (6). A cada início de iteração do protótipo, a posição do eixo traseiro é ajustada de acordo com a diferença entre os valores calculados dos raios R , conforme o equacionamento apresentado em (4).

Na Tabela 3, foram também coletados 6 pontos de referência das trajetórias $R1$, $R2$ e $R3$ para comparação com os pontos retirados da simulação.

Tabela 3. Pontos experimentais.

	R1	R2	R3
Pontos	(X, Y)	(X, Y)	(X, Y)
P1	(0,40 ; 0,19)	(0,50 ; 0,21)	(0,60 ; 0,26)
P2	(0,45 ; 0,22)	(0,55 ; 0,25)	(0,65 ; 0,31)
P3	(0,50 ; 0,27)	(0,60 ; 0,29)	(0,70 ; 0,35)
P4	(0,55 ; 0,32)	(0,65 ; 0,34)	(0,75 ; 0,41)
P5	(0,60 ; 0,37)	(0,70 ; 0,39)	(0,80 ; 0,46)
P6	(0,65 ; 0,44)	(0,75 ; 0,45)	(0,85 ; 0,51)

Após realizar o experimento, registrar a trajetória e listar os pontos de referência, o próximo passo é comparar os resultados reais obtidos com os simulados.

6.2 Resultados

Para minimizar o erro sistemático da metodologia experimental, o ponto médio da região de análise das curvas (destacada na Figura 7) foi calibrado apenas no eixo Y , entre as leituras reais e os valores simulados. Segundo Campilho (2000), o erro sistemático surge da indicação do instrumento de medição, sendo um erro normalmente estimado, que resultaria de um número de medições infinitas do mesmo mensurado em repetidas condições, subtraída do valor verdadeiro daquela grandeza. Conforme Hodson (2022) a métrica da raiz do erro quadrático médio (RMS_E - do inglês, *Root Mean Squared Error*) é uma métrica padrão usada na avaliação de modelo, onde Yr_i é o valor real, Ys_i é o valor simulado e $|Ys_i - Yr'_i|$ é o erro absoluto.

$$RMS_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Yr_i - Ys_i)^2}{N}} \quad (15)$$

$$Yr'_i = Yr_i - RMS_E \quad (16)$$

A Figura 9 ilustra a comparação entre as trajetórias simuladas e experimentais do protótipo em escala reduzida. As linhas em vermelho no gráfico representam as curvas simuladas S1, S2 e S3, obtidas através do algoritmo proposto, enquanto as linhas em preto correspondem às trajetórias reais corrigidas R1', R2' e R3' derivadas da (16), onde Yr'_i é o valor real corrigido. Esta comparação visual destaca a precisão do algoritmo em prever o comportamento do protótipo, permitindo avaliar a satisfatoriedade do modelo na replicação das trajetórias reais em condições controladas.

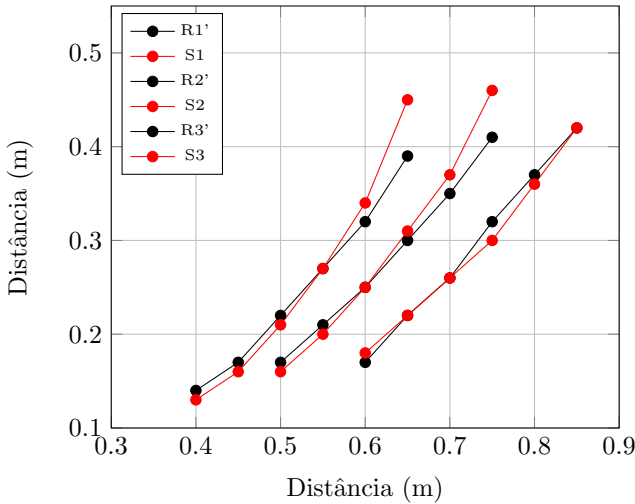


Figura 9. Dispersão das trajetórias experimentais e simuladas

A análise dos resultados obtidos revela uma boa concordância entre as trajetórias simuladas e experimentais, indicando que o algoritmo utilizado é satisfatório na previsão das trajetórias em escala reduzida. Observa-se que as variações entre as linhas vermelhas e pretas são pouco significativas, o que atesta a boa assertividade do modelo computacional aqui avaliado.

O autor Lira (2015) considera que o erro máximo admissível é o valor extremo do erro de medição em relação a um valor de referência conhecido. O erro da análise deste trabalho é expresso em termos admissíveis, sendo adimensional e comumente apresentado em porcentagem para cada ponto coletado. A fórmula para obtenção do erro relativo calculado para cada ponto é expressa em (17).

$$E_{Pi} = \frac{|Ys_i - Yr'_i|}{Ys_i} \cdot 100 \quad (17)$$

Considerando o eixo X foi tomado como referência, a análise dos erros será feita apenas para o eixo Y , utilizando (17) para os cálculos que estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Erros.

	S1-R1	S2-R2	S3-R3
Pontos	Y	Y	Y
E_{P1}	8%	6%	6%
E_{P2}	6%	5%	0%
E_{P3}	5%	0%	0%
E_{P4}	0%	3%	7%
E_{P5}	6%	5%	3%
E_{P6}	13%	11%	0%
E_{mm}	6%	5%	2%

7. CONCLUSÃO

O erro médio máximo (E_{mm}) calculado nos três ensaios foi de 6%, conforme apresentado na Tabela 4. Esse resultado foi considerado promissor para a metodologia, indicando uma possibilidade de previsibilidade da trajetória bastante satisfatória quando aplicado o algoritmo de Ackermann. Destaca-se ainda o resultado da curva 3, que obteve um erro médio de 2%, com uma assertividade ainda melhor da trajetória.

Durante o trajeto, pequenas vibrações nos eixos do protótipo podem causar variações no ângulo de direção e prejudicar a frenagem das rodas, levando o veículo a desviar de sua trajetória planejada. Essas variações podem resultar em registros de erro maiores ou menores, dependendo das circunstâncias.

Grandes dificuldades foram causadas pelo relevo da superfície por onde o protótipo transita na folha de registro, além da posição e da força que o instrumento de registro exerce sobre o protótipo, freando-o. Para futuros trabalhos, é oportuno elaborar um sistema mais sofisticado para a coleta de dados das trajetórias, a fim de minimizar os erros de leitura e avaliar a repetibilidade do experimento. Outra sugestão é criar dois cenários distintos de trajetórias: a primeira com o algoritmo ativado e a segunda com o algoritmo desativado.

REFERÊNCIAS

- Albertazzi, A. and Souza, A.R. (2018). *Fundamentos de metrologia científica e industrial*. Editora Manole.
- Barraquand, J. and Latombe, J.C. (1989). *On nonholonomic mobile robots and optimal maneuvering*. 15. Stanford University, Center for Integrated Facility Engineering.
- Campilho, A. (2000). *Instrumentação electrónica: métodos e técnicas de medição*. FEUP edições.

- Cogorni, A. (2009). *Avaliação e melhoria do processo de montagem do pinhão em eixos diferenciais automotivos*. Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Costa, J.P.S. (2019). *Análise do Dispositivo Mecânico Diferencial*. Master's thesis, Universidade Federal da Paraíba.
- Draou, A. (2013). Electronic differential speed control for two in-wheel motors drive vehicle. In *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, 6.
- Gillespie, T.D. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers SAE.
- Gutiérrez Moreno, R., López Guillén, M.E., Pérez Gil, Ó., Barea Navarro, R., Bergasa Pascual, L.M., Gómez Huélamo, C., Egido Sierra, J.d., López Fernández, J., et al. (2020). A waypoint tracking controller for autonomous road vehicles using ros framework.
- Hodson, T.O. (2022). Root mean square error (rmse) or mean absolute error (mae): When to use them or not. *Geoscientific Model Development Discussions*, 2022, 1–10.
- Kochem, M., Neddenriep, R., Isermann, R., Wagner, N., and Hamann, C.D. (2002). Accurate local vehicle dead-reckoning for a parking assistance system. In *Proceedings of the 2002 American Control Conference (IEEE Cat. No. CH37301)*, volume 5, 4297–4302. IEEE.
- Lira, F.A. (2015). *Metrologia na Indústria*. Editora Érica.
- Magallán, G.A., Angelo, C.H.D., Bisheimer, G., and Garcia, G. (2009). A neighborhood electric vehicle with electronic differential traction control. In *34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*. Orlando.
- Nelson, W.L. (1989). Continuous steering-function control of robot carts. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 36(3), 330–337.
- Queiroz, C., Melo, E., and Calabrez, F. (2015). *Revisão dos sistemas de transmissão Automotiva*. Bacharelado em tecnologia em eletrônica automotiva, FATEC Santo André, Santo André.
- Raffo, G.V. (2005). Algoritmos de controle preditivo para seguimento de trajetórias de veículos autônomos.
- Vidyanandan, K.V. (2018). Overview of electric and hybrid vehicles. *A House Journal of Corporate Planning, NTPC Ltd.*
- Vozmilov, A., Andreev, L., and Panishev, S. (2022). The development and modeling of a proportional integral controller for the electronic differential of an electric vehicle. In *2022 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 578–582. IEEE.
- Zhai, L. and Dong, S. (2011). Electronic differential speed steering control for four in-wheel motors independent drive vehicle. In *World Congress on Intelligent Control and Automation*. Taiwan.

APÊNDICE B - Comprovante de apresentação

XXV Congresso Brasileiro
de Autômática
Rio de Janeiro | Brasil

Certificado de Apresentação

Certifico que, João Pedro Pacheco Pereira , apresentou o trabalho intitulado 'Estudo de um Sistema de Diferencial Eletrônico para um Protótipo em Pequena Escala de Tração Individual nas Rodas Traseiras' no XXV Congresso Brasileiro de Autômática, realizado de 15 a 18 de outubro de 2024, na cidade do Rio de Janeiro, RJ.

Marcos Vicente de Brito Moreira
Marcos Vicente de Brito Moreira
Coordenador Geral

PROMOÇÃO

PATROCÍNIO

ORGANIZAÇÃO

APÓIO

CEPET/RJ

EMBRAER

mutua

Vida Estudantil

NOVA TECNOLOGIA

RioLink

globo

OPENCADD

exer

FAPIERJ

CAPEs



CBA 2024

XXV Congresso Brasileiro
de Autômática
Rio de Janeiro | Brasil

Certificado de Participação

Certificamos que

João Pedro Pacheco Pereira

participou do XXV Congresso Brasileiro de Autômática, realizado de 15 a 18 de outubro de 2024, na cidade do Rio de Janeiro – RJ.

Marcos Vicente de Brito Moreira
Marcos Vicente de Brito Moreira
Coordenador Geral





APÊNDICE C - Slides apresentados no congresso



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA - CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

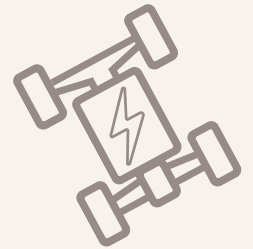


ESTUDO DE UM SISTEMA DE DIFERENCIAL ELETRÔNICO PARA UM PROTÓTIPO EM PEQUENA ESCALA DE TRAÇÃO INDIVIDUAL NAS RODAS TRASEIRAS



João Pedro Pacheco Pereira* - Leandro de Medeiros Sebastião
IFSC (Instituto Federal de Santa Catarina)

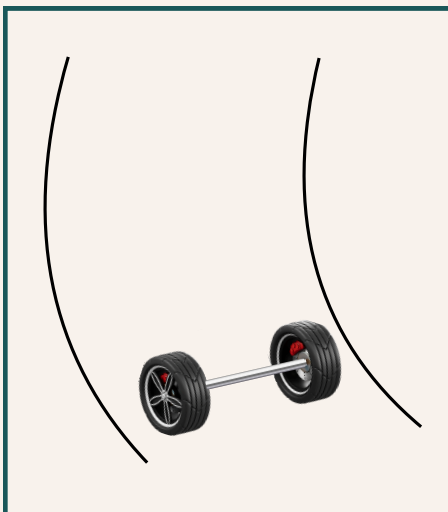
17 de Outubro 2024



Função do Diferencial

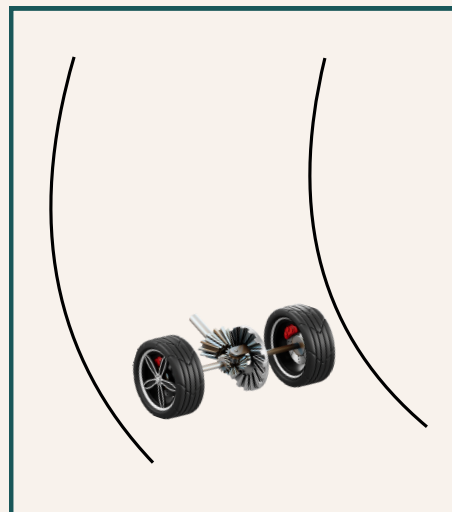


Sem diferencial



Fonte: Elaboração do autor (2024)

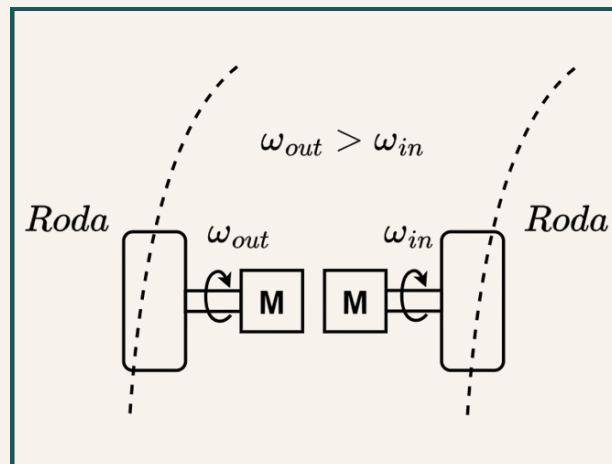
Com diferencial



Fonte: Elaboração do autor (2024)

Problemática

Veículo Elétrico



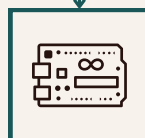
Fonte: Elaboração do autor (2024)

Justificativa



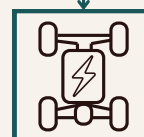
Algoritmo

Corrigir as velocidades das rodas dada as variáveis de entrada



Unidade de Controle

Usar um protótipo para implementar o algoritmo do SDE



Protótipo

Realizar trajetória utilizando o algoritmo

Hipótese



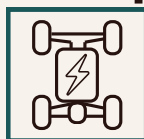
Objetivos

Algoritmo



Desenvolver um SDE através da plataforma de prototipagem Arduino

Protótipo



Projetar e montar um protótipo em escala reduzida

Simulação



Simular por meio computacional o algoritmo

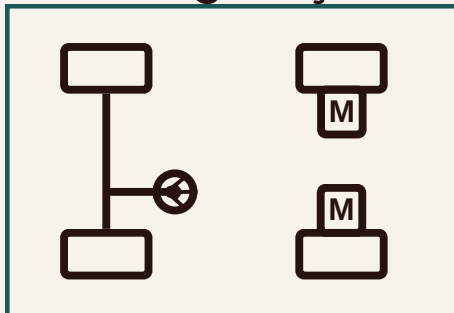
Análise



Comparar os testes do SDE entre protótipo e simulação

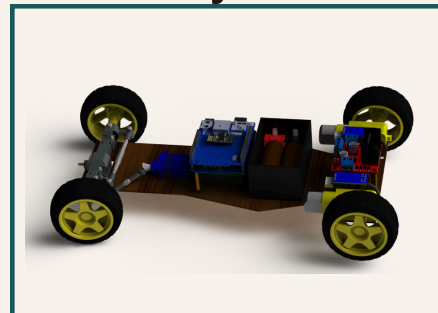
Construção do Protótipo

Configuração



Fonte: Elaboração do autor (2024)

Projeto



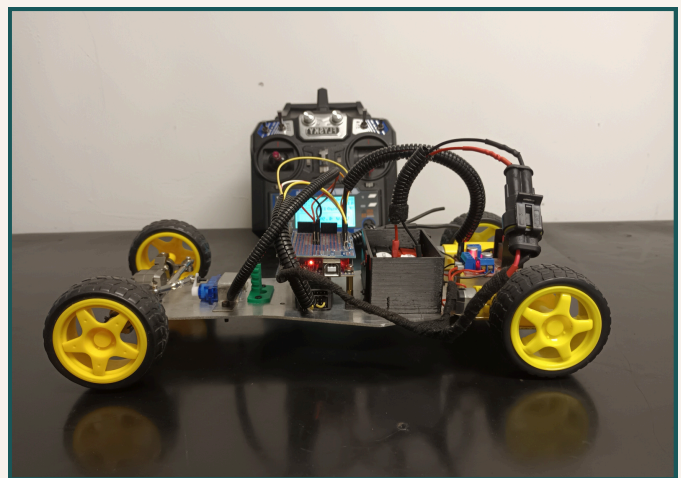
Fonte: Elaboração do autor (2023)

Construção do Protótipo

Lista de Componentes

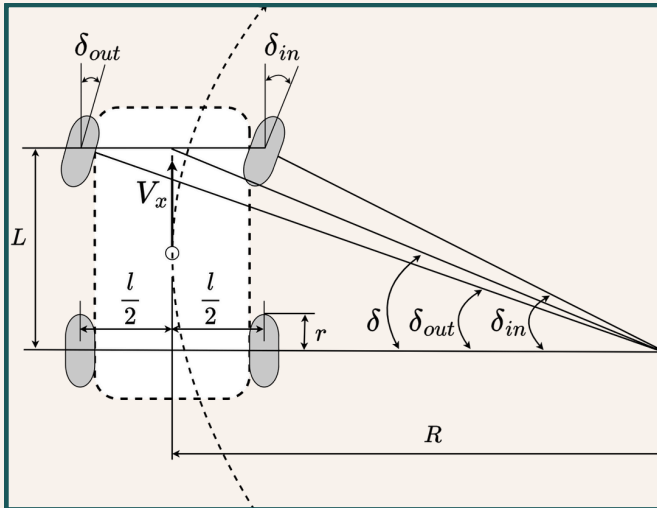
1. Arduino UNO - Unidade de controle
2. Ponte H L298n - Driver dos motores
3. 2 Motorredutores DC 6V - Tração do protótipo
4. 2 Baterias Li-Ion 18650 LG 3,7V 3000mAH - Fonte de alimentação
5. Servo Motor - Atuador de direção
6. FS-IA6B - Receptor do rádio controle
7. Flysky FS-i6 - Rádio remoto
8. 4 Rodas - Pneu de borracha 68 mm
9. Braço de direção - Eixo de direção
10. Chapa de alumínio - Chassi

Protótipo



Fonte: Elaboração do autor (2024)

Geometria de Ackermann



Fonte: Adaptado de Magallán et. al. (2022)

$$\tan(\delta_{in}) = \frac{L}{R - \frac{l}{2}}$$

$$\tan(\delta_{out}) = \frac{L}{R + \frac{l}{2}}$$

$$\delta = \frac{\delta_{in} + \delta_{out}}{2}$$

$$\tan(\delta) = \frac{L}{R}$$

Geometria de Ackermann

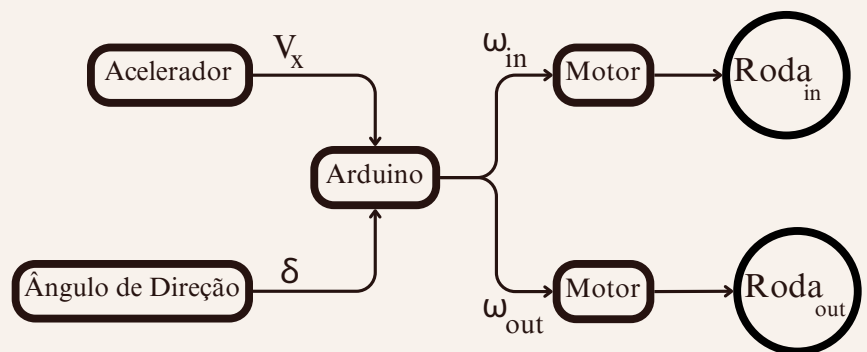
Velocidade da Roda Interna

$$\omega_{in} = \frac{V_x}{r} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\tan(\delta)}{L} \right)$$

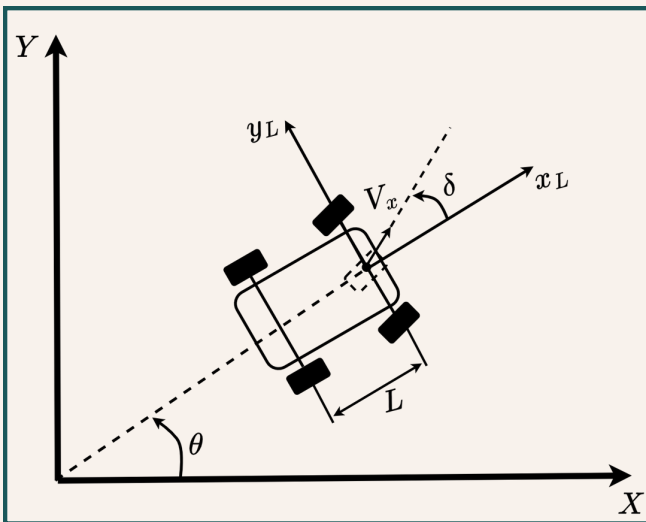
Velocidade da Roda Externa

$$\omega_{out} = \frac{V_x}{r} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\tan(\delta)}{L} \right)$$

Diagrama de Blocos



Coordenadas Locais



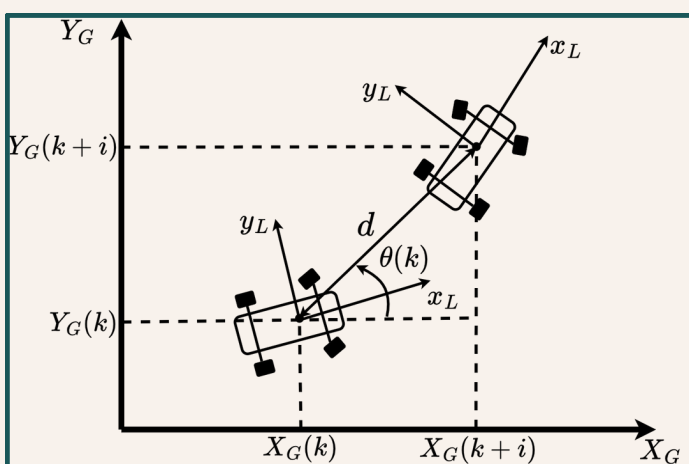
Fonte: Elaboração do autor (2024)

$$\dot{x}(t) = V_x(t) \cdot \cos(\theta(t) + \delta(t))$$

$$\dot{y}(t) = V_x(t) \cdot \sin(\theta(t) + \delta(t))$$

$$\dot{\theta}(t) = \frac{V_x(t) \cdot \sin(\delta(t))}{L}$$

Coordenadas Globais



Fonte: Elaboração do autor (2024)

$$\dot{x}(t) = V_x(t) \cdot \cos(\delta(t))$$

$$\dot{y}(t) = V_x(t) \cdot \sin(\delta(t))$$

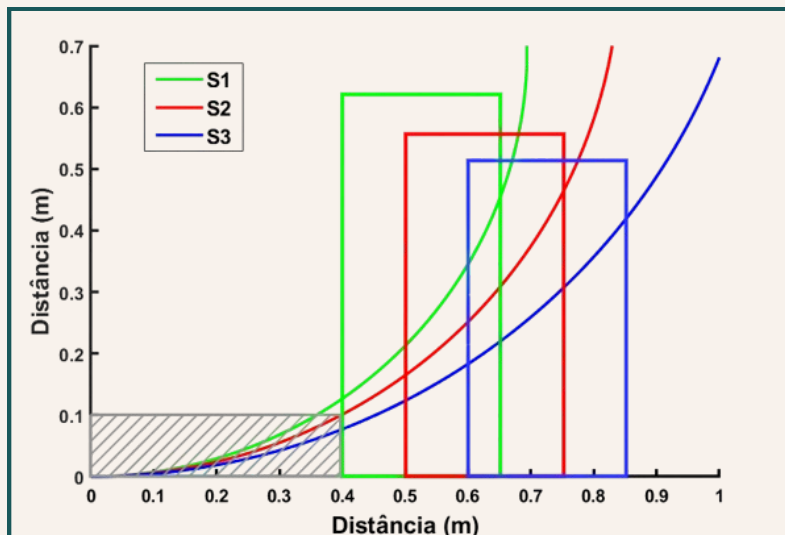
$$d = \sqrt{(x_L(k+i) - x_L(k))^2 + (y_L(k+i) - y_L(k))^2}$$

$$X_G(k+i) = X_G(k) + d \cdot \cos(\theta(k))$$

$$Y_G(k+i) = Y_G(k) - d \cdot \sin(\theta(k))$$

Simulação das Trajetórias

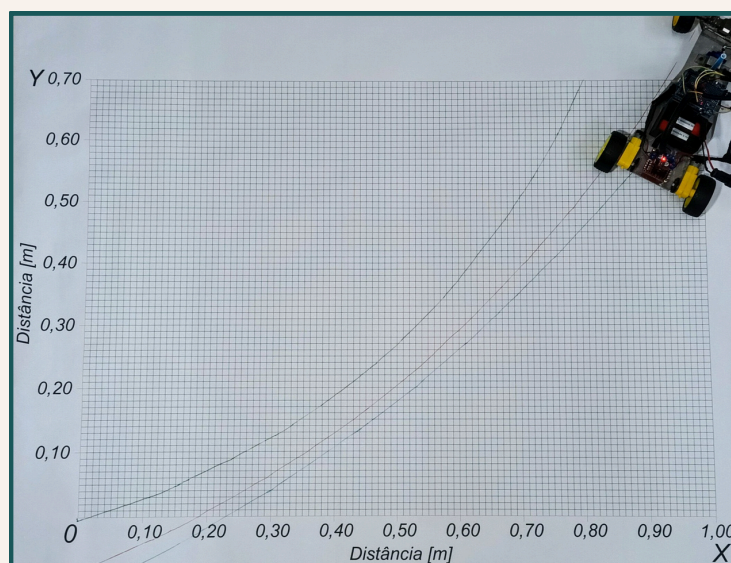
Trajetórias	
S1	$\delta_1 = 22^\circ$
S2	$\delta_2 = 18^\circ$
S3	$\delta_3 = 14^\circ$



Fonte: Elaboração do autor (2024)

Realização do Experimento

Trajetórias	
S1	$\delta_1 = 22^\circ$
S2	$\delta_2 = 18^\circ$
S3	$\delta_3 = 14^\circ$

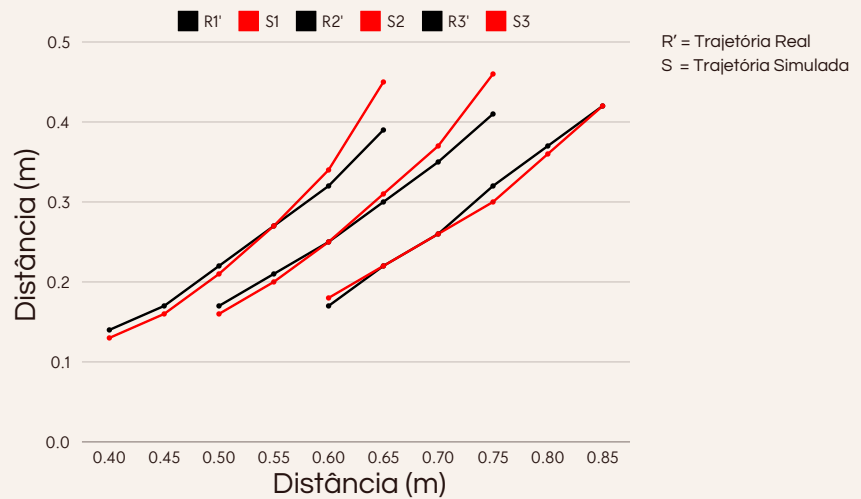


Fonte: Elaboração do autor (2024)

Dispersão das Trajetórias

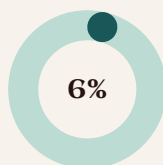
$$RMS_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_{r_i} - Y_{s_i})^2}{N}}$$

$$Y_{r'_i} = Y_{r_i} - RMS_E$$

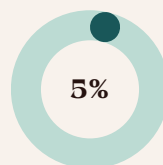


Análise dos Dados

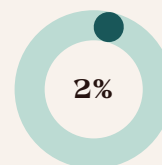
Erros Médios Máximos



Trajetoória 1



Trajetoória 2

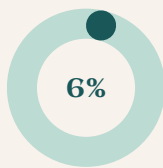


Trajetoória 3

Conclusões

01

Previsibilidade satisfatória



02

Causas de erros



03

Propostas futuras

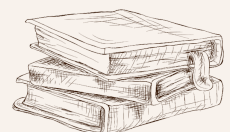
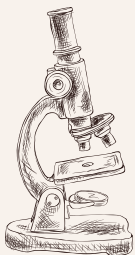
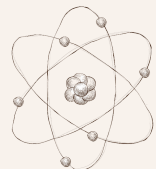


João Pedro P. Pereira

joao.pppe@aluno.ifsc.edu.br

Leandro de M. Sebastião

leandro.medeiros@ifsc.edu.br



ANEXOS

ANEXO A - Folder de chamada do congresso

XXV Congresso Brasileiro de Automática



**CBA
2024**

15 a 18 de outubro



Chamada de artigos

Comitê Organizador

Coordenador Geral:
Marcos Vicente de Brito Moreira

Vice - Coordenadora Geral:
Lilian Kawakami Carvalho

Tesoureiro:
Alessandro Jacoud Peixoto

Responsável pelas inscrições :
Raphael Julio Barcelo

Responsável técnico local :
Gustavo da Silva Viana

Responsáveis pela comunicação :
Felipe Gomes de Oliveira Cabral
Publio Macedo Monteiro Lima

Editor de Anais :
Alessandro Rosa Lopes Zachi

O XXV CBA 2024 é o maior congresso nacional na área de automática e será realizado na cidade do Rio de Janeiro, promovendo a integração das comunidades científicas, acadêmicas e industriais nos tópicos:

- Automação da Manufatura
- Circuitos e Sistemas
- Controle de Processos
- Educação em Tópicos Relacionados
- Eficiência Energética
- Fontes Alternativas de Energia
- Identificação de Sistemas e Ciência de Dados
- Instrumentação Eletrônica e Biomédica
- Máquinas e Acionamentos Elétricos
- Micro-redes e Redes Elétricas Inteligentes
- Metodologias e Materiais em Tópicos Relacionados
- Processamento de Sinais
- Robótica
- Sistemas a eventos discretos
- Sistemas de Armazenamento de Energia
- Sistemas de Automação
- Sistemas Elétricos de Potência
- Sistemas de Rede
- Sistemas Inteligentes
- Sistemas Mecatrônicos
- Teoria de Controle e Aplicações
- Segurança Cibernética

Datas Importantes:

Submissão de Artigos e Minicursos:
até **15/04/2024** 30/04/2024

<https://cba2024.eventos.ufrj.br>

Coordenação:



UFRJ

Apoio:




CEFET/RJ **UFSC**

ANEXO B - Programação do congresso

24/10/2024, 21:20

Program for Thursday, October 17th: Session View

CBA 2024: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA

PROGRAM AUTHORS KEYWORDS SLIDES

PROGRAM FOR THURSDAY, OCTOBER 17TH: SESSION VIEW

Days: previous day next day all days

View: with abstracts talk overview

8:30													
9:00	08:30-10:30 Session 7A Controle Exter nal	08:30-10:30 Session 7B Controle Bas eado em Eve ntos e Acren dizado de Má quina	08:30-10:30 Session 7C Aplicação de tecnologias p ara o ensino e aprendizagem em em Engen haria	08:30-10:30 Session 7D Controle de S istemas Elétr icos de Potên cia	08:30-10:30 Session 7E Planejamento e Tomada de Decisão Inteli gentes I	08:30-10:30 Session 7F Aplicações d e Robótica IV - Robótica M óvel e de Ca mpo. Navega ção e Planeja mento de Rot as.	08:30-10:30 Session 7G Diagnose de falhas em SE I	08:30-10:30 Session 7H Geração Dist ribuída I	08:30-10:30 Session 7I Fontes renov áveis	08:30-10:30 Session 7J Identificação de Sistemas	08:30-10:30 Session 7K Distribuição d e Sistemas El étricos de Pot ência I	08:30-10:30 Session 7L Sessão de P ôster IV	
9:30													
10:00													
10:30													
11:00	10:30-11:00 Coffee Break												
11:30	11:00-12:00 Session Plenária – Ka ren Rudie												
12:00													
12:30	12:00-13:00 Almoço												
13:00													
13:30													
14:00	13:30-14:00 Session Plenária – Cl eyson Mari inho (EMBRA EPI)												
14:30													
15:00	14:30-16:30 Session 8A Eficiência en érgica	14:30-16:30 Session 8B Modelagem, Análise e Sim ulação de SE P III	14:30-16:30 Session 8C Redes Neura is	14:30-16:30 Session 8D Aplicações d e Robótica V - Visão Comp utacional e Pr ocessamento de Imagens, Robótica Móv el e de Camp o	14:30-16:30 Session 8E Controle Su pervisório	14:30-16:30 Session 8F Aplicação de Inteligência A rtificial em SE P III	14:30-16:30 Session 8G Fontes Reno váveis em SE P II	14:30-16:30 Session 8H Identificação de Sistemas: Deep Learnin g	14:30-16:30 Session 8I Distribuição d e Sistemas El étricos de Pot ência II	14:30-16:30 Session 8J Controle com Aplicações e m Veículos A éreatos (Dron e)	14:30-16:30 Session 8K Sessão de P ôster V	14:50-16:30 Session 9 Controle Oti mo II	
15:30													
16:00													
16:30	16:30-17:00 Coffee Break												
17:00													
17:30	17:00-18:40 Session 10A Máquinas elé tricas	17:00-18:40 Session 10B Otimização d e Sistemas El étricos de Pot ência I	17:00-18:40 Session 10C Aprendizagem de Máquina s II	17:00-18:40 Session 10D Aplicações d e Robótica VI - Robótica M óvel e de Ca mpo. Navega ção e Planeja mento de Rot as.	17:00-18:40 Session 10E Aplicações e m automação I	17:00-18:40 Session 10F Transmissão d e Sistemas El étricos de Pot ência I	17:00-18:40 Session 10G Planejamento de Sistemas Elétricos de Potência	17:00-18:40 Session 10H Instrumentaç ão Biomédica II	17:00-18:40 Session 10I Proteção de Sistemas Elé tricos de Potê ncia	17:00-18:40 Session 10J Controle Apl cado a Siste mas com Par âmetros Vari antes no Tem po	17:00-18:40 Session 10K Controle Pre ditivo I	17:00-18:40 Session 10L Sessão de P ôster VI	
18:00													
18:30													
19:00	18:40-19:30 Session Reunião CT 3 - Educação	18:40-19:30 Session Reunião CT 8 - Sistem as de Potênc ia	18:40-19:30 Session Reunião CT 2 - Control e	18:40-19:30 Session Reunião CT 1 - Automaç ão	18:40-19:30 Session Reunião CT 4 - Eletrônic a	18:40-19:30 Session Reunião CT 6 - Instrum entação Elé trônica	18:40-19:30 Session Reunião CT 7 - Robótica	18:40-19:30 Session Reunião CT 9 - Sistem as Inteligen tes	18:40-19:30 Session Reunião CT 5 - Identifi cação de Sist emas				
19:30													
20:00													
20:30													
21:00	19:30-22:30 Jantar de confraternização												
21:30													
22:00													
22:30													

Disclaimer | Powered by EasyChair Smart Program

CBA 2024: XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA

PROGRAM AUTHORS KEYWORDS SLIDES

PROGRAM FOR THURSDAY, OCTOBER 17TH

Days: previous day next day all days

View: session overview talk overview

08:30-10:30 Session 7A: Controle Extremal

CHAIR: Bruno Augusto Araújo

LOCATION: Oceania.10

08:30 Flavio Almeida, Pedro Henrique Coutinho and Tiago Roux Oliveira

Controle Extremal com Equações Diferenciais Parciais de Difusão Distribuídas

ABSTRACT. This paper deals with the extremum seeking control for distributed diffusion partial differential equations (PDEs). To achieve the control objective, we design a compensator for the distributed diffusion PDE via a backstepping-based method, which ensures the exponential stability of the averaged system via Lyapunov-based analysis. Then, by employing the averaging theory for infinite-dimensional systems, we prove that the trajectory converges to a small neighborhood surrounding the optimal point.

08:50 Adriano Brandão and Julio Normey-Rico

Zone Control DMC With Extremum Seeking: A Proposal for Improving Economic Goals

ABSTRACT. This paper presents a novel approach to incorporate economic optimization into industrial control by integrating Zone Dynamic Matrix Control (DMC) with Extremum Seeking (ES) techniques. Zone DMC is employed to manage multivariable constrained processes, particularly for scenarios where maintaining variables within specified ranges is prioritized over precise setpoint tracking. In contrast, ES is utilized to optimize economic objectives without relying on an explicit process model, making it particularly valuable in complex or uncertain systems. The proposed integration leverages the ES algorithm's ability to handle non-linearities and model uncertainties, while Zone DMC provides a structured framework for managing constraints and optimizing economic performance even in the presence of measurement noise. Additionally, avenues for further research, including the development of stopping criteria for the ES controller and its integration with a Real-Time Optimization (RTO) layer, are discussed. Overall, this study showcases the potential of combining advanced control strategies to achieve superior economic outcomes in industrial processes.

09:10 Paulo Henrique Espanholo Biazetto, Gustavo Artur de Andrade, Tiago Roux Oliveira and Miroslav Krstic

Control Extremal com Funções Barreira para a Equação Diferencial Parcial de Stefan

ABSTRACT. Este artigo apresenta o projeto e a análise de um controlador por busca extremal seguro para mapas estáticos com entrada definida por uma equação diferencial parcial (EDP) do tipo difusão, em um domínio espacial variante no tempo cuja posição limite é governada por uma equação diferencial ordinária (EDO) -- conhecido como modelo de Stefan. Para tanto, projetamos um compensador para a EDP com fronteira móvel e um sinal de excitação, resultante da solução do problema de geração de uma senóide na extremidade distal de uma equação de difusão acionada por fronteira, mantendo positiva uma medida de funções de barreira de controle (FBCs). Neste contexto, é possível garantir que, para todas as trajetórias com condições iniciais seguras, os estados permaneçam no conjunto seguro e atinjam o extremo. Este é o primeiro esforço para estender a busca extremal da EDP do calor para a EDP de Stefan com FBCs. Os resultados da simulação são apresentados para ilustrar a eficácia do projeto proposto.

09:30 Paulo Cesar Silva, Paulo Cesar Pellanda and Tiago Roux Oliveira

Control Extremal Distribuído com Perturbações Estocásticas sob Atrasos

ABSTRACT. Este artigo propõe o projeto e análise de um controlador extremal (ESC) distribuído com perturbações estocásticas para conduzir um sistema multiagente a uma fonte desconhecida no espaço bidimensional (2D). Cada agente não possui conhecimento sobre sua própria posição e distribuição do sinal da fonte. Para resolver este problema, foram projetados controladores extremais distribuídos para o sistema multiagente, no qual cada agente carrega um único sensor para medir informações parciais da intensidade do sinal na posição atual e cooperar com seus vizinhos. Prova-se a convergência exponencial local do sistema multiagente a uma pequena vizinhança da origem pela teoria da média estocástica. Além disso, o controle extremal distribuído é aplicado em únicos não holonômicos, introduzindo uma transformação de coordenadas apropriada. Finalmente, um exemplo numérico é apresentado para ilustrar a eficácia do controle extremal distribuído estocástico proposto baseado em preditor para compensação de atrasos.

09:50 Robinson Milson Silva Passosa and Tiago Roux Oliveira

Convergência não enviesada em controle extremal q-trigonométrico adaptado por q-exponencial

ABSTRACT. Os algoritmos de busca extremal clássicos mantêm ativa a busca permanente pela presença de um sinal de perturbação periódico e limitado. Contudo, esta estrutura gera um pequeno viés periódico da saída do mapa a ser otimizado. Neste artigo propomos uma estrutura de algoritmo perturbada por um sinal de excitação adaptativo com amplitude monotonicamente decrescente por meio da q-trigonometria de Borges. Essa estrutura resolve de maneira simples as divergências do ganho de adaptação crescente em outras abordagens da literatura existente, enquanto gera resultados equivalentes em relação aos viés de convergência do sinal de saída do mapa a ser otimizado sem adoção de hyperbolic chirps. Além disso, a metodologia proposta tem como casos particulares o controle extremal clássico e controle extremal não enviesado.

10:10 Henrique Caballero Masquillo, Antonio Coudumbi Neto, Bruno Augusto Araújo e Amanda Antonio Maria Laguna

Combined Algebraic Estimator and Extremum Seeking for Estimation of Tire Force and Optimal Slip Ratio

ABSTRACT. This paper presents an optimal adaptive method for slip ratio optimization in electric vehicles using extremum seeking. The extremum seeking algorithm tracks the optimal slip ratio value that maximizes the tire longitudinal force, which is observed using algebraic estimation. Firstly, a wheel slip control based on a gain-scheduled proportional-integral-derivative controller is proposed. A linearized slip ratio model is developed and utilized to allocate the desired control dynamics, defining the control gains as functions of vehicle speed. Secondly, an algebraic estimator is employed to estimate the longitudinal force applied to the tire, utilizing a gray-box model of the wheel dynamics. Finally, the extremum seeking optimization method is applied to maximize the longitudinal force, a gain dependent on the vehicle speed is proposed to account for disturbances caused by road roughness and imperfections. The results of this application are validated using the CarSim automotive simulator, along with MATLAB/Simulink. The effectiveness of the implemented method is demonstrated for the study case.

08:30-10:30 Session 7B: Controle Baseado em Eventos e Aprendizizado de Máquina

CHAIR: Lutz Basso

LOCATION: Flórida

08:30 Vitor Guimarães Furtado and João Viana de FONSECA Neto

Controlador Ator-Crítico para Manobrabilidade de um USV baseado em DLQT-I e Programação Dinâmica Heurística Dependente de Ação

ABSTRACT. Os derampermentos de derivados do patêrio provocam problemas de degradação ambiental, socioeconômicos e danos à saúde humana. Em decorrência das dificuldades relacionadas ao monitoramento desses eventos em grande áreas, a utilização de veículos aquáticos de superfície não tripulados (USV) tornou-se imprescindível para essa tarefa. O emprego dessas dispositivos necessita de instrumentização com sensores de qualidade da água e do desenvolvimento de capacidades avançadas de orientação, navegação e controle (GNC). As perturbações relacionadas à manobrabilidade do USV, como ondas, ventos e correntes oceânicas, exigem que sejam consideradas, no projeto do sistema de controle. Técnicas que rejeitam as incertezas e variações paramétricas na planta. Neste trabalho é proposto uma abordagem utilizando Programação Dinâmica Adaptativa (PDA) e aprendizado por reforço para o projeto online de um sistema de controle ótimo aplicado para manobrabilidade de um USV completamente atuado. O sistema de controle proposto é baseado em um Discrete Linear Quadratic Tracking com ação integral (DLQT-I), que a solução do controle ótimo é calculada de forma online via Programação Dinâmica Heurística Dependente de Ação (ADHDP) a partir de dados de entrada e saída do sistema.

08:50 Miguel Rodrigues, Luis F. P. Silva and Valter Leite

Gerador de Eventos para Minimização de Transmissões em Sistemas LPV Saturantes

ABSTRACT. Neste trabalho é proposta uma estratégia para a síntese de mecanismos geradores de evento visando a minimização de transmissões de sinais via rede de dados. A aplicação considera sistemas discretos no tempo, com atuadores saturantes e parâmetros lineares variantes no tempo (LPV). O sistema saturante LPV é controlado por realimentação de estado com ganho dependente de parâmetros e comunicação via rede. Um critério de erro entre os parâmetros do controlador e do sistema é usado para novas transmissões. O diferencial da abordagem está na otimização direta do critério de transmissão, que em métodos (convexos) tradicionais é feito de maneira indireta. Para isso, são apresentados algoritmos em etapas de certificação convexa, capazes de produzir melhores geradores de eventos. Na etapa não-linear utiliza-se o método de otimização diferencial evolutivo. Experimentos computacionais foram realizados para avaliar o desempenho da abordagem proposta utilizando um sistema LPV sujeito a saturação de entrada, ilustrando a eficácia da proposta.

09:10 Cristiano Lisboa, Jefferson Vieira Flores, Luciano Gonçalves Moreira and João Manoel Gomes da Silva Jr.

Control baseado em eventos para sincronização de sistemas Lur'e com saturação e distúrbios

ABSTRACT. Este artigo apresenta novas condições para sincronização prática local de sistemas Lur'e de tempo discreto sujeitos a perturbações persistentes usando controle saturado baseado em eventos. Seguindo uma abordagem de co-design, derivamos condições suficientes na forma de desigualdades matriciais lineares para garantir estabilização prática local em relação a um conjunto de estados iniciais e de perturbações admissíveis. Então, lançamos essas condições em um problema de otimização convexa para calcular de forma otimizada o controlador e o gerador de eventos visando reduzir o número de disparos em relação a uma implementação time-triggered. Um exemplo numérico ilustra a metodologia proposta.

09:30 Anderson Encarnação, Pedro Henrique Silva Coutinho, Rogan Medeiros and Lutz Basso

Control Baseado em Eventos de Conversores CC-CC com Cargas de Potência Constante

ABSTRACT. Microrredes (MRs) elétricas de Corrente Contínua (CC) se apresentam como solução inovadora para a gestão energética, com geração distribuída e armazenamento local. No entanto, desafios no controle e integração dos recursos energéticos exigem novas tecnologias. Este artigo propõe uma condição suficiente para o projeto de estratégias de controle baseadas em eventos, utilizando a abordagem por co-design para conversores CC-CC Buck e Boost conectados a Cargas de Potências Constantes (CPLs). A metodologia visa reduzir o número de eventos gerados, garantindo a estabilidade e o desempenho dos conversores, otimizando a eficiência e a confiabilidade das MRs de CC.

ABSTRACT: In this paper, Volt-VAr control in unbalanced four-wire medium voltage distribution network is performed. The objective is to minimize power losses in the distribution network by allocating capacitors and adjusting TAPs of the voltage regulators installed. Reactive power and unbalance cause power losses in unbalanced network. In this paper, a capacitor allocation by ideal compensation method and capacitor banks with ideal tap and tap changer are used to regulate the voltage within the allowed range. Tests are performed for IEEE 34 bus unbalanced network with rated load and unbalanced load condition. The results of the method used present a greater reduction in power losses and compensation for losses in the neutral conductor in relation to the base case and in relation to the balanced capacitor bank allocation.

09:50 [Vivian Ferreira](#) and [Carolina Afonso](#)

Análise Probabilística do Controle Volt-Watt em uma Rede de Distribuição Residencial

ABSTRACT: Este artigo avalia de forma probabilística a eficácia do controle Volt-Watt presente nos inversores para regulação da tensão em uma rede de distribuição de baixa tensão com elevada penetração de geração fotovoltaica. A simulação de Monte Carlo é utilizada para considerar as incertezas presentes na demanda residencial e na irradiação solar utilizando dados de medições reais. Além disso, o estudo considera a obtenção dos ganhos de realimentação de estados usando a teoria de estabilização de Lysapunov-Metzier otimizada por controle Volt-Watt reduziu a probabilidade de ocorrência de sobretensões na rede, além de reduzir as perdas técnicas.

10:10 [João Marcelino Sousa Filho](#), [Francisco Luis Carvalho Costa](#), [Roberta Rafaela Torres Alves](#), [Marcus Vinícius Silveira Costa](#) and [Eugenilson V. Fontes](#)

Controle Chaveado Aplicado ao SMIB-MSC via Desigualdades Matriciais Lineares

ABSTRACT: Este artigo propõe a aplicação do controle chaveado via desigualdades matriciais lineares (LMIs) ao Single Machine Infinite Bus System (SMIB) para garantir a estabilidade sobre o efeito de oscilações eletromecânicas de baixa frequência. No estudo, são consideradas variações paramétricas na carga do sistema, bem como uma perturbação externa na forma de um aumento na potência de entrada mecânica no eixo do gerador. Além disso, o estudo considera a obtenção dos ganhos de realimentação de estados usando a teoria de estabilização de Lysapunov-Metzier otimizada por desigualdades matriciais lineares. Os resultados demonstram que o controlador proposto estabilizou o sistema SMIB de malha fechada em todos os pontos de operação. Para trabalhos futuros, é necessário um projeto de alocação eficiente dos polos de malha fechada para cumprir os critérios de pequenas perturbações.

08:30-10:30 Session 7E: Planejamento e Tomada de Decisão Inteligentes I

CHAIRS: [Valdir Grassi Junior](#) and [Danton Diego Ferreira](#)

LOCATION: [Oceania 3](#)

08:30 [Lourival Melo](#) and [Lucas Batista](#)

Energy optimization in multi-fuel combustion systems

ABSTRACT: This work addresses the energy optimization of a multi-fuel system based on environmental and economic paradigms. To achieve this, a multi-objective linear mathematical programming modeling is proposed, enabling optimal solutions for the problem. Additionally, a dedicated multi-criteria decision aid strategy is suggested to support decision-making. This strategy considers specific commercial attributes of the problem using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The proposed global tool proved to be of great value for identifying solutions with low environmental impact, becoming essential for companies that want to be more efficient and competitive in the market.

08:50 [Thommas Flores](#), [Morsinaldo Medeiros](#), [Marianne Silva](#) and [Ivanovitch Silva](#)

Integrando TinyML em Veículos Flex: Novas Perspectivas para Eficiência Energética e Controle de Poluentes

ABSTRACT: Na indústria automotiva, a crescente demanda por eficiência energética e redução de emissões de CO2 torna os veículos flex uma alternativa promissora, apesar dos desafios na otimização de sua eficiência e minimização de emissões. Este estudo propôs uma metodologia baseada em aprendizado de máquina para a eficiência nas rodas por emissão de CO2, utilizando algoritmos como Decision Tree, Random Forest e Multilayer Perceptron em um sistema de diagnóstico veicular voltado para TinyML. O Decision Tree destacou-se pelo menor tempo de inferência (4 us), menor consumo de energia (248.02 mW) e erro absoluto médio de 0,30, enquanto o Random Forest teve o menor tempo de compilação 46 s e menor uso de RAM 23496 bytes. O MLP Float32, por sua vez, apresentou a maior precisão, com um MAE de 0,27. Esses resultados indicam que, embora existam compensações entre tempo de inferência, consumo de energia e precisão, os modelos Decision Tree e Random Forest mostram-se especialmente promissores para sistemas embarcados onde a eficiência energética e o uso de recursos são cruciais.

09:10 [Franklin Cardozo Fernandez](#) and [Wouter Claids](#)

Machine Translation Models for Structured Query Construction from Natural Language Queries: A Case Study

ABSTRACT: This study presents a comparison of structured query construction methods from natural language queries for custom proprietary data. We implemented three machine translation methods: traditional machine learning, recurrent neural networks (RNN) with LSTM modules, and a popular large language model (LLM). We evaluate their performance across a synthetic dataset built with proprietary data through different experiments, aiming to identify the strengths and weaknesses of each model, providing insights into their behaviours and effectiveness in terms of practical implementations. The results of this comparative study can facilitate informed decision-making for researchers and practitioners in natural language processing. In this case study, LLMs had a somewhat higher accuracy than RNNs, but at a high additional computational cost.

09:30 [Denais Delfino](#), [Renan Delfino](#), [Marcelo Volpato](#), [Vânia Silva](#), [Christiano Mátos](#), [Márcio Santos](#) and [Danton Ferreira](#)

Análise e Modelagem de Variáveis Espectrais para Estipular o Estado Hídrico de Cafés

ABSTRACT: O potencial hídrico é um importante indicador utilizado para estudar as condições hídricas nas plantas, pois reflete o nível de hidratação de seus tecidos. Existem diferentes variáveis numéricas que descrevem as propriedades das plantas e que podem ser adquiridas a partir da reflectância foliar. Neste estudo, o objetivo é explorar variáveis espectrais para estimar o potencial hídrico em cafés, utilizando ferramentas de inteligência computacional. Ademais, os dados apresentam dois grupos de manejo da lavoura, irrigado e sequeiro. Foram implementadas quatro técnicas de Machine Learning: Rede Neural Artificial tipo MLP (Multi-Layer Perceptron), Árvore de Decisão, Random Forest e KNN (K-Nearest Neighbor). Foram implementados para as quatro técnicas dois métodos distintos, estimação e classificação. Os resultados expõem que as redes neurais artificiais foram superiores em ambos os métodos de estimação e classificação.

09:50 [Thayza Melo](#), [Luciana Almeida](#) and [Juan Lazo](#)

Otimização de Controle Estrutural em Turbinas Eólicas Offshore Flutuantes do Tipo Barcaça Através de Computação Evolucionária

ABSTRACT: Offshore wind turbines have the potential to transform electricity production. Floating platforms have been developed to generate profitable and efficient energy in deep waters, but still face significant challenges. This work proposes the use of evolutionary computation to optimize passive structural control techniques in floating barge-type wind turbines, aiming to mitigate pendular loads. Control devices, such as Tuned Mass Dampers (TMDs), are analyzed in the FAST-SC simulator. Optimization uses the standard deviation of lower fatigue as a fitness function. The optimization seeks to improve TMD performance, limiting the stroke to the nacelle.

10:10 [Valéria Ribeiro](#), [Elisa Guedes](#) and [Carlos Maurício Figueiredo](#)

A Digital Twin-Based Framework for Smart Spaces

ABSTRACT: This work addresses a gap in the literature in the field of customizable smart space solutions by proposing an extensible and versatile framework based on digital twins -- virtual representations of physical objects, processes, or systems. The framework maps virtual and conceptual objects with IoT and retrofit, using three abstraction levels: physical, virtual, and external network. The proposal allows performing actions on physical objects from their digital twins and monitoring external variables. A proof of concept validated the framework in a laboratory with open source and free technologies.

08:30-10:30 Session 7F: Aplicações de Robótica IV - Robótica Móvel e de Campo, Navegação e Planejamento de Rotas.

CHAIR: [Mário Sarcinelli-Filho](#)

LOCATION: [Oceania 4](#)

08:30 [Hélio Batista](#), [Thayron Hudson](#), [Kevin Carvalho](#) and [Alexandre Brantão](#)

Multi-Goal Robot Path Planning Based on Q-Learning for Library Logistics

ABSTRACT: This paper presents a solution for dealing with the organization of books during periods of high demand, such as assessment weeks, at the library of the Federal University of Viçosa. During these periods, library staff face an increased workload due to borrowing, returning, collecting and storing books. In this scenario, we propose a solution based on Q-Learning to visit strategic points in the library in order to improve staff performance. To validate the proposed approach, a comparison was made between the proposed approach in simulation and a greedy method based on Dijkstra's algorithm. The results showed that the proposed approach outperformed the greedy-Dijkstra algorithm in terms of planning time and number of turns, with a 20% reduction in the number of turns and a planning time at least twice as fast. The success rate was 100% for completing the distribution task, demonstrating the system's applicability in the proposed scenario.

08:50 [Renato Junior](#), [Luciano Quaresma](#), [Mário Torres](#), [Mateus Coelho](#), [Igor Coimbra](#), [Marcos Reis](#), [Luiz Barros](#), [Guilherme Passini](#) and [Gustavo Freitas](#)

Implementação de um sistema de resposta tático por meio de sensores nanoestruturados para assistência à operação em robótica móvel

ABSTRACT: Veículos inteligentes e robôs autônomos de serviço podem se beneficiar com informações sobre a interação entre seus sistemas de locomoção e o terreno percorrido, possibilitando otimizar a mobilidade em ambientes complexos. Um dispositivo robótico terrestre de serviço pode apresentar dificuldades de locomoção causadas por irregularidades do terreno percorrido. Estes empêchitos poderiam ser contornados caso informações sobre a identificação e estimação de forças de contato estivessem disponíveis. Neste contexto, este artigo propõe um método de sensoriamento utilizando sensores revestidos com nanotubos de carbono aplicados em uma nova roda e pneu desenvolvidos para um dispositivo robótico de serviço. No caso o Espeleorobô do Instituto Tecnológico Vale (ITV), buscando detectar o contato do sistema de locomoção por meio da deformação sofrida pela interação com o terreno. O sistema é composto por um pneu de acionamento, componente de fixação e sensor nanoestruturado, instalados num tanbur de roda anexado a um pneu de estrutura flexível sem ar, fabricados por manufatura aditiva. Este artigo apresenta a concepção, desenvolvimento e implementação dos protótipos mecânico e eletrônico do sistema, além de algoritmos de medição e comunicação, mais a caracterização, montagem e calibração dos sensores embarcados. Os resultados preliminares demonstram o potencial do sistema em fornecer informações úteis para a análise e controle de tração do robô em operações de campo.

09:10 [Mauro Sérgio Moreira](#), [Daniel Kleide Dourado Villa](#) and [Mário Sarcinelli-Filho](#)

Controle Baseado em Espaço Nulo Usando Modo Deslizante para uma Formação de VANTs

ABSTRACT: Este artigo propõe um controlador combinando espaço nulo e controle por modo deslizante para guiar uma formação de dois VANTs (veículos aéreos não tripulados) carregando uma carga suspensa por cabo, levando a carga até uma posição desejada. Duas subtarefas organizadas hierarquicamente são consideradas: manter a forma da formação, a prioridade, e mover a formação para a posição desejada (tarefa secundária). A carga transportada pelos VANTs exerce uma força empurrando cada VANT contra o outro, perturbando assim o sistema. Manter a forma da formação é a

prioridade visando evitar isso. A arquitetura de controle envolve um laço cinemático para a formação e um compensador dinâmico para cada VANT, baseado em modo deslizante, com o objetivo de rejeitar perturbações. A base para isso é o paradigma da estrutura virtual, com o controlador baseado no espaço nulo realizando o controle da formação, gerando referências de velocidade para os dois VANTs, aos quais são adicionados compensadores dinâmicos baseados em modo deslizante. Resultados experimentais mostram que o controlador proposto conduz de maneira segura o sistema VANT-VANT- carga, com a carga chegando ao ponto desejado com pequenos erros.

09:30 [João Pedro Pinheiro Pereira](#) and [Leandro de Medeiros Sebastião](#)
Estudo de um Sistema de Diferencial Elettrônico para um Protótipo em Pequena Escala de Tração Individual nas Rodas Traseiras

ABSTRACT: O artigo descreve o desenvolvimento de um protótipo em pequena escala com tração individual nas rodas traseiras, focando na implementação de um Sistema de Diferencial Elettrônico (SDE) para coordenar os motores e permitir velocidades independentes em curvas. Utilizando um Arduino como unidade de controle, e criando um protótipo em escala reduzida de quatro rodas, pode a gestão da velocidade das rodas é feita pelo algoritmo de Ackermann, simulado no software Matlab. Este estudo visa comparar a trajetória simulada com resultados experimentais, obtidos ao registrar a trajetória do protótipo em uma folha com eixos métricos, utilizando canetas de cores diferentes para marcar as trajetórias em três etapas distintas, com dições estercaadas específicas. O estudo tem foco na análise do erro relativo entre os pontos simulados e os obtidos experimentalmente com o protótipo. Como resultado dos ensaios, obteve-se um erro médio máximo de 5%, o que atesta a preditibilidade da trajetória do veículo quando utiliza-se o algoritmo de Ackermann.

09:50 [Sofia Campos](#), [André Cid](#), [Michel Bessani](#) and [Gustavo Freitas](#)

Análise de ajuste de modelos de cobertura de sinal de rádio para experimentos indoor com múltiplos robôs

ABSTRACT: As robotic applications in complex environments, such as indoor and confined spaces, continue to increase, effective communication among mobile robots is a critical factor. It is essential to model the signal transmitted between them and analyze the factors influencing its quality. This article focuses on the analysis and adjustment of radio signal coverage models in indoor environments using multiple robots. By employing an algorithm that divides the environment into regions and determines the most suitable radio propagation model for each region, this article aims to improve the estimation of signal loss under various environmental conditions. Experimental data were collected through tests using mobile robots in corridor-like environments. The results indicate that the TwoRay model proved to be more efficient in representing radio signal power loss along the path for samples closer to the transmitting antenna within a radius of 10m. Additionally, the LogNormal and LogNormal Shadowing models demonstrated greater efficiency at greater distances for the two tested databases.

10:10 [André Cid](#), [Maurício Sathler](#), [Amanda Neto](#), and [Gustavo Freitas](#)

Análise de funções de recompensa para planejamento de caminho de robôs móveis com aprendizado por reforço visando a otimização de comunicação

ABSTRACT: A comunicação é uma das áreas mais críticas nas operações dos robôs, principalmente para planejar operações em ambientes como plantas de produção, ambientes industriais e até mesmo locais que apresentam risco à saúde e segurança. Manter uma conexão constante entre o robô e a base garante que operações como coleta de dados e controle de robôs decorram sem desperdício, reduzindo o risco de falhas e a necessidade de resgate do robô. Assim, esse trabalho propõe um planejador de caminhos que tente maximizar a conexão entre robô e antenas transmissoras, garantindo que o robô permaneça dentro da área de comunicação. Para isso, foram utilizados o Reinforcement Learning e o Simulated Annealing. São utilizados dois métodos para recompensar o robô com base na potência do sinal de rádio com o intuito de analisar quais desses métodos apresentaram melhor resultado sendo que o método que divide a potência do sinal de rádio em três faixas (sinal ideal, sinal mediano e sinal ruim) apresentou melhor resultado.

08:30-10:30 Session 7G: Diagnose de falhas em SED

CHAIR: [Gustavo S. Viana](#)

LOCATION: Oceania 5

08:30 [Thiago Monteiro Tuci](#), [Lilian Kawakami Carvalho](#), [Eduardo Vieira Leão Nunes](#) and [Antônio Eduardo Carrilho da Cunha](#)

Diagnose de falhas usando observação parcial de ações e proposições atômicas

ABSTRACT: Diagnose de falhas é um assunto relevante na literatura de sistemas a eventos discretos, enquanto alguns trabalhos exploram usando uma abordagem de modelagem de abstração de eventoção, enquanto outros exploram usando uma abordagem de abstração de estado. Propomos uma abordagem que considera a observação parcial tanto de ações quanto de proposições atômicas. Para lidar com essa nova abordagem, redefinimos a equivalência de traços com relação ao *textit{gluttering}*, considerando a observação parcial de ações e proposições atômicas. Com esses resultados, fornecemos uma nova definição de diagnosticabilidade. Finalmente, fornecemos um algoritmo utilizando técnicas de *textit{model-checking}* para verificar a diagnosticabilidade usando uma fórmula LTL.

08:50 [Márcia Martins](#), [Mayara Helena](#), [Giovanna Siqueira](#), [Matheus Felipe Ayello Leite](#) and [Yana Lopes](#)

Monitoramento e Modelagem de Dados da IEC 61850 em Plantas Industriais: Estudo de Caso

ABSTRACT: Diante das necessidades de aquisição de dados precisos em tempo real e da otimização das plantas industriais, o objetivo geral do artigo, busca propor um modelo de monitoramento integrado de processos industriais e instalações elétricas baseado na utilização da norma IEC 61850. A partir da condução do processo de pesquisa, foi possível concluir a possibilidade de expansão da modelagem de dados da IEC 61850 no setor industrial.

09:10 [Gulherme Ottoni](#) and [João Carlos Basilio](#)

Diagnosticabilidade de falhas repetidas de sistemas a eventos discretos com estrutura descentralizada

ABSTRACT: Este artigo estende os resultados existentes sobre diagnosticabilidade de falhas repetidas de um sistema a eventos discretos monolítico a sistemas com estrutura descentralizada. Para tanto, foi introduzida a definição de codiagnosticabilidade-k, que consiste basicamente em assegurar que a observação de falhas repetidas em um sistema a eventos discretos monolítico seja suficiente para a codiagnosticabilidade-k. Para tanto, foi introduzida a definição de codiagnosticabilidade-k, que consiste basicamente em assegurar que a sua verificação em sistemas a eventos discretos modelados por linguagens regulares. O algoritmo proposto é baseado em um autômato verificador e, por isso, possui complexidade computacional polinomial.

09:30 [Caio Lacosta](#), [Diego Libanio](#), [Gustavo Viana](#) and [Marcos Moreira](#)

Deteção de falhas descentralizada em uma planta mecatrônica usando modelos identificados

ABSTRACT: No contexto da indústria 4.0, o desenvolvimento de métodos para detecção eficaz de falhas é vital para o funcionamento eficaz e seguro de um sistema. Recentemente, técnicas de identificação de Sistemas a Eventos Discretos (SEDs) com o objetivo de detectar falhas foram propostas na literatura. A identificação de SEDs consiste em computar um modelo monolítico capaz de simular o comportamento observado livre de falhas gerado pelo sistema. Assim, uma falha é detectada quando é observada uma discrepância entre a evolução do sistema e a estimativa do modelo. Entretanto, quando as informações do sistema são distribuídas, é necessário implementar uma arquitetura de diagnóstico de falhas descentralizada, na qual os diagnosticadores locais são construídos com base em suas próprias observações. Dessa forma, neste artigo é proposta uma arquitetura descentralizada de detecção de falhas usando modelos identificados. Como exemplo motivador, um sistema de uma planta mecatrônica com controle descentralizado é estudado e utilizado para testar o método proposto. O formalismo utilizado para representar os modelos locais de cada subsistema da planta é o modelo de autômato determinístico com saídas e transições condicionadas (DAOCT), recentemente proposto na literatura, cujos eventos são computados como alterações nos sinais de entrada e saída do controlador do sistema. Por fim, são simuladas falhas intermitentes e permanentes nos equipamentos do sistema proposto para verificar a eficiência do método proposto em detectar falhas.

09:50 [Marcos Alves](#), [Carlos Nunes](#), [Paulo Ferrari](#), [Dennis Brandão](#), and [Marcos Moreira](#)

Diagnose de falhas resiliente a atrasos de observação em Sistemas a Eventos Discretos em Rede utilizando sequence numbers

ABSTRACT: Visando reduzir os custos de implementação e manutenção, redes de comunicação são utilizadas em Sistemas a Eventos Discretos em rede (SEDR). Tornecendo uma maneira eficiente de estabelecer comunicação entre vários dispositivos de planta. Em muitos casos são usadas redes mesh multi-saídas, como em redes de sensores sem fio, com retransmissões devido à degradação da rede, levando a atrasos na comunicação e, consequentemente, à observação de eventos em uma ordem diferente das suas ocorrências no sistema. Neste trabalho, o problema de diagnose de falhas de SEDR resiliente a atrasos de observação em redes de comunicação é abordado. É considerado que cada evento é comunicado com seu sequence number, e é mostrado como o sequence number pode ser usado para melhorar a capacidade de diagnose de falhas na presença de atrasos de comunicação, sem a necessidade de reordenar a sequência de eventos de acordo com o sequence number.

10:10 [Christiano H. Bezante](#), [Gustavo S. Viana](#) and [João C. Basilio](#)

Algoritmo baseado na busca de componentes fortemente conexos para verificação de diagnosticabilidade com intervalo de tempo

ABSTRACT: Recentemente, o problema de diagnóstico de falhas em sistemas a eventos discretos foi expandido para a classe de sistemas a eventos discretos temporizados por intervalos, uma classe de sistemas a eventos discretos em que um único clock controla o tempo decorrido entre ocorrência de eventos. O formalismo do modelo utilizado para lidar com sistemas cujos comportamentos são expressos em termos de linguagens regulares é o tfo chamado autômato temporizado por intervalos. Em um trabalho anterior, foi proposto um método de verificabilidade de diagnosticabilidade inspirado no diagnosticador proposto por Sampath et al. (1995), portanto, baseado na busca por ciclos indeterminados no diagnosticador e os correspondentes ciclos de estados Y-certos e N-certos no autômato rotulado; portanto, tal diagnosticador não possui informações necessárias para garantir se um ciclo observado de estados incertos é um ciclo indeterminado. Adicionalmente, a complexidade computacional de encontrar ciclos é potencialmente pior que exponencial no número de estados, o que torna esta abordagem bastante limitada. Neste artigo, é proposto um novo autômato de teste baseado em diagnosticadores para verificar a diagnosticabilidade de um sistema a eventos discretos temporizado por intervalos inspirado no proposto em Viana e Basilio (2019), que recorre à busca por componentes fortemente conexos (SCO) e, assim, possui no pior caso um custo computacional linear no número de transições do autômato de teste.

08:30-10:30 Session 7H: Geração Distribuída 1

CHAIRS: [Ricardo Oliveira](#) and [John B. A. London Jr.](#)

LOCATION: Oceania 6

08:30 [Eudemia Graciana da Souza Dias](#), [Adriano Ribeiro Ferreira](#), [Julio Cesar de Souza E Silva](#), [Juliana Lopes Tanus Soares](#), [José Eduardo Pereira da Silva](#) and [Gustavo Machado Goulart](#)

Perspectivas futuras e aplicação em campo da geração distribuída para a compensação de reativos na rede elétrica

ABSTRACT: A rede elétrica brasileira vem enfrentando problemas com a evolução do consumo de energia elétrica e o aumento da inserção de geração renovável. Manter a qualidade de energia fornecida tornou-se um desafio e soluções de suporte à rede precisam ser contempladas para manter os níveis de estabilidade e confiabilidade. Um problema comum associado à geração distribuída é a compensação de reativos, que pode ser realizada por meio de bancos de capacitores ou compensadores síncronos. Porém, a compensação de reativos por meio de fontes renováveis apresenta desafios adicionais. Portanto, neste trabalho, é proposta a implementação da geração distribuída para a compensação de reativos, por meio dos inversores fotovoltaicos. Nesse sentido, esse trabalho objetiva apresentar a implementação da geração distribuída fotovoltaica como proposta para fornecimento de serviço de suporte à rede e validar por meio de testes práticos, em um sistema real, o impacto que essa solução pode trazer dentro das necessidades atuais do sistema elétrico brasileiro.

08:50 [Rafael Eduardo Fardán Canahua](#), [Daniel Ferreira Lima](#) and [José Carlos de Melo Vieira Junior](#)

A Simulated Annealing-based Method to Minimize Voltage Deviations in Distribution Systems with Distributed Generators

24/10/2024, 21:17

Talk 5493



CBA 2024 (program author) -

PROGRAM

Congresso Brasileiro
de Autômática
2024[Docs](#) / [Log out](#)

My Talk	My Profile	All Talks	Sessions	Schedule	Help	Conference	News	Alerts	EasyChair
---------	------------	-----------	----------	----------	------	------------	------	--------	-----------

Talk 5493

This talk has slides published on the EasyChair Smart Slide pages. To **view published slides** click on "Published slides" in the upper right corner.

If you wish to **update these slides** click on "Update slides".

This talk has an associated preprint submitted for publishing in EasyChair Preprints. To **access or update** this preprint, click on "Update preprint" in the upper right corner.

The talk information cannot be modified.

[Published slides](#)
[Update slides](#)
[Update preprint](#)

Talk

Title	Estudo de um Sistema de Diferencial Eletrônico para um Protótipo em Pequena Escala de Tração Individual nas Rodas Traseiras
Authors	João Pedro Pacheco Pereira and Leandro de Medeiros Sebastião
Abstract	O artigo descreve o desenvolvimento de um protótipo em pequena escala com tração individual nas rodas traseiras, focando na implementação de um Sistema de Diferencial Eletrônico (SDE) para coordenar os motores e permitir velocidades independentes em curvas. Utilizando um Arduino como unidade de controle, e criando um protótipo em escala reduzida de quatro rodas, onde a gestão da velocidade das rodas é feita pelo algoritmo de Ackermann, simulado no software Matlab. Este estudo visa comparar a trajetória simulada com resultados experimentais, obtidos ao registrar a trajetória do protótipo em uma folha com eixos métricos, utilizando canetas de cores diferentes para marcar as trajetórias em três etapas distintas, com direções esterçadas específicas. O estudo tem foco na análise do erro relativo entre os pontos simulados e os obtidos experimentalmente com o protótipo. Como resultado dos ensaios, obteve-se um erro médio máximo de 5%, o que atesta a preditibilidade da trajetória do veículo quando utiliza-se o algoritmo de Ackermann.
Author keywords	Sistema de Diferencial Eletrônico Protótipo em Pequena Escala Algoritmo de Ackerman Modelo Cinemático Sistema de Coordenadas
Number	5493
Two-session	no
Session	ZF : Aplicações de Robótica IV - Robótica Móvel e de Campo, Navegação e Planejamento de Rotas.
Session chair	Mario Sarcinelli-Filho
Date	2024-10-17
Time	09:30
Duration (minutes)	20
Slides in PDF	
Slides source files	missing
Published slides	
Scheduling remarks	

Authors

First name	Last name	Email	Country	Affiliation	Web page	Corresponding
João Pedro	Pacheco Pereira	joaopedrogrb@gmail.com	Brazil	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC		yes
Leandro	de Medeiros Sebastião	leandro.medeiros@ifsc.edu.br	Brazil	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina - IFSC		yes