

# Engenharias, Ciência e Tecnologia 4

Luís Fernando Paulista Cotian  
(Organizador)



**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Luís Fernando Paulista Cotian**

(Organizador)

# **Engenharias, Ciência e Tecnologia**

## **4**

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 4 [recurso eletrônico] / Organizador  
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena  
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-087-2

DOI 10.22533/at.ed.872193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.  
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de  
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos  
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume IV apresenta, em seus 29 capítulos, conhecimentos relacionados a Modelagem, Análise e Simulação relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Programação Matemática, Decisão Multicriterial e Teoria da Decisão e Teoria dos Jogos.

A área temática de Modelagem, Análise e Simulação trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam na tomada de decisão, desde a modelagem e simulação até a análise dos resultados envolvendo assuntos relacionados a engenharia. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Modelagem, Análise e Simulação e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
A UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA	
<i>Douglas Freitas Augusto dos Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931011</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
ALGORITMOS EVOLUTIVOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO OFF-LINE DE UM MAPA COGNITIVO FUZZY DE UM MISTURADOR INDUSTRIAL	
<i>Márcio Mendonça</i>	
<i>Edson Hideki Koroishi</i>	
<i>Lillyane Rodrigues Cintra</i>	
<i>Lucas Botoni de Souza</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931012</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>19</b>
APLICAÇÕES MATEMÁTICAS EM MEDIDAS AGRÁRIAS: UM CONHECIMENTO ETNOMATEMÁTICO DO HOMEM DO CAMPO CONTEXTUALIZADO COM O CONTEÚDO ESCOLAR	
<i>Deonísio Hul</i>	
<i>Silton José Dziadzio</i>	
<i>Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931013</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA CONEXÃO DE UMA UNIDADE GERADORA DISTRIBUÍDA A UM ALIMENTADOR DE 13,8 KV UTILIZANDO O ATP	
<i>Jaqueline Oliveira Rezende</i>	
<i>Larissa Marques Peres</i>	
<i>Geraldo Caixeta Guimarães</i>	
<i>Marcelo Lynce Ribeiro Chaves</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931014</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
CÁLCULO FRACIONÁRIO APLICADO À GENERALIZAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE BAGAÇO DE UVA	
<i>Amanda Peruzzo da Motta</i>	
<i>Bruna de Souza Nascimento</i>	
<i>Fernanda Batista de Souza</i>	
<i>Douglas Junior Nicolin</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931015</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>57</b>
CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO BAGAÇO DE CANA	
<i>Edvan Vinícius Gonçalves</i>	
<i>Wardleison Martins Moreira</i>	
<i>Emanuel Souza Barros</i>	
<i>Sérgio Inácio Gomes</i>	
<i>Marcos de Souza</i>	
<i>Luiz Mario de Matos Jorge</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8721931016</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 67**

CONTAGEM AUTOMÁTICA DE OVOS DO AEDES AEGYPTI EM PALHETAS DE OVITAMPAS: UM SISTEMA PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

*Carlos Diego Franco da Rocha*  
*Ayla Márcia Cordeiro Bizerra*  
*Demétrios Araújo Magalhães Coutinho*  
*Luiz Fernando Virginio da Silva*  
*Michel Santana de Deus*  
*Phablo Márcio de Paiva Souto*

**DOI 10.22533/at.ed.8721931017**

**CAPÍTULO 8 ..... 75**

CONTROLADOR FUZZY MAMDANI APLICADO À NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA EM AMBIENTE DESCONHECIDO VARIANTE NO TEMPO

*Eduardo Vilela Pierangeli*  
*Jordann Alessander Rosa Almeida*  
*Marcelo Vilela Pierangeli*

**DOI 10.22533/at.ed.8721931018**

**CAPÍTULO 9 ..... 82**

CONTROLE ROBUSTO APLICADO EM UMA VIGA DE MATERIAL COMPÓSITO VISANDO ATENUAÇÃO DE VIBRAÇÕES

*Camila Albertin Xavier da Silva*  
*Daniel Almeida Colombo*  
*Edson Hideki Koroishi*  
*Albert Willian Faria*

**DOI 10.22533/at.ed.8721931019**

**CAPÍTULO 10 ..... 96**

ESTRATÉGIAS HEURÍSTICAS PARA POSICIONAMENTO DE UNIDADES DE MEDIÇÃO FASORIAL

*Marcio André Ribeiro Guimaraens*  
*Julio Cesar Stacchini de Souza*  
*Milton Brown Do Coutto Filho*  
*Breno Crespo Zeba*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310110**

**CAPÍTULO 11 ..... 109**

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB NO PERÍODO DE 1984 A 2016

*Márcia de Lacerda Santos*  
*Thayse Bezerra da Silva*  
*Maria Raiana Almeida Silva*  
*Danielle Leal Barros Gomes*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310111**

**CAPÍTULO 12 ..... 116**

FLAMBAGEM LINEAR E NÃO-LINEAR UTILIZANDO UMA ANÁLISE NUMÉRICA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

*Rodrigo Villaca Santos*  
*Leticia Barizon Col Debella*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310112**

**CAPÍTULO 13..... 121**

GEOLOGIA DA SERRA DO CARAÇA: PERFIS REAIS

*Carolina Cristiano Barbosa*  
*Ariadne Duarte Libutti Nuñez*  
*Adriane Abreu Cadar*  
*Alexandre Motta Tunes*  
*Bárbara Alves Oliveira*  
*Ulisses Cyrino Penha*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310113**

**CAPÍTULO 14..... 132**

GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO: PREVISÃO DE COMPORTAMENTO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

*Josué Domingos da Silva Neto*  
*Débora Cristina Almeida de Assis*  
*Nayra Vicente Sousa da Silva*  
*Zenilda Vieira Batista*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310114**

**CAPÍTULO 15..... 143**

INFLUÊNCIA DA INÉRCIA A TORÇÃO NO MOMENTO FLETOR DE PLACAS MACIÇAS DE CONCRETO

*Leticia Barizon Col Debella*  
*Rodrigo Villaca Santos*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310115**

**CAPÍTULO 16..... 149**

METODOLOGIA DE CONTROLE PREVENTIVO BASEADA EM ÁRVORE DE DECISÃO PARA A MELHORIA DA SEGURANÇA ESTÁTICA E DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO DA ELETRONORTE

*Ubiratan Holanda Bezerra*  
*João Paulo Abreu Vieira*  
*Werboston Douglas de Oliveira*  
*Daniel Augusto Martins*  
*Dione José Abreu Vieira*  
*Bernard Carvalho Bernardes*  
*Benedito das Graças Duarte Rodrigues*  
*Vilson Castro*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310116**

**CAPÍTULO 17 ..... 166**

O WATSON DA IBM

*Eduardo Bruno de Almeida Donato*  
*Amanda Moura Camilo*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310117**

**CAPÍTULO 18..... 173**

PROTÓTIPO DE UM PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE A PARTIR DA LEI DE DARCY

*Guilherme Medina Cameu*  
*Victor Araujo Figueredo Fischer*  
*Wataru Iwamoto*  
*Rômulo Henrique Batista de Farias*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310118**

**CAPÍTULO 19 ..... 178**

SIMULADOS ELETRÔNICOS DO PROCESSO SELETIVO DO IFPR: INSTRUMENTO DE DIVULGAÇÃO E DEMOCRATIZAÇÃO DO ENSINO

*João Henrique Berssanette*  
*Antonio Carlos de Francisco*  
*Fabiane Ferreira*  
*Maria Fernanda Müller Pereira da Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310119**

**CAPÍTULO 20 ..... 188**

SOLARIZAÇÃO DO SOLO E BIOFUMIGAÇÃO NA VIABILIDADE DE SCLEROTIUM ROLFSSII

*João Luiz Lopes Monteiro Neto*  
*Roberto Tadashi Sakazaki*  
*Raphael Henrique da Silva Siqueira*  
*Carlos Abanto-Rodríguez*  
*Sonicley da Silva Maia*  
*Rannyonara Oliveira Rodrigues*  
*Lucas Aristeu Anghinoni dos Santos*  
*Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310120**

**CAPÍTULO 21 ..... 194**

SYNOPTERO: RECONSTRUINDO O MUNDO TRIDIMENSIONAL A PARTIR DO BIDIMENSIONAL

*Lucas Maquedano da Silva*  
*Marcos Cesar Danhoni Neves*  
*Fernanda Tiemi Karia*  
*Gabriel Francischini de Oliveira*  
*Leandro Moraes Azevedo*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310121**

**CAPÍTULO 22 ..... 202**

TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS, BRASIL

*Lucas Rosa de Almeida*  
*Marcelo Vieira-Filho*  
*Sílvia Yanagi*  
*Marcelo Ribeiro Viola*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310122**

**CAPÍTULO 23 ..... 217**

TEORIA NA PRÁTICA: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS PRINCIPAIS PARTIDAS DA MÁQUINA DE INDUÇÃO

*Murilo Miceno Frigo*  
*Paulo Irineu Koltermann*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310123**

**CAPÍTULO 24 ..... 229**

UM ALGORITMO ITERATED LOCAL SEARCH PARA O STABLE MATCHING PROBLEM APLICADO AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ALUNOS NAS ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO

*Robson Vieira de Oliveira*  
*Matheus Correia Teixeira*  
*Marco Antonio Bonelli Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310124**

**CAPÍTULO 25 ..... 242**

USO DE IMAGENS SENTINEL - 2A E O ALGORITMO SVM PARA MONITORAR AS APP DE NASCENTES E CURSOS D'AGUA DO RIBEIRÃO MARANHÃO, LAVRAS, MG

*Ester Afonso*  
*Katyanne Conceição*  
*Beatriz Campos*  
*Franklin Inácio*  
*Margarete Volpato*  
*Helena Alves*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310125**

**CAPÍTULO 26 ..... 249**

UTILIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DIFERENCIAL EM PROBLEMAS INVERSOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE UMA VIGA EULER-BERNOULLI

*Rennan Otavio Kanashiro*  
*Edson Hideki Koroishi*  
*Fabian Andres Lara-Molina*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310126**

**CAPÍTULO 27 ..... 258**

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

*Eduardo Hélio de Novais Miranda*  
*Rodrigo Allan Pereira*  
*Francisco Carlos Gomes*  
*Roberto Alves Braga Junior*  
*Fernando Pujaico Rivera*  
*Lucas Henrique Pedrozo Abreu*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310127**

**CAPÍTULO 28 ..... 264**

UTILIZAÇÃO DO SENSOR PT100 NO ARDUINO PARA CAPTAÇÃO DA TMR

*Mariana Espíndola Vieira*  
*Helena Dufau*  
*Christian Muller*  
*Anderson Ferrugem*  
*Antonio Silva*  
*Rafael Soares*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310128**

**CAPÍTULO 29 ..... 269**

DINÂMICA DE ESCOAMENTOS PARTICULADOS EM DUTOS VERTICAIS

*Diego Nei Venturi*  
*Francisco José De Souza*

**DOI 10.22533/at.ed.87219310129**

**SOBRE O ORGANIZADOR ..... 280**

## CONTROLADOR FUZZY MAMDANI APLICADO À NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA EM AMBIENTE DESCONHECIDO VARIANTE NO TEMPO

### **Eduardo Vilela Pierangeli**

Universidade Federal de Lavras, Depto. de Engenharia,  
Lavras - MG  
Segundo autor

### **Jordann Alessander Rosa Almeida**

Universidade Federal de Lavras, Depto. de Engenharia,  
Lavras - MG  
Terceiro autor

### **Marcelo Vilela Pierangeli**

Universidade Federal de São João del Rey, Depto. de Engenharia,  
Lavras - MG

**RESUMO:** Este trabalho aborda o controle veicular autônomo em ambiente desconhecido, utilizando um carro em miniatura, composto por um Arduíno MEGA, um servo motor e um motor de passo, possuindo ainda, uma carroceria que comporta as rodas e os demais componentes. Pretendeu-se obter e comparar três controladores, dois do tipo fuzzy Mamdani e um do tipo on/off, ambos desenvolvidos utilizando-se da plataforma Arduíno®. Os resultados obtidos demonstram a eficácia dos controladores fuzzy em relação ao on/off, principalmente no que diz respeito a estabilidade e suavidade do veículo, e mostram também que o Mamdani com funções de pertinência

ajustadas simetricamente executou o percurso com maior acurácia do que os demais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fuzzy Mamdani, Veículo Autônomo, Controle Inteligente.

**ABSTRACT:** The work addresses the remote control in an unknown environment, using a miniature car, consisting of a drag system, a servo motor and a stepper motor, also having a body that includes wheels and other components. The three types of fuzzy are installed and compared in one / over time, using the Arduino® platform. The results obtained demonstrate an advantage of the drivers in relation to the on / off, mainly with respect to the stability and performance of the vehicle, and also were comparable to those that have adjusted pertinence characteristics and execute the route with more accuracy than the others.

**KEYWORDS:** Fuzzy Mamdani, Self-propelled Vehicle, Intelligent Control.

### 1 | INTRODUÇÃO

Um veículo autônomo é caracterizado por conseguir percorrer um determinado trajeto na ausência de um condutor ou ação humana de controle (PISSARDINI, WEI E FONSECA, 2013). O processo de locomoção de veículos autônomos se encaixa no escopo de problemas

da robótica móvel, pauta amplamente discutida em trabalhos e artigos nos últimos anos (WOLF, OSÓRIO e SIMÕES, 2009). Assim, diversas tecnologias surgem com a finalidade de prover a autonomia na locomoção dos veículos, sendo as técnicas de inteligência computacional notáveis ferramentas para o desenvolvimento da robótica móvel, uma vez que apresentam ao sistema a capacidade adaptativa para ambientes desconhecidos, além de conseguirem tratar não linearidades e alterações temporais no modelo (SILVA, 2008).

Dentre as técnicas de inteligência computacional para o controle de sistemas dinâmicos, tem-se a lógica *fuzzy* ou Lógica nebulosa, uma considerável ferramenta capaz de mapear valores lógicos (pertinências) em diversos patamares, diferentemente da lógica binária (SIMÕES e SHAW, 2007). Desta forma, a lógica *fuzzy* trabalha com várias condições de entrada, mesclando todas elas com “pesos” para cada uma e então descobrindo uma saída por algum método matemático, geralmente o centroide (centro de massa). O bom desta forma de controle é que o mesmo não possui nenhuma variação muito brusca como é possível em outros casos de controle (SIMÕES e SHAW, 2007) (NOVÁK, PERFILIEVA E MOČKOŘ, 1999)

Um dos modelos de utilização da Lógica *Fuzzy*, conhecido como *Fuzzy Mamdani* (1974), estabelece um método de inferência que possui relações *fuzzy* por meio de proposições formadas por antecedentes, operadores lógicos matemáticos e consequentes. Dessa forma, as regras *fuzzy* são descritas como mostrado em (1) (NOVÁK, PERFILIEVA E MOČKOŘ, 1999).

Se <antecedente> <operador> <antecedente>..., então <consequente(s)> (1)

De acordo com a intensidade das regras que são ativadas durante o processo de inferência, após a etapa de *fuzzyficação*, são formadas regiões que mapeiam os valores de saída que serão obtidos após o processo de *defuzzificação* (SILVA, SPATTI e FLAUZINO, 2010). A base de regras da metodologia de *Mamdani* utiliza de composição de inferência max-min. Assim, a relação fuzzy **M** é o subconjunto fuzzy de **X** × **U** cuja função de pertinência é dada por:

$$\phi_{M(x,u)} = \max_{1 \leq i \leq r} \phi_{R_i}(x, u) = \max_{1 \leq i \leq r} \phi_{A_j}(x) \wedge \phi_{B_j}(u) \quad (2)$$

em que  $r$  o número de regras que compõem a base de regras e,  $A_j$  e  $B_j$  são os subconjuntos *fuzzy* da regra  $j$  (SOUZA e MESQUITA, 2004).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é utilizar o controlador *fuzzy* do tipo *Mamdani* a fim de prover navegação autônoma a um veículo de pequeno porte, implementado em um sistema embarcado, em um ambiente desconhecido sujeito a variações ao longo do tempo.

## 2 | METODOLOGIA

Para a implementação do controlador fuzzy Mamdani foi utilizada uma placa Arduino Mega 2560, com auxílio da biblioteca eFLL (Embedded Fuzzy Logic Library)(KRIDI, et al., 2000), implementada em linguagem C++, permitindo facilmente a criação de funções de pertinência, antecedentes, consequentes e regras fuzzy, embora apresente bom desempenho apenas a um conjunto limitado de regras, possua restrição para a criação de funções de pertinência aceitando apenas funções triangulares e trapezoidais e apresenta apenas dois operadores de fuzzificação (MAX-MIN) assim como um único método de defuzzificação (centro de área).

Foram usados 2 sensores ultrassônicos (HC-SR04) na frente do veículo, com angulação de 30° em relação ao para-choque como pode ser visto na Figura 1. As distâncias lidas pelos sensores ultrassônicos foram utilizadas como entradas do controlador fuzzy que dispunha como saídas os valores de angulação das rodas dianteiras e velocidade das rodas traseiras aplicados ao microservo motor (Sg-90) e ao motor de passo (28BYJ-48) respectivamente.

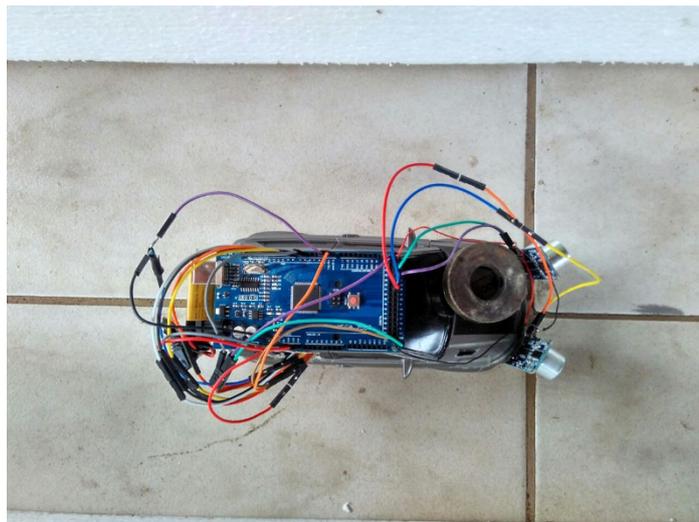


Figura 1: Veículo utilizado no projeto.

Foi construída uma pista com paredes de isopor espaçadas à 33 centímetros, possuindo comprimento total de 280 centímetros, Figura 2. Foram feitos três ensaios de percurso, utilizando um controlador do tipo On/Off, e dois controladores fuzzy Mamdani variando as funções de pertinência utilizadas na saída de angulação da roda dianteira. Foram coletados os tempos de percurso de cada controlador e, por fim, avaliados os seus desempenhos quanto ao nível de oscilação das rodas dianteiras e distância do veículo até o centro da pista.



Figura 2: Pista de Testes.

Para os controladores fuzzy foram elaboradas 8 regras, as quais utilizam o conectivo OR na construção das proposições compostas (controle de velocidade) e proposições simples (controle de angulação) e o método de centro de massa para desfuzzificação.

### 3 | RESULTADOS

Para comprovar a eficácia da metodologia proposta, foram desenvolvidas as funções de pertinência para as entradas e saídas, mostradas na Figura 3.

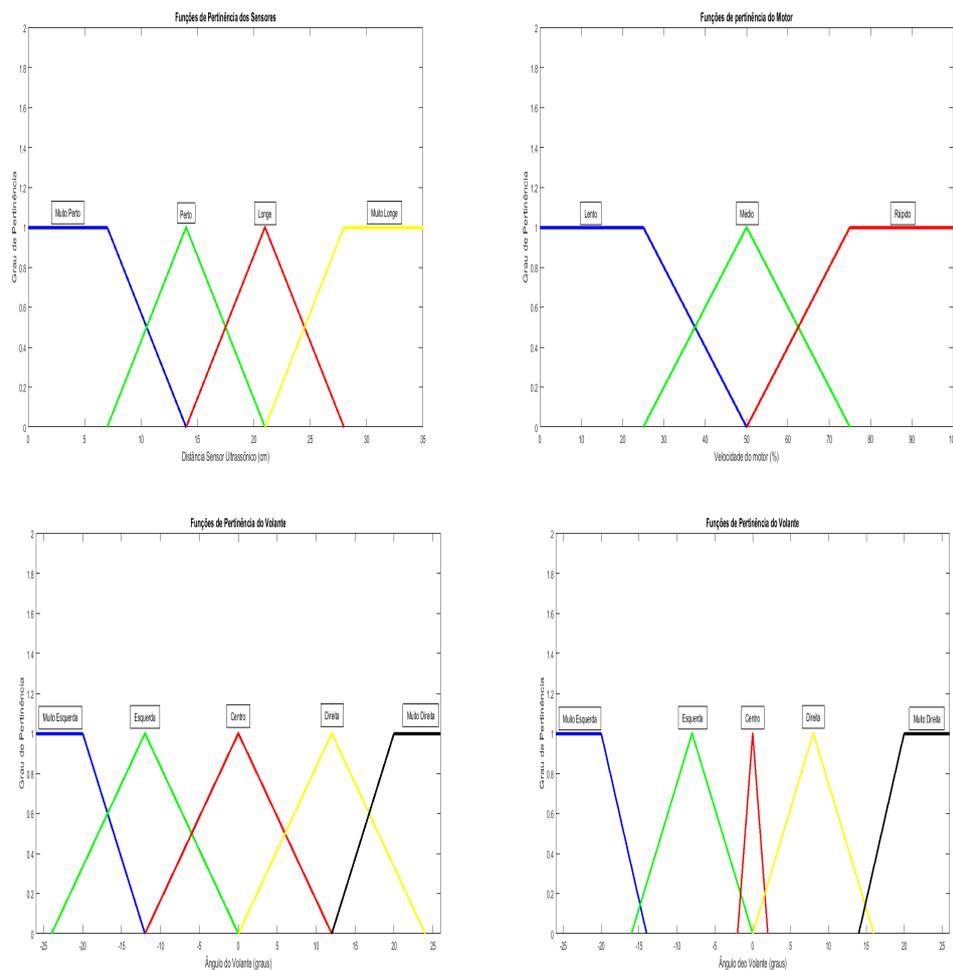


Figura 3: Funções de pertinência utilizadas.

As funções de pertinência foram baseadas em conhecimentos especialistas e foram distribuídas priorizando os extremos. Foram utilizadas funções idênticas para ambos os sensores. Para a saída velocidade de ambos os controladores *fuzzy* foram mantidas as características, alterando-se somente as FP relativas à saída da angulação do volante. Essas alterações foram feitas a fim de priorizar ainda mais os extremos, uma vez que o veículo apresenta uma baixa angulação máxima das rodas dianteiras (em torno de 26°).

Para os controladores *fuzzy* foram aplicadas as seguintes regras conforme mostrado na Tabela 1.

ANTECEDENTE 1	OPERADOR	ANTECEDENTE 2	CONSEQUENTE
SEMP	-	-	ARMD
SEP	-	-	ARD
SEL	OU	SEML	ARC
SDMP	-	-	ARME
SDP	-	-	ARE
SDL	OU	SDML	ARC
SEMP	OU	SDMP	V <sub>Baixa</sub>
SEP	OU	SDP	V <sub>Baixa</sub>
SEL	OU	SDL	V <sub>Média</sub>
SEML	OU	SDML	V <sub>Alta</sub>

Tabela 1: Base de regras *fuzzy*.

Legenda: S → Sensor; E → Esquerda; D → Direita; C → Centro; M → Muito; L → Longe; P → Perto; AR → Ângulo da Roda; V → Velocidade.

No projeto do controlador On/Off, foi determinado que se o sensor da esquerda apresentar uma distância inferior ao da direita, então o veículo deve convergir o máximo possível para a direita, e vice-versa. Em caso de distâncias iguais em ambos os sensores, o carro deve seguir em linha reta. O controlador On/Off, não possui nenhum tipo de controle de velocidade, sendo responsável apenas por controlar a posição do veículo, desse modo, o percurso é realizado com a velocidade máxima.

Depois de executados os ensaios de percurso para os três tipos de controladores pode-se perceber que o controle do tipo On/Off apresentou um menor tempo de percurso (214 segundos) comparado aos demais, uma vez que este não possuía ponderação em sua velocidade. No entanto este controlador foi o que indicou maior oscilação do ângulo das rodas dianteiras, fazendo com que o veículo realizasse movimentos bruscos e seguisse uma trajetória desordenada.

Já o controlador Fuzzy1 (com funções de pertinência simétricas para a saída do volante) apresentou maior estabilidade durante o trajeto, realizando curvas de forma suave ao longo do percurso e mantendo sua posição próxima ao centro da pista. Entretanto, devido ao controle da velocidade aumentou-se o tempo (232 segundos) despendido no ensaio.

O controlador Fuzzy2 (com funções de pertinência que priorizam as

extremidades para a saída do ângulo do volante) também obteve uma boa estabilidade e trajetória suave durante as curvas, mas manteve sua posição um pouco mais distante do centro da pista quando comparado ao Fuzzy1. Isso se deve ao fato de suas FP preterirem os ângulos pertencentes à faixa central, fazendo com que o veículo percorresse trajetos retilíneos com menor frequência. Este modelo realizou o percurso em 229 segundos.

Na Figura 4 são demonstrados os percursos em quatro instantes para cada controlador. Cada linha da figura ilustra um ponto específico do trajeto e cada coluna um tipo de controlador. As primeira, segunda e terceira colunas representam os controladores Fuzzy2, Fuzzy1 e On/Off, respectivamente.



Figura 4: Percurso seguido pelos três controladores.

#### 4 | CONCLUSÃO

O controlador *On/Off*, apesar de conseguir realizar o trajeto proposto com uma velocidade superior, apresentou movimentação bastante brusca, com alternância repentina do ângulo das rodas. Considerando o modelo em miniatura utilizado, isto não é um problema de grande importância, mas se considerados veículos em tamanho real, estes movimentos afetariam em muito o conforto e segurança dos passageiros, implicando na não aplicabilidade deste método.

Os controladores *fuzzy*, não apresentaram este problema, como era esperado (SILVA, 2008)(SOUZA e MESQUITA, 2004)( KRIDI, et al., 2000) (SILVA, SPATTI

e FLAUZINO, 2010). Quanto ao ajuste de parâmetros das funções de pertinência, foi observado que ao preferir a faixa de angulação central, gerou-se um aumento na velocidade acompanhado de um crescimento na distância em relação ao centro da pista. Desta forma, não se pôde inferir sobre qual dos dois modelos *Mamdani* é superior, uma vez que cada um é mais apropriado para um determinado contexto.

No futuro pretende-se ainda, dar prosseguimento à este trabalho utilizando algum outro tipo de hardware, que seja capaz de multiprocessamento, o que poderia melhorar substancialmente os resultados, devido a possibilidade de implementação de técnicas de inteligência computacional mais avançadas, além de maior velocidade de processamento. Outro ponto a ser observado para os trabalhos futuros é a implementação própria das técnicas fuzzy, pois a biblioteca eFLL ainda é bastante limitada e apresenta problemas de execução.

## REFERÊNCIAS

KRIDI, D. S.; ALVES, A. J. O.; LEMOS, M. V. S. e RABÊLO, R. A. L., **Desenvolvimento De Uma Biblioteca Fuzzy Para O Controle Autônomo De Um Robô Móvel Em Ambiente Desconhecido**, SBA Controle e Automação, 2000. Teresina, 2000.

NOVÁK, V.; PERFILIEVA, I. e MOČKOŘ, J., **Mathematical principles of fuzzy logic**. Dodrecht: Kluwer Academic, 1999.

PISSARDINI, R. S.; WEI, R. S. D. C. M. e FONSECA, J. E. S., **Veículos Autônomos: Conceitos, Histórico e Estado-da-Arte**. XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013. São Paulo, 2013.

SILVA, A. L. V., **Arquitetura Compacta Para Projeto de Robôs Móveis Visando Aplicações Multipropósitos, Mestrado em Engenharia Elétrica**, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

SILVA, I. N. da; SPATTI, D. H. e FLAUZINO, R. A., **Redes Neurais Artificiais para engenharia e ciências aplicadas**. 1. ed. São Paulo: Artliber, 2010.

SIMÕES, M. G. e SHAW, I. S., **Controle e Modelagem Fuzzy**. 1. Ed. São Paulo: Blucher, 2007.

SOUZA, O. N. e MESQUITA, M. E. R., **Teoria e Aplicações de Memórias Associativas Morfológicas Nebulosas**, Unicamp, 2004.

WOLF, D. F.; OSÓRIO, F. S.; SIMÕES, E. e TRINDADE, J. O., **Intelligent Robotics: From Simulation to Real World Applications**, SBC - JAI 2009 - Congresso da SBC – Sociedade Brasileira de Computação (Brasil). SBC Jornada de Atualização em Informática. p. 279-330. São Paulo, 2009.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-087-2

