



**ENCOM 2023**

# **XIII Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação**

27, 28 e 29 de Outubro de 2023

IFPA – Belém – Pará

**Anais da XIII Conferência Nacional em Comunicações, Redes  
e Segurança da Informação**

**– Encom 2023 –**

**– Comunicações para Monitoramento e Preservação Ambiental –**

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará**

**Belém-PA, 27, 28 e 29 de outubro de 2023**

## Ficha Catalográfica

S864i Anais da XIII Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação: Encom 2023/Diego Lisboa Cardoso, Waslon Terllizzie Araújo Lopes. IFPA – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Belém, PA, 27, 28 e 29 de outubro de 2023.

112p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Tema: "Comunicações para o Monitoramento e Preservação Ambiental"

IECOM – Instituto de Estudos Avançados em Comunicações, 2023

1. Comunicações. 2. Redes. 3. Criptografia. 4. Telecomunicações. I. Título

CDU 654

# Encom 2023

## – Comunicações para Monitoramento e Preservação Ambiental –

O Instituto de Estudos Avançados em Comunicações (Iecom) e o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), têm a satisfação de realizar a 13ª edição da Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação (ENCOM 2023), evento que tem o objetivo de contribuir com a disseminação e desenvolvimento da pesquisa científica nacional.

## O Evento

O Encontro Anual do Iecom em Comunicações, Redes e Criptografia (ENCOM) é um congresso nacional que vem sendo organizado ininterruptamente desde 2011. Em sua oitava edição, em 2018, o evento passou a ser denominado Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação, mantendo a sigla tradicional.

O ENCOM 2023 visa reunir pesquisadores, estudantes, professores, empresários e profissionais das áreas de comunicações, telemática, redes de computadores, informática, criptografia, e tecnologia da informação e comunicações, para a discussão de pesquisas e soluções nessas áreas e em áreas correlatas.

O encontro científico vem sendo promovido a partir de parcerias de instituições de ensino superior e empresas com o Instituto de Estudos Avançados em Comunicações (Iecom), entidade sem fins lucrativos, reconhecida como de utilidade pública e conveniada com o CNPq, sediado no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande.

O ENCOM 2023 é organizado pelo IFPA com apoio de professores e pesquisadores de várias instituições de ensino e pesquisa. O evento será realizado entre os dias 27 e 29 de outubro de 2023, em formato presencial, nas unidades do IFPA em Belém.

Os artigos correspondentes aos melhores trabalhos apresentados na Conferência serão indicados para avaliação pela editoria da Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação (RTIC), registrada no Qualis da Capes. Um número especial da RTIC será publicado durante o evento, com as palestras plenárias ministradas por especialistas em suas respectivas áreas.

Nesta edição, o evento disponibilizará um espaço infantil com profissionais preparados para receber e supervisionar crianças. Assim, pais e mães podem aproveitar o evento enquanto os pequenos se divertem.

## O Iecom

O Instituto de Estudos Avançados em Comunicações, também designado pela sigla Iecom, constituído em 1 de julho de 2003, é uma pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos, e duração por tempo indeterminado, com sede no município de Campina Grande, Estado da Paraíba, em que é de Utilidade Pública de acordo com a Lei Municipal 4.650.

O Iecom tem como missão a promoção à cultura, incentivo ao voluntariado e a inserção de estudantes no mercado de trabalho, desenvolvimento tecnológico, formação técnico-científica, fomento à produção científica de alto nível e intercâmbio entre comunidades científicas de interesses afins.

Para conhecer mais sobre o Iecom, visite a página <http://iecom.org.br>.

## O IFPA

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA) é uma instituição de educação superior, básica e profissional, pluricurricular e multicampi, especializada na oferta de educação profissional e tecnológica nas diferentes modalidades de ensino. O campus Belém é o maior campus do IFPA, recebendo cerca de 4 mil alunos por ano em seus cursos nas modalidades de Técnico-Integrado, Técnico-Subsequente, Graduação e Pós-graduação. Com 113 anos de história, o Campus Belém formou milhares de alunos nas áreas técnicas e tecnológicas, presentes em centenas de empresas de todos os portes, contribuindo no desenvolvimento contínuo do Estado do Pará.

Para conhecer mais sobre o IFPA, visite a página <https://ifpa.edu.br>.

## A cidade de Belém, capital do estado do Pará

Belém é a capital do estado do Pará, na região Norte do Brasil. Situada às margens do Rio Guamá, é a maior cidade do estado e um importante centro econômico e cultural da região amazônica, uma das maiores biodiversidades do planeta. A cidade tem uma rica história e cultura, com influências indígenas, africanas e europeias.

Conhecida por sua culinária típica, foi eleita pela Unesco como uma das Cidades Criativas da Gastronomia mundial. A cidade também abriga o famoso Mercado Ver-o-Peso, um dos maiores mercados a céu aberto da América Latina, onde é possível encontrar uma grande variedade de produtos da região amazônica, como peixes, frutas exóticas, ervas e artesanato.

## O Professor Homenageado: Valdemar Cardoso da Rocha Jr.



A história do Professor Valdemar Cardoso da Rocha Jr. é uma jornada brilhante que se estende ao longo de décadas de dedicação à Engenharia Elétrica e à pesquisa em telecomunicações. Formado em Engenharia Elétrica Modalidade Eletrônica pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco em 1970, ele rapidamente se destacou em sua busca pelo conhecimento. Em 1976, concluiu seu Ph.D. em Eletrônica pela *University of Kent*, na Inglaterra, consolidando sua posição como um acadêmico proeminente na área.

Sua carreira na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) começou em 1976 e perdurou por incríveis 46 anos. Durante esse tempo, ele conquistou o reconhecimento como Professor Titular e tornou-se Pesquisador 1A do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) de 1993 a 2016, sobressaindo-se como um líder em pesquisa.

O Professor Valdemar Cardoso da Rocha Jr. não se limitou ao âmbito acadêmico, tendo servido como Presidente da Sociedade Brasileira de Telecomunicações de 2004 a 2008. Além disso, ele foi reconhecido internacionalmente como *Fellow* do *Institute of Mathematics and its Applications* (FIMA) e *Chartered Mathematician* (CMath) por mais de duas décadas, de 1992 a 2022.

Sua busca em compartilhar e adquirir conhecimento o levou a servir como Professor Visitante em instituições de renome internacional, incluindo a *Swiss Federal Institute of Technology* em Zurich na Suíça (1990-1992), a *Lancaster University* na Inglaterra (2007-2015) e a *University of Leeds* na Inglaterra (2005-2006).

Sua produção acadêmica é admirável, com 55 artigos completos em periódicos, 5 livros, 14 capítulos de livros, 95 trabalhos publicados em anais de congressos e inúmeras apresentações em conferências acadêmicas. Ele também demonstrou seu compromisso com a formação de diversos discentes, tendo orientado 34 estudantes de mestrado ou doutorado, além de 39 estudantes de iniciação científica.

A experiência de ter sido orientada durante os cursos de mestrado e doutorado pelo Professor Valdemar Cardoso da Rocha Jr. é verdadeiramente gratificante. Ele não é apenas um acadêmico excepcional, mas também mentor e exemplo para seus orientandos. Sua capacidade de transmitir conhecimento, incentivar a excelência e demonstrar elegância pessoal é louvável.

Valdemar Cardoso da Rocha Jr. é um grande exemplo de como a distinção acadêmica e a humanidade podem andar de mãos dadas. Além de sua notável carreira, a sua dedicação à família, como pai, avô e marido, destaca a riqueza de sua personalidade e caráter. Seu legado ao mundo da pesquisa e sua influência positiva e motivadora nas vidas de seus orientandos e daqueles que o cercam são genuinamente inspiradores.

*Profa. Dra. Maria de Lourdes Melo Guedes Alcoforado (UPE).*



# Organização

## Coordenação Geral

Gilvan Soares Borges (IFPA)

## Vice-Coordenação

João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa (UFPA)

## Coordenação Técnica

Diego Lisboa Cardoso (UFPA)

Waslon Terlizzie Araújo Lopes (UFPB)

## Coordenação Local

Maraísa Andrade de Castro (IFPA)

Johelden Campos Bezerra (IFPA)

Talisman Cláudio de Queiroz Teixeira Júnior (IFPA)

Marcos Eduardo Coelho Garcia (IFPA)

Rômulo Augusto Nascimento de Oliveira (IFPA)

## Coordenação de Minicursos

Jeferson Breno Negrão Leite (IFPA)

Edson do Socorro Cardoso da Silva (IFPA)

## Coordenação de Inscrições e Informática

Raissa Bezerra Rocha (UFS)

Joel Eugênio Cordeiro Junior (IF Baiano)

Jorge Fredericson de Macedo Costa da Silva (IFCE)

## Coordenação de Divulgação

João Augusto Rodrigues (IFPA)

Jorge Fredericson de Macedo Costa da Silva (IFCE)

## Coordenação de Captação de Recursos

Fabício Gerônimo Simões Silva (IFBA)

Marcelo Sampaio de Alencar (Iecom)

# Comitê Técnico

O comitê técnico do ENCOM 2023 é formado por professores e/ou pesquisadores de diversas Instituições de Ensino Superior (IES) do país, bem como da iniciativa privada, que são reconhecidos pelas relevantes contribuições técnico-científicas nas áreas de pesquisa da conferência.

Adam Santos

Adonis Ferreira Raiol Leal

Amanda de Freitas Romeiro

Antonio lavareda Jacob Junior

Antonio Luiz P S Campos

Carlos Danilo M. Regis

Carmelo Bastos Filho

Cecilio Pimentel

Daniel Orquiza de Carvalho

Daniel Souza

Danilo Brito Teixeira de Almeida

Daynara Souza

Diego Lisboa Cardoso

Diogo Acatauassu

Edmar Candeia Gurjão

Edvar Oliveira

Evelin Cardoso

Fábio Coutinho

Fábio de Oliveira Torres

Fábio Rocha de Araujo

Fabricio Lobato

Felipe Alberto B. S. Ferreira

Felipe Correia

Francisco Müller

George Victor Rocha Xavier

Glauco Fontgalland

Gleison de Oliveira Medeiros

Helder Alves Pereira

Hellena Beatrice Ramos Costa

Hugerles Silva

Hugo Kuribayashi

Igor Falcao

Iguatemi E. Fonseca

Ilan Correa

Iury Batalha

Jorge Antonio Souza

José Jailton Henrique Ferreira Junior

Karcius Day R. Assis

Leandro Carísio Fernandes

Leonardo Ramalho

Luiz Felipe Silveira

Marcelo Costa

Marcelo Sampaio de Alencar

Marcos Seruffo

Maria da Penha A. Abi Harb

Mariane P. S. Gonçalves Imbiriba

Marx Miguel Miranda de Freitas

Paulo Pontes

Paulo Salgado Gomes de Mattos Neto

Rafael Fogarolli Vieira

Raissa Bezerra Rocha

Ramon Maia Borges

Regiane Kawasaki

Reginaldo Cordeiro dos Santos Filho

Roberto Rodrigues

Rodrigo Coelho

Rômulo Augusto Nascimento de Oliveira

Ruan Delgado Gomes

Samara Souza

Sergio Henrique Monte Santo Andrade

Suzane Alfaia Dias

Tássio Carvalho

Thiago Bairros

Ugo Silva Dias

Victor Cardoso

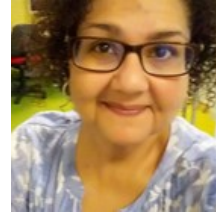
Waslon Lopes

Welton Araújo

## Palestrantes



**Dra. Lúbia Vinhas**  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)



**Dra. Alessandra Rodrigues Gomes**  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)



**Dr. Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Junior**  
Universidade Federal do Pará (UFPA)



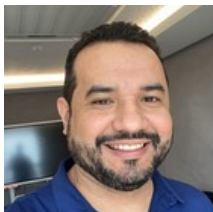
**Dr. Carlos Renato Lisboa Francês**  
Universidade Federal do Pará (UFPA)



**Dr. Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar** Instituto  
Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)



**Dr. Dércio Manuel Mate**  
Sidia Instituto de Ciência e Tecnologia

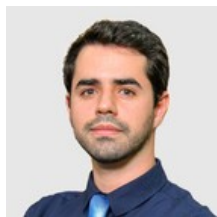


**Me. Álvaro Mota Gonçalves**  
Instituto de Pesquisas Eldorado (IPE)



**Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa**  
Universidade Federal do Pará (UFPA)

## Palestrantes (cont.)



**Navid Salehi**  
Rohde & Schwarz do Brasil



**Maurício Gonçalves**  
Rohde & Schwarz do Brasil



**Me. Eduardo Moreno**  
Consultor de TI e Telecom



**Esp. Marcus Vinícius Paolucci**  
Ministério das Comunicações (MCom)

# Encom 2023 – Programação Final

Turno	Horário	Sexta-Feira (27/outubro)	Sábado (28/outubro)	Domingo (29/outubro)
Manhã	08h00-08h30	Credenciamento	—	—
	08h30-10h10	Minicursos (1 a 4)	Sessões Técnicas (5 a 8)	Sessões Técnicas (9 a 12)
	10h10-10h30	Coffee-break	Coffee-break	Encerramento
	10h30-12h00	Minicursos (1 a 4)	Painel	Programação Cultural*
Tarde	12h00-14h00	Intervalo para Almoço	Intervalo para Almoço	
	14h00-15h40	Sessões Técnicas (1 a 4)	Plenárias 2	
	15h40-16h00	Coffee-break	Coffee-break	
	16h00-17h30	Plenárias 1	Plenárias 3	
Noite	17h30-18h00	Cerimônia de Abertura	ComSoc IEEE	
	18h00-19h00	Coquetel de Abertura	—	
	19h00-22h00		Jantar de Confraternização*	

\* Por adesão

---

## Minicursos

---

### Minicurso 1 – Sistemas MIMO Massivos sem Células

**Instrutores:** Marx Miguel Miranda de Freitas (UFPA), Daynara Dias Souza (UFPA) e André Lucas Pinho Fernandes (UFPA)

**Local:** Miniauditório 1, Bloco C

**Data e hora:** 27/10/2023 das 08h30 às 10h10 e das 10h30 ao 12h00

### Minicurso 2 – Drones Aplicado a Telecomunicações

**Instrutores:** Tatiana Pará Monteiro de Freitas (IFPA)

**Local:** Auditório Central

**Data e hora:** 27/10/2023 das 08h30 às 10h10 e das 10h30 ao 12h00

### Minicurso 3 – Inteligência Artificial Aplicada à Leitura, Processamento e Classificação de Texto em Linguagem Natural

**Instrutores:** Helder Mateus dos Reis Matos (UFPA) e Samara Lima de Souza (UFPA)

**Local:** Laboratórios de informática 4 e 5, Bloco C

**Data e hora:** 27/10/2023 das 08h30 às 10h10 e das 10h30 ao 12h00

### Minicurso 4 – Certificação de Redes Ópticas Passivas

**Instrutores:** Edson do Socorro Cardoso da Silva (IFPA) e Ananias Pereira Neto (IFPA)

**Local:** Miniauditório da Biblioteca

**Data e hora:** 27/10/2023 das 08h30 às 10h10 e das 10h30 ao 12h00

---

# Plenárias

---

## Plenárias 1 – Sistemas de Monitoramento na Amazônia

- **Projetos de Monitoramento da Amazônia por Satélite Desenvolvidos pelo INPE**  
**Palestrante:** Dra. Alessandra Rodrigues Gomes (INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)  
**Local:** Auditório Central  
**Data e hora:** 27/10/2023 das 16h00 às 16h45
- **Tecnologias de Computação Aplicada para Suporte ao Monitoramento Ambiental do INPE**  
**Palestrante:** Dra. Lúbia Vinhas (INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)  
**Local:** Auditório Central  
**Data e hora:** 27/10/2023 das 16h45 às 17h30

## Plenárias 2 – Inteligência Artificial em Telecomunicações e Cidades Inteligentes

- **Aplicações de Inteligência Artificial em Redes 5G**  
**Palestrante:** Dr. Aldebaro Barreto da Rocha Klautau Junior (UFPA – Universidade Federal do Pará)  
**Local:** Auditório Central  
**Data e hora:** 28/10/2023 das 14h00 às 14h50
- **Desafios para Implantação de Smart Cities na Amazônia: Um Estudo de Caso em Canaã dos Carajás**  
**Palestrante:** Dr. Carlos Renato Lisboa Frances (UFPA – Universidade Federal do Pará)  
**Local:** Auditório Central  
**Data e hora:** 28/10/2023 das 14h50 às 15h40

## Plenárias 3 – Instrumentação para Radiofrequência e Aplicações de IA para Sensoriamento Remoto

- **Desmistificando os Equipamentos para Teste e Medição de Radiofrequência**  
**Palestrantes:** Navid Salehi e Mauricio Gonçalves (Rohde & Schwarz do Brasil)  
**Local:** Auditório Central  
**Data e hora:** 28/10/2023 das 16h00 às 16h45
- **Deteção de Focos de Fogo Ativo com Redes Neurais Convolucionais a partir de Imagens de Satélite (Sentinel-2 e Landsat-8)**  
**Palestrante:** Dr. Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar (INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)  
**Local:** Auditório Central  
**Data e hora:** 28/10/2023 das 16h45 às 17h30

## Sessão Estudantil da IEEE Communications Society (ComSoc)

- Palestrante:** Dr. Fabrício Braga Soares de Carvalho (UFPB)  
**Local:** Auditório Central  
**Data e hora:** 28/10/2023 das 17h30 às 18h00  
**Obs:** Na ocasião será sorteada uma anuidade da IEEE ComSoc entre os estudantes não-membros.

---

## Cerimônia de Abertura

---

### Discursos de abertura e homenagem do evento

- **Oradores:**
  - \* Dr. Gilvan Soares Borges (Coordenação Geral)
  - \* Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa (Coordenação Geral)
  - \* Dr. Marcelo Sampaio de Alencar (Iecom)
  - \* Dr. Valdemar Cardoso Da Rocha Junior (Homenageado)
- **Local:** Auditório Central
- **Data e hora:** 27/10/2023 das 17h30 às 18h00

---

## Painel

---

### Desafios de implantação na Amazônia de redes 5G

- **Painelistas:**
  - \* Dr. Dercio Manuel Mate (SIDIA – Instituto de Ciência e tecnologia)
  - \* Me. Álvaro Mota Gonçalves (IPE – Instituto de Pesquisas Eldorado)
  - \* Esp. Marcus Vinícius Paolucci (MCom – Ministério das Comunicações)
  - \* Me. Eduardo Moreno (Consultor de Tecnologia da Informação e Telecomunicações)
  - \* Dr. João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa (UFPA – Universidade Federal do Pará)
- **Local:** Auditório Central
- **Data e hora:** 28/10/2023 das 10h30 às 12h00

---

## Atividades Sociais

---

### Coquetel de abertura

- **Atração Cultural:** Boi Marronzinho
- **Local:** Espaço Chico Mendes
- **Data e hora:** 27/10/2023 das 18h00 às 19h00

### Jantar de Confraternização

- **Local:** Amazon Beer – Estação das Docas
- **Data e hora:** 28/10/2023 das 19h00 às 22h00

### Passeio Cultural

- **Local:** Restaurante na ilha do Combú
- **Data e hora:** 29/10/2023 das 10h30 às 17h30

---

## Sessões Técnicas

---

### Sessão Técnica 1

**Chair:** Profa. Dra. Regiane Silva Kawasaki Francês

**Local:** Auditório Central, Bloco C

**Data:** 27/10/2023

**14h00: An Unsupervised ML-driven Approach for Water Leak Detection in Localized Irrigation System**

Andrei Ribeiro, Fabrício Lobato, Victor Cardoso e João Costa

**14h20: Desenvolvimento de uma Ferramenta Web para Monitoramento Ambiental de Raios no Município de Marabá**

Elton R. Alves, André Araújo, Warley Júnior e Andson Balieiro

**14h40: Previsão de Cheias Sazonais no Rio Tocantins utilizando Redes Neurais Artificiais Recorrentes**

Jamerson Messias, João Carmona, Cristiane Cunha, Warley Júnior e Hugo Kuribayashi

**15h00: Classificação de Imagens de Exames de Preventivo Usando Rede Neural Convolutacional**

Edriane do Socorro Silva Costa, Sidnir Carlos Baia Ferreira, Ítalo José da Silva Melo, Josiellem Damasceno de Souza, Jasmine Priscyla Leite de Araújo, Evelin Helena Silva Cardoso, João Farias Guerreiro, Paulo Pimentel de Assumpção e Carlos Renato Lisboa Francês

**15h20: Monitoramento Automatizado do NEE na Floresta Amazônica usando Redes Neurais LSTM**

Jean Dias, Albert dos Santos, Gabriel Costa, Diego Cardoso e Marcos Seruffo

---

### Sessão Técnica 2

**Chair:** Prof. Dr. Fabricio Rossy de Lima Lobato

**Local:** Miniauditório 1, Bloco C

**Data:** 27/10/2023

**14h00: Primeiras Medições em Antenas em Microfita Realizadas no Campus Tucuruí UFPA**

André Luiz da Silva Aranha, Andrécia Pereira da Costa, Alfrêdo Gomes Neto e Júlio Cesar de Araújo Ferreira

**14h20: Análise Numérica da Radiação de Dipolos e Linhas de Corrente em Regiões Mistas**

Alexandre C. Oliveira, Augusto C. C. de Lima, Jeferson B. Leite e Karlo Q. da Costa

**14h40: Medidas e Modelo de Traçado de Raios para Ambiente Indoor em 3.5 GHz**

Alan B. S. Corrêa, Lucian M. Ribeiro, Flávio H. C. da S. Ferreira, Caio M. M. Cardoso, Fábio F. Ribeiro, Jasmine P. L. Araújo, Miercio C. de A. Neto e Fabricio J. B. Barros

**15h00: Modelo de Perda de Propagação para LoRa em terreno Misto: Terra-Rio**

Lucian M. Ribeiro, Caio M. M. Cardoso, Alan B. S. Corrêa, Douglas F. Menezes, Kleysson S. de Oliveira, Jasmine P. L. Araújo, Miercio C. de A. Neto e Fabricio J. B. Barros

**15h20: FlexPower: Atribuição de Potência Flexível para Redes Ópticas Elásticas Multi-Núcleo Considerando Limitações de Camada Física**

Talles Magalhães, Fabricio R. L. Lobato, Gustavo Silva, Carlos Natalino, Antônio Jacob e João Costa

---

### Sessão Técnica 3

**Chair:** Prof. Dr. Fabrício Braga Soares de Carvalho

**Local:** Miniauditório 2, Bloco C

**Data:** 27/10/2023

**14h00: Viabilidade da Tecnologia de Radiofrequência LoRa para Aplicações de IoT em Smart Campus**

Iviny M. S. Cavalcante, Daniel de Q. Cavalcanti, Samara R. Silva, Fabrício B. S. Carvalho e Waslon T. A. Lopes

**14h20: Análise de Sistemas F-OFDM em Canais AWGN com Diferentes Funções Janela**

Everton Vinícius da Silva Campos, Luiz Gonzaga de Queiroz Silveira Junior e Marcio Eduardo da Costa Rodrigues

**14h40: Interference Mitigation for Cognitive Radio Femtocells in Heterogeneous Mobile Networks**

Jussif J. Abularach Arnez, Caio Bezerra de Souza e Walmir Acioli e Silva

**15h00: Balanceamento de Carga por meio de Aprendizagem por Reforço em Redes Móveis Heterogêneas**

Matheus Alves, Gustavo Broechl, Luna Loyolla, Marcela Alves e Hugo Kuribayashi

**15h20: Escalonamento de Recursos Utilizando RL para Proteção de Serviços URLLC em Indústrias 4.0**  
Cleverson Nahum, Weskley Mauricio, Maykon Silva, Michelle Facina, Marcos Takeda e Aldebaro Klautau

---

#### Sessão Técnica 4

**Chair: Prof. Dr. Waslon Terlizzie Araújo Lopes**

**Local: Miniauditório da Biblioteca**

**Data: 27/10/2023**

**14h00: Segmentação de Radiografia Panorâmica com Uma Versão Acelerada do Algoritmo Fuzzy K-means**

Maria Alice A. Calazans, Felipe A. B. S. Ferreira, Maria de Lourdes M. G. Alcoforado e Francisco Madeiro

**14h20: Projeto de Dicionário Baseado no Algoritmo de Otimização do Lobo Cinzento**

Arthur Nascimento, Verusca Severo e Francisco Madeiro

**14h40: Comparing 5G SA Spectral Efficiency with Shannon Capacity**

Matheus N. Nery, Barbara R. X. R. Faria, Jose M. de Souza F., Iran M. Braga Jr. e Clerdomy Zidor

**15h00: Análise da implantação da HDTV na Amazônia por meio de RNA: estudo de caso do Estado do Amapá**

Kleysson S. de Oliveira, Alex S. Macedo, Brenda S.S. Barbosa, Caio M. M. Cardoso, Fábio F. Ribeiro, Miércio C. de A. Neto, Jasmine P. L. Araújo e Fabrício J. B. Barros

**15h20: Desempenho de Códigos Polares em Canal com Desvanecimento Rayleigh**

Sharon Raphaella O. S. de Sousa e Waslon Terlizzie A. Lopes

---

#### Sessão Técnica 5

**Chair: Prof. Dr. Reginaldo Cordeiro dos Santos Filho**

**Local: Auditório Central**

**Data: 28/10/2023**

**08h30: Modelo de Classificação e Detecção de Larvas de Mosquitos Aedes Usando YOLO**

Romário da Costa Silva, Carlos André de Mattos Teixeira e Carlos Renato Lisboa Francês

**08h50: Sistemas de Controle Industrial com Arquitetura de Confiança Zero: Análise de Resposta a Ataques**

Lucas S. Cruz e Iguatemi E. Fonseca

**09h10: Management of Remote Operations in IoT Systems**

Mercedes Diniz, Pedro Rendeiro, Marcos Silva, Lucas Silva e Leonardo Ramalho

**09h30: RTSP Video Streaming Setup Using Real Packets Traffic Through a Containerized ns-3 Network**

João Albuquerque, Felipe Bastos, João Borges, Ilan Correa e Aldebaro Klautau

**09h50: Um Estudo Comparativo entre Redes Neurais Convolucionais e YOLO como Estratégias de Controle do Aedes Aegypti**

Romário da Costa Silva, Carlos André de Mattos Teixeira e Carlos Renato Lisboa Francês

---

#### Sessão Técnica 6

**Chair: Prof. Dr. Gervásio Protásio Cavalcante**

**Local: Miniauditório 1, Bloco C**

**Data: 28/10/2023**

**08h30: Modelo Multi-Declive para Terreno Misto Baseado em Imagem Aérea**

Caio M. M. Cardoso, Filipe C. Fernandes, Alex S. Macedo, Fabrício J. B. Barros e Jasmine P. L. Araújo

**08h50: Projeto de uma Antena MIMO de Tripla Banda para Comunicações 5G em Frequências mmWave**

Alberto M. P. da Gama, Fábio F. Ribeiro, Kleysson S. de Oliveira, Jasmine P. L. de Araújo, Haroldo N. da C. Filho, Fabrício J. B. Barros e Miércio C. de A. Neto

**09h10: Análise de Cobertura e Qualidade de Rede Celular 5G: Estudo de Caso de Belém-PA**

Verlandio M. G. Filho, Ytalo de J. A. C. Sousa, Lizandro D. A. Zenteno, Alex S. Macedo Hugo A. O. Cruz, Miércio C. de A. Neto, Jasmine P. L. Araújo e Fabrício J. B. Barros

**09h30: Classificação de Fluxo e Tolerância a Falhas com Controlador Ryu**

Eonay Gurjão, Klenilmar Dias e Marcos Amaris

**09h50: ISP 5G para atendimento remoto e monitoramento ambiental no Brasil**

Eduardo Moreno e Paulo Cardieri

---



### Sessão Técnica 7

Chair: Prof. Dr. Antonio Gomes Abelém

Local: Miniauditório 2, Bloco C

Data: 28/10/2023

**08h30: Análise de Modelos de Propagação por Meio de RNA em Ambiente de Aeroporto para 3,5 GHz**

Guilherme H. M. Silva, Alex S. Macedo, Caio M.M. Cardoso, Brenda S. de S. Barbosa, Hugo A. O. Cruz, Miércio C. de A. Neto, Jasmine P. L. Araújo e Fabrício J. B. Barros

**08h50: Applying Machine Learning Models to Heterogeneous Handover Management in Heterogeneous Networks**

Daniel Souza, Igor Falcão, Albert Einstein, Harold Junior, Diego Cardoso, Fernando Costa, Ronilson Pereira e Marcos Serrufo

**09h10: Comparando Estratégias de Roteamento em Redes Quânticas Oportunísticas**

Diego Abreu, Alan Veloso e Antônio Abelém

**09h30: Detecção de Ransomware: Uma abordagem por Aprendizado de Máquina Quântico**

Diego Abreu, Alan Veloso e Antônio Abelém

**09h50: Estratégias de Aprendizagem por Reforço Aplicadas à Detecção de Sites Phishing**

Flavia Oliveira, Marcela Alves e Hugo Kuribayashi

---

### Sessão Técnica 8

Chair: Prof. Dr. Iguatemi Eduardo da Fonseca

Local: Miniauditório da Biblioteca

Data: 28/10/2023

**08h30: Classificação de Problemas da Voz via Processamento Digital de Sinais e Aprendizado de Máquina**

Samuel Santos, Luan Oliveira e Adam Santos

**08h50: Avaliação de Características de Sinal Acústico de Vazamento de Gás em Plataforma de Petróleo Offshore**

Edson Pereira de Castilho Jr., Fabrício Braga S. de Carvalho e Waslon Terlizzie A. Lopes

**09h10: Detecção de Ataques DDoS com Base em Métricas de Tráfego usando Viola-Jones**

Antonio A. Freitas Junior, Agostinho de M. Brito Junior e Luiz F. Q. Silveira

**09h30: Integrated Teaching of DSP, Telecommunications and Machine Learning using Jupyter Notebooks**

Eduardo Guedes Filho, Francisco Müller e Aldebaro Klautau

**09h50: Desenvolvimento de um Localizador de Veias de Baixo Custo para a População Amazônica**

R. V. L. Rosário, I. C. Leão, L. R. S. Borges, D. A. Gomes, D.S. Lima e V.A.A. Filho

---

### Sessão Técnica 9

Chair: Prof. Dr. Ronaldo Freitas Zampolo

Local: Auditório Central

Data: 29/10/2023

**08h30: Estimação de Canal MU-MIMO por Redes Recorrentes com Ajuste de Memória**

Eduardo N. Velloso e Luiz F. Q. Silveira

**08h50: Automated Generation of RAN Scenarios for Experimentation**

Heitor Anglada, Cleverson Nahum, Glauco Gonçalves, Ilan Correa, Silvia Lins and Aldebaro Klautau

**09h10: Modelo de Descarga para Dispositivo IoT Usando Redes Neurais Artificiais**

Wilson A. C. Macedo, Tatiane F. Balbinot, Salomão B. Santos, Wendell L. Louzada, Valéria A. Chaves, Edian F. F. de L. Santos, Rommel T. J. Ramos e Fabrício J. B. Barros.

**09h30: A Cluster-based Approach for Single Failure Management in Transparent Optical Networks**

Rafael F. P. Sales, Andrei N. Ribeiro, Fabrício R. L. Lobato, Moisés F. M. Silva e João C. W. A. Costa

---

### Sessão Técnica 10

Chair: Prof. Dr. Roberto Célio Limão

Local: Miniauditório 1, Bloco C

Data: 29/10/2023

**08h30: Um Método para Ocultação de Informação em Imagens Digitais Inspirado no Sistema Braille**

Marcos Canejo e Francisco Madeiro

**08h50: Estimação de sinais cardíacos em um modelo animal pela técnica iECG**

Angélica Quadros, Jéssica Silva, Ítalo Sandoval, Rodrigo Luz, Tainan Neves, Vinicius Silva, Gabriel Costa, Jimena Paredes, Ilija Uzelac e João Salinet

**09h10: Avaliação de Computação de Borda em Cenários de Drones Aplicado a IoT**

Wilson Rogério Soares Silva e Diego Lisboa Cardoso

**09h30: Controle de Equipamentos Eletrônicos Através de Comandos de Voz Utilizando Infravermelho**

C. F. O. Júnior e R. E. Sant'Anna

---

**Sessão Técnica 11**

**Chair: Prof. Dr. Roberto Menezes Rodrigues**

**Local: Miniauditório 2, Bloco C**

**Data: 29/10/2023**

**08h30: Otimização da Alocação de Demandas em Redes 6G Habilitadas para NFV**

Matheus Pantoja, Rafael F. Vieira e Diego L. Cardoso

**08h50: Análise Comparativa de Cobertura e Qualidade entre as Redes Celulares 4G e 5G em Belém-PA**

Verlandio M. G. Filho, Ytalo de J. A. C. Sousa, Lizandro D. A. Zenteno, Alex S. Macedo, Hugo A. O. Cruz, Miércio C. de A. Neto, Jasmine P. L. Araújo e Fabrício J. B. Barros

**09h10: Localização e Orientação de Estação Móvel em Redes 5G utilizando DCS-SOMP**

Paulo Francisco da Conceição e Flávio Geraldo Coelho Rocha

**09h30: Maximização da Eficiência Energética em Redes RSMA 6G**

Albert dos Santos, Ermínio da Paixão, Igor Falcão e Diego Cardoso

---

**Sessão Técnica 12**

**Chair: Prof. Dr. Karlos Queiroz da Costa**

**Local: Miniauditório da Biblioteca**

**Data: 29/10/2023**

**08h30: Bandwidth Part (BWP) Effects on the Reduction of UE Battery Consumption in 5G Standalone Networks**

Ana C. Schramm, Rodrigo D. Alfaia e Bruno S. da Silva

**08h50: Performance Evaluation of the E2 Interface in Open RAN Setups**

Frank Morte, Rebecca Aben-Athar, Cleverson Nahum, Glauco Gonçalves, Ilan Correa, Silvia Lins and Aldebaro Klautau

**09h10: Effect Size Measure for IoT Networks Energy Consumption Evaluation**

Felipe Correia e Marcelo de Alencar

**09h30: Transmissão IoT e Sistema Fuzzy Para a Detecção dos Níveis de Interferência em Sensores de Temperatura Afetados Pela Formação de Biofilme**

Tatiane F. Balbinot, Wilson A. C. Macedo, Salomão B. Santos, Fabrício J. B. Barros, Rommel T. J. Ramos, Edian F. F. de L. Santos, Jasmine P. L. de Araújo

---

## Cerimônia de Encerramento

---

**Premiação dos melhores trabalhos**

– **Dr. Diego Lisboa Cardoso**

Serão divulgados os três melhores artigos do evento, com premiações de R\$ 500,00, R\$ 300,00 e R\$ 200,00 para primeiro, segundo e terceiro colocados, respectivamente.

**Palavras finais**

– **Dr. Gilvan Soares Borges**

– **Local:** Auditório Central

– **Data e hora:** 29/10/2023 das 10h00 às 10h30

# A Cluster-based Approach for Single Failure Management in Transparent Optical Networks

Rafael F. P. Sales  
Institute of Technology  
Federal University of Pará  
Belém, Pará  
rafael.sales@itec.ufpa.br

Andrei N. Ribeiro  
Institute of Technology  
Federal University of Pará  
Belém, Pará  
andrei.ribeiro@icen.ufpa.br

Fabrcio R. L. Lobato  
Institute of Technology  
Federal University of Pará  
Belém, Pará  
frl@ufpa.br

Moisés F. M. Silva  
Los Alamos National Laboratory  
Los Alamos, USA  
mfelipe@lanl.gov

João C. W. A. Costa  
Institute of Technology  
Federal University of Pará  
Belém, Pará  
jweyl@ufpa.br

**Abstract**—The occurrence of failures in transparent optical networks (TON) can directly affect its quality of transmission. Hence, parallel to the ever-increasing complexity of these networks, machine learning (ML) algorithms have become attractive to the failure detection to their ability to learn complex relationships on a data-driven basis. However, in the most cases supervised ML techniques are used, not handling the imbalanced nature of real TON datasets. Therefore, this work proposes a clustering approach based on the K-means algorithm to perform failure detection and localization in TON. The proposed approach achieves 96% accuracy detection and less than 1% of false positive errors.

**Index Terms**—Unsupervised learning, Machine learning, Failure detection, Optical Networks

## I. INTRODUCTION

Accurate and real-time failure management is crucial to ensure the quality-of-transmission (QoT) of the highly demanding transparent optical networks (TON) [1]. Different types of failures, oftenly classified into hard and soft failures, can affect the QoT during the network operations, leading to packet losses or links disruption if not properly handled [2].

The conventional methods for failure management in TON mainly rely on preset thresholds, which have become ineffective for complex and dynamic cases [1]. Hence, several methods are leveraging the machine learning (ML) capabilities for rapid and efficient management performance, even when the network parameters increase. For instance, [3] and [4] proposes several supervised learning (SL) techniques, such as neural network and support vector machines, to perform soft-failure management in TON.

However, SL models must be trained with a considerable number of failure samples which is not oftenly available compared with normal samples in the datasets collected from the practical operating system. This imbalance nature leads SL models to a slow development process and several misclassifications. Thus, some studies have focused on the use of unsupervised learning (UL) techniques, which can be trained with only data under normal condition. Therefore, this

paper proposes an unsupervised approach using a K-Means clustering algorithm to detect and localize failure in TON.

## II. PROPOSED APPROACH

The K-means algorithm is a simple and effective UL model that can be used to group similar instances/samples [5], as it scales better than other clustering algorithms, it was chosen for this work. First, K-means set a user-chosen cluster number  $k$  and uses the geometric centers (centroids) of these clusters to classify a sample. The sample is assigned to the cluster that has the smallest euclidean distance.

The proposed approach is performed with input power data of amplifiers distributed in the TON. First, failure indicator (FI) are calculated through the distance between a instance and its nearest cluster centroid. As the model was trained with only data under normal condition, failure instances generates high FIs compared to normal instances. Thus, the failure detection can be performed setting a threshold calculated over the training dataset. If a new instance introduces a failure indicator higher than the training-defined threshold, it is classified as a failure condition. Fig. 1 illustrates the proposed approach.

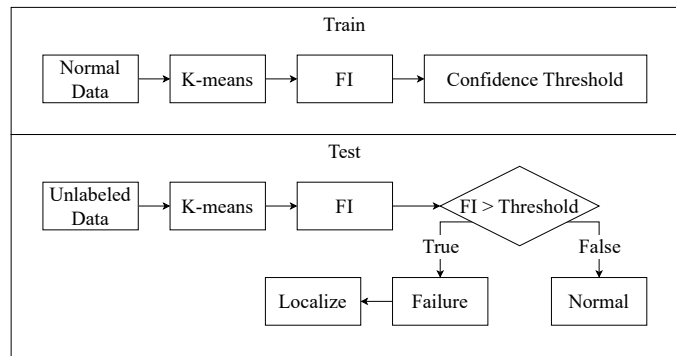


Fig. 1. KM-based outlier detection.

Once detected, the failed amplifier (FA) can be located in the TON amplifiers using Equation (1) developed for this

paper using the vector decomposition technique. Assume  $X$  corresponds to the dataset and  $C$  corresponds to the clusters. If the  $i$ -th row of  $X$  was classified as a failure sample and  $X_i$  has  $m$  amplifiers and  $C_n \in C$  is the closest cluster to  $X_i$ , the location can be obtained calculating the local failure indicator (LFI), which corresponds to the absolute difference between amplifier feature  $X_{ij}$  and the coordinate of the nearest cluster centroid  $C_{nj}$  for each  $j=1,2,\dots,m$ . The  $j$ -th amplifier of  $X_i$  with the largest LFI is the amplifier where the failure occurs.

$$FA = \{X_{ij} \in X_i \mid \max_{j=1}^m \sqrt{(C_{nj} - X_{ij})^2}\}. \quad (1)$$

### III. RESULTS AND DISCUSSION

To evaluate the proposed approach, the dataset was collected from a testbed which presents optical network devices dedicated to research activities, more information in [6]. It includes two SPO 1400 devices and 4 EDFA amplifiers which are used to compensate for the power attenuation. The link going from the SPO1 to the SPO2 consists of 3 spans of 80km each, resulting 240km total link length. The output of the SPO1 has been attached to a wavelength selective switch, which was used to provide attenuation changes in the first EDFA.

Due to some missed values in the original dataset, an interpolation technique was used, generated at the end 13,948 samples collected with sampling frequency of around 3.5 seconds. The network parameters chosen for training and testing were only the input powers of the EDFAs. Among the samples, the first 80% of the data are used for training and the following 20% for testing. It is important to note that only in the percentage of the data corresponding to the test phase failure conditions are simulated. The failure was inserted at the first EDFA for localization purposes.

After fine-tuning,  $K=3$  is the best value considered for the proposed K-Means approach. Moreover, the outlier detection performance is evaluated in terms of Type I (false-positive) and Type II (false-negative). Moreover, a linear threshold is defined for 99% of confidence over the training data. The results of failure detection are shown in the Fig. 2 below.

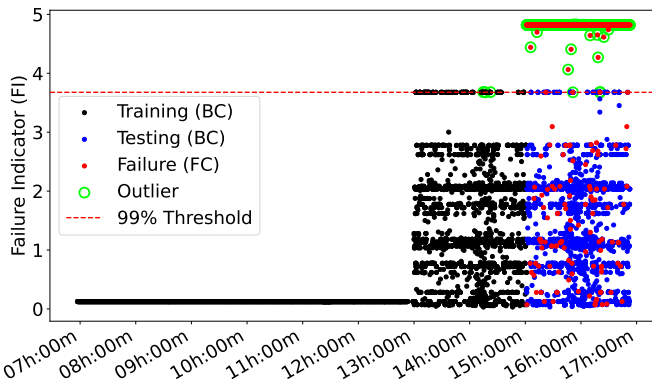


Fig. 2. Outlier detection.

It is clear to note in the Fig. 2 that the K-means approach achieved accurate failure detection, resulting 96.41% accuracy

and 0.07% and 3.52% for Type I and Type II indicators, respectively. This result is due to the dataset containing variations of the normal condition, which allows the K-means to have a better learning about normal data, achieving better detection. However, there are failure data that behave similarly to normal data, which makes their detection complicated and increases the Type II indicator.

After detecting the network failure, it is necessary to locate. For this task, we compare the LFI of each amplifier. 605 test samples were classified as failures. Fig. 3 contains the LFI values for each amplifier of these samples.

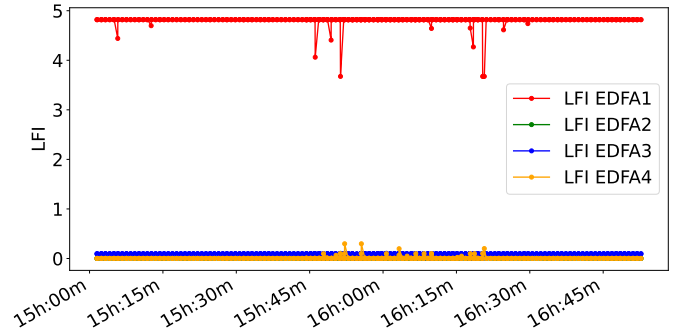


Fig. 3. Local failure indicator per feature.

Fig. 3 shows that all failures are attributed to EDFA1 and only two of the 605 samples are false positives. The remaining samples present failures only in EDFA1. Considering the 603 samples correctly classified, the proposed approach achieves an precision of 100% for single failure localization.

### IV. CONCLUSION

In this paper, an unsupervised approach based on the k-means algorithm was used to detect and locate failures in TON. The technique achieved 0.07% and 3.52% of Type I and Type II errors, respectively, totaling 96.41% accuracy in terms of single failure localization for the aforementioned testbed, indicating to be a promising method even with the imbalanced nature of the data collected from TON.

### REFERENCES

- [1] WANG, Danshi et al. A Review of Machine Learning-based Failure Management in Optical Networks. *Science China Information Sciences*, v. 65, n. 11, p. 1-19, 2022.
- [2] Z. Cheng, X. Zhang, S. Shen, S. Yu, J. Ren, and R. Lin, "T-trail: Link Failure Monitoring in Software-defined Optical Networks," *J. Opt. Commun. Netw.*, vol. 10, no. 4, pp. 344-352, Apr. 2018.
- [3] D. Rafique, T. Szyrkowiec, H. Grieber, A. Autenrieth, and J. Elbers, "Cognitive Assurance Architecture for Optical Network Fault Management," *J. Lightw. Technol.*, vol. 36, no. 7, pp. 1443-1450, Apr. 2018.
- [4] Shariati B, Ruiz M, Comellas J, et al. Learning From the Optical Spectrum: Failure Detection and Identification. *Journal of Lightwave Technology*, 2019, 37: 433-440
- [5] SYARIF, Iwan; PRUGEL-BENNETT, Adam; WILLS, Gary. Unsupervised Clustering Approach for Network Anomaly Detection. In: *Networked Digital Technologies: 4th International Conference, NDT 2012, Dubai, UAE, April 24-26, 2012. Proceedings, Part I 4*. Springer Berlin Heidelberg, 2012. p. 135-145.
- [6] InRete Lab, 2021, "Optical Failure Dataset," Scuola Superiore Sant'Anna. [Online]. Available: <https://github.com/Network-And-Services/optical-failure-dataset>

# Análise Comparativa de Cobertura e Qualidade entre as Redes Celulares 4G e 5G em Belém-PA

Verlandio M. G. Filho\*, Ytalo de J. A. C. Sousa\*, Lizandro D. A. Zenteno\*, Alex S. Macedo\*  
Hugo A. O. Cruz\*, Miércio C. de A. Neto\*, Jasmine P. L. Araújo\*, Fabrício J. B. Barros\*

**Resumo**—As operadoras de telefonia celular iniciaram a fase de transição e implementação das redes 4G-LTE para 5G na região central da cidade de Belém do Pará, buscando melhorias no desempenho e qualidade do sinal. No entanto, o desafio da transição da tecnologia em ambiente Amazônico enfrenta alguns obstáculos como área urbana verticalizada e com vegetação. Portanto, este estudo tem como objetivo preliminar comparar o desempenho de ambas redes analisando o nível de sinal recebido por meio dos parâmetros de intensidade do sinal de RSRP, RSRQ e SINR. A campanha de medições foi realizada com o método teste driver e utilizando o software *G-net Track pro* e escolhendo uma estação rádio base de uma operadora local com coleta de dados a um raio de cobertura de 1km.

**Palavras-chave**—4G-LTE, 5G, Análise de Cobertura, G-netTrack, Belém-PA.

## I. INTRODUÇÃO

As Operadoras de Rede Celular (ORC) estão enfrentando uma grande demanda de usuários devido à crescente popularidade das redes de comunicações de quinta geração (5G), pois, estes estão buscando serviços 5G autênticos. Inicialmente, com um número limitado de usuários 5G, os investimentos necessários para oferecer esses serviços que são elevados [1]. Ao contrário das gerações anteriores, a transição para os sistemas 5G é muito mais do que o aprimoramento das redes de quarta geração - *Long Term Evolution* (4G-LTE) legadas, pois, traz uma extensa evolução na tecnologia de radiofrequência, bem como da arquitetura geral do sistema. As ORC devem atualizar-se para atender às demandas de seus novos usuários 5G e, ao mesmo tempo, garantir que os requisitos dos usuários LTE não sejam comprometidos até sua transição [1]. Os autores em [4] verificaram que na cidade de Jakarta, níveis de RSRP entre -80 dBm e -60 dBm para 4G e 5G, respectivamente. E também, em [3], nem Ibra, mostram dados médios entre -50 dBm e -85 dBm para 5G.

No Brasil, desde de 2012 iniciou-se a introdução da tecnologia 4G-LTE. A rede LTE fornece uma solução IP muito abrangente, com fluxos de dados muito maior que a geração anterior e mais funcional para seus usuários [2]. Em 2021, A Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) realizou o leilão e liberação da instalação do 5G na faixa de 3,5 GHz nas cidades Brasileiras<sup>1</sup>. A exemplo da capital Belém-Pará, onde está localizada a região central de negócios, gerando grande

demanda de acesso á rede celular. Portanto, a disponibilidade de serviços e rede comunicação ampla, rápida e estável se torna prioridade na transição entre as redes 4G e 5G.

Neste contexto, este trabalho analisa-se e compara-se os níveis de sinais recebidos entre as redes 4G e 5G por meio dos parâmetros RSRP, RSRQ e SINR, de uma ERB localizada em um bairro central de Belém-PA. Os resultados apresentados visam contribuir para melhoria e desempenho na área de cobertura da região.

## II. METODOLOGIA

Neste trabalho, analisa-se o desempenho das redes 4G-LTE e 5G com base na intensidade do sinal recebido de uma ORC que está em fase de transição e implementação. O cenário escolhido foi o bairro Nazaré em Belém. Para isso, coletou-se os parâmetros importantes de nível do sinal como RSRP, RSRQ e SINR. Assim, foi implementado o método *Drive test* a uma velocidade de 20 km/h, utilizando o software *G-Nettrack Pro* via usuário celular (UC) com suporte ao 5G. A Estação Rádio Base (ERB) escolhida, está localizada na posição indicada pelo losango em verde (PABL66) e coleta em um raio de 1 km de cobertura, aproximadamente, indicada em pontos coloridos (laranja, amarelo, verde e azul) na Fig. 1. Foram coletados 10 vezes na mesma rota, com dois UC da mesma marca e dois chips, totalizando 17.499 amostras válidas.

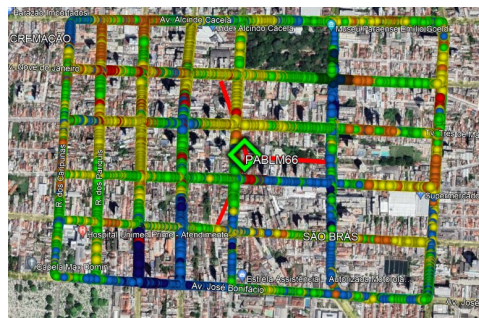


Figura 1. Área de Cobertura do Bairro Nazaré, Belém-PA .

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Será apresentada uma análise comparativa da intensidade do sinal entre as tecnologias por meio dos parâmetros: RSRP, RSRQ e SINR. E os dados são baseados no padrão determinado por ITU-R (*International Telecommunication Union*) 4G LTE KPI e 5G indicados em [4].

\*Laboratório de Computação e Telecomunicações, Universidade Federal do Pará, Belém-Pará, email: verlandio.gondim.engenharia@gmail.com, novoytalo@yahoo.com.br, daniel.eng@gmail.com, alexsanchess@gmail.com, hugo1822@gmail.com, miercio@ufpa.br, jasmine@ufpa.br, fbarros@ufpa.br

<sup>1</sup><https://www.gov.br/anatel/pt-br/regulador/agenda-regulatoria/agenda-2019-item-3>



Tabela I

TABELA DOS VALORES DE MÍNIMOS, MÉDIA E MÁXIMOS DE NÍVEL RECEBIDOS DOS PARÂMETROS RSRP, RSRQ E SINR

	RSRP (dBm)			RSRQ (dB)			SINR (dB)		
	Min.	Média	Máx	Min.	Média	Máx	Min.	Média	Máx
4G	-113	-86.7	-60	-20	-14.5	-6	1	3.3	20
5G	-113	-81.1	-58	-26	-11.9	-11	1	17.7	30

A Tabela I, representa valores de mínimos, média e máximos dos níveis do sinal recebido de acordo cada parâmetro, de acordo com a tabela definida em [4].

A. Reference Signal Received Power (RSRP)

A Potência Recebida do Sinal de Referência (RSRP) é o sinal de energia recebida da ERB para o UC. Quanto mais perto da ERB e do usuário, mais forte a intensidade do sinal recebido [4]. Na Fig. 2 são indicados, em porcentagem, comparativos dos níveis de referência de sinal entre as tecnologias 4G e 5G. O gráfico mostra os níveis dos sinais numa escala que vai de 'RUIM' a 'MUITO BOM' [4]. Onde os níveis estão muito bons em 24,53% das amostras coletadas no 4G e 52,20% das amostras coletadas no 5G. No qual, mostraram que os níveis mínimos e máximos de RSRP para ambas as tecnologias variam entre -60 dBm e -113 dBm e -53 dBm e -113 dBm, respectivamente.

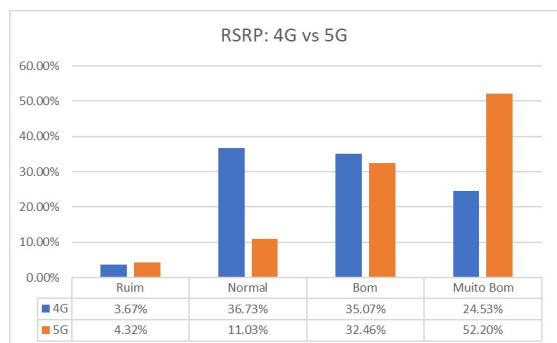


Figura 2. Análise Comparativa de RSRP entre 4G e 5G

B. Reference Signal Received Quality (RSRQ)

Quanto ao RSRQ, é ilustrado na Fig. 3. Neste caso, quanto maior o valor RSRQ, melhor a qualidade do sinal recebido. O valor RSRQ auxilia a ERB a decidir a realizar a nova seleção de célula ou *handover* intra-inter. Nota-se, o nível do RSRQ entre 4G e 5G, obtiveram, melhor desempenho em nível 'NORMAL', com 50,22% e 91% das amostras coletadas, respectivamente. Isto é, variam entre mínimo e máximo de -6 dB e -20 dB e -11 dB e -26 dB, respectivamente.

C. Signal Interference to Noise Ratio (SINR)

Por fim, o SINR é ilustrado na Fig. 4. Quanto maior o valor de SINR, melhor a qualidade da rede. Pode-se observar que o valores 5G SINR é significativamente melhor do que a rede 4G LTE, com uma diferença de 80% ou 5x melhor [3]. Esta diferença de SINR pode ser ocasionado aos fatores do ambiente como prédios, área arborizada e a mobilidade.

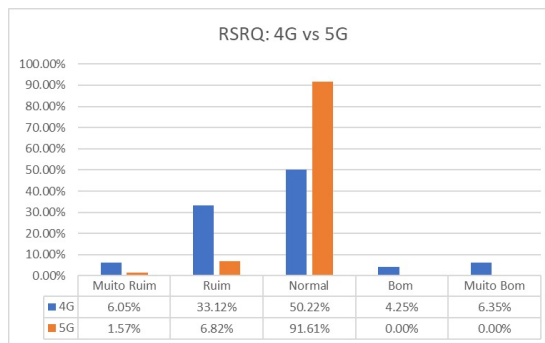


Figura 3. Análise Comparativa de RSRQ entre 4G e 5G

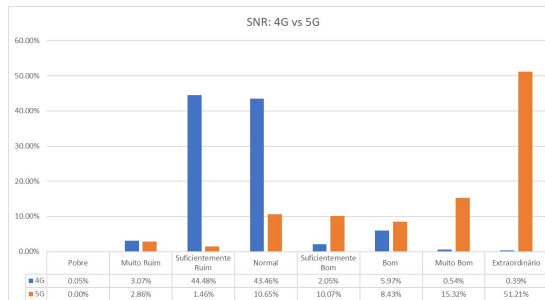


Figura 4. Análise Comparativa de SINR entre 4G e 5G

IV. CONCLUSÃO

Este estudo, analisou os níveis de sinais de uma ERB específica, no qual encontra-se em fase de transição do 4G para o 5G. A pesquisa mostrou que o RSRP no 5G obteve 52,20% de sinal 'MUITO BOM' e de RSRQ em 91,61% de sinal 'NORMAL' das amostras coletadas. Porém, a SINR apresentou resultados mais satisfatórios no 5G em relação ao 4G. Com isso, a rede de comunicação da nova geração já se mostram promissoras. Desta forma, foi possível avaliar brevemente a evolução na transição do 5G na região analisada na cidade de Belém-PA. As pesquisas de campo são importantes e necessárias para melhor compreensão do desempenho das duas tecnologias as quais estão em fase de transição e contribuir com melhoria do planejamento e implantação de redes de próxima geração, principalmente, em regiões com características tão peculiares, como a região Amazônica. Para trabalhos futuros, pretende-se avaliar outros parâmetros como *throughput*, *downlink* e *uplink* em redes 5G.

REFERÊNCIAS

- [1] M. Agiwal, etc et al., "A Survey on 4G-5G Dual Connectivity: Road to 5G Implementation," in IEEE Access, vol.9, pp.16193-16210, 2021.
- [2] G. Liu, Y. Huang, Z. Chen, L. Liu, Q. Wang and N. Li, "5G Deployment: Standalone vs. Non-Standalone from the Operator Perspective," in IEEE Communications Magazine, vol.58, no.11, pp.83-89, Nov.2020.
- [3] M. A. Al Jahdhami, etc.tal, "Performance Analysis of Mobile Broadband Networks in Ibra City, Oman," 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Big Data Analytics, Bandung, Indonesia, 2021.
- [4] W. I. Surahmat, etc.tal, "Comparative Performance Analysis of 4G and 5G Cellular Network Technology in Indonesia: Case Study in the City of Jakarta," 2022 2nd International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS), Yogyakarta, Indonesia, 2022.

# Análise da implantação da HDTV na Amazônia por meio de RNA: estudo de caso do Estado do Amapá.

Kleysson S. de Oliveira\*, Alex S. Macedo\*, Brenda S.S. Barbosa\*, Caio M. M. Cardoso\*  
Fábio F. Ribeiro\*, Miércio C. de A. Neto\*, Jasmine P. L. Araújo\*, Fabrício J. B. Barros\*

**Resumo**—Este artigo apresenta um estudo de caso sobre a implantação da Televisão Digital no interior do Brasil utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA), no Estado do Amapá. O estudo examina os desafios enfrentados por pequenas emissoras e intermediários na região e como as RNAs podem ser usadas para melhorar a cobertura e superar esses desafios. O trabalho apresenta medições de campo do sinal *High Definition Television* - HDTV e discute as técnicas e tecnologias utilizadas para interiorização.

**Palavras-chave**—Interiorização, TV Digital, ISDB-TB, Redes Neurais, MLP.

## I. INTRODUÇÃO

A implantação de serviços de telecomunicações para o atendimento a população da região Amazônia, como é o caso da televisão em rede aberta, pode ser considerada um grande desafio em virtude dos obstáculos encontrados, como por exemplo, extensão da área a ser atendida, 4.196.943 km<sup>2</sup> segundo IBGE [1], dificuldade dos acessos, falta de infraestrutura de energia e a baixa expectativa de retorno financeiro.

Nesse contexto, as redes neurais artificiais surgem como uma ferramenta promissora para estimar a cobertura do sinal de TV digital e superar seus desafios. Este estudo objetiva-se analisar a implantação da TV digital no Estado do Amapá por meio de redes neurais artificiais [2], com foco na melhoria da cobertura do sinal em áreas remotas no estado, realizado por uma emissora local. O trabalho mostra através de medidas de campo realizadas para a verificação da cobertura do sinal atingida.

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma: a seção II mostra os desafios e soluções para a interiorização, na seção III o estudo de caso da retransmissora com o seu sistema atual de interiorização e medidas de campo do sinal HDTV, na seção IV aborda-se as técnicas e tecnologias para interiorização. E por fim, na seção V as conclusões.

## II. DESAFIOS E SOLUÇÕES PARA A INTERIORIZAÇÃO

Para cobrir uma área como a do Estado do Amapá [1], pode-se destacar dois modos na distribuição de sinais da geradora para os pontos de retransmissão: o primeiro via terrestre, com a utilização de microondas ou fibra, e o segundo via satélite [3]. Devido à falta de infraestrutura na região amazônica estradas

\* Os autores pertencem ao Laboratório de Computação e Telecomunicações, Universidade Federal do Pará, Belém-Pará. email: kleysson souza11@gmail.com, alexsanchess@gmail.com, brendabarb@gmail.com, caio.cardoso@itec.ufpa.br, fabioribeiro6zipmail@gmail.com, miercio@ufpa.br, jasmine@ufpa.br, fbarros@ufpa.br

e transportes, logo, o sistema de transmissão via satélite, apresenta-se como a melhor opção.

## III. UM ESTUDO DE CASO DO AMAPÁ

Neste artigo, apresenta-se o estudo de caso da emissora local, responsável por atender os municípios de Macapá, Santana e Mazagão a partir de uma geradora localizada em Macapá. O atendimento destas cidade é realizado via terrestre enquanto os demais municípios é atendido via satélite. A região e os pontos de coleta de dados são ilustrados na Fig. 1.

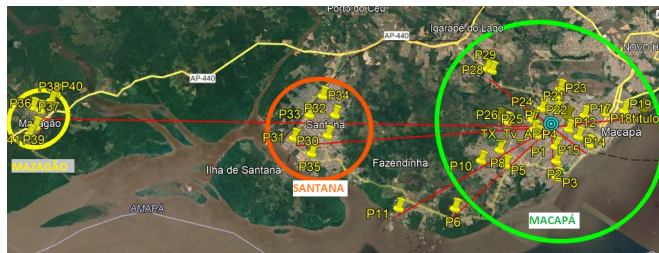


Figura 1: Distribuição de sinal via satélite.

### A. Medidas e testes em campo

Com o intuito de verificar a cobertura do sinal HDTV foi instalado, em uma unidade móvel, um receptor (setupbox) conectado à uma antena externa tipo dipolo horizontal a uma altura de 3 metros. Em paralelo com esta recepção foi instalado um analisador de sinais da ANRITSU modelo MS89901A, conectado à uma antena Yagi-Uda de ganho de 2dB a uma altura de 3 metros, com objetivo de avaliar a *Modulation Error Ratio* - MER em dB e nível de sinal recebido em dBm. Foram utilizados dois receptores *one-seg* com antena interna fixados dentro do veículo (Fig. 3).



Figura 2: Foto do veículo utilizado nas medidas.

O nível de sinal recebido, de acordo com a norma ANATEL [3], deve estar a uma intensidade de campo de 50

dBuV/m, para uma recepção com antena externa assumindo-se modulação OFDM 64QAM FEC  $\frac{3}{4}$  ou com antena interna uma intensidade de 60 dBuV/m. Na prática estes valores ainda dependem de outros fatores, pois apesar de termos níveis de sinais atendidos pela norma, o fator de MER também deve ser observado. O valor mínimo recomendado de MER com a utilização de modulação 64QAM é de 27 dB [4]. Tipicamente a MER na transmissão deve ficar entre 34 a 36 [dB] ou melhor [4].

O transmissor ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial*) possui potência padrão de 4 Kw, altura da torre de 63 metros e uma antena com polarização elítica. Foram realizadas medidas nos bairros mais distantes da capital de Macapá, nas cidades de Santana e Mazagão. Nestes pontos, foram verificados os níveis de sinal, a qualidade da imagem do sinal demodulado e o travamento dos mesmos. Foram observados quatro itens, o qual totalizaram 283 amostras para o banco de dados: 1 - Distâncias dos Pontos; 2 - Valor de MER e 3 - Nível de Sinal recebido. Em alguns bairros de Macapá, os níveis medidos de sinal e MER em alguns pontos apresentaram falhas de travamento e perda de sinal com o veículo em movimento, a uma velocidade de 60 km/h. Comprometendo alguns dados que serviriam para o estudo aproximado da construção do banco de dados a ser analisado pela rede neural artificial.

#### IV. ANÁLISE UTILIZANDO REDES NEURAIAS

As RNAs são uma técnica de aprendizado de máquina amplamente utilizada em muitos campos, incluindo a análise de dados de cobertura de sinal de televisão digital. No estudo de caso apresentado neste trabalho, uma RNA foi utilizada para analisar os dados de cobertura do sinal de HDTV.

Neste método, os dados de cobertura do sinal de HDTV coletados formaram um banco de dados com 283 amostras, no qual foram usados como dados de entrada para uma rede neural MLP (*Multilayer Perceptron*) [5] e estão divididas da seguinte forma: 70% treinamento, 15% validação e teste. Esta rede é treinada para reconhecer padrões nos dados e prever a cobertura de sinal em regiões onde os dados não estão disponíveis. Além disso, na sua arquitetura é utilizado o algoritmo *Levenberg-Marquardt* como método de treinamento.

O objetivo do algoritmo de *Levenberg-Marquardt* é encontrar os pesos sinápticos da rede neural que melhor se ajustam aos dados de cobertura do sinal de HDTV observados, para isso, o algoritmo considera a redução da função de erro que mede o desvio entre a previsão do modelo e o valor real dos dados de cobertura do sinal. Por fim, a arquitetura da RNA possui 2 camadas de entradas (distâncias dos pontos; valor de MER), 10 neurônios na camada escondida e uma saída (Nível de Sinal).

De acordo com a Fig. 3 (a), o critério de parada associado ao algoritmo mostrou-se eficiente, com a melhor resultado alcançado na 11<sup>o</sup> época. Isso significa que o algoritmo foi capaz de realizar o treinamento em um curto período de tempo. A Fig. 3 (b), ilustra o desempenho da RNA treinada, a qual apresentou RMSE (*Ratio Mean Squared Error*) de 4.7119 dB.

Os resultados da análise da RNA mostram a eficácia da técnica para melhorar a cobertura dos sinais de HDTV em áreas remotas. A rede foi capaz de prever com precisão a cobertura do sinal em áreas onde não havia dados disponíveis e identificar áreas onde a cobertura do sinal precisava ser melhorada.

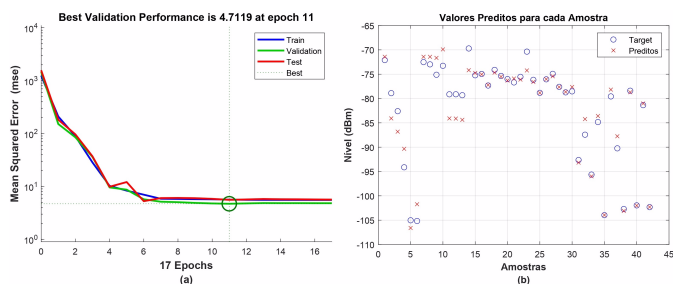


Figura 3: Gráfico dos níveis de sinais para valores preditos e medidos.

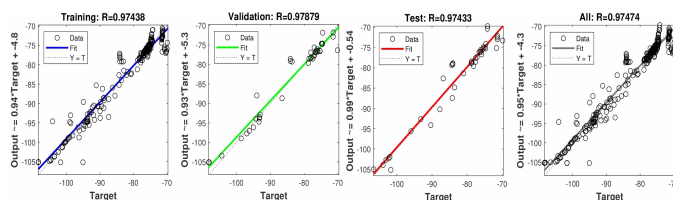


Figura 4: Gráfico da regressão para cada etapa do treino e teste.

A Fig. 4 representa o gráfico de regressão para todos os padrões encontrados. Neste caso, os valores encontrados no conjuntos de treinamento, validação e teste foram, respectivamente, de  $R = 0.97438$ ,  $R = 0.97878$ ,  $R = 0.97433$  demonstrando a boa performance do modelo proposto.

#### V. CONCLUSÃO

Em conclusão, a análise de redes neurais artificiais e o uso dessa tecnologia pode ajudar a superar os desafios enfrentados pelas emissoras e transceptores da região melhorando o acesso à televisão digital.

O modelo proposto, apresentou o rmse de 4.7119 dB, demonstrando que o estudo de caso da utilização das RNAs permitiu uma análise mais precisa dos dados de cobertura do sinal de HDTV no Estado do Amapá. Para trabalho futuros, planeja-se coletar medidas em regiões semelhantes para análise comparativa.

#### REFERÊNCIAS

- [1] K. Fatima, M. A. Alam and A. F. Minai, "Optimization of Solar Energy Using ANN Techniques," 2019 2nd International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control, Greater Noida, India, 2019.
- [2] Interiorização da tv digital soluções para retransmissão, Luiz Rodrigo Openheimer – LINEAR 2011
- [3] Uma análise crítica das resoluções 284 e 398 como critério para a definição da área de cobertura para os sistemas de TV digital ATSC, DVB-T E IDSB-T – Geraldo Gil R. Gomes
- [4] Relatório Técnico: "Planejamento de Canais de Tv Digital, Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em telecomunicações CPNqD".
- [5] Haykin, S.(2001). Neural Networks: A Comprehensive Foundation.



# Análise de Cobertura e Qualidade de Rede Celular 5G: Estudo de Caso de Belém-PA

Verlandio M. G. Filho\*, Lizandro D. A. Zenteno\*, Ytalo de J. A. C. Sousa\*, Alex S. Macedo\*  
Caio M.M. Cardoso\*, Filipe C. Fernandes\*, Jasmine P. L. Araújo\*, Miércio C. de A. Neto\*, Fabrício J. B. Barros\*

**Resumo**—As novas redes de comunicação móveis de quinta geração (5G) têm como propósito atender à crescente demanda por capacidade de transmissão de dados, altas taxas de transferência, alcance estendido e qualidade de sinal aprimorada. Neste artigo, investigamos o desempenho da rede 5G de uma operadora durante sua fase de transição e implantação na região central de Belém do Pará. Para realizar essa avaliação, conduzimos análises com base na intensidade do sinal recebido, utilizando os parâmetros RSRP, RSRQ e SINR. Para coletar os dados, empregamos o método de "drive test" em conjunto com o software *G-netTrack Pro*. Os resultados obtidos revelam níveis satisfatórios de intensidade do sinal recebido nos setores 1, 5 e 8. No entanto, também evidenciam a necessidade de aprimoramentos no planejamento da cobertura da rede de telecomunicações, bem como a consideração da instalação adicional de antenas para ampliar a abrangência da rede região.

**Palavras-chave**—5G, Análise de Cobertura, *G-netTrack*, Belém-PA.

## I. INTRODUÇÃO

A Cisco, em seu *Annual Internet Report (2018–2023) White Paper*, prevê, no quinquênio 2018-2023, aumento de 18,4 bilhões de dispositivos conectados<sup>1</sup>. Expandindo assim, a demanda por redes cada vez mais rápidas, de baixa latência e com alta capacidade de tráfego de dados, exigindo progressivamente, na qualidade de experiência e serviço [1]. Deste modo, as redes de comunicação de 5ª geração (*New Radio 5G NR*), se apresentam como uma solução eficiente para suprir esta crescente demanda [2].

Em 2021, a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) conduziu o leilão para liberar a instalação do 5G na faixa de frequência de 3,5 GHz no Brasil<sup>2</sup>. Com isso, Belém, capital do Estado do Pará, cidade que possui grande importância político-comercial para a região oriental da Amazônia brasileira e vocação para eventos geopolíticos, como o Fórum Social Mundial em 2009 e COP 30 que ocorrerá pela primeira vez no Brasil no ano de 2025. Tais eventos exigem infraestrutura e qualidade nas comunicações móveis.

Neste contexto, foi realizado um estudo a fim de avaliar nível de sinal recebido. Visando proporcionar *insights* e

informações que possam ser utilizados para aprimorar o desempenho e a qualidade dos serviços oferecidos aos usuários. Os resultados têm o propósito de servir como base para a melhoria contínua da conectividade e no atendimento às demandas crescentes de usuários de acordo com o avanço na transição para tecnologia 5G na região Amazônica.

## II. METODOLOGIA

Foram coletados dados de nível sinal 5G em um raio de 1km contemplando cinco bairros da cidade: Nazaré, Umarizal, São Brás, Guamá e Cremação. Na coleta, utilizou-se o método *Drive test* a uma velocidade média de 20 km/h e o software *G-Nettrack Pro* em dois *smartphones* e chips diferentes com suporte ao 5G. A estação rádio base (ERB) indicada no losango em verde (PABL66), operando em 3,311 GHz, largura de banda 20 MHz e banda N78 [4].

No geral, coletou-se 17.499 amostras válidas, com 10 voltas na mesma rota. Para melhor compreensão na análise dos dados, a área estudada foi dividida em 12 setores (de 0 a 11) com 30° cada, correspondentes aos azimutes de 120° (linha amarela), de cada antena da ERB de uma operadora escolhida conforme a Fig. 1.



Figura 1. Área de rotas percorridas no drive test, Belém-PA.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela I compreende aos valores de captura de níveis do sinal baseados no padrão ITU [3] e comparados com [3] [4].

### A. Reference Signal Received Power (RSRP)

A RSRP é o sinal de energia recebida pelo usuário e quanto mais perto da ERB mais forte é a intensidade do sinal recebida da célula de rede 5G [3]. Nota-se que os melhores níveis estão nos setores 1, 5 e 8. A Fig. 2 ilustra o setor 1, no qual os

\*Laboratório de Computação e Telecomunicações - LCT, Universidade Federal do Pará - UFPA. email: verlandio.gondim.engenharia@gmail.com, ldaniel.eng@gmail.com, novoytalo@yahoo.com.br, alexsanchess@gmail.com, caio.cardoso@itec.ufpa.br, filipefernandes@ufpa.com.br miercio@ufpa.br, jasmine@ufpa.br, fjbrito@gmail.com

<sup>1</sup><https://11nq.com/304fM>

<sup>2</sup><https://acesse.one/21wnP>

Tabela I  
TABELA DOS VALORES DE MÍNIMO, MÉDIO E MÁXIMO DE NÍVEL RECEBIDOS DOS PARÂMETROS RSRP, RSRQ E SINR

5G	RSRP (dB)			RSRQ (dB)			SINR		
	Min.	Média	Máx	Min.	Média	Máx	Min.	Média	Máx
5G	-113	-81.1	-58	-26	-11.9	-11	1	17.7	30

excelentes níveis estão entre -75 a -85 dBm até 150 metros próximos da ERB e na direção central azimutal da antena. Isso ocorre, devido o setor 1, o sinal está sendo pouco obstruído. E a partir de 300 a 600 metros pode-se observar o decaimento do sinal.

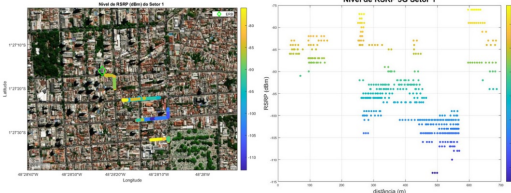


Figura 2. Nível de RSRP 5G no Setor 1

A Fig. 3 mostra o sinal de RSRP do setor 5 com bons níveis de sinais entre -63 a -75 dBm. Mas também, houveram variações entre -85 a -100 dBm. Esta região apresenta poucos prédios obstruindo a linha de visada da ERB, contudo é uma região arborizada justificando o decaimento do sinal.

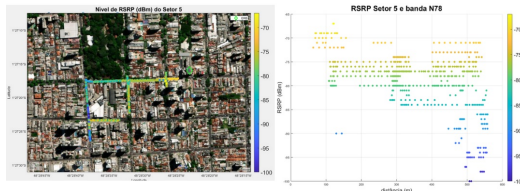


Figura 3. Nível de RSRP 5G no Setor 5

No setor 8, visto na Fig. 4, nota-se, que os níveis concentram-se entre -80 a -86 dBm no perímetro de 400 m. Como também, contém poucos pontos entre -58 a -65 dBm em torno de 750 m. Nessa região do setor 8, apresenta poucos obstáculos que mostram os melhores níveis.

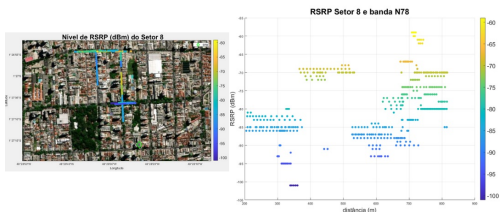


Figura 4. Nível de RSRP 5G no Setor 8

**B. Reference Signal Received Quality (RSRQ)**

De acordo com [3] quanto maior seu RSRQ, melhor a qualidade do sinal recebido. O valor RSRQ auxília a ERB a

decidir a realizar a nova seleção de célula ou handover intra-inter. Os níveis do RSRQ de modo geral variam entre mínimo e máximo de -11 dB e -26 dB. De acordo os melhores setores analisados 1, 5 e 8 os níveis vistos na Fig. 5.

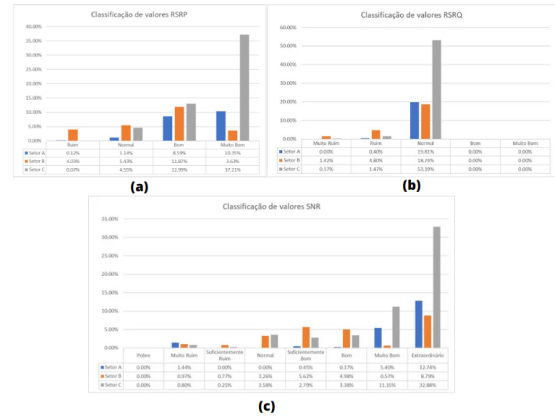


Figura 5. Análise e classificação de dados capturados avaliados dos Setores 1, 5 e 8: (a) RSRP, (b) RSRQ e (c) SINR

**C. (Signal Interference to Noise Ratio) (SINR)**

Quanto maior o valor de SINR, melhor a qualidade da rede [3]. Verifica-se que na média, o 5G SINR apresentou bons resultados. A SINR pode ser afetada aos fatores do ambiente como prédios, área desensamente arborizada e circulação de pessoas e veículos. A Fig. 5 mostra os melhores níveis e a classificação os dados conforme a quantidade de dados capturados e avaliados dos setores (1, 5 e 8) de acordo com o [3].

**IV. CONCLUSÃO**

Neste estudo, foram avaliados os níveis de sinal recebido da tecnologia 5G em uma determinada região de Belém-PA. A análise revelou níveis satisfatórios de RSRP, RSRQ e SINR em 3 dos 12 setores examinados. Dada a susceptibilidade da frequência de 3,5 GHz a interferências a obstáculos, identifica-se a imperatividade de aprimoramentos no planejamento da rede, considerando as particularidades das cidades da Amazônia. Isso pode envolver a reconfiguração da área de cobertura, a instalação de novas antenas ou a incorporação de novas ERBs. Para trabalhos futuros, pretende-se realizar um estudo de otimização da rede 5G utilizando métodos de inteligência computacional.

**REFERÊNCIAS**

- [1] EL-SALEH, A. A. et al. Measuring and Assessing Performance of Mobile Broadband Networks and Future 5G Trends. Sustainability, v.14, jan. 2022.
- [2] M. A. Al Jahdhami, et al, "Performance Analysis of Mobile Broadband Networks in Ibra City, Oman,"2021 International Conference on Artificial Intelligence and Big Data Analytics, Bandung, Indonesia, 2021
- [3] M. Agiwal, etc et tal., "A Survey on 4G-5G Dual Connectivity: Road to 5G Implementation,"in IEEE Access, vol.9, 2021.
- [4] SIM, C.-Y.-D.; et al.Wideband MIMO Antenna Array Design for Future Mobile Devices Operating in the 5G NR Frequency Bands n77/n78/n79 and LTE Band 46. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, v.19, jan. 2020.

# Análise de Modelos de Propagação por Meio de RNA em Ambiente de Aeroporto para 3,5 GHz

Guilherme H. M. Silva\*, Alex S. Macedo\*, Caio M.M. Cardoso\*, Brenda S. de S. Barbosa\*, Hugo A. O. Cruz\*, Miércio C. de A. Neto, Jasmine P. L. Araújo\*, Fabrício J. B. Barros\*

**Resumo**—Este artigo apresenta uma análise da previsão da perda de percurso (PL) para a frequência de 3,5 GHz em um ambiente interno de Aeroporto. Para isto, foram realizadas campanhas de medições em linha de visada direta (*Line of Sight-LOS*) em situações de co-polarização (V-V e H-H). Para avaliar a perda é realizada a modelagem e aplicação dos modelos matemáticos *Floating-Intercept* (FI) e *Close-In* (CI). Nesse contexto, estes modelos são comparados a uma arquitetura de Rede Neural Artificial (RNA) amplamente utilizada para tarefas de aprendizado supervisionado, o *Multilayer Perceptron* (MLP). Os parâmetros de análise incluem a distância entre o Tx e o Rx, o tipo de polarização e rota. São calculados os valores dos parâmetros de *Root Mean Square Error* (RMSE) e Desvio Padrão ( $\sigma$ ). A rede MLP apresentou menores valores RMSE e  $\sigma$ , assim obtendo melhor desempenho.

**Palavras-chave**—Modelos de Propagação, RNA, MLP, Aeroporto, 3,5 GHz.

## I. INTRODUÇÃO

A implantação do 5G em ambientes internos ganha destaque como uma boa solução devido ao aumento do congestionamento e do tráfego na rede de comunicações sem fio. As bandas de frequência do 5G, incluindo as faixas de espectro mais altas, oferecem maior capacidade e velocidade de transmissão, o que pode aliviar os problemas de congestionamento enfrentados pelas redes WiFi. Fundamentalmente, com a evolução dos dispositivos móveis, acelerou-se o crescimento e a utilização de tecnologias sem fio, formando gargalos nesta rede. Contudo, com a implementação do 5G em ambientes internos, como escritórios, galpões e aeroportos, espera-se uma melhoria significativa na qualidade do tráfego, permitindo melhor conectividade, maior largura de banda e menor latência. [1].

A importância da modelagem de canal para ambientes indoor está relacionada à complexidade e imprevisibilidade da propagação do sinal nessas áreas. Isso permite compreender e prever os efeitos da propagação do sinal, tais como perda de potência, atraso, interferência e distorção. Nestes ambientes, múltiplos obstáculos, como paredes, móveis e pessoas, afetam o sinal de maneira não linear e imprevisível. [2].

No Brasil, a faixa de frequência de 3,5 GHz foi definida para o 5G [3]. Diante disto, objetivou-se avaliar o ambiente interno

de um aeroporto em larga escala, por meio de aplicação de modelos de perda de propagação.

Neste artigo, será apresentado a análise e comparação dos valores da perda de percurso dos dados medidos em relação as curvas geradas pelos modelos matemáticos CI e FI, e a RNA aplicada. Para isto, a métrica utilizada para estimar a performance da rede foi o RMSE e  $\sigma$ . O artigo está dividido da seguinte maneira: A Seção II apresenta o setup e o cenário de medições, na Seção III são abordados a arquitetura e os aspectos relevantes do uso de RNA, a Seção IV apresentam as discussões e resultados, as conclusões são discutidas na Seção V e, por fim, as referências bibliográficas.

## II. SETUP E CAMPANHA DE MEDIÇÕES

Os dados foram obtidos no saguão de desembarque do Aeroporto Internacional de Val de Cans, em Belém-PA. O setup de transmissão foi configurado com a potência de transmissão de 51 dBm, largura de banda de 60 MHz e Ganho da antena de 16 dBi e a altura de Tx de 7,09 e Rx de 1,78 metros. Para a recepção, utilizou-se uma antena de ganho de 5dBi, um notebook e o analisador de sinal para captura de dados. O carrinho foi movimentado a uma velocidade média de aproximadamente de 0,87 m/s.



Figura 1. Ambiente de medição e setup

## III. MODELOS DE PROPAGAÇÃO E REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

Os modelos matemáticos são bastante utilizados para previsão de cobertura. Neste trabalho foram aplicados os modelos CI e FI. As expressões matemáticas são encontradas em [4]. O uso de técnicas de inteligência computacional para resolver problemas matemáticos tem sido amplamente adotado na área de pesquisa. Uma delas é a aplicação de Redes Neurais Artificiais (RNAs). Neste estudo, utilizou-se a técnica do tipo *Multi-Layer Perceptron* (MLP), composta por três neurônios na camada de entrada: distância entre Tx e o receptor Rx em metros, polarização das antenas Vertical-Vertical (V-V) ou Horizontal-Horizontal (H-H) e rotas de medição. A camada escondida da rede foi constituída por 10 neurônios, e adotou-se

\*Os autores pertencem ao Laboratório de Computação e Telecomunicações, Universidade Federal do Pará, Belém-Pará, email: guilherme.99maia@gmail.com, alexsanchess@gmail.com, cmmcardoso@gmail.com, bren dabarb@gmail.com, hugo1822@gmail.com, miércio@ufpa.br, jasmine@ufpa.br, fbarros@ufpa.br



Tabela I  
PARÂMETROS RMSE E DESVIO PADRÃO ( $\sigma$ ).

POL.	RNA	CI	FI
V-V	RMSE: R1= 1,22 / R2=0,72 $\sigma$ : R1= 1,14 / R2 = 2,68	RMSE: R1= 2,56 / R2=2,14 $\sigma$ : R1= 2,35 / R2 = 2,01	RMSE: R1= 1,86 / R2=2,12 $\sigma$ : R1= 0,69 / R2 = 1,61
H-H	RMSE: R1= 2,69 / R2=1,53 $\sigma$ : R1= 0,83 / R2 = 1,60	RMSE: R1= 3,70 / R2=1,90 $\sigma$ : R1= 2,72 / R2 = 2,51	RMSE: R1= 2,79 / R2=1,61 $\sigma$ : R1= 0,36 / R2 = 1,39

a função de ativação linear para prever os resultados na camada de saída. Foi utilizado o algoritmo *Levenberg-Marquardt* como método de treinamento, com critério de parada definido para quando o erro tivesse um aumento até dez épocas do seu início [5]. A saída esperada da rede correspondeu aos valores de perda. O banco de dados consistiu em uma matriz 387x4, onde as três primeiras colunas são os neurônios da camada de entrada. A quarta coluna consiste nos dados da perda de propagação.

#### IV. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para a aplicação da MLP, o banco de dados da RNA foi dividido em 70% para treinamento, 15% para validação e 15% para teste da rede. Na Fig. 2, nota-se que a RNA foi capaz de prever a perda de percurso no ambiente, independente da polarização e rota de medição, obtendo um RMSE de 1,65. Considerando o comparativo dos dados medidos e preditos, pode-se verificar que houve uma predição com um grau alto de aproximação, chegando a conclusão que a RNA pode ser utilizada para previsão de perda de percurso, auxiliando na modelagem de canal.

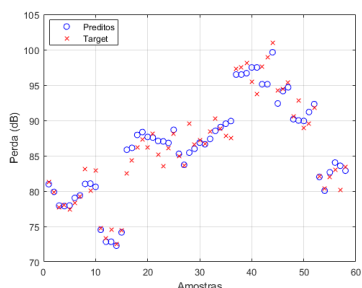


Figura 2. Dados preditos com relação aos dados medidos

Na Fig. 3 apresenta-se os resultados dos modelos CI, FI e a predição da RNA somente para a polarização V-V. Observa-se que a RNA obteve melhor aproximação dos dados medidos, no qual resultou no valor de RMSE de 1,22 e 0,72 para a R1 e R2, respectivamente. Em comparação com o modelos CI e FI, verificou-se que a RNA obteve um menor RMSE e  $\sigma$ , demonstrando assim a eficácia do modelo em capturar as características do ambiente. Os resultados de RMSE e  $\sigma$  encontra-se na tabela I.

Na Fig. 4, expõe as previsões feitas pela RNA na co-polarização H-H. Neste caso, nota-se que a RNA obteve melhor ajuste em comparação aos modelos matemáticos. Os valores de RMSE foram de 2,69 e 1,53 para a R1 e R2, respectivamente. Nesta análise, verificou-se um alto valor de desvio padrão em relação a polarização V-V. Entretanto, estes valores se explicam, pois estão relacionados ao diagrama de

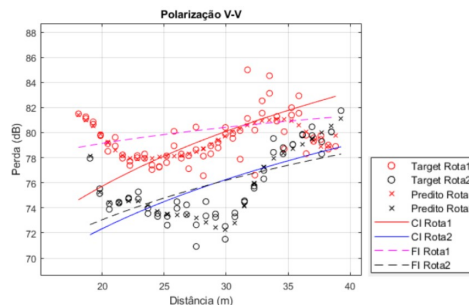


Figura 3. Dados preditos com relação aos dados medidos em V-V

irradiação das antenas na co-polarização H-H, que influenciam diretamente na propagação do sinal, como observado em [2]. Pois, este efeito resulta na degradação do sinal devido aos obstáculos presentes no ambiente. Com isso, a RNA enfrentou desafios adicionais na previsão da perda em H-H. Como resultado, o valor de RMSE foi relativamente maior, pois a RNA convergiu para um equilíbrio entre os dados medidos. Os resultados de RMSE e  $\sigma$  encontra-se na tabela I.

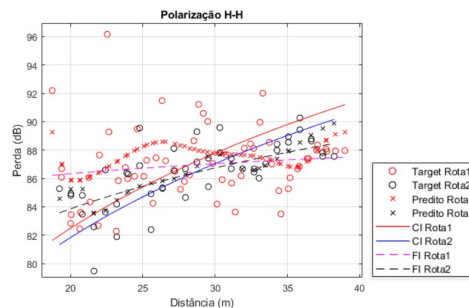


Figura 4. Dados preditos com relação aos dados medidos em H-H

#### V. CONCLUSÃO

Portanto, os resultados específicos dos RMSEs, revelaram que a RNA teve um melhor desempenho em comparação aos modelos CI e FI em ambas polarizações. Esses resultados indicam que a abordagem baseada em RNA demonstra eficácia na previsão da perda de percurso em ambientes de aeroporto, proporcionando previsões mais precisas com o objetivo de melhorar a qualidade de projetos de comunicação sem fio.

#### REFERÊNCIAS

- [1] MAJED, M. Bahjat et al. Channel characterization and path loss modeling in indoor environment at 4.5, 28, and 38 GHz for 5G cellular networks. *International Journal of Antennas and Propagation*, v.2018.
- [2] Macedo, S. Alex. Dissertação mestrado, Título: "Análise De Canal Para A Frequência De 3,5 Ghz Em Aeroporto". Universidade Federal do Pará. 2022.
- [3] Leilão de Espectro 5G. Publicado em 22/02/2021 17h48. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/5G/leilao-de-espectro-5g>. Acesso em 28/06/2022.
- [4] AL-SAMAN, Ahmed et al. Survey of millimeter-wave propagation measurements and models in indoor environments. *Electronics*, v.10, n.14, p.1653, 2021.
- [5] LEVENBERG, Kenneth. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Quarterly of applied mathematics*, v.2, n.2, p.164-168, 1944.

# Análise de Sistemas F-OFDM em Canais AWGN com Diferentes Funções de Janela

Everton Vinícius da Silva Campos, Luiz Gonzaga de Queiroz Silveira Junior e Marcio Eduardo da Costa Rodrigues

**Resumo**— No presente artigo, 8 sistemas F-OFDM em canal AWGN são avaliados, cada um deles usando uma função de janela clássica diferente: Hamming, Hanning, Retangular, Triangular, Flat Top, Blackman, Blackman-Harris e Nuttall, escolhidos por serem amplamente utilizados na literatura técnica. Os resultados preliminares obtidos em termos de emissão fora da banda, taxa de erro de bit e da relação entre as potências de pico e média do sinal são promissores, possibilitando a continuação da pesquisa e incentivando novos estudos para a geração da forma de onda utilizada no 5G.

**Palavras-Chave**— F-OFDM, OFDM, 5G, BER, PAPR.

**Abstract**— In the present article, 8 F-OFDM systems in AWGN channel are evaluated, each of them using a different classical window function: Hamming, Hanning, Rectangular, Triangular, Flat Top, Blackman, Blackman-Harris and Nuttall, chosen because they are widely used in the technical literature. The preliminary results obtained in terms of out-of-band emission, bit error rate and peak-to-average power ratio are promising, enabling the continuation of the research and encouraging new studies for generating the waveform used in 5G.

**Keywords**— F-OFDM, OFDM, 5G, BER, PAPR.

## I. INTRODUÇÃO

Apesar da forma de onda OFDM possuir uma alta eficiência espectral, de poder ser implementado facilmente, entre outros pontos positivos, essa técnica apresenta certas desvantagens, como uma sincronização global para manter a ortogonalidade, possui uma alta emissão fora da banda (OOBE, do inglês Out-Of-Band Emission), uma alta relação de potência de pico para média (PAPR, do inglês Peak to Average Power Ratio), etc. Em efeito à busca por melhorias, para as redes de quinta geração buscou-se uma nova forma de onda, dentre as candidatas, muitas delas baseadas no próprio OFDM, e a escolhida foi o F-OFDM, ou OFDM filtrado [1][2].

Um dos fatores essenciais para o desempenho do F-OFDM, é a escolha da função janela a ser utilizada no processo de filtragem. Tal escolha impulsionou o surgimento de inúmeros estudos em busca de uma função ideal ou simplesmente para se verificar o comportamento do sistema com o uso de diferentes janelas. Em [3], os autores fazem uso de cinco funções de janela clássicas da literatura, comparando o desempenho dos sistemas em termos de parâmetros-chave como a OOBE. Nesse trabalho, após a realização das simulações, viu-se que o sistema que fez uso da janela de Hanning foi o que apresentou a maior atenuação

na banda de rejeição. Já em [4], o autor além de usar funções clássicas, também faz uso de funções discretas otimizadas, fazendo comparações do desempenho dos sistemas em termos, principalmente, de OOBE e taxa de erro de bit (BER, do inglês Bit Error Rate). Nesse estudo, viu-se que as funções otimizadas propostas, apresentaram um desempenho muito superior em emissão fora da banda em comparação com as demais utilizadas.

O presente trabalho, seguindo a linha de estudos já existentes, como os já citados, visa estudar o desempenho de diferentes sistemas F-OFDM, fazendo-se uso de variadas funções clássicas de janela, sendo elas: Hamming, Hann, Retangular, Triangular, Flat Top, Blackman, Blackman-Harris e Nuttall. Além disso, também será avaliado o emprego de diferentes modulações: 64QAM e 256QAM; junto de diferentes ordens de filtro: 512 e 1024. Como métrica de avaliação, serão utilizados parâmetros-chave como OOBE, PAPR e BER. Para a realização do trabalho, foi utilizado o software MATLAB® versão R2023a, sob a licença de estudante e um código adaptado da própria documentação do programa, na categoria Communications Toolbox [5].

## II. METODOLOGIA

Nas simulações, foram empregados os parâmetros exibidos na Tabela I, os quais contam com variações na modulação e ordem do filtro.

TABELA I. PARÂMETROS UTILIZADOS EM TODAS AS SIMULAÇÕES.

Modulação	64-QAM / 256-QAM
Tamanho da FFT	1024
Comprimentos do Prefixo Cíclico	256
Ordem do Filtro	512 / 1024

A adaptação do código [5] se dá no projeto de filtro, passando a ser baseado na ferramenta nativa do MATLAB, chamada de "filterDesigner". Nela, foi possível definir configurações como a ordem do filtro e a janela. A unidade de frequência foi normalizada e a frequência de corte configurada para 0,6.

As demais rotinas estabelecidas no código original foram seguidas, como no uso da função "ifft" na criação da forma de onda e o uso da função "awgn". Como também a utilização dos comandos "periodogram", "comm.ErrorRate" e "powermeter", para se obter respectivamente as PSDs, BERs e PAPRs.

## III. RESULTADOS

Na Fig. 1, pode-se verificar que as PSDs dos sistemas que utilizam o filtro de ordem 1024 possuem uma maior atenuação na banda de rejeição, sendo esse um fato já esperado, por

Everton Vinícius da Silva Campos, estudante regularmente matriculado no curso de graduação em Engenharia de Telecomunicações e aluno de Iniciação Científica do PIBIC da UFRN, e-mail: everton.campos.709@ufrn.edu.br; Luiz Gonzaga de Queiroz Silveira Júnior e Marcio Eduardo da Costa Rodrigues, Departamento de Engenharia de Comunicações da UFRN, e-mails: luiz.silveira@ufrn.br; marcio.rodrigues@ufrn.br. Este trabalho foi financiado com recursos da PROPESQ/UFRN.

apresentar um comportamento mais seletivo. Outro detalhe notado, é que qualquer um dos sistemas F-OFDM, independente do filtro, já possui uma atenuação muito superior ao sistema OFDM, o que demonstra uma das grandes diferenças entre as formas de ondas.

Sobre a BER, as Figs. 2 e 3 mostram respectivamente uma relação BER x SNR dos sistemas que utilizaram o filtro de ordem 512 e os que utilizaram o filtro de ordem 1024, e observa-se que houve uma mínima diminuição do erro nos sistemas que utilizaram o filtro de ordem 1024. A outra diferença pode ser observada nas modulações, havendo uma maior taxa de erro para os sistemas que utilizaram a modulação 256-QAM, porém, já se espera esse comportamento em decorrência de ser uma modulação de maior ordem, em comparação com a 64-QAM, porém, também é sujeita a mais erros. Em relação aos sistemas que utilizaram uma mesma modulação e ordem de filtro, a variação ocorrida no canal AWGN foi quase nula. A baixa variação também foi vista em estudos como em [4].

A Tabela 2 mostra os resultados de PAPR do OFDM e dos sistemas F-OFDM. Nela, é vista um maior PAPR para as técnicas F-OFDM, ou seja, um dos problemas do OFDM não só não é resolvido, como é aumentado. Esse fato é explicado pelo PAPR ser uma relação da potência máxima com a potência média, e a potência média no F-OFDM é diminuída em decorrência do processo de filtragem, tanto é, que o valor de PAPR é maior para os sistemas que utilizam um filtro de ordem maior, de 1024. Comparando os valores entre os sistemas com mesma ordem de filtro e modulação, foram vistas apenas mínimas variações.

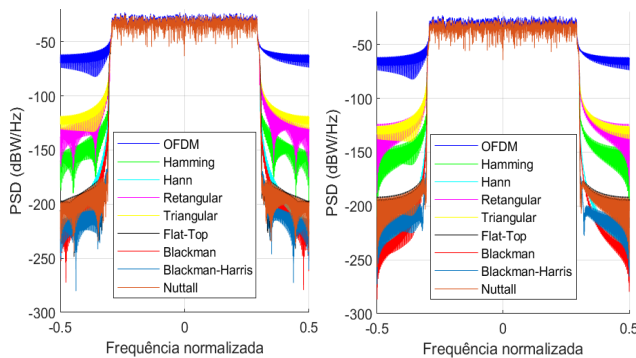


Fig. 1. PSDs do OFDM e F-OFDM com variadas funções de janelamento utilizando filtro de ordem 512 (à esquerda) e 1024 (à direita).

TABELA II. PAPR RESULTANTE DAS SIMULAÇÕES.

	Ordem 512		Ordem 1024	
	64-QAM	256-QAM	64-QAM	256-QAM
OFDM	9,7354	7,7204	9,7354	7,7204
FOFDM (Hamming)	11,1972	9,1842	12,2869	10,2752
FOFDM (Hann)	11,1974	9,1840	12,2869	10,2755
FOFDM (Retangular)	11,1953	9,1864	12,2865	10,2718
FOFDM (Triangular)	11,1905	9,1930	12,2836	10,2798
FOFDM (Flat Top)	11,1973	9,1840	12,2889	10,2756
FOFDM (Blackman)	11,1974	9,1841	12,2875	10,2755
FOFDM (Blackman-Harris)	11,1974	9,1842	12,2879	10,2755
FOFDM (Nuttall)	11,1974	9,1842	12,2878	10,2755

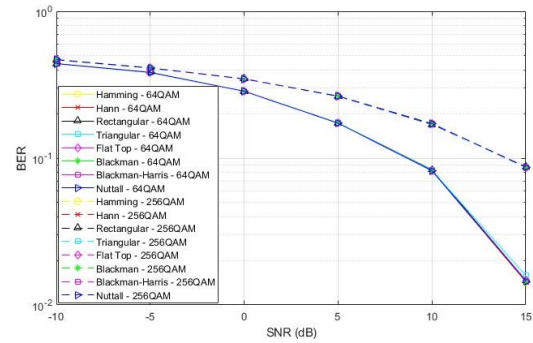


Fig. 2. BER dos sistemas F-OFDM, utilizando as modulações de 64-QAM e 256-QAM e ordem do filtro de 512.

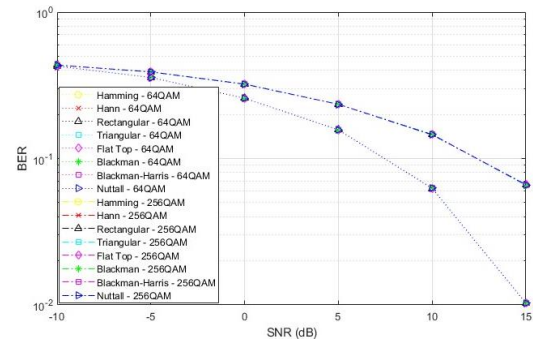


Fig. 3. BER dos sistemas F-OFDM, utilizando as modulações de 64-QAM e 256-QAM e ordem do filtro de 1024.

#### IV. CONCLUSÕES

O presente trabalho foi dedicado ao estudo de filtros digitais, revisando a geração da forma de onda F-OFDM. Os resultados obtidos através da análise dos 8 diferentes sistemas F-OFDM, cada um deles utilizando diferentes funções janela, elucidam certas diferenças entre o F-OFDM e o OFDM, sobretudo na ampla vantagem que a forma de onda utilizada nas redes de quinta geração possui em termos de OOB. Esse estudo foi realizado como um projeto de iniciação científica, com o apoio financeiro da PROPEQ / UFRN e apesar dos promissores resultados, há espaço para futuras investigações, como a avaliação de mais funções de janela, o uso de um canal que simule um canal real e não apenas o AWGN, a exploração de medidas que visem a redução do PAPR, entre outros.

#### REFERÊNCIAS

- [1] X. Zhang et al., "Filtered-OFDM — Enabler for Flexible Waveform in The 5th Generation Cellular Networks. dec, 2015.
- [2] F. Conceição, et al., "A Survey of Candidate Waveforms for beyond 5G Systems", Electronics 2021, 10, 21. dec, 2020.
- [3] WANG, Shuqi et al. "Design and Implementation of F-OFDM Downstream Filter. 2018 International Conference on Sensor Networks and Signal Processing (SNSP)", pp. 195-199. out. 2018.
- [4] LIU, Mingxin et al., "Design of filters based on generic function model for reducing out-of-band emissions of the F-OFDM systems", AEU - International Journal of Electronics and Communications, vol. 139. jul. 2021.
- [5] MathWorks. "F-OFDM vs OFDM Modulation." *MathWorks Documentation*. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/comm/ug/f-ofdm-vs-ofdm-modulation.html>.

# Análise Numérica da Radiação de Dipolos e Linhas de Corrente em Regiões Mistas

Alexandre C. Oliveira, Augusto C. C. de Lima, Jeferson B. Leite, Karlo Q. da Costa

**Abstract**— This article studies the problem of propagation in electromagnetic waves, with a frequency of 521 MHz, in a region with four non-magnetic media (air, soil, water and forest), where the effects of transmission, reflection and losses are relevant. The problem is modeled and solved using the Method of Finite Elements (FEM). We show the module and phase of the magnetic field in the case of vertical polarization and of the electric field for the case of horizontal polarization.

**Keywords**— finite elements method, vertical polarization, horizontal polarization, propagation of electromagnetic waves.

## I. INTRODUÇÃO

ATUALMENTE, a evolução das comunicações móveis, impulsionada pela crescente demanda por transmissão de sinais em ambientes com diferentes características, estimulou o surgimento de novos e avançados meios de comunicação [1].

A fim de projetar sistemas de comunicação modernos, é essencial utilizar modelos que descrevam o comportamento das ondas nos diferentes meios envolvidos, e uma propriedade relevante a ser considerada é a polarização da onda. Nesse sentido, no estudo descrito em [2] foi conduzida uma análise teórica sobre a propagação de ondas com polarização horizontal, em regiões espaciais estratificadas com características elétricas distintas.

Nesse contexto, tornou-se fundamental a premissa base deste trabalho, que apresenta a análise numérica da radiação de dipolos e linhas de corrente em regiões mistas, com ênfase para os meios água e floresta da região Amazônica, de modo que as fontes de radiação simuladas operam a uma frequência na faixa de micro-ondas [3].

Dessa forma, para realizar essa pesquisa, empregou-se o software COMSOL Multiphysics [4], que utiliza o Método dos Elementos Finitos (FEM) para a resolução de problema eletromagnético de radiação no domínio da frequência.

## II. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Neste estudo, foi considerada uma região bidimensional não homogênea com estratificação horizontal ao longo do eixo  $y$  e vertical ao longo do eixo  $x$ , como ilustrado na Fig. 1. Essa

região é composta por quatro meios distintos: floresta (Meio 1), ar (Meio 2), solo (Meio 3) e água (Meio 4). Na figura, foi atribuído um sistema de coordenadas cartesianas, onde o Meio 1 está localizado em  $y > 0$  e  $x < 0$ , o Meio 2 em  $y > 0$  e  $x > 0$ , o Meio 3 em  $y < 0$  e  $x < 0$ , e o Meio 4 em  $y < 0$  e  $x > 0$ .

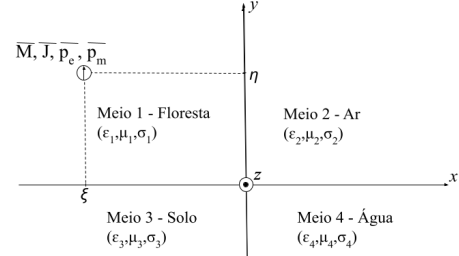


Fig. 1. Configuração espacial dos meios.

Dessa forma, as fontes dipolo e linha de corrente utilizadas estão operando a uma frequência de canal digital de 521 MHz e estão localizadas no ponto  $x = \xi$  e  $y = \eta$ . Diante disso, as intensidades das fontes podem ser calculadas pelas equações (1), (2), (3) e (4).

$$\overline{M}(x, y) = M_0 \delta(x - \xi) \delta(y - \eta) \overline{a}_z \quad (1)$$

$$\overline{J}(x, y) = J_0 \delta(x - \xi) \delta(y - \eta) \overline{a}_z \quad (2)$$

$$\overline{p}_e(x, y) = E_0 \delta(x - \xi) \delta(y - \eta) \overline{a}_y \quad (3)$$

$$\overline{p}_m(x, y) = M_0 \delta(x - \xi) \delta(y - \eta) \overline{a}_y \quad (4)$$

No qual  $\overline{M}$  e  $\overline{J}$  são as intensidades da linha de corrente magnética, em  $V$ , e da linha de corrente elétrica, em  $A$ , respectivamente e  $\overline{a}_z$  é um vetor unitário no eixo  $z$ . Já  $\overline{p}_e$  e  $\overline{p}_m$  são as intensidades do momento dipolo elétrico, em  $V/m$ , e do momento dipolo magnético, em  $A/m$ , respectivamente, e  $\overline{a}_y$  é um vetor unitário no eixo  $y$ .

Diante disso, cada meio possui uma permissividade relativa ( $\epsilon_{r1}$ ,  $\epsilon_{r2}$ ,  $\epsilon_{r3}$ ,  $\epsilon_{r4}$ ), condutividade elétrica ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$ ,  $\sigma_4$ ) e permeabilidade relativa ( $\mu_{r1} = \mu_{r2} = \mu_{r3} = \mu_{r4} = \mu_0$ ) para os meios 1, 2, 3 e 4, respectivamente. A Tabela 1 mostra os valores considerados nesse trabalho [3].

TABELA I. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MEIOS.

Características Elétricas do Meio	Ar	Água	Solo	Floresta
Permissividade elétrica relativa $\epsilon_r$	1	80	1,9	1,1
Condutividade elétrica $\sigma$ (mS/m)	0	50	20	0,1

Nesse contexto, a Fig. 2 mostra o modelo final da malha elaborada próximo à interseção entre os meios, de modo que sua discretização nos meios 1, 2 e 3 é de 0,05m e no meio 4 é de 0,01m, uma vez que, a fim de obter resultados mais

Alexandre C. Oliveira, da Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil; (e-mail: [alexandre.cardoso.oliveira@itec.ufpa.br](mailto:alexandre.cardoso.oliveira@itec.ufpa.br)), Augusto C. C. de Lima, da Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil; (e-mail: [augusto.lima@itec.ufpa.br](mailto:augusto.lima@itec.ufpa.br)), Jeferson Breno N. Leite, Instituto Federal do Pará (IFPA), Belém-PA, Brasil (e-mail: [jeferson.leite@ifpa.edu.br](mailto:jeferson.leite@ifpa.edu.br)) e Karlo Q. da Costa da Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil; (e-mail: [karlo@ufpa.br](mailto:karlo@ufpa.br)).



precisos, esse meio necessita de uma discretização maior, devido as características físicas da água. Dessa forma, o tempo de simulação médio foi de 3 horas.

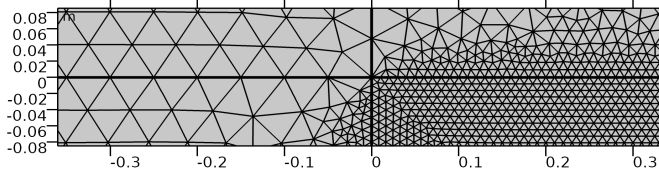


Fig. 2. Malha desenvolvida para o problema com zoom aplicado.

### III. RESULTADOS

#### A. Campos $H_z$ e $E_z$ em Função da Altura e do Tipo de Fonte

A Fig. 3 mostra a variação da intensidade dos campos  $abs(H_z)$  e  $abs(E_z)$  versus  $x$ , para diferentes alturas ( $y = h$ ,  $y = h/2$ ,  $y = 0$ ) em relação às fontes de linha de corrente e de dipolo, respectivamente.

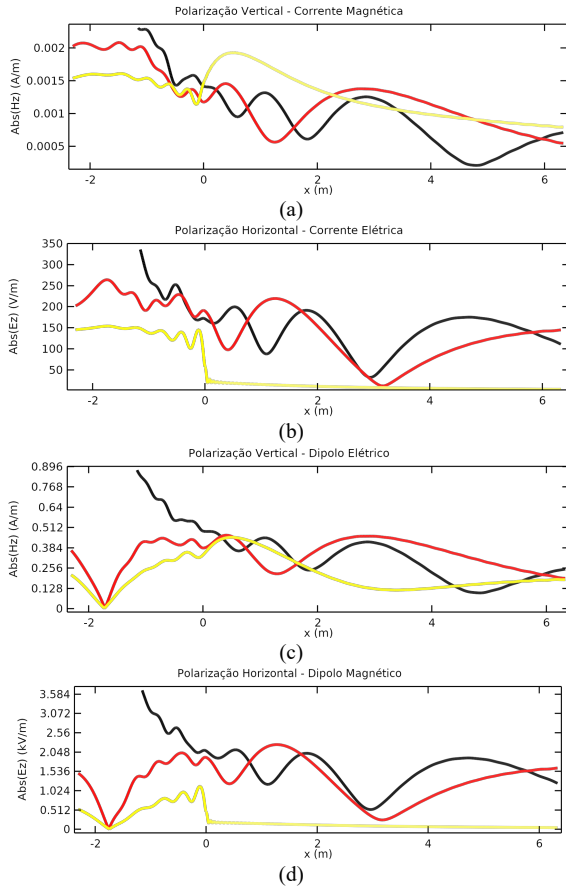


Fig. 3. Variação dos campos versus  $x$  para diferentes alturas  $y = h$  (preto),  $y = h/2$  (vermelho),  $y = 0$  (amarelo). (a)  $abs(H_z)$  para corrente magnética, (b)  $abs(E_z)$  para corrente elétrica, (c)  $abs(H_z)$  para o dipolo elétrico e (d)  $abs(E_z)$  para o dipolo magnético.

Diante disso, nota-se a ocorrência de uma variação do nível do sinal conforme a distância. Ademais, é possível observar que, na região acima da água, em  $y=0$ , há um maior decaimento do módulo  $abs(E_z)$  do campo elétrico, uma vez que essa componente não penetra em meios com essa característica. Além disso, nota-se uma inversão de fase na interface entre os meios, haja vista que, nessa região, ocorre a alteração dos valores de permissividade e condutividade.

#### B. Propagação dos Campos $H_z$ e $E_z$ Variando o Tipo de Fonte

A Fig. 4 mostra os gráficos bidimensionais no plano  $xy$  da componente  $Real(H_z)$  do campo magnético e da componente  $Real(E_z)$  do campo elétrico.

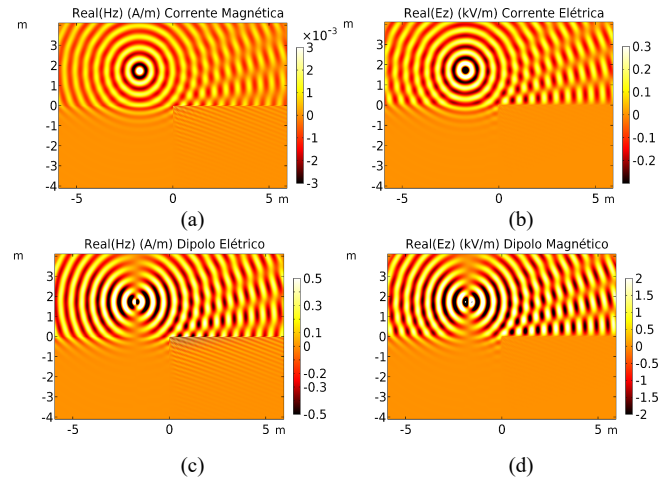


Fig. 4. Gráficos bidimensionais. Em (a)  $Real(H_z)$  para corrente magnética, em (b)  $Real(E_z)$  para corrente elétrica, em (c)  $Real(H_z)$  para o dipolo elétrico e em (d)  $Real(E_z)$  para o dipolo magnético.

Nesse sentido, nota-se uma semelhança de propagação entre a fonte de linha de corrente e a fonte dipolar, uma vez que, para ambas as fontes, a radiação ocorre no sentido horizontal. Além disso, é possível observar que, para os 4 casos, as linhas de campo não penetram o meio que contém água, uma vez que esse meio possui os maiores valores de permissividade e condutividade.

### IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentada uma análise teórica da radiação de dipolo e linhas de corrente operando a uma frequência de 521 MHz em regiões com estratificação horizontal e vertical, formadas por ar, água, solo e floresta.

Dessa forma, é possível observar que os dados obtidos foram satisfatórios, uma vez que, através dos resultados, tornou-se possível observar características semelhantes entre as duas fontes, como a propagação ocorrendo em sentido horizontal e sua inversão de fase nas interfaces entre os meios.

Em trabalhos futuros serão consideradas regiões com mais meios de características distintas, a fim de obter outras aplicações.

### REFERENCES

- [1] T. Tamir, "Radio wave propagation along mixed paths in forest environments," in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 25, no. 4, pp. 471-477, July 1977, doi: 10.1109/TAP.1977.1141620.
- [2] K. Q. Costa e J. B. N. Leite, "Radiação Bidimensional de Uma Linha de Corrente em Regiões Estratificadas na Horizontal e Vertical". SBrT 2022, 25-28 de Setembro de 2022, Sta. Rita do Sapucaí, MG.
- [3] R. A. N. Oliveira, J. F. de Souza, F. N. B. Magno, K. Cozzolino and G. P. d. S. Cavalcante, "Inversion Method For Obtaining Electrical Parameters For Soil And Vegetation in the Amazon Region," 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Gothenburg, Sweden, pp. 3483-3486
- [4] Comsol MultiPhysics: <https://www.comsol.com>



# An Unsupervised ML-driven Approach for Water Leak Detection in Localized Irrigation System

Andrei Ribeiro

Institute of Technology  
Federal University of Pará  
Belém, Pará

Email: andreinogrib@gmail.com

Fabrcio Lobato

Institute of Technology  
Federal University of Pará  
Belém, Pará

Email: frl@ufpa.br

Victor Cardoso

Institute of Technology  
Federal University of Pará  
Belém, Pará

Email: victorcard@ufpa.br

João Costa

Institute of Technology  
Federal University of Pará  
Belém, Pará

Email: joao.weyl@gmail.com

**Abstract**—The inefficient management is one of the main problems causing leaks in the pipes network of irrigation systems, leading to around 40% of the water total volume captured from springs. To address this problem, this paper proposes an unsupervised machine learning approach using an Autoencoder neural network for water leak detection in a localized irrigation system. The model is trained with only non-leak data, handling with the problem of imbalanced data. The proposed approach is validated in a simulated drip irrigation system and achieves 0.93% false negative rate and 96.4% accuracy.

**Index Terms**—Unsupervised learning, Machine learning, Leak detection, Irrigation system

## I. INTRODUCTION

In Brazil, 40% of the total volume of water coming from springs is wasted in irrigation and among the causes of this problem is the occurrence of leaks in pipes of irrigation systems [1]. These leaks can cause problems in the soil and in the quality of the transported water, leading to deficit in the agricultural productivity[2].

The conventional methods for leaks management in irrigation systems are based on visual observation or on the use of expensive flow monitoring equipment. For instance, [3] and [4] used pressure, flow, soil moisture sensors and accelerometers to monitor leaks in irrigation systems. In practice, these approaches can become very expensive due to the cost of these monitoring equipment. In this scenario, empowered with the machine learning (ML), some studies has focused in ML-driven leak detection approaches. [5] used a Supervised ML model trained with both normal and leak data to perform leak location in a localized irrigation system. Although efficient, supervised ML models requires balanced data, i.e., a large amount of leak data to be trained. However, data under leaking condition are quite rare in real-world irrigation systems. Hence, unsupervised ML models become a promising alternative because they can be only trained with normal data, disregarding leak data.

Therefore, this paper proposes a novelty approach using an Autoencoder to detect leaks in a localized irrigation system.

## II. PROPOSED APPROACH

Autoencoder (AE) is a unsupervised model based on a special type of neural network commonly used to anomaly/outlier

detection tasks. This model aims to encode the input into a lower-dimensional and meaningful representation, and then decode it back such that the reconstructed input is similar as possible to the original one [6]. Once trained only with data under non-leak condition, the AE generate large reconstruction error (RE) when it is inputted with data of leaking condition. Hence, the AE model can classify if a set of data corresponds to a leaking situation or a non-leaking situation by setting a threshold based in the reconstruction errors.

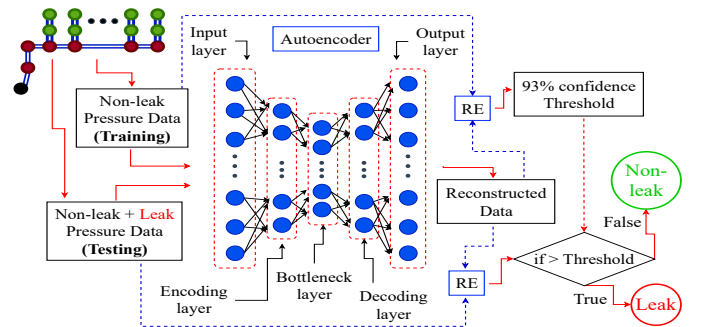


Fig. 1. Flow-chart of AE-based leak detection approach.

In this paper, an AE model with 5 layers is built after fine-tune. As shown in Fig. 1, the first and last layer contains 62 neurons which are corresponding to the monitored pressure sensors simulated. The second layer and the bottleneck layer encodes the input data from 62 neurons to a lower-dimensional space with 10 neurons, while the fourth and fifth layer decodes the data back to original space with 62 neurons. The threshold value is defined based on 93% percentile value of REs generated by training data, aiming to minimize the false negative rate (leak samples predicted as non-leak samples).

## III. RESULTS AND DISCUSSION

To evaluate the proposed approach, a project of a real drip irrigation system is simulated using the Water Network Tools for Resilience (WNTR) library [7]. The WNTR allows the simulation of any water pipes networks by setting some topological and hydraulic parameters, and even to simulate leaks on the network pipes just by setting the area of the leak hole. The irrigation system is composed of six equal

sectors totaling 2.6 ha [8]. Each sector have 1 sub-mainline and 60 laterals with 72 meters each. However, only one sector is simulated to evaluate the proposed approach (Fig. 2). Furthermore, a Gaussian Noise with mean 0 and standard deviation 0.1 m is inserted in simulated pressure data to simulate real-world pressure sensors operating errors [9].

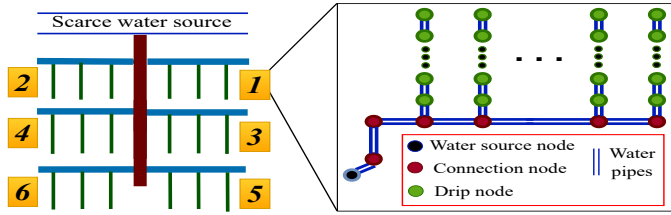


Fig. 2. Drip irrigation system topology.

For the testing phase, 9 leaks distributed on all the irrigation pipes are simulated, with flow rate ranging from 50 ml/s to 300 ml/s. Finally, 1 hour of data under non-leak condition is simulated and generated 3600 samples, where 2700 is used for model training, 300 for validation and 600 for testing. Then, 15 minutes of data under leak condition is simulated and generated 900 samples, which are combined with 600 non-leak testing samples and thus, composing the testing dataset.

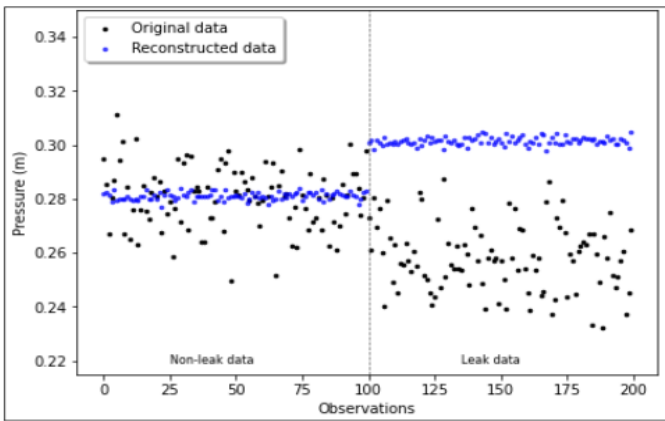


Fig. 3. Comparison between original and reconstructed data.

To verify the difference between reconstruction errors for non-leak and leak data, original and reconstructed data are compared (Fig. 3). It is clearly noted that the leak data generate larger REs in comparison with the non-leak data, because the pressure values of original (points in black) and reconstructed data (points in blue) are very distant from each other.

Leveraging this fact, this paper evaluates the proposed approach in terms of false negative (FN), false positive (FP) and accuracy rates. Fig. 4 presents the AE performance along the time for baseline condition (BC) and leak condition (LC). Points in black indicates the non-leak data used for training phase. Note that few black points above the threshold line indicates the 7% error margin expected from the 93% threshold value. In the testing dataset, the AE model achieves 96.4% accuracy and 0.93% of FN rate for leak detection.

Correspondingly, as shown in Fig. 4, more than 98% of leak samples (points in red) are presented above the threshold line and circled in green, indicating a LC correctly. Moreover, the AE model achieves 2.66% of FP (blue points circled in green above the threshold line), which is not good for real-world approaches. However, this fact might be properly handled if the proposed approach was trained with real-world datasets.

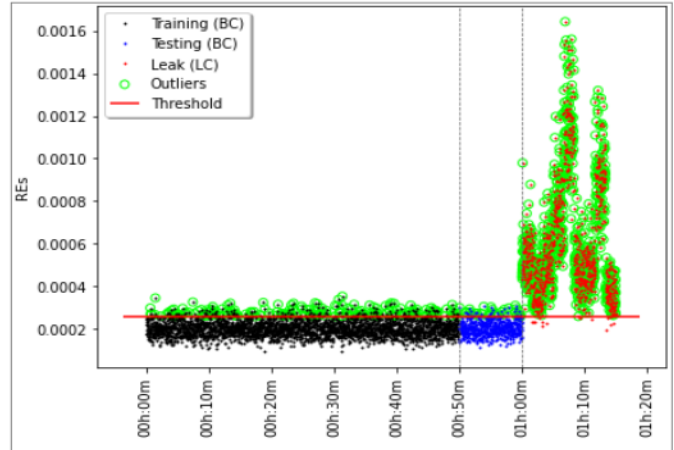


Fig. 4. Autoencoder performance for leak detection.

#### IV. CONCLUSION

In this paper, an Autoencoder was proposed to detect water leaks in drip irrigation system, achieving 0.93% of FN rate, 2.66% of FP rate and 96.4% of accuracy. This approach overcomes the need for leak samples and might be compared with other unsupervised approaches in the future works.

#### ACKNOWLEDGMENT

This paper was supported by Federal University of Pará and Applied Electromagnetism Laboratory.

#### REFERENCES

- [1] ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Atlas Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada. Brasília, DF. 2ª ed. 2021.
- [2] SAAD, Abdelmadjid et al. Water Management in Agriculture: A Survey on Current Challenges and Technological Solutions. IEEE Access, v. 8, p. 38082-38097, 2020.
- [3] BHATTACHARYA, Arpita; SENTHIL, A. Cellular Automata Based Leakage Detection in Smart Agriculture for Crop Disease Prevention. 2021.
- [4] MONI, Nayna Ann et al. Water Leak Detection from Irrigation Pipelines in Botswana using Vibration Interpretation Technique. In: 2019 IEEE AFRICON. IEEE, 2019. p. 1-6.
- [5] AYMON, Lucien et al. Leak Detection using Random Forest and Pressure Simulation. In: 2019 6th Swiss Conference on Data Science (SDS). IEEE, 2019. p. 109-110.
- [6] BANK, Dor; KOENIGSTEIN, Noam; GIRYES, Raja. Autoencoders. arXiv preprint arXiv:2003.05991, 2020.
- [7] "WNTR: Water Network Tool for Resilience". Retrieved on June 20, 2023 from <https://wntr.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- [8] BISCARO, Guilherme Augusto. Sistemas de Irrigação Localizada. 2014.
- [9] FAN, Xudong; ZHANG, Xijin; YU, Xiong Bill. Machine Learning Model and Strategy for Fast and Accurate Detection of Leaks in Water Supply Network. Journal of Infrastructure Preservation and Resilience, v. 2, n. 1, 2021.

# Applying Machine Learning Models to Heterogeneous Handover Management in Heterogeneous Networks

Daniel Souza, Igor Falcão, Albert Einstein, Harold Junior, Diego Cardoso, Fernando Costa, Ronilson Pereira e Marcos Serrufo

**Abstract**—Handover facilitates user mobility and aims to ensure continuity of service with quality in mobile networks. This is a problem that has been studied a lot, as there are different solutions for choosing Base Stations that can result in large amounts of Handover and a decrease in the quality of services. This article considers the Signal-to-Noise-plus-Interference Ratio (SINR), Reference Signal Received Power (RSRP), Reference Signal Reference Quality (RSRQ) and Speed parameters for handover management, applying classification models based on Artificial Neural Networks (ANN), Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM). The results obtained are expressive, with the RF reaching 99.18% of accuracy with high applicability for management solutions in Heterogeneous Networks (HetNets).

**Index Terms**—Handover; HetNets; ANN, RF, SVM.

## I. INTRODUCTION

Wireless communication systems have seen significant technological advances in recent years. The increasing demand for high-speed data connectivity has led to the rapid development of mobile communication networks [1]. In the case of 4G (Fourth Generation) and 5G (Fifth Generation) networks, different strategies have been adopted to meet the volume of traffic. Among them is the densification of the mobile network through the joint and massive installation of Radio Base Stations (*Evolved NodeB* (eNB)), such as *MacroCells* and *SmallCells* (*SCeNBs*), called Heterogeneous Networks (HetNets).

*HetNets* will make networks more overlaid and ultra-dense, with the possibility for users to be served by different access technologies and equipment, and to have different types of scenarios. Thus, the possibilities for *Handover* (*HO*) will increase, impacting performance measures. Efficient *HO* strategies aim to improve performance metrics and user experience. In this regard, the number of *HO* failures is one of the most impactful performance metrics for users, as it makes it impossible for the user to connect to the network.

Daniel Souza, Igor Falcão, Albert Einstein, Federal University of Pará; E-mails: {souzas.daniel13, igorufpa2013.4, alberteinsteincds}@gmail.com; Harold Junior, Rio de Janeiro State University, E-mail: harold.dias@gmail.com; Diego Cardoso, Graduate Program in Electrical Engineering – Federal University of Pará, E-mail: diego@ufpa.br; Fernando Costa, Federal University of Pará, E-mail: fernando.costa@naea.ufpa.br; Ronilson Pereira, Rio de Janeiro State University, E-mail: ronilsonengenharia@gmail.com; Marcos Serrufo, Graduate Program in Electrical Engineering – Federal University of Pará, E-mail: marcos.seruffo@gmail.com.

This paper makes the use of classification models (Artificial Neural Networks (ANN), *Random Forest* (RF) and *Support Vector Machine* (SVM)) for *HO* management in HetNets. The application of such methods was motivated after an extensive investigation of other computational intelligence models that could extract knowledge from data generated from scenarios with network parameters obtained from wireless devices. The model uses classifiers to choose which antenna the user will connect to, avoiding failures when performing *HO*.

## II. MATERIALS AND METHODS

The densification of mobile scenarios makes the *HO* process difficult to handle, since, the *Long Term Evolution - Advanced* (LTE-A), supports speeds higher than 120 km/h, which influences the accuracy and efficiency of mobile networks [2]. The RSRP is an LTE metric, responsible for averaging the radio frequency power. In this work four attributes are used: SINR, RSRP, RSRQ and the user speed. These variables are present in most of the current works as they have been shown to be fundamental metrics for *HO* decision making. The methodology for handover Analysis is presented in Fig 1.

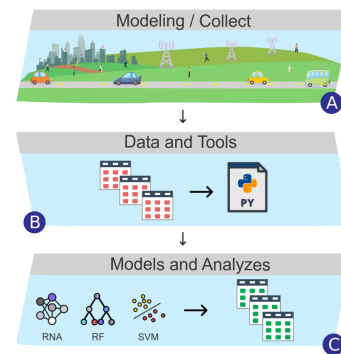


Fig. 1. Methodology for *Handover* Analysis.

Once the Handover process and radio metrics (RSRP, RSRQ, SIN R) were established, the modeling was performed with the Matlab 2017b<sup>1</sup> software in a scenario with *SCeNBs* and *macrocells*, as shown in Fig 1. The proposed scenario has a size of 1000m x 1000m, where the positioning of the

<sup>1</sup><https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

*SCeNBs* is done in a fixed way and of the users, randomly, at the beginning of the modeling.

The displacement of the users occurs according to the mobility model *Random Waypoint* [3], while the *macrocells* are positioned to provide greater coverage of the stipulated area of the scenario. Any radio frequency device that operates in its range of frequencies while connected to cellular systems is a source of noise and a source of interference. The quantity of *macrocells* in the simulation is fixed, as are the transmission power, bandwidth and frequency of the two BS, being respectively: 43 dBm, 20 MHz and 3.5 GHz. Whereas the *SCeNBs* have transmit power, bandwidth and frequency of 43 dBm, 20 MHz and 3.5 GHz, respectively.

The range of the BS is a factor considered in the proposed *Handover* strategy, with the *macrocells* having a range of 700m, and the *SCeNBs*, of 150m, being this variable responsible for choosing the BS targets for *Handover*, according to the position of the user. The modeling time chosen was 1,000 seconds, a time analyzed as satisfactory for stable performance.

Running the models generates a database with 2,700 network operation records. In this way, we have a base of records with and without user handover failure. Different attribute values when success (FAILURE = 0) or failure (FAILURE = 1) occurs in the *Handover* of the signal of a user moving in the simulated scenario. The database generated from the modeling shows more non-failure connections than failure connections. This behavior is expected, since the simulated environment mirrors the real scenario, where there is network management, which allows the reduction of connection failures and ensures the quality of service. Finally, models based on MLP neural networks, *Random Forest* and *Support Vector Machine* were applied to the databases to classify the records into the two profiles, failure and non-failure in *Handover*.

### III. RESULTS AND DISCUSSION

After recording data from the *Handover* process in HetNets, the next step was to apply the machine learning based models to classify the moment when failure occurred in the network, according to the characteristics (variables). The main idea is to have a model that helps to understand the classification of *Handover* failures in the network and when the phenomenon occurs. Initially an Exploratory Data Analysis (EDA) was performed to analyze the data set, in order to identify the relationship between variables and possible atypical cases (*outliers*).

TABLE I  
MODEL PERFORMANCE - TRAINING AND TEST DATABASE.

Model	Accuracy without CV		Accuracy with CV	
	Training	Test	Training	Test
ANN	0,9934	0,9818	0,9995	0,9996
RF	1	0,9934	0,9985	0,9983
SVM	0,95	0,9466	0,9320	0,888

The models were tested by varying the parameter configuration to obtain the best performance. In the neural network-

based classifier, the experiment considered a variation of 4-10 neurons in the hidden layer and 1-4 input attributes, showing in Table I the results (training and test) of the best identified configuration. In all classifiers cross-validation with 10-fold (*Cross-Validation* - CV) was implemented (Table I).

Table I shows the highest accuracy obtained for each of the three classifiers, both for the training base (applied on 80% of the data set) and the test base (20% of the data set). The RF obtained 99% accuracy in the training and 100% accuracy in the training set without the CV, characterizing it as the best classifier with the highest generalization ability. Considering the CV, the ANN obtained 99.95% accuracy for training and 99.96% for testing. Finally, SVM presented inferior results compared to RF and ANN.

TABLE II  
RESULTS OF MODEL APPLICATION.

Variables	Models		
	ANN	RF	SVM
1: SINR	0,9997	0,9966	0,9236
2: RSRP	0,9996	0,9983	0,9037
3: RSRQ	0,9997	0,9966	0,9187
4: Speed	0,9996	1	0,9088
1,4	0,9996	0,9983	0,9187
2,3	0,9995	0,9983	0,8988
1,2,3,4	0,9818	0,9934	0,9466

To verify the importance of the variables in classification performance, the models were applied to variables in isolation, as seen in Table II. Note that the ANN and RF-based classifiers were above 99% using any of the input variables. This means that HO failure events can be defined from variables in isolation or by the input dataset from using ML-based classifiers.

### IV. CONCLUSION

This paper presents better results than the ones pointed out by [4], with an average of 50% less failures in Handover management, when compared with the Best Cell algorithm. The models proposed in this paper, being an evolution of the H2ATF proposal, is able to employ Artificial Intelligence in a satisfactory way, obtaining a failure rate of less than 1% of the total number of connections. It is important to emphasize that the analysis considered only four variables, leaving as a future proposal, the use of new parameters for the decision, such as BS load, energy costs, QoE (Quality of Experience) and QoS (Quality of Services) data, among others.

### REFERENCES

- [1] A. Karandikar, N. Akhtar, and M. Mehta, *Mobility Management in LTE Heterogeneous Networks*. Springer, 2017.
- [2] T. Goyal and S. Kaushal, "Handover Optimization Scheme for LTE-Advance Networks Based on AHP-TOPSIS and Q-Learning," *Computer Communications*, vol. 133, pp. 67–76, 2019.
- [3] M. D. Soltani, A. A. Purwita, Z. Zeng, C. Chen, H. Haas, and M. Safari, "An Orientation-Based Random Waypoint Model for User Mobility in Wireless Networks," in *2020 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC Workshops)*. IEEE, 2020, pp. 1–6.
- [4] D. D. S. Souza, R. F. Vieira, M. C. D. R. Seruffo, and D. L. Cardoso, "A Novel Heuristic for Handover Priority in Mobile Heterogeneous Networks," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 4043–4050, 2019.



# Automated Generation of RAN Scenarios for Experimentation

Heitor Anglada, Cleverson Nahum, Glauco Gonçalves, Ilan Correa, Silvia Lins and Aldebaro Klautau

**Abstract**—This paper presents RANGEN, a tool that generates diverse RAN scenarios with the UE (User Equipments) and RAN simulator UERANSIM containers given a selected number of UEs and a selected number of gNBs (gNodeB), where certain containers are responsible for a pack of UEs and others for the gNB connected to these UEs. This tool enables the quick and scalable creation of test environments to develop and experiment with variable-size 5G RAN connected to a 5G core, using Free5GC, for example. This paper also analyzes the computational cost due to different configurations of UEs and gNBs on the 5G Core Virtual Network Functions. Results indicate stable CPU usage for core network functions (AMF, UPF) irrespective of gNBs and UEs variation, whereas CPU utilization of UE and gNB containers decreases with increasing gNBs. This behavior underscores RANGEN’s efficiency and scalability in 5G network testing and experimentation.

**Index Terms**—Network Function Virtualization, Virtual Network Functions, Docker.

## I. INTRODUCTION

The 5th generation core network (5GC) is an essential part of 5G networks designed to work with 5G New Radio and other wireless standards [1]. 5GC is intended to be highly flexible and modular, enabling different network functions to be implemented and scaled according to the specific needs of a use case. To conduct cost-effective and realistic end-to-end testing and experimentation of 5G networks, telecom operators and researchers may employ software models and software packages to simulate essential 5G components [2]. Currently, there is a range of open source 5GC implementations [3], and for simulating the Radio Access Network (RAN) components User Equipment (UE) and gNBs, there is UERANSIM 3.2.6, which allows building customized RAN setups.

However, for extensive 5G network simulations, manual configuration of both UEs and gNBs in UERANSIM can be time-consuming and error-prone as managing and configuring individual files becomes difficult with an increasing number of UEs and gNBs. Each container requires parameter settings, such as network addresses and the number of UEs, and International Mobile Subscriber Identity (IMSI), which must be manually replaced in various configuration files with sequential values based on the total number of UEs to be

Heitor Anglada, Cleverson Nahum, Glauco Gonçalves, Ilan Correa and Aldebaro Klautau are with LASSE - Telecommunications, Automation and Electronics Research and Development Center, Belém-PA, Brazil. Silvia Lins is with the Innovation Center, Ericsson Telecomunicações S.A, Brazil. E-mails: heitor.anglada@itec.ufpa.br, cleversonahum, glaucogoncalves, ilan, aldebaro@ufpa.br) silvia.lins@ericsson.com). This work was supported by the Innovation Center, Ericsson Telecomunicações S.A., OpenRAN Brazil - Phase 2 project (MCTI grant N° A01245.014203/2021-14), SAMURAI project (FAPESP grant #20/05127-2), and CNPq-Brasil (grant 405111/2021-5).

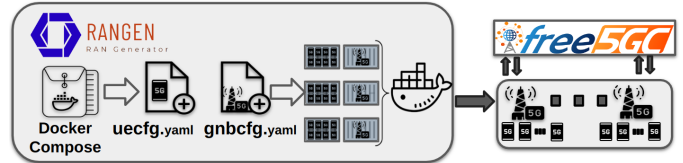


Fig. 1. RANGEN configuration files and overview of the scenario.

deployed and the network addresses of the gNBs, which are now embedded in UEs.

In the context of the [4], a tool capable of deploying gNB and UE containers could be a valuable asset for deploying the RAN components in a cloud-native environment. This approach emphasizes using microservices, containers, and dynamic orchestration to create flexible and scalable systems. In such an environment, the ability to automatically generate many UE and gNodeB containers would be highly beneficial.

This paper proposes RANGEN, a tool that automates the process of creating RAN scenarios for testing and experimentation. Using this tool, one can effortlessly generate multiple emulated UE and gNodeB components, which can be used to connect and generate traffic to the core network, allowing the testing of several different RAN setups. The paper describes this tool and shows some experiments and results.

## II. RANGEN

RANGEN<sup>1</sup> is a shell script-based tool that automates the creation of UE and gNodeB containers in UERANSIM. By specifying the desired number of UEs connected to each gNodeB container and the total number of gNodeB containers, the script automates the generation of these containers. This tool eliminates manual creation and configuration, making deploying and managing many UEs and gNBs easier without writing additional code. Fig. 1 shows how RANGEN works. The first step is creating a Docker compose file, organized to build an equal number of UEs and gNBs containers. Each UE container can emulate a number of UEs, which will access the network through its respective gNB container. This entire process is based on predefined configuration templates.

After container creation, the next step involves substituting values. RANGEN replaces key values in the configuration files of UEs and gNBs. These parameters ensure the network operation and correct communication between the RAN components and the 5GC in the context of 5G. These values include the IMSI, UE number, and interface network addresses.

<sup>1</sup><https://github.com/lasseufpa/RANGEN>

TABLE I  
AVERAGE CPU USAGE IN DIFFERENT SCENARIOS

Scenario	UPF	AMF	UEs	gNB
1 gNB + 100 UEs	2.36%	1.12%	102.35%	12.96%
2 gNB + 50 UEs	2.39%	0.82%	15.38%	8.25%
4 gNB + 25 UEs	2.66%	0.95%	8.89%	5.11%
5 gNB + 20 UEs	2.41%	0.95%	6.78%	3.98%

LTS

The third step is container initialization. The tool runs all the containers, in a safe order, through the Docker Compose file. It then executes the commands specified in this file on the gNB containers. The command set on the “start” file is also executed on the UE containers. This file is responsible for adequately booting the UEs and making them execute a command. By default, the UE runs the ping command to a destination server to analyze network connectivity.

### III. EXPERIMENT

In this experiment, we deploy 100 UEs and analyze the average CPU usage of the 5GC network function, specifically the Access and Mobility Management Function (AMF) and the User Plane Function (UPF). Each UE establishes Internet Control Message Protocol (ICMP) traffic (ping) to the Internet.

We use Free5GC 3.3.0 to deploy the core network functions due to its open-source nature, community support, and compliance with 3GPP standards. The reason for selecting AMF and UPF for analysis is their critical roles in 5GC. AMF is responsible for session management, authentication, authorization, and mobility management. UPF handles forwarding user data packets, serving as the gateway for all UE traffic before the Internet. By examining the CPU usage of these components, we can gain insights into their performance and impact on the overall system.

We test four scenarios: 1 gNB and 100 UEs; 2 gNBs and 50 UEs per gNB; 4 gNBs and 25 UEs per gNB; and 5 gNBs and 20 UEs per gNB. Please note that a different number of containers is used in each case, respectively, 2, 4, 8, and 10 containers, since each gNB runs in an isolated Docker container and its associated UEs run in another container. We also measure the CPU usage of these containers, which are averaged according to this type (UE or gNB).

Moreover, we evaluate the time required for RANGEN to prepare each scenario. This aspect is particularly relevant when we scale the network infrastructure by setting up more gNBs.

The experiments were performed on a host running the long-term support Ubuntu 22.04.2. The machine was equipped with 8 GB of RAM (Random-access memory) and an Intel® Core™ i5-7600 CPU running at a clock speed of 3.50GHz, featuring four cores. To measure the CPU usage of the containers involved in the simulations during the experiments, we transformed and processed the output of the “docker stats” command into a CSV file with data collected for 5 minutes of simulation, with data recorded every second.

### IV. RESULTS

Table I provides the CPU utilization of the UPF and the AMF, as well as the containers of the UE and gNodeB. A

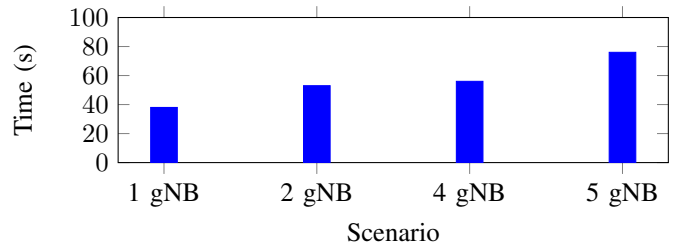


Fig. 2. Time taken by RANGEN to deploy each scenario.

careful analysis of the data in the table reveals that the UPF function, much like the AMF, does not follow a specific pattern but maintains a relatively constant CPU usage. This is expected since the number of gNBs is not expressive, and, in all cases, the number of UEs remains the same.

Regarding the other container types (UE and gNB), we observe a consistent pattern of decreasing average CPU usage across different scenarios. This occurs because as the number of gNBs grows, the load (from both types) is divided into multiple Docker containers, allowing better exploration of the number of processing cores in the host.

As illustrated in Fig. 2, an increase in the number of gNBs invariably increases the time necessary to complete the command execution. This observation aligns with our expectations, as a more extensive network setup naturally demands more resources and time for deployment.

### V. CONCLUSION

UE and gNB container generation automation in UERAN-SIM offers significant benefits for 5G network simulations. However, currently, its configuration involves much manual effort for setup, which is laborious and error-prone. This way, RANGEN focuses on eliminating manual configuration, saving time, and ensuring a standardized approach for consistent RAN simulations.

While this work uses the Free5GC core for automation, the principles can be applied to other 5GC implementations, expanding the range of experiment options. Thus the tool allows researchers and developers to focus more on practical experimentation and analysis, thereby driving advancements in 5G technology. Further versions of RANGEN will include more diverse configurations provided by UERANSIM, allowing evaluation of use cases such as fault tolerance.

### REFERENCES

- [1] M. Wazid, A. K. Das *et al.*, “Security in 5G-Enabled Internet of Things Communication: Issues, Challenges, and Future Research Roadmap,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4466–4489, 2021.
- [2] R. Dayana, S. Krishnamurthy, A. Sarma *et al.*, “5G UE Simulation,” in *2023 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI)*. IEEE, 2023, pp. 1–5.
- [3] F. J. D. S. Neto, E. Amatucci, N. A. Nassif, and P. A. M. Farias, “Analysis for Comparison of Framework for 5G Core Implementation,” in *2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)*. IEEE, 2021, pp. 1–5.
- [4] O.-M. Ungureanu and C. Vlădeanu, “Leveraging the Cloud-Native Approach for the Design of 5G NextGen Core Functions,” in *2022 14th International Conference on Communications (COMM)*, 2022, pp. 1–7.

# Avaliação de Características de Sinal Acústico de Vazamento de Gás em Plataforma de Petróleo *Offshore*

Edson Pereira de Castilho Jr., Fabrício Braga S. de Carvalho e Waslon Terlizzie A. Lopes

**Resumo**—Uma nova técnica relacionada ao método acústico de detecção de vazamentos de gás em plataformas de petróleo *offshore* é proposta. Experimentos realizados neste ambiente com gravação sonora do evento de vazamento mostram que a utilização das componentes do sinal na banda de espectro de som audível, associado ao pré-processamento e extração de características, é viável como fonte para o desenvolvimento de soluções de detecção autônoma baseadas em Aprendizado de Máquina. Este trabalho apresenta extratores de características do sinal sonoro sensíveis ao fenômeno do vazamento com clara indicação do acontecimento de um evento desta natureza.

**Palavras-chave**—Vazamento de Gás; Plataformas de Petróleo *Offshore*; Método Acústico; Extração de Características.

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a descoberta e desenvolvimento das reservas petrolíferas no pré-sal associados à elevação dos preços internacionais das *commodities* impulsionaram investimentos no setor de óleo e gás no Brasil, trazendo consigo maiores desafios à segurança operacional. Um dos cenários acidentais com risco mais superlativo são os vazamentos de gás nas plantas de processamento, com vasto histórico de acidentes oriundos deste tipo de evento.

Atualmente, a filosofia de detecção autônoma de vazamentos mais adotada em plataformas petrolíferas utiliza sensores de gás infravermelhos do tipo pontual e visada. Este tipo de tecnologia depende da formação de nuvem de gás a uma concentração mínima dentro de um volume espacial coberto pelo instrumento. Muitas vezes, devido a condições climáticas adversas, o vazamento de gás não é detectado autonomamente. A partir dos dados da *Health and Safety Executive* (HSE), contendo registros de vazamento entre 1992-2016, a taxa de detecção autônoma da liberação do tipo Maior foi de 73%, enquanto esta taxa para vazamentos do tipo Significante caiu para 42% [1]. Com efeito, não raros são os eventos em que as liberações gasosas são detectadas por operadores em suas rondas diárias, usando basicamente seus sentidos de visão, audição e olfato.

As técnicas atualmente estudadas sob a ótica do método acústico direcionam a atenção à propagação do sinal sonoro ultrassônico pelo meio externo ou pelo sinal de baixa frequência (menor que 100 Hz) pelo meio interno a partir do evento de vazamento [2] [3]. Por outro prisma, o presente

trabalho foca no desenvolvimento de solução para detecção autônoma de vazamento baseado em método acústico do sinal sonoro dentro de toda a banda de frequência audível (20 Hz a 20 kHz). É realizado estudo experimental onde aplica-se pré-processamento e extração de características a fim de servir como entrada para um desenvolvimento futuro da etapa de classificação baseada em Aprendizado de Máquina. Os processos de extração de características que revelam nuances do evento que busca-se classificar são dos mais vitais para o desenvolvimento de algoritmos baseado em Aprendizado de Máquina [4].

## II. ESTUDO EXPERIMENTAL DE VAZAMENTO EM PLATAFORMA DE PETRÓLEO *Offshore*

### A. Experimento: Principais Características e Particularidades

O experimento foi realizado em plataforma petrolífera *offshore* operando em campo do pré-sal no estado do Rio de Janeiro. Foram obtidas três gravações sonoras, em momentos e cenários distintos (Cenários 01, 02 e 03), a partir de experimentos de abertura de válvula de ar pressurizado a uma pressão de 0,7 MPa localizado nas adjacências de sistema de compressão de gás operando a 25 MPa. Este cenários se diferenciam basicamente pela distância entre a válvula e o microfone (Cenário 01: 2,4 metros, Cenário 02: 17,7 metros e Cenário 03: 4,0 metros), e pela abertura aproximada da válvula (Cenário 01: 25%, Cenário 02: 25% e Cenário 03: 15%).

Cada gravação conta com duas fases: pré-vazamento e vazamento. Dessa forma, o sinal gravado se inicia pela fase de pré-vazamento, onde a válvula de ar pressurizado está fechada e, após alguns segundos, a válvula é aberta começando a fase de vazamento.

Neste ambiente, a percepção auditiva gerada por um eventual vazamento é de difícil assimilação humana devido, principalmente, a obrigatoriedade do uso de equipamentos de proteção individual como o protetor auricular tipo concha e do ruído intrínseco dos diversos equipamentos presentes.

Para gravação do sinal sonoro, foi usado equipamento portátil com microfone embutido com característica omnidirecional e resposta em frequência de 20 Hz a 20 kHz. Ainda, foi usada gravação mono canal com taxa de amostragem de 48 kHz e tamanho de palavra de 16 bits.

### B. Análise do Sinal Sonoro no Domínio da Frequência

Para os cenários do estudo, a Figura 1 mostra as potências espectrais com as fases de pré-vazamento e vazamento discriminadas. Percebe-se que para valores de frequência abaixo da

Edson Pereira de Castilho Jr., Fabrício Braga S. de Carvalho, Waslon Terlizzie A. Lopes do Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB. E-mails: edson.castilho@cear.ufpb.br, fabricio@cear.ufpb.br, waslon@cear.ufpb.br;

faixa entre 8 e 9 kHz, a fase de pré-vazamento e vazamento tem uma distribuição de potência espectral similar. Por outro lado, acima desta faixa de frequência, a potência espectral da fase de pré-vazamento cai aguda e abruptamente, enquanto que na fase do vazamento, a queda se mostra mais suave. Dessa forma, conclui-se que o som propagado pela abertura da válvula traz uma distinção espectral aproveitada no presente trabalho como entrada para o processamento do sinal com o objetivo de detecção do evento de vazamento.

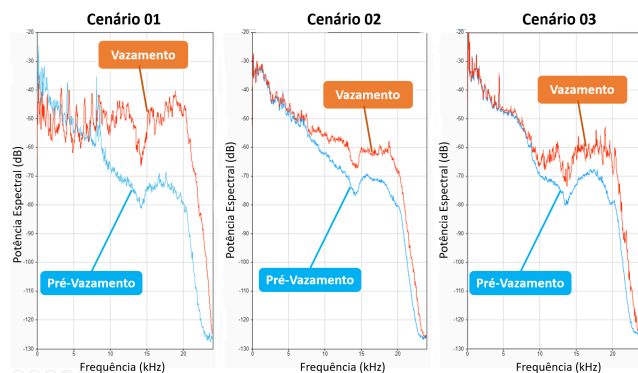


Figura 1. Potência espectral (dB) para os cenários experimentados da fase de pré-vazamento e vazamento.

### III. SISTEMA PROPOSTO

#### A. Pré-Processamento do Sinal

Como primeira etapa da fase de pré-processamento, foi usada supressão de ruído por Transformada Discreta de Wavelet simétrica número 4, com 9 níveis, com regra da mediana para limiarização e estimativa de ruído independente do nível através da aplicação *SignalAnalyzer* do MATLAB. Isto objetivou a redução dos ruídos de fundo causados, por exemplo, pelas modulações de válvulas e vibração de tubulações.

Em seguida, baseando-se nas constatações levantadas pela análise do sinal do domínio da frequência, foi aplicada filtragem passa-alta com frequência de corte de 9 kHz, uma inclinação de 0,95 dB/dec e uma atenuação de -80 dB também através da aplicação *SignalAnalyzer* no MATLAB. Esta filtragem tem como proposta reduzir as componentes espectrais de energia relacionadas ao ruído ambiental, preservando a potência espectral preponderantemente gerada pelo som do vazamento.

#### B. Extração de Características

O trabalho focou na avaliação da relevância das seguintes características no domínio do tempo e frequência: Fluxo espectral, Inclinação espectral, Taxa de Cruzamento pelo Zero (TCZ) e Energia.

A Figura 2 apresenta as características extraídas obtidas no Cenário 01. Da parte superior para inferior do quadro tem-se as curvas do sinal sonoro pré-processado, e as características do Fluxo Espectral, a Inclinação Espectral, a Taxa de Cruzamento pelo Zero e a Energia. Na parte intermediária das curvas, uma linha vertical em laranja indica o momento da abertura

da válvula. Percebe-se, visualmente, um incremento nos resultados das características extraídas indicando uma distinção quantitativa entre a fase em que não existe um vazamento no módulo de compressão de gás, do momento em que este vazamento acontece com a abertura da válvula.

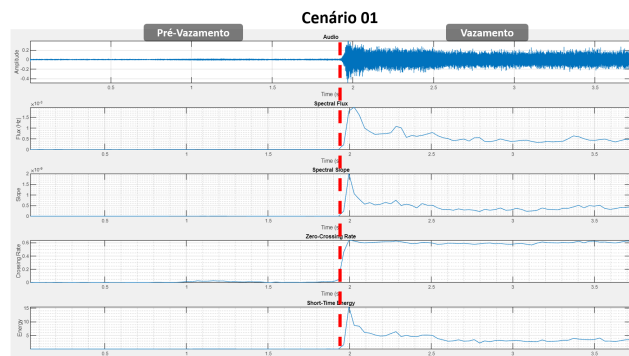


Figura 2. Características extraídas do experimento do Cenário 01.

A mesma projeção foi feita para os sinais sonoros gravados no Cenário 02 e 03. A distinção percentual média entre as fases de pré-vazamento e vazamento computadas para as características estudadas em todos os cenários ficou acima dos 200%. Para os três cenários estudados, a TCZ se destacou por apresentar distinção percentual maior que 1.000% em todos os casos.

### IV. CONCLUSÃO

A busca por novos métodos e técnicas que entreguem melhores resultados na detecção autônomas de vazamentos de gás em plataformas de petróleo *offshore* é uma necessidade, dada as consequências catastróficas de eventual escalonamento de um evento como este. O trabalho identificou oportunidade de uso do sinal sonoro audível, ou seja, na banda de frequência entre 20 Hz e 20 kHz, para a detecção dos vazamentos. Os resultados obtidos são promissores na medida em que a distinção percentual média entre as fases de pré-vazamento e vazamento para as características extraídas são relevantes. Como próximos passos, o trabalho pretende desenvolver algoritmo para classificação e medir seu desempenho na detecção autônoma de eventos de vazamentos.

### REFERÊNCIAS

- [1] Zhou et al., "A stochastic programming approach for the optimization of gas detector placement in offshore platforms.", In *Ocean Engineering* (Vol. 187, p. 106223). Elsevier BV, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106223
- [2] Meribout et al., "Leak detection systems in oil and gas fields: Present trends and future prospects," *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 75. Elsevier BV, p. 101772, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2020.101772.
- [3] Lu, H. et al. "Leakage detection techniques for oil and gas pipelines: State-of-the-art. In *Tunnelling and Underground Space Technology*." Elsevier BV. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103249>
- [4] Barandas et al., "TSFEL: Time Series Feature Extraction Library," *SoftwareX*, vol. 11. Elsevier BV, p. 100456, Jan. 2020. doi: 10.1016/j.softx.2020.100456.



# Avaliação de Computação de Borda em Cenários de UAVs Aplicado a IoT

Wilson Rogério Soares Silva e Diego Lisboa Cardoso

**Resumo**—Devido a sua praticidade e mobilidade os *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)* estão cada vez mais sendo usados para coletar dados. Em arquiteturas tradicionais os dados coletados são enviados a servidores localizados em nuvens que armazenam e processam esses dados, no entanto, a nuvem costuma ter alta latência. A computação de borda, se mostra uma alternativa promissora, no qual mantém o processamento dos dados mais próximo aos dispositivos e diminuindo assim a latência da rede. Neste trabalho é avaliado a aplicação da computação de borda, no uso de *UAVs* em cenários de internet das coisas e realizado experimentos com as duas arquiteturas (borda e nuvem). Após a comparação a computação de borda, alcançou melhor desempenho e se mostrou uma estratégia mais rápida e eficaz.

**Palavras-chaves**—*UAVs; MEC; IoT;*

## I. INTRODUÇÃO

As estações aéreas móveis são utilizadas em cenários de *IoT (Internet of Things)* devido à sua facilidade de voo, cobertura wireless e fácil implementação [1]. Permitindo que coletem dados e os enviem para serem armazenados e posteriormente processados. Em arquiteturas tradicionais, os *UAVs* coletam dados e se comunicam diretamente com a nuvem [2]. Desta forma, podem ocorrer alta latência e perdas de pacotes na comunicação entre os dispositivos. Para minimizar esses problemas diferentes arquiteturas são propostas.

A tecnologia *MEC (Multi-access edge computing)* é uma arquitetura de rede que aproxima os recursos de computação e armazenamento de dados próximos dos usuários finais ou dispositivos. Ao combinar esses conceitos, os *UAVs* aproveitam a infraestrutura *MEC* para aprimorar seus recursos computacionais e fornecer processamento de dados em tempo real na borda da rede.

Algoritmos *ML (Machine Learning)* são usados para criar modelos na tomada de decisão [6]. Tais modelos podem ser treinados em arquiteturas de nuvem ou na borda [3]. Quando aplicado a *UAVs*, o aprendizado de máquina permite que esses dispositivos adquiram habilidades em várias situações, como navegação autônoma, reconhecimento de objetos, detecção de obstáculos, mapeamento de áreas, entre outras aplicações [4].

Neste trabalho foi proposto um estudo para avaliar o uso de computação de borda em cenários de *UAVs* em internet das coisas. Nessa abordagem os *UAVs* coletam dados de temperatura e enviam para o servidor. No servidor é usado uma rede neural, para treinar um modelo preditivo. O desempenho das duas arquiteturas (nuvem e borda) são então comparados e avaliados.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

O problema abordado nesse trabalho é a avaliação de arquiteturas de borda. Para implementação da proposta foi usado um cenário de monitoramento ambiental, na qual os *UAVs* em tempos específicos sobrevoam a área e fazem coletas desses dados. Os *UAVs* são embarcados com sensores que coletam e enviam os dados periodicamente para um servidor. Os dados trafegados na rede usam protocolo 802.11n. As duas arquiteturas usam roteador para trafegar dados. O protocolo *HTTP API REST* é usado para requisições de *POST/GET* entre *UAVs* e os servidores hospedados nos dois cenários.

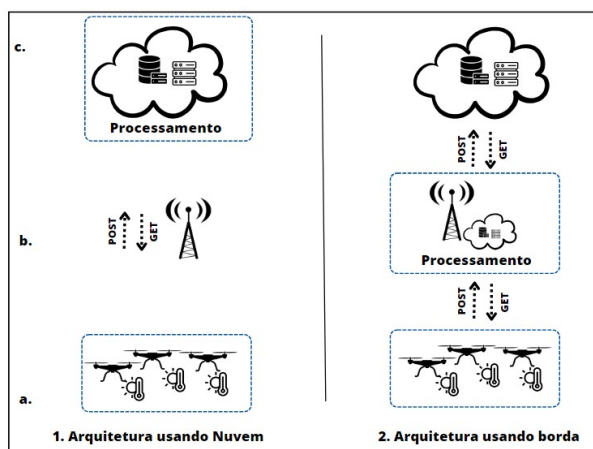


Figura 1. Modelo de Arquitetura de Rede. (1) arquitetura processamento em nuvem e (2) arquitetura usando processamento de borda

Na arquitetura em nuvem (1) os *UAVs* capturam a temperatura do ambiente (a), enviam os dados via *POST* (b) e o processamento é feito exclusivamente na nuvem (c). Na arquitetura de borda (2) as temperaturas capturadas dos *UAVs* (a), são enviados e processados na borda da rede (b). Assim a nuvem ficará disponível quando houver aumento de carga de trabalho e for necessário escalabilidade.

Para medir a capacidade de processamentos dos cenários, os servidores ficaram responsáveis por treinar o modelo neural que realizará a previsão da temperatura do ambiente. Para treinar o modelo, foi usado uma base dados de temperatura em dispositivos *IoT* do *kaggle* [6]. A base de dados foi dividida em 70 e 30 por cento para treinamento e testes, respectivamente. A rede neural recorrente, do tipo, *LSTM (Long Short-Term Memory)* foi utilizada e usou-se 200 épocas de treinamento.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a solução foi realizado um testbed com dois cenários: nuvem e borda. Na nuvem há um serviço contratado, com sistema operacional linux, com memória RAM de 8Gb, CPU I5 e armazenamento de 1TB. Na borda temos um máquina institucional, com windows 11, memória RAM de 8Gb, CPU I5 e armazenamento de 1TB. Para capturar o dados do ambiente foi usado um drone, da marca tello, com sensores de telemetria embarcados, tais como: temperatura, câmera, giroscópio, etc, como mostra a tabela I.

Tabela I  
DRONE PARAMETERS.

Parameter	Value
Weight	200g
Max Speed	10 km/h
Max Altitude	50m
Fly Time total	30min

O drone capturou e enviou 4.890 leituras de temperatura no intervalo de tempo determinado para a nuvem e 4.962 para a borda. Percebe-se que a borda tem equiva a metade do tempo de envio de dados para nuvem. A latência das arquiteturas podem ser visualizadas na figura 2:

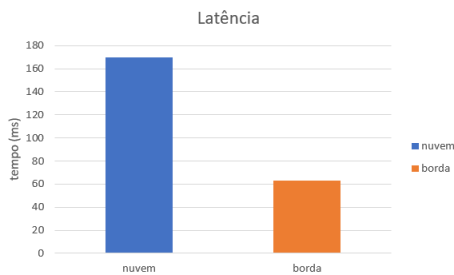


Figura 2. Latência das arquiteturas. (A) Processamento em nuvem e (B) Processamento de borda

Percebe-se que para amostras menores os tempos relacionados ao treinamento são próximos, no entanto, ao aumentar a quantidade de dados de treinamento percebe-se que a nuvem se comporta melhor, visto que tem mais recursos disponíveis e se ajusta a demanda. O tempo de processamento pode ser visualizado na figura 3.

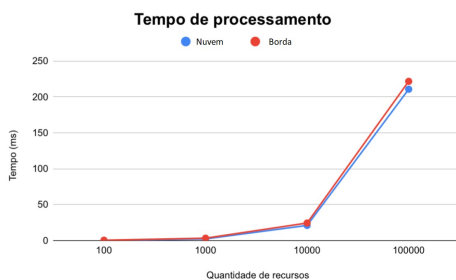


Figura 3. Modelo de Arquitetura de Rede. (A) Processamento em nuvem e (B) Processamento de borda

Por fim, o modelo neural treinado na borda da rede foi usado para prever as temperaturas ao longo dos dias, conforme exibido na figura 4.

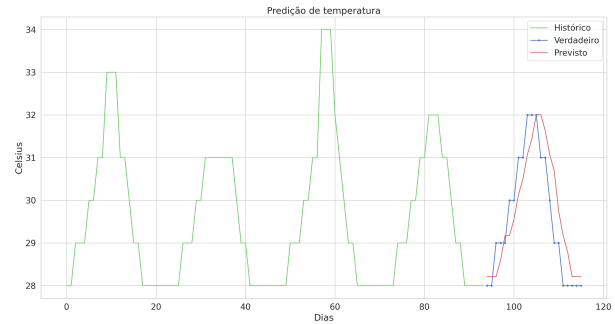


Figura 4. Previsão de temperatura para os próximos dias

A abordagem MEC reduziu a latência e o tráfego na rede entre os UAVs e o serviço, proporcionando uma experiência mais rápida e eficiente [7]. As tecnologias emergentes que exijam respostas rápidas como, internet tátil, metaverso, holográficas e UAVs são potencializadas com essa proposta. Assim a escolha da arquitetura ficará a critério dos requisitos de cada aplicação.

### IV. CONCLUSÃO

Após os experimentos, os resultados demonstram que, a computação de borda é mais eficiente para o cenário estudado, uma vez que, apresenta menor latência que comparada com a nuvem. A borda conseguiu treinar e prever os dados, no entanto, para processamento que exija mais recursos se faz necessário a nuvem. Em trabalhos futuros pretende-se usar UAVs com poder de processamento e usá-lo como outras aplicações em tempo real.

### REFERÊNCIAS

- [1] C. Tang, C. Zhu, X. Wei, H. Peng and Y. Wang, "Integration of UAVs and Fog-Enabled Vehicle: Application in Post-Disaster Relief," 2019 IEEE 25th International Conference on Parallel and Distributed Systems (ICPADS), Tianjin, China, 2019, pp. 548-555, doi: 10.1109/ICPADS47876.2019.00084..
- [2] Gupta, A, Gupta, SK. A survey on green unmanned aerial vehicles-based fog computing: Challenges and future perspective. Trans Emerging Tel Tech. 2022; 33( 11):e4603. doi:10.1002/ett.4603.
- [3] Uddin, M.A., Ayaz, M., Mansour, A. et al. Cloud-connected flying edge computing for smart agriculture. Peer-to-Peer Netw. Appl. 14, 3405–3415 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12083-021-01191-6>.
- [4] G. C. Valastro, D. Panno and S. Riolo, "A SDN/NFV based C-RAN architecture for 5G Mobile Networks," 2018 International Conference on Selected Topics in Mobile and Wireless Networking (MoWNet), 2018, pp. 1-8, doi: 10.1109/MoWNet.2018.8428882.
- [5] A. Cleary, K. Yoo, P. Samuel, S. George, F. Sun and S. A. Israel, "Machine Learning on Small UAVs," 2020 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR), Washington DC, DC, USA, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/AIPR50011.2020.9425090.
- [6] Disponível em : <https://www.kaggle.com/datasets/atulanandjha/temperature-readings-IoT-devices/code>. Acessado em 10 de junho de 2023.
- [7] F. D'Úrsol, C. Grasso, C. Santoro, F. F. Santoro and G. Schembra, "The Tactile Internet for the flight control of UAVs flocks," 2018 4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops (NetSoft), Montreal, QC, Canada, 2018, pp. 470-475, doi: 10.1109/NETSOFT.2018.8458493.

# Balanceamento de Carga por meio de Aprendizagem por Reforço em Redes Móveis Heterogêneas

Matheus Alves, Gustavo Broechl, Luna Loyolla, Marcela Alves and Hugo Kuribayashi

**Resumo**—Este artigo aborda o uso de técnicas de aprendizado por reforço como estratégia para o balanceamento de carga em redes móveis heterogêneas, tomando como principal critério a maximização da satisfação dos usuários. Nas simulações foram utilizados algoritmos como *Advantage Actor Critic (A2C)* e *Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG)*, que demonstram ser promissor o apoio na orquestração de redes por meio de técnicas de inteligência artificial, em direção às redes de próxima geração.

**Index Terms**—Aprendizagem por Reforço, Balanceamento de Carga, Satisfação de Usuários, Inteligência Artificial.

## I. INTRODUÇÃO

A demanda crescente por serviços de dados de alta velocidade e a necessidade de Qualidade de Serviço (QoS) confiáveis têm levado as operadoras de redes móveis a buscar inovações na gestão de recursos. Esses processos de gerenciamento geralmente conduzem operações de otimização, aplicadas a um grupo reduzido de dispositivos. Dada a expectativa de crescimento para os próximos anos, esse processo tende a ser ineficiente [1]. Alcançar escalabilidade representa um desafio, uma vez que se espera um comportamento adaptativo dessas redes devido aos cenários cada vez mais dinâmicos.

No contexto de balanceamento de carga para Redes Heterogêneas - *Heterogeneous Networks (HetNets)*, há abordagens na literatura que consideram métricas de desempenho como probabilidade de bloqueio/cobertura, eficiência espectral, entre outras. Atingir um grau satisfatório de balanceamento de carga não representa uma tarefa fácil, fazendo-se necessária a utilização de mecanismos que considerem a carga de tráfego da rede, assim como condições relacionadas a canal, sinal e interferência [2]. Por outro lado, o crescimento massivo de dispositivos sem fio tornou-se um fardo significativo para as operadoras, dada a crescente densidade de usuários, complexidade computacional envolvida e escalabilidade necessária.

Métodos baseados em Aprendizado de Máquina (AM) podem representar uma estratégia promissora para facilitar processos de alocação, balanceamento de carga e otimização de recursos baseados em Inteligência Artificial (IA). Por outro lado, embora essas técnicas tenham recebido atenção crescente nos últimos anos, existem limitações para cenários específicos do mundo real. A partir do exposto, este trabalho apresenta uma abordagem baseada em Aprendizagem por Reforço (AR) para o balanceamento de carga em HetNets.

This work was supported by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq).

Matheus Alves, Gustavo Broechl, Luna Loyolla, Marcela Alves and Hugo Kuribayashi are with the Federal University of Southern and Southeastern of Pará, Marabá-PA, 68505-080 Brazil. e-mail: {mathsalves;gustavo.broechl;luna.loyolla;marcela.alves;hugo}@unifesspa.edu.br.

## II. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste no desenvolvimento de simulações que buscam avaliar abordagens de AR que buscam a maximização do grau de satisfação dos usuários - *User Equipments (UEs)*, i.e., quando um UE atinge uma taxa  $r_{ij}$  superior a seus requisitos mínimos de tráfego  $r_i^{min}$  ( $r_i^{min} \leq r_{ij}$ ). Além disso, considera-se que estações base - *Base Stations (BSs)* são orquestráveis, e são utilizadas para aumentar a satisfação dos UEs. Assim,  $\Gamma_j(t)$  denota o grau de satisfação de todos os UEs associados à  $j$ -ésima BS, conforme:

$$\Gamma_j(t) = \frac{\sum_{\forall i} x_{ij}(t) \varphi_i \psi_i}{\sum_{\forall i} \psi_i}, \forall j \in \mathcal{B}, \quad (1)$$

onde o termo  $x_{ij}(t)$  representa o estado de associação entre o  $i$ -ésimo UE e a  $j$ -ésima BS no instante  $t$ . Caso  $x_{ij}(t) = 1$ , há associação entre UE e BS, enquanto que o caso contrário é denotado por  $x_{ij}(t) = 0$ . O termo  $\varphi_i$  representa uma variável binária que ilustra o atendimento dos requisitos de tráfego do  $i$ -ésimo UE. Quando  $r_i^{min} \leq r_{ij}$ , considera-se que  $\varphi_i = 1$ , e para o caso contrário  $\varphi_i(t) = 0$ . Por fim, o termo  $\psi_i$  representa um fator que considera UEs prioritários e comuns.

Controladores de BSs, podem tomar ações que alterem o balanceamento de carga do sistema, e, apesar do objetivo ser o de melhorar as condições de tráfego, eventualmente um conjunto de ações podem levar à degradação da satisfação dos UEs. Assim, considera-se uma função de custo  $\Phi(t)$ , que busca atribuir uma penalidade em tais situações, conforme:

$$\Phi_j(t) = \begin{cases} -Y, & \text{Se } \Gamma_j(t) < \Gamma_j(t-1), \\ 0, & \text{caso contrário,} \end{cases} \quad (2)$$

onde  $Y$  representa uma constante que atua como uma recompensa negativa, quando há degradação da satisfação dos UEs. A partir do exposto, considera-se uma função utilidade  $R_j(t)$  que representa a recompensa associada a  $j$ -ésima BS no instante  $t$ , conforme:  $R_j(t) = \sum_j \rho \Gamma_j(t) + \Phi_j(t)$ , onde  $\rho$  representa um fator de recompensa associada a satisfação dos UEs. Assim, definem-se recompensas obtidas a cada instante  $t$ , e, formula-se a função objetivo apresentada pela Eq. (3). O mecanismo busca a maximização das recompensas  $\mathcal{R}_t$ , obtidas a longo prazo por meio da soma ponderada das recompensas obtidas a cada instante  $t$ , conforme:

$$\text{Maximizar } \mathcal{R}_t = \sum_t \sum_j \gamma_t R_j(t), \quad (3)$$

onde  $\gamma_t$  representa uma taxa de desconto que determina o peso das futuras recompensas. Assim, controladores devem escolher

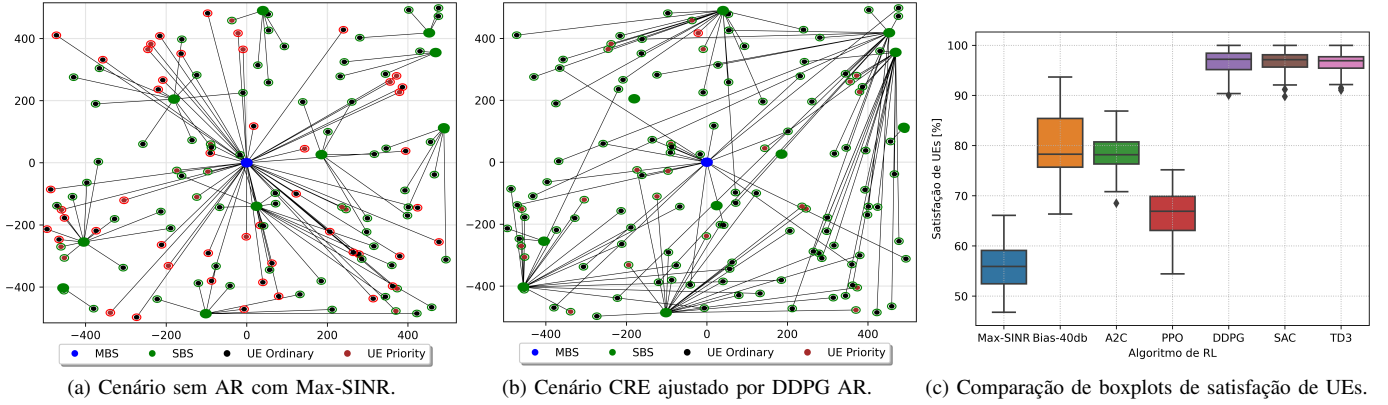


Figura 1: Representação do efeito de aplicação do CRE ajustado por meio de algoritmo de AR DDPG na satisfação de UEs.

ações que maximizam a longo prazo a função (3), que está sujeita às seguintes restrições: (i)  $\sum_{j \in \mathcal{B}} x_{ij} = M_{BS}, \forall i \in \mathcal{U}$ , garantindo que cada UE esteja associado a no máximo  $M_{BS}$  BSs simultaneamente, e, (ii)  $\sum_{i \in \mathcal{U}} x_{ij} \leq M_{UE}, \forall j \in \mathcal{B}$ , que limita  $M_{UE}$  UEs associadas por BS simultaneamente.

Adotamos uma HetNet com BSs uniformemente distribuídas em um cenário de  $1.0 \text{ km}^2$ , com 1 Macro BS, 10 *Small* BSs e 140 UEs. UEs possuem um requisito de tráfego  $r_{min}$  de 2.0 Mbps, com uma proporção de 20% UEs com requisitos de tráfego prioritários, enquanto que os demais, um perfil de tráfego comum, com pesos  $\psi_i^{priority} = 1.5$  e  $\psi_i^{ordinary} = 1.0$ .

A potência de transmissão é de 46.0 dBm para a Macro BS, 33.01 dBm para *Small* BSs e  $-174.0 \text{ dBm/Hz}$  de ruído térmico. Em relação aos esquemas de codificação *pathloss* e cálculo de downlink rate, adotam-se os valores definidos em [3]. UEs realizam associação com no máximo  $M_{BS} = 2$  BSs simultaneamente, enquanto que  $M_{UE} = 20$  UEs.

A cada instante  $t$ , a recompensa  $\mathcal{R}_t$  de cada BS baseia-se no estado atual  $\mathcal{S}_m$  (quantidade de UEs associados as *Small* BSs). Assim, o estado seguinte da rede assume um comportamento estocástico, uma vez que no instante  $t+1$ , o novo estado da rede é influenciado pelo estado anterior e pelas ações  $\mathcal{A}_j$  tomadas pelas BSs. Estas ações são baseadas na aplicação de bias *Cell Range Expansion* (CRE) no intervalo  $[20.0, 80.0]$  db. Assim, a  $j$ -ésima BS determina sua próxima ação  $a_{n,t}$  ( $a_{n,t} \in \mathcal{A}_j$ ), com base no estado atual da rede  $s_{s',t}$ , e através de uma política  $\pi$ , de tal forma que  $a_{n,t} = \pi(s_{s',t})$ . A partir do efeito conjunto das ações de todas as BSs  $\vec{A}$ , recompensas/penalidades são atribuídas às BSs, como uma função estado-ação  $Q^\pi(s_{s',t}, a_{n,t})$ , expressa como:  $Q^\pi(s_{s',t}, a_{n,t}) = E^\pi[\sum_t^T \gamma^t \mathcal{R}_j(t|s_{s',t}, a_{n,t})]$ , onde o termo  $E^\pi[\cdot]$  representa o operador de esperança. Em todas as ações selecionadas pela estratégia  $\pi(s_{s',t}) = \arg \max Q(s_{s',t+1}, a_{n,t+1})$ , o termo  $a_{n,t} = \pi(s_{s',t})$  tende a maximizar os valores da função  $Q^\pi(s_{s',t}, a_{n,t})$ . Para aproximar uma solução para  $\pi(s_{s',t})$ , este trabalho adota os algoritmos de *Advantage Actor Critic* (A2C), *Proximal Policy Optimization* (PPO), *Deep Deterministic Policy Gradient* (DDPG), *Twin Delayed DDPG* (TD3) e *Soft Actor Critic* (SAC), por meio da biblioteca [4], com os parâmetros:  $t = 100000$ ,  $\gamma = 0.9$ ,  $\lambda = 0.001$  (learning rate).

### III. RESULTADOS

As Figs. 1a e 1b ilustram o estado de associação e balanceamento de carga antes e depois da aplicação da abordagem proposta neste trabalho. Nestas Figs., UEs sinalizados com círculos verdes denotam quando um UE obteve uma taxa de dados  $r_{ij}$  superior ao mínimo  $r_{ij}^{min}$ . Círculos vermelhos denotam a situação contrária, ao ilustrar quando o sistema não consegue atender os requisitos de tráfego de um dado UE.

Conforme observado na Fig. 1b, a metodologia proposta ajusta o balanceamento de carga da rede, ao reduzir o total de associações com a Macro BS, fazendo que as *Small* BSs passem a atender mais UEs. Diferentemente de estratégias CRE convencionais, que adotam um *bias* unificado para toda a camada de *Small* BSs, a abordagem proposta realiza um ajuste de associação por *Small* BS, fazendo com que UEs sejam reassociados com *Small* BSs específicas, em observância ao objetivo estabelecido pela Eq. 3.

Todos os cenários apresentam resultados melhores que a estratégia Max-SINR (Fig. 1c). O uso de um *bias* unificado de 40.0db para todas as *Small* BSs apresenta resultados compatíveis com a literatura, e com resultados superiores os obtidos pelos algoritmos A2C e PPO. Porém, os melhores resultados são aqueles obtidos pelos algoritmos DDPG, SAC e TD3, todos com valores de satisfação de UEs acima de 90%.

### IV. CONCLUSÕES

Este trabalho explora o uso de algoritmos de AR na melhoria do funcionamento da rede, através do ajuste de balanceamento de carga da rede, observando como critério maximizar a satisfação dos UEs. Os resultados sugerem ser promissora a aplicação de AR para a operação de redes de próxima geração, onde IA deverá desempenhar um papel cada vez mais fundamental.

### REFERÊNCIAS

- [1] L. Zhang *et al.*, “6G Visions: Mobile Ultra-Broadband, Super IoT, and Artificial Intelligence,” *China Com.*, vol. 16, no. 8, pp. 1–14, 2019.
- [2] D. Liu *et al.*, “User Association in 5G Networks: A Survey and an Outlook,” *IEEE Com. Surveys Tut.*, vol. 18, no. 2, pp. 1018–1044, 2016.
- [3] H. P. Kuribayashi *et al.*, “Particle Swarm-Based Cell Range Expansion for Het. Mobile Networks,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 37 021–37 034, 2020.
- [4] A. Raffin *et al.*, “Reliable Reinforcement Learning Implementations,” *Journal of Mach. Learning Research*, vol. 22, no. 268, pp. 1–8, 2021.

# Bandwidth Part (BWP) Effects on the Reduction of UE Battery Consumption in 5G Standalone Networks

Ana C. Schramm, Rodrigo D. Alfaia and Bruno S. da Silva  
 Email: {ana.schramm, rodrigo.alfaia, bruno.satiro}@sidia.com  
 Sidia Institute of Science and Technology  
 Manaus, Amazonas, Brazil

**Abstract**—This paper presents an analysis of the Bandwidth Part (BWP) feature in the context of 5G technology, focusing on the power consumption for a mobile user equipment (UE). Empirical measurements were carried out considering both only-connected and active throughput modes. The evaluation reveals an interesting battery economy when this feature is applied, achieving up to 33% in throughput mode.

**Index Terms**—Bandwidth part, Power consumption, User equipment, Battery economy

## I. INTRODUCTION

In the first quarter of 2021, the total monthly global mobile network traffic was 66 exabytes (EB). Over two years, this number almost doubled, reaching 126 EB by the same point in 2023, and is projected to reach 329 EB by 2028 [1]. This growing connectivity presents unique challenges, as 5G cellular networks need to support a variety of new services in enhanced mobile broadband (eMBB), ultra-reliable and low-latency communications (URLLC) and massive machine type communications (mMTC). Many of these services demand low latency and extremely high transmission rates, and need to be provided to UEs with different capabilities. 5G New Radio (NR) deals with the need for high data rates by introducing various ways to increase bandwidth and throughput. However, because the UE constantly monitors the control channel across the entire channel bandwidth, even without transferring data (Connected mode), increased bandwidth leads to higher power consumption, which causes rapid discharge of the device's battery. Additionally, UEs that are unable to support the full channel bandwidth are also expected to support 5G.

In order to solve these issues, 3GPP Release 15 introduced the concept of Bandwidth Parts (BWPs). They are subsets of the total bandwidth of a cell, and are defined as a set of contiguous common resource blocks (CRBs) for a given numerology on a given carrier [2]. Each BWP has its starting location and bandwidth. The former is given in reference to the beginning of the first CRB, while the latter is defined in terms of physical resource blocks (PRBs) - contiguous CRBs defined within a BWP. The size of a BWP's bandwidth depends on its

subcarrier spacing (SCS) and cyclic prefix (CP), and cannot be larger than the cell bandwidth. For any device, up to four BWPs can be configured in the downlink, and another four in the uplink. However, only one downlink BWP and one uplink BWP can be active at once. In case of supplementary uplink, up to four BWPs can be configured for it as well, with only one being active at any time.

A certain UE incapable of supporting the full channel bandwidth of a 5G base station can still support 5G if a BWP equal to or lower than the maximum bandwidth of the UE is used. Moreover, it is possible to activate BWPs of different sizes according to the devices current demands, in a process called BWP adaptation [3]. Using BWP adaptation means that the device only has to monitor the control channel across the bandwidth of the active BWP, as it is the only one where it expects to use resources. Therefore, switching from a large BWP to a smaller one when no longer transferring data or in periods of low traffic reduces power consumption [4]. This power saving is especially evident when using BWP adaptation in cases like low load or bursty traffic, where BWP switching is more frequent, though it comes at the cost of increased latency and decreased throughput [5].

This paper aims to analyze the battery consumption related to the 5G BWP feature for a mobile device, considering different modes. The only-connected/baseline mode is related to the UE connected to the 5G network without data transferring. The throughput mode is when the device downloads data, which drains much more power from the battery when compared to the baseline mode. The laboratory setup where the measurements were carried out is described in Section II. Section III presents the results and analysis, and the conclusions are discussed in Section IV.

## II. LABORATORY SETUP AND METHODOLOGY

All analyses were performed considering the 5G standalone architecture (SA). The analyzed BWP configurations were 24, 106, 189, and 273 resource blocks (RBs) that correspond to 10, 40, 70, and 100 MB, respectively. Two consumer modes were considered (baseline and throughput). Additional settings were: NR band n78, SCS of 30 kHz, MCS of 27 (256-QAM), and SISO (single-input single-output) as antenna

This work was partially supported by Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., under the auspice of the informatic law no 8.387/91, in the scope of the Advanced 5G Protocol project. Corresponding author: bruno.satiro@sidia.com



configuration. An Anritsu MT8000A module was used to emulate and control the 5G network. Power consumption measurements were conducted with a Keysight N6705C Power Analyzer, and carried out from a DuT (device under test), a recent commercial 5G smartphone with robust hardware configuration. Power level values reported in the next section were obtained by executing the same experiments multiple times and calculating the average of the results.

### III. RESULTS

The main objective of this analysis is to understand how much battery can be saved in a cellular mobile device when applying the BWP feature. For this, two scenarios were chosen. The first concerns the baseline current measurement, which is related to the essential consumption of the UE when it is connected to the 5G network, but without transmitting or receiving any data (RRC connected state). Table I shows the average current values for this case.

TABLE I  
BASELINE CONSUMPTION

BWP (RBs)	Current consumption (A)
24	0.090002
106	0.092897
189	0.102320
273	0.103323

In this scenario, as the user does not need all the available bandwidth, a reduced BWP provides lower battery consumption. Savings can reach approximately 13% when considering the difference between resource allocation, going from 100 MB (273 RBs) to 10 MB (24 RBs), which is the minimum possible bandwidth to be allocated to the n78 band. Fig. 1 compares the consumptions related to each of the allocated BWP.

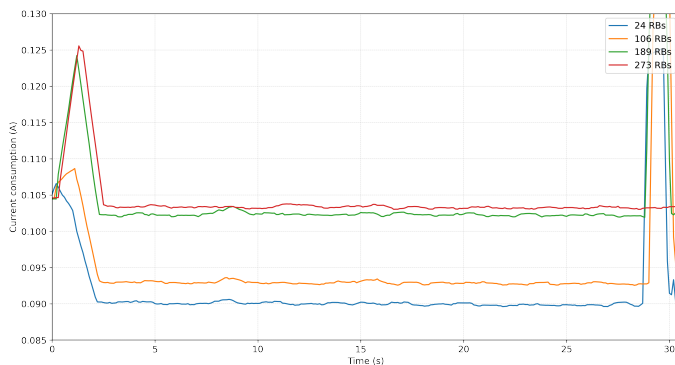


Fig. 1. Measurement results - baseline

In the second scenario, when the UE is in throughput mode, the processing for correct decoding of received bits results in a considerable increase in battery consumption. For low traffic, reduced bandwidths can be allocated in order to drain less electrical current, extending battery life. Table II shows the measured consumption results for this mode, along with the download rates achieved.

TABLE II  
THROUGHPUT CONSUMPTION

BWP (RBs)	Current consumption (A)	Data rate (Mbps)
24	0.192164	27.45
106	0.210618	122.52
189	0.240107	218.37
273	0.282946	314.24

Fig. 2 presents the consumption comparison between different BWPs, considering throughput. A saving of up to 33% is observed between 100 MB and 10 MB values.

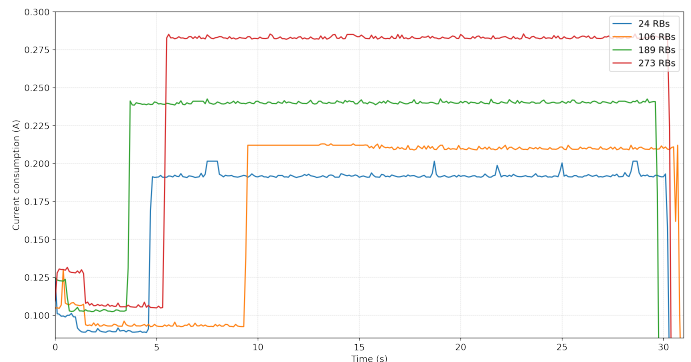


Fig. 2. Measurement results - throughput

### IV. CONCLUSION

Through the series of measurements carried out and presented in this paper, it was possible to quantitatively verify how much battery a UE can save with the BWP feature, allocating reduced bandwidths to the user whenever viable without compromising the QoE. The verified reduction was significant for the mode with throughput and for the UE only connected to the network, reaching up to 33% in the throughput mode. In view of a long period of use of the UE, such as a whole day, these savings can translate into a longer interval between battery recharges. In future analyses, different MIMO schemes will be considered, as well as other SCS values, that directly influence the UE battery consumption.

### REFERENCES

- [1] Ericsson. (2023, jun) Ericsson mobility report. [Online]. Available: <https://www.ericsson.com/49dd9d/assets/local/reports-papers/mobility-report/documents/2023/ericsson-mobility-report-june-2023.pdf>
- [2] 3GPP. (2020) Ts 38.211 v16.2.0 - physical channels and modulation. [Online]. Available: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/138200\\_138299/138211/16.02.00\\_60/ts\\_138211v16200p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/138200_138299/138211/16.02.00_60/ts_138211v16200p.pdf)
- [3] V. Ramaswamy, J. T. Correia, and D. Swain-Walsh, "Analytical evaluation of bandwidth part adaptation in 5g new radio," in *2021 IEEE 32nd Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2021, pp. 985–990.
- [4] Mediatek. (2018) Bandwidth part adaptation - 5g nr user experience power consumption enhancements. [Online]. Available: <https://newsletter.mediatek.com/hubfs/mwc/download/bandwidth-part-adaptation.pdf>
- [5] F. Abinader, A. Marcano, K. Schober, R. Nurminen, T. Henttonen, H. Onozawa, and E. Virtej, "Impact of bandwidth part (bwp) switching on 5g nr system performance," in *2019 IEEE 2nd 5G World Forum (5GWF)*. IEEE, 2019, pp. 161–166.

# Classificação de Fluxo e Tolerância a Falhas com Controlador Ryu

Eonay Gurjão  
Universidade Federal do Pará  
Email: eonay.gurjao@tucurui.ufpa.br

Klenilmar Dias  
Instituto Federal do Amapá  
Email: klenilmar.dias@ifap.edu.br

Marcos Amaris  
Universidade Federal do Pará  
Email: amaris@ufpa.br

**Resumo**—O artigo explora a integração de SDN e Aprendizado de Máquina (AM) com Mininet. São apresentados dois experimentos: um utilizando SVM para classificação de fluxos e o outro propondo um módulo com características de um multicontrolador aprimorado para lidar com a duplicação de pacotes em cenários tolerantes a falhas. Os resultados são promissores, tanto na classificação quanto na otimização da alocação de recursos e na manutenção da disponibilidade.

**Palavras-chave**—Aprendizagem de Máquina, Rede Definida por Software, Mininet, Controlador Ryu.

## I. INTRODUÇÃO

Redes Definidas por Software (Software-Defined Networks ou SDN) é um paradigma de arquitetura de redes de computadores emergente onde o controle da rede está dissociado do encaminhamento de pacotes e que pode ser diretamente programável [1]. Paralelamente, a aplicação de técnicas de Aprendizado de Máquina (AM) permite a análise de grandes volumes de dados de tráfego, identificando padrões e comportamentos complexos [2].

A integração entre SDN e AM é extremamente valiosa, especialmente na classificação eficiente de fluxos de dados. Essa combinação permite a aplicação de políticas de gerenciamento de qualidade de serviço, resultando em um aprimoramento significativo do desempenho e da segurança das redes de grande escala.

Para a realização de experimentos com SDN, é necessário ter um ambiente que emule a rede e seja acoplado a um controlador SDN. Neste trabalho, o cenário do experimento será criado com o emulador de redes Mininet na camada de encaminhamento, que é uma ferramenta capaz de criar topologias de rede completas com hosts, enlaces e switches em uma única máquina, de maneira customizada, com o controlador Ryu atuando no plano de controle. Contudo, ao criar um cenário com multicontroladores, o Mininet pode gerar um overhead excessivo, duplicando pacotes desnecessariamente.

No contexto dessas considerações, este trabalho apresenta dois experimentos distintos. O primeiro trata da classificação de fluxo de redes, utilizando um módulo baseado no modelo de Aprendizado de Máquina Supervisionado chamado SVM (Support Vector Machine). O segundo experimento tem como foco uma proposta de melhoria no ambiente Mininet para lidar com a duplicação de pacotes em topologias que fazem uso de múltiplos controladores SDN.

## II. METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos, foi montado um ambiente com dois cenários: um organizado com topologia linear, composto por dois hosts conectados a um switch, o qual estava ligado a um controlador SDN, para aplicação do primeiro experimento. O outro cenário possuía uma topologia em estrela hierárquica, estruturada em camadas de núcleo, distribuição e acesso [3], e estava conectado a dois controladores SDN, para o segundo experimento. Em ambas as topologias, os switches foram emulados com o Open vSwitch, e o controlador utilizado foi o Ryu com o protocolo OpenFlow habilitado.

O cenário de classificação de fluxo utilizou um modelo de AM supervisionado com o objetivo de classificação binária, abordando o tráfego de redes em duas classes distintas: fluxo do tráfego com protocolo SSH (Secure Socket Shell) e tráfego de Background (downloads de arquivos). Para a criação do conjunto de dados, foram utilizados scripts Bash do Linux, em conjunto com a ferramenta Tshark, considerando cada tipo de serviço acessado no experimento: SSH e Background. Em seguida, foi desenvolvido um script em Python para a extração de características, o qual gerou dois arquivos: um com os rótulos e outro com as características extraídas. A extração foi realizada utilizando a biblioteca dpkt, que possui as definições básicas dos protocolos TCP/IP, para examinar o conteúdo do conjunto de dados gerados com os scripts Bash do Linux durante a etapa de criação do conjunto de dados.

O tratamento dos dados foi realizado utilizando ferramentas do Anaconda para ciência de dados, em conjunto com pacotes de algoritmos de aprendizado de máquina do Scikit-Learn, ambas bibliotecas de código aberto que utilizam a linguagem de programação Python. O processo gerou um conjunto de dados com 5000 amostras e 51 características. A Fig. 1 apresenta as etapas funcionais de todo o processo descrito acima.

Tanto para o primeiro cenário quanto para o segundo, foi utilizada a ferramenta CBench para a geração das requisições para os controladores Ryu. No segundo cenário, esse processo combinou tanto as chamadas ao controlador principal quanto o acionamento do controlador secundário em caso de indisponibilidade do host controlador.

## III. RESULTADOS

No cenário de classificação, foram aplicadas as métricas F1, Sensibilidade, Precisão e Acurácia para verificar o desempe-

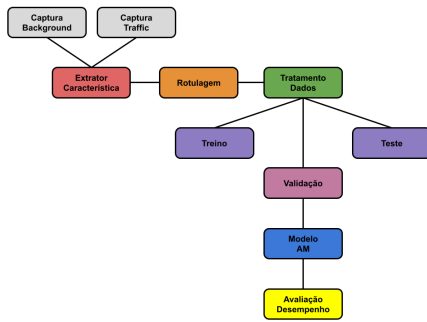


Fig. 1. Fluxo para Geração do Conjunto de Dados.

no do modelo com SVM. Essas métricas foram utilizadas para comparar o modelo em duas situações distintas.

A primeira sem normalização e com três funções de normalização. A Tabela I apresenta os resultados.

Tabela I  
DESEMPENHO COM E SEM NORMALIZAÇÃO DOS DADOS.

Normalização	Acurácia	Precisão	Sensibilidade	F1
Nenhum	99,46%	100%	97,53%	98,75%
StandardScaler	99,66%	99,38%	99,07%	99,22%
Normalizer	99,06%	98,13%	97,53%	97,83%
MinMaxScaler	99,46%	100%	97,53%	97,53%

Na segunda, foi avaliado o desempenho do modelo com duas técnicas de balanceamento de dados, utilizando a função de normalização que obteve o melhor resultado na Tabela I, que foi a StandardScaler. Os resultados dessa análise estão apresentados na Tabela II.

Tabela II  
DESEMPENHO DA MELHOR TÉCNICA DE NORMALIZAÇÃO COM BALANCEAMENTO.

Balanceamento	Acurácia	Precisão	Sensibilidade	F1
UnderSampling	99,16%	99,66	98,67%	99,16%
OverSampling	99,66%	100%	99,34%	99,66%

Ao emular um cenário com multicontroladores, composto por dois controladores (C1 e C2), onde C1 atua como principal e C2 como secundário, há uma previsão de contingência caso o controlador principal (C1) falhe. Nesse caso, o controlador secundário (C2) assumiria suas funções para garantir a continuidade da operação da rede. No entanto, ao utilizar o módulo nativo do Mininet para emulação do plano de encaminhamento, observou-se que há uma sobrecarga na taxa de utilização dos recursos de Memória e CPU do C2, mesmo sem este estar atuando no lugar do C1. Isso ocorreu pela duplicação da mensagem packet-in.

Nesse sentido, para o segundo experimento, foi proposto de maneira preliminar um módulo com características funcionais de um multicontrolador, que busca atingir um melhor compromisso (trade-off) na taxa de utilização de Memória e CPU em um cenário SDN com topologia de rede hierárquica, especialmente em situações de indisponibilidade de um dos controladores.

A Fig. 2 apresenta o experimento sem o módulo proposto, evidenciando uma sobrecarga nos recursos de CPU e Memória do Controlador C2, mesmo sem este estar atuando na rede em substituição ao C1.

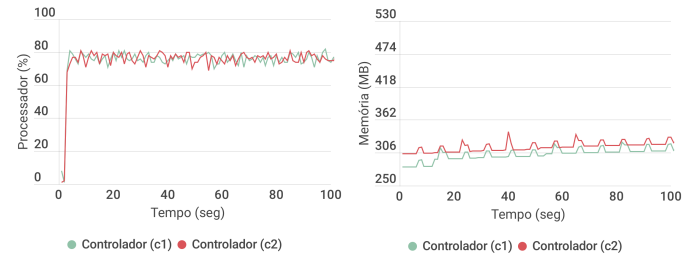


Fig. 2. Carga de CPU e Memória RAM (sem o módulo proposto).

A Fig. 3 mostra os resultados do módulo proposto com uma significativa redução da carga de CPU no C2 em troca um crescimento médio de 19,3% de memória em ambos os controladores, mantendo a disponibilidade e evitando a duplicação de pacotes (packet-in) nos controladores.

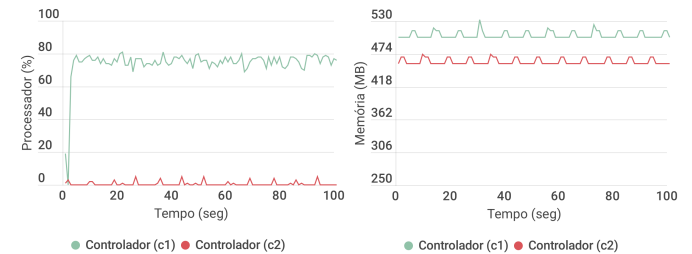


Fig. 3. Carga de CPU e Memória RAM (com o módulo proposto).

#### IV. CONCLUSÃO

Neste artigo, um modelo de AM foi utilizado para realizar a classificação binária dos fluxos de rede SDN. Os dados passaram por um processo de pré-processamento e balanceamento. Os resultados obtidos revelaram alta acurácia na classificação, usando o SVM e estatísticas das características dos pacotes. O módulo proposto evitou a duplicação de mensagens packet-in, permitindo uma alocação eficiente de recursos e mantendo a disponibilidade nos controladores. Além disso, demonstrou uma significativa redução na carga de CPU no controlador secundário em detrimento do aumento de uso de memória. Como trabalho futuro, estão planejados testes com outros modelos de AM, utilizando múltiplas threads em diferentes controladores.

#### REFERÊNCIAS

- [1] ONF, "Openflow switch specification," Open Networking Foundation, Tech. Rep., March 2015, technical Manual. [Online]. Available: <https://opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.5.1.pdf>
- [2] D. M. Casas-Velasco, O. M. C. Rendon, and N. L. da Fonseca, "Intelligent routing based on reinforcement learning for software-defined networking," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 18, no. 1, pp. 870–881, 2020.
- [3] J. Illiano, M. Caleffi, A. Manzalini, and A. S. Cacciapuoti, "Quantum internet protocol stack: A comprehensive survey," *Computer Networks*, vol. 213, p. 109092, 2022.

# Classificação de Imagens de Exames de Preventivo Usando Rede Neural Convolutacional

Edriane do Socorro Silva Costa, *Student, UFPA*, Sidnir Carlos Baia Ferreira, *Student, UFPA*, Ítalo José da Silva Melo, *Student, UFPA*, Josiellem Damasceno de Souza, *Student, UFPA*, Jasmine Priscyla Leite de Araújo, *Member, UFPA* Evelin Helena Silva Cardoso, *Member, UFPA* João Farias Guerreiro, *Member, UFPA* Paulo Pimentel de Assumpção, *Member, UFPA* Carlos Renato Lisboa Francês, *Member, UFPA*

**Abstract**—O exame preventivo, é um método de triagem amplamente utilizado para detectar câncer cervical e lesões pré-cancerosas. A classificação automatizada dos resultados deste pode auxiliar os profissionais de saúde a identificar com precisão padrões de citologia anormais e fornecer intervenções oportunas. Assim, este estudo propõe a aplicação do modelo pré-treinado de Rede Neural Convolutacional VGG16 para classificação desses resultados. A partir de um banco de dados de 958 imagens e 4 classes a rede apontou um desempenho promissor com 90,95% de acurácia.

**Index Terms**—Preventivo, citologia cervical, VGG16, visão computacional.

## I. INTRODUÇÃO

Atenção à saúde feminina é de extrema importância para o bem-estar geral das mulheres e sua qualidade de vida. Assim, é indispensável destacar a relevância da prevenção de enfermidades ginecológicas. Dentre essas, pontua-se o carcinoma de colo de útero, uma das patologias que mais matam mulheres em todo o mundo, ocupando no Brasil o terceiro lugar em mortalidades advindas do câncer, representando 6,1% do total de óbitos [1]. Porém, sendo, felizmente, altamente prevenível e tratável quando detectado em níveis iniciais.

Uma das principais estratégias da detecção da doença é a realização do exame preventivo. Este consiste em uma citologia esfoliativa que constata alterações nas células do tecido vaginal, por meio da análise laboratorial de lâminas.

A abordagem, apesar de fundamental, está sujeita a geração de resultados falso-positivos devido a erros individuais [2]. Isso pois, por ser tratar de resultados laboratoriais, depende diretamente de infraestrutura e disponibilidade de patologistas para sua execução.

Assim, como forma de aprimorar a precisão na identificação de padrões relevantes, para uma detecção mais confiável de

possíveis anormalidades ginecológicas, este trabalho propõe a aplicação do modelo pré treinado de Rede Neural Convolutacional (CNN) VGG16 usando um banco de dados de 958 imagens. A relevância deste estudo, por sua vez, está em propor um auxílio para a equipe médica sobre a abordagem de classificação de lâminas citopatológica para a detecção de potenciais células cancerígenas do colo de útero.

## II. METODOLOGIA

Existem diversos tipos de redes empregadas nos mais diferentes contextos, um tipo bastante popular é a VGG16, do inglês, *Visual Geometry Group 16*. Proposto por esse grupo da Universidade de *Oxford*, se destaca por ser um método de arquitetura e profundidade bem definida [3]. Formada por 13 camadas convolucionais e 5 camadas de *pooling* a CNN em questão costuma responder bem a problemas da área médica. Por outro lado, é uma rede pouco explorada na classificação de resultados da Citologia Cervical. Fatos que motivaram a escolha por este modelo para uso neste trabalho.

Assim, partindo do intuito de assistir a equipe médica quanto a uma melhor classificação patológica, propõe-se aplicar essa rede neural pré-treinada para identificação e categorização de lâminas do Papanicolau. Foi utilizado um banco de dados extraído de [4], distribuído entre quatro classes de resultados: Normal, LSIL (Lesão Intraepitelial de Baixo Grau), HSIL (Lesão Intraepitelial de Alto Grau) e Carcinoma, sendo 978 imagens no total. A distribuição do banco, seguiu o padrão de *Maching Learning*, mantendo a proporção de 70% para treino e 30% para teste e seus valores quantitativos estão disposto na Tabela 1. Para a problemática em questão este é o único banco de dados público de lâminas em meio líquido que dispõe das 4 classes com imagens coloridas, daí a escolha por este.

TABLE I  
DISTRIBUIÇÃO DO BANCO DE DADOS

Dados de Treino	673 imagens	Dados de Teste	285 imagens
Normal	429 imagens	Normal	183 imagens
LSIL	79 imagens	LSIL	34 imagens
HSIL	114 imagens	HSIL	49 imagens
Carcinoma	51 imagens	Carcinoma	19 imagens

Quanto aos resultados, na classe normal as células não apresentam alterações em tamanho nem em núcleo. Já no LSIL, as células apresentam alterações leves e indicam uma

Mestranda em Computação Aplicada (CA) no PPGEE, UFPA, email: edrianeoscosta@gmail.com

Doutorando em CA no PPGEE, UFPA, email: sidnircarlos@ufpa.br

Acadêmico de Engenharia de Computação na FACOMP, UFPA, email: italo.melo@castanhal.ufpa.br

Doutoranda em Oncologia e Ciências Médicas, UFPA, email: josiellem@gmail.com

Pós-Doutora em Engenharia no INESC-TEC, UFPA, email: jasmine@ufpa.br

Doutora em CA no PPGEE, UFPA, email: evelin.cardoso@ufpa.edu.br

Pós-Doutor em Ciências Biológicas em Oxford, UFPA, email: joao.guerreiro53@gmail.com

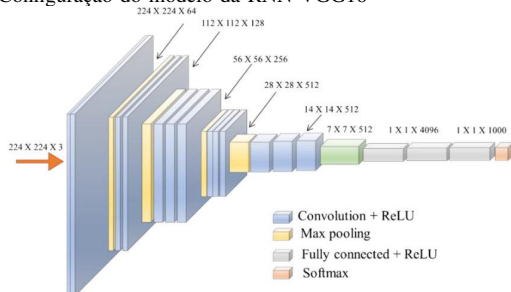
Doutorado em Genética e Biologia Molecular, UFPA, email: assumptaopp@gmail.com

Pós-Doutor em Engenharia no INESC-TEC, UFPA, email: rfrances@ufpa.br

Lesão de Baixo Grau, direcionando para um tratamento celular pré-cancerígeno. Outro resultado possível é o HSIL, este já designa uma Lesão de Alto Grau, apontado por uma grande alterações em tamanho e núcleo nas células avaliadas. Por fim, o último resultado de classificação é o Carcinoma, neste o paciente, muito provavelmente, já apresenta células cervicais cancerosas [5].

A arquitetura desenvolvida seguiu a mesma usada pelos criadores em [3], na qual a rede é criada e programada em modelo sequencial seguindo a alternância de camadas convolucionais para processamento de dados e de *pooling* para ajustar e reduzir os dados como forma de otimizar o modelo e aumentar o desempenho da rede [6]. Sobre o número de *Kernels* de convolução e os passos: foram aumentados gradualmente ao longo das camadas, conforme o modelo original, bem como a função de ativação usada. Esses dados estão expresso na Fig. 1.

Fig. 1. Configuração do modelo da RNN VGG16

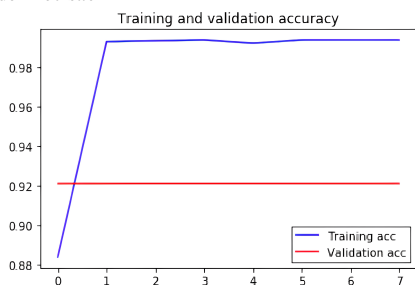


Fonte: Ilustração retirada de [7].

### III. RESULTADOS

Para a avaliação do modelo da rede VGG-16 para o conjunto de dados utilizado neste trabalho, traçou-se tanto a curva de precisão quanto a curva de perda. Que estão expressas, respectivamente nas Fig. 2 e Fig. 3.

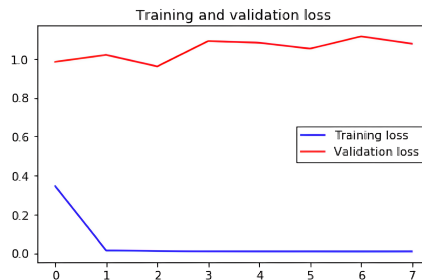
Fig. 2. Curva de Precisão



A curva de precisão mostra a taxa de variação da precisão nos conjuntos de treinamento e validação, enquanto a curva de perda ilustra a taxa de alteração da perda nos mesmos conjuntos. Ao analisar essas curvas, é possível identificar que o modelo aqui proposto apresenta resultados otimistas.

A acurácia é uma medida geral da taxa de acertos do modelo, ou seja, a proporção de exemplos classificados corretamente em relação ao número total de exemplos. É calculada dividindo o número de predições corretas pelo número total

Fig. 3. Curva de Perda



de exemplos. No caso deste trabalho, obteve-se uma acurácia de 90,95%. Resultado que mostrou-se bastante promissor para melhoramentos da rede para trabalhos futuros.

### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A automatização de resultados do preventivo tornam-se indispensáveis, tendo em vista que o câncer cervical é uma das patologias que mais matam mulheres no mundo.

Nesse sentido, o modelo proposto apresentou resultados promissoras na identificação e classificação de doenças pré-malignas e malignas cervicais, apresentando uma acurácia de 90,95% .

Para trabalhos futuros pretende-se aprimorar as métricas de avaliação, adotando F1 Score, Sensibilidade e Precisão para avaliar o modelo, bem como normalizar o banco de dados usado para efeito comparativo. Além de fazer testes classificando o método de forma binária entre resultados normais e alterados.

Por fim, o método mostrou-se adequado para auxiliar a detecção de câncer cervical. Salienta-se, por sua vez, que independente do resultado obtido com o preventivo, o diagnóstico médico só será fechado a partir de exames complementares. Destacando, assim, a importância do acompanhamento de profissionais especializados para a conclusão diagnóstica e orientação para o melhor plano de tratamento.

### REFERENCES

- [1] Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva (Inca). Dados e Números sobre Câncer do Colo do Útero. Rio de Janeiro: INCA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/inca/pt-br>
- [2] Lilhore, Umesh Kumar, et al. "Hybrid model for detection of cervical cancer using causal analysis and machine learning techniques." Computational and Mathematical Methods in Medicine 2022 (2022).
- [3] Simonyan, Karen, and Andrew Zisserman. "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition." arXiv preprint arXiv:1409.1556 (2014).
- [4] Hussain, Elima, 2019, "Liquid based cytology pap smear images for multi-class diagnosis of cervical cancer", Mendeley Data, V3, doi: 10.17632/zddtpgzv63.3
- [5] Alrajjal, Ahmed, et al. "Squamous intraepithelial lesions (SIL: LSIL, HSIL, ASCUS, ASC-H, LSIL-H) of uterine cervix and bethesda system." Cytojournal 18 (2021).
- [6] Wang, Hao. "Garbage recognition and classification system based on convolutional neural network vgg16." 2020 3rd International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE). IEEE, 2020.
- [7] Pandiyan, Vigneashwara, Tjahjowidodo, Tegoeh, Caesarendra, Wahyu, Murugan, Pushparaja. (2019). "In-process virtual verification of weld seam removal in robotic abrasive belt grinding process using deep learning". Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 57. 477-487. 10.1016/j.rcim.2019.01.006



# Classificação de Problemas da Voz via Processamento Digital de Sinais e Aprendizado de Máquina

Samuel Santos, Luan Oliveira, Adam Santos

**Resumo**—À medida que surgem novas pesquisas e avanços de técnicas na área de aprendizado de máquina, nota-se o significativo impacto dos algoritmos de classificação no processo de detecção de patologias de maneira automatizada. A construção de modelos algorítmicos otimizados fornece conhecimento eficaz em diagnósticos devido sua precisão e capacidade preditiva entre diferentes distúrbios. Neste trabalho, o foco é referente à classificação de pacientes saudáveis e diagnosticados com disfonia e laringite. A metodologia empregada está baseada na utilização da análise da densidade espectral de potência dos sinais de voz de cada paciente em conjunto com a otimização de algoritmos de aprendizado de máquina para automatizar o processo de detecção. Dentre os modelos empregados, aquele que obteve melhor desempenho de classificação foi o *Support Vector Machine*.

**Palavras-chave**—Densidade Espectral de Potência, Disfonia, Laringite, Aprendizado de Máquina.

## I. INTRODUÇÃO

OS distúrbios vocais afetam as cordas vocais na região da laringe, resultando em vibrações irregulares que consequentemente prejudicam a voz. A abordagem tradicional de diagnóstico é cara e leva em consideração a subjetividade do profissional [1]. Pesquisas buscam automatizar a detecção de patologias, aproveitando o processamento digital de sinais e o aprendizado de máquina para auxiliar no diagnóstico vocal.

O estudo em Pham *et al.* [1] propõe uma metodologia de classificação de distúrbios vocais, incluindo Neoplasia, Fonotrauma e Paralisia vocal. Para isso, utiliza-se a extração dos *Mel Frequency Cepstral Coefficients* de séries temporais, que são então utilizados para treinar e testar diversos algoritmos de aprendizado de máquina, incluindo *Support Vector Machine* (SVM), *Random Forest*, *K-NN*, *Gradient Boosting* e um *Ensemble* de modelos. Além disso, realiza-se um processo de otimização de hiperparâmetros dos classificadores.

No estudo de Pinho *et al.* [2], uma abordagem automatizada para classificar 17 ritmos cardíacos é apresentada. O processo inclui o mapeamento de sinais de ECG para o domínio da frequência via método de Welch, o balanceamento de classes com ADASYN e a normalização Z-score como pré-processamento. Modelos de aprendizado, como SVM, *Multilayer Perceptron*, *K-NN* e *Random Forest*, são utilizados e

avaliados com métricas como precisão, sensibilidade, especificidade e o índice *kappa* de Fleiss, com resultados de 98,86%, 99,93%, 98,85% e 89,68%, respectivamente.

A pesquisa de Verde *et al.* [3] apresenta uma metodologia de classificação de distúrbios vocais, com foco em pacientes com disfonia. As características utilizadas para a classificação incluem frequência fundamental, *Jitter*, *Shimmer*, *Harmonic to Noise Ratio* e MFCC. Os algoritmos de classificação selecionados, disponíveis no software WEKA, incluem SVM, árvores de decisão, classificação bayesiana, etc. Essa abordagem aprimorou a detecção automatizada de distúrbios vocais.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um *pipeline* de detecção de distúrbios vocais com técnicas de processamento digital de sinais e algoritmos de classificação otimizados, distinguindo estados saudáveis e patológicos.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção apresenta o *pipeline* proposto, objetivando detalhar o processo de desenvolvimento deste trabalho. Logo, cada etapa do *pipeline* será explicada nas posteriores subseções, desde o pré-processamento dos dados até a otimização dos classificadores empregados.

### A. Base de dados e Pré-processamento

O conjunto de dados desta pesquisa foi fornecido pelo ambulatório de Foniatria e Videolaringoscopia do Hospital Universitário de Nápoles Frederico II, sendo disponibilizado no repositório da plataforma Kaggle [4]. A base de dados é composta por 208 registros de vozes amostrados em 8000 Hz no domínio do tempo, contendo 150 registros de vozes patológicas com disfonia (113) ou laringite (37), e 58 registros de vozes saudáveis.

Foi estimada a densidade espectral de potência (*Power Spectral Density*—PSD) para cada sinal temporal via método de Welch [5] e janela de Hann com tamanho de 4096 amostras, conforme apresentada na Fig. 1. O quantitativo amostral do janelamento contribuiu para uma melhor discriminação dos sinais em termos da alta resolução das componentes de frequência. O tratamento buscou melhorar o desempenho dos modelos de aprendizado de máquina e reduzir a dimensionalidade dos dados de 38720 *features* para 2049.

O balanceamento de classes foi efetuado pela técnica de pré-processamento *Syntetic Over-sampling Technique* (SMOTE) [6], gerando novos registros para as classes minoritárias. Após o pré-processamento, as classes laringite e saudáveis passaram a ter o mesmo quantitativo de registros da classe disfonia.

S. Santos é graduando na FEC, Unifesspa, Marabá-PA, Brasil (e-mail: samuel.patrick@unifesspa.edu.br).

L. Oliveira é mestrando no PPGCC, UFG, Goiânia-GO, Brasil (e-mail: luan.silva@discente.ufg.br).

A. Santos é professor na FACS, Unifesspa, Marabá-PA, Brasil (e-mail: adamdreyton@unifesspa.edu.br).

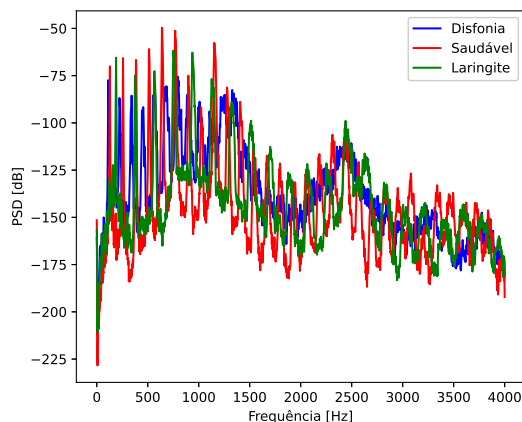


Fig. 1. Exemplos de PSD para as classes saudável, disfonia e laringite.

### B. Otimização/Validação e Normalização

A etapa em questão consiste na implementação da técnica de *Cross-validation* [7] para estimar a performance dos modelos para diferentes subconjuntos de dados, sendo considerados cinco *folds* no conjunto de treino. Além disso, foi empregada a técnica *Randomized Search* [8] para seleção do melhor conjunto de hiperparâmetros dos modelos aplicados.

Os modelos selecionados para a classificação dos sinais foram *Random Forest* (RF), *Support Vector Classification* (SVC) e *Multi-layer Perceptron Classifier* (MLP), disponibilizados pela biblioteca *Scikit-learn* [9].

Os hiperparâmetros que possibilitaram um melhor desempenho do algoritmo RF foram o critério de entropia e o número de árvores igual a 250. Enquanto que no SVC, foi a função *kernel* polinomial e o parâmetro de regularização igual a 0.75. Para o MLP, foram selecionadas uma camada oculta com 100 neurônios, a função de ativação ReLU e a quantidade máxima de épocas igual a 2000. Visando a otimização do aprendizado da MLP e a redução de *Underfitting*, foi realizada uma normalização, onde os dados foram transformados pela remoção da média e em seguida pela divisão em relação ao desvio padrão, para cada *feature*.

### C. Treino, teste e obtenção de métricas

A proporção do conjunto de dados foi distribuída em 80% para o conjunto de treino e 20% para o conjunto de teste.

Para a avaliação de desempenho de cada modelo, foram utilizadas as métricas de *precision*, *recall* e *f1-score* [7].

## III. RESULTADOS

A Tabela I demonstra os resultados de *precision*, *recall* e *f1-score* no conjunto de teste. Em relação à precisão, o algoritmo RF obteve melhor desempenho para a classe Laringite (96%), enquanto que SVC obteve na classificação das classes Disfonia (100%) e Saudável (88%). Em *recall*, o algoritmo SVC se mostrou mais robusto, para todas as classes, apesar da diferença de desempenho na classe Disfonia (75%) em relação as demais (100%). Na métrica de *f1-score*, o SVC se apresentou com alto desempenho nas três classes, com destaque para as classes que foram balanceadas pelo SMOTE (94% e 96%).

TABLE I  
RESULTADOS DOS CLASSIFICADORES PARA O CONJUNTO DE TESTE.

Modelos	Classes	<i>precision</i>	<i>recall</i>	<i>f1-score</i>
RF	Disfonia	88%	75%	81%
	Saudável	78%	91%	84%
	Laringite	96%	92%	94%
SVC	Disfonia	100%	75%	86%
	Saudável	88%	100%	94%
	Laringite	93%	100%	96%
MLP	Disfonia	92%	60%	73%
	Saudável	81%	96%	88%
	Laringite	89%	100%	94%

## IV. CONCLUSÃO

Tendo em vista a metodologia aplicada, o algoritmo SVC apresentou o melhor desempenho, que pode ser justificado pelo fato dos dados serem linearmente separáveis via hiperplano do SVC. O algoritmo RF realiza sucessivas associações entre registros, logo a tentativa de associar valores sequenciais de mesma natureza pode ter implicado na redução de desempenho. Enquanto que para o algoritmo MLP, a otimização de poucos hiperparâmetros pode ter implicado na restrição de desempenho, apesar da normalização de dados aplicada.

Um dos desafios mais pertinentes na metodologia, inicialmente, foi o pré-processamento da base dados, dada a alta dimensionalidade no domínio do tempo. A transformação dos dados para o domínio da frequência apresentou *features* com alto desvio padrão, o que direcionou ao emprego da PSD.

Em trabalhos futuros, as restrições de desempenho citadas servirão para aprimoramento da metodologia aplicada e refinamento dos modelos para obtenção de resultados mais robustos.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado com recursos da Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (Fapespa).

## REFERÊNCIAS

- [1] M. Pham, J. Lin, and Y. Zhang, "Diagnosing voice disorder with machine learning," in *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2018, pp. 5263–5266.
- [2] N. Pinho, D. Azevedo, and A. Santos, "Classifying cardiac rhythms by means of digital signal processing and machine learning," *Journal of Communication and Information Systems*, vol. 35, no. 1, 2020.
- [3] L. Verde, G. De Pietro, and G. Sannino, "Voice disorder identification by using machine learning techniques," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 16 246–16 255, 2018.
- [4] A. Panigrahi, "Voiced: A database for health and pathological voices," Jul 2023, <https://www.kaggle.com/datasets/abhranta/voiced>.
- [5] P. Welch, "The use of fast fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms," *IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics*, vol. 15, no. 2, pp. 70–73, 1967.
- [6] N. V. Chawla, K. W. Bowyer, L. O. Hall, and W. P. Kegelmeyer, "Smote: synthetic minority over-sampling technique," *Journal of artificial intelligence research*, vol. 16, pp. 321–357, 2002.
- [7] M. A. Maloof, *Some Basic Concept of Machine Learning and Data Mining*. London: Springer London, 2006, pp. 23–43.
- [8] J. Bergstra and Y. Bengio, "Random search for hyper-parameter optimization," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 13, no. 10, pp. 281–305, 2012.
- [9] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, and E. Duchesnay, "Scikit-learn: Machine learning in Python," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 12, pp. 2825–2830, 2011.

# Comparando Estratégias de Roteamento em Redes Quânticas Oportunísticas

Diego Abreu, Alan Veloso, Antônio Abelém

**Resumo**—Este artigo apresenta uma análise comparativa de três estratégias de roteamento em redes quânticas oportunísticas. As redes de comunicação quânticas enfrentam desafios únicos, como a fragilidade dos qubits e a necessidade de criar e manter pares de estados emaranhados para transmissão confiável. Nesse contexto, o roteamento eficiente e confiável é crucial para maximizar a fidelidade das rotas estabelecidas, minimizar a criação de novos pares de emaranhados e reduzir a necessidade de recálculo de rotas. As estratégias de roteamento são comparadas com base na fidelidade das rotas escolhidas, na quantidade de pares de emaranhados criados e no número de recálculos das rotas. Os resultados obtidos fornecem informações valiosas para o projeto e otimização de redes quânticas oportunísticas, contribuindo para avanços na eficiência e confiabilidade das comunicações quânticas.

**Index Terms**—Comunicação Quântica, Internet Quântica, Roteamento Quântico

## I. INTRODUÇÃO

A comunicação quântica vem avançando nos últimos anos em com novas tecnologias de computadores quânticos e diversas aplicações sendo propostas [1]. No entanto, diferentemente das redes de computadores atuais, as redes quânticas enfrentam desafios únicos devido à natureza dos qubits (bits quânticos), que são os blocos de construção dos sistemas quânticos. Assim, para garantir a transmissão confiável de informações quânticas, é necessário estabelecer rotas eficientes e confiáveis. Nesse contexto, o roteamento desempenha um papel crucial, permitindo a seleção das melhores rotas entre os nós de uma rede quântica, considerando as limitações físicas e as restrições impostas pelo meio ambiente quântico [2].

Em redes quânticas oportunísticas [3], onde os qubits são enviados assim que pares de estados emaranhados (EPRs) se tornam disponíveis ponto a ponto, o roteamento assume uma importância ainda maior. A eficiência na escolha das rotas afeta diretamente a fidelidade dos estados quânticos transmitidos, impactando a qualidade e a confiabilidade da comunicação quântica. Além disso, uma rota mal selecionada pode resultar na criação excessiva de novos pares de EPRs, que consomem recursos preciosos e podem comprometer o desempenho geral da rede. Portanto, é fundamental comparar e avaliar estratégias de roteamento para identificar aquelas que melhor atendam às necessidades das redes quânticas oportunísticas.

Neste contexto, este artigo apresenta uma análise comparativa de três estratégias de roteamento em redes quânticas oportunísticas. O objetivo é investigar e avaliar o desempenho das diferentes estratégias em termos de fidelidade das rotas estabelecidas, quantidade de pares de EPRs criados e necessidade de recálculo das rotas. Os resultados obtidos fornecerão *insights* para o projeto e otimização de redes quânticas oportunísticas, contribuindo para compreender e aprimorar o roteamento em redes quânticas, o que é essencial para impulsionar a adoção da computação quântica e comunicação segura.

## II. MODELAGEM DE REDES QUÂNTICAS OPORTUNÍSTICAS

A rede quântica pode ser modelada como um grafo  $G = (V, E)$ , onde  $V$  é o conjunto de nós quânticos e  $E$  é o conjunto de arestas que conectam os nós. Cada nó quântico  $i \in V$  possui propriedades associadas, representadas por um conjunto de parâmetros. Essa modelagem é feita de forma que cada nó no grafo representa um nó quântico, ou seja, um local onde os qubits são armazenados e processados. Por sua vez, as arestas do grafo representam os canais de comunicação entre os nós quânticos. Cada aresta é responsável por transmitir qubits e tem propriedades associadas, como a disponibilidade de pares de EPRs, fidelidade do canal e dinâmicas de redução e reposição da fidelidade. Essas propriedades refletem as características do canal de comunicação, como a capacidade de transmitir informações quânticas com alta fidelidade e a necessidade de criar e manter EPRs para garantir a confiabilidade da comunicação.

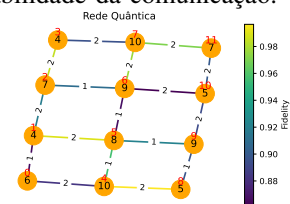


Figura 1. Grafo representando uma rede quântica de 12 nós, com topologia em treliça (*lattice*).

A Fig. 1 apresenta um exemplo de grafo que modela uma rede quântica de 12 nós, com topologia em treliça, em um dado momento da rede. Cada nó tem um índice (em vermelho) e possui uma determinada quantidade de qubits (escrito nos círculos). Cada canal tem uma quantidade de EPR (escrito nas arestas) e uma fidelidade (indicada pela cor das arestas seguindo a legenda de gráfico de cores).

Para se enviar um qubit de um nó para outro na rede é necessário utilizar o protocolo de teletransporte quântico. Utilizando 1 par EPR a cada salto da rota, o qubit é enviado e sua qualidade depende da fidelidade fim-a-fim da rota escolhida.

Diego Abreu, Universidade Federal do Pará (e-mail: diego.abreu@itec.ufpa.br)

Alan Veloso, Universidade Federal do Pará (e-mail: aveloso@ufpa.br)

Antônio Abelém, Universidade Federal do Pará (e-mail: abelem@ufpa.br)

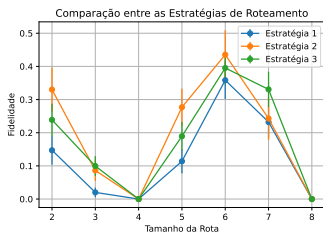


Figura 2. Fidelidade fim-a-fim.

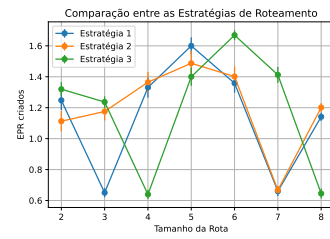


Figura 3. EPR criados por qubit enviado.

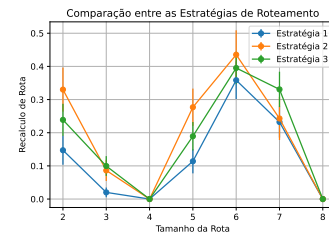


Figura 4. Recalculo de rota por qubit enviado.

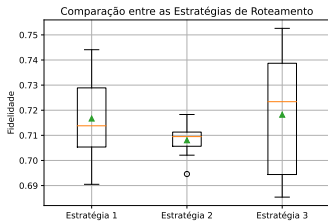


Figura 5. Fidelidade fim-a-fim.

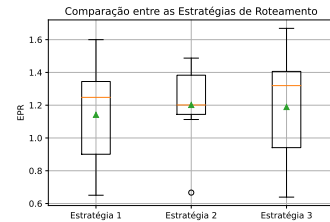


Figura 6. EPR criados por qubit enviado.

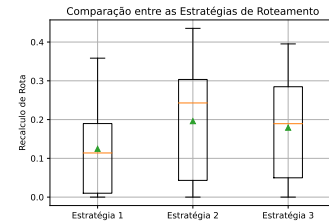


Figura 7. Recalculo de rota por qubit enviado.

Um par EPR só pode ser utilizado uma vez, após isso ele é consumido e precisa ser novamente criado. Para se criar um par EPR é necessário utilizar 2 qubits, um de cada nó do canal. Assim, além da fidelidade, é necessário sempre monitorar a existência de par EPR no canal para se escolher a rota. Outro fator a se considerar é a decorrência dos qubits e variação da fidelidade do canal. A cada interação da rede, como envio de qubit ou criação de par EPR, o valor do qubits disponível e a fidelidade do canal podem ter sido reduzidas. Isso impacta na qualidade da rota escolhida inicialmente, podendo acarretar em recalculos de rota [2].

Em redes EPR tradicionais para se enviar um qubit pelo protocolo de teletransporte quântico, é necessário que cada canal na rota tenha um par EPR estabelecido dedicado para essa operação. Se algum canal não tiver um par EPR, é necessário esperar até que esse par seja criado. Isso se torna um grande desafio para a escala de redes quânticas. Assim, a estratégia de redes quânticas oportunísticas, que envia o qubit ponto-a-ponto, sem que toda rota fim-a-fim precise estar estabelecida se torna uma opção mais viável para o roteamento quântico [2].

Nesse trabalho são consideradas três estratégias de roteamento quântico em redes oportunísticas. Todas elas buscam encontrar a melhor rota fim-a-fim que melhor satisfaça a métrica escolhida. Estratégia 1: Encontra a rota de maior fidelidade fim-a-fim. Estratégia 2: Encontra a rota com maior quantidade de par EPR disponível. Estratégia 3: Encontra a rota com mais Qubits disponível.

### III. RESULTADOS

Para se demonstrar o funcionamento da rede e realizar a comparação entre as estratégias de roteamento, foi modelado e simulado o envio de 100 qubits na rede, e coletando métricas como a fidelidade fim-a-fim média da rota final, a quantidade média de EPR que tiveram que ser criados a cada qubit enviado e a quantidade de vezes que a rota teve que ser recalculada por qubit enviado. Essa operação foi simulada 100 vezes e os valores médios foram coletados junto com o desvio padrão.

Além disso, esse procedimento foi repetido variando-se o tamanho da rota escolhida de 2 até 8. As Fig. 2, 3 e 4 apresentam resultados das 3 estratégias de roteamento para as métricas indicadas, variando-se o tamanho da rota. As Fig. 5, 6 e 7 apresentam o *boxplot* para os resultados obtidos. Os resultados indicam que a Estratégia 2 possui uma fidelidade fim-a-fim média maior do que as outras estratégias, ao variar-se o tamanho da rota. No entanto, essa estratégia resulta em um maior número de recalculos de rota. Quanto à criação de EPR, as Estratégias 1 e 3 apresentam os melhores resultados, variando de acordo com o tamanho da rota. Em resumo, os resultados ressaltam a importância de avaliar os *trade-offs* entre fidelidade fim-a-fim e número de recalculos de rota, bem como escolher a estratégia mais adequada para a criação de EPR, considerando o tamanho da rota específica em cada contexto.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do processo no 2020/04031-1.

### IV. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Nesse trabalho foi realizado a comparação entre 3 estratégias de roteamento em redes quânticas oportunísticas. Os resultados indicam que dependendo da configuração da rede uma estratégia ou outro pode ser mais adequada. Como trabalhos futuros, pretende-se testar estratégias mais robustas, que consideram o custo de cada operação, além de outras topologias de rede mais complexas e com maior número de nós.

### REFERÊNCIAS

- [1] A. Abelem, D. Towsley, and G. Vardoyan, "Quantum internet: The future of internetworking," *arXiv preprint arXiv:2305.00598*, 2023.
- [2] D. Abreu, A. Abelém, and C. Rothenberg, "Desafios e oportunidades de pesquisa para o roteamento em redes quânticas," in *Anais do II Workshop de Comunicação e Computação Quântica*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2022, pp. 37–42.
- [3] A. Farahbakhsh and C. Feng, "Opportunistic routing in quantum networks," in *IEEE INFOCOM 2022-IEEE Conference on Computer Communications*. IEEE, 2022, pp. 490–499.

# Comparing 5G SA Spectral Efficiency with Shannon Capacity

Matheus N. Nery, Barbara R. X. R. Faria, Jose M. de Souza F., Iran M. Braga Jr., Clerdomy Zidor  
 {matheus.nunes, barbara.faria, jose.miracy, iran.junior, clerdomy.zidor-e}@sidia.com  
 SIDIA Institute of Science and Technology  
 Manaus, Amazonas, Brazil

**Abstract**—This article intends to explore and understand the variables that affect the performance of a 5G terminal, comparing its spectral efficiency measurements obtained in laboratory with theoretical values. Moreover, this paper presents a more accurate method benchmark of systems based on the Shannon formulation, by optimizing the truncated form of the Shannon bound. Results show that the estimation error of truncated Shannon is extremely low compared to conventional Shannon.

**Index Terms**—5G, Shannon, Spectral efficiency

## I. INTRODUCTION

An ever-increasing demand for mobile data services requires a higher system capacity in terms of spectral efficiency, so that network operators must optimize this metric in order to provide better quality of service under risk of financial losses.

The theoretical capacity of a wireless communication system can be given by Shannon-Hartley theorem, which defines the maximum limit to the data rate that can be transmitted by a certain bandwidth [1]. Thus, we can measure the efficiency of a system by comparing the spectral efficiency obtained for it with that achieved by Shannon-Hartley theorem.

The authors in [2] compare the long term evolution (LTE) capacity with Shannon bound using link level simulation. Indeed, as far as we know this analysis was not performed for 5G systems. Therefore, in this paper will analyze the efficiency of 5G systems in terms of system capacity by comparing laboratory measurements with the conventional Shannon capacity. Also, we present an more accurate benchmark of systems based on the Shannon formulation, by optimizing the truncated form of the Shannon bound shown in [3]

The rest of this paper is organized as follows. Section II describes the measurement methodology employed for obtain the results, Section III contains the main simulation parameters and presents the results and, finally, Section IV shows the conclusions and suggestions for future research.

## II. MEASUREMENT METHODOLOGY

The theoretical performance of 5G is obtained by link-level simulation. Let  $\gamma_k$  be the SNR of the  $k$ th spatial sub-channel, the theoretical Shannon capacity formula for multi-antenna system can be express as a function of SNR as [1], [2]:

$$S = \min_{(N_T, N_R)} \sum_{k=1} \log_2(1 + \gamma_k), \quad (1)$$

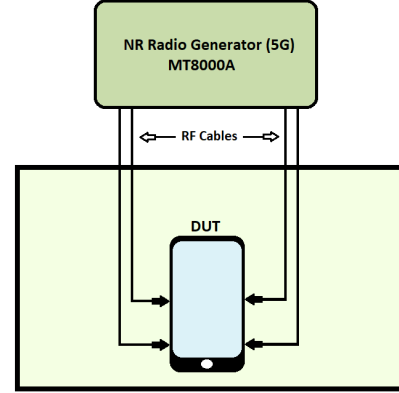


Fig. 1. Illustration of the laboratory environment.

where  $N_T$  and  $N_R$  are the number of antennas in transmitter and receiver, respectively. However, practical implementation imposes additional losses, which reduces the spectral efficiency compared to conventional Shannon capacity. Then, we also consider the truncated Shannon bound as follows [3]:

$$C = \begin{cases} 0, & \text{if } \gamma < \gamma_{\min} \\ \alpha S, & \text{if } \gamma_{\min} < \gamma < \gamma_{\max} \\ C_{\max}, & \text{if } \gamma_{\max} < \gamma \end{cases}, \quad (2)$$

where  $C$  is the spectral efficiency in bits/s/Hz,  $0 \leq \alpha \leq 1$  is the attenuation factor, representing implementation losses,  $C_{\max}$  is the maximum throughput that can be achieved, and  $\gamma_{\min}$  and  $\gamma_{\max}$  are the minimum and maximum SNR acceptable, respectively. To estimate  $C_{\max}$  we utilize the data rate formula from 3GPP specifications [4]. Moreover, to fit the laboratory measurement with Shannon formula, we optimize  $\alpha$  by solving the following problem

$$\underset{\alpha}{\text{minimize}} \sum_{n=1}^N |S_{\text{lab}}(\gamma_n) - \alpha S(\gamma_n)| \quad (3a)$$

$$\text{s.t. } 0 \leq \alpha \leq 1, \quad (3b)$$

where  $S_{\text{lab}}(\gamma_n)$  is the capacity obtained in the laboratory when the SNR is  $\gamma_n$ .

Regarding the laboratory environment, new Radio laboratory tests involve the use of signal generating instruments, antennas and anechoic chambers in conditions near to ideal. In



opposition to a real network, only one device under test (DUT) is submitted to testing. This way, we can allocate all resources of data traffic of the simulated network dedicated to this user. Specifically, The measurements are performed by making use of the following equipment's pieces:

- NR test station (Anritsu MT8000A): Test equipment used to simulate 5G cells, whose network architecture can be set as non-standalone (NSA) or as standalone (SA). In this paper we focus on SA architecture only.
- DUT: A 5G SA capable smartphone.
- Shield box (MA8161A): This box isolates the DUT from external signal interference and keeps a stable SNR value.
- Control PC: A Windows computer used to control the MT800A.

It is worth mentioning that the simulation in laboratory are performed through conducted experiments (i.e., using RF cables) over an additive white Gaussian noise (AWGN) channel. Also, the throughput for a given SNR is computed using the highest modulation and code scheme (MCS) in which where the block error rate (BLER) is less than a threshold. Fig. 1 sums up the laboratory environment used for measurements.

### III. EVALUATION

To evaluation we consider a 5G SA system composed of one gNB and one DUT. The main simulation parameters are described in Table I.

TABLE I  
SIMULATION PARAMETERS

Parameter	Value
Carrier frequency	NR: n78 (3.5 GHz)
Bandwidth	100 MHz
Subcarrier spacing	30 KHz
Modulation scheme	256 QAM
Antenna configuration	SISO, MIMO 2x2 and MIMO 4x4
Duplex Mode	TDD
$\gamma_{\min}, \gamma_{\max}$	-10, 30 dB

In Fig. 2 we present the throughput versus the SNR for different antennas configurations. As expected, the throughput increases as the SNR per layers and number of antennas increase. However, different from the conventional Shannon formula, note that the throughput does not strictly increase in relation to the SNR. The reason is that practical measurements obtained in laboratory are limited by the modulation order and code rate employed. Moreover, other factors such as the signalling overhead can reduce the performance in practical systems compared to the theoretical values.

On the other hand, assuming the optimized  $\alpha$  in (3), we observe that the truncated Shannon has very close performance compared to the laboratory results, where the optimal  $\alpha$  is equal to 0.7198, 0.6213 and 0.5502 for SISO, MIMO 2x2 and MIMO 4x4, respectively. Therefore, the truncated Shannon is an more accurate method to predict spectral efficiency in 5G systems. In fact, applying the truncated Shannon, the estimation error for SISO scenarios is approximately 15.71,

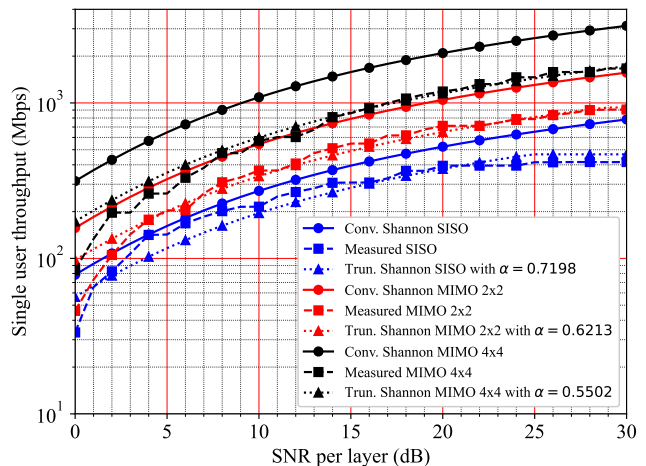


Fig. 2. Shannon capacity versus laboratory measurements.

TABLE II  
ESTIMATION ERROR GIVEN IN (3a).

Solution	SISO	MIMO 2x2	MIMO 4x4
Conv. Shannon	48.00	118.49	295.67
Trun. Shannon	15.71	10.88	18.32

as can be seen in Table II, this error is three times smaller than using the conventional Shannon. The gain is even greater for scenarios with multiple antennas, where the error is approximately sixteen times higher when conventional Shannon is applied in a 4x4 MIMO scenario.

### IV. CONCLUSION

In this paper we have compared the capacity of 5G systems obtained in laboratory with the theoretical values obtained by Shannon formula. Moreover, we have presented an optimized truncated Shannon in order to obtain a better fit between practical laboratory measurements and theoretical formulas. Based on results, the truncated Shannon can reduce the estimation error by up to sixteen times when compared to the conventional Shannon. As a perspective of this work, we can consider a more realist channel model.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was partially supported by Samsung Eletrônica da Amazônia Ltda., under the auspice of the informatic law no 8.387/91

### REFERENCES

- [1] C. E. Shannon, *Claude elwood shannon: Collected papers*. IEEE press, 1993.
- [2] P. Mogensen, W. Na, I. Z. Kovacs, F. Frederiksen, A. Pokhariyal, K. I. Pedersen, T. Kolding, K. Hugel, and M. Kuusela, "LTE capacity compared to the Shannon bound," in *2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference - VTC2007-Spring*, 2007, pp. 1234–1238.
- [3] 3GPP, "Radio frequency (RF) system scenarios," Third Generation Partnership Project, TS 36.942 v17.0.0 Release 17, apr 2022.
- [4] —, "User equipment (UE) radio access capabilities," Third Generation Partnership Project, TS 38.306 v17.5.0 Release 17, jun 2023.

# Controle de Equipamentos Eletrônicos Através de Comandos de Voz Utilizando Infravermelho

Junior, C. F. O, Sant’Anna, R.E,

**Resumo**— O conceito de Internet das Coisas (IoT) está cada vez mais comum no dia a dia. Dispositivos inteligentes que estão conectados entre si tornaram-se comuns em diversas residências. Esse trabalho se propõe a demonstrar o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo que possui integração com a *Amazon Alexa* a fim de poder controlar equipamentos eletrônicos utilizando comandos de voz e infravermelho.

**Palavras Chave**— Internet das Coisas; Alexa; ESP32; Infravermelho; Amazon Web Services (AWS)

## I. INTRODUÇÃO

O conceito de IoT tem o intuito de comunicar os equipamentos eletrônicos à internet, com o uso de sensores e outros equipamentos [1]. Essa conectividade entre dispositivos inteligentes permite a coleta, troca e análise de dados, tendo potencial para melhoria da produtividade, mobilidade e qualidade de vida. [2].

No entanto, nem todos os dispositivos eletrônicos atuais possuem integração com assistentes de voz e eventualmente é necessário buscar algum equipamento específico apenas por apresentar a integração que o usuário precisa.

Este trabalho se propõe a criar um dispositivo que consiga se comunicar com a assistente de voz *Amazon Alexa* e consiga controlar dispositivos que não possuem integração direta com ela utilizando comando em infravermelho.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### A. Amazon Alexa

A *Alexa* é o serviço de voz baseado em nuvem da Amazon e com ela é possível criar experiências de voz naturais que oferecem aos clientes uma maneira mais intuitiva de interagir com a tecnologia que eles usam todos os dias [3].

A *Alexa* pode ser utilizada para controlar equipamentos eletrônicos através de comando de voz, porém é necessário que o produto possua integração com esse serviço.

### B. NodeJS

Uma forma muito comum de utilizar uma *skill* da *Alexa* é fazê-la se comunicar com um servidor. Desta forma é possível extrair a intenção e os dados mais importantes do comando de voz dado pelo usuário e fazer uma requisição para um servidor.

De forma a criar esse servidor para processar os dados do comando de voz e se repassar para o dispositivo, foi utilizado um servidor criado em NodeJS. Esta escolha deveu-se por ser uma plataforma para criação de servidores rápidos e escaláveis, buscando manter um consumo reduzido de recursos computacionais, principalmente no que diz respeito à memória.

### C. Amazon Web Services

A *Amazon Web Services* (AWS), é um conjunto de serviços de computação em nuvem vendido pela Amazon.com. Atualmente é a plataforma de nuvem mais usada em toda a rede mundial de computadores, oferecendo dezenas de serviços com finalidades diversas.

O código que é acionado pela *skill* é chamado de AWS Lambda. O AWS Lambda é um serviço de computação sem servidor e orientado a eventos que permite executar código para praticamente qualquer tipo de aplicação ou serviço de *backend* sem provisionar ou gerenciar servidores.

### D. ESP32

O ESP32 é um *System On a Chip* (SoC) fabricado pela empresa Espressif, que possui um custo baixo e tem como um grande diferencial a capacidade de conexão WiFi e bluetooth. Para elaboração desse projeto foi utilizado a plataforma NodeMCU ESP-WROOM 32, que permite ao usuário desenvolver protótipos de produtos IoT rapidamente e tem compatibilidade com o Ambiente de Desenvolvimento Integrado Arduino.

### E. MQTT

MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de mensagens extremamente simples e leve de publicação/assinatura, projetado para dispositivos restritos e redes de baixa largura de banda, alta latência ou que não sejam confiáveis em segurança.

## III. IMPLEMENTAÇÃO

### A. Arquitetura do Sistema

A arquitetura escolhida para o sistema proposto (Fig. 1) passa por diversas etapas, começando com o comando de voz dado pelo usuário à *Alexa*. Ao receber esse comando a *skill* consegue processar o que foi dito e entender qual a intenção do discurso do usuário e acionará uma AWS Lambda que fará uma requisição para o servidor de acordo com a intenção. O servidor processará a requisição e então publicará uma mensagem no Broker MQTT que será ouvida pela ESP32 que executará o acionará o emissor ou receptor infravermelho de acordo com o pedido do usuário. Para este trabalho, ao se

iniciar a skill na *Alexa* com um comando de voz, o usuário tem três opções de intenções para utilizar:

- Criar um comando
- Dar um comando
- Deletar um comando

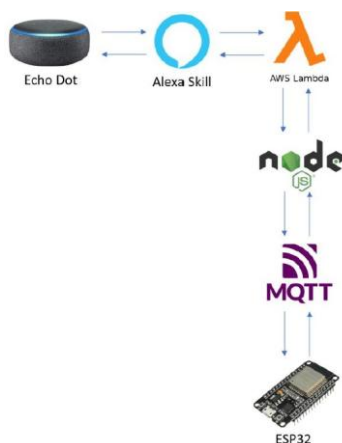


Fig. 1. Arquitetura do Sistema

### B. Hardware do sistema

O *hardware* é baseado no ESP32 e possui um receptor infravermelho para clonar comandos (TSOP4838), um led para indicar quando o ESP32 está em modo de clonagem, um emissor infravermelho para controlar os dispositivos eletrônicos, um transistor para amplificação do sinal do emissor e alguns resistores de polarização.

## IV. VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO

Para a validação do sistema é necessário que o usuário seja capaz de, através de um comando de voz, poder executar, clonar ou deletar um comando infravermelho de um equipamento. Para verificação da funcionalidade do sistema, foi separada cada etapa de forma unitária para ser testado e somente depois foi testado o sistema totalmente integrado de uma forma completa.

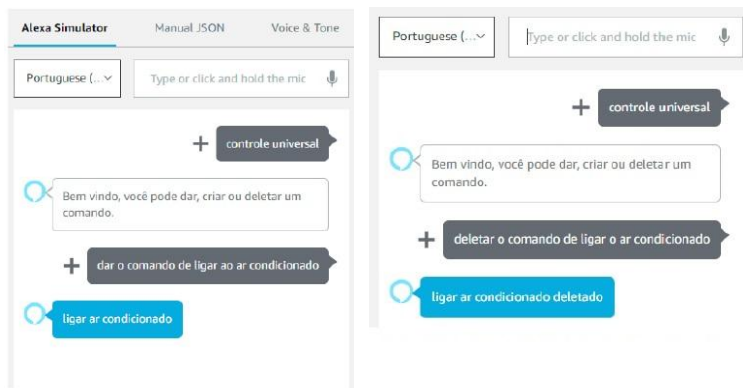
Primeiramente o hardware foi testado para conseguir clonar e realizar um comando infravermelho. Posteriormente foi acrescentado a conexão a rede e a comunicação com o protocolo MQTT.

Com o hardware validado, foi iniciado o desenvolvimento do servidor que teria de ser capaz de receber uma requisição HTTP e então realizar uma operação de busca, inserção ou deleção no banco de dados. O servidor também foi validado para identificar alguns erros que podem acontecer como tentar acessar um comando que não existe ou criar um comando repetido.

Posteriormente foi feita a validação da *skill* da *Alexa* que deve ser capaz de extrair a intenção do comando de voz do usuário e realizar a requisição para o servidor com o comando e o equipamento que ele deseja controlar.

## V. RESULTADOS

O usuário, após invocar a *skill* através da frase “controle universal”, é capaz de criar, executar ou apagar um comando de acordo com a intenção que se tem no comando de voz. As figuras 2, 3 e 4 mostram respectivamente os diálogos de Criação, Execução e Deleção de um comando:



Figs. 2 e 3. . Diálogos de Execução e Criação de Comando

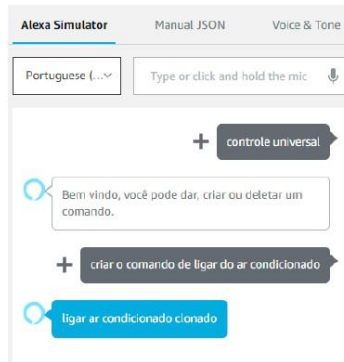


Fig 4. Diálogo de Deletar Comando

## VI. CONCLUSÕES

O desenvolvimento do projeto demonstra como é possível fazer uma integração da assistente de voz *Alexa* com um servidor e um dispositivo que tem a capacidade de controlar qualquer equipamento que receba comando infravermelho, transformando produtos que antes não tinham capacidade de integração com a *Alexa* a produtos inteligentes acionados por voz. Além disso, o dispositivo ainda deixa espaço para mais customizações do circuito como utilizar outros atuadores para controle de relés, bombas ou motores.

### REFERÊNCIAS

- [1] Mouha, R. A. Internet of Things (IoT). In Journal of Data Analysis and Information Processing, 2021, 9, 77-101, ISSN Online: 2327-7203, ISSN Print: 2327-7211
- [2] Rebouças, T. K. M. (2019). A Internet das Coisas como Instrumento para a Qualidade de Vida de Pessoas com Necessidades Especiais: Um Mapeamento Sistemático da Literatura. Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49470/1/2019\\_tcc\\_tkmreboucas.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49470/1/2019_tcc_tkmreboucas.pdf)> Acesso em: 25 de maio de 2023.
- [3] AMAZON ALEXA. O que é Alexa?. Disponível em: <<https://developer.amazon.com/pt-BR/alexa>>. Acesso em: 28 de abril de 2023.

# Desempenho de Códigos Polares em Canal com Desvanecimento Rayleigh

Sharon Raphaella O. S. de Sousa e Waslon Terllizzie A. Lopes

**Resumo**—Os códigos polares são baseados na técnica de polarização de canal, proposto por Arikan em 2009 para correção de erros. Este artigo apresenta uma análise de desempenho de códigos polares para comunicações da quinta geração (5G) e os resultados considerando o canal de desvanecimento Rayleigh e com ruído aditivo gaussiano branco. Os códigos polares fazem parte do canal de controle dos sistemas 5G.

**Index Terms**—Comunicações 5G, Canal sem Fio, Códigos Polares.

## I. INTRODUÇÃO

A tecnologia de comunicações móveis de quinta geração (5G) oferece grandes avanços para o sistema de telecomunicações. A quinta geração possibilita um maior número de dispositivos conectados simultaneamente, aumento na transferência de dados e na quantidade de bytes transmitidos, esta nova tecnologia usa o sistema com múltiplas entradas e múltiplas saídas (MIMO – *Multiple Input Multiple Output*), permitindo uma entrega de taxa de transmissão mais alta, redes maiores e computadores com o uso do 5G. A tecnologia da quinta geração é totalmente baseada em Protocolo IP, projetada para redes sem fio e móveis [1].

De acordo com a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) em dezembro de 2021 registrou-se no Brasil cerca de 254,7 milhões de acessos de telefonia móvel um crescimento cerca de 8,8% comparado com os 234 milhões ao final de 2020. Atualmente, o Brasil obteve cerca de 258,3 milhões de acessos de Telefonia Móvel em março de 2022.

A quinta geração é agrupada em três importantes características: banda larga móvel melhorada (eMBB – *enhanced Mobile BroadBand*), comunicação massiva entre máquinas (mMTC – *massive Machine Type Communication*) e comunicação com baixa latência ultra-confiável (URLLC – *Ultra Reliable Low Latency Communications*) [2]. A eMBB é caracterizada por conexões estáveis com taxas de dados de pico muito altas, bem como taxas moderadas para usuários de borda celular. O sistema mMTC suporta um grande número de dispositivos da Internet das Coisas (IoT), que são ativados apenas esporadicamente e enviam pequenas pacotes de dados e o URLLC por suportar transmissões de baixa latência de pequenos pacotes com confiabilidade muito alta a partir de um conjunto limitado de terminais, que são ativados de acordo com padrões normalmente especificados por eventos externos [2].

Sharon Raphaella O. S. de Sousa e Waslon Terllizzie A. Lopes, Departamento de Engenharia Elétrica, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, Brasil, E-mails: sharon.sousa@cear.ufpb.br e waslon@cear.ufpb.br.

Os códigos de correção de erros desempenham um papel importante em muitos sistemas de comunicação [3]. Dentre estes, os códigos polares estão sendo amplamente estudados devido às suas aplicações nos sistemas de comunicação móvel 5G [4]. Neste artigo é abordado o uso de código polares para aprimorar o desempenho das transmissões sobre o canal de desvanecimento Rayleigh e com ruído aditivo gaussiano branco (AWGN – *Additive White Gaussian Noise*).

Além desta introdução, este artigo encontra-se organizado da seguinte forma: Na Seção II são apresentados os códigos polares. O modelo do sistema de comunicações simulado é discutido na Seção III. Os resultados são apresentados na Seção IV. Por fim, a Seção V contém a conclusão deste trabalho.

## II. CÓDIGOS POLARES

Os códigos polares são baseados na técnica conhecida como polarização de canais. O método que foi proposto por Arikan em 2009 [5], refere-se a polarização de canal do qual a partir de  $N$  cópias independentes de um canal binário discreto sem memória,  $W$ . O canal vetorial,  $W_N^{(i)} : 1 \leq i \leq N$ , é formado usando  $N$  vezes o canal  $W$ . À medida que  $N$  aumenta, a fração de índices  $i$  correspondem a canais com capacidade próxima a 1, ou seja, canais livres de erros. Outra fração de canais terá capacidade próxima a 0 e serão usados para transmitir os bits congelados (*frozen bits*) [5].

Considerando a área de Teoria da Informação, a capacidade de um canal é a máxima taxa em que a informação pode ser transmitida por um canal de comunicações para uma dada largura de banda levando-se em consideração a presença de ruído. Isto foi provado por C. E. Shannon em seu trabalho de 1948 [6].

Um código polar  $(N, K)$  com  $N$  bits codificados e  $K$  bits de informação pode ser construído a partir de uma matriz  $F^{\otimes n}$  de ordem  $N \times N$  dada por [7]

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

em que  $[\cdot]^{\otimes n}$  denota a  $n$ -ésima potência de Kronecker [8]. Por exemplo,

$$F^{\otimes 2} = \begin{bmatrix} F & \mathbf{0} \\ F & F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Seja  $\mathbf{u} = [u_1, u_2, \dots, u_N]^T$  a sequência de bits composta por  $K$  bits de informação e  $N - K$  bits de redundância,

conhecido como bits congelados (*frozen bits*). Então, os bits codificados  $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_N]^T$  são dados por

$$\mathbf{x} = F^{\otimes \log_2 N} \mathbf{u} \quad (3)$$

e  $\mathbf{y} = [y_1, y_2, \dots, y_N]^T$  representa o vetor de saídas do decodificador com cancelamento sucessivo de interferência.

### III. MODELO DO SISTEMA

No modelo do sistema de comunicações usado neste trabalho, a representação para o sinal recebido em um intervalo de símbolo será

$$r = \alpha \cdot s + n, \quad (4)$$

em que,  $r$  representa o sinal recebido,  $\alpha$  a constante de desvanecimento,  $s$  o sinal transmitido e  $n$  o ruído gaussiano aditivo.

A distribuição Rayleigh é usada para descrever a natureza estatística variável no tempo da envoltória de um sinal com desvanecimento, ou a envoltória de um componente de multi-percurso individual. A sua função densidade de probabilidade é dada por

$$p(r) = \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}, \quad r > 0, \quad (5)$$

em que,  $\sigma$  representa o valor eficaz do sinal recebido.

### IV. RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados das simulações obtidos com programas em linguagem C/C++ e o desempenho sendo avaliado por meio da taxa de erro de bit do sistema para várias taxas de codificação.

Considerando a decodificação com cancelamento sucessivo [3], são apresentados nas Figuras 1 e 2 as curvas do desempenho dos códigos polares para taxa  $R = K/N = 0,5$  em termos de taxa de erro de bit (BER – *Bit Error Rate*) em função da SNR por bit ( $E_b/N_0$ ), considerando o canal AWGN e o desvanecimento Rayleigh.

Considerando os três casos com canal AWGN, o resultado para o  $E_b/N_0$  igual a 3 dB, da taxa de erro de bit para  $N = 512$  será de  $1,58 \cdot 10^{-3}$ ,  $N = 1024$  de  $6,91 \cdot 10^{-4}$  e para  $N = 2048$  igual  $2,79 \cdot 10^{-4}$ .

Para os três casos com desvanecimento Rayleigh a taxa de erro de bit é aumentada em todos os casos em comparação aos casos com canal AWGN.

### V. CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou uma análise, feita por meio de simulações, do desempenho de códigos polares no contexto de transmissão através de canais com ruído AWGN e desvanecimento Rayleigh. Observa-se que o desvanecimento prejudica o desempenho do sistema e que o aumento do tamanho do código não melhora significativamente o desempenho do sistema na faixa de SNR analisada. Para melhorar o desempenho do sistema, neste caso, requer um aumento da potência transmitida.

Como trabalhos futuros, os autores pretendem estudar o desempenho dos códigos polares em canais com desvanecimento generalizado.

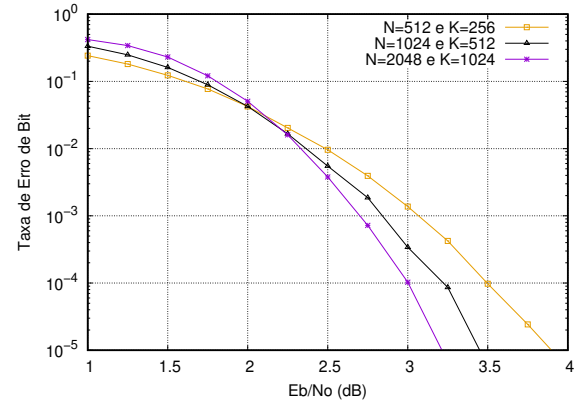


Figura 1. Probabilidade de erro de bit da codificação polar considerando o canal AWGN com  $R = 0,5$  e decodificação por cancelamento sucessivo.

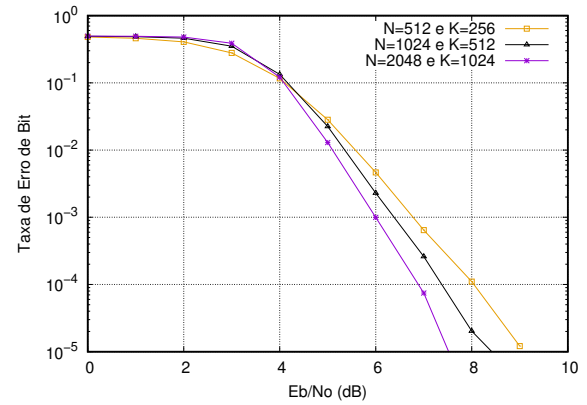


Figura 2. Probabilidade de erro de bit da codificação polar considerando o desvanecimento Rayleigh com  $R = 0,5$  e decodificação por cancelamento sucessivo.

### REFERÊNCIAS

- [1] B. Gangadhar and K. Chandra Sekhar, "Research challenges in 5G communication technology: Study," *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, pp. 1035–1037, 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532104935X>
- [2] P. Popovski, K. F. Trillingsgaard, O. Simeone, and G. Durisi, "5G wireless network slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A communication-theoretic view," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 55 765–55 779, 2018.
- [3] W. T. A. Lopes, Y. Xue, and E. S. Sousa, "Performance of modulation diversity with polar encoding in Rayleigh fading channel," in *Proceedings of The 16th ACM International Symposium on Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks (PE-WASUN'2019)*, Miami Beach, FL, USA, November 2019, pp. 51–55.
- [4] F. C. P. Barros, F. C. M. Oliveira, M. L. M. G. Alcoforado, and W. T. A. Lopes, "Performance of polar codes over generalized fading channels," *Journal of Communication and Information Systems*, vol. 37, no. 1, pp. 1–9, February 2022.
- [5] E. Arikan, "Channel polarization: A method for constructing capacity-achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 55, no. 7, pp. 3051–3073, 2009.
- [6] C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication," *Bell System Technical Journal*, vol. 27, no. 3, pp. 379–423 and 623–635, July 1948.
- [7] S. Shao, P. Hailles, T. Wang, J. Wu, R. G. Maunder, B. M. Al-Hashimi, and L. Hanzo, "Survey of turbo, LDPC, and polar decoder ASIC implementations," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2309–2333, 2019.
- [8] H. Liang, A. Liu, X. Liu, and F. Cheng, "Construction and optimization for adaptive polar coded cooperation," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 9, no. 8, pp. 1187–1190, 2020.



# Desenvolvimento de uma Ferramenta Web para Monitoramento Ambiental de Raios no Município de Marabá

Elton R. Alves  
Faculdade de Engenharia  
da Computação  
Universidade Federal  
do Sul e Sudeste do Pará  
(UNIFESSPA)

Andre Araújo  
Faculdade de Sistemas  
de Informação  
Universidade Federal  
do Sul e Sudeste do Pará  
(UNIFESSPA)

Warley Junior  
Faculdade de Sistemas  
de Informação  
Universidade Federal  
do Sul e Sudeste do Pará  
(UNIFESSPA)

Andson Balieiro  
Centro de Informática  
Universidade Federal  
de Pernambuco.  
(CIN-UFPE)

**Abstract**—Raios podem impactar negativamente diversos setores da sociedade, como a aviação, perdas de vidas humanas e de gados em áreas rurais. Dessa forma, torna-se importante o monitoramento da ocorrência de raios para mitigar os impactos negativos de sua incidência. O Campus II da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA) dispõe de um sensor da ENTLN (*Earth Networks Total Lightning Network*) instalado que permite detectar a ocorrência de raios nuvem-solo e intra-nuvem no município de Marabá. Porém, não é possível uma quantificação histórica e nem localização geográfica (latitude e longitude), automaticamente, da ocorrência de raios na região. Assim, este trabalho visa apresentar uma ferramenta Web que permite o monitoramento ambiental da ocorrência de raios nuvem-solo e intra-nuvem na cidade de Marabá, a partir dos dados obtidos da rede da ENTLN.

## I. INTRODUÇÃO

A descarga atmosférica ou raio é um fenômeno natural de origem complexa que se caracteriza por um fluxo de corrente impulsiva de alta intensidade e curta duração, que percorre distâncias de alguns quilômetros em canal ionizado na atmosfera terrestre [1]. Ela pode ser do tipo nuvem-ionosfera (NI), intra-nuvem (IN), nuvem-nuvem (NN) e nuvem-solo (NS) [2].

A ocorrência de raios, principalmente, nuvem-solo trazem consigo inúmeras consequências negativas à sociedade. Em [3] é apresentado uma ocorrência de 119 mortes e 118 acidentes de seres humanos, ocasionados por raios na região amazônica entre 2009 e 2019. A ocorrência de raios também afeta setores agropecuários através de perdas financeiras ocasionadas pela morte de gado [4].

Sistemas de monitoramento de raios são utilizados para observar, coletar e analisar atividades de raios. Neste caso, sensores são utilizados para prever o local e a intensidade de ocorrência do raio [5]. A detecção de raios é fundamental para apontamentos de áreas de risco e consequentemente o desenvolvimento de planos de segurança mais avançados para prevenção e proteção dos riscos associados aos raios.

A ENTLN é uma rede de sensores da empresa *Earth Networks* que mede o tempo de ocorrência do raio, localização,

tipo (IN e NS), polaridade e corrente de pico. Os sensores medem o campo elétrico para detectar sinais de pulsos de IN e NS com elevada eficiência. Os pulsos são agrupados em flash se estiverem dentro de 0,7 s e 10 km do outro [6].

Uma ferramenta tecnológica de monitoramento de raios em Marabá pode permitir pesquisas relacionadas ao aumento de raios em áreas urbanas e rurais e sistemas de alertas de raios. Assim, o intuito da ferramenta será de auxiliar em medidas protetivas contra a ocorrência de raios em Marabá.

Assim, este trabalho visa apresentar o desenvolvimento de uma ferramenta Web que permite o monitoramento e análise de informações de ocorrência de raios IN e NS em Marabá, a partir dos dados da rede ENTLN. A ferramenta tem como contribuição principal permitir a localização exata da ocorrência de raios (IN e NS) em Marabá e suas quantificações através de diversas filtragens.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com a Figura 1, a arquitetura dessa solução consiste em duas camadas.

- Back-end é composto por um banco de dados histórico criado a partir de dados exportados da ferramenta *Earth Networks – Sferic Maps* da rede ENTLN, conforme a demanda do pesquisador.

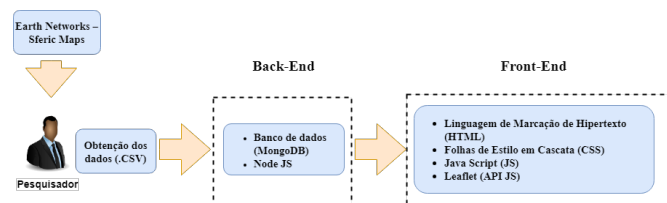


Fig. 1. Arquitetura da ferramenta desenvolvida.

- Front-end possui interface composta por um mapa geográfico e campos de filtragem para mês, tipo de raio, e período de início e fim da ocorrência dos raios.



Fig. 2. Interface web do sistema de monitoramento ambiental de dados de raios passados.

A partir dessa perspectiva, a integração entre back-end (camada de persistência) e front-end (camada de visualização), é feita junto com Node JS que é um ambiente de linguagem JavaScript, onde é possível fazer-se as requisições para o banco de dados que posteriormente é acionado pela API Lesflet da biblioteca JavaScript, que é responsável por mostrar o mapa com os pontos de localidade dos raios.

Um sensor da rede ENTLN está instalado no Campus II da UNIFESSPA. Este sensor é proveniente de um acordo de cooperação técnica entre a UNIFESSPA e a empresa SIMTECH REPRESENTAÇÕES LTDA, representante no Brasil da *Earth Networks*.

### III. RESULTADOS

A Figura 2 ilustra a interface web desenvolvida com os resultados obtidos através de uma consulta ao banco de dados mongoDB. A interface consiste de um filtro para seleção do mês, tipo de raio (IN ou NS), data de início e fim do monitoramento de raios. Além disso, após a realização da consulta, retorna-se o quantitativo de raios obtidos, além da exibição da latitude e longitude de cada raio da região. A Figura 2 está exibindo apenas o quantitativo máximo de pontos no mapa que consiste no total de dados de raios (IN e NS) armazenados no banco de dados.

O usuário poderá realizar filtragem que envolvam, desde somente o tipo de raio (IN ou NS); somente por uma quantidade específica de raio; tipo de raio por uma quantidade específica; mês específico; mês específico limitado à uma certa quantidade de raios; mês específico limitado pelo tipo do raio. Também é possível a realização de filtragem mais complexas, como através de um certo período de dias; mês específico limitado pelo tipo e por quantidade de raios. Por fim, pode-se fazer algo mais genérico, como filtrar os pontos de localidade disponíveis de todos os meses.

### IV. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma ferramenta Web para monitoramento de raios na cidade de Marabá. O desenvolvimento consistiu em duas partes principais: back-end, através da integração dos dados obtidos com o banco de dados e front-end para comunicação com o usuário.

Os resultados iniciais mostram que a ferramenta é extremamente promissora para monitoramento de raios em Marabá, pois é possível quantificar e espacializar a ocorrência de raios na região.

A ferramenta inicialmente permite somente uma filtragem dos dados através de data. Entretanto, pretende-se inserir novas funcionalidades, como filtragem através da hora e gráficos para realização de análises estatísticas.

### AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a *Earth Networks* pelos dados fornecidos.

### REFERÊNCIAS

- [1] V. A. Rakov and M. A. Uman, *Lightning: physics and effects*. Cambridge university press, 2003.
- [2] M. Akinyemi, A. Boyo, M. Emeter, M. Usikal, and F. Olawole, "Lightning a fundamental of atmospheric electricity," *IERI Procedia*, vol. 9, pp. 47–52, 2014.
- [3] E. R. Ferreira, A. F. Leal, W. L. Matos, G. O. Almeida, R. Shinkai, and M. N. Lopes, "Lightning deaths and injuries in the brazilian amazon region in the period of 2009-2019," in *2019 International Symposium on Lightning Protection (XV SIPDA)*. IEEE, 2019, pp. 1–8.
- [4] W. L. Matos, A. F. Leal, E. R. Ferreira, G. O. Almeida, R. Shinkai, and M. N. Lopes, "Lightning fatalities in the livestock industry in the brazilian amazon region (2012-2019)," in *2019 International Symposium on Lightning Protection (XV SIPDA)*. IEEE, 2019, pp. 1–6.
- [5] M. A. B. Sidik, H. B. Shahroom, Z. Salam, Z. Buntat, Z. Nawawi, H. Ahmad, Y. Z. Arief *et al.*, "Lightning monitoring system for sustainable energy supply: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 48, pp. 710–725, 2015.
- [6] E. DiGangi, J. Lapierre, M. Stock, M. Hoekzema, and B. Cunha, "Analyzing lightning characteristics in central and southern south america," *Electric Power Systems Research*, vol. 213, p. 108704, 2022.

# Desenvolvimento de um Localizador de Veias de Baixo Custo para a População Amazônica

R.V.L. Rosário, I.C. Leão, L.R.S. Borges D.A. Gomes, D.S. Lima, V.A.A. Filho.

**Resumo** - *Encontrar veias para administração de medicamentos injetáveis é difícil, principalmente em pacientes idosos, crianças pequenas, obesos e de pele escura. Durante o procedimento, isso pode causar desconforto e hematomas. O localizador eletrônico de veias é apresentado como uma solução não invasiva que utiliza processamento digital de imagens para melhorar a visualização das veias. O trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de baixo custo desse dispositivo, usando Raspberry Pi 3 e Python, para facilitar a localização de veias em pessoas com tom de pele escuros, especialmente na região amazônica.*

**Palavras-chave:** *Processamento digital de imagens eletrônico, localizador de veias.*

## I. INTRODUÇÃO

Durante um procedimento de punção venosa, que consiste na introdução de agulha em uma veia para aplicação de medicamentos ou coleta sanguínea para testes laboratoriais ou doações de sangue, muitas pessoas acabam passando por algum incômodo, como por exemplo, a repetição do procedimento devido à dificuldade do profissional em localizar a veia do paciente. Para dar suporte a essa tarefa, existe um equipamento que possibilita a visualização destas veias, auxiliando os profissionais de saúde a realizarem um procedimento eficiente em variados pacientes que possam apresentar condições físicas distintas. Este equipamento é conhecido como venoscópio ou localizador de veias, que é um equipamento que usa um método não invasivo para auxiliar na visualização das veias, e realização do procedimento de flebotomia [1]. Pessoas com idade avançada, crianças pequenas, pessoas obesas, e pessoas com tom de pele escura são as que mais podem se beneficiar da utilização deste dispositivo, haja vista que os venoscópios encontrados no mercado não tem o seu melhor desempenho nesses tipos de pele. Especialmente na região amazônica, em que a população possui descendência de ribeirinhos, indígenas e quilombola, a utilização do venoscópio pode trazer menos transtornos ao procedimento de punção venosa.

Apesar das vantagens que este equipamento traz para os profissionais da saúde e, principalmente, para os pacientes que têm dificuldade em ter suas veias localizadas, os venoscópios não são encontrados facilmente encontrados em postos de saúde, laboratórios, clínicas, hospitais, ou até mesmo em locais que realizam coleta de sangue para doações. Um ponto que dificulta a aquisição deste equipamento para estes locais é seu preço elevado, como o Accuvein AV400 custando 40 mil reais, o VeinNavi Navi-60 no valor de 26 mil reais. Nesse contexto, este trabalho apresenta um protótipo de localizador eletrônico de veias, desenvolvido sobre uma plataforma do tipo Raspberry pi 3, ao qual foi acoplada uma câmera com sensores na região do infravermelho, e com processamento orquestrado por um código em linguagem de programação <sup>1</sup>Python. Este protótipo é parte de um projeto que visa desenvolver um venoscópio adequado a peles mais escuras, observadas em geral

na população amazônica.

## II. OBJETIVOS

O objetivo principal deste projeto é desenvolver um fleboscópio de baixo custo, que seja mais acessível a rede pública de saúde, e que será futuramente ajustado para a localização de veias em peles com tom escuro, dando assim suporte aos profissionais da área para a realização do procedimento de punção venosa na região amazônica.

Além disso, pelo escopo do projeto adotar uma perspectiva multi e transdisciplinar, traz consigo um objetivo secundário, que é o de fazer com que os alunos adquiram habilidades transversais à área do curso de Engenharia Elétrica, aprimorando e tornando mais rico o seu desenvolvimento acadêmico.

## III. METODOLOGIA

### A. Sistema de Aquisição de Imagem

Foi utilizado um conjunto de leds de 850 nm, uma câmera capaz de captar imagens em infravermelho (IR), uma plataforma Raspberry Pi 3, acoplados a um circuito.

Em termos de comprimento de onda, a região do infravermelho que mais se aproxima da visibilidade é o infravermelho-próximo (NIR), tendo como característica seu comprimento de onda entre 800 nm e 2400 nm. A opção de utilizar um conjunto de LEDs NIR com comprimento de onda de 850 nm se justifica pela possibilidade de penetração necessária de luz de aproximadamente 3 mm de profundidade, sendo o suficiente para alcançar as veias [1].

O módulo da câmera com LEDs IR acoplados devem ser posicionados a uma distância que possibilite o foco para melhor visualização do local onde será realizado o procedimento. A emissão do IR penetra cerca de 3 mm do tecido corporal e, através da interação com a desoxihemoglobina (Hb), torna-se possível identificar as veias com a câmera, tendo em vista que o sangue venoso é pobre em O<sub>2</sub>, assim possibilitando uma maior capacidade de absorção de radiação infravermelho, tornando visíveis as veias que não eram vistas a “olho nu” [2]. Através do microcontrolador é realizado o processamento da imagem obtida e, em seguida, é projetada ao local da aplicação, como ilustrado na Fig. 1.

<sup>1</sup> Ruan V. L. Rosário, Igor C. Leão, Logan R. S. Borges, Diego A. Gomes, Diorge S. Lima, Valdez A. A. Filho, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá-PA, Brasil, E-mails: ruan.lima, igor.leao, loganruan54321, diagomes, diorgelima, valdez.filho@unifesspa.edu.br.

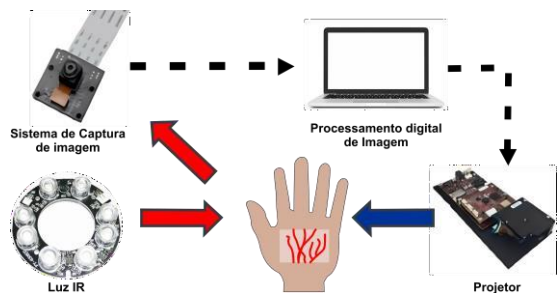


Figura 1- Etapas da aquisição de uma imagem de veia.

### B. Implementação do sistema de processamento de imagem

Na Fig. 2 é ilustrado o fluxograma da etapa de processamento da imagem, que se destina a enfatizar o contorno das veias, mesmo em peles com tom escuro. O primeiro passo é converter a imagem colorida para tons de cinza. Em seguida, é aplicada uma filtragem de mediana, a fim de remover os pelos da imagem. A etapa mais importante, e que possibilita o realce das veias em peles escuras, é a de ajuste de contraste, em que foi utilizado o algoritmo CLAHE (*Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization*), algoritmo responsável pelo aprimoramento do contraste da imagem adquirida. Ele utiliza um parâmetro conhecido como “Clip limit”, que deve ser ajustado durante a pesquisa [3], mas nessa etapa da pesquisa os valores foram definidos de forma arbitrária, precisando ainda de uma melhor otimização. Os códigos utilizados nesse protótipo foram desenvolvidos com a linguagem de programação Python, e com o suporte das bibliotecas OpenCV, NumPy, Skimage e Matplotlib.

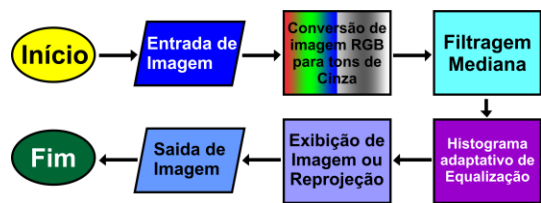


Figura 2 - Fluxograma para tratamento de imagem.

## IV. ANÁLISE E RESULTADOS

A Fig. 3 ilustra a primeira versão do protótipo do dispositivo em sua fase teste, utilizando uma câmera sensível ao infravermelho e conectada em suas extremidades LEDs de 850 nm, acoplado através de um cabo flat ao microcontrolador.



Figura 3 – Protótipo do venoscópio.

A Fig. 4 exibe algumas capturas de imagens, antes e após o processamento. As duas imagens da esquerda (Fig. 4 – a e c) se referem as imagens tomadas de uma pessoa com pele escura, em que as imagens originais são as de cima, e processada as de baixo. Já as duas da direita (Fig. 4 – b e d) referem-se a aquisições feitas com uma pessoa de pele clara. É possível perceber que as imagens originais (tomadas com o sensor infravermelho) já apresentam um pouco do contorno das veias. Porém, quando comparamos essas imagens com as realçadas com o algoritmo CLAHE, observa-se que há um ganho de

visibilidade das veias, devido ao aprimoramento do contraste, principalmente quando se considera o caso da pessoa com pele mais escura.

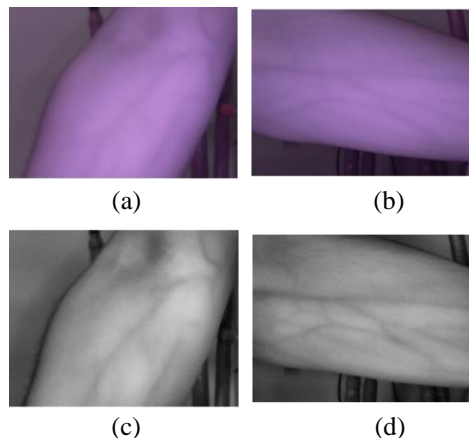


Figura 4 – Imagem venosa obtidas na região do antebraço.

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou o protótipo de um venoscópio de baixo custo, ajustado para a visualização de veias em pessoas com pele escura, a fim de dar suporte a realização de procedimento de punção venosa em unidades de saúde. Os resultados preliminares demonstram o potencial do dispositivo para realçar as veias na região do antebraço em pessoas com tons de pele escura, predominantemente encontradas na região amazônica. Os próximos passos do projeto envolvem uma campanha para a criação de um banco de dados de imagens de antebraço de pessoas da região amazônica, a fim de gerar dados para o treinamento de algoritmos de inteligência artificial para a segmentação de veias.

## REFERÊNCIAS

[1] M.D. Francisco et al. Competitive Real-Time Near Infrared (NIR) Vein Finder Imaging Device to Improve Peripheral Subcutaneous Vein Selection in Venipuncture for Clinical Laboratory Testing. MDPI, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-666X/12/4/373>. Acesso em: 20 ago. 2022.

[2] L.T. Tran; H.T. Pham., Designing and Building the Vein Finder System Utilizing Near-Infrared Technique. Research Gate, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/333647535\\_Designing\\_and\\_Building\\_the\\_Vein\\_Finder\\_System\\_Utilizing\\_Near-Infrared\\_Technique](https://www.researchgate.net/publication/333647535_Designing_and_Building_the_Vein_Finder_System_Utilizing_Near-Infrared_Technique) Acesso em: 20 ago. 2022.

[3] ABD Rahman et al. Near Infrared Illumination Optimization for Vein Detection: Hardware and Software Approaches. MDPI, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/21/11173>. Acesso em: 05 set. 2023.

# Detecção de Ataques DDoS com Base em Métricas de Tráfego Usando Viola-Jones

Antonio A. Freitas Junior, Agostinho de M. Brito Junior, Luiz F. Q. Silveira

**Resumo**—Propõe o uso do algoritmo Viola-Jones, amplamente utilizado para a detecção de objetos em imagens, para detectar ataques de Negação de Serviço Distribuído (DDoS). A solução consiste na criação de imagens que a partir de descritores do fluxo de dados na rede e treinar algoritmo escolhido para aprender a distinguir tráfego normal de tráfego malicioso. A baixa latência no reconhecimento de padrões normalmente agregada ao algoritmo de Viola-Jones será um diferencial na área, principalmente para aplicação em dispositivos embarcados destinados à detecção de ataques DDoS.

**Index Terms**—Viola-Jones, Ataques de Negação de Serviço, Métricas de Tráfego.

## I. INTRODUÇÃO

Os ataques de negação de serviço distribuído (DDoS) envolvem a utilização de vários dispositivos, normalmente infectados por malware, com o objetivo de sobrecarregar um servidor ou sistema de rede através de um fluxo excessivo de tráfego, resultando na indisponibilidade dos serviços online para usuários legítimos. A interrupção dos serviços pode resultar em perdas financeiras substanciais, danos à reputação e impactos negativos nas operações comerciais [1].

O desenvolvimento de técnicas e ferramentas eficazes para detectar e prevenir ataques DDoS é uma busca constante no mercado. No entanto, a sofisticação dos ataques está aumentando, tornando a detecção precoce uma tarefa desafiadora. As técnicas recentes de detecção de ataques DDoS têm como foco a análise de dados de tráfego em tempo real. Contudo, a detecção torna-se complicada devido ao volume de dados envolvidos e à complexidade dos padrões de tráfego. Nesta conjuntura, técnicas de aprendizagem de máquina têm sido largamente estudadas e empregadas para a detecção de DDoS, como as que fazem uso dos algoritmos Adaboost e o Random Forest [2].

Em geral essas técnicas se preocupam predominantemente com a eficiência do método em termos de taxa de detecção. Porém, aliar taxa de detecção com algoritmos de reconhecimento rápido de padrões pode levar a menor necessidade de processamento computacional, simplificando projetos e equipamentos necessários para a detecção dos ataques, sobretudo em cenários de IoT.

Este trabalho propõe o uso do algoritmo Viola-Jones para a detecção de ataques DDoS com o objetivo de se obter um

classificador que consiga garantir precisão de detecção e baixa complexidade computacional. Desde sua apresentação, o algoritmo de Viola e Jones [3] vem se tornando uma das técnicas mais utilizadas no meio científico e na indústria na detecção de faces/objetos, devido a sua precisão, alta taxa de acerto, baixa taxa de falsos positivos e baixo custo computacional, relativa simplicidade, rápida execução e notável performance. Porém é interessante observar que a abordagem de utilizar a técnica de Viola-Jones em um cenário de detecção de ataques de negação de serviço ainda não foi explorada.

Durante a fase de treinamento, o algoritmo de Viola-Jones utiliza um conjunto de imagens positivas, contendo os padrões de interesse, e um conjunto de imagens negativas, que não contêm tais padrões. Neste trabalho, propomos o uso de imagens geradas a partir de descritores estatísticos calculados sobre amostras de tráfegos de rede, considerando um banco de dados produzido por [4]. Especificamente, as imagens obtidas a partir de tráfegos normais de rede e em situações de ataque são utilizadas como entrada para o treinamento do modelo.

## II. SISTEMA PROPOSTO

A descrição do sistema proposto está organizada em cinco tópicos principais: pré-processamento dos dados, criação de imagens, divisão do conjunto de dados, treinamento do modelo e teste do modelo.

O banco de dados usado neste trabalho [4] possui 23.088 instâncias de amostra de tráfego normal e 22.412 instâncias com amostra de tráfegos de diferentes tipos de ataques DDoS. Cada instância do banco possui um conjunto de 3 rótulos e 73 variáveis que foram derivadas de outras variáveis dos campos dos cabeçalho dos pacotes das camadas de rede e transporte da arquitetura TCP, UDP e IP. Com base nos trabalhos que também utilizaram desta base de dados [4], [5], selecionamos 29 variáveis das 73 disponíveis no banco. As variáveis utilizadas estão listadas na Tabela I junto com a descrição de cada variável.

Na etapa de pré-processamento, os dados do conjunto de variáveis do banco de assinaturas são organizados em arranjos matriciais, formando imagens que servem como entrada para o treinamento do algoritmo de Viola-Jones. Cada instância do banco é associada a uma imagem específica.

Os valores das 29 variáveis selecionadas para cada instância do banco são normalizados na faixa de  $[0, 255]$  e organizados em imagens de tamanho  $6 \times 6^1$ . As Figuras (1a) e (1b)

<sup>1</sup>Com o objetivo de manter imagens de entrada quadradas, disponibilizando melhor opções de geometria das características calculadas pelo algoritmo, optou-se por fazer um preenchimento nulo dos últimos sete pixels de cada imagem  $6 \times 6$ .

A. A. Freitas Junior: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, e-mail: alcir\_jr13@hotmail.com

A. M. Brito Junior e L. F. Q. Silveira: Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal



Tabela I: Variáveis do banco de assinaturas utilizado.

#	Variável	Detalhes
01	ip_proto	Campo <i>IP proto</i> normalizado
02	ip_len_mean	Média do campo <i>IP length</i>
03	ip_len_median	Mediana do campo <i>IP length</i>
04	ip_len_std	Desvio padrão do campo <i>IP length</i>
05	ip_len_entropy	Entropia do campo <i>IP length</i>
06	ip_len_cv	Coef. de variação do campo <i>IP length</i>
07	ip_len_cvq	Coef. quantil do campo <i>IP length</i>
08	ip_len_rte	Taxa de mudança do campo <i>IP length</i>
09	sport_mean	Média do campo <i>Source port</i>
10	sport_median	Mediana do campo <i>Source port</i>
11	sport_std	Desvio padrão do campo <i>Source port</i>
12	sport_entropy	Entropia do campo <i>Source port</i>
13	sport_cv	Coef. de variação do campo <i>Source port</i>
14	sport_cvq	Coef. quantil do campo <i>Source port</i>
15	sport_rte	Taxa de mudança do campo <i>Source port</i>
16	dport_mean	Média do campo <i>Destination port</i>
17	dport_median	Mediana do campo <i>Destination port</i>
18	dport_std	Desvio padrão do campo <i>Destination port</i>
19	dport_entropy	Entropia do campo <i>Destination port</i>
20	dport_cv	Coef. de variação do campo <i>Destination port</i>
21	dport_cvq	Coef. quantil do campo <i>Destination port</i>
22	dport_rte	Taxa de mudança do campo <i>Destination port</i>
23	tcp_flags_mean	Média do campo <i>TCP flags</i>
24	tcp_flags_median	Mediana do campo <i>TCP flags</i>
25	tcp_flags_std	Desvio padrão do campo <i>TCP flags</i>
26	tcp_flags_entropy	Entropia do campo <i>TCP flags</i>
27	tcp_flags_cv	Coef. de variação do campo <i>TCP flags</i>
28	tcp_flags_cvq	Coef. quantil do campo <i>TCP flags</i>
29	tcp_flags_rte	Taxa de mudança do campo <i>TCP flags</i>

ilustram exemplos de imagens resultantes desse processo, representando uma instância de ataque e uma instância de tráfego normal.



Figura 1: Exemplo de imagens representando instâncias de tráfego de ataque (1a) e tráfego normal (1b).

O processamento com o algoritmo Viola-Jones possui dois estágios principais: o treinamento e a detecção. A etapa de treinamento envolve inicialmente a criação de dois bancos de imagens<sup>2</sup>, um de amostras negativas, neste trabalho representando o tráfego normal, e um banco com amostras positivas, representando um tráfego com algum ataque DDoS. Quanto maior o número de amostras positivas, melhor será o treinamento e a detecção do padrão. Das 45.500 instâncias presentes no banco de assinaturas, 22.412 representam algum tipo de ataque, um número suficiente para o banco de amostras positivas. Além disso, foi adotada a proporção de 70% das amostras para treinamento e 30% para testes.

Dado um conjunto de exemplos positivos e negativos, o classificador é treinado para aprender os padrões presentes nas imagens representativas de ataques DDoS. Viola e Jones [6] desenvolveram um método utilizando o algoritmo Ada-boost, que consiste em combinar vários classificadores de baixa precisão para obter um classificador de alta precisão. O método é baseado em um processo iterativo que enfatiza as características mais importantes para a tarefa, resultando

em um processo de classificação mais rápido e eficiente. Os classificadores eficientes construídos pelo Adaboost são combinados em estágios, formando uma cascata, de sorte que os primeiros estágios normalmente já são capazes de descartar o tráfego normal, deixando para os últimos estágios a tarefa de dar o veredicto final de um possível ataque DDoS.

A implementação do detector foi realizada utilizando a biblioteca OpenCV. Foi possível preparar o treinamento da cascata, como o número de amostras positivas e negativas utilizadas, o número de estágios da cascata, a taxa mínima de acertos em cada estágio e a taxa máxima de alarmes falsos. Cada um desses parâmetros afeta a precisão do detector, por isto é crucial encontrar o equilíbrio adequado entre a taxa de detecção de ataques DDoS e a taxa de alarmes falsos. O ajuste desses parâmetros tem um impacto significativo na precisão e no desempenho geral do detector.

### III. CONCLUSÃO

Este trabalho trata do desenvolvimento de um detector de ataques DDoS baseado no algoritmo Viola-Jones, o qual foi originalmente proposto para a detecção de padrões em imagens.

Na fase atual do trabalho, estão sendo realizados ajustes finos nos parâmetros do treinamento do algoritmo de Viola-Jones, com o objetivo de melhorar a precisão e a taxa de detecção do sistema. Através de iterações de treinamento e teste, estão sendo exploradas diferentes combinações de parâmetros para encontrar um equilíbrio que resulte em uma detecção precisa e uma taxa de alarmes falsos aceitável.

Embora ainda não possam ser apresentados resultados consolidados, é importante enfatizar a contribuição desse trabalho a proposta de uso do Viola-Jones na detecção de ataques DDoS, uma abordagem inovadora com treinamento adaptativo e veloz, além de uma etapa de classificação de baixa complexidade, crucial para a detecção de ataques em tempo real em cenários com altas taxas de transmissão de dados.

### AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

### REFERÊNCIAS

- [1] S. Kemp, “DIGITAL 2023: GLOBAL OVERVIEW REPORT,” Meltwater and We Are Social, Tech. Rep., 1 2023. [Online]. Available: <https://datareportal.com/reports/digital-2023-global-overview-report>
- [2] B. Zhang, T. Zhang, and Z. Yu, “DDoS detection and prevention based on artificial intelligence techniques,” in *2017 3rd IEEE International Conference on Computer and Communications, ICC3 2017*, vol. 2018-January, 2018.
- [3] P. Viola and M. Jones, “Rapid object detection using a boosted cascade of simple features,” in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, vol. 1, 2001.
- [4] F. S. d. L. Filho, “Smart Defender: um sistema de detecção e mitigação de ataques DoS/DDoS usando aprendizagem de máquina,” Ph.D. dissertation, UFRN, Natal, 2019. [Online]. Available: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/28470>
- [5] F. A. F. Silveira, “Smart-IoT: um sistema de proteção contra DDoS para rede de Internet das Coisas,” Master’s thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2020. [Online]. Available: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/30831>
- [6] L. M. Q. d. Santana, “Processo de detecção Facial utilizando ViolaJones,” *Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas*, vol. 1, no. 1, 2015.

<sup>2</sup>[https://docs.opencv.org/4.x/dc/d88/tutorial\\_traincascade.html](https://docs.opencv.org/4.x/dc/d88/tutorial_traincascade.html)

# Detecção de Ransomware: Uma abordagem por Aprendizado de Máquina Quântico

Diego Abreu, Alan Veloso, Antônio Abelém

**Resumo**—Os ataques ransomware representam uma ameaça significativa a indivíduos e organizações ao criptografar dados e exigir um resgate para sua liberação. Detectar esses ataques de forma rápida é fundamental para mitigar seu impacto e evitar perdas de dados ou prejuízos financeiros. Abordagens tradicionais de detecção de ransomware frequentemente dependem de sistemas baseados em regras ou análise estatística, que podem ter dificuldades em acompanhar a natureza em constante evolução dos ataques ransomware. Neste artigo, propomos uma abordagem para a detecção de ransomware utilizando Aprendizado de Máquina Quântico. Ao aproveitar as propriedades únicas da computação quântica, buscamos aprimorar a precisão e eficiência na detecção de ransomware em comparação com abordagens clássicas de Aprendizado de Máquina. Nossos resultados experimentais demonstram que o modelo de Aprendizado de Máquina Quântico alcança uma precisão e acurácia superiores quando comparado com classificadores clássicos na detecção de ataques ransomware.

**Index Terms**—Ransomware, Quantum Machine Learning

## I. INTRODUÇÃO

No campo do Aprendizado de Máquina (*Machine Learning* - ML), técnicas tradicionais têm sido amplamente utilizadas para a detecção de ataques de rede [1], [2]. No entanto, com a crescente complexidade e sofisticação de ataques ransomware, surge a necessidade de abordagens mais avançadas que possam lidar com os desafios impostos pela natureza em constante evolução dessas ameaças. Nesse contexto, o Aprendizado de Máquina Quântico (*Quantum Machine Learning* - QML) surge como uma promissora alternativa [3], explorando as propriedades únicas da computação quântica para melhorar a precisão e eficiência na detecção de ransomware.

O objetivo deste trabalho é investigar e explorar o potencial do QML para a detecção de ataques ransomware. Nossa abordagem proposta envolve a utilização de algoritmos de QML e a comparação de seu desempenho com classificadores clássicos (não quânticos) amplamente utilizados. Ao superar as limitações das abordagens clássicas, espera-se alcançar resultados superiores em termos de acurácia, precisão e eficácia geral na detecção de ransomware.

## II. ESTUDO DE CASO

A QML combina princípios da Computação Quântica (*Quantum Computing* - QC) e ML para desenvolver algo-

D. Abreu faz parte do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Pará, Belém, Pará (e-mail: diego.abreu@itec.ufpa.br)

A. Veloso faz parte do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal do Pará, Belém, Pará (e-mail: aveloso@ufpa.br)

A. Abelém faz parte da Faculdade de Computação da Universidade Federal do Pará, Belém, Pará (e-mail: abelem@ufpa.br)

ritos e técnicas inovadoras para análise de dados e reconhecimento de padrões [3]. Na QC, a superposição permite que os qubits (bits quânticos) estejam em múltiplos estados simultaneamente, ampliando as possibilidades computacionais. O emaranhamento quântico, por sua vez, conecta os estados de múltiplos qubits, possibilitando correlações entre os estados. Aproveitando a superposição e o emaranhamento, a QML aprimora algoritmos de Aprendizagem de Máquina clássicos (não quânticos), abordando problemas computacionais complexos de maneira mais eficiente.

O Classificador Quântico Variacional (*Variational Quantum Classifier* - VQC) [4] é um algoritmo de QML que combina circuitos quânticos com técnicas clássicas de otimização para realizar tarefas de classificação. O VQC explora e compara diferenças entre estados quânticos, que dependem de um conjunto de parâmetros. Esses estados podem ser preparados usando um circuito quântico parametrizado, onde portas quânticas são definidas com parâmetros ajustáveis. O VQC utiliza um circuito quântico, que pode ser otimizado com base nos dados de treinamento para aprender o limite de decisão ótimo entre diferentes classes.

No VQC, primeiramente, os dados de entrada são codificados em estados quânticos usando um mapa de características quânticas. O circuito variacional age então nesses estados codificados, realizando computações e transformações que dependem dos parâmetros ajustáveis. Essas computações envolvem a aplicação de portas quânticas, como operações de rotação e emaranhamento, para manipular o estado quântico e extrair informações relevantes. O otimizador clássico modifica os parâmetros ajustáveis do circuito variacional iterativamente, buscando minimizar uma função de custo ou perda predefinida. Esse processo de otimização visa encontrar a configuração ideal do circuito variacional que melhor corresponda ao objetivo de classificação desejado [4].

A Fig. 1 apresenta as 5 primeiras linhas do circuito quântico utilizado, que consiste em uma série de portas lógicas quânticas aplicadas aos qubits para realizar cálculos [5]. Essas portas, análogas às portas lógicas clássicas, são responsáveis por realizar operações nos qubits, como superposição, emaranhamento e medida [5]. No QML, algoritmos e circuitos quânticos são projetados para processar e manipular estados quânticos, representando dados e realizando cálculos de forma quântica. Esses circuitos quânticos podem oferecer vantagens em relação às abordagens clássicas em termos de velocidade computacional, paralelismo e capacidade de lidar com conjuntos de dados em larga escala e alta dimensionalidade.

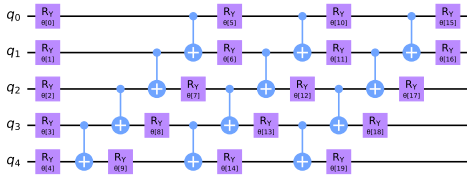


Figura 1. Parte do Circuito Quântico utilizado no Variational Quantum Classifier.

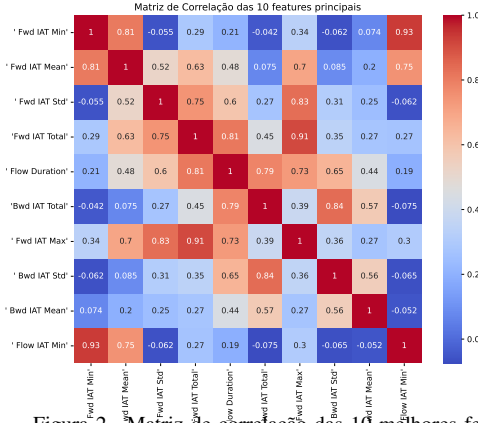


Figura 2. Matriz de correlação das 10 melhores features.

Para realizar o experimento foi utilizado o *dataset* CIC-MAL-17 [6], filtrando as famílias de ransomware existentes. No total, a base contém 81 características (*features*) de fluxo de rede de dados considerados benignos (43.091 instâncias) e de ataques ransomware (313.634 instâncias). Entre os ataques ransomware 10 famílias de ataques estão presentes na base de dados: Charger, Jisut, Koler, Lockerpin, Pletor, PornDroid, RansomBo, Svpeng, Simplojer, Wannalocker.

### III. RESULTADOS

Para realizar a detecção e classificação dos ataques ransomware o primeiro passo foi identificar as principais *features* que influenciam a distinção entre os ataques e a classe normal. A Fig. 2 apresenta a matriz de correlação destacando as 10 melhores *features*. Essas *features* serão utilizadas para realizar classificação, tanto binária quanto multiclasse dos ataques.

A Tabela I apresenta o resultado para a classificação binária (ataque vs normal) em termos das métricas: precisão (Prec.), *Recall* e F1 score. A Tabela II apresenta os resultados por família de ransomware, destacando os resultados de TPR (*True Positive Rate*) e FAR (*False Alarm Rate*) além do número de instâncias presentes por tipo de ataque. No cenário de classificação binária (Tabela I), o VQC se destaca com um desempenho superior em termos de precisão, recall e F1-score. O VQC alcança precisão de 92%, recall e F1-score de 98% e 95%, respectivamente, mostrando sua capacidade de recuperar a maioria das amostras positivas corretamente e equilibrar precisão e recall de forma eficaz. Em contraste, os classificadores clássicos RF (*Random Forest*) e kNN (*k-Nearest Neighbours*) obtêm resultados inferiores em todas as métricas, com o RF sendo mais robusto que o kNN. Por outro lado, na classificação multiclasse (Tabela II), observa-se que embora o VQC obtenha resultados superiores ao RF em algumas classes (por exemplo, Pletor com TPR de 43% e

Benign com TPR de 42%), seu desempenho é menos consistente em outras classes, como Lockerpin e Svpeng, com TPRs baixos de 15% e 24%, respectivamente. Em comparação, o RF exibe um desempenho mais equilibrado entre as classes, em termos de TPR e FAR em várias delas. O cenário multiclasse é geralmente mais desafiador do que o binário, e isso pode explicar o desempenho inferior ao cenário binário.

Tabela I

RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO BINÁRIA.

Dataset	Prec%	Recall%	F1score%
VQC	92%	98%	95%
RF	89%	90%	89%
kNN	82%	86%	83%

Tabela II

RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO MULTICLASSE.

Classificador	Classe	Instâncias	VQC		RF	
			TPR	FAR	TPR	FAR
VQC	Normal	43.091	42%	7%	26%	11%
	Charger	39.551	26%	8%	16%	9%
	Jisut	25.672	19%	5%	22%	5%
	Koler	44.555	38%	9%	29%	8%
	Lockerpin	25.307	15%	4%	15%	4%
	Pletor	4.715	43%	0%	0%	0%
	PornDroid	46.082	33%	9%	29%	12%
	RansomBO	39.859	29%	8%	22%	9%
	Simplocker	36.340	47%	10%	31%	11%
	Svpeng	54.161	24%	7%	30%	9%
RF	Normal	43.091	25%	6%	25%	7%
	Charger	39.551	26%	8%	16%	9%
	Jisut	25.672	19%	5%	22%	5%
	Koler	44.555	38%	9%	29%	8%
	Lockerpin	25.307	15%	4%	15%	4%
	Pletor	4.715	43%	0%	0%	0%
	PornDroid	46.082	33%	9%	29%	12%
	RansomBO	39.859	29%	8%	22%	9%
	Simplocker	36.340	47%	10%	31%	11%
	Svpeng	54.161	24%	7%	30%	9%

### IV. CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Esse trabalho propõe a utilização de QML para a detecção de ataques ransomware, comparando-o com os algoritmos clássicos. Como trabalhos futuros, pretendemos investigar e aprimorar o desempenho do VQC em cenários de classificação multiclasse para a detecção de ransomware, com estratégias de pré-processamento e otimização de hiperparâmetros. Além de explorar outras técnicas de QML para melhorar a eficiência da proposta e sua capacidade de lidar com grandes conjuntos de dados.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por meio do processo no 2020/04031-1.

### REFERÊNCIAS

- [1] D. Abreu and A. Abelém, "Ominacs: Online ml-based iot network attack detection and classification system," in *2022 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*. IEEE, 2022, pp. 1–6.
- [2] —, "Sistema híbrido e on-line de detecção e classificação de tráfego malicioso," in *Anais do XL Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos*. SBC, 2022, pp. 322–335.
- [3] J. Biamonte, P. Wittek, N. Pancotti, P. Rebentrost, N. Wiebe, and S. Lloyd, "Quantum machine learning," *Nature*, vol. 549, no. 7671, pp. 195–202, 2017.
- [4] V. Havlíček, A. D. Córcoles, K. Temme, A. W. Harrow, A. Kandala, J. M. Chow, and J. M. Gambetta, "Supervised learning with quantum-enhanced feature spaces," *Nature*, vol. 567, no. 7747, pp. 209–212, 2019.
- [5] A. Abelem, D. Towsley, and G. Vardoyan, "Quantum internet: The future of internetworking," *arXiv preprint arXiv:2305.00598*, 2023.
- [6] A. H. Lashkari, A. F. A. Kadir, L. Taheri, and A. A. Ghorbani, "Toward developing a systematic approach to generate benchmark android malware datasets and classification," in *2018 International Carnahan conference on security technology (ICCST)*. IEEE, 2018, pp. 1–7.

# Effect Size Measure for IoT Networks Energy Consumption Evaluation

Felipe Correia  
 IFSERTAO-PE  
 felipe.correia@ifsertao-pe.edu.br

Marcelo de Alencar  
 UFRN  
 marcelo@iecom.org

**Abstract**—This study introduces a novel approach to IoT network analysis that accounts for node power consumption probability distribution. In accordance with our research, the Cliff’s Delta test offers valuable insight into how power consumption varies between networks or collections of nodes. Although the exponential network generally uses less energy, careful interpretation is advised because it may not always be the case.

**Index Terms**—Internet of Things (IoT), power consumption, network analysis, non-parametric effect size measure

## I. INTRODUCTION

Devices created for measurement, control, and communication with a central hub make up an IoT network [1], [2]. Users can react to situations related to the phenomenon being observed based on the data they have received. Wireless nodes are recommended to have low power consumption, little memory, and little processing power. Communication systems, interface nodes, and application servers are all included in these networks. In terms of software, servers control data and events, generate reports, communicate with the network, and send instructions to actuators.

The widespread adoption of IoT continues to face obstacles related to energy conservation [3] [4]. The devices typically get their power from batteries or energy sources like solar panels. The optimization of energy harvesters and the requirement for battery recharging or replacement present difficulties. Numerous researchers emphasize the importance of energy efficiency in the design process, highlighting its part in extending network lifespan and reducing maintenance costs.

In light of this challenge, this paper introduces a novel method for analyzing IoT networks from their power consumption patterns. In particular, this research aims to (1) develop a metric for IoT networks to compare different networks or node clusters within a single network, and (2) assess the impact of power consumption distributions on network performance across three different probability distributions.

## II. CLIFF’S DELTA TEST

The Cliff’s Delta test compares two datasets, A and B, of sizes  $n_A$  and  $n_B$ , respectively, using a non-parametric effect size measure [5], [6]. It measures the magnitude and direction of the difference between two datasets by quantifying the ordinal association between them.

Cliff’s Delta measure has the following formula:

$$\delta = \frac{N_c - N_d}{N_c + N_d}$$

in which  $N_c$  is the number of times a value in dataset A exceeds a value in dataset B, and  $N_d$  is the number of times a value in dataset B exceeds a value in dataset A.

The value of  $\delta$  ranges from -1 to 1, so that  $\delta < 0$  indicates that dataset A tends to have smaller values than dataset B,  $\delta > 0$  indicates that dataset A tends to have larger values than dataset B, and  $\delta = 0$  indicates no difference in the ordinal association between the two datasets.

## III. IOT NETWORK ENERGY CONSUMPTION SIMULATION MODELS

A numerical simulation study in Python has been carried out to examine the power consumption distributions of three different IoT networks (exponential, uniform, and Gaussian). The results reported in [4] served as the foundation for the selected energy models.

The power consumption simulation for the uniform network was carried out using the formula:

$$E_c \sim \text{Uniform}(E_{cm}, E_{cM})$$

in which  $E_c$  is a random variable that represents the consumption per cycle of the network nodes between the minimum and maximum energy consumption values specified for the network nodes.

For the exponential network, a truncated and shifted exponential distribution has been chosen, since the power consumption is limited in realistic scenarios. The simulation was based on the formula:

$$E_c \sim \text{Exp}(\lambda - E_{cm}, [0, E_{cM} - E_{cm}]) + E_{cm}$$

in which  $E_c$  follows an exponential distribution with rate parameter  $\lambda - E_{cm}$  and limits between  $E_{cm}$  and  $E_{cM}$ . This approach ensures that the generated power consumption values are within the specified range  $[E_{cm}, E_{cM}]$  and allows producing power consumption data that align with real-world constraints.

Similarly to the exponential network, a truncated and shifted Gaussian distribution has been used to model the energy consumption of IoT nodes. The simulation is based on the formula:

$$E_c \sim \text{Normal}(\mu, \sigma, [E_{cm}, E_{cM}])$$

in which  $E_c$  is a random variable following a Gaussian distribution with mean  $\mu$  and standard deviation  $\sigma$ , truncated within the interval  $[E_{cm}, E_{cM}]$ .

For each network type, datasets have been generated with  $N = 500$  samples representing the average energy consumed for each network node. Four scenarios were established (Scenario 1 - S1, Scenario 2 - S2, Scenario 3 - S3 and Scenario 4 - S4) as described in Table I.

TABLE I  
VALUES FOR PROBABILITY DISTRIBUTION PARAMETERS IN FOUR SIMULATION SCENARIOS

Network Model	S1	S2	S3	S4
Exponential	$\lambda = 1/125$	$\lambda = 1/125$	$\lambda = 1/175$	$\lambda = 1/175$
Uniform	$E_{cm} = 100$ $E_{cM} = 300$	$E_{cm} = 125$ $E_{cM} = 175$	$E_{cm} = 100$ $E_{cM} = 300$	$E_{cm} = 125$ $E_{cM} = 175$
Gaussian	$\mu = 125$ $\sigma = 25$	$\mu = 125$ $\sigma = 50$	$\mu = 175$ $\sigma = 25$	$\mu = 175$ $\sigma = 50$

#### IV. SIMULATION RESULTS

TABLE II  
COMPARISON RESULTS FOR THE FOUR ESTABLISHED SCENARIOS

Comparison	S1	S2	S3	S4
Exponential x Uniform	-0.1401	-0.9043	0.4467	-0.3204
Exponential x Gaussian	-0.3003	-0.5260	-0.2777	-0.2988
Uniform x Gaussian	-0.2168	0.5108	-0.9221	-0.0698

The simulation results of the three comparisons for the four situations under consideration are summarized in Table II.

##### A. Exponential versus Uniform

Cliff's delta values of -0.1401 and -0.3204 show that the exponential network has a marginally higher power efficiency than the uniform network in Scenarios S1 and S4 as Cliff's delta values near 0 theoretically imply negligible differences between groups. As a result, although the exponential network has an advantage, the difference may not actually matter in practical applications. With a delta of  $-0.9043$ , Scenario S2 stands out in stark contrast and shows a significant difference in power efficiency in favor of the exponential network. According to theory, greater absolute values of Cliff's delta (closer to 1 or -1) indicate differences between groups that are more significant. Contrarily, despite the small difference, Scenario S3's delta of 0.4467 highlights the superior performance of the uniform network because of the distribution parameters, as expected.

##### B. Exponential versus Gaussian

The marginal superiority of the exponential network over the Gaussian network in Scenarios S1, S3, and S4 is consistent, as shown by the values of Cliff's delta of  $-0.3003$ ,  $-0.2777$ , and  $-0.2988$ . These numbers indicate that although there is a difference in power consumption, it is not by a wide margin. The  $-0.5260$  delta for Scenario S2 is noteworthy, though. The

negative value indicates that the Gaussian network consumes more energy than the more stable exponential network, which may be because of its shape, which is further away from the minimum.

##### C. Uniform versus Gaussian

With deltas of -0.2168 and -0.0698, Scenarios S1 and S4 slightly favor the uniform network in the comparison between uniform and Gaussian networks. These values, which are very close to zero, imply that in these scenarios, the differences in power consumption between the two networks are negligible. With the uniform network using more power in Scenario 2, the positive delta of 0.5108 suggests a change in the network's efficiency. Most notably, Scenario S3's delta of  $-0.9221$  demonstrates the uniform network's significant efficiency over the Gaussian network. This outcome may be explained by the distribution parameters as expected.

#### V. FINAL REMARKS

Cliff's delta test application has been helpful in illuminating the complex power consumption patterns seen in IoT networks, especially when taking into account different probabilities of energy consumption. Our results highlight the fact that while exponential networks typically have a tendency to use less energy, this advantage is not consistently present in all situations. The significance of a nuanced understanding when interpreting these results is highlighted by such inconsistencies. Even though the present study offers a thorough overview, its shortcomings are acknowledged. Our future endeavors will inevitably delve deeper into more specific scenarios. In order to ensure that the IoT community benefits from a comprehensive understanding of energy consumption patterns and their implications, this will enable us to draw even more specific conclusions about the subject.

#### ACKNOWLEDGMENT

The authors acknowledge the support of IFSERTAO-PE, UFRN, CNPq and IECOM for providing funding for the research.

#### REFERENCES

- [1] T. Jabeen, I. Jabeen, H. Ashraf, N. Jhanjhi, A. Yassine, and M. S. Hossain, "An intelligent healthcare system using iot in wireless sensor network?" *Sensors*, vol. 23, no. 11, p. 5055, 2023.
- [2] N. S. Reddy, C.-F. Leopoldo, P. Ponia, M. Sandhu, Y. Mahajan, and C. Kumar, "Blockchain-based internet of things security and reliability via sdn-enabled 5g-vanets," *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, pp. 506-522, 2022.
- [3] F. Correia, M. Alencar, and K. Assis, "Stochastic modeling and analysis of the energy consumption of wireless sensor networks," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 21, no. 3, pp. 434-440, 2023.
- [4] F. P. Correia, S. R. d. Silva, F. B. S. d. Carvalho, M. S. d. Alencar, K. D. R. Assis, and R. M. Bacurau, "Lorawan gateway placement in smart agriculture: An analysis of clustering algorithms and performance metrics," *Energies*, vol. 16, no. 5, p. 2356, 2023.
- [5] A. Y. Tak and I. Ercan, "Ensemble of effect size methods based on meta fuzzy functions," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 119, p. 105804, 2023.
- [6] M. R. Hess and J. D. Kromrey, "Robust confidence intervals for effect sizes: A comparative study of cohen'sd and cliff's delta under non-normality and heterogeneous variances," in *annual meeting of the American Educational Research Association*, vol. 1. Citeseer, 2004.



# Escalonamento de Recursos Utilizando RL para Proteção de Serviços URLLC em Indústrias 4.0

Cleverson Nahum, Weskley Mauricio, Maykon Silva, Michelle Facina,  
Marcos Takeda e Aldebaro Klautau

**Abstract**—Este trabalho investiga o escalonamento inter e intra-slice no cenário da Indústria 4.0, considerando três serviços disponíveis: *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra-Reliable Low Latency Communications* (URLLC) e *massive Machine-Type Communications* (mMTC). Neste contexto, é proposto uma nova abordagem de escalonamento entre fatias, com a proteção do serviço URLLC e o uso do agente de *Reinforcement Learning* (RL). Com objetivo de uma abordagem mais realística utilizam-se medições de canal real de uma fábrica em Nuremberg, na Alemanha. O desempenho do algoritmo proposto é evidenciado através da comparação de simulações numéricas com soluções da literatura.

**Keywords**—Escalonamento de Recursos, URLLC.

## I. INTRODUÇÃO

O fatiamento de rede é um paradigma promissor para as redes 5G, que explora a virtualização com o objetivo de criar diferentes instâncias de redes lógicas independentes em uma mesma infraestrutura física comum tanto nas *Radio Access Networks* (RANs) como no núcleo da rede. Cada instância é adaptada para perfis de *Quality of Service* (QoS) específicos, de modo que o fatiamento da rede pode suportar simultaneamente vários serviços móveis [1].

No entanto, uma questão vital no *Network Slicing* é o *Radio Resource Scheduling* (RRS), que é responsável por alocar adequadamente os blocos de recursos de rádio para diferentes *User Equipments* (UEs) individuais com QoS diferentes de acordo com as variações de tráfego e o estado dinâmico do canal [1].

Destaque-se que, em cenários da Indústria 4.0, a proteção de aplicações críticas é uma demanda essencial para o RRS devido às variações de rede e canal do dispositivo, que podem causar instabilidade. Este cenário requer adaptações constantes do RRS para, mesmo assim, atender aos requisitos críticos da aplicação [1], [2]. Desta forma, neste trabalho, nós propomos um RRS baseado na satisfação dos contratos de nível de serviço (SSR) com proteção adicional para fatias de rede com aplicações críticas como URLLC.

## II. MODELO DO SISTEMA

Nós consideramos um sistema *downlink* de Indústria 4.0 composto por uma *Base Station* (BS) usando *Frequency Division Duplex* (FDD) e *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). O sistema possui

Cleverson Nahum, Marcos Takeda e Aldebaro Klautau fazem parte da Universidade Federal do Pará (UFPA). Weskley Mauricio, Maykon Silva fazem parte da Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD), Campinas-SP, Brasil. e-mail: {cleverson, aldebaro}@ufpa.br, {wmauricio, mpsilva}@cpqd.com.br. Este trabalho foi financiado parcialmente pela RNP, com recursos do MCTIC, Outorga nº 01245.010604/2020-14, no âmbito do Projeto Brasil 6G do Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Brasil.

U UEs equipados com uma única antena omnidirecional. São consideradas três tipos de fatias com casos de uso específicos: *enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra-Reliable Low-Latency Communication* (URLLC) e *Massive Machine Type Communication* (mMTC). Para simplificar, assumimos que cada UE pertence a apenas um tipo de fatia de rede. Adotamos que cada *Transmission Time Interval* (TTI) possui  $R$  *Resource Blocks* (RBs), em que o RB é a menor unidade de recurso que pode ser alocada para um UE.

Neste trabalho, utilizamos o cenário *indoor* industrial do *Quasi Deterministic Radio Channel Generator* (QuaDRiGa) [3]. Este cenário foi preparado para implantações industriais internas, como pavilhões de fábrica, em ambientes da Indústria 4.0. Além disso, consideramos um esquema misto em relação ao *Line Of Sight* (LOS), ou seja, os UEs podem estar em situação de LOS ou *Non-Line Of Sight* (NLOS). Além disso, sobre frequências portadoras de 2 GHz a 6 GHz. A descrição detalhada dos parâmetros do canal usados para gerar o cenário, como desvanecimento por sombreamento, desvanecimento rápido e o número de *clusters*, são encontrados em [3], [4].

O RRS em um cenário com fatiamento de rede é dividido entre dois escalonadores diferentes, chamados de escalonamento inter e intra-slice. O primeiro distribui os RBs disponíveis da BS entre as fatias da *Radio Access Network* (RAN), enquanto o segundo distribui os RBs recebidos a partir do escalonamento anterior entre os UEs associados aquela fatia da RAN [1].

## III. ALGORITMO DE ESCALONAMENTO PROPOSTO

O agente para o RRS proposto utiliza o método de RL *Soft Actor-Critic* (SAC) definido em [2]. A principal ideia é estender os escalonadores baseados na satisfação de contratos de níveis de serviço permitindo que o agente alcance a recompensa máxima apenas quando as fatias de redes com aplicações prioritárias tenham alcançados as suas metas de QoS. Dessa forma, o agente de escalonamento aprende a cumprir primeiramente os requisitos da fatia de rede prioritária, para depois focar nas demais.

O espaço de observação  $\mathcal{O}_n$  do agente de RL em um determinado passo de simulação  $n$  como uma representação do estado  $s_t$  contém informação conhecida pelo agente. O espaço de observação é definido como  $\mathcal{O}_n = [s_{\text{embb}}, s_{\text{urllc}}, s_{\text{mmtc}}]$ , onde os vetores de métricas de cada fatia  $s_s = [r_s(n), b_u^{\text{occ}}(n), d_s(n)]$  são compostos por três métricas: taxa de *throughput*, ocupação e atraso de *buffer*.

O espaço de ação do agente é um vetor  $\mathcal{A}_n$  que é definido como  $\mathcal{A}_n = [a_{\text{embb}}, a_{\text{urllc}}, a_{\text{mmtc}}]$ , onde  $a_s$  representa um fator para a fatia de rede  $s$  com valor no intervalo

entre  $[-1, 1]$ . Depois disso aplicamos pós-processamento para conversão dos fatores em números de RBs para cada fatia de rede, ou seja

$$A_n^{\text{RB}} = \left\lfloor \frac{R(A_n + 1)}{\sum_{i \in S} (a_i + 1)} \right\rfloor. \quad (1)$$

Por fim, a decisão tomada pelo escalonador inter-slice proposto é aplicada em um escalonador intra-slice utilizando *Round-Robin* para distribuir os RBs entre os UEs.

A função de recompensa  $W(n)$  considera os requisitos da fatia de rede como base para definir quão próximo de cumprir os requisitos de QoS o agente está. Então, a função de *reward* contém um componente para cada fatia de rede, ou seja,

$$W(n) = \begin{cases} W_{\text{embb}}(n) + W_{\text{mmtc}}(n), & \text{if } W_{\text{urllc}}(n) < 0 \\ -(3 - W_{\text{urllc}}(n)), & \text{Otherwise} \end{cases}, \quad (2)$$

onde  $W_{\text{embb}}(n)$ ,  $W_{\text{urllc}}(n)$  e  $W_{\text{mmtc}}(n)$  representam a recompensa para o eMBB, URLLC, e mMTC, respectivamente, no passo  $n$ . A recompensa de cada fatia de rede representa a distância com valor negativo até o cumprimento de seus requisitos representado pelo valor zero.

#### IV. RESULTADOS

Como mostrado na Fig. 1, é considerado uma BS com uma antena posicionada no canto superior de uma fábrica servindo UEs com três diferentes casos de uso correspondentes às aplicações eMBB, URLLC e mMTC. Para tornar o cenário mais próximo da realidade, extraímos as medidas da fábrica de Nuremberg (Alemanha) adotada em [3]. A BS atende 100 UEs, que são distribuídas uniformemente dentro da fábrica, sendo 20 UEs associados a eMBB, 20 UEs associados a URLLC e 60 UEs associados a aplicações mMTC. O modelo de canal industrial contém 100 RBs a serem distribuídos entre fatias e UEs, usando o escalonamento inter e intra-fatias. Além disso, utilizamos um agente RL para implementar o escalonamento inter-slice e um método *Round-Robin* para o intra-slice.

Os parâmetros utilizados na simulação do canal são: 100 MHz de largura de banda, duração do TTI de 1 ms, 1000 TTIs, 35 dBm de potência de transmissão, UEs se movendo a 3 km/h, 3 fatias de rede, Vazão requerida de  $r_{\text{embb}}=20$  e  $r_{\text{embb}}=5$  Mbps e Latência requerida  $d_{\text{embb}} = 30$ ,  $d_{\text{urllc}} = 1$ , e  $d_{\text{mmtc}} = 50$  ms. Além disso, realizamos 200 rodadas de simulação utilizando o QuaDRiGa, dividindo-as em 160 para treinamento e 40 para teste. É importante ressaltar que cada rodada de simulação possui 1000 TTIs, totalizando 160.000 e 60.000 rodadas de treinamento e teste, respectivamente. Por fim, é considerada uma alocação de potência igualitária entre os RBs.

A Fig. 2 compara a quantidade média de violações aos requisitos de cada fatia de rede definidas em contrato quando utilizado um método de satisfação de serviço tradicional (ssr) e o método proposto que se baseia em SSR e oferece proteção adicional às fatias de URLLC (ssr-p). Como podemos perceber, o método proposto tem um desempenho superior conseguindo proteger o slice de URLLC durante quase toda a totalidade da simulação ao contrário do método SSR padrão que não diferencia os slices. Ao analisar as violações totais a todas as fatias,

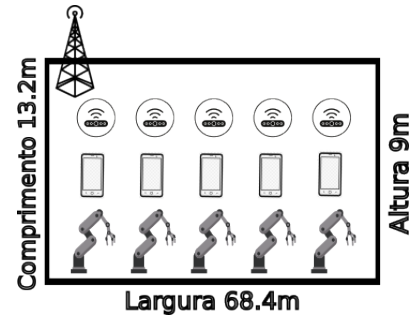


Fig. 1: Fábrica com uma BS no canto superior esquerdo, três casos de uso (sensor, celular e braço robótico).

nota-se que o agente proposto também consegue diminuir o número médio de violações do sistema em relação ao *baseline*.

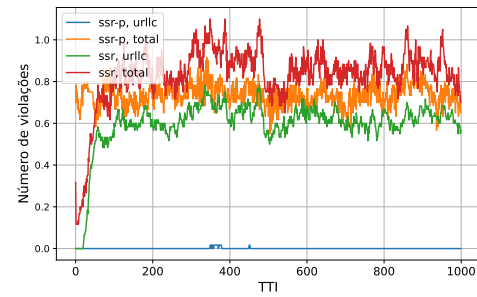


Fig. 2: Quantidade média de violações aos requisitos de QoS definidos em contrato para as fatias de rede.

A diminuição na quantidade de violações no slice prioritário (URLLC) obtida pelo agente proposto reflete em um aumento no número de violações nos slices de eMBB e mMTC. No método de SSR a maior parte do total de violações vinham do slice de URLLC, enquanto que o algoritmo proposto prefere proteger o slice de URLLC, por ser um slice crítico, em situações onde os recursos disponíveis na rede não são suficientes para atender a todos os requisitos dos slices.

#### V. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi proposto um algoritmo de alocação de recursos de rádio para Indústria 4.0 baseado na satisfação dos requisitos de QoS definidos em contrato com a priorização de aplicações críticas representadas pela fatia de rede URLLC. O agente proposto baseado em RL obteve um melhor desempenho na proteção, além de diminuir o número de violações gerais, em que são consideradas todas as fatias de rede.

#### REFERÊNCIAS

- [1] X. Li, R. Ni, J. Chen, Y. Lyu, Z. Rong, and R. Du, "End-to-end network slicing in radio access network, transport network and core network domains," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 29 525–29 537, 2020.
- [2] T. Haarnoja, A. Zhou, P. Abbeel, and S. Levine, "Soft actor-critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor," in *Proc. of International conference on machine learning*. PMLR, 2018, pp. 1861–1870.
- [3] S. Jaeckel *et al.*, "Industrial indoor measurements from 2-6 ghz for the 3GPP-NR and QuaDRiGa channel model," in *IEEE 90th Vehicular Technology Conference*, 2019, pp. 1–7.
- [4] —, "QuaDRiGa - quasi deterministic radio channel generator, user manual and documentations," 2021.

# Estimação de Canal MU-MIMO por Redes Recorrentes com Ajuste de Memória

Eduardo N. Velloso, Luiz F. Q. Silveira

**Abstract**—Estimadores de canais Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) tradicionalmente utilizam técnicas de mínimos quadrados (LS) baseadas na transmissão de símbolos piloto. O uso de rede neurais recorrentes (RNNs) já demonstrou ter o potencial de aprender correlações temporais em canais reais, tanto em cenários estáticos quanto móveis. Esse trabalho apresenta uma técnica de treinamento offline com ajuste de memória em tempo real para explorar ainda melhor o potencial de RNNs de obter estimativas independentes de pilotos, otimizando a eficiência espectral. Foram simuladas 12 realizações do canal 3GPP TR 36.873 para um cenário de transmissão uplink de dois equipamentos de usuário por um canal 2T2R. Os resultados obtidos revelam que a técnica utilizada com apenas 2% de sinalização de controle atinge um desempenho melhor que o LS com a mesma taxa de transmissão de pilotos, e se aproxima do desempenho do LS quando pilotos são transmitidos em todos os blocos de recursos.

**Index Terms**—Aprendizado de máquina, redes neurais recorrentes (RNNs), MIMO, estimação de canal.

## I. INTRODUÇÃO

Uma das principais direções atualmente investigadas para otimização da eficiência espectral de redes de comunicação sem fio é o uso de múltiplas antenas nos terminais transmissores e receptores. O trabalho seminal de [1] oferece uma motivação matemática formal para tais sistemas, chamados MIMO (Multiple-Input Multiple-Output). Técnicas de multiplexação espacial exploram esses graus de liberdade para obter ganhos na transmissão, especialmente em sistemas multiusuário (MU-MIMO).

Em sistemas MU-MIMO, um subgrupo dos usuários ativos em uma determinada célula é alocado a um mesmo bloco de recursos tempo-frequência a ser compartilhado. Em um desses subgrupos, o canal de múltiplo acesso (uplink) entre o  $k$ -ésimo equipamento de usuário (UE) e a estação rádio-base (ERB) é representado por uma matriz  $\mathbf{H}_k \in \mathbb{C}^{N_r \times N_t}$ , sendo  $N_t$  o número de antenas em cada UE e  $N_r$  o número de antenas na ERB. Os sinais  $\mathbf{x}_k$ , transmitidos por cada um dos  $K$  usuários, são afetados por esses canais, de forma que o sinal recebido pela ERB é a superposição

$$\mathbf{y} = \sum_{k=1}^K \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \mathbf{w} \quad (1)$$

$$= \mathbf{H} \mathbf{x} + \mathbf{w} \quad (2)$$

em que  $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{N_r \times KN_t}$  é formado pela concatenação horizontal do conjunto  $\{\mathbf{H}_k\}$ , assim como  $\mathbf{x} \in \mathbb{C}^{KN_t}$  pela

E. N. Velloso: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, e-mail: eduardo.velloso.101@ufrn.edu.br

L. F. Q. Silveira: Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal

concatenação de todos os  $\mathbf{x}_k$ , e  $\mathbf{w} \in \mathbb{C}^{N_r}$  é um ruído aditivo com distribuição  $\mathcal{CN}(0, N_0)$ .

Para tomar decisões a respeito dos símbolos enviados, algoritmos de detecção se baseiam no conhecimento da matriz de canal  $\mathbf{H}$ . Obter uma boa estimativa  $\hat{\mathbf{H}}$  é, portanto, um fator limitante para o desempenho global do sistema.

Soluções baseadas em aprendizado de máquina conseguem superar limitações de algoritmos de estimação modernos, os quais falham em cenários práticos devido à complexidade, falta de capacidade de generalização, ou erros propagados de outras etapas. Em [2] foi demonstrado o uso de uma rede neural recorrente (RNN) para aprender um canal MIMO medido empiricamente, o qual, comparado a um estimador de mínimos quadrados (LS) comum, não requer pilotos em todos os intervalos de coerência. No contexto de otimização fim-a-fim de sistemas por autoencoders, o uso de RNNs para capturar correlações temporais do canal e introduzir memória ao sistema foi proposto por [3], assumindo realimentação perfeita do estado do canal com atraso, de forma que a rede não depende das próprias estimativas.

Frente ao contexto exposto, esse trabalho busca demonstrar formas de regular a operação de uma RNN para estimação de canal em cenários realistas de operação de um sistema MU-MIMO de maneira a minimizar a taxa de transmissão de símbolos piloto.

## II. MÉTODOS

Neste trabalho, utilizaremos as seguintes premissas sobre a operação do sistema. As estimativas de canal serão realizadas uma única vez para cada bloco de recursos de duração  $t_{\text{RB}}$ , o qual contempla a transmissão de  $n_{\text{RB}} = t_{\text{RB}}/T_s$  símbolos, sendo  $T_s$  a taxa de sinalização. Consideraremos um cenário móvel em que a velocidade média dos UEs é  $v$  e  $t_c = \lambda/4v$  é o intervalo de coerência correspondente para o comprimento de onda  $\lambda$ . Supomos portanto  $t_{\text{RB}} \ll t_c$  para que o canal possa ser assumido aproximadamente constante durante um bloco de recursos.

Para o processamento pela rede neural, as matrizes de canal<sup>1</sup>  $\mathbf{H} \in \mathbb{C}^{N_r \times K}$  são representadas na forma de vetores compostos pelas partes real e imaginária de cada elemento:  $\mathbf{h} \in \mathbb{R}^{2N_r K}$ . A rede então busca aproximar uma função que mapeia as últimas  $T$  amostras de canal separadas por  $t_{\text{RB}}$  ao valor atual da matriz em um dado instante  $t = it_{\text{RB}}$ :

$$\hat{\mathbf{h}}_i = \hat{\mathbf{h}}(t = it_{\text{RB}}) = f(\mathbf{h}_{i-1}, \dots, \mathbf{h}_{i-T}) \quad (3)$$

A rede foi implementada como uma camada LSTM seguida por uma camada de saída linear de dimensão  $N_{\text{hidden}}$ . O

<sup>1</sup>a partir daqui estamos assumindo  $N_t = 1$  antena por UE

treinamento foi realizado por retropropagação, tendo como base o algoritmo Adam e a função custo de erro médio quadrático. Os hiperparâmetros  $\ell_r$  (coeficiente de aprendizado) e  $N_{\text{hidden}}$  foram otimizados por uma busca em grade simples.

Após o treinamento, a rede é testada assumindo uma operação realista, na qual cada usuário transmite um símbolo piloto a cada  $T_P$  blocos de recurso. Para os demais blocos, o canal é estimado pela RNN a partir de sua memória de estimativas passadas.

No bloco de transmissão com piloto, a coluna da matriz de canal correspondente a cada usuário é estimada por LS em instantes de sinalização distintos, assumindo uma dada condição de  $E_b/N_0$ . Essa informação é então acrescentada à memória de estimativas passadas da RNN, mas também é utilizada para ajustar os valores estimados recentes, de maneira a melhor sintonizar as próximas estimativas. Isso é feito a partir da seguinte ponderação, na qual cada estimativa independente feita pela RNN nos últimos  $T_P - 1$  blocos é atualizada conforme os dois últimos pilotos:

$$\mathbf{h}_{i-(T_P-j)} \leftarrow \frac{\mathbf{h}_{i-(T_P-j)}}{3} + \frac{2(T_P-j)\mathbf{h}_{i-T_P}}{3T_P} + \frac{2j\mathbf{h}_i}{3T_P} \quad (4)$$

para  $j = 1, 2, \dots, T_P - 1$ .

Para a simulação do modelo do canal, seguimos as especificações utilizadas por [4], usando como base o modelo do padrão 3GPP (3rd Generation Partnership Project) descrito no TR 36.873 conforme implementado no simulador QuaDRiGa [5]. Consideramos uma ERB de 25 m de altura com  $N_r = 2$  antenas de polarização simples separadas horizontalmente. Os  $K = 2$  UEs são inicializados em posições aleatórias dentro do setor de  $120^\circ$  da célula de raio 500 m, com uma distância de guarda de 10 m da ERB. Cada UE se move a uma velocidade  $v = 30$  km/h, e o canal é amostrado em uma taxa comum de sinalização de 14,000 símbolos por segundo. Na frequência central de  $f_c = 2.53$  GHz, isso representa cerca de 100 amostras de canal a cada meio comprimento de onda. Assumindo controle de potência ideal, foi normalizada a potência média de forma que  $\sum_{j=1}^K \|\mathbf{H}_j\|^2 = KN_r$ , ou seja,  $\|\mathbf{H}_1\|^2 + \|\mathbf{H}_2\|^2 = 4$ . Esse processo foi repetido para um total de 12 realizações, cada uma com 700 amostras (50 ms) partindo de condições iniciais distintas. Destas, 2 foram separadas para treinamento e 10 para teste.

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cenário apresentado na seção anterior foi simulado para valores de  $n_{\text{RB}} = 7$  símbolos ( $t_{\text{RB}} = 0.5$  ms),  $T = 13$  amostras passadas e  $T_P = 7$  blocos, de forma que  $T_P t_{\text{RB}} \approx t_c$ , garantindo que ao menos um piloto é transmitido por intervalo de coerência.

Como referência de comparação de desempenho, foi simulada uma transmissão na qual um piloto é transmitido em todos os blocos de recurso para estimação de canal por LS, a uma taxa de  $1/n_{\text{RB}} \approx 14\%$ . Além disso, foi simulado o cenário no qual a estimativa por LS ocorre com a mesma taxa efetiva de transmissão de pilotos da RNN,  $1/T_P n_{\text{RB}} \approx 2\%$ .

A Fig. 1 ilustra o resultado das estimativas obtidas usando esses métodos em comparação com a RNN para a parte real de uma realização específica de um dos percursos. O

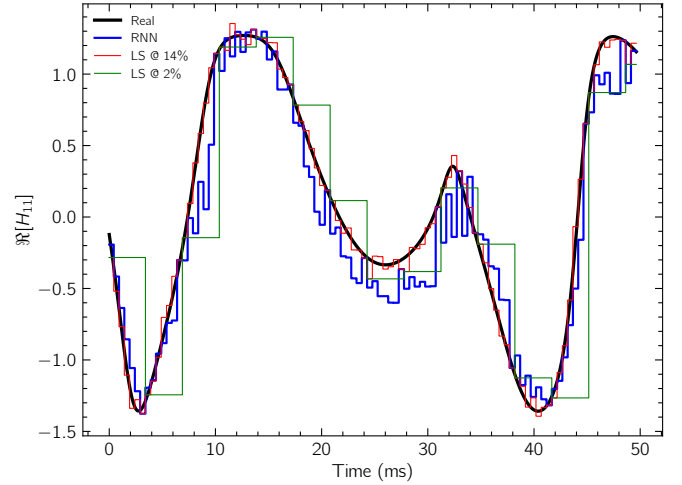


Fig. 1. Estimativas de canal obtidas por cada método para a parte real de um dos percursos simulados.

desempenho da RNN alcança erros quadráticos médios da ordem de  $-12$  dB, reduzindo significativamente o erro do LS com a mesma taxa de pilotos ( $-6$  dB) e se aproximando do LS completo ( $-24$  dB).

### IV. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou um modelo de RNN para estimação de canal MIMO multiusuário, e demonstrou que é possível utilizar heurísticas baseadas nos instantes de transmissão de pilotos para tornar o estimador mais independente.

Trabalhos futuros poderão verificar a validade dessa abordagem em cenários de dimensões diferentes (e.g., maior número de usuários e antenas na recepção). Além disso, desenvolver e testar o aprendizado de uma quantização vetorial das estimativas de canal serviria para otimizar o sistema no canal de downlink.

### AGRADECIMENTOS

Esse estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código 001.

### REFERENCES

- [1] G. J. Foschini, and M. J. Gans, “On Limits of Wireless Communications in a Fading Environment when Using Multiple Antennas,” *Wireless Personal Communications*, vol. 6, pp. 311–335, 1998.
- [2] T. Faghani, A. Shojaeifard, K.-K. Wong, and A. H. Aghvami, “Recurrent Neural Network Channel Estimation Using Measured Massive MIMO Data,” in 2020 IEEE 31st Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, London, United Kingdom: IEEE, Aug. 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/PIMRC48278.2020.9217192.
- [3] C. Chen, Z. Wang, Y. Mao, H. Wu, B. Bai, and G. Zhang, “TC-MIMONet: A Learning-based Transceiver for MIMO Systems with Temporal Correlations,” in 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference (VTC2021-Spring), Helsinki, Finland: IEEE, Apr. 2021, pp. 1–6. doi: 10.1109/VTC2021-Spring51267.2021.9448981.
- [4] M. Khani, M. Alizadeh, J. Hoydis, and P. Fleming, “Adaptive Neural Signal Detection for Massive MIMO,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 19, no. 8, pp. 5635–5648, Aug. 2020, doi: 10.1109/TWC.2020.2996144.
- [5] S. Jaeckel, L. Raschkowski, K. Borner, and L. Thiele, “QuaDRiGa: A 3-D Multi-Cell Channel Model With Time Evolution for Enabling Virtual Field Trials,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, pp. 3242–3256, 2014.

# Estimação de sinais cardíacos em um modelo animal pela técnica iECG

Angélica Quadros<sup>1\*</sup>, Jéssica Silva<sup>1</sup>, Ítalo Sandoval<sup>1</sup>, Rodrigo Luz<sup>1</sup>, Tainan Neves<sup>1</sup>, Vinicius Silva, Gabriel Costa<sup>1</sup>, Jimena Paredes<sup>1</sup>, Ilija Uzelac<sup>2</sup>, João Salinet<sup>1</sup>.

**Resumo**—Imagem eletrocardiográfica (iECG) é uma técnica não invasiva para reconstruir a atividade elétrica na superfície do coração a partir dos potenciais coletados no torso e as informações geométricas do torso e do coração. Esta técnica tem se mostrado de grande valor clínico para diagnosticar e guiar o tratamento de arritmias, como a fibrilação atrial. Utilizando coração de coelho, um *setup* experimental que induz eletricamente arritmias está sendo desenvolvido para estimar os sinais cardíacos pela técnica iECG.

**Palavras-chave**—imagem eletrocardiográfica, processamento de sinais, solução inversa.

## I. INTRODUÇÃO

A fibrilação atrial (FA) é uma arritmia cardíaca caracterizada por contrações irregulares e rápidas que têm origem nas aurículas do coração [1]. O diagnóstico dos mecanismos é realizado por procedimentos invasivos, que requerem a medição direta dos eletrogramas (EGMs) cardíacos no endocárdio das aurículas através de cateteres de mapeamento com múltiplos eletrodos. O alto custo e os riscos de complicações para os pacientes trazidos por tais procedimentos levaram ao desenvolvimento de métodos não invasivos, como a técnica de imagem eletrocardiográfica (iECG). O iECG permite uma caracterização global da atividade elétrica do coração, viabilizando a identificação das regiões que sustentam a FA, apoiando, portanto, a compreensão, o diagnóstico e o tratamento desta arritmia [2].

O iECG utiliza sinais eletrocardiográficos (ECG) registrados em vários pontos da superfície do tórax do corpo, em conjunto com as geometrias 3D do coração e tórax, para estimar (ou reconstruir) os EGMs do endocárdio ou epicárdio (rEGMs), projetando os biopotenciais em mapas bidimensionais e/ou tridimensionais [3]. Métodos de discretização e, em seguida, de regularização, possibilitam a obtenção da relação entre as propriedades geométricas e eletrofisiológicas do coração e do tórax, fornecendo o necessário para lidar com o denominado problema inverso da

eletrocardiografia, viabilizando a reconstrução dos sinais do epicárdio atrial (i.e rEGM) [2].

Este trabalho visa apresentar os resultados preliminares do iECG em um modelo animal para estudo da FA recentemente desenvolvido.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados que viabilizaram este estudo foram obtidos com o *setup* experimental instalado no Laboratório Experimental do Coração (HeartLab) na instituição hospedeira durante os experimentos realizados pela equipe nos dias 25/4 e 6/7/2023, os quais serão referidos aqui como experimentos 1 e 2, respectivamente. O *setup* (Fig. 1) consiste em um tanque-tórax com uma solução de sacarose contendo um coração de coelho, com indução de arritmia por estimulação elétrica programada. Os potenciais de superfície do tanque-tórax foram coletados a partir de 64 eletrodos, amostrados a 4 kHz. Durante os experimentos, foram gravados sinais que configuram ritmo sinusal e ritmos irregulares atriais, dos quais apenas os sinusais foram utilizados neste trabalho.

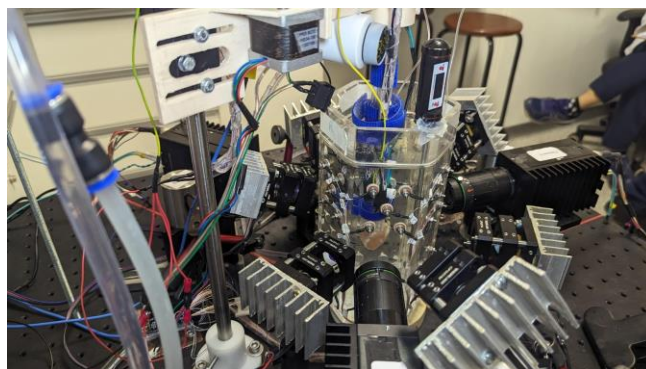


Fig.1 Coração de coelho imerso em solução condutora dentro do tanque-torso para aquisição de sinais elétricos junto com as câmeras para geração do 3D.

Na linguagem *Python*, foi desenvolvido pela equipe um código para gerar modelos 3D do tanque-tórax e, a partir das câmeras presentes no *setup*, do coração. Com tais geometrias, foi obtida a relação geométrica entre as superfícies 3D do coração e do tanque-tórax usando o método de elementos de contorno, a qual foi regularizada pelo método de *Tikhonov* de ordem zero, dando origem à matriz de transferência  $A_{TC}$  (Eq. 1).

A filtragem dos sinais de ECG coletados no experimento foi realizada através de técnicas bem estabelecidas na literatura (i.e filtro passa-banda 0,5-150 Hz e rejeita faixa 60 Hz). Em seguida, foi implementada a interpolação, calculada pela

Este estudo é financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo no.2018/25606-2. O protocolo de pesquisa foi avaliado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais e está de acordo com a legislação (CEUA n°. 3947230519).

\*angelica.drielly@ufabc.edu.br

<sup>1</sup>Universidade Federal do ABC (UFABC), Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS), HeartLab, São Bernardo do Campo, SP, Brasil.

<sup>2</sup>Georgia Institute of Technology, School of Physics, Atlanta, GA, United States.



minimização da norma do Laplaciano da malha, para, enfim, estimar os sinais nos vértices do tanque em que não há eletrodos. Os potenciais no coração  $\phi_C$  (mV) foram calculados usando a equação de Laplace dentro do volume do tanque-tórax a partir dos potenciais elétricos do tanque-tórax  $\phi_T$  (mV) e da matriz  $A_{TC}$ , conforme a relação expressa pela equação (1) abaixo [2].

$$\phi_T = A_{TC} \phi_C \quad (1)$$

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia proposta foi aplicada para cada um dos sinais coletados nos experimentos 1 e 2. Como em cada experimento foi utilizado um coração de coelho diferente, dois modelos 3D foram gerados (Fig. 2) permanecendo o mesmo tanque.

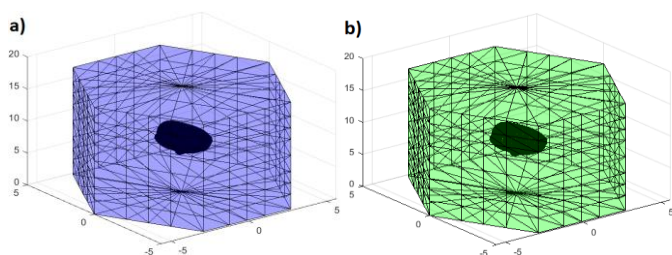


Fig. 2 Modelo 3D do coração dentro do tanque. a) experimento 1; b) experimento 2.

Os mapas de potenciais presentes na Fig. 3 exibem a estimação do sinal em 5.594 pontos do epicárdio, trazendo uma boa visualização da variação da atividade elétrica em cada região do coração.

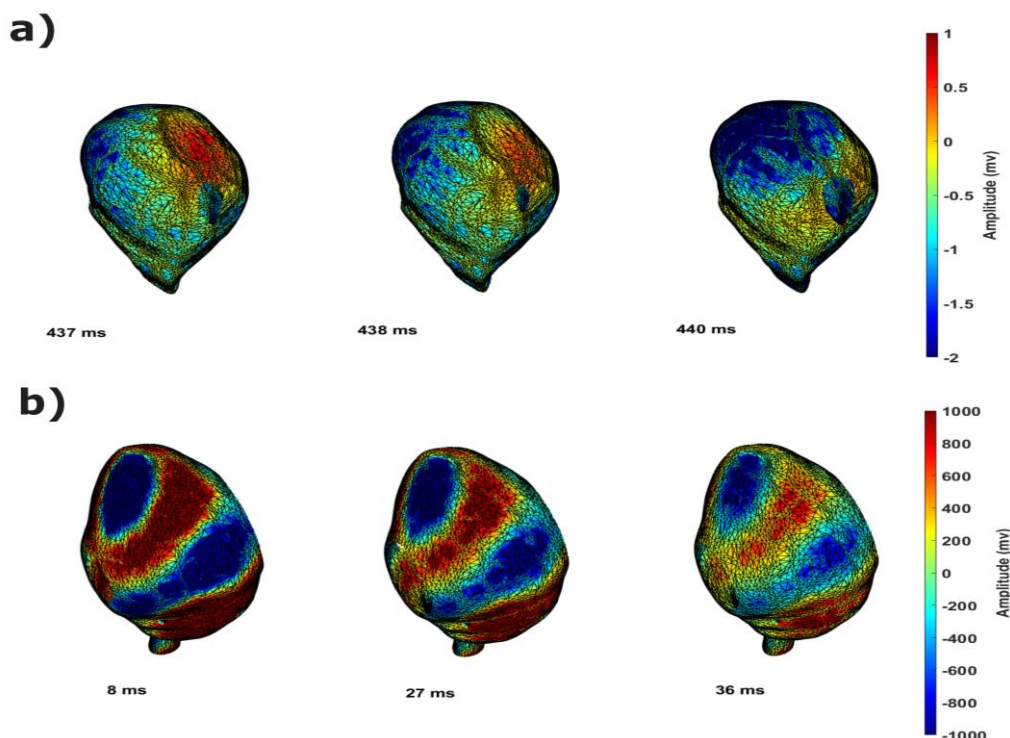


Fig. 3 Mapa de potenciais representado no modelo 3D construído; a) mapas referentes ao experimento 1 em três instantes de tempo diferentes; b) mapas referentes ao experimento 2 em três instantes de tempo diferentes.

### IV. CONCLUSÃO

O *setup* experimental em desenvolvimento tem viabilizado a coleta de dados necessária para que o iECG seja aplicado.

Como resultados preliminares, foram gerados os modelos 3D do tanque e do coração e os sinais sinusais foram reconstruídos e apresentados em forma de mapas de biopotenciais no modelo 3D construído.

Os mapas resultantes apresentam uma ótima visualização dos potenciais elétricos no coração em ritmo sinusal. No entanto, é importante reconhecer que tais resultados são preliminares e que a validação da precisão e da confiabilidade do método iECG são necessárias. Além disso, melhorias na resolução espacial e nas técnicas de processamento de sinais podem aprimorar a precisão das estimativas de potencial.

A equipe segue refinando os procedimentos experimentais e, dentre os próximos passos deste projeto, está a estimação dos sinais arritmicos para, com apoio de pesquisadores clínicos de várias instituições, analisar e validar os mapas gerados.

### REFERÊNCIAS

- [1] Li H, Song X, Liang Y, Bai X, Liu-Huo WS, Tang C, Chen W, Zhao L. Global, regional, and national burden of disease study of atrial fibrillation/flutter, 1990-2019: results from a global burden of disease study, 2019. BMC Public Health. 2022 Nov 3;22(1):2015.
- [2] Salinet J, Molero R, Schlindwein FS, Karel J, Rodrigo M, Rojo-Álvarez JL, Berenfeld O, Climent AM, Zenger B, Vanheusden F, Paredes JGS, MacLeod R, Atienza F, Guillem MS, Cluitmans M, Bonizzi P. Electrocardiographic Imaging for Atrial Fibrillation: A Perspective From Computer Models and Animal Experiments to Clinical Value. Front Physiol. 2021 Apr 30;12:653013.
- [3] Rudy, Y. (2013). Noninvasive electrocardiographic imaging (ecgi) of arrhythmogenic substrates in humans. Circulat. Res. 112, 863–874.

# Estratégias de Aprendizagem por Reforço Aplicadas à Detecção de Sites *Phishing*

Flavia Oliveira, Marcela Alves, and Hugo Kuribayashi

**Resumo**—Com o crescimento exponencial da *Internet* e a ampliação dos serviços *online*, os usuários enfrentam crescentes vulnerabilidades de segurança. O *Phishing*, uma técnica maliciosa em que *hackers* visam obter informações pessoais, representa uma ameaça significativa nesse cenário. Nesse contexto, a detecção eficiente de *Phishing* é crucial para salvaguardar a segurança dos usuários. Uma abordagem promissora é a utilização de Aprendizagem por Reforço (AR), que oferece potencial para mitigar ataques e proteger as informações sensíveis dos usuários. Este trabalho apresenta uma investigação de uso de algoritmos de AR aplicados a detecção de sites *Phishing* em um modelo combinado *ensemble*, cujos resultados indicam que o modelo *ensemble* consegue obter melhores resultados que aqueles obtidos individualmente por cada um dos modelos avaliados.

**Index Terms**—*Phishing*; Segurança da Informação; Detecção; Aprendizagem por Reforço.

## I. INTRODUÇÃO

Com o aumento significativo do uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), muitas atividades diárias são realizadas online, no entanto, esse crescimento também trouxe consigo contratempos não previstos, como os ataques de *Phishing*. Esses ataques visam coletar informações confidenciais, tanto pessoais quanto empresariais, como senhas, dados de cartão de crédito e informações de clientes, com o objetivo de cometer fraudes ou roubo de identidade [1].

De acordo com dados do *Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação* (CETIC.br), uma pesquisa realizada em 2020 revelou que 17% dos usuários de *Internet* no Brasil foram vítimas de *Phishing*. Isso corresponde a aproximadamente 22,8 milhões de pessoas afetadas. Além disso, 46% dos usuários afirmaram ter recebido mensagens de *e-mail* fraudulentas ou *spam*. Estes dados indicam que o *Phishing* é um dos principais tipos de incidente de segurança registrados no Brasil, representando 25,5% dos incidentes em 2020, ficando atrás apenas dos ataques *Distributed Denial of Service* (DDoS), que representaram 31,5% dos casos [2].

Estudos na literatura buscam investigar maneiras de mitigar ataques de *Phishing* e seus danos a usuários e organizações, explorando o estado da arte, taxonomias e tendências para melhorar a segurança [3]. Neste sentido, este trabalho investiga estratégias de detecção de sites *Phishing*, utilizando técnicas de Aprendizagem por Reforço (AR), em um ambiente de

experimentação, onde as bases de dados adquiridas poderão ser utilizadas para o treinamento de agentes de AR.

## II. METODOLOGIA

O método de experimentação deste estudo consistiu em três etapas. A primeira etapa envolveu a obtenção e pré-processamento dos dados relacionados a sites de *Phishing*. A segunda etapa contemplou o desenvolvimento de um ambiente de AR, onde foram aplicados algoritmos de AR destinados às tarefas de classificação dos sites *Phishing*. Por fim, a terceira etapa consistiu na avaliação dos algoritmos, através do uso de métricas de desempenho de classificação.

Este trabalho empregou como fonte de dados, a *Phishing Website Dataset* [4]. Esse conjunto de dados contém um total de 11.055 registros, dos quais 4.898 são sites de *Phishing* e 6.157 são sites legítimos. Embora os dados representem *Uniform Resource Locators* (URLs) de sites, essas URLs foram discretizadas em 30 atributos que fornecem detalhes técnicos de metadados no contexto de segurança da informação e cibernética. Apenas 9 dos 30 atributos foram utilizados nos processos de treinamento e teste dos algoritmos de AR. Estes foram selecionados com base na maior correlação com as classes das URLs.

Com relação aos atributos escolhidos temos: (1) *Prefix Suffix*: Representa quando há prefixos ou sufixos separados por traço (-) do nome de domínio; (2) *Having Sub Domain*: Atributo com características de abreviação de código de país, atrelado com abreviações acadêmicas; (3) *SSLfinal State*: Verifica o certificado atribuído ao *Hypertext Transfer Protocol Secure* (HTTPS), incluindo extensões do emissor do certificado confiável e sua idade; (4) *Request URL*: É a identificação através da URL de solicitação dos objetos externos contidos na página *Web*, se são carregados de outro domínio; (5) *URL of Anchor*: Refere-se a links que apontam para uma seção específica de um site *Web*, mas que podem redirecionar o usuário a um conteúdo ou site malicioso; (6) *Links in Tags*: Refere-se as tags utilizadas no código-fonte da página *Web*, visto que é comum que sites legítimos usem tags para possibilitar metadados sobre o documento *HyperText Markup Language* (HTML); (7) *Same-Origin Policy* (SFH): Caracterizada como duvidosas quando há *String* vazia ou "about:blank", pois as ações devem ser tomadas a partir de informações enviadas, ou seja, se o nome de domínio do SFH for diferente do nome de domínio da página *Web*, pode ser considerada uma página suspeita; (8) *Web Traffic*: Está relacionado com o cálculo de popularidade de um site, determinando o número de visitantes e o número de páginas

This work was supported by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES).

Flavia Oliveira, Marcela Alves, and Hugo Kuribayashi are with the Federal University of Southern and Southeastern of Pará, Marabá-PA, 68505-080 Brazil. e-mail: {flaviaunifesspa;marcela.alves;hugo}@unifesspa.edu.br.

visitadas; (9) *Google Index*: Tem como objetivo analisar se um *site* está no índice do *Google* ou não.

Este trabalho também contempla o desenvolvimento de um ambiente de experimentação AR distribuído e implementado com base na biblioteca *stable-baselines3* [5]. Neste ambiente customizado, os estados são representados por meio das características de uma dada URL, conforme a relação de atributos presentes na base dados, e o conjunto de ações foram representadas por 0 e 1, correspondendo às URLs *Phishing* e URLs legítimas, respectivamente, conforme [6]. Ainda em relação à implementação do ambiente de AR, adotaram-se os seguintes algoritmos de AR: Deep Q-Networks (DQN), *Advantage Actor Critic* (A2C) e *Proximal Policy Optimization* (PPO). Estes algoritmos foram selecionados dada à necessidade de suporte para ações discretas (*phishing* ou não *phishing*), onde apenas uma ação é escolhida em cada *timestep*.

Em relação a avaliação dos algoritmos de AR, em todos os casos realizam-se variações em alguns dos principais hiperparâmetros. Em particular, avaliou-se o efeito da variação do *learning rate* ( $\gamma$ ) e do número de neurônios utilizados nos algoritmos de AR. Com relação ao parâmetro  $\gamma$ , em experimentos independentes variou-se este hiperparâmetro entre os valores  $1 \cdot 10^{-4}$  e  $7 \cdot 10^{-4}$ . Em relação ao número de neurônios, adotou-se variações com 128 e 256 neurônios nas camadas de entrada e saída dos agentes de AR. Cabe destacar que o algoritmo DQN possui uma arquitetura neural única no formato [128, 128] (por exemplo), enquanto que os algoritmos A2C e PPO possuem duas redes neurais cada, uma para o *Actor Network* e outra para *Critic Network*.

Em relação as métricas de avaliação utilizadas neste trabalho, foram escolhidas as seguintes: (1) *Precisão*: Avalia a fração de instâncias classificadas corretas entre as classificadas como positivas; (2) *Recall*: Quantifica o número de previsões positivas corretas feitas de todas as previsões positivas que poderiam ter sido feitas; (3) *Acurácia*: Número total de previsões corretas dividido pelo número total de previsões feitas para um conjunto de dados; (4) *False Positive Rate* (FPR) e *False Negative Rate* (FNR): Probabilidade de ocorrências de falso positivos e falso negativos, respectivamente; (5) *F1-Score*: Média harmônica que fornece uma pontuação única que equilibra *Precisão* e *Recall* em uma única métrica.

Para a condução dos experimentos deste trabalho, adotou-se um esquema de validação cruzada por meio de *K-Fold* com  $K = 10$ . Adicionalmente, este trabalho empregou uma estratégia de *ensemble/cominação* de modelos, sem treinamento com estratégia de votação e maioria simples.

### III. RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir dos experimentos são sumarizados pela Tabela I. Um modelo efetivo e eficiente de detecção *Phishing* é esperado que tenha alta *Precisão*, *Recall*, *F1-Score* e *acurácia*, enquanto apresenta baixos FPR e FNR. Neste contexto, individualmente os modelo 2 e 8 são aqueles que apresentam os melhores valores de *F1-Score* e *acurácia*, de forma a destacar uma melhor aptidão do algoritmo DQN em relação aos demais. Adicionalmente, os modelos que utilizam o algoritmo A2C apresentam resultados próximos aqueles obtidos pelo DQN.

Tabela I  
MÉTRICAS DE DESEMPENHO DOS VÁRIOS CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO.

#	$\gamma$ /Modelo/Neur.	FPR	FNR	Precisão	Recall	F1	Acurácia
1	$1 \cdot 10^{-4}$ /DQN/128	8.06	13.39	89.4	86.61	87.97	89.6
2	$7 \cdot 10^{-4}$ /DQN/128	4.80	7.31	93.95	92.7	93.31	94.08
3	$1 \cdot 10^{-4}$ /A2C/128	5.72	9.67	93.23	90.34	91.76	92.88
4	$7 \cdot 10^{-4}$ /A2C/128	5.05	9.49	93.33	90.52	91.84	92.91
5	$1 \cdot 10^{-4}$ /PPO/128	4.92	28.30	92.67	71.71	80.63	84.85
6	$7 \cdot 10^{-4}$ /PPO/128	0.48	36.50	99.11	63.51	77.39	83.49
7	$1 \cdot 10^{-4}$ /DQN/256	8.50	10.39	89.24	89.62	89.38	90.68
8	$7 \cdot 10^{-4}$ /DQN/256	5.30	6.58	93.17	93.43	93.3	94.16
9	$1 \cdot 10^{-4}$ /A2C/256	4.66	9.68	94.04	90.33	92.14	93.11
10	$7 \cdot 10^{-4}$ /A2C/256	5.72	8.08	92.95	91.92	92.38	93.29
11	$1 \cdot 10^{-4}$ /PPO/256	<b>0.05</b>	39.30	<b>99.91</b>	60.7	75.48	82.89
12	$7 \cdot 10^{-4}$ /PPO/256	0.27	41.40	99.49	58.6	73.73	81.42
13	AR Ensemble	5.90	<b>5.63</b>	92.52	<b>94.36</b>	<b>93.42</b>	<b>94.20</b>

Por outro lado, todos os modelos que utilizam o algoritmo PPO apresentam interessantes níveis de FPR e *Precisão*, enquanto apresentam os piores resultados de *Recall* e FNR. Este comportamento indica que na maioria da vezes o PPO aponta o *site* como legítimo, quando na verdade frequentemente este é malicioso, dado o elevado índice de FNR. Porém, quando PPO informa que o *site* é malicioso, ele acerta em 99,49% das ocasiões, resultando nesses casos os piores valores de *F1-Score* e *acurácia*.

Ao observar os resultados obtidos a partir da aplicação do modelo *ensemble* combinado, observa-se que seus valores de FNR, *Recall*, *F1-Score* e *acurácia* são melhores que os obtidos nos modelos individuais. Esses resultados são consistentes com os observados na literatura, no qual os modelos *ensemble* combinam as forças e diminuem as fraquezas dos modelos individuais. Como resultado, é recomendável combinar diferentes algoritmos em um modelo de detecção de *Phishing* para obter uma solução eficaz e robusta.

### IV. CONCLUSÕES

Este trabalho abordou o uso de uma estratégia de classificação de *sites Phishing* baseada em AR. Embora técnicas de AR não sejam tradicionalmente exploradas em tarefas de classificação, o ambiente desenvolvido demonstrou ser promissor a aplicação destes algoritmos, o qual podem ser aprimorados em trabalhos futuros, por meio de estratégias *ensemble learning* (com treinamento) ou através da criação de um ambiente de AR centralizado.

### REFERÊNCIAS

- [1] A. Odeh, I. Keshta, and E. Abdelfattah, "Machine learning techniques for detection of website phishing: A review for promises and challenges," in *2021 IEEE 11th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC)*, 2021, pp. 0813–0818.
- [2] Cetic.br, "Indicadores TIC Provedores 2020," Disponível em: <https://stats.cert.br>.
- [3] M. Vijayalakshmi *et al.*, "Web phishing detection techniques: a survey on the state-of-the-art, taxonomy and future directions," *IET Networks*, vol. 9, no. 5, pp. 235–246, 2020.
- [4] Akash Kumar, "Phishing Website Dataset," Disponível em: <https://kaggle.com/datasets/akashkr/phishing-website-dataset>, 2022.
- [5] A. Raffin *et al.*, "Reliable reinforcement learning implementations," *Journal of Mach. Learning Research*, vol. 22, no. 268, pp. 1–8, 2021.
- [6] F. Oliveira, M. Alves, and H. Kuribayashi, "URL Phishing Detector," Disponível em: <https://github.com/hkuribayashi/PyRLLPhishing>.

# FlexPower: Atribuição de Potência Flexível para Redes Ópticas Elásticas Multi-Núcleo Considerando Limitações de Camada Física

Talles Magalhães, Fabricio R. L. Lobato, Gustavo Silva, Carlos Natalino, Antônio Jacob e João Costa

**Resumo**—Neste artigo, propõe-se um algoritmo de atribuição de potência flexível (FlexPower) para o problema de atribuição de potência, roteamento, espectro e núcleo, consciente de degradação (IA-PRSCA), que considera a relação sinal-ruído óptica (efeitos lineares e não lineares) e a diafonia internúcleo. Os resultados mostram que o FlexPower pode reduzir a probabilidade total de bloqueio em até 79%, em comparação com abordagens atuais, para a topologia de rede da National Deutsche Telekom com enlaces de fibra com 7 núcleos.

**Index Terms**—Redes ópticas elásticas multinúcleo, Atribuição de potência flexível, Diafonia internúcleo, Degradações lineares e não lineares, Relação sinal-ruído óptica

## I. INTRODUÇÃO

O tráfego global de dados aumentou significativamente nos últimos anos, impulsionado pelo aumento da popularização de tecnologias como o 5G e computação em nuvem. As redes ópticas elásticas multicore (MCF-EON) oferecem uma solução para atender à crescente demanda por capacidade e qualidade de transmissão (QoT) dessas novas tecnologias. As redes MCF-EON oferecem uma vantagem significativa em relação às redes tradicionais WDM, pois oferecem flexibilidade de parâmetros e aumento da capacidade de transmissão por meio de múltiplos núcleos em um único cabo de fibra óptica. [1].

O problema de atribuição de roteamento, espectro e núcleo, consciente de degradação (IA-RSCA) é um dos principais desafios em redes MCF-EON. Porém, ele não leva em consideração o impacto da potência de lançamento do sinal óptico na rede. Ao analisar métricas de QoT e os efeitos de camada física, nota-se que a potência de lançamento influencia na relação sinal-ruído óptica (OSNR), considerando a emissão espontânea do amplificador (ASE) [2] e a interferência não linear (NLI) [3]. A diafonia internúcleo (XT)[4], especificamente em MCF, é afetado pela potência de lançamento. Portanto, é necessário analisar esse impacto, evoluindo para o problema de atribuição de potência, roteamento, espectro e núcleo, consciente de degradação (IA-PRSCA).

Na literatura, existem soluções consolidadas a fim de determinar a potência de lançamento em redes EON, segue: i) Atribuição de potência constante (CPA), na qual a potência é um valor fixo para todas as conexões [5]. ii) Atribuição de densidade espectral de potência constante (CPSDA), onde

Talles Magalhães, Fabricio R. L. Lobato e João Costa estão afiliados à Universidade Federal do Pará, Pará, Brasil. *E-mail:* talles.magalhaes@itec.ufpa.br, frl@ufpa.br, jweyl@ufpa.br.

Gustavo Silva e Antônio Jacob está afiliado à Universidade Estadual do Maranhão, Maranhão, Brasil. *E-mail:* gustavosoares112@gmail.com, antonio.jacob@gmail.com.

Carlos Natalino está afiliado à Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden. *E-mail:* carlos.natalino@chalmers.se.

utiliza-se um valor de densidade espectral de potência fixo por subportadora óptica, variando a potência com o número de subportadoras [1]. iii) Atribuição de Potência Egoísta (EPA), que visa atribuir a potência máxima possível a fim de alcançar a maior OSNR, independentemente do estado atual da rede [5]. As soluções mais recentes e inovadoras consideram o uso de potências variáveis em redes EON, mas apenas para a fibra óptica mononúcleo [5]. Assim, torna-se relevante analisar e propor novas soluções de atribuição de potência variável em uma MCF-EON. Portanto, neste artigo, propõe-se um novo algoritmo de atribuição de potência flexível (FlexPower) para o problema IA-PRSCA, que leva em consideração a OSNR (ASE e NLI) e a XT em uma MCF-EON.

## II. ATRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA FLEXÍVEL- FLEXPPOWER

O algoritmo de atribuição de potência flexível (FlexPower) é uma solução proposta para o problema IA-PRSCA dinâmico (problema NP-completo). Para reduzir a complexidade computacional, o subproblema de atribuição de potência (P) é considerado nos dois subproblemas: roteamento (R) e alocação de núcleo e espectro de frequência (SCA). A Fig. 1 apresenta o fluxograma do algoritmo FlexPower. Seu objetivo é atribuir uma potência adequada, considerando a OSNR (ASE e NLI) e a diafonia internúcleo. Primeiramente, as informações topológicas da rede, a lista de potências candidatas e os parâmetros de camada física são inicializados. A cada chegada de uma requisição de conexão, o FlexPower propõe uma atribuição de potência dinâmica, considerando uma lista de potências candidatas, que são testadas em relação à OSNR. Inicialmente, no subproblema de roteamento, o algoritmo avalia a OSNR considerando apenas o efeito da ASE para garantir que pelo menos uma potência satisfaça os requisitos de OSNR do alcance do enlace. Em seguida, cada potência candidata é testada quanto à sua OSNR, também considerando as não linearidades da fibra. Entre as potências candidatas que são admissíveis na rede, considerando as condições anteriores, o algoritmo seleciona a potência mínima possível como solução final para o subproblema SCA.

## III. CONFIGURAÇÃO DAS SIMULAÇÕES E RESULTADOS

Para avaliar o desempenho do algoritmo FlexPower frente as estratégias EPA, CPA, CPSDA foi utilizado o simulador de eventos discretos *SIMROEL* [1] que considera a OSNR (ASE e NLI) e a XT. Considerou-se as taxas de transmissão: 48, 120, 240, 480 e 1200 Gb/s e os formatos de modulação (ML) 64, 32, 16, 8 e 4-QAM. A topologia utilizada foi a *National Deutsche Telekom* (DT) com enlaces na MCF-7 núcleos, cada núcleo com 320 slots, demais parâmetros considerados em [1].

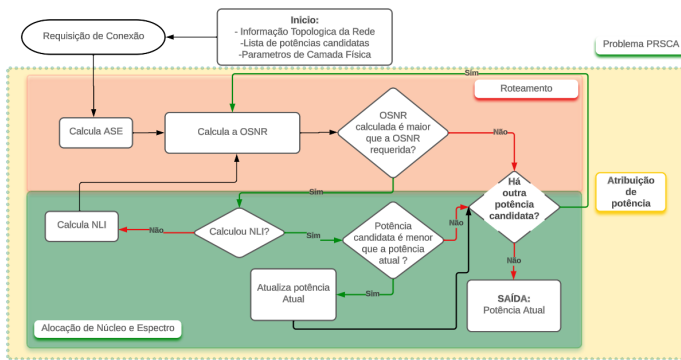


Figura 1. Fluxograma do Algoritmo FlexPower

As requisições chegam com distribuição de Poisson, tempo de duração exponencialmente distribuído, e origem e destino uniformemente distribuídos. A carga da rede é definida como  $\rho = \lambda/\mu$ . O desempenho é avaliado pela média da probabilidade de bloqueio (PB) em 10 simulações independentes (cada uma com  $10^5$  requisições) com um nível de confiança de 95%. Neste trabalho, considera-se a PB total como a soma da PB por recurso, OSNR e XT, nos resultados focaremos nas PB por OSNR e XT, pois são diretamente influenciadas pela potência.

Em todas as estratégias analisadas, foi considerado o algoritmo *k*-menores caminhos, com  $k = 3$ , para o roteamento e a heurística *random-fit* para SCA. O ML foi escolhido na ordem decrescente de eficiência espectral. Na potência de lançamento foi considerado: 0,45 mW para a CPA [5], 0,3 mW por subportadora para a CPSDA [1], e uma faixa de 0,05 mW até 1 mW variando de 0,2 mW para a EPA e o FlexPower.

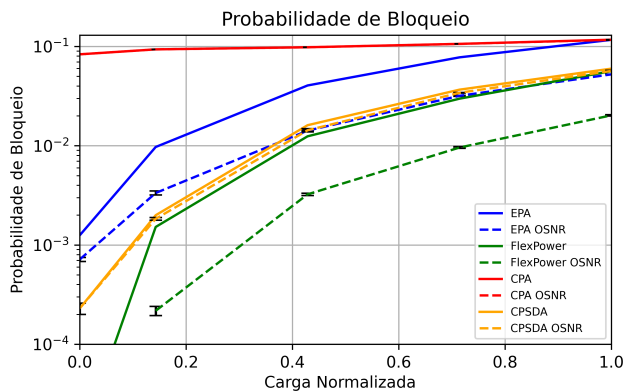


Figura 2. PBT e PB por OSNR para as estratégias alocação de potência

A Fig. 2 mostra os resultados das estratégias analisadas em relação a PBT (linha contínua) e PB por OSNR (linha tracejada). Nota-se que o FlexPower obteve, em média, redução de 15%, 60% e 79% na PBT em comparação com a CPSDA, EPA e CPA, respectivamente. Essa redução é resultante do FlexPower minimizar o impacto dos efeitos NLI na OSNR e na XT. De maneira mais específica, essa minimização da NLI é visualizada na PB por OSNR, onde o FlexPower obteve, em média, uma redução de 67%, 69% e 93% em comparação com a EPA, CPSDA e CPA, respectivamente. Observa-se também que os altos índices de PB por OSNR em relação a PBT

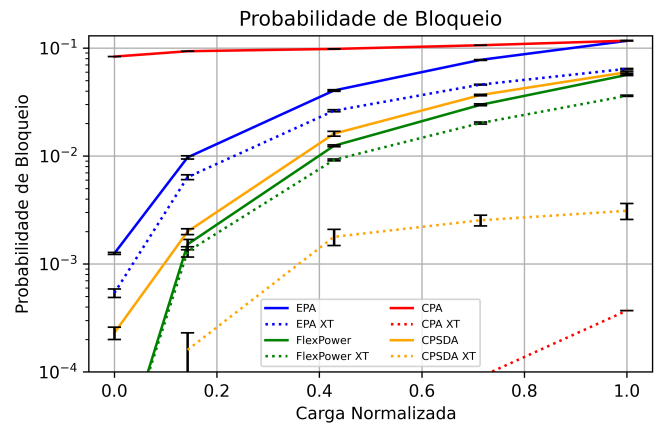


Figura 3. PBT e PB por XT para as estratégias alocação de potência

(linha contínua e tracejada sobrepostas) das estratégias CPA e CPSDA, afetam diretamente a PB por XT.

A Fig. 3 mostra os resultados das estratégias analisadas em relação a PBT (linha contínua) e XT (linha tracejada). Como mencionado anteriormente, a quase totalidade da PBT por PB por OSNR das estratégias CPA e CPSDA, resulta em uma diminuição na PB por XT. Isso é devido a metodologia do IA-PRSCA, primeiramente testar o bloqueio por OSNR no subproblema de roteamento, e posteriormente, o PB por XT no subproblema SCA. No entanto, O FlexPower obteve, em média, uma melhora de 53% na PB por XT quando comparada ao EPA, pois não há essa quase totalidade da PBT por PB por OSNR. Assim, demonstrando a efetividade do FlexPower na minimização do efeito da XT.

#### IV. CONCLUSÕES

A potência de lançamento é um novo parâmetro flexível a ser considerado em redes MCF-EON. Neste trabalho, foi proposto o FlexPower para o problema de roteamento e alocação de recursos em MCF-EON, levando em consideração a OSNR (ASE e NLI) e a XT. O desempenho do algoritmo proposto demonstra melhor desempenho quando comparado com soluções da literatura. Para trabalhos futuros, pretende-se desenvolver soluções inteligentes para o problema de roteamento e alocação de recursos em MCF-EON.

#### REFERÊNCIAS

- Lobato, Fabricio RL, et al. "Inter-core crosstalk aware greedy algorithm for spectrum and core assignment in space division multiplexed elastic optical networks." *Optical Switching and Networking* 33 (2019): 61-73.
- Tomkos, Ioannis, et al. "A tutorial on the flexible optical networking paradigm: State of the art, trends, and research challenges." *Proceedings of the IEEE* 102.9 (2014): 1317-1337.
- P. Johannisson and E. Agrell, "Modeling of nonlinear signal distortion in fiber-optic networks," *IEEE/OSA J. Lightw. Technol.*, vol. 32, no. 23, pp. 4544–4552, Dec. 2014.
- Hayashi, T., Taru, T., Shimakawa, O., Sasaki, T., e Sasaoka, E., "Design and fabrication of ultra-low crosstalk and low-loss multi core fiber," *Optics Express*, vol. 19, no. 17, pp. 16 576–16 592, Agosto 2011.
- VALE, V. A. C. D. (2021). Proposição de estratégias de atribuição da potência de lançamento considerando penalidades físicas em redes ópticas elásticas transparentes.



# Integrated Teaching of DSP, Telecommunications and Machine Learning using Jupyter Notebooks

Eduardo Guedes Filho, Francisco Müller and Aldebaro Klautau

**Abstract**—This paper discusses the use of problem-based learning for teaching digital signal processing, telecommunications and machine learning using Jupyter Notebook. A GitHub repository with the notebook developed for this work containing theory and computational examples about digital signal processing used in telecommunications is presented.

**Index Terms**—DSP, Jupyter Notebook, machine learning, telecommunications,

## I. INTRODUCTION

The telecommunications industry is demanding professionals with solid background on digital signal processing (DSP), communications and machine learning (ML). It is important for the academia to prepare students for such evolving work environment, but teaching these concepts is challenging due to the wide scope of these areas. One way to help students develop the necessary practical skills is to use an integrated problem-based learning (PBL) approach. PBS is a well-known student-centered approach where students work in groups to solve an open-ended problem [1]. The teacher then acts as a facilitator and guides students on the steps requires to solve the problem [2]. In this work, we describe and provide integrated tools for enabling students to solve real-world problems requiring the use of DSP, communications and ML.

The most prominent of the tools adopted in this work is the Jupyter Notebook [3]. Jupyter helps students to connect mathematical concepts and practical implementations in a single unified framework. These notebooks allow the creation and sharing of computational documents where one can present the theoretical aspects together with interactive computational examples, without any interruptions in the learning process. There are already works using Jupyter Notebooks for teaching DSL and communications [4], while others deal with ML [5], [6]. To the best of the author’s knowledge, this is the first work focusing on Jupyter-based interactive material integrating the three areas: DSP, telecommunications and ML. The material developed by the authors is publicly shared on a GitHub repository.<sup>1</sup>

The paper is organized as followed. Section II presents a brief explanation on the proposed framework, including the software used. In Section III, a brief description of some

Jupyter notebooks developed by the authors is provided. Final thoughts are included in Section IV.

## II. PROPOSED APPROACH

We propose the use of Jupyter Notebook with the Python programming language as the foundation of our integrated teaching framework. Jupyter Notebooks are a document format which integrates computer code and natural language, allowing a program to be run in blocks and be modified by the reader [7]. One of advantages of choosing the Python language is the ability to use open source libraries such as SciPy, which is used for signal processing in our proposed framework. Other tools such as TensorFlow, Keras and SigMF are also employed, as per Table I.

TABLE I  
ADOPTED PYTHON PROJECTS USED WITH THE JUPYTER NOTEBOOKS.

Name	Application	Reference
SciPy Signal	Signal generation and processing	[8]
scikit-learn	Machine learning algorithms	[9]
SigMF	Format to store signals	[10]
Keras	High-level deep learning	[11]
TensorFlow	Low-level deep learning	[12]

## III. CASES STUDIES

In this section, we briefly describe some of the implemented Jupyter notebooks. The first one regards sampling, bringing examples of perfect reconstruction with sinc functions. This process is fundamental for digital-to-analog conversion (DAC), but it is not easy for students to grasp how it works and why the samples lead to a unique reconstructed signal.

Fig. 1 shows the sinc reconstruction from three samples of a discrete-time signal  $x[n]$ , represented as a sampled signal  $x_s(t)$  using Dirac functions (or impulses). The reconstructed, continuous, signal  $x(t)$  is also shown, together with the sinc parcels corresponding to each impulse in  $x_s(t)$ . Using Jupyter, the students are invited to change the sample values in  $x[n]$  and observe why a unique signal  $x(t)$  can represent these samples, in case  $x(t)$  was obtained by a process that obeyed the *sampling theorem*. Other signals, which have samples coinciding with the ones in  $x[n]$  are also depicted, but the student can realize that such “alternative” representations do not comply with the sampling theorem.

Besides, basic concepts of DSP, communications and ML, the developed notebooks also help teaching advanced algorithms using real world data. The next paragraphs describe a notebook that is based on a measured wireless signal

Eduardo Guedes Filho, Francisco Müller and Aldebaro Klautau are with LASSE - Telecommunications, Automation and Electronics Research and Development Center, Belém-PA, Brazil. E-mails: eduardo.filho@itec.ufpa.br, muller@ufpa.br, aldebaro@ufpa.br. This work was supported by SAMURAI project (FAPESP grant #20/05127-2), and CNPq-Brasil (grant 405111/2021-5).

<sup>1</sup>[https://github.com/EduardoGFilho/DSP\\_Jupyter\\_Notebooks](https://github.com/EduardoGFilho/DSP_Jupyter_Notebooks)

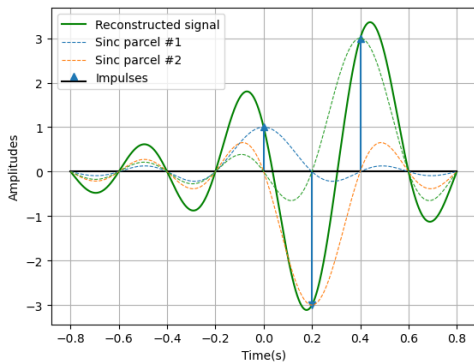


Fig. 1. Figure illustrates every parcel in the sinc reconstruction of a signal.

dataset for LTE (long term evolution) communication systems described in [13].

ML has been applied to many telecommunications problems, but many think it is not mature to be used in practice. One promising application is carrier frequency offset (CFO) estimation [14]. Communications systems using OFDM (orthogonal frequency domain multiplexing) modulation are particularly sensitive to frequency offset. The goal in this notebook is to compare CFO estimation using classic correlation-based algorithms with alternatives based on deep learning.

For instance, using a measured LTE signal, Fig. 2 shows the correlation calculated for seven consecutive OFDM symbols which can be used to calculate the estimated CFO  $\hat{\delta}$  with:

$$\hat{\delta} = \frac{1}{2\pi} \arg \left( \frac{1}{L_{cp}} \sum_{n=0}^{L_{cp}-1} x[n]^* x[n+N] \right),$$

where  $L_{cp}$  is the cyclic-prefix length,  $N$  is the FFT (fast fourier transform) resolution, and  $x[n]$  is the received LTE signal. The peaks in Fig. 2 are due to the periodicity added by the cyclic prefix used in OFDM. The students are then invited to interpret such results and estimate the CFO. After building training, test and validation sets, the students can use scikit-learn and Keras to design and evaluate neural networks applied to CFO estimation.

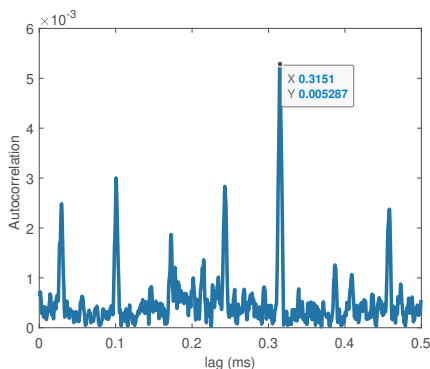


Fig. 2. Autocorrelation of measured LTE signal for CFO estimation.

The notebooks are organized by introducing DSP concepts such as sampling, reconstruction, and correlation, followed

by applications that combine telecommunications and ML. For instance, another notebook presents the problem statement of compressing feature maps from neural networks for applications on embedded systems and Internet-of-Things devices [15].




#### IV. CONCLUSIONS

PBL requires good laboratory projects for students to learn fundamental practical skills. This paper presented an approach for developing such interdisciplinary projects using Jupyter and related tools. The use cases shown in this work are shared in a public GitHub repository, and will be continuously expanded for use in graduate and undergraduate courses.

#### REFERENCES

- [1] L. Nilson, *Teaching at Its Best: A Research-Based Resource for College Instructors*. Jossey-Bass higher and adult education series, Wiley, 2016.
- [2] A. Kolmos and E. de Graaff, *Problem-Based and Project-Based Learning in Engineering Education: Merging Models*, pp. 141–161. United Kingdom: Cambridge University Press, Feb. 2014.
- [3] T. Kluyver, B. Ragan-Kelley, F. Pérez, B. Granger, M. Bussonnier, J. Frederic, K. Kelley, J. Hamrick, J. Grout, S. Corlay, P. Ivanov, D. Avila, S. Abdalla, and C. Willing, “Jupyter Notebooks – a publishing format for reproducible computational workflows,” in *Positioning and Power in Academic Publishing: Players, Agents and Agendas* (F. Loizides and B. Schmidt, eds.), pp. 87 – 90, IOS Press, 2016.
- [4] M. Wickert, “Signal Processing and Communications: Teaching and Research Using IPython Notebook,” in *Proc. of the 14th python in science conf.(scipy)*, 2015.
- [5] Y. Fleischer, R. Biehler, and C. Schulte, “Teaching and learning data-driven machine learning with educationally Designed Jupyter Notebooks,” *Statistics Education Research Journal*, vol. 21, no. 2, pp. 7–7, 2022.
- [6] R. Biehler and Y. Fleischer, “Introducing students to machine learning with decision trees using CODAP and Jupyter Notebooks,” *Teaching Statistics*, vol. 43, pp. S133–S142, 2021.
- [7] J. F. Pimentel, L. Murta, V. Braganholo, and J. Freire, “A Large-Scale Study About Quality and Reproducibility of Jupyter Notebooks,” in *2019 IEEE/ACM 16th International Conference on Mining Software Repositories (MSR)*, pp. 507–517, 2019.
- [8] SciPy, “Signal processing (scipy.signal).” <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/signal.html>, 2023. Accessed: 08.03.2023.
- [9] scikit-learn developers, “scikit-learn: Machine Learning in Python.” <https://scikit-learn.org/stable/index.html>, 2023. Accessed: 08.03.2023.
- [10] SigMF, “Signal Metadata Format (SigMF).” <https://github.com/sigmf/SigMF>, 2023. Accessed: 08.03.2023.
- [11] F. Chollet *et al.*, “Keras.” <https://keras.io>, 2015. Accessed: 08.03.2023.
- [12] M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G. S. Corrado, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, I. Goodfellow, A. Harp, G. Irving, M. Isard, Y. Jia, R. Jozefowicz, L. Kaiser, M. Kudlur, J. Levenberg, D. Mané, R. Monga, S. Moore, D. Murray, C. Olah, M. Schuster, J. Shlens, B. Steiner, I. Sutskever, K. Talwar, P. Tucker, V. Vanhoucke, V. Vasudevan, F. Viégas, O. Vinyals, P. Warden, M. Wattemberg, M. Wicke, Y. Yu, and X. Zheng, “TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems,” 2015. Software available from tensorflow.org.
- [13] S. J. Maeng, O. Ozdemir, İ. Güvenç, M. Sichitiu, R. Dutta, and M. Mushi, “AERIQ: SDR-Based LTE I/Q Measurement and Analysis Framework for Air-to-Ground Propagation Modeling,” in *2023 IEEE Aerospace Conference*, pp. 1–11, IEEE, 2023.
- [14] Z. Wang, S. Wei, L. Zou, F. Liao, W. Lang, and Y. Li, “Deep-Learning-Based Carrier Frequency Offset Estimation and Its Cross-Evaluation in Multiple-Channel Models,” *Information*, vol. 14, no. 2, p. 98, 2023.
- [15] Brito, Flávio and Silva, Lucas and Ramalho, Leonardo and Lins, Silvia and Linder, Neiva and Klautau, Aldebaro, “Compression of activation signals from split deep neural network,” in *2022 IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, pp. 1–6, 2022.

# Interference Mitigation for Cognitive Radio Femtocells in Heterogeneous Mobile Networks

Jussif J. Abularach Arnez , Caio Bezerra de Souza , Walimir Acioli e Silva 

**Abstract**—This article presents the results of a 4G Long-Term Evolution (LTE) Femtocell that has Cognitive Radio (CR) capabilities in order to mitigate the interference scenario in a heterogeneous mobile network. The simulations were done using the Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Tool (SEAMCAT) simulation software. The simulation scenario considers different frequency channels at 700 MHz as well as different power transmission levels of the Femtocell. Additionally, the scenario takes into account an indoor and outdoor propagation environment. The results show that when the Femtocell uses Cognitive Radio technology, there is a reduction of the cross-tier interference for different digital modulation schemes in a heterogeneous network. Moreover, the probability of interference  $P(i)$  of the CR device to interfere with the mobile network was analyzed for several separation distances.

**Index Terms**—Cognitive Radio, Femtocell, Heterogeneous Mobile Network

## I. INTRODUCTION

Cognitive Radio (CR) technology [1] refers to the ability to sense the propagation communication channel, detect the presence of occupied frequency channels and take decisions to adjust its parameters such as the power transmission levels to optimize the usage of the radio spectrum resource. Therefore, CR ensures the service while sharing the electromagnetic spectrum radio with licensed users without interfering with it. An important parameter in CR is the time interval that the CR device needs to set in order to sense and assess the channel of interest and decide whether or not the channel is occupied or not.

A network with nomadic subscribers, as in the case of cellular mobile networks, corresponds to the development of structures typically in the form of Femtocells. Consequently, it turns Femtocells as an alternative to improve the wireless links which objective is to do that the transmitter and receiver are as close to one another, thus creating the benefit of the links through high-speed modulation schemes allowing a much better transmission rate. Therefore, the usage of Femtocell might be a solution to improve the coverage since it spreads the coverage range and capacity of the main cellular communication system by enabling spectrum reuse in indoor and outdoor coverage. The concept of a heterogeneous network is related to the coexistence scenario between the main cellular communication system (macrocell) and the Femtocell which might be located in adjacent channels or close to the macrocell coverage area.

In [2], heterogeneous networks were evaluated considering Femto and Pico cells to create a network of Multi-Tier

(M-Tier) for enhancing the coverage and throughput in 4G LTE network. The authors in [3] develop an experimental scenario to validate a coexistence scenario considering real-life conditions. Sarfo et al in [4] evaluate the challenges of offloading data traffic of the networks in Wi-Fi and Femto networks and their coexistence issues with each other and other networks. In [5], the authors evaluate the coexistence scenario of a heterogeneous network utilizing a constant value of the transmission power level of the Femtocell and in [6], a digital TV scenario is evaluated. Based on these approaches, the main objective of this work is to deploy Femtocells with Cognitive Radio capabilities considering different separation distances and transmission power levels to mitigate the interference scenario in a heterogeneous mobile network. The simulations were based using the Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Tool (SEAMCAT) tool at different frequency channels as well as considering typical power transmission levels of the Femtocell, which varies from 11 dBm to 20 dBm. Additionally, the simulation scenario considers diverse separation distances between the macrocell and the Femtocell. The results show that when the Femtocell uses Cognitive Radio technology and various digital modulation schemes, there is a reduction of the cross-tier interference in a heterogeneous network that results in a more efficient usage of the spectrum radio.

## II. METHODOLOGY

SEAMCAT [7] is a statistical simulation model that is based on Monte Carlo analysis to assess the interference scenarios between several radio communication systems. The SEAMCAT tool can also be used for spectrum sensing and Cognitive Radio as explained in [8], where the interfering devices try to detect the presence of protected services transmitting in each of the available channels. Spectrum sensing essentially involves conducting a measurement within a candidate channel to determine whether any protected service is present and transmitting [8]. When a channel is determined to be vacant, sensing is typically applied to adjacent channels to identify what constraints there might be on transmission power. To get the most reliable results, SEAMCAT simulation scenarios were assessed assuming the generation of 50,000 events that may assure the reliability of the probability of interference ( $P(i)$ ). The simulation scenario considered the evaluation of the  $P(i)$  generated by the Femtocell to the mobile network. The Femtocell is located at the UHF band and various transmission power levels were set, which vary from 11 dBm to 20 dBm. In this context, two scenarios are evaluated: when the Femtocell does not use CR technology and when the Femtocell does. The main

Jussif J. Abularach Arnez, Sidia Institute of Science and Technology, Manaus-AM, e-mail: jussif.arnez@sidia.com; Caio B. Bezerra De Souza, Sidia Institute of Science and Technology, Manaus-AM, e-mail: caio.souza@sidia.com; Walimir Acioli e Silva, Sidia Institute of Science and Technology, Manaus-AM, e-mail: walimir.silva@sidia.com

parameters used in the simulation scenarios are described in Table I and Table II. For the Cognitive Radio scenario, it was considered a 10% of the probability of false alarm  $P(f)$  and a detection threshold of -114dBm that is capable of sensing the digital TV signal, the wireless microphone signals and the microwave signals.  $P(f)$  refers to the probability of the spectrum sensing algorithm detecting the frequency channel as occupied when it is vacant.

Table I: Macrocell Parameters

Parameter	Value
Frequency	700 MHz
Transmission Power	46 dBm
Bandwidth	10 MHz
Digital Modulation Schemes	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Coverage	9km
Base station height	30m.

Table II: Femtocell Parameters

Parameter	Value
Frequency	695 to 715 MHz
Transmission Power	20, 17, 14, 11 dBm
Bandwidth	10 MHz
Digital Modulation Schemes	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
Femtocell height	3m.
Separation Distance	10m,30m,50m,120m

### III. RESULTS

For each simulation, it was computed the interference between systems in adjacent channels, then the results were compared when the Femtocell uses the Cognitive Radio technology and when it does not. Fig. 1 shows the probability of interference  $P(i)$  for several separation distances for the aforementioned scenarios. The results analyze the unwanted emissions or spurious and out-of-band emissions of the interfering transmitter i.e. Femtocell, which is measured by the ACLR parameter [7]) falling within the victim's receiver bandwidth i.e. the mobile user. As we can observe, higher  $P(i)$  values are obtained when the Femtocell does not use Cognitive Radio technology. In this context, in a 10m separation distance using QPSK 1/8 and 64QAM 4/5 digital modulations schemes there are  $P(i) = 0.35$  and  $P(i) = 0.44$ , respectively, to interfere with the macrocell system. For the Cognitive Radio scenario, on the other hand, lower  $P(i)$  values are obtained,  $P(i) = 0.2$  and  $P(i) = 0.15$  for QPSK 1/8 and 64QAM 4/5, respectively. As expected, the higher the separation distance between the interfering and the victim systems, the lower the  $P(i)$  is. Moreover, better results were obtained when CR was used since interference mitigation was done for a heterogeneous mobile network.

### IV. CONCLUSION

This article presented the results of a 4G LTE Femtocell that has Cognitive Radio (CR) capabilities to mitigate the interference scenario in a heterogeneous mobile network. The simulations were done using SEAMCAT simulation software using different power transmission levels of a Femtocell. As shown in Fig. 1, the results show that when a Femtocell uses CR technology, a higher reduction of the cross-tier interference is obtained in comparison to when a Femtocell does not apply CR. For the lower separation distance and

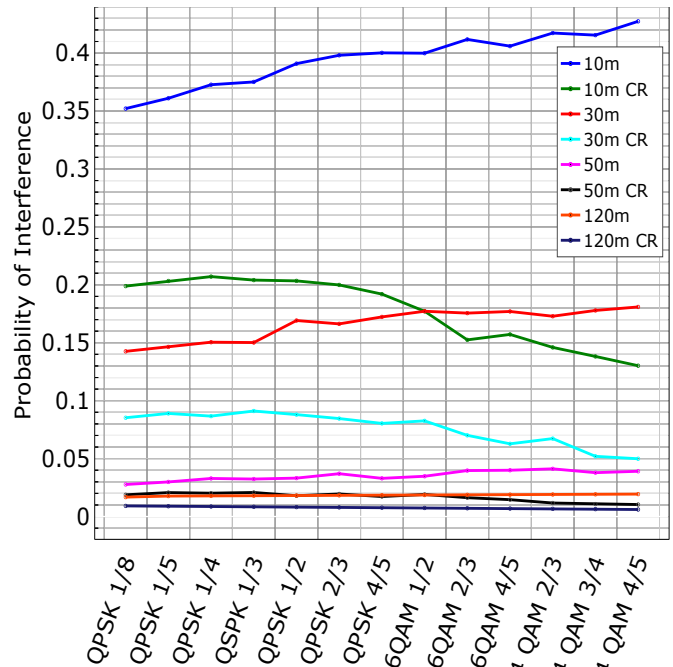


Figure 1: Probability of interference in several separation distances and digital modulation schemes

using a CR Femtocell, there are reductions of 15% and 29% of  $P(i)$  values for QPSK 1/8 and 64QAM 4/5 digital modulations, respectively. In contrast, when CR is not used, the highest  $P(i)$  was obtained for 10m separation distance and a 64 QAM 4/5 digital modulation.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was presented as part of the results of the Project: Model 5G, executed by the Institute of Science and Technology - SIDIA, in partnership with Samsung Eletrônica da Amazônia LTDA, according to Informatics Law n.8387/91.”and Art. 39 of Decree 10.521/2020.

### REFERENCES

- [1] J. Mitola, “Cognitive radio,” Ph.D. dissertation, Institutionen för teleinformatik, 2000.
- [2] M. Rekha and M. Bhuvanewari, “Cross-tier interference mitigation in 3d hetnets for lte and wi-fi access.” *Intelligent Automation & Soft Computing*, vol. 35, no. 1, 2023.
- [3] O. Font-Bach, N. Bartzoudis, A. Pascual-Iserte, M. Payaró, L. Blanco, D. López Bueno, and M. Molina, “Interference management in lte-based hetnets: a practical approach,” *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 26, no. 2, pp. 195–215, 2015.
- [4] K. Sarfo and S. Lv, “Challenges in wi-fi and femto offloading and coexistence issues,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 507, no. 1. IOP Publishing, 2019, p. 012025.
- [5] J. J. A. Arnez, L. da Silva Mello, and C. Rodriguez, “Simulation of lte femtocell interference scenarios for cognitive radio implementations,” in *2013 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave & Optoelectronics Conference (IMOC)*. IEEE, 2013, pp. 1–5.
- [6] J. J. A. Arnez, L. da Silva Mello, R. R. Carlos, and P. G. Castellanos, “Lte femtocells interference scenario and coexistence with the brazilian digital broadcast system,” in *2013 IFIP Wireless Days (WD)*. IEEE, 2013, pp. 1–4.
- [7] E. C. O. (ECO), “Quick start in seamcat,” 2020. [Online]. Available: <https://ecowiki.atlassian.net/wiki/spaces/SH/pages/493875/Quick+Start+in+SEAMCAT>
- [8] —, “Simulating spectrum sensing,” 2020. [Online]. Available: <https://ecowiki.atlassian.net/wiki/spaces/SH/pages/494327/6.2+Simulating+spectrum+sensing>



# ISP 5G para Atendimento Remoto e Monitoramento Ambiental no Brasil

Eduardo Moreno e Paulo Cardieri \*

**Abstract:** *The deployment of 5G networks has advanced rapidly, bringing many opportunities with a new standard of services and connectivity. In Brazil, this advance in the deployment of 5G networks has occurred almost exclusively in the large mobile telecommunications operators due to their access to the frequencies and resources necessary to implement these networks. The country has a significant presence of small and medium providers (ISPs) in most remote locations, and they are mainly responsible for connections in distant places. However, these providers need more access to the resources necessary to deploy 5G networks. This work brings proposals to enable ISPs to incorporate resources from 5G networks and thus be able to provide services in remote locations, including environmental monitoring.*

**Keywords —** *5G, ISPs, Network Sharing, RAN Sharing, Neutral Network, Micro Operators, IaaS, WaaS, PaaS, SDN, NFV, Digital Platforms, Business Model, Environmental Monitoring.*

## I. INTRODUÇÃO

Os sistemas celulares têm crescido em importância econômica e social, a cada nova geração tecnológica mais recursos técnicos e possibilidades de serviços são incorporados. Atualmente estamos assistindo à implantação da quinta geração de sistemas celulares (5G) que traz avanços ainda mais relevantes que podem ser considerados disruptivos, especialmente por incorporarem novas interfaces áreas, que tratarão as comunicações MTC (*Machine Type Communication*) de forma especializada.

No Brasil, em função de sua dimensão territorial, limitação de infraestrutura e disparidades socioeconômicas regionais, o atendimento com serviços de telecomunicações às regiões mais remotas é um desafio que foi agravado com as dificuldades financeiras da provedora de serviços públicos de telecomunicações incumbente na maior parte do país (Oi). Parte relevante deste atendimento tem sido realizado por pequenos e médios provedores, presentes no país em grande número, cerca de 20.000 [1,2], também conhecidas como ISPs (*Internet Service Providers*) que passaram a atender a praticamente todos os municípios brasileiros, contemplando boa parte das demandas por conexão fixa à internet, e o conjunto destas empresas detém 52,1% (abril/23) do *Market Share* deste serviço no país [1,2].

Este trabalho descreve e propõe, dentro do cenário de prestação de serviços de telecomunicações no Brasil, formas de acesso aos recursos necessários para a operação 5G por ISPs. Considera a utilização de novos modelos, tecnologias e estratégias para a operação de recursos virtualizados e compartilhados, permitindo diferentes modelos de negócios e operações, com as facilidades trazidas por recursos como WaaS (*Wireless Infrastructure as a Service*) e PaaS (*Platform as a Service*). Também propõe a utilização de redes móveis neutras, com aplicação viabilizada por recursos das novas tecnologias, com o objetivo de viabilizar os negócios e operações destas prestadoras com as tecnologias 5G. A utilização destes recursos técnicos juntamente com novos modelos de utilização de infraestrutura tem o potencial de dar

respostas às várias necessidades de conexão presentes no mercado brasileiro, e aproveitar de algumas de suas características, como a presença estabelecida dos ISPs, e de novos provedores focados em acesso *wireless* e MTC, que com a flexibilidade própria de empresas de menor porte, com sua agilidade, foco e conhecimento nos mercados onde atuam, com informações sobre as características e necessidades destes mercados, têm o potencial de realizar grande contribuição para melhorar o acesso aos serviços de telecomunicações, promovendo a interiorização, inclusão digital e apoiando o desenvolvimento em vários mercados verticais regionais, incluindo os localizados nas áreas mais distantes, permitindo serviços como o monitoramento ambiental, que é especialmente importante em áreas remotas, onde muitas vezes, apenas os pequenos provedores e sistemas via satélite estão presentes.

## II. MODELOS E RECURSOS TÉCNICOS PARA COMPARTILHAMENTO DE REDE

Novos modelos de operação de rede móvel têm sido utilizados, permitindo o acesso de novos entrantes, suportados por redes de terceiros, entre eles podemos citar o modelo de Rede Neutra, que separa a operação da rede (Neutra) do atendimento aos clientes finais, permitindo que uma empresa que não possua rede contrate seus recursos de outra empresa especializada, no Brasil temos a Winity como exemplo de Rede Neutra Móvel, a V.Tal e Fibrasil como exemplos de Redes Neutras fixa (fibra). Alternativamente o modelo de MVNO (*Mobile Virtual Network Operator*), onde uma empresa presta os serviços móveis através da rede de outra operadora, comprando o tráfego da empresa detentora da rede.

Existe uma tendência de modernização das técnicas de compartilhamento, com o uso de plataformas digitais e recursos virtualizados, com o uso de tecnologias SDN/NFV (*Software Defined Network/Network Function Virtualization*), e tecnologias de processamento e armazenamento em nuvem.

Uma das novas técnicas de compartilhamento para redes sem fio é a WaaS [3], onde diversas operadoras podem compartilhar uma mesma infraestrutura sem fio via rede virtualizada.

Esta estratégia se vale de recursos da rede virtualizada, com o desacoplamento do plano de dados e de controle, permitindo o desenvolvimento de funcionalidades na rede virtualizada, assim pode-se maximizar a utilização de diversos recursos: espectro, infraestrutura, transmissão, sistemas, plataformas, equipamentos, permitindo convergência de diversas redes [3]. Com uma arquitetura definida por *software*, diversos clientes, incluindo prestadoras diversas, podem compartilhar a mesma infraestrutura, maximizando o aproveitamento destes recursos. Com isto, novos modelos de operação, para a prestação de diversos serviços em várias verticais poderão ser viabilizadas para várias empresas, incluindo ISPs, permitindo o surgimento de novos modelos de negócios.

Um avanço importante nas técnicas e estratégias de compartilhamento é a utilização de plataformas digitais para a

\* DECOM - FEEC- UNICAMP, Campinas – SP, Brasil, emails: [moreno@decom.fee.unicamp.br](mailto:moreno@decom.fee.unicamp.br), [cardieri@decom.fee.unicamp.br](mailto:cardieri@decom.fee.unicamp.br)



prestação de serviços no modelo PaaS, que consiste em um ambiente baseado em nuvem para suportar o ciclo de vida de um produto ou serviço, desde seu desenvolvimento até sua operação [4,5]. A combinação das redes 5G com tecnologias SDN/NFV, computação em nuvem, através de plataformas digitais especializadas pode potencializar o desenvolvimento de aplicações em diferentes infraestruturas, com virtualização, orquestração e controle, possibilitando o desenvolvimento de serviços e aplicações, com participações de grupos de desenvolvimento, operação, vendedores de equipamentos e sistemas, integradores em diversas verticais [4,5].

### III. PROPOSTAS PARA VIABILIZAR A UTILIZAÇÃO DE RECURSOS 5G POR ISPs USANDO NOVOS MODELOS E TÉCNICAS

A utilização das novas técnicas apresentadas permitirá que empresas menores, menos capitalizadas, como os ISPs, tenham acesso a recursos compartilhados que permitirão a sua operação wireless, e o desenvolvimento de vários novos serviços para as mais remotas localidades do país. Apresentaremos propostas aplicáveis ao cenário brasileiro.

Na Fig. 1 apresentamos a proposta que conecta recursos fornecidos via PaaS, contendo suporte de Provedores de recursos para operações 4G e 5G, Provedores de Redes Neutras, conexão de MNOs (*Mobile Network Operator*), recursos de Provedores de Serviços de *Data Center*, Provedores de Tecnologia (fornecedores), Provedores de Infraestrutura, OTTs (*Over The Top*), Provedores de Conteúdo, Desenvolvedores de Aplicações, Plataforma BaaS (*Business as a Service*), com recursos para Desenvolvimento Operacional e Sistemas de Monitoramento Ambiental. Tudo conectado a várias ISPs 5G, submetidas a regras de Regulação (ANATEL, administração pública), com apoio de Políticas Públicas, incluindo aquelas de incentivos às questões ambientais e inclusão digital em localidades remotas, espectro de operação 5G, Recursos para Operação de Redes, para conectar clientes, incluindo de cidades, áreas rurais, locais remotos, prestando serviços como conexão à Internet, MTC, serviços móveis, monitoramento ambiental, e em várias verticais. A necessária orquestração e controle seriam realizados pelos gestores das Plataformas, que poderia ser um provedor de infraestrutura e integração. A operação dos recursos e serviços virtualizados ficariam a cargo de seus fornecedores.

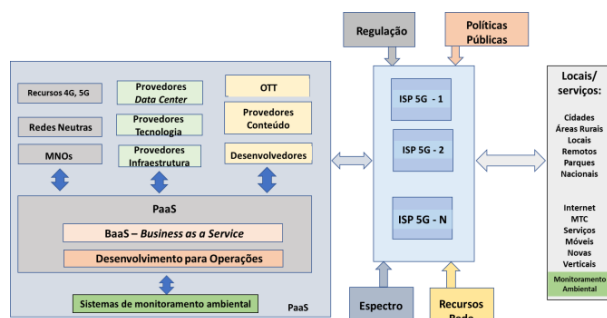


Fig. 1 – Proposta para viabilizar a utilização de recursos 5G por ISPs com suporte de plataforma digital (utilizando conceitos PaaS de [4,5]).

Políticas regulatórias e ferramentas governamentais podem privilegiar os modelos de ISPs 5G para auxiliarem na sua viabilidade econômica, associadas a compromissos de serviços relacionados à inclusão digital e ao monitoramento ambiental em regiões remotas e com condições socioeconômicas mais deficientes, onde as grandes operadoras têm baixo interesse comercial.

Os modelos e estratégias técnicas propostas e apresentadas são essenciais para a viabilização das operações ISPs 5G, que tem uma escala menor, e são menos capitalizadas, o que dificulta a estruturação de recursos técnicos tipicamente utilizados por operadoras móveis de maior porte. O ambiente integrado proposto também pode contribuir com recursos técnicos, metodologias, sistemas tolerantes a falhas e redundâncias que seriam difíceis de serem disponibilizadas em operações menores. Este modelo também pode viabilizar maiores investimentos em desenvolvimentos de aplicações, que terão um ambiente com maior escala e atratividade para atuarem. Como resultado, produtos e serviços mais eficientes e confiáveis poderão surgir, criando um ecossistema mais completo e eficiente.

### IV. CONCLUSÕES

Novas redes 5G estão sendo implantadas, trazendo inovações, novos serviços e múltiplas oportunidades de negócios. Os grandes provedores, bastante capitalizados, já estão implantando seus sistemas, o desafio agora é prover condições para os pequenos e médios provedores, os ISPs, também participarem, contribuindo para o desenvolvimento de um ecossistema 5G dinâmico, criativo e inclusivo que maximize as oportunidades para diversos empreendedores.

Este trabalho apresentou e propôs alternativas para viabilizar o acesso aos recursos e tecnologias 5G para as ISPs baseadas no uso de plataformas digitais para permitir o compartilhamento de recursos técnicos, sistêmicos, operacionais e de aplicações. Estes provedores podem se valer das alternativas propostas, dos modelos descritos, através dos quais podem incorporar os recursos necessários para operar 5G, mesmo tendo limitações de investimento. As estratégias consistem na utilização de recursos virtualizados e físicos combinados de diversos provedores como MNOs, *TowerCos*, Redes Neutras, Provedores de Recursos Virtuais, Provedores de Aplicações, também poderão de valer de Recursos Próprios e de técnicas como WlaaS e PaaS, modelos de evolução que permitem a utilização de recursos virtuais controlados e orquestrados através de plataformas especializadas.

Com a evolução das redes 5G, novos modelos de negócios e de operações serão desenvolvidos, com oportunidades para novos *players*, inclusive pequenos, atuando em diferentes regiões, especializações e verticais, com possibilidades de trazer novos serviços e aplicações. A presença de muitos provedores 5G abrirá espaço para soluções alternativas e criativas. Sistemas de monitoramento ambiental podem ser incorporados às plataformas para permitir a gestão e integração da monitoração realizadas por ISPs remotos.

Esses novos modelos podem potencializar o surgimento de um novo ecossistema de serviços, soluções e negócios pulverizados e dispersos geograficamente, promovendo o desenvolvimento econômico e social, regionais e nacionais sustentáveis.

### Referências

- [1] ANATEL - <https://www.gov.br/anatel/pt-br/dados>, accessed on 5 June 2023;
- [2] TELECO – [www.teleco.com.br](http://www.teleco.com.br), accessed on 8 June 2023;
- [3] A. Gran, S. Lin, and I. F. Akyildiz, “Towards wireless infrastructure-as-a-service (WlaaS) for 5G software-defined cellular systems,” in 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), 2017, pp. 1–6;
- [4] S. V. Rossem et al., “A Vision for the Next Generation Platform-as-a-Service,” in 2018 IEEE 5G World Forum (5GWF), 2018, 14–19.
- [5] A. Mimidis et al., “The Next Generation Platform as a Service Cloudifying Service Deployments in Telco-Operators Infrastructure,” in 2018 25th International Conference on Telecommunications (ICT), 2018, pp. 399–404.

# Localização e Orientação de Estação Móvel em Redes 5G utilizando DCS-SOMP

Paulo Francisco da Conceição, Flávio Geraldo Coelho Rocha

**Resumo** — Este trabalho apresenta um método para estimação conjunta de parâmetros para determinar a localização e orientação da Estação Móvel (EM) conectada a uma rede 5G em um ambiente interno e operando na faixa das ondas milimétricas – *millimeter-wave* (mmWave) e uso massivo de antenas – *massive Multiple-Input Multiple-Output* (mMIMO). O método proposto estima os parâmetros de localização utilizando *Compressed Sensing* e, em seguida, determina a localização da EM por meio de um algoritmo geométrico, obtendo deslocamento de relógio e orientação da EM. Os resultados mostram a eficácia do método, que apresenta menor erro nas estimativas de localização, deslocamento de relógio e orientação da EM quando se compara a outros trabalhos presentes na literatura.

**Palavras-chaves** — mmWave, mMIMO, 5G, Localização.

## I. INTRODUÇÃO

AS tecnologias mmWave e mMIMO são habilitadoras para as redes 5G e pós-5G, sendo recursos essenciais para que o 5G alcance todo o seu potencial, inclusive em aplicações envolvendo localização de dispositivos [1]. Esses recursos aprimoram significativamente a precisão na estimação dos parâmetros de localização, como Tempo de Chegada – *Time of Arrival* (ToA), Ângulo de Partida – *Angle of Departure* (AoD) e Ângulo de Chegada – *Angle of Arrival* (AoA) do sinal.

Este trabalho propõe uma modificação do algoritmo *Distributed Compressed Sensing Simultaneous Orthogonal Matching Pursuit* (DCS-SOMP) [2] adequando-o para realizar estimativas de ToA e dos ângulos de azimute e elevação de AoD e AoA. Propõe-se também um método baseado em geometria para estimação conjunta do deslocamento de relógio, da orientação e da localização da EM em um ambiente interno.

O modelo do sistema e o algoritmo proposto são apresentados na Seção II. Os resultados das simulações são mostrados na Seção III e conclui-se o artigo na Seção IV.

## II. MODELO DO SISTEMA

Considera-se um sistema mmWave mMIMO com  $N_t$  antenas em uma Estação Base (EB), e uma EM com  $N_r$  antenas seguindo um arranjo circular – *Uniform Circular Array* (UCA). Assume-se que a transmissão ocorre no sentido de *downlink* usando  $N$  subportadoras. Assume-se que a transmissão ocorre em  $L$  caminhos sem linha de visada – *Non-Line-of-Sight* (NLoS) entre EB em posição conhecida e EM em

posição desconhecida. Considera-se ainda que cada caminho NLoS passa por um Ponto de Reflexão de Salto Único (PR) distinto, que está em posição desconhecida.

Para o modelo de canal define-se:

$$\mathbf{H} = \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \rho_l h_l e^{-j2\pi n \tau_l} \mathbf{a}_t^H(\phi_l^{az}, \phi_l^{el}) \mathbf{a}_r(\theta_l^{az}, \theta_l^{el}), \quad (1)$$

em que  $\rho_l$  é o pathloss, determinado como em [3],  $\phi_l^{az}$  é o azimute de AoD,  $\phi_l^{el}$  é a elevação de AoD,  $\theta_l^{az}$  é o azimute de AoA,  $\theta_l^{el}$  é a elevação de AoA,  $\tau_l$  é o ToA,  $h_l$  é o ganho de canal e  $T_s = 1/B$  representa o período de amostragem, considerando que  $B$  é a largura de banda. O vetor de resposta é determinado como:

$$\mathbf{a}_t(\phi_l^{az}, \phi_l^{el}) = \left[ \frac{e^{-1j\pi\Omega_l \mathbf{K}_l}}{\sqrt{N_t}} \right], \quad (2)$$

em que  $\Omega_l = [[r \cos(\frac{2\pi(i)}{N_t})]^T, [r \sin(\frac{2\pi(i)}{N_t})]^T]$  são os elementos da antena com raio  $r$ .  $\mathbf{K}_l = [\cos(\phi_l^{az}) \cos(\phi_l^{el}), \sin(\phi_l^{az}) \cos(\phi_l^{el})]^T$  é o vetor de direcionamento. Usa-se (2) para determinar  $\mathbf{a}_r(\theta_l^{az}, \theta_l^{el})$ , substituindo  $\phi$  por  $\theta$ .

O modelo do sinal recebido na subportadora  $n$  é definido como  $\mathbf{y}[n] = \mathbf{H}[n]\mathbf{x}[n] + \mathbf{w}[n]$ , em que  $\mathbf{x}$  é o sinal transmitido e  $\mathbf{w}$  representa o ruído com média zero e variância  $\sigma^2$ .

Para estimação dos ângulos, cria-se uma matriz de detecção com  $L^{az}$  candidatos ao ângulo de azimute e  $L^{el}$  candidatos ao ângulo de elevação. Os ângulos candidatos,  $\mathbf{C}^{az}$  e  $\mathbf{C}^{el}$ , pertencem aos intervalos  $[0;360]$  e  $[0;90]$  (graus) para azimute e elevação, respectivamente. Portanto, define-se a matriz de detecção  $\mathbf{z} = (\mathbf{R}_t \mathbf{x})^T \otimes \mathbf{R}_r$ , em que  $\mathbf{R}_t = [\mathbf{a}_t(\mathbf{C}^{az}, \mathbf{C}^{el})]$  e  $\mathbf{R}_r = [\mathbf{a}_r(\mathbf{C}^{az}, \mathbf{C}^{el})]$  são matrizes com os vetores de resposta para os ângulos candidatos, e  $\otimes$  é o produto de Kronecker.

Considerando  $c$  como a velocidade de propagação do sinal (velocidade da luz), o **Algoritmo 1** descreve uma modificação do método DCS-SOMP que determina as maiores correlações entre  $\mathbf{y}$  e  $\mathbf{z}$  e estima  $\phi^{az}$ ,  $\phi^{el}$ ,  $\theta^{az}$ ,  $\theta^{el}$  e  $\tau$ . A modificação feita no método DCS-SOMP consiste em realizar a estimação simultânea dos parâmetros de localização de maneira adaptativa, à medida que as correlações são determinadas, tornando desnecessária a última etapa do algoritmo original proposto em [2], que trata da desortogonalização. Para estimar o deslocamento de relógio ( $\beta$ ) e a orientação da EM ( $\alpha$ ), [1] e [4] afirmam que  $\hat{\tau}_l' = \hat{\tau}_l - \beta$  e  $\hat{\theta}_l^{az'} = \hat{\theta}_l^{az} - \alpha$ .

A partir de  $[\hat{\tau}_l', \hat{\phi}_l^{az}, \hat{\phi}_l^{el}, \hat{\theta}_l^{az'}, \hat{\theta}_l^{el}]$ , propõe-se o método geométrico para estimação conjunta do deslocamento de relógio, da localização e orientação da EM. O método considera o ambiente como um plano cartesiano tridimensional (3D) para criar pontos e segmentos de reta. Os pontos  $\mathbf{b}$  e

**Algoritmo 1: DCS-SOMP MODIFICADO**

**Entrada:**  $\mathbf{y}$ ,  $\mathbf{z}$ ,  $L$ ,  $L^{az}$ ,  $L^{el}$ ,  $\mathbf{C}^{az}$ ,  $\mathbf{C}^{el}$ ,  $N$ ,  $T_s$ ,  $c$   
**Saída:**  $\phi^{az}$ ,  $\phi^{el}$ ,  $\theta^{az}$ ,  $\theta^{el}$ ,  $\tau$

- 1  $\mathbf{R} \leftarrow \mathbf{y}$  // Inicialização do resíduo
- 2 **para**  $l$  de 1 até  $L$  **faça**
  - // Correlação máxima:
  - 3  $\tilde{h} \leftarrow \operatorname{argmax}_{m=1, \dots, N_r N_t} \sum_{n=1}^N \frac{|z_m^H[n] \mathbf{R}[n]|}{\|z_m[n]\|_2}$
  - // Estima AoD e AoA:
  - 4  $I_\phi \leftarrow \frac{\tilde{h}}{L^{az} L^{el}}$ ,  $I_\theta \leftarrow \tilde{h} - I_\phi L^{az} L^{el}$
  - 5  $\iota^{az} \leftarrow \left\lfloor \frac{I_\phi}{L^{el}} \right\rfloor$ ,  $\iota^{el} \leftarrow I_\phi \bmod L^{el}$
  - 6  $\gamma^{az} \leftarrow \left\lfloor \frac{I_\theta}{L^{el}} \right\rfloor$ ,  $\gamma^{el} \leftarrow I_\theta \bmod L^{el}$
  - 7  $\hat{\phi}_l^{az} \leftarrow \mathbf{C}_{\iota^{az}}^{az}$ ,  $\hat{\phi}_l^{el} \leftarrow \mathbf{C}_{\iota^{el}}^{el}$
  - 8  $\hat{\theta}_l^{az} \leftarrow \mathbf{C}_{\gamma^{az}}^{az}$ ,  $\hat{\theta}_l^{el} \leftarrow \mathbf{C}_{\gamma^{el}}^{el}$
  - 9 **para**  $n$  de 1 até  $N$  **faça**
    - 10  $\psi_l[n] \leftarrow \mathbf{R}_{\tilde{h}}[n] - \sum_{t=1}^{l-1} \frac{\mathbf{R}_{\tilde{h}}^H[n] \psi_t[n]}{\|\psi_t[n]\|_2^2}$
    - // Atualiza o resíduo:
    - 11  $\Psi_l[n] \leftarrow \frac{\psi_l[n] \mathbf{R}[n]}{\|\psi_l[n]\|_2^2}$
    - 12  $\mathbf{R}[n] \leftarrow \mathbf{R}[n] - \Psi_l[n] \psi_l[n]$
  - 13 **fim**
  - // Estima ToA
  - 14  $\hat{\tau}_l \leftarrow \left[ \sum_{n=1}^N \Psi_l[n] \right] T_s - \frac{c}{2\pi}$
  - 15 **fim**

$m$  representam a EB e a EM, respectivamente. Definindo  $\Gamma = \mathbf{b} + \tau_l^c$ ,  $\varphi = \pi - \theta_l^{el}$  e  $\varpi = \theta_l^{az} - \pi$  determinam-se os pontos:

$$\mathbf{v}^l = \Gamma \begin{bmatrix} \sin(\phi_l^{el}) \cos(\phi_l^{az}) \\ \sin(\phi_l^{el}) \sin(\phi_l^{az}) \\ \cos(\phi_l^{el}) \end{bmatrix} \text{ e } \boldsymbol{\nu}^l = \Gamma \begin{bmatrix} \sin(\varphi) \cos(\varpi) \\ \sin(\varphi) \sin(\varpi) \\ \cos(\varphi) \end{bmatrix}.$$

Tendo valores exatos dos parâmetros de localização e também de  $\beta$  e  $\alpha$ , o ponto de interseção entre  $\mathbf{v}^l \boldsymbol{\nu}^l$  será a posição da EM. Quando os valores de  $\beta$  e  $\alpha$  não estão corretos, o ponto de interseção entre  $\mathbf{v}^l \boldsymbol{\nu}^l$  é indefinido. A Fig. 1 mostra o ambiente quando  $\beta$  e  $\alpha$  estão (a) corretos e (b) incorretos.

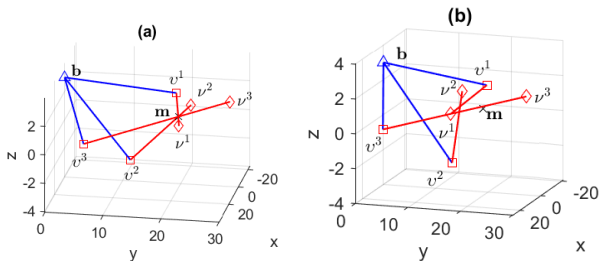


Fig. 1. Ambiente quando  $\beta$  e  $\alpha$  estão (a) corretos e (b) incorretos.

Este trabalho minimiza a distância entre  $\mathbf{v}^l \boldsymbol{\nu}^l$  usando o método proposto em [4], determinando conjuntamente o deslocamento de relógio, a localização e a orientação da EM.

### III. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

O cenário experimental é similar ao descrito em [3], ambiente interno de 20 m de largura, 20 m de comprimento e 3 m

de altura. A EB e a EM foram arbitrariamente posicionadas em  $(0, 0, 3)^T$  e  $(5, 10, 1)^T$ , respectivamente. Quatro PRs foram distribuídos aleatoriamente usando uma distribuição uniforme. Os valores reais para o deslocamento de relógio e a orientação da EM foram definidos como  $\beta = 20$  e  $\alpha = \pi/3$ , respectivamente. Outros parâmetros utilizados foram: frequência da portadora  $f_c = 28$  GHz, largura de banda  $B = 100$  MHz, e antenas de transmissão e recepção  $N_t = 64$  e  $N_r = 64$ .

Os resultados de localização obtidos por meio do método proposto foram comparados aos obtidos utilizando os métodos propostos em [1] e [4]. Ressalta-se ainda que o método proposto, diferente dos métodos de [1] e [4], estima os parâmetros de localização a partir de um modelo de canal mmWave 5G, para posteriormente localizar a posição da EM.

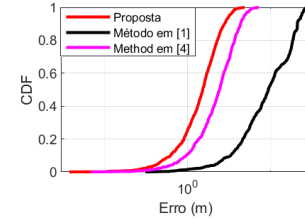


Fig. 2. Probabilidade de Localização.

Na Fig. 2, a comparação dos métodos é visualizada através das curvas de *Cumulative Distribution Function* (CDF), indicando que o método proposto apresenta maior precisão em relação aos demais. A tabela I apresenta o RMSE relacionado à localização ( $\varepsilon_L$ ), ao deslocamento de relógio ( $\varepsilon_\beta$ ) e à orientação da EM ( $\varepsilon_\alpha$ ). A última coluna exibe o tempo de execução de cada método. O modelo proposto apresenta maior tempo de execução devido à inclusão da etapa de estimação dos parâmetros a partir do modelo de canal. Essa etapa é fundamental para a obtenção de resultados mais precisos.

TABELA I  
MEDIDAS DE DESEMPENHO ANALISADAS

Método	$\varepsilon_L$ (m)	$\varepsilon_\beta$ (m)	$\varepsilon_\alpha$ (rad)	Tempo (s)
Proposta	1,82	2,11	0,07	0,64
Método em [1]	13,2	9,24	0,40	0,62
Método em [4]	2,34	2,67	0,09	0,08

### IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho, propôs-se um método para a estimação de localização, deslocamento de relógio e orientação da EM. Enfatizou-se a importância da etapa de estimação de parâmetros, obtendo resultados promissores em comparação com trabalhos correlatos. Futuramente pretende-se explorar o potencial das Superfícies Inteligentes Reconfiguráveis (RIS), tecnologia emergente em comunicações sem fio e localização.

### REFERÊNCIAS

- [1] H. Wymeersch, “A Simple Method for 5G Positioning and Synchronization without Line-of-Sight,” *arXiv preprint arXiv:1812.05417*, 2018.
- [2] M. Duarte, S. Sarvotham, D. Baron, M. Wakin, e R. Baraniuk, “Distributed Compressed Sensing of Jointly Sparse Signals,” *Conference Record of the Thirty-Ninth Asilomar Conference on signals, Systems and Computers*, 2005., pp. 1537–1541, 2005.
- [3] 3GPP, “Study on Channel Model for Frequencies from 0.5 to 100 GHz(3GPP TR 38.901 version 17.0.0 Release 17),” 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Technical Specification (TS) 38.901, 04 2022.
- [4] P. F. Conceição e F. G. C. Rocha, “Localização da Estação Móvel e Espalhadores em Ambiente NLoS Interno,” em *X Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação*, 2021.

# Management of Remote Operations in IoT Systems

Mercedes Diniz\*, Pedro Rendeiro\*, Marcos Silva\*, Lucas Silva\*, and Leonardo Ramalho\*

\*LASSE - 5G & IoT Research Group, INESC P&D Brasil, Federal University of Pará (UFPA)

Emails: {mercedes.diniz, pedro.rendeiro, marcos.lima.silva, lucas.damasceno.silva}@itec.ufpa.br, leonardolr@ufpa.br

**Abstract**—Numerous studies have put forth diverse solutions to tackle the challenges inherent in the remote maintenance of devices in systems based on Internet of Things (IoT) technologies, specifically within wireless sensor networks designed for monitoring hard-to-reach areas. This study aims to present an approach for developing a remote management system with the objectives of prolonging the useful life of IoT devices, automating processes to address failures, and updating device firmware and configurations. The proposed platform efficiently manages these operations, providing an effective solution for enhancing the overall performance and longevity of IoT devices.

**Keywords**—IoT, OTA update, WSN.

## I. INTRODUCTION

Continuous advancements in sensing technologies have significantly leveraged the use of Wireless Sensor Networks (WSNs) and Internet of Things (IoT) devices for monitoring applications. WSNs are comprised of spatially distributed sensor nodes [1], which effectively collaborate to achieve simultaneous data acquisition from diverse environmental sources strategically positioned across extensive territories. In parallel, the IoT establishes a network where physical devices, equipment, sensors, and objects seamlessly communicate [2], operating autonomously without human intervention. These advancements collectively redefine environmental monitoring, paving the way toward a more sophisticated and sustainable future.

The reprogramming of these systems, carried out through Over-the-Air (OTA) updates, is an efficient approach to perform not only firmware update, but also bug fixing and maintenance of devices deployed in the field. Besides, it is related to some of the characteristic limitations of IoT devices, whose lifespan may be affected by routine operations. Some of these challenges are related to energy consumption and flash memory degradation [3].

Given this context, the present study aims to present an approach for developing a remote management system for IoT devices. This system was designed to operate in a remote and hard-to-reach location, allowing for more efficient treatment of the aforementioned issues. This paper provides a comprehensive description of the design of an OTA update system for IoT platforms, specifically engineered to facilitate seamless network installation and remote management while prioritizing device integrity. The following sections show an overview of the considered IoT scenario and its elements, as well as the implementation details of the remote management functionalities, their impact on the problems addressed and how they operate in a challenging scenario.

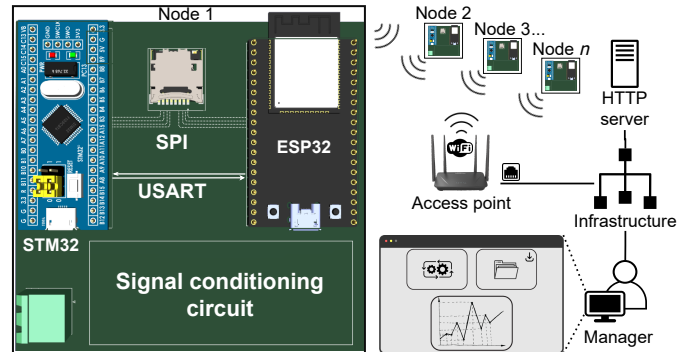


Fig. 1. Overview of the IoT system: device composed of two MCUs, a wireless network infrastructure and a HTTP server.

## II. TESTBED OVERVIEW

The scenario under investigation is composed of  $n$  IoT nodes connected to an HTTP server over a TCP/IP network infrastructure, as illustrated in Fig. 1. Each node is composed of two microcontrollers (MCUs), ESP32 for communication – chosen due to its connectivity and OTA capabilities [4] – and STM32 responsible for data acquisition. Furthermore, there is a SD card responsible for storing the acquired signal, firmware and configurations of the device.

Regarding topology and mobility, all nodes are static and communicate with the server over an wireless network. The main interactions from node to server are the transmission of sampled data and requesting new information. On the opposite direction, the server can send new configurations, operational commands, and firmware updates.

The system's support for remote operation management is made possible by both the devices' firmware and server software. The firmware of the ESP32 MCU is implemented by a finite state machine, whose some states that handle the remote operation.

## III. REMOTE OPERATIONS

In the remote management stage, the devices verify the availability of firmware updates or maintenance commands. This process begins by determining the presence of new firmware on the server for any of the MCUs within the devices. Fig. 2 illustrates specifically the firmware update process. In this implementation, the verification of the existence of a firmware update is based on compile date, which is embedded in firmware at compile time by using `__DATE__` and `__TIME__` macros from C/C++ language [5].



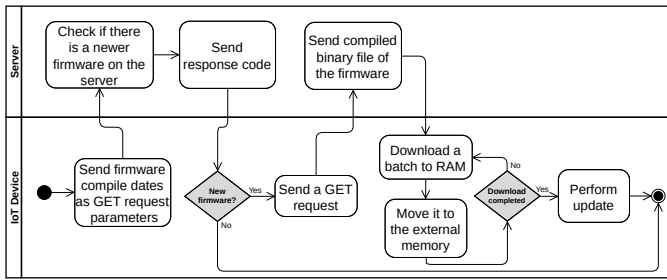


Fig. 2. Diagram of interactions between the IoT device and the server during the OTA firmware update process.

The compile date is sent as a parameter from the device to the server inside a GET HTTP request. Thus, the server can compare it to the latest firmware version available. In case the compile date of device is older than the one available on the server, the device receives a firmware update.

Regardless of the target MCU, the compiled binary file of the new firmware is downloaded and initially stored in batches within the ESP32 RAM memory, illustrated in Fig. 2. The firmware is transferred to the external memory of the device in batches, in order to bypass the limited RAM in the MCU. Once the full firmware is successfully downloaded, the ESP32 proceeds to update its own firmware or the firmware of the STM32. The priority is given to the latter in cases where updates for both are available.

Furthermore, the maintenance operations encompass fault resolution and various functionalities, including forced updating, device reset, memory card formatting, and dynamic change of key parameters for the application. The first three functions are enabled for remote execution in one or more specific devices, while the last one is executed in all nodes at the same time. This flexibility is desirable, for example, in applications where IoT devices are spread across different areas of monitoring or controlling critical operations. In case one of the devices fails, it is useful to troubleshoot it individually, without the need to interrupt the operation of the others, in order to minimize downtime-related losses.

In order to highlight the system manages remote operations, Fig. 3 shows the sequence diagram of the interaction among the components of the system in different OTA update scenarios. The main actors are the data acquisition MCU (STM32), micro SD card, communication module (ESP32) and HTTP server (manipulated by an operator). The following scenarios are considered: (1) the firmware running on both MCUs are outdated; (2) the file system of the micro SD card has been corrupted; (3) there is not enough space available to store the updates on internal RAM of the communication module.

Reading it from top to bottom, Fig.3 presents the flow of data (arrows) and actions (rectangles) for the given scenario. First, ESP32 tries to download firmware update files, but fails because it cannot write data into the external memory. Then, a server operator, noticing a certain device is not working, triggers the command to format the device’s micro SD card. That being done, the system is restarted and ESP32 can now perform firmware updates correctly.

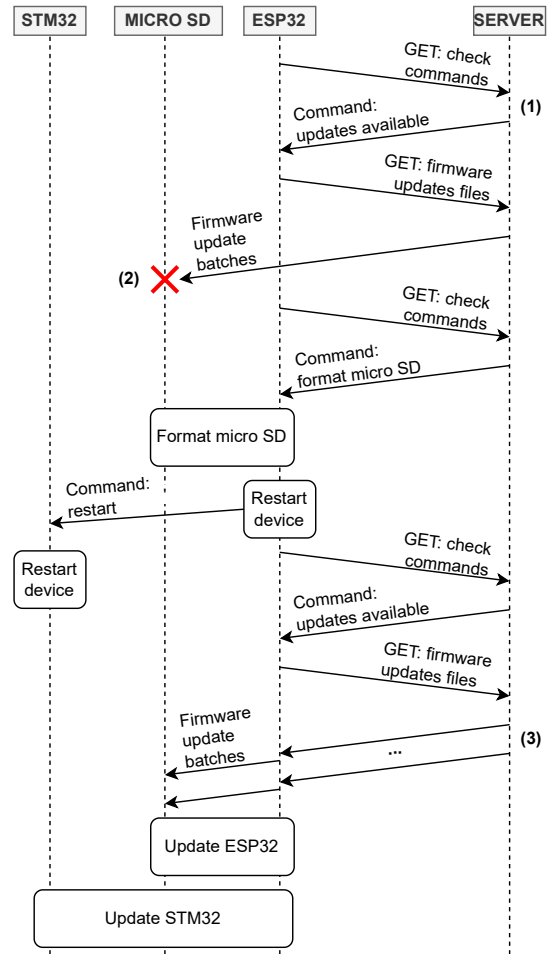


Fig. 3. Sequence diagram of the OTA update process in different scenarios.

IV. CONCLUSION

In this work, we give insight into the need for remote operations management system on IoT systems. Towards the improvement of the solution proposed, it would be possible to automate the error handling process on the application layer, dismissing the need for an active human operator to throw the operational commands when a fail occurs on one or some of the devices.

REFERENCES

- [1] D. Kandris, C. Nakas, D. Vomvas, and G. Koulouras, “Applications of Wireless Sensor Networks: An Up-to-Date Survey,” *Applied System Innovation*, vol. 3, no. 1, 2020.
- [2] K. Gulati, R. S. Kumar Boddu, D. Kapila, S. L. Bangare, N. Chandnani, and G. Saravanan, “A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT),” *Materials Today: Proceedings*, vol. 51, pp. 161–165, 2022, cMAE’21. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321036439>
- [3] K. Arakadakis, P. Charalampidis, A. Makrogiannakis, and A. Fragkiadakis, “Firmware Over-the-Air Programming Techniques for IoT Networks - A Survey,” *ACM Comput. Surv.*, vol. 54, no. 9, oct 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3472292>
- [4] Espressif. (2022) ESP-IDF Programming Guide: Over The Air Updates (OTA). [Online]. Available: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/system/ota.html>
- [5] GCC online documentation. (2023) Standard Predefined Macros. [Online]. Available: [gcc.gnu.org/onlinedocs/cpp/Standard-Predefined-Macros.html](https://gcc.gnu.org/onlinedocs/cpp/Standard-Predefined-Macros.html)



# Maximização da Eficiência Energética em Redes RSMA 6G

Albert dos Santos, Ermínio da Paixão, Igor Falcão, Diego Cardoso

**Resumo**—Este artigo aborda a otimização da eficiência energética em uma rede 6G utilizando a tecnologia RSMA (Rate Splitting Multiple Access). O algoritmo genético é aplicado para maximizar a eficiência energética por meio da alocação do nível de potência dos usuários. Os resultados mostraram que o algoritmo genético superou outro método da literatura em relação à eficiência energética e reduziu em 17% a probabilidade de bloqueio. O algoritmo genético contribuiu para minimizar o consumo da rede e aumentar a quantidade de dados transmitidos por unidade de energia, mesmo em condições de alta demanda.

**Palavras-chaves**—6G; RSMA; Eficiência energética;

## I. INTRODUÇÃO

De acordo com [1], é previsto que o tráfego total de dados móveis em 2028 cresça em 26% em relação a 2022. Portanto, o desenvolvimento da sexta geração (6G) torna-se essencial para atender a esse aumento na demanda por dados de alta velocidade e aplicações de baixa latência. Com o aumento da velocidade de transmissão de dados e a maior capacidade de suportar um grande número de dispositivos conectados, as redes 6G podem resultar em um maior consumo de energia em comparação com as redes 5G. Portanto, é fundamental que as redes 6G sejam projetadas e implementadas de forma sustentável e estratégias de otimização do consumo de energia devem ser consideradas para reduzir o impacto ambiental. Em vista disso, estão sendo propostas e analisadas novas arquiteturas e ferramentas para o compartilhamento de recursos no âmbito do 6G.

Nesse contexto, uma tecnologia que tem sido proposta para ser utilizada em ambientes 6G é o RSMA (Rate Splitting Multiple Access) [2]. O RSMA é uma tecnologia de acesso múltiplo que permite aos dispositivos dividirem seus dados em diferentes taxas de transmissão e enviar partes privadas e partes compartilhadas simultaneamente para a BS (Base Station). Essa abordagem melhora significativamente o desempenho do sistema, permitindo uma maior eficiência espectral e melhorando a capacidade de transmissão em ambientes com alta densidade de dispositivos e demanda por comunicação de alta velocidade. O RSMA é semelhante ao NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) tradicional porém, possui uma taxa ergódica maior e utiliza um menor número de SICs (Successive Interference Cancellation), o que reduz sua complexidade [3].

Este trabalho tem como objetivo otimizar a EE (Energy Efficient) em uma rede 6G que implementa o RSMA. A finalidade da otimização é maximizar a EE por meio da alocação do nível de potência dos usuários. Para abordar

esse desafio, foi utilizado o AG (Algoritmo Genético) como ferramenta de otimização.

## II. MODELO DE SISTEMA

Foi considerada uma rede RSMA 6G de duas camadas com  $M = [BS_{1,1}, BS_{1,2}, BS_{2,3}, BS_{2,4}, \dots, BS_{K,M}]$  BSs com uma única antena. As camadas podem ser do tipo LPN (Low-Power Nodes) ou HPN (High-Power Nodes) sendo  $K = [1,2]$ . Cada camada possui uma potência de transmissão máxima  $p_k^{Max}$ . A largura de banda  $W$  do sistema é dividida igualmente entre as  $S$  SCs (Subcarriers). Ou seja, a largura de banda  $B_s$  de cada SC corresponde a  $B_s = \frac{W}{S}$ . Além disso, é considerado que há  $U$  CDs (Communication Devices), com uma única antena, dispostos aleatoriamente no cenário.

O conceito de cluster e pareamento de CDs no RSMA é semelhante ao NOMA. Neste trabalho, foi considerado um sistema com dois CD por cluster. Ou seja, somente dois CD podem usar uma SC simultaneamente. Portanto, é assumido que cada SC é composta por dois RB (Resource Block). Como resultado, o sistema possui  $Z$  RBs disponíveis, sendo  $Z = 2S$ . As condições de qualidade do canal entre BSs e CDs devem satisfazer a relação  $G_{m,u}^{k,h} \geq G_{m,u}^{k,l}$ , sendo que  $G_{m,u}^{k,h}$  corresponde melhor ganho de canal da BS  $m$ , de camada  $k$ , para o CD  $u$  e  $G_{m,u}^{k,l}$  indica o valor mais baixo do ganho de canal do CD que compõe o mesmo cluster. Sendo assim, um CD com alto ganho de canal  $h$  está compartilhando um espectro SC com um CD que apresenta uma condição de baixo ganho de canal  $l$ .

Além disso, uma SIC imperfeita foi implementada como  $\beta \in [0, 1]$  sendo que 0 representa uma SIC perfeita. O valor de SINR (Signal to Interference Plus Noise Ratio) para o par de usuários é calculado de acordo com a Equação (1) [4].

$$\begin{aligned} \gamma_{m,u,s}^{k,h} &= \frac{p_{m,u,s}^{k,h} G_{m,u,s}^{k,h}}{\beta I_{INI}^{K,m,u,s} + I_{ICI}^{k,m,u,s} + \alpha^2} \\ \gamma_{m,u,s}^{k,l} &= \frac{p_{m,u,s}^{k,l} G_{m,u,s}^{k,l}}{\beta I_{INI}^{K,m,u,s} + I_{ICI}^{k,m,u,s} + \alpha^2} \end{aligned} \quad (1)$$

sendo  $p_{m,u,s}^{k,h}$  e  $p_{m,u,s}^{k,l}$  o nível de potência de transmissão dos CDs conectados a BS  $m$  de camada  $k$ , que estão usando a SC  $s$  com o ganho de canal melhor e pior do cluster, respectivamente. Além disso, a INI (Intra-NOMA interference) e a ICI (Inter Cluster Interference) podem se calculadas de acordo com a Equação (2)

$$I_{INI}^{K,m,u,s} = \sum_{u'=1, u' \neq u}^U p_{m,u',s}^k G_{m,u,s}^k \quad (2)$$

$$I_{ICI}^{k,m,u,s} = \sum_{k=1}^K \sum_{m'=1, m' \neq m}^M \sum_{u'=1, u' \neq u}^U p_{m',u',s}^k G_{m',u}^k$$

Os valores de SINR obtidos em (2) foram usados para calcular a taxa de transmissão de dados de cada CD em um cluster, expressa na Equação (3)

$$R_{m,u,s}^{K,h} = B_s \log(1 + \gamma_{m,u,s}^{k,h}), \quad (3)$$

$$R_{m,u,s}^{K,l} = B_s \log(1 + \gamma_{m,u,s}^{k,l})$$

A EE de um cluster é calculada de acordo com a Equação (4)

$$EE_{m,s}^k = \frac{R_{m,u,s}^{K,h}}{p_{m,u,s}^{k,h} + P_c} + \frac{R_{m,u,s}^{K,l}}{p_{m,u,s}^{k,l} + P_c} \quad (4)$$

sendo  $P_c$  o consumo de potência do circuito. Portanto, a EE total do sistema é expressa por

$$\sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S EE_{m,s}^k \quad (5)$$

Além disso, cada CD possui uma taxa de dados mínima  $\theta_{min}$  estabelecida, e caso essa taxa não seja atingida, o CD é considerado como bloqueado. Com base nisso, é calculada a OP (Outage Probability), que representa o percentual de CDs que não conseguiram alcançar a taxa mínima de dados.

Com base nisso, é gerado um vetor que representa os níveis de potência atribuídos a cada RB do sistema, considerando que cada CD pode ter mais de um RB. Esse vetor, contendo todos os níveis de potência do sistema, representa um indivíduo do AG. A função objetivo do AG visa maximizar a EE minimizando a OP. Os demais parâmetros do AG são os seguintes: população = 30, elitismo = 0.1, crossover = 0.9, mutação = 0.1 e iterações = 70. Além disso, foi empregada a seleção por torneio, com cada indivíduo competindo duas vezes, e o tipo de crossover utilizado foi do tipo *one point*.

### III. RESULTADOS

O cenário possui dimensões de 1000x1000 metros. A Tabela I apresenta os parâmetros utilizados na simulação no Matlab.

TABELA I  
PARÂMETROS DA SIMULAÇÃO

Largura de banda do sistema ( $W$ )	3GHz
Número de subportadoras ( $S$ )	8
Número de camadas ( $K$ )	2
Taxa de dados mínima ( $\theta_{min}$ )	128 kbps
SIC imperfeita ( $\beta$ )	0.1
Consumo de potência do circuito ( $P_c$ )	0.001
Número de HPNs	2
Número de LPNs	16
Potência de transmissão total LPN/HPN ( $p^{Max}$ )	1W/10W

A eficiência de alocação de níveis de potência de transmissão do AG foi comparada com o ERPA (Equal RB Power Allocation), método que aloca potências iguais para os RBs [5].

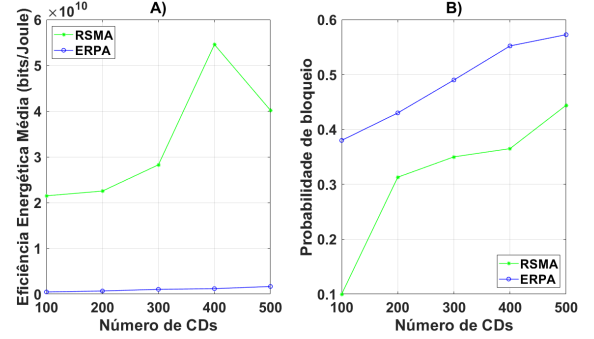


Fig. 1. (A)EE média ; (B)OP média.

A Fig. 1 apresenta o desempenho de ambos os métodos à medida que o número de CDs aumenta. Observa-se que a otimização do AG obteve uma EE superior em comparação ao ERPA. No entanto, houve uma diminuição da EE no AG quando o número de CDs foi de 400 para 500. Isso aconteceu devido ao fato de que quase todos os RBs estavam sendo utilizados, resultando em uma solução subótima. Apesar disso, o AG apresentou uma OP 17% menor que o ERPA. Dessa forma, mesmo em momentos de alto tráfego, o AG consegue maximizar a EE.

### IV. CONCLUSÃO

Neste estudo, foi realizada uma análise da otimização da EE em uma rede 6G que utiliza o RSMA. Para maximizar a EE foi empregado o AG para encontrar a melhor alocação dos níveis de potência. Os resultados mostraram que o AG obteve maior EE em comparação com o ERPA, sendo também 17% em relação a OP. Essa otimização contribui para reduzir o consumo da rede, aumentando a quantidade de dados transmitidos por unidade de energia. Em trabalhos futuros, pretende-se explorar um agrupamento de algoritmos de otimização para obter soluções ainda mais aprimoradas e compará-las com outros métodos, tendo em vista que o ERPA é uma abordagem mais simples de alocação de potência.

### REFERÊNCIAS

- [1] "Ericsson mobility report," Ericsson.com, Nov. 2022
- [2] MAO, Yijie et al. Rate-splitting multiple access: Fundamentals, survey, and future research trends. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2022.
- [3] CLERCKX, Bruno et al. Is NOMA efficient in multi-antenna networks? A critical look at next generation multiple access techniques. IEEE Open Journal of the Communications Society, v. 2, p. 1310-1343, 2021.
- [4] MOUNI, Nermalidinne Siva; KUMAR, Abhinav; UPADHYAY, Prabhat K. Adaptive user pairing for NOMA systems with imperfect SIC. IEEE Wireless Communications Letters, v. 10, n. 7, p. 1547-1551, 2021.
- [5] AL-ABBASI, Ziad Qais; SO, Daniel KC. Resource allocation in non-orthogonal and hybrid multiple access system with proportional rate constraint. IEEE Transactions on Wireless Communications, v. 16, n. 10, p. 6309-6320, 2017.

# Medidas e Modelo de Traçado de Raios para Ambiente Indoor em 3.5GHz

Alan B. S. Corrêa, Lucian M. Ribeiro, Flávio H. C. da S. Ferreira, Caio M. M. Cardoso, Fábio F. Ribeiro, Jasmine P. L. Araujo, Miercio C. de A. Neto, Fabricio J. B. Barros

**Resumo**—A faixa de frequência de 3.5GHz é uma das mais relevantes e amplamente adotada para a implementação do 5G em todo o mundo. É considerada uma faixa intermediária, pois permite uma cobertura abrangente em áreas urbanas e suburbanas, bem como em espaços internos, como edifícios e shoppings. Este artigo propõe, a partir de medidas de larga escala, estimar parâmetros de pequena escala, usando traçado de raios para ambientes indoor em 3.5GHz. Os resultados obtidos mostram que em visada direta a raiz do erro quadrático médio (REQM) entre as potências recebidas dos sinais medidos e estimados ficam próximo de 4 dB, e para o caso sem visada direta o REQM fica próximo de 8 dB.

**Palavras-chave**—Traçado de raios, 3.5GHz, indoor, wireless insite, perfil de potência e retardo.

## I. INTRODUÇÃO

A nova geração de redes móveis (5G) está revolucionando a forma como nos conectamos, oferecendo velocidades ultra rápidas, maior capacidade de transmissão de dados e baixa latência [1]. A faixa de frequência de 3.5GHz é uma das mais relevantes e amplamente adotada para a implementação do 5G em todo o mundo [2]. A frequência de 3.5GHz é considerada uma faixa intermediária [3], pois possui propriedades de propagação de sinal que permitem uma cobertura abrangente em áreas urbanas e suburbanas, bem como em espaços internos, como edifícios e shoppings [2].

Este trabalho busca estimar parâmetros de pequena escala, para validar parâmetros de larga escala (potência recebida) obtidos em campanhas de medições no prédio de engenharia elétrica da Universidade Federal do Pará (UFPA), na frequência de 3.5GHz. Para isso, utiliza traçado de raios [4] com o auxílio do software wireless insite (WI). O WI modela as características físicas de terrenos e edifícios, para realizar os cálculos da propagação eletromagnética [5]. O objetivo é criar um cenário válido para simulações futuras mais específicas sobre o desempenho da frequência de 3.5GHz em ambientes indoor.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: A Seção 2 descreve a metodologia utilizada para as medições e simulações, e também descreve o cenário com todas as características importantes, a Seção 3 mostra os resultados e

Os autores pertencem ao Laboratório de Computação e Telecomunicações (LCT), Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém-Pará, email: alan.correa@itec.ufpa.br, lucianmribeiro@gmail.com, henryferreira014@gmail.com, caio.cardoso@itec.ufpa.br, fabio.ferreira.ribeiro@itec.ufpa.br, jasmine@ufpa.br, miercio@ufpa.br, fjbrito@gmail.com

discussões acerca do tema, por fim, a Seção 4 apresenta as considerações finais.

## II. CENÁRIO E METODOLOGIA

### A. Medições

As campanhas de medições foram realizadas no prédio de engenharia elétrica da UFPA, no corredor do térreo (com visada para o transmissor) e no corredor do primeiro andar (sem visada para o transmissor). No térreo tiveram 39 pontos de medições, com espaçamento de 1 metro entre eles. No primeiro andar foram 38 pontos com o mesmo espaçamento. Cada ponto foi obtido a partir da média de 20 amostras do sinal coletadas durante aproximadamente 30 segundos pelo analisador de espectro. O transmissor ficou localizado no térreo, em uma posição fixa, durante todo o período. A altura do transmissor e dos receptores em todos os pontos foi a mesma: 1.48 metros. O horário das medições foi entre 9 e 12 horas pela manhã, e não havia fluxo de pessoas no local. As antenas possuem ganho de 2 dB, e a potência entregue as mesmas foi de -28 dBm.

### B. Simulações

Os materiais usados na modelagem do prédio e seus respectivos parâmetros elétricos foram obtidos no próprio software WI, que possui uma biblioteca com diversos materiais. Alguns parâmetros sofreram ajustes para apresentar um comportamento mais próximo do real. A tabela I mostra os parâmetros elétricos propostos, com  $\epsilon$  sendo a permissividade relativa e  $\sigma$  a condutividade. Onde o concreto1 é o material usado no piso e na lage do prédio, enquanto o concreto2 é usado no telhado do primeiro andar. O metal usado foi criado utilizando a opção do WI de criar materiais, já que a biblioteca do software contém apenas a opção de condutor elétrico perfeito (perfect electrical conductor, PEC), e este não representa corretamente os metais dispostos no ambiente real.

Tabela I  
TABELA DE PARÂMETROS ELÉTRICOS PROPOSTOS

	Tijolo	Vidro	Madeira	Concreto1	Concreto2	Metal
$\epsilon$	3.75	6.27	1.99	5.31	1.50	3.00
$\sigma$	0.038	0.0669	0.0554	0.08987	0.002148	37.7

O próximo passo foi configurar a simulação no wireless insite, para estimar corretamente os parâmetros. Primeiro é feito a escolha do que o software chama de "área de estudo", que é

a determinação dos métodos utilizados no cálculo do traçado de raios. Neste artigo foi utilizado o modelo de propagação (X3D), ray spacing de 0.2 graus, e demais parâmetros usados nas campanhas de medições.

### III. ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, os resultados das simulações de traçados de raios são comparados com os dados coletados nas campanhas de medições. Foi executada uma série de simulações variando a quantidade de reflexões, transmissões e difrações por raio, para obter a configuração que gere o melhor resultado. Desse modo, o melhor resultado foi obtido com a configuração de sete reflexões, duas transmissões e duas difrações (7R-2T-2D). A subseções seguintes são baseadas nesse cenário.

#### A. Perfil de Potência e Retardo

O perfil de potência e retardo (PPR), representa a potência recebida em cada componente de multipercurso no domínio dos retardos, e é obtido com auxílio da resposta impulsiva do canal [6]. O PPR para 4 pontos do corredor térreo é mostrado na Fig. 2. Na Fig. 1 temos uma vista superior do corredor com os mesmos 4 pontos marcados, e também temos as paredes A (próximo ao transmissor) e C (ao final do corredor). Sendo assim, na Fig. 2, o círculo preto refere-se ao raio direto, o círculo vermelho refere-se ao raio refletido na parede A e o círculo lilás refere-se ao raio que refletiu na parede C. Desse modo, o comportamento do PPR é coerente com o esperado, e os demais dados, como a potência recebida, podem ser obtidos e comparados com os dados medidos afim de validar as simulações.

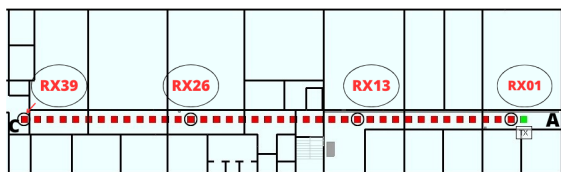


Figura 1. Vista superior do corredor térreo.

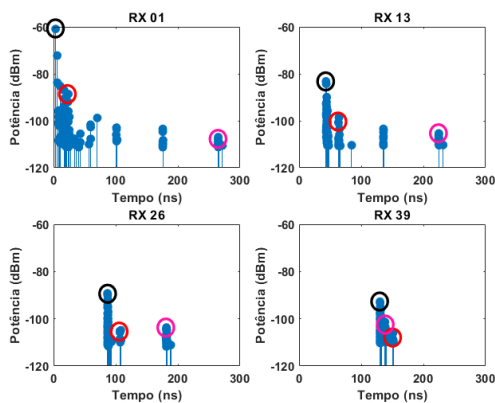


Figura 2. Perfil de potência e retardo para 4 pontos ao longo do corredor térreo.

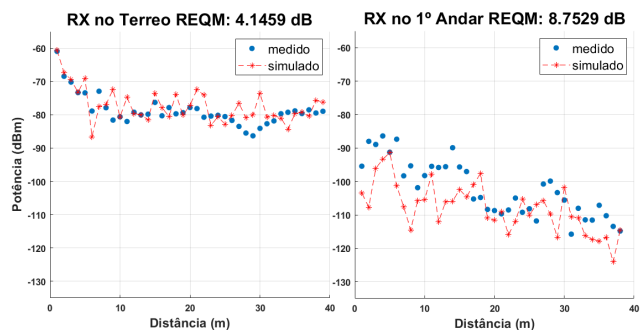


Figura 3. Potência Recebida Térreo (à esquerda) e Primeiro Andar (à direita).

#### B. Potência Recebida

A partir do PPR, é feita a média da somatória das potências das componentes de multipercurso, que chegam a cada ponto de recepção, obtendo a potência recebida, que é um parâmetro de larga escala [6]. No térreo (com visada direta) os valores simulados estão mais próximos dos valores medidos, como mostrado na Fig. 3 à esquerda. No primeiro andar, mostrado na Fig. 3 à direita (sem visada direta), a potência simulada é inferior a potência medida, ainda assim, o comportamento dos dados simulados acompanha os dados medidos, validando as simulações e cenário construído.

### IV. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma metodologia para validar medições de larga escala e estimar parâmetros de pequena escala utilizando traçado de raios. O maior desafio foi criar um ambiente 3D mais realista possível, manipulando os parâmetros constitutivos dos materiais e de propagação para identificar corretamente os pontos que mais impactam no comportamento do sinal. A partir das simulações foi possível reproduzir o comportamento do sinal propagado no ambiente com REQM de 4.1 e 8.7 dB para o térreo e o primeiro andar, respectivamente. Ademais, os resultados mostram que o modelo foi capaz de reproduzir o comportamento do sinal validando a metodologia utilizada e possibilitando a investigação de outros parâmetros em trabalhos futuros.

### REFERÊNCIAS

- [1] A. Kaloxylou, A. Gavras, D. Camps Mur, M. Ghoraihi, and H. Hrasnica, "AI and ML – Enablers for Beyond 5G Networks," Dec. 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4299895>
- [2] D. Baptista, "5G no Brasil: Saiba o que Esperar da Tecnologia Após o Leilão de Frequências. CNN Brasil," 2021, acesso em: 10.06.2023. [Online]. Available: <https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/5g-no-brasil-saiba-o-que-esperar-da-tecnologia-apos-o-leilao-de-frequencias/>
- [3] S. K. Al-Khero and Y. M. Abbosh, "Path Loss and Channel Modeling at 3.5GHz for 5G Cellular System," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1152, no. 1, p. 012006, may 2021. [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/1152/1/012006>
- [4] M. E. C. Rodrigues, "Técnicas de Traçado de Raios em Três Dimensões para Cálculo de Campos em Ambientes Interiores e Exteriores," *CETUC, PUC-Rio, RJ*, 2000.
- [5] Remcom. Wireless Insite Reference Manual Version 3.3.5., 2021.
- [6] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*. New Jersey: prentice hall PTR, 2002.

# Modelo de Classificação e Detecção de Larvas de Mosquitos Aedes Usando YOLO

Romário da Costa Silva  
Instituto de Tecnologia - ITEC  
Universidade Federal do Pará - UFPA  
Belém, Brasil 66075-110  
Email: romario.silva@castanhal.ufpa.br

Carlos André de Mattos Teixeira  
Instituto de Tecnologia - ITEC  
Universidade Federal do Pará - UFPA  
Belém, Brasil 66075-110  
Email: carlos.mattos@itec.ufpa.br

Carlos Renato Lisboa Francês  
Instituto de Tecnologia - ITEC  
Universidade Federal do Pará - UFPA  
Belém, Brasil 66075-110  
Email: rfrances@ufpa.br

**Resumo**—As arboviroses transmitidas pelos mosquitos do gênero *Aedes* representam um sério problema de saúde pública. A detecção e controle desses vetores são de suma importância na prevenção de surtos de doenças, como Dengue, Chikungunya, Zika e Febre Amarela. Neste trabalho propõe-se o uso de algoritmos de detecção de objetos (YOLO) como uma abordagem eficaz na detecção e classificação das larvas desses mosquitos. Para tanto, foram utilizadas técnicas de aprendizagem profunda baseadas em CNNs. Foram alcançados os valores de 85,6% para mAP (*Mean Average Precision*) e 0.70024 para MSE (*Mean Squared Error*), os quais denotam um resultado geral satisfatório para a solução proposta.

**Palavras-chave**—Aprendizagem profunda, Arboviroses, Monitoramento ambiental, Visão computacional.

## I. INTRODUÇÃO

As doenças transmitidas pelos mosquitos do gênero *Aedes* representam um desafio global para a saúde pública. Estes mosquitos se destacam como vetores de doenças graves e que afetam entre 100 e 400 milhões de pessoas anualmente, como dengue, febre amarela, chikungunya e Zika [1].

Nesse sentido, as técnicas de visão computacional têm sido cada vez mais utilizadas no controle epidemiológico, principalmente, no que tange à classificação de mosquitos e identificação dos estágios de desenvolvimento [2]. Além disso, a utilização de redes neurais convolucionais (*Convolutional Neural Networks* - CNNs) tem se mostrado uma abordagem promissora, visto que apresentam ampla capacidade de análise de imagens e identificação de padrões complexos.

Assim, o presente trabalho apresenta uma solução para detectar e diferenciar larvas de mosquitos do gênero *Aedes* através da utilização de técnicas de aprendizagem profunda baseadas em CNNs. Para tanto, foram empregados algoritmos de detecção de objetos, aliados a técnicas como transferência de aprendizado e aumento de dados.

## II. METODOLOGIA

Diante da limitação em encontrar bases públicas com quantidades significativas de imagens adequadas para o propósito deste estudo, tornou-se necessário criar um conjunto de dados (*dataset*) próprio, disponível em [3]. O *dataset* foi formado por imagens selecionadas de um recorte do conjunto de dados disponível de [4] e de imagens retiradas de bases públicas diversas.

As imagens foram categorizadas em *Aedes*, quando há presença de larva, e *Não Aedes*, quando há presença de outros tipos de larvas. A rotulação das imagens foi realizada manualmente com o auxílio da plataforma *Roboflow* e consistiu em 789 anotações de larvas. A Fig. 1 representa algumas imagens utilizadas para confecção do *dataset*.

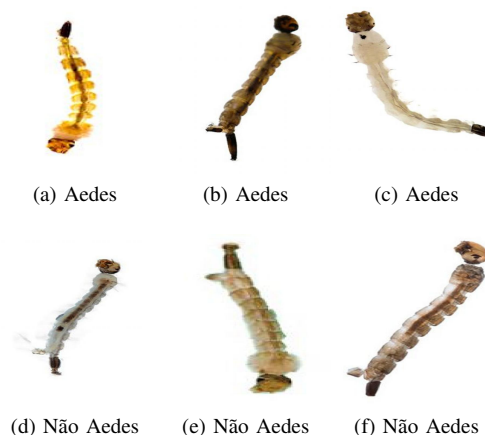


Fig. 1: Imagens presentes no dataset.

O *dataset* é composto por 710 imagens, sendo 420 para a classe *Aedes* e 290 para a classe *Não Aedes*. Além disso, foram distribuídas em 60% para treinamento, 20% para validação e 20% para teste.

### A. Yolo

O YOLO (*You Only Look Once*) é um algoritmo de detecção de objetos que realiza a localização e classificação de objetos. Tendo como base uma CNN, o modelo divide a imagem em uma grade e atribui a cada célula da grade a responsabilidade de detectar objetos. Cada célula prediz a localização e a classe dos objetos contidos nela [5].

Dessa forma, o algoritmo é capaz de detectar múltiplos objetos simultaneamente e com alta precisão. Por essas razões escolheu-se o YOLO em sua versão mais atual, YOLOv8 [5], para a detecção das larvas.



### B. Transferência de Aprendizado

A transferência de aprendizado é uma técnica que utiliza o conhecimento adquirido por uma rede pré-treinada em uma tarefa específica e o aplica em uma nova tarefa relacionada. Para o treinamento do modelo utilizou-se do dataset COCO (*Common Objects in Context*), devido apresentar um amplo conjunto de dados de reconhecimento de imagem para tarefas de detecção, segmentação e rotulagem de objetos. Esse *dataset* possui mais de 330.000 imagens, devidamente rotuladas entre 80 categorias de objetos [6].

### C. Aumento de Dados

A técnica de aumento de dados é ideal para conjuntos de dados limitados ou com dificuldades para obtenção de novos dados e rotulção das imagens. De forma geral, essa técnica envolve a aplicação de operações aleatórias (e.g. rotação, reflexão e cortes), que resultam em novas amostras, as quais são utilizadas como dados de treinamento adicionais [7].

## III. RESULTADOS

Após o treinamento da arquitetura YOLOv8, utilizando o *dataset* criado, os resultados foram avaliados por meio da métrica mAP (*Mean Average Precision*). Essa métrica mede a qualidade geral do detector de objetos em relação às suas inferências e quanto maior o valor de mAP obtido por um detector, maior é a confiança em suas previsões e detecções.

A Fig. 2 ilustra o comportamento do treinamento em relação a mAP@0.5, ao longo das 100 épocas. Adicionalmente, obteve-se o valor do erro quadrático médio (*Mean Squared Error* - MSE), o qual representa a capacidade do algoritmo de detectar o centro de um objeto e o quanto foi assertiva a caixa delimitadora prevista que cobre este objeto.

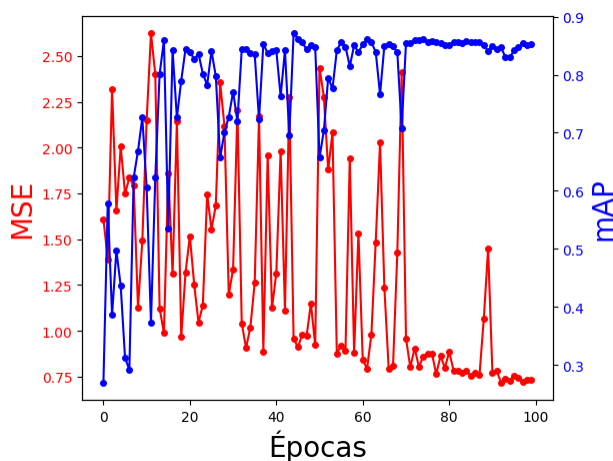


Fig. 2: Resultados obtidos nos testes.

Para ambas as métricas, os valores oscilaram com maior frequência até a época 75, Fig. 2. A partir dessa época os valores passaram a sofrer leves oscilações e convergiram para os seguintes valores finais: mAP@0.5 de 0.856 e MSE de 0.70024.

A Fig. 3 apresenta um conjunto de classificações realizadas pela solução proposta para o *dataset* utilizado. No conjunto apresentado é possível verificar que o modelo foi capaz de classificar as amostras com valores de probabilidade de confiança satisfatórios para ambas as classes, entre 0.76 e 0.97.

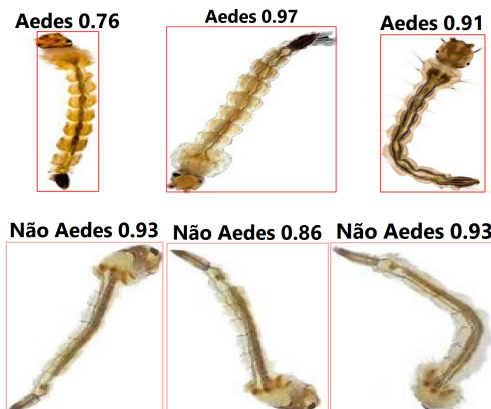


Fig. 3: Classificações realizadas pelo algoritmo.

## IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado uma proposta de detecção de larvas de mosquitos do gênero *Aedes*, tendo como base técnicas de visão computacional. Para tanto, foi empregada a arquitetura YOLOv8 juntamente com um conjunto de treinamento próprio e com anotações manuais. A métrica de avaliação utilizada para validar a rede foi a mAP@0.5, a qual alcançou o valor final de 85,6%.

Com base nos resultados obtidos para a mAP@0.5, pode-se concluir que, embora seja necessário aprimorar o detector e aumentar o tamanho do dataset, o resultado geral alcançado foi satisfatório para o propósito deste trabalho, com um nível razoável de precisão.

## REFERÊNCIAS

- [1] W. Shomali and J. Gotlib. World Health Organization-defined eosinophilic disorders: 2019 update on diagnosis, risk stratification, and management. *American Journal of Hematology*, v. 94, n. 10, p. 1149-1167, 2019.
- [2] S. Bandong and E. Joelianto. Counting of *Aedes Aegypti* Eggs using Image Processing with Grid Search Parameter Optimization. 2019 International Conference on Sustainable Engineering and Creative Computing (ICSECC), Bandung, Indonesia, 2019, pp. 293-298.
- [3] Larvae *Aedes* Segmentation Yolo Dataset. Romário Silva (2023). Roboflow Universe (Version 1.0) [Software]. Available from <https://universe.roboflow.com/ufpa-4qzhl/larvae-aedes-segmentation-yolo>.
- [4] M. S. Hossain, M. E. Raihan, M. S. Hossain, M. M. Syeed, H. Rashid and M. S. Reza. *Aedes Larva Detection Using Ensemble Learning to Prevent Dengue Endemic*. *BioMedInformatics*, 2(3), 2022, pp 405-423.
- [5] J. Terven and D. Cordova-Esparza. A comprehensive review of YOLO: From YOLOv1 to YOLOv8 and beyond. arXiv preprint arXiv:2304.00501, 2023.
- [6] TY. Lin, M. Maire, S. Belongie, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, P. Dollar and C. L. Zitnick. Microsoft coco: Common objects in context. In: *Computer Vision—ECCV 2014: 13th European Conference, Zurich, Switzerland*. Springer International Publishing, 2014. p. 740-755.
- [7] M. Das and R. Dash. Data Augmentation and its Application in Histopathological Oral Cell Image Classification. In: 2022 International Conference on Machine Learning, Computer Systems and Security (MLCSS). IEEE, 2022. p. 194-198.

# Modelo de Descarga para Dispositivo IoT Usando Redes Neurais Artificiais

Wilson A. C. Macedo, Tatiane F. Balbinot, Salomão B. Santos, Wendell L. Louzada, Valéria A. Chaves, Edian F. F. de L. Santos, Rommel T. J. Ramos, Fabrício J. B. Barros.

**Resumo**—Devido ao crescimento das aplicações de redes IoT, evidencia-se a necessidade de aprimorar a gestão de energia nessas redes. Nesse contexto, o presente trabalho analisa as curvas de descarga de uma bateria recarregável em um cenário proposto de rede IoT com o *end-node* conectado à dois sensores descarregando individualmente, com o objetivo de estimar o tempo de descarga dos mesmos conectados conjuntamente, utilizando Redes Neurais Artificiais.

**Palavras-Chave**—Internet das coisas, Bateria, Descarga, Lora, Rede neural artificial

## I. INTRODUÇÃO

Com o aumento do uso de redes no âmbito da Internet das Coisas (IoT), que descreve a revolução em curso com o crescente número de dispositivos conectados à internet [1], há uma necessidade significativa de adaptar os componentes que compõem essas redes a vários cenários. Quando se trata de implementar IoT em locais remotos e desafiadores um dos parâmetros mais cruciais a ser considerado durante o planejamento da rede é a disponibilidade de energia para o funcionamento adequado dos elementos.

Nesse contexto, um fator importante a ser determinado é o tempo que bateria utilizada poderá sustentar o componente da rede até que seja necessário recarregá-la. Observa-se no entanto que a descarga da bateria não segue uma relação linear, e visto que mesmo baterias do mesmo modelo frequentemente exibem diferentes curvas de descarga [2] pode-se inferir que modelos matemáticos baseados apenas em parâmetros elétricos, tais como taxa de descarga e capacidade da bateria, irão descrever um comportamento aproximado do processo de descarga. Para casos em que existe a necessidade de uma previsão mais próxima do comportamento real da bateria uma possível abordagem é observar o processo de descarga e considerá-lo como uma série temporal, possibilitando o uso de Redes Neurais Artificiais (RNA) pois elas têm a capacidade de aproximar dados de séries temporais [3], criando um modelo a partir da curva gerada pela observação.

Tendo em vista esses fatos, o objetivo deste trabalho é utilizar modelos de RNA para aferir o tempo de descarga restante de uma bateria recarregável a partir de um ponto do processo

de descarga, tendo como referência o segmento da curva que antecede esse ponto, permitindo aos modelos realizarem essa estimativa observando as características presentes no segmento da curva observado, tornando possível a estimação do tempo de descarga gerada pelo consumo de dois componentes a partir da análise da descarga individual de cada componente.

## II. METODOLOGIA

### A. Cenário Proposto

O cenário desenvolvido para os testes foi o de uma rede IoT composta por um nó final (*end-node*) conectado a dois sensores, gerando dados que são transmitidos para um gateway utilizando a tecnologia *Long Range* (LoRa). O *gateway*, por sua vez, encaminha esses dados para uma plataforma na internet, como exposto na Fig. 1. A topologia adotada é uma conexão *peer-to-peer* (ponto a ponto) LoRa entre o *end-node* e o *gateway*, onde um pacote é transmitido por esse meio a cada um minuto.



Figura 1: Diagrama da rede IoT do cenário proposto.

Em cada teste, uma bateria recarregável totalmente carregada foi fornecida ao *end-node*, juntamente com um número variável de sensores conectados, e visto que os parâmetros de transmissão do LoRa foram os mesmos para todos os testes, o número de sensores é o único fator que impacta nas diferenças observadas no processo de descarga da bateria.

### B. Prototipagem e aquisição de dados

O *end-node* consiste em uma placa RAK5005-O, equipada com o microcontrolador RAK4630 e o módulo RAK5811, que possibilita a conexão de sensores à placa. Para o *gateway*, foi utilizado um TTGO T-Beam ESP32, cuja função era receber os pacotes LoRa e transmitir as informações para a internet via WiFi, e os sensores empregados são um Termopar e um sensor de tensão, com uma bateria recarregável. O *end-node*, o *gateway* e as informações de fabricante dos componentes estão disponíveis em maior detalhe no Repositório do projeto [4]. As leituras de tensão dos terminais da bateria foram enviadas para a *Thingspeak*, que é uma plataforma de serviço e análise IoT [5], os dados foram posteriormente extraídos desta API e utilizados para treinar algoritmos de aprendizado, estando também disponíveis no *GitHub* [4].

Wilson A. C. Macedo, Tatiane F. Balbinot, Salomão B. Santos, Wendell L. Louzada, Valéria A. Chaves, Rommel T. J. Ramos, Fabrício J. B. Barros. Universidade Federal do Pará – UFPA. E-mails: wilson.macedo@itec.ufpa.br, anebalbinotnb@gmail.com, salomao.santos@itec.ufppa.br, wendell2018.ufpa@gmail.com, valeria.chaves@icb.ufpa.br, rommelramos@ufpa.br, fjbrito@gmail.com

Edian F. F. de L. Santos. Instituto Tecnológico de Santo Domingo - INTEC. E-mail: edianfranklin@gmail.com

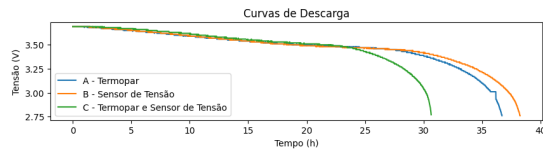


Figura 2: Curvas de descarga registradas.

### C. Análise de dados utilizando Redes Neurais Artificiais

Tendo como objetivo analisar a capacidade dos modelos de RNA de aferir o tempo de descarga a partir de um segmento observado, foram coletados dados de descarga com cada sensor individualmente conectado ao *end-node*, e em sequência registrou-se a descarga dos dois sensores em conjunto, como mostra a Fig. 2, com a finalidade de treinar os algoritmos a partir dos dados individuais (curvas A e B) e avaliar as previsões realizadas sobre os dados da descarga conjunta (curva C).

Desse modo, ainda referindo-se à Fig. 2, a partir de A e B foi gerado o conjunto de dados (*dataset*) I, utilizado para treino e teste dos modelos, e C foi reservada somente para criar o *dataset* II, que será disponibilizado para os modelos treinados pelo conjunto anterior realizarem estimativas, tornando possível a avaliação do objetivo dos modelos através da comparação da performance dos mesmos sobre ambos os conjuntos.

As instâncias para os *datasets* foram geradas observando segmentos da descarga, sendo que o número de pontos que compõe o segmento corresponde ao número de neurônios de entrada dos modelos, e o tempo restante do último ponto do segmento até o ponto de descarga é o valor de saída a ser estimado, como representado na Fig. 3.

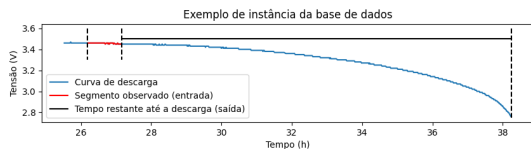


Figura 3: Exemplo de instância dos *datasets*.

Cinco modelos diferentes de RNAs foram utilizados para treinar sobre os dados, e a métrica adotada para o treinamento e avaliação foi o Erro Médio Quadrático (EMQ). Foram considerados três tamanhos de segmento e para cada tamanho cinco diferentes modelos foram treinados, que são *Feed-forward* (FFW), *Gated Recurrent Unit* (GRU), *Long Short-Term Memory* (LSTM), *Convolutional Neural Network* (CNN) e um modelo que combina uma camada CNN com uma LSTM. Após o treinamento, os modelos foram avaliados com base na métrica adotada, e previsões foram feitas para avaliar o desempenho de cada modelo. Os modelos e as avaliações realizadas com a métrica adotada estão disponíveis em detalhe no Repositório do projeto [4].

### III. RESULTADOS

A Tabela I representa os resultados de cada modelo para o conjunto de teste do *dataset* I, e observa-se que a maioria

dos modelos melhora o resultado da métrica até a análise de 15 pontos, onde o melhor resultado geral foi alcançado pelos modelos LSTM e CNN.

Tabela I: EMQ para o conjunto de teste do *dataset* I

	FFW	GRU	LSTM	CNN	CNN+LSTM
10 pontos	0.01763	0.00729	0.00802	0.00723	0.00722
15 pontos	0.01011	0.00747	0.00707	0.00707	0.00772
20 pontos	0.01705	0.00879	0.00724	0.00717	0.00776

Em contrapartida, na Tabela II os resultados do *dataset* II demonstram que o EMQ no geral ficou consideravelmente maior na grande maioria dos testes em relação ao conjunto de teste do *dataset* I, com a exceção do modelo CNN+LSTM com 20 pontos cujo o EMQ permaneceu próximo aos do teste anterior. Esse resultado denota que esse modelo, dado esse tamanho de segmento, foi capaz de atingir um resultado semelhante ao do conjunto de teste do *dataset* I apesar de não ter sido aplicada instância alguma do *dataset* II durante o treinamento das RNAs, o que demonstra a capacidade do mesmo de realizar estimativas sobre a descarga conjunta com a mesma aptidão em que estimou as descargas individuais, indicando que o modelo aprendeu corretamente a aferir o tempo de descarga conjunta observando somente os tempos de descarga individuais.

Tabela II: EMQ para o *dataset* II

	FFW	GRU	LSTM	CNN	CNN+LSTM
10 pontos	0.04008	0.01512	0.01959	0.01431	0.01480
15 pontos	0.02152	0.01761	0.01078	0.01004	0.01863
20 pontos	0.03556	0.02133	0.01192	0.01158	0.00755

### CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicaram que é possível realizar estimativas sobre o tempo de descarga da bateria através da análise de segmentos aplicando RNAs, de acordo com a métrica considerada, especialmente com o modelo CNN+LSTMs. Também foi observado que há uma relação entre a precisão das estimativas e o número de pontos observados, fator que se mostrou importante nas instâncias externas ao conjunto de treino. Em trabalhos futuros o intuito será aprimorar a capacidade desse modelo analisando mais curvas de descarga de diferentes combinações de sensores e parâmetros de transmissão LoRa.

### REFERÊNCIAS

- [1] P. Carrion and M. Quaresma, "Internet da Coisas (IoT): Definições e aplicabilidade aos usuários finais," *Human Factors in Design*, vol. 8, no. 15, pp. 049-066, 2019.
- [2] C. Liu, et al., "Lithium-ion cell screening with convolutional neural networks based on two-step time-series clustering and hybrid resampling for imbalanced data," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 59001-59014, 2018.
- [3] A. Burduk, B. Dybała, and J. Machado, "Efficiency forecasting of electric bundle assembly with use of ANN model," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2198, no. 1, IOP Publishing, 2022.
- [4] W. Macedo, "Modelo de descarga de bateria para dispositivo IoT," em: GitHub. Disponível em: <https://github.com/WCosmo/ENCOM2023-Modelo-de-descarga-de-bateria>. Acesso em: 28 de julho de 2023.
- [5] The MathWorks, "Learn More About ThingSpeak", em: ThingSpeak. Disponível em: [https://thingspeak.com/pages/learn\\_more/](https://thingspeak.com/pages/learn_more/). Acesso em: 5 de julho de 2023.

# Modelo de Perda de Propagação para LoRa em Terreno Misto:Terra-Rio

Lucian M. Ribeiro\*, Caio M. M. Cardoso\*, Alan B. S. Corrêa\*, Douglas F. Menezes\*, Kleysson S. de Oliveira\*, Jasmine P. L. Araujo\*, Miercio C. de A. Neto\*, Fabricio J. B. Barros\*

**Resumo**—Conforme previsto por especialistas, houve um crescimento exponencial do número de dispositivos IoT usados pela população em geral. Entre estes dispositivos, um dos grupos mais notáveis é o de dispositivos Long Range (LoRa). Entre as características da tecnologia LoRa está o baixo consumo de energia, ao mesmo tempo em que proporciona uma grande área de cobertura. Esses dispositivos, quando aplicados na região amazônica – uma área densamente arborizada, úmida e com populações afastadas dos centros urbanos – podem oferecer uma nova gama de serviços aos nativos da região. Os modelos de propagação mais conhecidos não estão ajustados às especificidades da região, tornando os enlaces de rádio difíceis. Visando amenizar este problema, este artigo apresenta ajustes no modelo de perda de propagação Terra-Plana, em polarização vertical, para atender comunicações LoRa sob os rios amazônicos.

**Palavras-chave**—IoT, LoRa, região amazônica, modelo de propagação.

## I. INTRODUÇÃO

A utilização crescente de dispositivos IoT no cotidiano das pessoas tem se destacado e especula-se que chegaremos aos 15 bilhões de dispositivos ainda em 2023 [1]. Entre estes dispositivos, uma das tecnologias mais chamativas é a de dispositivos Long Range (LoRa). As características da tecnologia LoRa são o baixo consumo de energia enquanto concomitantemente provém uma grande área de cobertura, possibilitando uma gama de novas aplicações em áreas remotas [2].

Esses dispositivos, quando aplicados na região amazônica, podem oferecer uma série de novos serviços aos nativos da região. Neste local, os modelos de propagação mais conhecidos não estão ajustados às suas especificidades, que possui características distintas devido à umidade, temperatura e arborização [3].

Visando amenizar este problema, a pesquisa que culminou neste artigo ajustou o modelo sobre Terra Plana em polarização vertical para melhor atender a região. Para isso, o modelo apresentado neste trabalho utiliza o modelo de dois raios, sem fazer uso das simplificações geralmente utilizadas no desenvolvimento da equação, para modelo de terra plana. Além disso, utiliza dados das próprias medições para os valores dos coeficientes de campo e distancia de referência da citada equação.

\*Os autores pertencem ao Laboratório de Computação e Telecomunicações, Universidade Federal do Pará, Belém-Pará, email: lucianmribeiro@gmail.com, caio.cardoso@itec.ufpa.br.com, alanbrenocorrea@gmail.com, dougmene08@gmail.com, kleysson.oliveira@itec.ufpa.br, jasmine@ufpa.br, miercio@ufpa.br, fjbrito@gmail.com

## II. METODOLOGIA

### A. Equipamento e medições

Durante a realização da pesquisa, optou-se pela utilização da plataforma, Arduino. Para efetuar a comunicação entre os microcontroladores, foram utilizados uma antena helicoidal e omnidirecional no receptor, uma antena direcional Rohde and Schwarz modelo HL223 como transmissor, além de dois shields LoRa Dragino. Estes últimos utilizam o chip sx1276 da SEMTECH e o protocolo LoRaWAN. Além disso, também foi utilizado um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) modelo Inspire 1. A Tabela 1 define as demais configurações utilizadas na transmissão.

Tabela 1  
CONFIGURAÇÕES UTILIZADAS NA TRANSMISSÃO

Frequencia de Operação	915 MHz
Potencia de Transmissão	20 dBm
Spreading Factor	7
Largura de Banda	500 KHz

O transmissor ficou posicionado a 13,3 metros de altura, no segundo andar do prédio de aulas denominado "Mirante" na UFPA, enquanto o receptor percorria o rio a uma distância de 11.5 metros de altura, por aproximadamente 1300 metros, tendo como ponto de partida a beira do Rio, posicionado a aproximadamente 70m do transmissor. A campanha de medições realizada avaliou o *Received Signal Strength Indication* (RSSI) durante o percurso e utilizou os valores recebidos para montar o banco de dados. A Fig. 1 mostra o setup de transmissão e o trajeto percorrido pelo VANT.

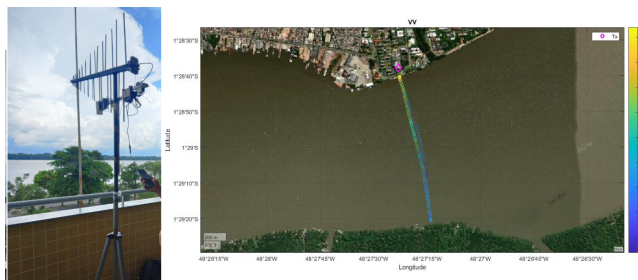


Figura 1. Setup de transmissão e trajeto VANT

Ressalta-se que a componente do campo que reflete no solo, ora refletirá em terreno seco (com permissividade ( $\epsilon_r$ ) igual



a 15 e condutividade ( $\sigma$ ) igual a 0.001) e ora refletirá no rio (com  $\epsilon_r$  igual a 80 e  $\sigma$  igual a 0.05) [4], como visto na Fig. 2

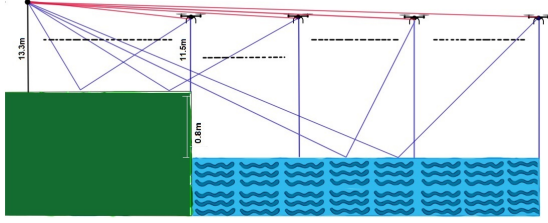


Figura 2. Setup de transmissão e trajeto VANT

### B. Modelo de dois raios ajustado

A perda de propagação é dada em (1) e a equação do campo em função da distância para o Modelo de Dois Raios é mostrada em (2).

$$P_L = P_t - |E(d)|^2 \quad (1)$$

$$E(d) = \frac{E_0 d_0}{d} \left( \exp(-j \frac{2\pi}{\lambda} d_1) + (\Gamma \exp(-j \frac{2\pi}{\lambda} d_2)) \right) \quad (2)$$

Em (2),  $d_0$  a distância referência do receptor em relação ao transmissor,  $E_0$  é o campo elétrico no espaço livre em  $d_0$ ,  $d$  a distância entre o transmissor e o receptor,  $\lambda$  o comprimento de onda,  $d_1$  a distância percorrida pela componente do campo em visada direta e  $d_2$  a distância percorrida pela componente do campo que reflete no solo. Além disso, em grandes distancias, a equação (2) considera o coeficiente de reflexão ( $\Gamma$ ) igual a -1 [5].

Após algumas simplificações de (2), obtemos o Modelo de Terra Plana, mostrado em (3) [5]. Nesta ultima equação,  $h_t$  é a altura do transmissor e  $h_r$  é altura do receptor.

$$E(d) = 2 \left| \frac{E_0 d_0}{d} \right| \sin\left(\frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d}\right) \quad (3)$$

Para distâncias cujo os ângulos não são rasantes a equação (2) precisa de adaptação. Nestes casos, (2) assume o formato visto na equação (4).

$$E(d) = E_0 d_0 \left( \frac{-\exp(j \frac{2\pi}{\lambda} d_1)}{d_1} + \left( \Gamma \frac{-\exp(j \frac{2\pi}{\lambda} d_2)}{d_2} \right) \right) \quad (4)$$

Para aperfeiçoarmos a predição, ajustou-se a equação (4): Primeiramente  $\Gamma$  deixa de ser considerado -1 e assume o valor resultante de (5), que leva em consideração os valores de  $\epsilon_r$  e  $\sigma$  de cada tipo de solo [5].

$$\Gamma = \frac{(\epsilon_r - j(\frac{18 \cdot 10^9 \sigma}{f})) \sin \theta - \sqrt{(\epsilon_r - j(\frac{18 \cdot 10^9 \sigma}{f}) - \cos^2 \theta)}}{(\epsilon_r - j(\frac{18 \cdot 10^9 \sigma}{f})) \sin \theta + \sqrt{(\epsilon_r - j(\frac{18 \cdot 10^9 \sigma}{f}) - \cos^2 \theta)}} \quad (5)$$

Além disso, o modelo denominado neste artigo como Modelo de Dois Raios Ajustado (MDRA), visto na equação (6), utiliza o primeiro valor de distancia medido do transmissor ao receptor ( $d_{0m}$ ) e o primeiro valor de E medido na respectiva distancia ( $E_{0m}$ ).

$$E(d) = E_{0m} d_{0m} \left( \frac{-\exp(j \frac{2\pi}{\lambda} d_1)}{d_1} + \left( \Gamma \frac{-\exp(j \frac{2\pi}{\lambda} d_2)}{d_2} \right) \right) \quad (6)$$

## III. RESULTADOS

Para comparar a eficácia do método, comparamos o MDRA com o Modelo Terra Plana padrão, a perda no espaço livre e os próprios dados medidos. A Fig. 3 apresenta os resultados.

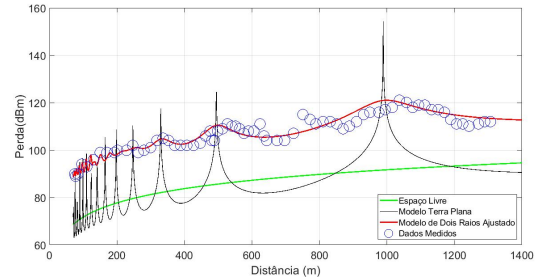


Figura 3. Comparação entre dados medidos e modelos de predição

Na comparação, a predição pelo modelo de espaço livre tem um MSE de 20,25 dB, o Modelo de Terra Plana tem um MSE de 20,76 dB, enquanto o MDRA tem um MSE de 4,07 dB. Além do mais, o MDRA apresentou um resultado satisfatório ao prever os pontos onde há soma destrutiva do raio direto e raio refletido, que no gráfico são os pontos de pico de Perda de propagação..

## IV. CONCLUSÃO

Campanhas de medições foram feitas sobre o Rio Guamá, no trecho entre a UFPA e a Ilha do Combú, com polarização vertical. Os dados medidos foram comparados com o Modelo Terra Plana, o modelo de perda no espaço livre e um modelo denominado Modelo de Dois Raios Ajustado. Enquanto os primeiros modelos apresentaram um MSE de mais de 20 dB, o Modelo proposto teve um MSE inferior a 5 dB.

## REFERÊNCIAS

- [1] V. J. C. Rodrigues and F. B. S. Carvalho. "Cenário Atual, Perspectivas e Aplicações de IoT". RTIC - Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, vol. 10, no. 1, Nov. 2021
- [2] L. Alliance. "About LoRa Alliance®". Disponível em: <https://loralliance.org/about-lora-alliance/>, Acesso em: 26 julho 2023
- [3] L. E. Castro Eras, D. K. Nakata da Silva, L. Correia, F. J. Brito Barros, J. P. Leite de Araujo and G. Protasio dos Santos Cavalcante, "A Radio Propagation Model for a Rainforest–River Environment Using UTD and Geometrical Optics," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 21, no. 1, pp. 54-58, Jan. 2022, doi: 10.1109/LAWP.2021.3117522.
- [4] D. K. Nakata da Silva, L. E. Castro Eras, A. A. Moreira, L. M. Correia, F. J. Brito Barros and G. Protasio dos Santos Cavalcante, "A Propagation Model for Mixed Paths Using Dyadic Green's Functions: A Case Study Over the River for a City–River–Forest Path," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 17, no. 12, pp. 2364-2368, Dec. 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2875333.
- [5] J. D. Parsons, "The Mobile Radio Propagation Channel," 2nd ed. New York, NY, USA: Wiley, 2000.



# Modelo Multi-Declive para Terreno Misto Baseado em Imagem Aérea

Caio M. M. Cardoso\*, Filipe C. Fernandes\*, Alex S. Macedo\*, Fabrício J. B. Barros\*, Jasmine P. L. Araújo\*

**Resumo**—A Quinta Geração de telefonia móvel (5G) está em implantação no Brasil, e para auxiliar nesse processo são necessárias ferramentas que possibilitem o planejamento correto da área de cobertura do sinal. Tendo em vista as particularidades brasileiras, principalmente de cidades da região norte, nas quais há vasta arborização, este trabalho apresenta um método para cálculo da perda de percurso que leva em consideração os diferentes meios entre o transmissor e receptor baseado em imagens aéreas. Para isto, utiliza-se o modelo multi-declive com distância de segmentação que varia de acordo com a posição geográfica do receptor e do transmissor. Para comparar os resultados obtidos, utilizou-se o modelo *Log Distance* com coeficiente de perda de propagação (PLE) Urbano e com PLE Arborizado. Com isso, observou-se que o método proposto obteve melhor desempenho que os outros métodos, obtendo raiz do erro médio quadrático (RMSE) de 5 dB para os dados simulados.

**Palavras-chave**—Multi-Declive, Perda de Percurso, Distância de Segmentação, Arborizado.

## I. INTRODUÇÃO

Os investimentos necessários para oferecer os serviços de Quinta Geração de telefonia móvel (5G) são elevados [1]. Sendo assim, é importante realizar um planejamento adequado da área de cobertura antes de efetuar a implantação de *sites* 5G [2], [3]. Para isso, são utilizados modelos de propagação que possibilitam identificar a área de cobertura previamente. Dessa maneira, é necessário entender o comportamento do sinal nos diferentes meios de propagação.

Para representar o comportamento do sinal de rádio existem diversos modelos, como a equação de Friis, os modelos Longley-Rice, Okumura-Hata e Walfisch e Bertoni para propagação em ambientes externos [4]. No entanto, esses modelos não são capazes de representar o sinal com precisão quando o mesmo é propagado em ambientes arborizados como cidades da região amazônica.

Diante desse contexto, este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia, baseado no modelo multi-declive, que leva em consideração a troca de meios entre o transmissor e o receptor de acordo com a posição geográfica dos mesmos. Para isso, a distância de segmentação e o número de segmentações ocorridas são calculados para cada par transmissor e receptor a partir da análise de imagens aéreas.

Esta metodologia foi aplicada a região do campus da Universidade Federal do Pará (UFPA) devido a sua composição de área mista sub-urbana e densamente arborizada. Em seguida, com o objetivo de utilizar o coeficiente de perda de propagação

\*Laboratório de Computação e Telecomunicações, Universidade Federal do Pará, Belém-Pará, email: caio.cardoso@itec.ufpa.br, filipe.fernandes@itec.ufpa.br, alexsanchess@gmail.com, fbarros@ufpa.br, jasmine@ufpa.br

(PLE) correto para cada ambiente, foram coletadas as latitudes e longitudes que delimitam as regiões prediais e arborizadas do campus.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção II é apresentada a metodologia adotada, na Seção III os resultados são apresentados e discutidos. Por fim, na Seção IV são apresentadas as conclusões.

## II. METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizada a ferramenta Google Maps API V3 Tool<sup>1</sup> para delimitar as áreas arborizadas e prediais dentro da UFPA. Em seguida, uma parte da rota percorrida pelo ônibus circular, ônibus utilizado pelos usuários da UFPA, foi selecionada para a aplicação do método. Na Fig. 1, é apresentado o cenário de estudo no qual o transmissor está posicionado no centro do campus e a rota do ônibus segue por um trajeto de terreno misto, composto de regiões arborizadas e regiões suburbanas.



Figura 1. Cenário de Estudo.

Para o cálculo da perda de percurso utiliza-se (1) para distância  $d$  (entre transmissor receptor) abaixo da distância de segmentação  $d_s$  e (2) para distâncias acima de  $d_s$  [5], conforme

$$L = \begin{cases} L_o + 10 \cdot n_1 \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_o}\right) & \text{se } d \leq d_s \quad (1) \\ L = L_o + 10 \cdot n_i \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{d_o}\right) + \sum \delta_{1,\dots,j} & \text{se } d > d_s \quad (2) \end{cases}$$

<sup>1</sup><https://www.birdtheme.org/useful/v3tool.html>

onde  $L_o$  é a perda de percurso na distância referência ( $L_o = 45$  foi utilizado na simulação);  $n_1$  o coeficiente de perda de percurso do meio 1;  $n_i$  o coeficiente de perda de percurso do meio  $i$ ;  $d_o$  a distância referência e  $\delta_j$  é a variável referente a troca de meio, dada por

$$\delta_j = 10 \cdot (n_{i-1} - n_i) \cdot \log_{10}(d_s), \quad (3)$$

onde  $j$  é o índice da troca de meio.

Aplicando a metodologia proposta, pode-se determinar as  $d_s$  para cada troca de meio entre o transmissor e o receptor à partir da interseção entre a reta, que vai do transmissor ao receptor, com o plano que separa os meios [6]. Na Fig. 2, mostra-se uma localização do receptor (ônibus circular) na qual existem 4 trocas, ilustradas pelo asterisco de cor magenta. Para cada troca há um  $d_s$  que será utilizado para o cálculo do  $\delta_j$  que, por sua vez, será utilizado para o cálculo da perda segundo (2).

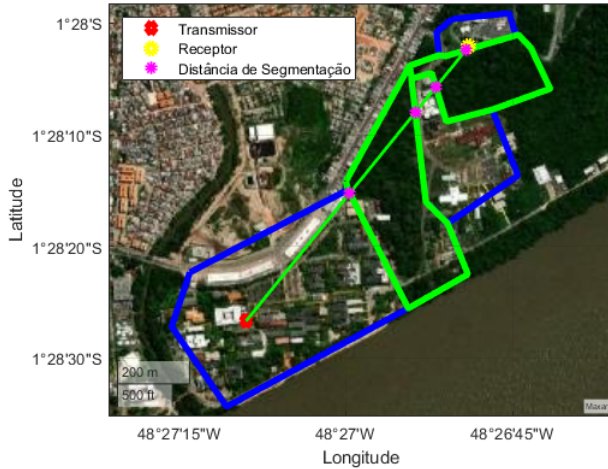


Figura 2. Aplicação da metodologia de multi-declive com ajuste de  $d_s$  para o ponto mais distante da rota do ônibus no campus da UFPA.

### III. RESULTADOS

Ao aplicar a metodologia proposta ao cenário do campus da UFPA, calculou-se a perda de percurso para cada posição na rota do ônibus, de acordo com as  $d_s$  obtidas. Para isso, foram considerados os expoentes de perda de percurso igual a 3 e 5 para as regiões urbanas e arborizadas, respectivamente [4].

A nível de comparação, calculou-se também as perdas utilizando (1) para todas as distâncias considerando regiões urbanas e arborizadas separadamente. A Fig. 3 mostra os resultados obtidos em contraposição aos dados simulados considerando (1) e (2) somadas a uma variável aleatória normal de média 0 e desvio padrão 4,92.

Analisando a Fig. 3, nota-se que há uma elevada discrepância entre a curva do modelo que considera apenas a PLE arborizada aos dados simulados, resultando na raiz do erro médio quadrático (RMSE) de 52,14 dB. Por outro lado, para o modelo ajustado e o PLE urbano houve uma similaridade maior aos dados simulados com RMSE de ambos na casa de

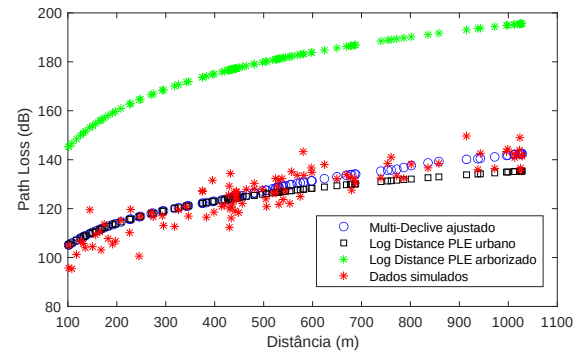


Figura 3. Perda de Percurso Multi-Delcive.

5 dB. Contudo, é possível observar que o modelo ajustado acompanha a tendência dos dados simulados conforme à troca de meios, obtendo melhor desempenho comparado aos demais. A tabela III destaca os erros obtidos para cada situação.

Tabela I  
RMSE E DESVIO PADRÃO ENTRE OS DADOS SIMULADOS E OS MODELOS.

	RMSE (dB)	STD (dB)
Multi Declive Ajustado	5,03	4,92
Log Distance PLE urbano	5,89	5,13
Log Distance PLE arborizado	52,14	6,79

### IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi proposto o cálculo de diferentes distâncias de segmentação de acordo com a posição transmissor receptor para o modelo multi-declive. A metodologia proposta apresentou resultados satisfatórios quando comparado com modelos mais simples que não consideram a mudança de meio na propagação do sinal. Sendo assim, esta metodologia pode ser aplicada no auxílio do planejamento de *sites* 5G, determinando de forma mais precisa a área de cobertura do sinal utilizando imagens aéreas. Para trabalhos futuros, pretende-se realizar coletas de dados para diferentes faixas de frequências para verificar a performance do modelo em uma situação real.

### REFERÊNCIAS

- [1] M. Agiwal, H. Kwon, S. Park, and H. Jin, "A survey on 4g-5g dual connectivity: Road to 5g implementation," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 16193–16210, 2021.
- [2] A. A. Al-Mekhlafi, O. M. Al-Kamali, R. Q. Shaddad, and M. A. Abduljalil, "Dense 5g network planning for coastal area at aden city, yemen," in *2019 First International Conference of Intelligent Computing and Engineering (ICOICE)*, pp. 1–7, 2019.
- [3] G. Fahira, A. Hikmaturokhman, and A. Rizal Danisya, "5g nr planning at mmwave frequency : Study case in indonesia industrial area," in *2020 2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE)*, pp. 205–210, 2020.
- [4] T. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*. USA: Prentice Hall PTR, 2nd ed., 2001.
- [5] F. L. da Silva, "Metodologia para a obtenção dos pontos de quebra do modelo de larga escala multi declive usando algoritmo genético," Master's thesis, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.
- [6] A. Steinbruch, *Geometria analitica*. Pearson Makron Books, 2004. Ch 5, Pg. 177.

# Monitoramento Automatizado do NEE na Floresta Amazônica usando Redes Neurais LSTM

Jean Dias, Albert dos Santos, Gabriel Costa, Diego Cardoso e Marcos Seruffo

**Resumo**—Este artigo aborda a problemática do desmatamento e degradação da floresta amazônica, enfatizando a relevância do monitoramento ambiental nesse contexto. Para lidar com a extensa área territorial e a necessidade de análise rápida dos dados de satélite, propõe-se a implementação de uma rede neural para a previsão dos valores de NEE (Net Ecosystem Exchange). A aplicação dessa abordagem viabiliza um monitoramento automatizado e antecipado do comportamento do NEE nas áreas analisadas. Os resultados obtidos evidenciaram que a rede foi capaz de identificar o padrão temporal das medições de NEE e realizar previsões dos valores futuros, com  $R^2$  igual a 0.806. Isso demonstra a eficácia dessa abordagem como um recurso auxiliar no monitoramento ambiental da floresta amazônica.

**Palavras-chaves**—Monitoramento ambiental; LSTM; NEE;

## I. INTRODUÇÃO

O dióxido de carbono ( $CO_2$ ), amplamente reconhecido como o principal gás de efeito estufa em termos de quantidade, desempenha um papel fundamental na regulação do equilíbrio térmico da superfície terrestre [1]. Compreender e analisar a taxa de troca de carbono é de extrema importância em diversas áreas, incluindo mudanças climáticas, equilíbrio ecológico e, especialmente, para a implementação de medidas de conservação.

Nesse contexto, há o NEE (Net Ecosystem Exchange) que consiste em uma medida empregada para quantificar o fluxo líquido de  $CO_2$  entre um determinado ecossistema e a atmosfera. Essa medida representa a diferença entre as taxas de absorção de  $CO_2$  pela vegetação e a liberação de  $CO_2$  pelo próprio ecossistema. A avaliação do NEE proporciona uma compreensão abrangente do ecossistema analisado e dos impactos gerados pelas mudanças climáticas [2].

O padrão de comportamento do NEE pode ser alterado devido a influências de fatores tanto antropogênicos quanto naturais, o que pode resultar em degradação e desequilíbrio ambiental. Dessa forma, o monitoramento adequado de áreas com florestas é fundamental para a preservação ambiental. Atualmente, há satélites que são usados para essa função e a disponibilidade de dados espaciais e temporais provenientes desses satélites contribui para a visualização da dinâmica e evolução do NEE ao longo do tempo.

No entanto, lidar com a extensa área territorial da Amazônia e a necessidade de análise rápida dos dados de satélite apresenta desafios significativos. A região amazônica abrange uma vasta extensão geográfica que combinadas com a imensa diversidade ecológica da região, tornam a coleta e análise de dados uma tarefa complexa. Além disso, a Amazônia enfrenta pressões e ameaças constantes, como o desmatamento ilegal e a degradação ambiental, que exigem respostas rápidas

e eficazes. Nesse contexto, a disponibilidade de tecnologias avançadas de sensoriamento remoto e sistemas de processamento de dados eficientes é fundamental para permitir uma análise ágil e precisa dos dados de satélite, possibilitando uma melhor compreensão dos processos e mudanças ocorridas na região e facilitando a tomada de decisões informadas em relação à conservação e uso sustentável da Amazônia.

Esse artigo propõe a utilização de uma rede neural LSTM (Long Short-Term Memory) para realizar a previsão dos valores de NEE. Busca-se fornecer um auxílio eficaz no monitoramento ambiental, permitindo uma compreensão prévia e antecipada das variações do NEE. Com esse conhecimento antecipado, busca-se identificar e emitir alertas sobre áreas em que o valor do NEE difere significativamente do esperado.

## II. MÉTODOS E MATERIAIS

A área de estudo faz parte do município de Santarém e trata-se de uma área de floresta primária. Os dados foram obtidos a partir dos satélites SMAP (Soil Moisture Active Passive) da NASA, especificamente, o produto SPL4CMDL [3]. A coleta foi realizada de 31/03/2015 a 31/05/2023 com medições diárias, totalizando 2983 amostras.

A rede LSTM é uma arquitetura de rede neural recorrente que se destaca por sua capacidade única de capturar e armazenar informações relevantes em sequências de dados, como séries temporais. Sua principal vantagem é a habilidade de lidar com o problema do desvanecimento do gradiente, comumente encontrado em redes neurais recorrentes convencionais, permitindo a captura de dependências de longo prazo nas sequências [4]. Essa capacidade possibilita que a LSTM aprenda padrões complexos e de longo prazo em séries temporais, tornando-a uma escolha ideal para prever valores futuros com base no histórico de dados passados.

Os hiperparâmetros da LSTM bem como a quantidade de camadas presentes na arquitetura foram otimizadas por meio do Keras Tuner que é uma ferramenta de otimização automática de hiperparâmetros, permitindo encontrar as melhores configurações para maximizar o desempenho do modelo [5]. A melhor arquitetura encontrada é composta por uma camada LSTM de entrada com 128 unidades, uma camada intermediária com 128 unidades e uma camada densa de saída com uma unidade. A série temporal analisada é univariada e a previsão de um valor futuro ocorre com base em uma janela de 5 valores passados, escolhidos pelos autores e que será avaliada em trabalhos futuros. Em relação ao treinamento, os dados foram divididos em conjunto de treino, validação e teste na proporção de 60%, 20% e 20%, respectivamente.

Para avaliar o modelo foram utilizadas duas métricas, MAPE (Mean Absolute Percentage Error) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ). O MAPE expressa o erro médio como uma porcentagem do valor real, o que o torna uma métrica útil para interpretar a precisão das previsões em termos relativos. O MAPE é calculado de acordo com a Equação 1, sendo  $n$  é o número total de amostras,  $Y_i$  representa os valores reais para a amostra  $i$ , e  $P_i$  o valor previsto pelo modelo para amostra.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y_i - P_i}{Y_i} \right| \quad (1)$$

Já o  $R^2$  é uma métrica de avaliação empregada para mensurar a qualidade do ajuste de um modelo de regressão. Quanto mais próximo de 1 o valor de  $R^2$ , melhor é o ajuste do modelo aos dados observados. O  $R^2$  é calculado de acordo com a Equação 2, sendo  $n$  o número total de amostras,  $Y_i$  os valores reais para a amostra  $i$ ,  $\hat{Y}_i$  o valor previsto pelo modelo para a amostra  $i$ , e  $\bar{Y}$  a média dos valores das amostras.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2)$$

### III. RESULTADOS

Após o treinamento da LSTM, foi verificado o desempenho da rede na previsão de valores futuros de NEE. A Fig. 1A) apresenta os valores da série temporal do conjunto de teste, em azul, e os valores previstos pela rede, em laranja. Nota-se que a LSTM foi capaz de realizar previsões com bastante precisão. O valor do MAPE foi de apenas 1.08%.

A Fig. 1B) apresenta a métrica de  $R^2$  com os valores observados pelo satélite e os valores previstos pela LSTM. A reta tracejada representa o caso ideal em  $R^2$  é igual a 1, ou seja, todos os valores previstos são exatamente iguais aos valores observados. O valor de  $R^2$  igual a 0.806 indica que o modelo conseguiu entender grande parte dos padrões e das variações nos dados observados. Esse modelo poder ser aplicado no caso de ocorrência de desvios significativos nos valores de NEE em relação ao padrão esperado. Assim, um sistema de alerta pode ser acionado, permitindo uma análise mais detalhada da região em questão, facilitando uma avaliação aprofundada das condições ambientais e possíveis fatores de impacto na área monitorada.

### IV. CONCLUSÃO

Este artigo propôs o uso de uma rede neural LSTM para prever os valores de NEE como uma abordagem eficaz para auxiliar no monitoramento ambiental da região amazônica. Os resultados mostraram que a LSTM conseguiu identificar os padrões temporais e realizar previsões dos valores futuros de NEE com um MAPE de 1.08% e um  $R^2$  de 0.806. Portanto, demonstrou-se a capacidade da rede em capturar dependências de longo prazo nas séries temporais e fornecer informações valiosas para a gestão e conservação ambiental. Essa abordagem oferece uma ferramenta poderosa para compreender e antecipar as variações do NEE. Em caso de desvios significativos dos valores de NEE em relação ao padrão esperado,

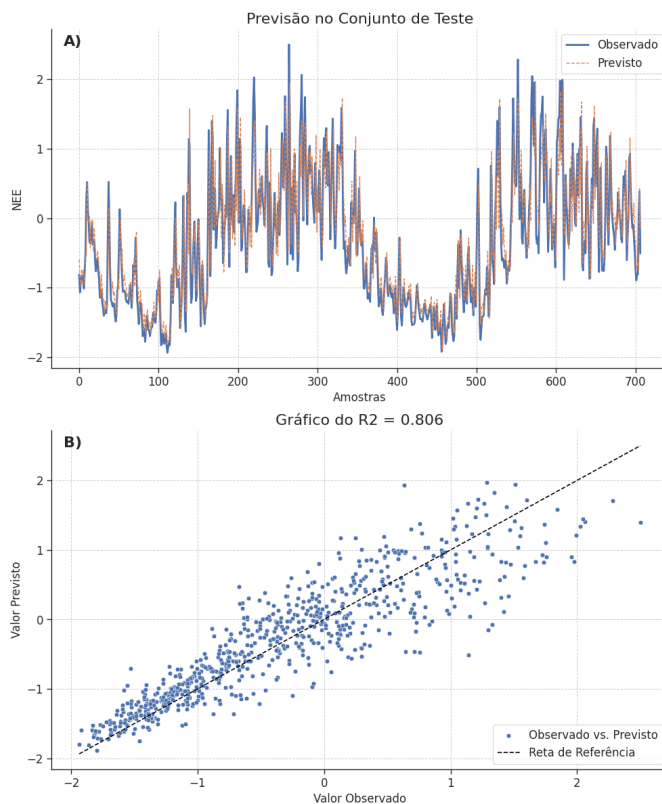


Fig. 1. (A) Previsão no conjunto de teste; (B) Coeficiente de determinação  $R^2$ .

um sistema de alerta pode ser acionado, permitindo uma análise mais detalhada da região em questão. Essa estratégia de monitoramento automatizado e antecipado proporciona uma vantagem significativa ao detectar rapidamente áreas com potencial de degradação ambiental na Floresta Amazônica, facilitando a implementação de medidas de mitigação e preservação mais eficazes. Em trabalhos futuros, é proposto o uso de outras variáveis em conjunto com o NEE e a análise de suas correlações, visando obter um panorama mais abrangente das regiões analisadas.

### REFERÊNCIAS

- [1] Liang, J., Guo, Q., Zhang, Z., Zhang, M., Tian, P. and Zhang, L. (2020). Influence of complex terrain on near-surface turbulence structures over loess plateau. *Atmosphere*, 11(9), 930.
- [2] Saleska, S. R., Miller, S. D., Matross, D. M., Goulden, M. L., Wofsy, S. C., Da Rocha, H. R., and Silva, H. (2003). Carbon in Amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. *Science*, 302(5650), 1554-1557.
- [3] ORNL DAAC. 2018. Fixed Sites Subsetting and Visualization Tool. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. Accessed July 06, 2023. Subset obtained for SPL4CMDL product at site id 'br\_parasantarem\_k67p\_primary\_forest/'. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAAC/1567>
- [4] Hochreiter, S., and Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.
- [5] Chollet, F. and others, 2015. Keras. Available at: <https://github.com/fchollet/keras>.

# Otimização da Alocação de Demandas em Redes 6G Habilitadas para NFV

Matheus Pantoja, Rafael F. Vieira e Diego L. Cardoso

**Resumo**—A Virtualização de Funções de Rede (NFV) é muito promissora para o uso eficiente dos recursos computacionais e para o melhor provisionamento dos serviços de rede. Em redes de sexta geração serão cada vez mais necessários mecanismos que permitam maximizar a alocação de funções de rede virtuais (VNFs), possibilitando o melhor uso da rede. Este trabalho apresenta um modelo de Programação Linear de Inteiro (PLI) para o problema de alocação de VNFs. Comparado com o benchmark, o PLI apresenta maior taxa de aceitação e menor utilização dos recursos computacionais, chegando a 50% de economia em cenários sem saturação da rede.

**Palavras-chaves**—NFV, VNF, Otimização de Recursos, Alocação de Requisições, Redes 6G, Programação Linear Inteira.

## I. INTRODUÇÃO

A virtualização das funções de rede (NFV) tem se mostrado uma abordagem promissora para implantar e gerenciar funções de rede (NF) de forma flexível e eficiente. Ao desvincular as NF do hardware, a NFV proporciona benefícios como redução de custos, melhoria de desempenho e maior eficiência [1]. A NFV em redes 6G representa uma oportunidade relevante para explorar esses benefícios e enfrentar os desafios específicos dessas redes [2].

A implementação da NFV é desafiadora para os provedores de serviços de Internet, que precisam estrategicamente decidir onde aplicar essa tecnologia para otimizar a eficiência do tráfego [3]. Isso envolve a distribuição de nós para suportar as VNFs e a alocação de recursos para esses nós [4]. Além disso, a alocação de recursos deve ser dinâmica e adaptável a padrões de tráfego variáveis, garantindo a máxima capacidade de tráfego com mínimo desperdício [3].

A colocação de VNFs é um aspecto analítico da NFV, pois impacta diretamente a capacidade da rede de lidar com o tráfego [4]. A decisão da colocação deve considerar vários fatores, incluindo a topologia da rede, a capacidade dos nós e as demandas do tráfego [3]. Assim, a otimização da colocação e roteamento de VNFs pode levar a uma melhor eficiência da rede, minimizando o custo total de colocação e roteamento de VNFs [4].

Um modelo para otimizar a distribuição de requisições em redes 6G habilitadas para NFV é apresentado neste trabalho. O objetivo é assegurar a eficiência e eficácia dessas redes frente às demandas futuras. A estratégia de alocação de recursos e colocação de NFs é determinante para a capacidade da rede de gerenciar o tráfego. O restante deste trabalho está organizado da seguinte maneira: A Seção II detalha o modelo proposto, a Seção III discute os resultados da implementação do modelo, e a Seção IV conclui o trabalho.

## II. MODELO DE SISTEMA

A rede é representada por um grafo bidirecional  $G(N, L)$ , onde  $N$  representa o conjunto de nós (*Switches* de rede) e  $L$  é o conjunto de *links* da rede. Todos os nós são considerados elegíveis para receber uma máquina física (MF) de uso genérico, nos quais as NF, representadas pelo conjunto  $F$ , podem ser alocadas. Cada MF possui um conjunto de recursos disponíveis, que consiste em CPU. Um conjunto de demandas  $D$  é apresentado. Cada demanda  $k \in D$  é representada por:

$$k(id_k, ori_k, f_k)$$

Sendo  $id_d$  o identificador da demanda,  $ori_d$  o nó de origem e  $f_d$  a função solicitada. Uma NF  $f \in F$  pode atender diferentes demandas desde que não ultrapasse a sua capacidade máxima de processamento. Matematicamente formulamos um modelo de Programação Linear Inteira (PLI) para obter o resultado ótimo da distribuição de demandas e alocação de NF; Cada MF pode suportar múltiplas funções e serviços, cada um com requisitos específicos de função e largura de banda.

### A. Formulação do Problema

O objetivo deste trabalho é a alocação ótima das NF nas MF disponíveis, maximizando a taxa de aceitação das demandas que buscam atendimento. Sendo assim, a função objetiva é dada por:

$$\text{Maximizar } \sum_{k \in D} \sum_{i \in N} d_{ki} \quad (1)$$

Assim,  $d_{ki}$  é uma variável binária, que assume 1 quando a demanda  $k$  é alocada na MF  $i$ . 0, caso contrário.

$$\sum_{i \in N} d_{ki} \leq 1, \quad \forall k \in D \quad (2)$$

$$f_{wi} - d_{ki} \geq 0, \quad \forall w \in F, k \in D, i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{w \in F} f_{wi} \times CPU_w \leq CPU_i, \quad \forall i \in N \quad (4)$$

$$\sum_{k \in D} d_{k,i} \times B_k \leq B_w \times f_{w,i}, \quad \forall i \in N, w \in F \quad (5)$$

A Eq. (2) limita a alocação de cada demanda a, no máximo, um nó. A Eq. (3) garante que uma demanda só é alocada a um nó se este conter a função solicitada pelo serviço, onde  $f_{wi}$  é uma variável binária que assume o valor 1 se a função  $w$  está



alocada no nó  $i$ , e 0 caso contrário. A Eq. (4) assegura que a soma das funções alocadas a um nó não exceda sua capacidade de processamento, representada pela variável  $CPU$ , que indica a capacidade de CPU do nó ( $CPU_i$ ) ou da função ( $CPU_w$ ). A Eq. (5) garante que uma função não vai processar demandas além da sua capacidade, onde  $B$  representa a largura de banda, ou seja, a capacidade de processamento de dados da função ou do nó.

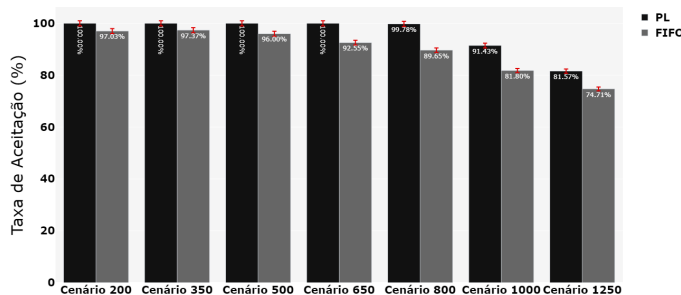
### III. RESULTADOS

O modelo, desenvolvido em Python 3.0 com a biblioteca Pyomo [5], foi testado em um sistema equipado com Intel Core i7-8750H @ 2.30 GHz, 16 GB de RAM e Windows 11 x64. A simulação emprega uma topologia de rede com 4 nós, cada um com uma MF contendo 8 núcleos de CPU. Seis VNFs e quatro tipos de serviços, cada um com requisitos específicos de CPU e largura de banda, foram modelados [3]. Sete cenários foram criados, com demandas variando de 200 a 1250. Cada cenário foi executado 100 vezes, e os resultados foram comparados com o método FIFO (Primeiro a entrar, primeiro a sair). Um intervalo de confiança de 95% foi utilizado para as análises.

#### A. Atendimento de Requisições

O modelo demonstrou eficácia superior em comparação com o FIFO. Em cenários não saturados, o modelo atendeu a 100% das demandas, enquanto o FIFO não. Devido à natureza do FIFO de atender às demandas no primeiro nó disponível, uma baixa qualidade de serviço e um gasto ineficiente dos recursos computacionais existe. Com a saturação da rede, se torna mais crítico a necessidade de melhores estratégias de colocação de NF e alocação de demandas, para manter a qualidade do serviço ofertado. A Fig. 1, indica a robustez e adaptabilidade do modelo, características essenciais para a eficiência da rede, mostrando a necessidade de melhores estratégias para um melhor funcionamento da rede.

Fig. 1. Atendimento de Requisições

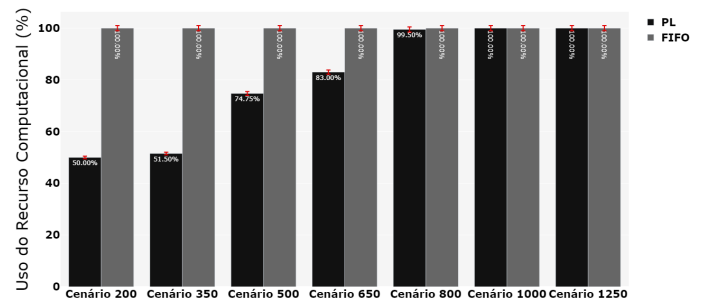


#### B. Uso de Recursos Computacionais

O modelo demonstrou um uso de recursos significativamente menor que FIFO em cenários de baixo volume de demanda, chegando a 50% de diferença no cenário mais básico. Enquanto o FIFO sempre utiliza 100% dos recursos

disponíveis. Isso indica que a utilização de estratégias mais robustas na rede é capaz de atender a um alto número de demandas com um uso mais eficiente dos recursos. À medida que o volume de demandas aumenta, é necessário que os recursos computacionais sejam melhores geridos para maximizar a taxa de aceitação da rede. A Fig. 2 ilustra como o uso eficiente de recursos é um aspecto crítico para garantir o melhor funcionamento da rede, especialmente em cenários de com alta saturação.

Fig. 2. Uso de Recursos Computacionais



### IV. CONCLUSÃO

Este trabalho abordou a alocação de VNFs em redes 6G, focando tanto em recursos computacionais quanto em processamento de tráfego. Foi desenvolvido um modelo de PLI que, em cenários de baixo volume de demanda, supera o FIFO em eficácia em 50%, além disso, em cenários não saturados, o modelo atinge uma taxa de 100% de atendimento às demandas. Para trabalhos futuros, planejamos explorar outras técnicas de alocação de recursos para comparação com o modelo apresentado, mantendo as mesmas condições da PLI proposta para otimizar o tempo de execução e a complexidade. Por fim, a adoção de estratégias mais eficientes é crucial para assegurar que as redes 6G atendam às futuras demandas, melhorando a experiência do usuário e suportando aplicações cada vez mais exigentes e inovadoras.

### REFERÊNCIAS

- [1] M. Karimzadeh-Farshbafan, V. Shah-Mansouri, and D. Niyato, "A Dynamic Reliability-Aware Service Placement for Network Function Virtualization (NFV)," in *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 38, no. 2, pp. 318-333, Feb. 2020.
- [2] C. R. de Mendoza, B. Bakhshi, E. Zeydan, and J. Manges-Bafalluy, "Near Optimal VNF Placement in Edge-Enabled 6G Networks," in *2022 25th Conference on Innovation in Clouds, Internet and Networks (ICIN)*, Paris, France, 2022, pp. 136-140.
- [3] A. Varasteh, M. De Andrade, C. M. Machuca, L. Wosinska, and W. Kellerer, "Power-Aware Virtual Network Function Placement and Routing Using an Abstraction Technique," in *2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018, pp. 1-7.
- [4] B. Addis, D. Belabed, M. Bouet, and S. Secci, "Virtual Network Functions Placement and Routing Optimization," in *2015 IEEE 4th International Conference on Cloud Networking (CloudNet)*, Niagara Falls, ON, Canada, 2015, pp. 171-177.
- [5] W. Hart, C. Laird, J. Watson, and D. L. Woodruff, "Pyomo — Optimization Modeling in Python," 2012.

# Performance Evaluation of the E2 Interface in O-RAN Setups

Frank Morte, Rebecca Aben-Athar, Cleverson Nahum, Glauco Gonçalves, Ilan Correa,  
Silvia Lins and Aldebaro Klautau

**Abstract**—This paper presents an evaluation of the E2 interface in an O-RAN architecture, focusing on increasing the number of gNBs connected to the RIC. Through simulations using Near-RT RIC and e2sim, data on the traffic of E2AP packets in the network were collected using the Wireshark software. The results indicate a non-linear increase in communication activity with the growth of gNBs, resulting in more packets and data exchange. These findings are relevant to understanding the performance of the E2 interface in different scenarios and can contribute to the dimensioning of 5G O-RAN networks, aiming to improve the quality of service and efficiency in the management of radio resources.

**Index Terms**—5G, O-RAN, xApp, Communications network, e2 interface.

## I. INTRODUCTION

The evolution of mobile networks has driven the development of new technologies and approaches to meet the growing demands for connectivity and new services. One such approach is the Open Radio Access Network (O-RAN) concept, which has gained prominence recently. O-RAN introduces the idea of disaggregated, virtualized, and open network components, allowing vendor-locked solutions to be replaced by software-based solutions running on Commercial-Off-The-Shelf (COTS) hardware, resulting in a more open and flexible approach [1].

In the O-RAN architecture, management is performed by RAN Intelligent Controllers (RICs) that work in different time intervals: Near-Real Time RIC (Near-RT RIC) and Non-Real time RIC (Non-RT RIC). The Near-RT RIC works in near real-time (10ms to 1s), providing fast and immediate responses to network events and changes. Otherwise, the Non-RT RIC works with a longer delay (more than 1s), allowing for more strategic and long-term network optimization [2]. Near-Real-Time RIC is powered by xApps, which perform functions as data analysis, traffic prediction, and RAN control. These xApps receive data and transmit control commands through the E2 interface, which establishes the interconnection between two terminals, that is, the near-RT RIC and the E2 nodes which can be disaggregated functions as Distributed Units (DUs) and Central Units (CUs), or Next Generation Node Bases

Frank Morte, Rebecca Aben-Athar, Cleverson Nahum, Glauco Gonçalves, and Aldebaro Klautau are with LASSE - Telecommunications, Automation and Electronics Research and Development Center, Belém-PA, Brazil. Silvia Lins is with the Innovation Center, Ericsson Telecomunicações S.A, Brazil. E-mails: frank.morte@itec.ufpa.br, rebecca.athar@itec.ufpa.br, {cleverson, glaucogoncalves, aldebaro, ilan}@ufpa.br, silvia.lins@ericsson.com. This work was supported by the Innovation Center, Ericsson Telecomunicações S.A., OpenRAN Brazil - Phase 2 project (MCTI grant N° A01245.014203/2021-14), SAMURAI project (FAPESP grant #20/05127-2), and CNPq-Brasil (grant 405111/2021-5).

(gNBs) or LTE evolved Node Bases (eNBs) compatible with the O-RAN architecture. Through the E2 interface these nodes exchange specific information and commands with the near-RT RIC. Therefore, investigating more about the E2 interface is important to understand how its introduction will impact the overall performance of the network.

This paper aims to evaluate the performance of the E2 interface when the number of gNBs connected to the near-RT RIC increases in an O-RAN architecture. It is intended to investigate how the E2 interface behaves and what challenges may arise when more gNBs are connected to the RIC. To perform this evaluation, we used the framework provided by Colosseum Near-RT RIC integrated as ns-O-RAN, which provides a simulated RAN environment using NS-3 [3].

## II. NEAR-RT RIC ARCHITECTURE

Figure 1 shows how an xApp, running inside the near-RT RIC, receives messages from base stations through the E2 interface. It is important to highlight that this architecture is tailored to the software components found in the Near-RT RIC delivered by CoIO-RAN [4].

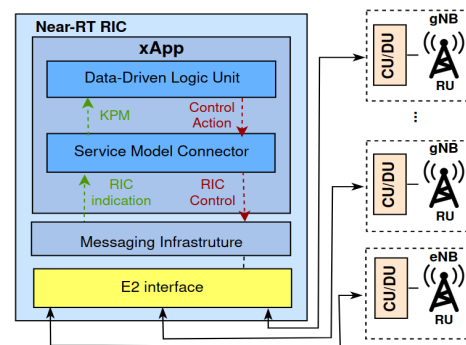


Figure 1: Near-RT RIC architecture.

The Service Model Connector (SM Connector) establishes communication between the xApp and the near-RT RIC. It helps the development of an xApp, separating high-level decision making, taken by the data-driven logic unit based on Key Performance Metrics (KPMs), from the low-level O-RAN protocols and data formats. This way, the SM Connector includes components to interact with the RIC infrastructure, such as specific APIs and message parsing. In addition, it uses Abstract Syntax Notation One (ASN.1) serialization to encode and decode messages between the E2 manager and the RIC's E2 termination. In the context of CoIO-RAN, the custom xApp SM Connector serializes information into strings, allowing

rapid development of new payloads for E2 indication and control messages [1].

In turn, the E2 interface allows the control of radio resources and other functionalities of the E2 nodes by the RIC. In addition, it enables collection of RAN metrics by the RIC periodically or after specific events. The E2 interface comprises two protocols: E2 Application Protocol (AP) and E2 SM. The E2AP coordinates the communication between the RIC and the E2 nodes. At the same time, the E2AP messages can incorporate different E2 SMs that implement specific functionalities, such as metrics reporting or parameter control. The E2 interface uses the Stream Control Transmission Protocol (SCTP) for transporting E2AP messages. The E2 nodes publish their data and allows the xApps on the near-RT RIC to subscribe to specific functions of the E2 nodes [2].

### III. EXPERIMENTAL EVALUATION

The main purpose of our experiments is to evaluate how increasing the number of gNBs impacts the control traffic exchanged between near-RT RIC and the E2 nodes. Therefore, we evaluate the total number of E2AP packets exchanged, the E2AP average rate (in bytes per second), and the E2AP average packet size.

The experiments were conducted on an Intel Core i5-9400 CPU with 2.90GHz, six cores, and 8GB of RAM in an Ubuntu 22.04. For the near-RT RIC, we used the version of the O-RAN Software Community (OSC) made available by the OpenRAN Gym project<sup>1</sup>. This release ships the near-RT RIC as a set of Docker containers. It also contains a simple xApp that just subscribes to receive KPMs from E2 nodes, without any control loops. During its initialization, the xApp registers with the RAN by specifying the gNB (or eNB) ID. After registration, the xApp periodically receives RIC indication messages containing KPMs.

To simulate E2 termination, we used e2sim<sup>2</sup> designed by OSC to simulate various O-RAN compatible E2 terminations. Working as an SCTP client, it implements the basic E2AP specifications, which enables end-to-end testing of the E2 stream. It decodes messages from the RIC, providing feedback and transmitting RAN telemetry to the RIC.

We used NS-3 mmWave<sup>3</sup> to simulate the 5G network, implementing the eNB and gNBs based on the *scenario-zero*. In this scenario, we have the flexibility to choose the amount of user eNBs and gNBs. In the simulations, we kept a fixed number of 1 eNB and varied the number of gNBs from 2 to 4. This approach, using a simulator, allowed to easily prepare and manage different scenarios. Integration between NS-3 and e2sim is made by the ns3-o-ran-e2<sup>4</sup> module, which incorporates e2sim as a library and implements its callbacks. Furthermore, this module provides simplified support for configuring multiple instances of E2 termination, allowing efficient integration of the two sandboxes.

For each scenario (number of gNBs), the simulation file is prepared, compiled, and the simulation runs. The number

of UEs (User Equipments) is increased proportionally to the addition of gNBs (6, 9 and 12, respectively), and they are randomly distributed in a circular area around the co-located eNB-gNB stations, with a radius of 1000 m. The movement of the UEs is random in two dimensions, with speeds varying between 2 m/s and 4 m/s. The traffic model simulates Enhanced Mobile Broadband (eMBB) UEs with a constant buffer full transmission rate of 20.48 Mbps. After that, the xApp registers with the base stations and starts to receive KPMs. The simulated eNB and gNBs exchange actual E2AP traffic with the near-RT RIC, which is captured using the Wireshark software. This tool was used also for providing traffic statistics. In all scenarios, the packet capture is made at the E2 Interface, since all E2AP traffic comes to this component.

Table I presents the results obtained in the experiments. The results show that as we increase the number of gNBs, there is an increase in the number of packets received. This is expected, as the increase in gNBs leads to more data exchange between the RAN and the near-RT RIC. Additionally, we observed that the Average Size of Packets and Total Bytes also experienced a substantial non-linear increase, reflecting the overall surge in data traffic.

Table I: E2AP traffic in different scenarios.

Statistics	2 gNBs	3 gNBs	4 gNBs
<b>Packets</b>	78	140	192
<b>Time Span (s)</b>	90	249	455
<b>Average packet size</b>	336	376	413
<b>Total Bytes</b>	26216	52628	79204
<b>Average Bytes/s</b>	291	211	174

### IV. CONCLUSION

In this study, we provide preliminary results on the evaluation of the E2 interface in an O-RAN setup by increasing the size of the RAN. Results indicate that the total amount of packets and data exchanged increases non-linearly with the number of gNBs. These results are crucial to understand the performance of the E2 interface in different scenarios and can help in sizing and optimizing the 5G O-RAN network. Further investigation of this topic includes evaluating city-scale scenarios and the performance of control loops.

### REFERENCES

- [1] L. Bonati, M. Polese, S. D’Oro, and T. Melodia, “Intelligent Closed-loop RAN Control with xApps in OpenRAN Gym,” *IEEE European Wireless*, 2022.
- [2] M. Polese, L. Bonati, S. D’Oro, S. Basagni, and T. Melodia, “Understanding O-RAN: Architecture, Interfaces, Algorithms, Security, and Research Challenges,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 2023.
- [3] A. Lacava, M. Bordin, M. Polese, *et al.*, “ns-O-RAN: Simulating O-RAN 5G Systems in ns-3,” *Workshop on ns-3*, 2023.
- [4] M. Polese, L. Bonati, S. D’Oro, S. Basagni, and T. Melodia, “CoO-RAN: Developing machine learning-based xApps for open RAN closed-loop control on programmable experimental platforms,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2022.

<sup>1</sup><https://github.com/wineslab/colosseum-near-rt-ric/tree/ns-o-ran>

<sup>2</sup><https://github.com/wineslab/ns-o-ran-e2-sim>

<sup>3</sup><https://github.com/wineslab/ns-o-ran-ns3-mmwave>

<sup>4</sup><https://github.com/o-ran-sc/sim-ns3-o-ran-e2>

# Previsão de Cheias Sazonais no Rio Tocantins utilizando Redes Neurais Artificiais Recorrentes

Jamerson Messias, João Carmona, Cristiane Cunha, Warley Júnior and Hugo Kuribayashi

**Resumo**—Esse trabalho discute a aplicação de um método para previsão de cheias sazonais no Rio Tocantins utilizando Redes Neurais Artificiais Recorrentes (RNARs). As arquiteturas *Gated Recurrent Unit (GRU)* e *Long Short-Term Memory (LSTM)* demonstraram resultados promissores na previsão de variáveis como cota e vazão média. Os resultados embora favoráveis, indicam potenciais limitações na metodologia de monitoramento ambiental adotada pelas autoridades locais.

**Index Terms**—Cheias, Análises Preditivas, Redes Neurais Recorrentes, Ciclo Hidrológico, Bacia Araguaia Tocantins.

## I. INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil existem diversas cidades que todos os anos enfrentam enchentes, relacionadas com as cheias sazonais de rios e bacias hidrográficas destas regiões. Ao se considerar as cheias nos rios Amazonas, Nilo ou Congo, por exemplo, estas são caracterizadas por um longo período continuado de cheia, intercalado por um longo período contínuo de seca [1].

Em particular a bacia Araguaia-Tocantins, estas cheias também apresentam um longo tempo de percurso, cerca de sete a oito meses. Sua cota máxima é alcançada entre os meses de outubro e abril, coincidindo com o chamado inverno amazônico. Esta é considerada a quarta maior bacia de drenagem da América do Sul, estendendo-se por 777.308  $km^2$ , abrangendo extensões de dois biomas sul-americanos, a floresta tropical amazônica ao Norte e a vegetação de Cerrado ao Sul [2]. Em 2010, a região apresentava população de 8.610.721 habitantes, sendo 76% ocupando áreas urbanas, com densidade demográfica de 9,3 habitantes/ $km^2$  [3].

Neste contexto, destaca-se que o planejamento urbano no Brasil não tem considerado aspectos fundamentais como o controle das cheias urbanas, o que causa transtornos e prejuízos para a sociedade e o ambiente, aumentando a frequência e o impacto de inundações. No Estado do Pará, por exemplo, inúmeras regiões sofrem com cheias periódicas, e ainda assim, poucas são as estratégias criadas para combater esta problemática [3]. Tais enchentes são de fato sazonais, exigindo, a ocupação recorrente de abrigos provisórios, por meses, pela populações afetadas. Tais abrigos expõem estas populações a condições de vulnerabilidades, dada as condições de moradia, saneamento básico e segurança.

This work was supported by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES).

Jamerson Messias, João Carmona, Cristiane Cunha, Warley Júnior and Hugo Kuribayashi are with the Federal University of Southern and Southeastern of Pará, Marabá-PA, 68505-080 Brazil. e-mail:{jamerson;jvictor;wmvj;cristiane\_cunha; hugo}@unifesspa.edu.br.

Neste sentido, as evidências apontam dificuldades por parte do Poder Público na adoção de medidas eficazes e seguras. Nestas regiões, a ausência de informações hidrológicas desencadeia uma série de tomadas de decisões errôneas, uma vez baseadas em modelos empíricos, que utilizam apenas a vazão como variável histórica [4]. O ciclo hidrológico é um processo dinâmico, que pode ser influenciado por diversos eventos naturais. A partir do exposto, este trabalho discute a aplicação de um método para previsão das cheias sazonais do rio Tocantins, utilizando Redes Neurais Artificiais Recorrentes (RNARs), frequentemente utilizadas na previsão de séries temporais. Tais técnicas tem a capacidade de criar uma função de aproximação, que abstraia razoavelmente a complexidade da dinâmica envolvida, e neste caso, auxiliar no fomento de planos de ações mais precisos às populações afetadas.

## II. METODOLOGIA

Este trabalho toma como fonte de informações, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e do *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*. Com base em informações que impactam a intensidade das cheias, foram selecionadas as estações do tipo pluviométricas e fluviométricas, reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos, índices de *el niños*, que representam temperaturas médias em diferentes regiões do Oceano Pacífico Equatorial (OCE), além de medições da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), e de suas anomalias, conforme os limites sul e norte das áreas globais, totalizando 26 variáveis numéricas.

Em relação aos casos de dados ausentes, optou-se pela imputação de dados, a ser calculada a partir da média simples entre o mês anterior e o mês posterior, para uma dada variável. Dado as características quantitativas e contínuas dos dados, foi aplicado o método de correlação de *Pearson* (conforme representado pela Fig. 1a), de modo que, percebeu-se a que as variáveis de TSM apresentam baixa correlação, assim como as de *El niño 4* e *niño 3+4*. Ao final, o conjunto de dados passou a ser composto por 11 variáveis: (1) Cota Máxima; (2) Cota Mínima; (3) Cota Média; (4) Vazão Máxima; (5) Vazão Mínima; (6) Vazão Média; (7) Chuva Máxima; (8) Chuva Total; (9) Dias Chovidos; (10) *El niño 1+2*; (11) *El niño 3*. Por fim, para cada variável existente há um tipo de medida específica e escalas de valores dissemelhantes, fazendo-se necessário a normalização de todas as variáveis utilizadas.

A metodologia do trabalho envolveu a utilização de duas arquiteturas de RNARs: *Long Short-Term Memory (LSTM)* e *Gated Recurrent Unit (GRU)*. Ambas arquiteturas foram

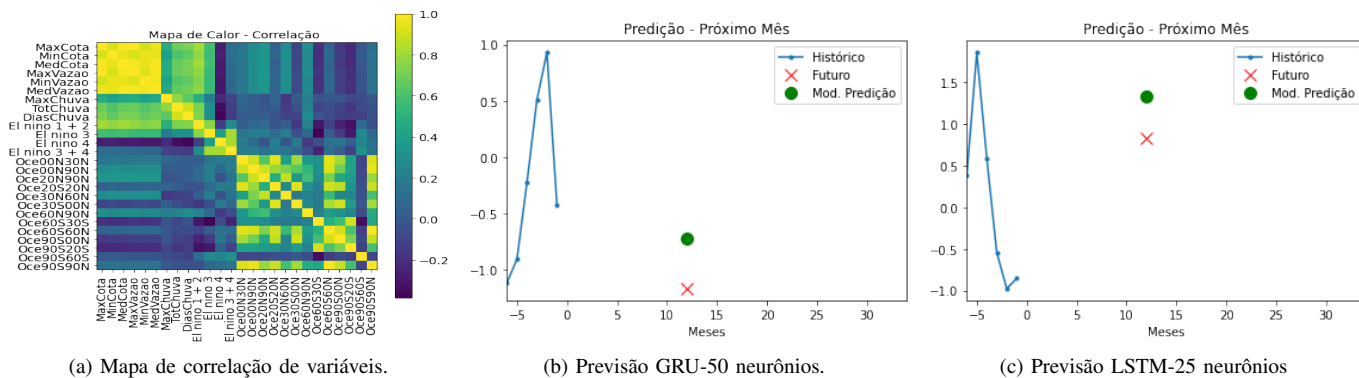


Figura 1: Representação dos resultados obtidos na correlação de dados e ensaios de previsão de cota e vazão média.

testadas com o mesmo quantitativo de neurônios na camada intermediária (25 e 50, conforme decisão de projeto), com *learning rate*  $\gamma = 0.001$ , *batch size*  $b = 4$ , em 100 épocas, utilizando estratégia de treinamento *hold-out* com 70% dos dados aleatoriamente alocados para treinamento e 30% validação. Além disso, em ambas arquiteturas utilizou-se o otimizador Adam e tangente hiperbólica como função de ativação. Todos os experimentos foram implementados em Python, por meio da biblioteca Tensorflow [5], e foram avaliados com base na métrica *Root Mean Squared Error* (RMSE).

### III. RESULTADOS

Os resultados obtidos a partir dos experimentos são sumarizados pela Tabela I, que por questões de conveniência, apresentam os resultados considerando apenas as variáveis cota média e vazão média. Para a variável cota média, os resultados obtidos para ambas as redes e configurações foram equivalentes, embora a configuração GRU com 50 neurônios tenha se destacado em relação aos demais, pelos melhores valores de RMSE na etapa de validação. Por outro lado, ao se considerar a variável de vazão média, a configuração LSTM com 25 neurônios obteve os melhores resultados de validação.

Tabela I: RMSEs de Treino e Validação GRU e LSTM.

Variável	Arquitetura	Neurônios	RMSE Treino	RMSE Validação
Cota Média	GRU	25	0.2367	0.3947
		50	0.2184	0.3903
	LSTM	25	0.2207	0.3924
		50	0.2814	0.3835
Vazão Média	GRU	25	0.2715	0.5327
		50	0.4562	0.4562
	LSTM	25	0.3023	0.3836
		50	0.3001	0.4625

De modo complementar, as Figs. 1b e 1c apresentam uma breve representação de ensaios de previsão de curto prazo, considerando as configurações com os melhores resultados de validação. A Fig. 1b apresenta a previsão da variável cota média para o próximo mês (a partir de um mês aleatório da base de dados), enquanto que a Fig. 1c apresenta a previsão da variável vazão média. Em ambos os casos, há certa proximidade de resultados, entre o que foi previsto pelos modelos e o dado registrado no histórico.

A diferença observada entre as ocorrências prevista e materializada pode indicar que a fonte de dados utilizada deveria ter maior correlação com as variáveis a serem previstas. Cabe observar que as medições de cota média, por exemplo, foram obtidas de estações de medição localizadas em cidades situadas às margens do Rio Tocantins, no Estado do Pará, conforme a metodologia utilizada pelas autoridades locais. Assim, embora os estudos de previsão apontem resultados promissores, destaca-se como principal contribuição deste trabalho, a ineficiência no monitoramento de variáveis ambientais nas cidades onde as enchentes efetivamente se manifestam, conforme a prática dos poderes públicos regionais. Uma abordagem alternativa baseia-se na previsão de cota ou vazão média das cidades situadas às margens do Rio Tocantins, mas considerando como fonte de dados, as variáveis ambientais relacionadas às nascentes/cabeceiras do Rio Tocantins, e afluentes, situados nos estados de Goiás e Maranhão. Esta abordagem tende a ampliar a acurácia de previsão das variáveis ambientais, e, portanto, representar uma importante ferramenta de tomada de decisão das autoridades locais em defesa das populações afetadas pelas enchentes nestas regiões.

### IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo de aplicação de RNARs para a previsão de cheias do Rio Tocantins. As redes GRU e LSTM demonstram razoável capacidade de realizar uma moderada previsão das variáveis ambientais monitoradas. Trabalhos futuros envolvem a utilização de variáveis ambientes das nascentes e afluentes do Rio Tocantins, para melhorar o desempenho de previsão da abordagem proposta.

### REFERÊNCIAS

- [1] M. Rodrigues, M. Costa, and C. C. Filho, "Proposta de um método para previsão de cheias sazonais utilizando redes neurais artificiais: Uma aplicação ao rio Amazonas," in *Anais do VI WCAMA*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2015, pp. 1–10.
- [2] S. Aquino, E. M. Latrubesse, and E. E. de Souza Filho, "Caracterização hidrológica e geomorfológica dos afluentes da bacia do rio araguaia," *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol. 10, 11 2009.
- [3] J. A. Raiol, *Perspectivas para o meio ambiente urbano: GEO Marabá*. Pará, Belém:[sn]: PNUMA, 2010.
- [4] R. K. C. Camara, "Previsão Estocásticas de Nível Fluviométrico para Cidade de Marabá-PA: Método de Box & Jenkins," 2012.
- [5] M. Abadi *et al.*, "TensorFlow: Large-scale machine learning on heterogeneous systems," 2015, software available from tensorflow.org.



# Primeiras Medições em Antenas em Microfita Realizadas no Campus Tucuruí UFPA

André Luiz da Silva Aranha, Andrécia Pereira da Costa, Alfrêdo Gomes Neto e Júlio Cesar de Araújo Ferreira

## II. METODOLOGIA

O projeto da antena é baseado no *patch* em microfita retangular convencional para operar na faixa de frequência de

**Resumo**— Este artigo apresenta os primeiros resultados obtidos no Campus Tucuruí, UFPA, para caracterização numérica e experimental de antenas em microfita. A importância desses resultados decorre do ineditismo das medições em micro-ondas realizadas no Campus Tucuruí. Foram projetadas três antenas em microfita, do tipo *patch* retangular, sendo uma convencional e duas com fendas no elemento irradiante, cobrindo as faixas de frequências 3,48 GHz/3,51 GHz e 4,77 GHz/4,73 GHz, simulado/medido, respectivamente. Utilizou-se o LiteVNA-64, um VNA portátil, de baixíssimo custo, para a caracterização experimental. Os resultados numéricos e experimentais apresentam uma boa concordância, confirmando a viabilidade da utilização do LiteVNA-64.

**Palavras-chave**—Antena, baixo custo, LiteVNA-64, microfita, Tucuruí.

## I. INTRODUÇÃO

ATÉ bem pouco tempo, medições em micro-ondas só eram realizadas em grandes centros, utilizando laboratórios de custo elevado, inacessíveis para a maioria das instituições. Com a disponibilidade de analisadores de redes vetoriais, VNA (do inglês *Vector Network Analyzer*) de baixíssimo custo [1], [2], a realização de medições em micro-ondas, até 6,3 GHz, passou a ser acessível. O VNA é um instrumento que mede a resposta em frequência de um componente, ou de uma rede composta por vários componentes, podendo esses componentes serem passivos ou ativos [3]. O LiteVNA-64, apresenta um display e bateria para medição autônoma, sendo também possível a sua conexão a um computador. Por essa versatilidade e, principalmente, pelo baixíssimo custo, vem sendo bastante utilizado por pesquisadores e estudantes [4].

Neste artigo são apresentados os resultados para a caracterização de três antenas em microfita, do tipo *patch* retangular, sendo uma convencional e duas com fendas no elemento irradiante. Os resultados foram obtidos no Laboratório de Eletromagnetismo (LEMAG) do Campus Universitário de Tucuruí (CAMTUC) da Universidade Federal, do Pará (UFPA). Além da boa concordância entre os resultados simulados e medidos, destaque-se a importância da realização das medições no próprio Campus, um fato inédito e, até pouco tempo, inimaginável.

3,5 GHz. O modelo da antena e os parâmetros estão mostrados na Fig. 1, e as dimensões descritas na Tabela I. Para o início do projeto foi considerado o elemento do *patch* retangular a partir das equações destacadas em [5]. Em seguida, foram dimensionadas mais duas antenas com fendas no *patch* irradiante, fazendo uso do método empírico para obtenção da melhor adequação das faixas de frequências apresentadas neste artigo. As configurações das fendas e as dimensões estão mostrados na Fig. 2 e na Tabela II.

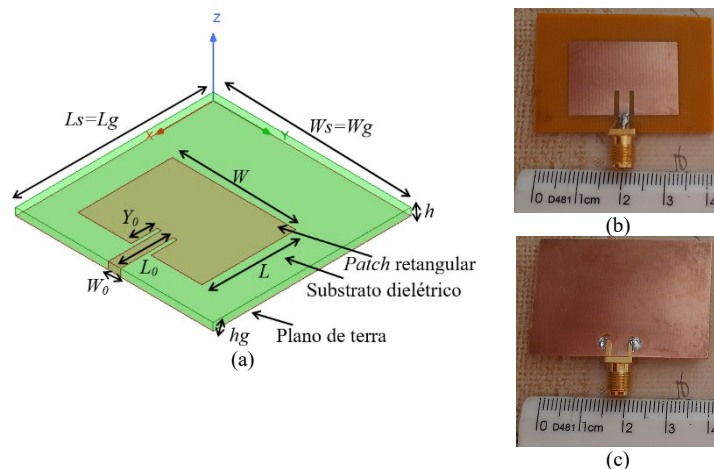


Fig. 1. Modelo da antena *patch* em microfita retangular convencional: vista isométrica (a), vista superior da antena fabricada (b), vista inferior (c).

TABELA I  
DIMENSÕES DA ANTENA *PATCH* RETANGULAR EM MICROFITTA

Parâmetros	Valor (mm)	Parâmetros	Valor (mm)
$W_s = L_s = W_g = L_g$	40	$W$	25,5
$h$	1,5	$L$	19,5
$W_0$	2,45	$Y_0$	6,55
$hg$	0,035	$L_0$	10,71

Para a caracterização numérica foi utilizado o *software* comercial *ANSYS Electronics Desktop (HFSS)*, [6]. O substrato dielétrico utilizado é o FR4, com espessura de 1,5 mm, constante dielétrica 4,4 e tangente de perdas 0,02. Uma linha de microfita de 50  $\Omega$  de impedância alimenta a antena. Para a fabricação dos protótipos foram utilizados adesivos de recorte colados no substrato FR4, impressos na *Plotter* de recorte do Laboratório de Fabricação (FABLAB) e um processo de corrosão com solução perclorato de ferro. Dessa forma, as antenas foram fabricadas e caracterizadas no próprio Campus Tucuruí. Os resultados experimentais foram caracterizados usando o LiteVNA-64 portátil, com operação na faixa de

Artigo enviado em 04 Julho, 2023.

André Luiz da Silva Aranha, Andrécia Pereira da Costa, (e-mail: andreciacosta@ufpa.br); Júlio Cesar de Araújo Ferreira, Faculdade de Engenharia Elétrica, UFPA, Tucuruí-PA.

Alfrêdo Gomes Neto, Departamento de Pós Graduação em Engenharia Elétrica, Instituto Federal da Paraíba (IFPB), João Pessoa-PB.

50 kHz a 6,3 GHz. O *setup* de medição para verificar o comportamento do coeficiente de reflexão da antena é visto na Fig. 3.

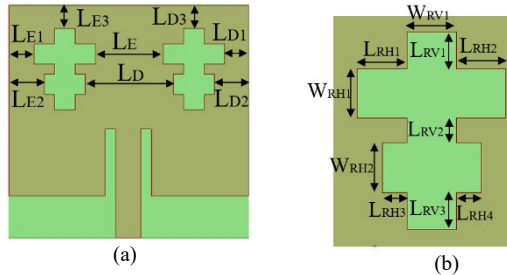


Fig. 2. Modelo da antena *patch* em microfita com fendas: vista superior da antena com 2 fendas (a), detalhes dos parâmetros da fenda (b).

TABELA II  
DIMENSÕES DA FENDA

Parâmetros	Valor (mm)	Parâmetros	Valor (mm)
$W_{RV1} = W_{RH1} = W_{RH2} = L_{RH1} = L_{RH2}$	2	$L_{E3} = L_{D3}$	0,66
$L_{RH3} = L_{RH4} = L_{RV2}$	1	$L_D$	12,6
$L_{RV1} = L_{RV3} = L_{E1} = L_{D1}$	1,5	$L_E$	10,6
$L_{E2} = L_{D2}$	2,5		

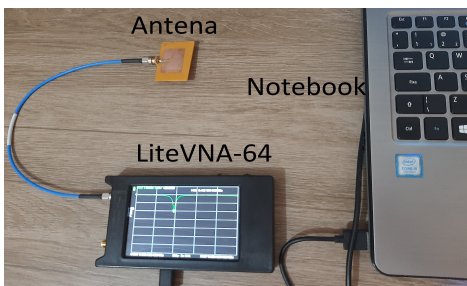


Fig. 3. *Setup* de medição.

### III. RESULTADOS

Resultados simulados e medidos para o coeficiente de reflexão são apresentados nas Figs. 4 e 5. Para a faixa de frequência de operação, foi considerado o nível de  $-10$  dB. A antena *patch* retangular convencional exibe uma frequência de ressonância simulada de 3,51 GHz, com largura de banda (BW) de aproximadamente 80 MHz, Fig. 4, valores próximos aos valores medidos, 3,46 GHz, 60 MHz, respectivamente. Com a inserção de uma fenda no elemento irradiante, canto superior direito, Fig 2(a), verificou-se que, na faixa de frequência considerada, não houve alteração significativa no comportamento da antena, apresentando uma frequência de ressonância de 3,51 GHz e uma largura de banda 70 MHz, valores próximos aos medidos que foram 3,44 GHz e 60 MHz, respectivamente.

Uma segunda fenda foi inserida no *patch* retangular, essa localizada no canto superior esquerdo, Fig. 2(a). Observa-se que a primeira ressonância permanece praticamente a mesma, com valor simulado de 3,48 GHz e medido de 3,41 GHz, e larguras de banda similares para simulação e medição de 50 MHz, Fig. 5. Entretanto, observa-se o surgimento de uma segunda frequência de ressonância, com valores simulado e medido de 4,77 GHz e 4,73 GHz, respectivamente. A BW apresentou valores simulado e medido de 50 MHz e 40 MHz,

respectivamente.

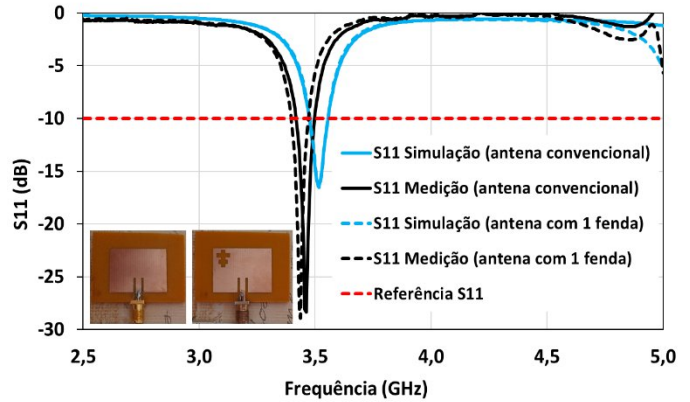


Fig. 4. Resposta em frequência para as antenas *patch* retangular convencional e com 1 fenda.

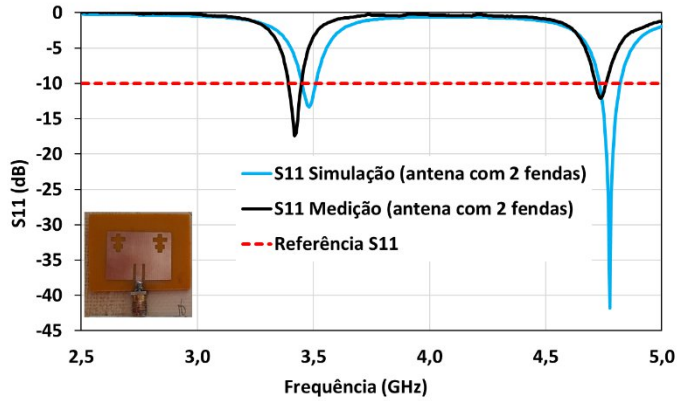


Fig. 5. Resposta em frequência para a antena *patch* retangular com 2 fendas.

### IV. CONCLUSÃO

Neste artigo foi apresentada a caracterização numérica e experimental de três antenas do tipo *patch* retangular em microfita, com e sem fendas no elemento irradiante. Empregou-se para obtenção dos resultados experimentais o LiteVNA-64, o qual possui forma compacta e baixíssimo custo, o que possibilitou a realização das medições no próprio Campus Tucuruí, o que foi uma realização inédita.

### REFERÊNCIAS

- [1] A. P. Costa, A. Gomes Neto, R. S. Bayma, A. S. Aranha, A. N. A. Aragão, C. B. Silva, A. N. C. Aragão, J. M. Galvão. “Caracterização Experimental de Filtros e Antenas em Microfita Utilizando o LiteVNA,” Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica (SBMO), Natal, Nov. 2022.
- [2] A. Gomes Neto, E. F. Silva, J. C. Silva, G. K. Nobrega, L. Monteiro, M. C. Patrício. “Medições em Micro-Ondas Usando Equipamentos de Baixíssimo Custo,” Simpósio Brasileiro de Micro-ondas e Optoeletrônica (SBMO), Natal, Nov. 2022.
- [3] H. Zhang, S. Krooswyk e J. Ou. “Measurement and Data Acquisition Techniques. Vector Network Analyzer.” *Journals & Books. In High Speed Digital Design.* v.1, 2015.
- [4] K. Y. YOU, “Low-Cost Vector Network Analyzer for Communication Devices Testing - Brief Review,” *International Journal of Advances in Microwave Technology (IJAMT).* v. 2, p.93 –97, 2017.
- [5] C. A. Balanis, *Teoria de Antenas: Análise e Síntese.* 3 ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.
- [6] [www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss](http://www.ansys.com/products/electronics/ansys-hfss).

# Projeto de Dicionário Baseado no Algoritmo de Otimização do Lobo Cinzento

Arthur Nascimento  
Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
Recife-PE, Brasil  
E-mail: artn@poli.br

Verusca Severo  
Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
Recife-PE, Brasil  
E-mail: verusca.severo@poli.br

Francisco Madeiro  
Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
Recife-PE, Brasil  
E-mail: madeiro@poli.br

**Resumo**—Este trabalho apresenta uma técnica de projeto de dicionário para quantização vetorial baseada na inteligência de enxames, que une o algoritmo de otimização do lobo cinzento (GWO, do inglês *Grey Wolf Optimizer*) ao algoritmo LBG (Linde-Buzo-Gray). O algoritmo proposto foi comparado ao LBG. Os resultados indicam que o algoritmo proposto apresenta melhorias na qualidade das imagens reconstruídas, em termos de PSNR (do inglês *Peak Signal-to-Noise Ratio*) médio, sobretudo para dicionários com mais de 256 vetores-código.

**Palavras-chave**—Quantização Vetorial, Inteligência de Enxames, LBG, GWO.

## I. INTRODUÇÃO

A quantização vetorial (QV) [1] é uma técnica amplamente utilizada em compressão de sinais. Um problema relevante no âmbito da QV é o projeto de dicionários, visto que deles depende a qualidade dos sinais reconstruídos.

Dentre as técnicas utilizadas para projeto de dicionários, o algoritmo LBG (Linde-Buzo-Gray) [2] destaca-se por sua popularidade e ampla utilização. Apresenta algumas limitações, como, por exemplo, o fato de alguns vetores do dicionário serem pouco ou até mesmo nunca utilizados.

Algoritmos bioinspirados combinados com o algoritmo LBG têm sido utilizados no contexto de projeto de dicionários [3–6], buscando compensar limitações associadas ao LBG.

Este trabalho apresenta uma técnica de projeto de dicionários baseada no LBG e no algoritmo GWO (*Grey Wolf Optimizer*) [7], que é inspirado no comportamento característico dos lobos cinzentos no tocante aos hábitos de caça e hierarquia.

## II. ALGORITMO LBG

Fixado o tamanho do dicionário,  $N$ , a dimensão dos vetores,  $K$ , e o limiar de distorção,  $\epsilon$ , e considerando  $t$  o número da iteração, o algoritmo LBG pode ser descrito como segue:

- Passo 1 (Inicialização): Dado o dicionário inicial  $W_0$  e um conjunto de treino  $X$ , faça  $t = 0$  e  $D_{-1} = \infty$ .
- Passo 2 (Particionamento): Seja  $W_t$  o dicionário em sua  $t$ -ésima iteração, agrupe cada vetor de treino  $\vec{x}_m$  na região de Voronoi, correspondente  $S_i$ , assim definida

$$S_i = \{\vec{x}_m | d(\vec{x}_m, \vec{w}_i) < d(\vec{x}_m, \vec{w}_o), \forall o \neq i\}, \quad (1)$$

com

$$d(\vec{x}_m, \vec{w}_n) = \sum_{j=1}^K (x_{mj} - w_{nj})^2, \quad (2)$$

em que  $d(\vec{x}_m, \vec{w}_n)$  é a distância euclidiana quadrática entre os vetores  $\vec{x}_m$  e  $\vec{w}_n$ ,  $x_{m,j}$  é a  $j$ -ésima componente de  $\vec{x}_m$  e  $w_{n,j}$  é a  $j$ -ésima componente de  $\vec{w}_n$ .

- Passo 3 (Cálculo da distorção): Calcule a distorção total

$$D_t = \sum_{i=1}^N \sum_{\vec{x}_m \in S_i} d(\vec{x}_m, \vec{w}_i). \quad (3)$$

- Passo 4 (Teste de parada): O algoritmo deve parar se  $(D_{t-1} - D_t)/D_t \leq \epsilon$ , e retornar  $W_t$  como dicionário final. Caso contrário, prossiga.
- Passo 5 (Atualização dos vetores-código): Calcule os centroides de cada região de acordo com

$$w_{ij} = \frac{1}{M_i} \sum_{\vec{x}_m \in S_i} x_{mj}, \quad (4)$$

em que  $M_i$  é a quantidade de vetores de treino alocados na  $i$ -ésima região de Voronoi. Faça  $t = t + 1$  e retorne ao Passo 2.

## III. GWO

O GWO é um algoritmo inspirado no comportamento dos lobos cinzentos e imita seus padrões de liderança e hierarquia, bem como seu comportamento de ataque [7]. Há quatro categorias de lobo que estão hierarquicamente relacionadas: alfa, beta, delta e ômega.

O GWO inicia com a criação de uma população de lobos de forma aleatória,  $\vec{Y}_i$  com  $i = 1, 2, \dots, P$ , que compõe o conjunto de soluções candidatas. Ao longo das iterações, os três melhores agentes de busca, isto é, lobo alfa ( $\vec{Y}_\alpha$ ), beta ( $\vec{Y}_\beta$ ) e delta ( $\vec{Y}_\delta$ ), vão estimar a localização da presa (melhor solução) e guiar os demais lobos (ômega). A nova posição de cada lobo é dada pela média aritmética dos vetores de posição dos lobos alfa, beta e delta, como segue

$$\vec{Y}(t+1) = \frac{\vec{Y}_1 + \vec{Y}_2 + \vec{Y}_3}{3}, \quad (5)$$

com

$$\vec{Y}_1 = \vec{Y}_\alpha - \vec{A}_1 \odot \vec{D}_\alpha, \quad \vec{Y}_2 = \vec{Y}_\beta - \vec{A}_2 \odot \vec{D}_\beta, \quad \vec{Y}_3 = \vec{Y}_\delta - \vec{A}_3 \odot \vec{D}_\delta,$$

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \odot \vec{Y}_\alpha - \vec{Y}|, \quad \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \odot \vec{Y}_\beta - \vec{Y}| \quad \text{e} \quad \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \odot \vec{Y}_\delta - \vec{Y}|,$$

em que  $|\cdot|$  indica a função módulo,  $\odot$  indica a operação de multiplicação componente a componente entre vetores,  $\vec{D}_\alpha$ ,  $\vec{D}_\beta$  e  $\vec{D}_\delta$  indicam, respectivamente, a distância relativa entre o agente de busca e os lobos alfa, beta e delta.  $\vec{C}_i$  e  $\vec{A}_i$ , com  $i = 1, 2$  e  $3$ , são calculados a cada iteração [7].

## IV. GWO-LBGM

Em 2019, Gita e Beniwal [8] propuseram a aplicação do GWO ao projeto de dicionários para QV, resultando no GWO-LBG. A proposta consistiu em usar o LBG na etapa de inicialização, fazendo com que um dos lobos seja resultado do algoritmo LBG.

Com o intuito de produzir dicionários de maior qualidade, este trabalho apresenta uma nova técnica de projeto de dicionário, denominada GWO-LBGM, obtida a partir de modificações realizadas no algoritmo GWO-LBG no tocante à inicialização, na equação de atualização da posição dos lobos e no critério de parada.

Na inicialização, todos os dicionários são inicializados a partir da seleção aleatória de vetores do conjunto de treino.

Quanto à equação de posição, para cada lobo é feito o cálculo dos centroides de cada região de Voronoi, conforme definido no algoritmo LBG. Em seguida, é avaliada a distorção de cada dicionário, em que são definidos  $\vec{Y}_\alpha$ ,  $\vec{Y}_\beta$  e  $\vec{Y}_\delta$ , e, por fim, calculadas as novas posições dos dicionários (exceto de  $\vec{Y}_\alpha$ ), de acordo com Equação (5). A posição de  $\vec{Y}_\alpha$  é alterada minimamente, adicionando às suas componentes um coeficiente de aleatoriedade entre 0 e 1. Além disso, propõe-se a utilização de pesos variáveis referentes às três melhores soluções na equação de posição, conforme proposto na versão melhorada do GWO em [8].

Quanto ao critério de parada, propõe-se o uso do limiar de distorção, conforme proposto no LBG, calculado a partir da distorção total da melhor solução a cada iteração.

## V. RESULTADOS

Os resultados foram obtidos para dicionários projetados utilizando como conjunto de treino as imagens *Boat*, *Clock*, *Lena* e *Peppers*, todas com dimensão  $256 \times 256$  pixels, no formato PGM (do inglês, *Portable Gray Map*), codificadas a 8 bpp, obtidas do *Signal and Image Processing Institute* (SIPI) da *University of Southern California* (USC).

Os dicionários iniciais utilizados foram obtidos a partir da escolha aleatória de blocos de pixels da imagem treino. Os dicionários foram projetados com dimensão  $K$  igual a 16, ou seja, blocos de  $4 \times 4$  pixels, e tamanho  $N$  igual a 32, 64, 128, 256 e 512 vetores-código.

Foram utilizados 10 dicionários iniciais (lobos) em cada simulação. Como critério de parada foi utilizado o limiar de distorção  $\epsilon = 0,0001$ . Os resultados apresentados são dados em termos da média aritmética obtida ao final de 30 simulações feitas para cada cenário.

A Tabela I apresenta os valores médios de PSNR das imagens reconstruídas utilizando os dicionários projetados pelas técnicas LBG e GWO-LBGM.

Para a imagem *Boat*, para os dicionários projetados com o número de vetores-código menores que 256, o GWO-LBGM apresentou um resultado próximo do LBG. Para  $N = 256$  e  $N = 512$ , o GWO-LBGM apresentou ganho médio, em relação ao LBG, de 0,19 dB e 0,45 dB, respectivamente.

Para a imagem *Clock*, observa-se que o GWO-LBGM obteve ganhos médios em relação ao LBG, mais especificamente um ganho de 0,31 dB para  $N = 128$  e de 0,44 dB para  $N = 64$ .

Para a imagem *Lena*, o método proposto obteve, em relação ao LBG, para  $N = 256$  e  $N = 512$ , ganho médio de 0,22 dB e 0,47 dB, respectivamente.

TABELA I: Valores médios de PSNR

Imagem <i>Boat</i>					
Método	$N$				
	32	64	128	256	512
LBG	24,91	25,90	26,88	27,87	28,98
GWO-LBGM	24,95	25,99	27,01	28,06	29,43
Imagem <i>Clock</i>					
Método	$N$				
	32	64	128	256	512
LBG	26,14	27,18	28,28	29,51	30,84
GWO-LBGM	26,52	27,62	28,59	29,84	31,26
Imagem <i>Lena</i>					
Método	$N$				
	32	64	128	256	512
LBG	26,59	27,71	28,80	29,90	31,15
GWO-LBGM	26,60	27,77	28,95	30,12	31,62
Imagem <i>Peppers</i>					
Método	$N$				
	32	64	128	256	512
LBG	26,10	27,32	28,49	29,66	30,92
GWO-LBGM	26,14	27,37	28,62	29,89	31,35

Para a imagem *Peppers*, para os tamanhos de dicionário 256 e 512, o ganho de PSNR do GWO-LBGM em relação ao LBG, foi de 0,23 e 0,43 dB, respectivamente.

## VI. CONCLUSÃO

Este trabalho introduziu modificações no algoritmo GWO-LBG, particularmente na etapa de inicialização, no treinamento e no critério de parada, de modo a oferecer uma nova técnica bioinspirada de projeto de dicionário para QV baseada no LBG e no algoritmo de otimização do lobo cinzento.

Os resultados indicam que o GWO-LBGM apresenta melhorias na qualidade das imagens reconstruídas, em termos de PSNR médio, em comparação ao LBG, sobretudo para dicionários com  $N \geq 256$ .

Como trabalhos futuros, pretende-se avaliar os resultados obtidos com o uso de técnicas de inicialização e investigar de forma mais aprofundada a repercussão de possíveis modificações nos parâmetros do algoritmo GWO na qualidade das imagens reconstruídas.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho conta com apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS

- [1] R. Gray, "Vector quantization," *IEEE ASSP Magazine*, vol. 1, no. 2, pp. 4–29, 1984.
- [2] Y. Linde, A. Buzo, and R. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, no. 1, pp. 84–95, 1980.
- [3] V. Severo, H. Leitão, J. Lima, W. Lopes, and F. Madeiro, "Algoritmo PSO modificado aplicado ao projeto de quantizadores vetoriais," in *Anais do XII Congresso Brasileiro de Inteligência Computacional, Curitiba, PR, Brasil*. ABRICOM, 2015.
- [4] V. Severo, H. Leitão, J. Lima, W. Lopes, and F. Madeiro, "Modified firefly algorithm applied to image vector quantization codebook design," *International Journal of Innovative Computing and Applications*, vol. 7, no. 4, pp. 202–213, 2016.
- [5] C. Fonseca, F. A. Ferreira, and F. Madeiro, "Vector quantization codebook design based on fish school search algorithm," *Applied Soft Computing*, vol. 73, pp. 958–968, 2018.
- [6] R. S. H. Calazans, "Nova técnica de projeto de quantizadores vetoriais baseada em computação inteligente," Dissertação (Mestrado Engenharia de Sistemas), Universidade de Pernambuco, 2021.
- [7] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, "Grey wolf optimizer," *Advances in Engineering Software*, vol. 69, pp. 46–61, 2014.
- [8] S. B. Gita, "A research paper on image compression using GWO-LBG," *International Journal of Research in Electronics and Computer Engineering*, vol. 4, no. 7, pp. 163–171, 2019.

# Projeto de uma Antena MIMO de Tripla Banda para Comunicações 5G em Frequências mmWave

Alberto M. P. da Gama<sup>1</sup>, Fábio F. Ribeiro, Kleysson S. de Oliveira, Jasmine P. L. de Araújo, Haroldo N. da C. Filho, Fabrício J. B. Barros, Miércio C. de A. Neto

**Resumo**—Este artigo apresenta uma antena MIMO de quatro elementos para comunicações móveis 5G em frequências mmWave. A antena opera em tripla banda nas frequências de 24 GHz, 28 GHz e 38 GHz, oferecendo alto isolamento entre as portas. O desempenho da antena foi analisado através de simulações numéricas, demonstrando padrões de radiação adequados e distribuição eficiente de corrente. Os resultados indicam que a antena MIMO proposta é viável para aplicações em sistemas 5G de alta velocidade.

**Palavras-chave**—mmWave, 5G, CPW, Tripla banda.

## I. INTRODUÇÃO

A tecnologia 5G tem sido um marco nas comunicações móveis, impulsionando a capacidade de transmissão e reduzindo a latência. As frequências mmWave, tais como 24 GHz, 28 GHz e 38 GHz, desempenham um papel essencial no 5G, porém apresentam desafios técnicos. Este artigo apresenta uma antena MIMO de quatro elementos projetada para operar nessas frequências, fornecendo alto isolamento e padrões de radiação eficientes. Os resultados validam sua viabilidade em sistemas 5G, complementando estudos anteriores [1], [2] sobre antenas MIMO.

## II. PROJETO E GEOMETRIA DA ANTENA MIMO

A antena MIMO proposta é o foco principal deste trabalho e possui características de tripla operação nas frequências de 24 GHz, 28 GHz e 38 GHz. O projeto garante um alto isolamento entre as portas e uma cobertura eficiente das faixas de frequência de interesse, resultando em uma antena compacta e de baixo custo.

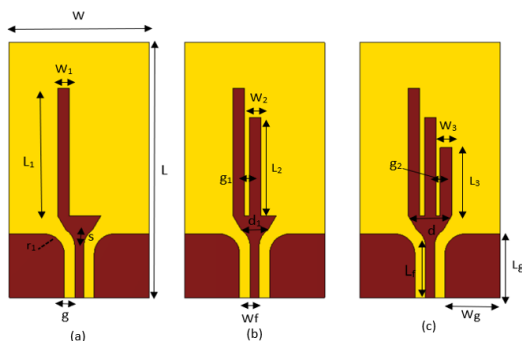


Figura 1. Procedimentos de Projeto da Antena Monopolo de Banda [3].

<sup>1</sup>Alberto M. P. da Gama, Laboratório de Computação e Telecomunicações, Universidade Federal do Pará, Belém-Pará, email: alberto.gama@itec.ufpa.br  
Outros autores vinculados à Universidade Federal do Pará.

A geometria da antena é implementada em um substrato dielétrico do tipo Rogers 5880 [4], com espessura  $h = 0.127$  mm, permissividade relativa  $\epsilon = 2.2$ , e tangente de perdas  $\delta = 0.009$ . Essas características garantem o desempenho otimizado da antena MIMO nas frequências de interesse para sistemas 5G de alta velocidade.

Tabela I  
DIMENSÕES DA ANTENA.

Parâmetros	Valores (mm)	Parâmetros	Valores (mm)
$W$	4.8	$g$	0.01
$L$	2.4	$g_1$	0.13
$W_m$	11.2	$g_2$	0.13
$L_m$	11.2	$W_f$	0.18
$W_1$	0.28	$L_f$	1.08
$W_2$	0.28	$s$	0.15
$W_3$	0.28	$L_g$	1.3
$L_1$	2.6	$W_g$	1.1
$L_2$	2.0	$D$	0.6
$L_3$	1.39	$d$	1.1
$r_1$	0.2	$d_1$	0.55

A geometria projetada e o espaçamento otimizado entre os elementos da antena MIMO garantem um bom desempenho em termos de isolamento e resposta de banda tripla nas frequências de operação, tornando-a uma solução eficiente para aplicações em comunicações móveis 5G e outras redes de alta velocidade.

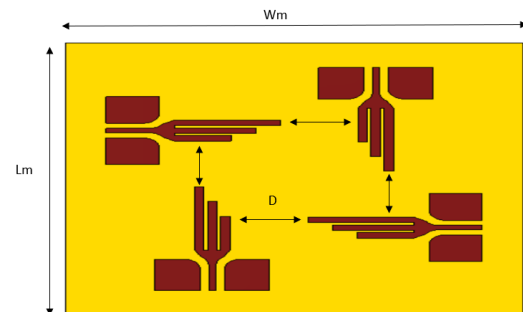


Figura 2. Layout geométrico da antena de múltiplas entradas e saídas múltiplas (MIMO).

## III. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Neste tópico, apresentamos os resultados das simulações numéricas realizadas para avaliar o desempenho da antena MIMO proposta. As análises foram conduzidas utilizando o software Computer Simulation Technology (CST).



### A. Parâmetros S Simulados da Antena MIMO

O isolamento entre portas é um parâmetro essencial em sistemas MIMO, pois influencia diretamente no desempenho da comunicação. Na Figura 3, são exibidos os parâmetros S simulados da antena MIMO de quatro elementos. Observamos que o isolamento entre as diferentes portas é mantido em níveis adequados, com valores inferiores a -15 dB, o que indica um baixo acoplamento mútuo entre os elementos da antena.

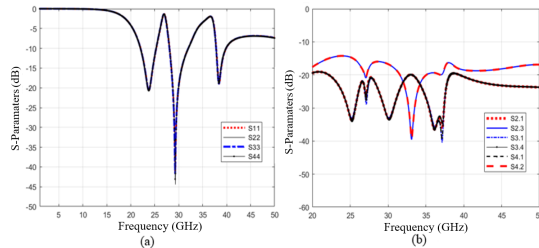


Figura 3. Parâmetros S simulados antena MIMO de 4 elementos.

### B. Padrões de Radiação

A análise dos padrões de radiação é fundamental para compreender o comportamento da antena MIMO em diferentes direções. Na Figura 4, apresentamos os diagramas de radiação polar nas portas 1, 2, 3 e 4 da antena MIMO para a frequência de 38 GHz. Os diagramas são apresentados nos planos E e H da onda irradiada no plano xz, onde o plano E está em  $\phi = 0$ . Esses diagramas nos permitem avaliar as variações nas direções das principais lóbulos de radiação em cada porta.

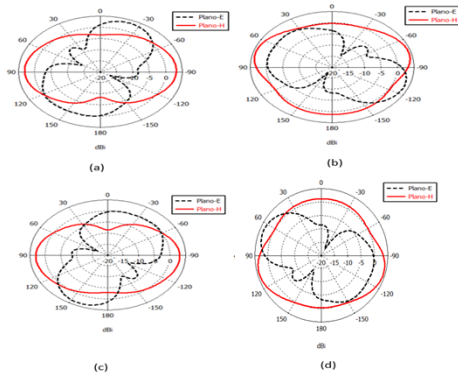


Figura 4. Diagramas de Radiação da Antena MIMO nas Portas 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d).

Observa-se que os padrões de radiação são direcionais e bem definidos, o que indica uma resposta direcional nas direções desejadas. Essa característica é essencial para garantir uma comunicação eficiente e confiável em sistemas MIMO, especialmente em aplicações de comunicações 5G em frequências mmWave.

### C. Distribuição de Corrente nas Portas da Antena MIMO

A distribuição de corrente nas portas da antena MIMO de quatro elementos foi analisada nas frequências de 24 GHz, 28 GHz e 38 GHz.

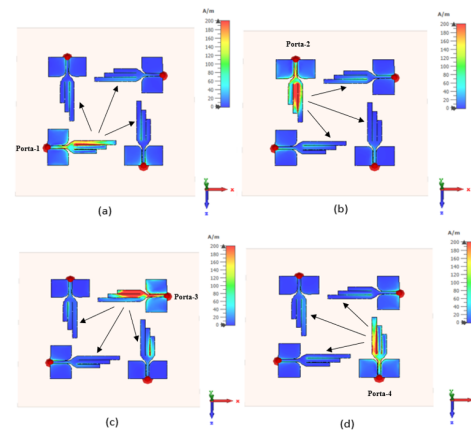


Figura 5. Superfície de Corrente da Antena MIMO nas Portas 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d).

A Figura 5 mostra as superfícies de corrente nas portas 1, 2, 3 e 4 da antena. Observamos uma eficiente e homogênea distribuição de corrente ao longo dos elementos, o que contribui para um bom desempenho em termos de radiação e isolamento.

Esses resultados confirmam o desempenho satisfatório da antena MIMO proposta, mostrando sua viabilidade para aplicações em sistemas de comunicações móveis de quinta geração (5G) e outras redes de alta velocidade.

## IV. CONCLUSÃO

Neste artigo, apresentamos uma antena MIMO de quatro elementos com operação em tripla banda nas frequências de 24 GHz, 28 GHz e 38 GHz. As simulações numéricas validaram o desempenho da antena, demonstrando isolamento adequado entre os elementos e padrões de radiação direcionais. A distribuição eficiente de corrente nas portas da antena também foi confirmada.

A antena MIMO proposta é uma opção viável para aplicações em sistemas 5G e outras redes de alta velocidade. Sua geometria compacta e baixo custo de fabricação a tornam uma solução promissora para dispositivos eletrônicos. Acreditamos que essa antena tem grande potencial para atender às demandas das comunicações sem fio de alta velocidade e contribuir para o avanço da tecnologia 5G e além.

## REFERÊNCIAS

- [1] Patel, Amit, et al. "UWB CPW fed 4-port connected ground MIMO antenna for sub-millimeter-wave 5G applications." *Alexandria Engineering Journal*, vol. 61, no. 9, 2022, pp. 6645-6658.
- [2] Khalid, H.; Awan, W.A.; Hussain, M.; Fatima, A.; Ali, M.; Hussain, N.; Khan, S.; Alibakhshikenari, M.; Limiti, E. "Design of an Integrated Sub-6 GHz and mmWave MIMO Antenna for 5G Handheld Devices." *Appl. Sci.*, vol. 11, 2021, art. no. 8331, doi: 10.3390/app11188331.
- [3] F. F. Ribeiro et al., "Multiband CPW antenna for application in 5G system at 24, 28 and 38 GHz," *2021 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference (IMOC)*, Fortaleza, Brazil, 2021, pp. 1-3, doi: 10.1109/IMOC53012.2021.9624782.
- [4] Rogers Corporation, "RT/duroid 5880LZ High Frequency Laminates Datasheet," 2020. <https://www.rogerscorp.com/media/project/rogerscorp/documents/advanced-electronics-solutions/english/data-sheets/rt-duroid-5880lz-high-frequency-laminates.pdf>.

# RTSP Video Streaming Setup Using Real Packets Traffic Through a Containerized ns-3 Network

João Albuquerque\*, Felipe Bastos\*, João Borges\*, Ilan Correa\* and Aldebaro Klautau\*

\*Federal University of Pará - LASSE (5G and IoT Research Group), Belém - PA, Brazil

{joao.barbosa.albuquerque, felipe.bastos, joao.tavares.borges}@itec.ufpa.br, {ilan, aldebaro}@ufpa.br

**Abstract**—Future network will likely be used for advanced applications, such as streaming of ultra-high definition video and tactile internet, which need to be evaluated in details before being deployed in real networks. One possibility for the evaluations is the adoption of simulated environments. However, complex simulations are required in order to generate realistic results. In this context, this paper focuses on the evaluation of the computational resources required to allow such realistic simulations. Specifically, the focus is on the problem of real packet transmission through a network topology simulated in Network Simulator 3 (ns-3). For the evaluations, we use real-time video streaming as an application, and ns-3 simulates network conditions that affect the quality of the service. The evaluation setup uses a set of Docker containers, implementing ns-3 nodes that act as a data streaming server and clients. We evaluate how deployments with an increasing number of receiver nodes impact computational resource usage. The results indicate that the container increase leads to higher consumption of computational resources, similar to the ns-3 nodes increase and real packet traffic in the simulator. This methodology offers insight into the computational performance of simulating a real-world scalability scenario in the ns-3 simulator.

**Index Terms**—ns-3, performance evaluation, video streaming, virtualization

## I. INTRODUCTION

Simulations are important to reproduce real-world scenarios inside a computational environment. This technique allows the acquisition of synthetic data with high fidelity and also increases scenario diversification capabilities [1]. However, as the simulated scenario complexity increases, one also needs to ensure that the simulation scales without consuming excessive computational resources.

For network-based simulation scenarios, scaling is important to guarantee robust systems and to enable the study of the network performance and its behavior [2]. Based on that, a high-fidelity discrete-event simulator, called Network Simulator 3 (ns-3)<sup>1</sup>, enables the user to develop scenarios, using realistic nodes, inside the simulated scenarios. Virtual machines, containers and computers can be connected to the simulation environment, working as an external node.

Moreover, these nodes can scale on the ns-3 simulator, allowing the user to produce realistic scenarios with containers or computers attached to the simulation [3]. However, the increase of devices in the computational environment impacts the limited available resources on the computer [4].

<sup>1</sup><https://www.nsnam.org/>

Related works use the ns-3 TapBridge feature to evaluate how real packets are affected by the network. These works measure the possible issues in the channel and also evaluate the *Quality of the Service* (QoS) using real packets in the network simulator [5]. However, these works do not consider how the scaling may impact their computational environment.

Therefore, the main objective of this paper is fill this gap in regards to the required computational resource. In this paper, we evaluate the scalability of a real-world scenario, where many viewers of a real-time streaming cause WiFi channel saturation. This scalability is reproduced within the ns-3 simulator, and the computational resource usage generated by the replication of this real-world scenario in the computational environment is assessed. In order to ensure the reproduction of a real-world scenario within ns-3, Docker containers were used to act as hosts, where a dedicated container serves as the Real-Time Streaming Protocol (RTSP) server, and the others act as viewers.

## II. SIMULATION SCENARIO

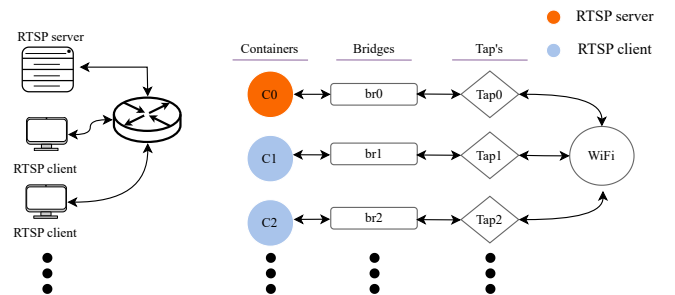


Fig. 1: Simulation setup.

### A. Simulation Architecture

To evaluate how the scalability of these nodes can impact the computational resources, we used the default ns-3 TapBridge module setup. Bridges and taps were executed inside the host and each tap is connected to one bridge that is also connected with virtual Ethernet links (veth's). Each veth connects each container to an isolated bridge, on the host. All containers are set on the same WiFi network and compete for the channel among themselves, as illustrated in Fig. 1. The first container acts on the scenario as a RTSP server and, the other ones act as RTSP clients. Each client container receives a real-time video

from the server container, representing a real-world streaming scenario.

### B. Simulation Description

For the simulation, in ns-3 we linked each tap device to a node using the TapBridge module. Each one transmits real packets and acts on the scenario. To simulate the WiFi channel, we used the default *ns3::YansWifiChannel* as propagation module and an Ad-hoc 802.11a standard for WiFi Media Access Control (MAC) parameters. For measurement purposes, we increased the number of containers and, as a consequence, the number of nodes, in the network simulation. In addition, each node receives real packets that guarantee more processes to be done by the computer.

## III. RESULTS

To evaluate the experiment performance, we used a basic personal computer, with the hardware specifications shown in TABLE I, and a Debian-based Linux operating system, Ubuntu 22.04. Moreover, a shell script calls both *psrecord* tool and Docker stats to measure the allocated computational resources by the ns-3 and the containers, respectively.

TABLE I: Simulation hardware specifications

Computer specifications	
<b>CPU model:</b> Intel® Core™ i7-8700	<b>N° of CPU cores:</b> 6
<b>GPU model:</b> Nvidia RTX™ 2060	<b>RAM type:</b> DDR4
<b>RAM capacity:</b> 16GB	<b>RAM frequency:</b> 2400 MHz
<b>Storage type:</b> SSD	<b>Storage speed:</b> 510MB/s

To measure the impact on the required computational resources, we conducted the simulations by increasing the number of containers in multiples of five. We identify every measurement setup according to the number of containers with the prefix “C” and the number of containers (C5 - C30), in the host machine, with 35 seconds stream, as a simulation time. Each container produces new processing jobs for the computer and RAM memory allocation. The number of containers was increased up to 30, as shown in Fig. 2.

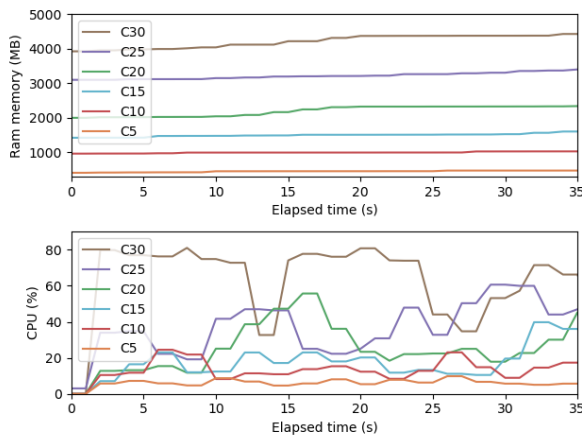


Fig. 2: Containers computational resource consumption.

In the same context of computational performance evaluation, a percentage increase in CPU and RAM usage was observed during the ns-3 simulation process when the number of nodes is increased in multiples of five, as shown in Fig. 3. In this scenario, this increase precedes the rise in processing related to the WiFi channel, as all real packets produced by the containers generate data to be received and subsequently processed by the simulator. Although the simulator is utilizing more computational resources, it is evident that most of these resources are allocated towards the reception and transmission of data by the containers instead of ns-3.

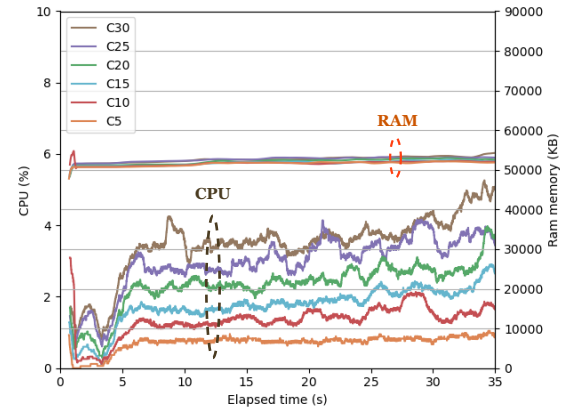


Fig. 3: ns-3 computational resource consumption.

## IV. CONCLUSION

In this paper, we evaluate the scaling performance of a simulation setup, based on a real-world streaming scenario, using real packet traffic for video streaming applications by increasing the number of containers attached to the realistic nodes. The results show that the overall performance depends on how many users are attached to the simulation environment, with the simulator computational resources needing to increase with the number of containers, reducing the overall available CPU and RAM memory resources. Moreover, the results demonstrate that when scaled, the containers are the main contributors to the utilization of computational resources, rather than the ns-3.

## REFERENCES

- [1] Kancherla, R. and Nazia, S. and Kalyani, S. and Sridhar, S., “Modeling and Simulation for Design and Analysis of Membrane-Based Separation Processes,” *Computers & Chemical Engineering*, vol. 148, p. 107258, 2021.
- [2] Ali, M. and Jehangiri, A. I. and Alramli, O. I. and Ahmad, Z. and Ghoniem, R. M. and Ala’anzy, M. A. and Saleem, R., “Performance and Scalability Analysis of SDN-Based Large-Scale Wi-Fi Networks,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 7, p. 4170, 2023.
- [3] Petersen, E. and Cotto, G. and To, M. A., “Dockemu 2.0: Evolution of a Network Emulation Tool,” pp. 1–6, 2019.
- [4] Nguyen, N. D. and Phan, L. and Park, D. and Kim, S. and Kim, T., “ElasticFog: Elastic Resource Provisioning in Container-Based Fog Computing,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 183 879–183 890, 2020.
- [5] Bermudez, H.-F. and Sanchez-Iborra, R. and Arciniegas, J.L. and Campo, W. Y. and Cano, M.-D., “Performance Validation of NS3-LTE Emulation for Live Video Streaming under QoS Parameters,” vol. , pp. 300–307, 2017.

# Segmentação de Radiografia Panorâmica com Uma Versão Acelerada do Algoritmo *Fuzzy K-means*

Maria Alice A. Calazans, Felipe A. B. S. Ferreira, Maria de Lourdes M. G. Alcoforado e Francisco Madeiro

**Resumo**—Técnicas de imageamento desempenham um papel importante na odontologia. Sistemas computacionais têm sido propostos para auxiliar na análise desses exames. Em se tratando de sistemas de classificação, uma possível etapa de pré-processamento é a segmentação, que pode ser executada para aumentar a qualidade da classificação. Neste trabalho é avaliada uma versão modificada (acelerada) do algoritmo *Fuzzy K-means* para segmentação de radiografias.

**Palavras Chave**—*Fuzzy K-means* modificado; exame de imagem; segmentação de imagem odontológica.

## I. INTRODUÇÃO

Exames de imagem são usados por profissionais de saúde para obter informações internas dos pacientes para fins de diagnósticos [1], [2]. Na odontologia, particularmente, exames como a radiografia e a tomografia são essenciais para que os odontólogos possam obter informações sobre ossos faciais e tecidos dentários, uma vez que são inacessíveis na rotina clínica habitual [3]. Dentre os exames de radiografia disponíveis para análises odontológicas, pode-se citar a radiografia panorâmica, a qual é solicitada frequentemente pelos especialistas, pois é financeiramente acessível, expõe o paciente a uma baixa dosagem de radiação e fornece informação da arcada dentária completa [4].

É notório o aumento de solicitações por exames de imagens. Consequentemente, observa-se um aumento na demanda de análise dessas imagens, o que não é considerado uma atividade trivial e exige vasta experiência do especialista da área [5]. Sistemas inteligentes têm se apresentado como uma alternativa nas atividades de segmentação, detecção e classificação, atuando no auxílio ao diagnóstico. A segmentação de imagens, em resumo, corresponde à ação de seccionar uma imagem em objetos ou regiões de interesse [6]. A atividade supraexplorada é considerada uma etapa anterior relevante em sistemas computacionais de detecção e classificação automática.

Neste trabalho é avaliado o uso do algoritmo *Fuzzy K-means* modificado (FKM mod.) [7] em comparação às técnicas *Fuzzy K-means* (FKM) [8], *K-means* [9] e *K-means* modificado [10]

Maria Alice A. Calazans, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica (PPGEE), Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE, Brasil, E-mail: maria.calazans@ufpe.br. Felipe A. B. S. Ferreira, Grupo de Engenharia Elétrica e Eletrônica (GEEE), Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Cabo de Santo Agostinho-PE, Brasil, E-mail: felipe.bsferreira@ufrpe.br. Maria de Lourdes M. G. Alcoforado e Francisco Madeiro, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas (PPGES), Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE, Brasil, E-mail: (mlmga, madeiro)@poli.br.

para fins de segmentação de imagens odontológicas, para uma base de dados de radiografias panorâmicas [11].

## II. TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS

### A. *Fuzzy K-means*

O algoritmo *Fuzzy K-means* é um método iterativo de agrupamento que pode ser utilizado para segmentação de imagens. Uma diferença em relação ao algoritmo *K-means* reside no fato de que no FKM as amostras (*pixels*) não são atribuídas a um único grupo (ou *cluster*). Em vez disso, para cada amostra é atribuído um grau de pertinência a cada um dos grupos. O grau de pertinência entre a amostra  $x_i$  e o *cluster* representado por  $c_j$  é definido por

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{m=1}^N \frac{(x_i - c_m)^2}{k-1}}, \quad (1)$$

em que  $k$  corresponde a uma constante que deve estar no intervalo de um até infinito e  $N$  indica a quantidade de grupos. A cada iteração é calculada a distorção total e a variação percentual da distorção. Caso a variação percentual da distorção total esteja abaixo de limiar previamente estabelecido, o algoritmo é encerrado. A distorção total e a variação percentual são dadas, respectivamente, por

$$D = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \mu_{ij}^k d(x_i, c_j) \quad (2)$$

e

$$\frac{D_{n-1} - D_n}{D_n}, \quad (3)$$

em que  $M$  é a quantidade de pixels da imagem,  $d(x_i, c_j)$  é a distância Euclidiana quadrática e  $n$  indica a iteração atual. Caso o algoritmo não seja encerrado, os representantes dos *clusters* são atualizados conforme

$$c_j = \left( \sum_{i=1}^M \mu_{ij}^k x_i \right) / \left( \sum_{i=1}^M \mu_{ij}^k \right). \quad (4)$$

### B. *Fuzzy K-means* Modificado

No algoritmo *Fuzzy K-means* modificado [7] é proposta uma alteração para aumentar sua velocidade de convergência (reduzir o número de iterações). Para este propósito, é considerado um fator de escala,  $s$ , na atualização dos *clusters*, tal que  $1 < s < 2$ . É importante ressaltar que além da convergência

acelerada, o fator de escala também visa proporcionar melhores resultados no que diz respeito à distorção total. Dessa forma, a atualização dos *clusters* é dada por

$$c_j^{n+1} = c_j^n + s(c_j - c_j^n), \quad (5)$$

em que,  $c_j^n$  é o  $j$ -ésimo *cluster* na iteração atual,  $c_j^{n+1}$  é o novo valor do  $j$ -ésimo *cluster* e  $c_j$  é o valor calculado em (4).

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste artigo é analisado o desempenho do algoritmo *Fuzzy K-means* modificado com os fatores de aceleração  $s = 1, 1, s = 1, 3$  e  $s = 1, 5$ , em comparação com os algoritmos *Fuzzy K-means*, *K-means* e *K-means* modificado com  $s = 1, 3$  (neste caso foi utilizado apenas 1,3 pois de acordo com [12] este é o fator que proporciona melhores resultados), com relação ao critério de parada foi adotado o limiar de 0,001. No presente trabalho, utilizou-se a base de dados da UFBA-UESC [11], que contém 1.500 radiografias panorâmicas com dimensões de  $1.991 \times 1.127$  pixels. As imagens da base são distribuídas em dez categorias, levando em consideração variações de características relevantes da arcada dentária, como o número de dentes, presença ou não de implante, restauração odontológica e aparelho ortodôntico. A segmentação foi realizada considerando dois *clusters*, um principal, que deve ser segmentado na cor branca e deve conter os objetos de interesse: dentes e implantes; um segundo *cluster*, segmentado na cor preta, referente às características secundárias, como os demais tecidos odontológicos e ossos faciais e da coluna vertebral. Para avaliação das técnicas foram consideradas cinco medidas de desempenho: acurácia, *F1-score*, especificidade, precisão e *recall*. Antes do processo de segmentação foi considerado um passo de pré-processamento em que foi realizada a equalização do histograma das imagens. No cálculo das métricas foram seguidas três etapas: (i) segmentação da radiografia panorâmica; (ii) multiplicação da imagem segmentada pela sua respectiva máscara, a qual delimita a região de interesse; (iii) comparação entre a imagem resultante da multiplicação da etapa anterior com a segmentação de referência do especialista.

### IV. RESULTADOS

Na Tabela I são apresentados os resultados das métricas para cada uma das técnicas avaliadas. Está destacado em negrito e sublinhado o método que obteve melhor resultado para cada métrica. A acurácia do FKM mod. com  $s = 1,3$  foi a melhor, atingindo 81,46%. O FKM original obteve os melhores desempenhos no *F1-score* e no *recall*, com 57,88% e 76,53%, respectivamente. E a versão do FKM mod. com  $s = 1,5$  alcançou superioridade nas medidas de especificidade, com 94,08%, e precisão, com 62,44%.

### V. CONCLUSÃO

Os métodos de segmentação avaliados apresentaram resultados equiparáveis, porém é possível observar discreta superioridade da técnica *fuzzy k-means* modificado com fator de escala  $s = 1,3$  sobre as demais técnicas consideradas, no que diz respeito à métrica de acurácia. É importante ressaltar também

Tabela I  
MÉTRICAS EM TERMOS DE MÉDIA PONDERADA CONSIDERANDO O NÚMERO DE IMAGENS POR CATEGORIA, PARA CADA MÉTODO DE SEGMENTAÇÃO.

Método	Métrica				
	Acurácia	<i>F1-score</i>	Especif.	Precisão	<i>Recall</i>
<i>K-means</i>	0,7862	0,5785	0,7956	0,5012	0,7556
<i>K-means</i> ( $s = 1,3$ )	0,7883	0,5786	0,7994	0,5041	0,7495
<i>Fuzzy k-means</i>	0,7837	<b>0,5788</b>	0,7903	0,4955	<b>0,7653</b>
<i>FKM mod.</i> ( $s = 1,1$ )	0,8035	0,5568	0,8477	0,5226	0,6393
<i>FKM mod.</i> ( $s = 1,3$ )	<b>0,8146</b>	0,5222	0,8900	0,5585	0,5250
<i>FKM mod.</i> ( $s = 1,5$ )	0,7987	0,4521	<b>0,9408</b>	<b>0,6244</b>	0,3760

que o método modificado apresenta velocidade de convergência maior do que a apresentada pela técnica convencional.

### AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro.

### REFERÊNCIAS

- [1] Q. Li, W. Cai, X. Wang, Y. Zhou, D. D. Feng, and M. Chen, "Medical image classification with convolutional neural network," in *2014 13th International Conference on Control Automation Robotics Vision (ICARCV)*, 2014, pp. 844–848.
- [2] P. Kora, C. P. Ooi, O. Faust, U. Raghavendra, A. Gudigar, W. Y. Chan, K. Meenakshi, K. Swaraja, P. Plawiak, and U. Rajendra Acharya, "Transfer learning techniques for medical image analysis: A review," *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 2021.
- [3] S. J. Nelson, *Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion-e-book*. Elsevier Health Sciences, 2014.
- [4] B. Molander, "Panoramic Radiography in Dental Diagnostics." *Swedish Dental Journal. Supplement*, vol. 119, pp. 1–26, 1996.
- [5] S. B. Khanagar, A. Al-ehaideb, P. C. Maganur, S. Vishwanathaiah, S. Patil, H. A. Baeshen, S. C. Sarode, and S. Bhandi, "Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry – A systematic review," *Journal of Dental Sciences*, vol. 16, no. 1, pp. 508–522, 2021.
- [6] R. C. Gonzalez and R. C. Woods, *Processamento Digital de Imagens*. Pearson Education, 2009.
- [7] F. Madeiro, R. Galvão, F. A. Ferreira, and D. Cunha, "Uma alternativa de aceleração do algoritmo fuzzy k-means aplicado à quantização vetorial," *TEMA (São Carlos)*, vol. 13, pp. 193–206, 2012.
- [8] J. C. Bezdek, R. Ehrlich, and W. Full, "FCM: the Fuzzy C-means Clustering Algorithm," *Computers & Geosciences*, vol. 10, no. 2-3, pp. 191–203, 1984.
- [9] Y. Linde, A. Buzo, and R. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, no. 1, pp. 84–95, 1980.
- [10] D. Lee, S. Baek, and K. Sung, "Modified K-means algorithm for vector quantizer design," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 4, no. 1, pp. 2–4, 1997.
- [11] G. Jader, J. Fontineli, M. Ruiz, K. Abdalla, M. Pithon, and L. Oliveira, "Deep instance segmentation of teeth in panoramic X-ray images," in *2018 31st SIBGRAP Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAP)*. IEEE, 2018, pp. 400–407.
- [12] M. A. A. Calazans, F. B. S. Ferreira, M. d. L. M. G. Alcoforado, and F. Madeiro, "Avaliação do algoritmo K-means modificado em segmentação de imagens odontológicas," *Anais da XI Conferência Nacional em Comunicações, Redes e Segurança da Informação: Encom 2021*, pp. 77–78, 2021.



# Sistemas de Controle Industrial com Arquitetura de Confiança Zero: Análise de Resposta a Ataques

Lucas S. Cruz, Iguatemi E. Fonseca

**Abstract**—A integração da Tecnologia da Informação (TI) e Tecnologia Operacional (TO) na Indústria 4.0 levanta preocupações quanto à segurança cibernética. Investigamos o comportamento de sistemas de controle industrial, comparando a implementação da arquitetura de confiança zero. Por meio de um ambiente de teste simulado, analisamos a resposta desses sistemas frente a ataque cibernético, avaliando seu desempenho por meio de métricas de rede. Os resultados obtidos contribuem para uma compreensão dos benefícios da arquitetura de confiança zero na segurança dos sistemas de controle industrial em ambientes interconectados e suscetíveis a ataques cibernéticos.

**Index Terms**—Sistemas de Controle Industrial, Confiança Zero, Modbus TCP, Ataques cibernéticos.

## I. INTRODUÇÃO

A Segurança cibernética na indústria é uma preocupação devido aos graves impactos dos ataques direcionados. A Confiança Zero (ZT — *Zero Trust*) é adotada como abordagem disruptiva de segurança [1], permitindo altos níveis de segurança ao estabelecer o princípio de não confiar em usuários ou dispositivos e a verificação contínua por meio de centrais de decisão e aplicação das regras de segurança.

A introdução dos dispositivos Internet das Coisas Industriais (IIoT — *Industrial Internet-of-Things*) possibilitou a automação de processos e ambientes inteligentes com análise de dados em tempo real e gestão remota [2]. No entanto, para garantir a segurança das rotinas industriais, são necessárias políticas de segurança [3]. Este trabalho avalia, por meio de simulações numéricas e métricas de redes, as respostas a ataques aos Sistemas de Controle Industrial com e sem a abordagem da arquitetura ZT.

## II. REFERENCIAL TEÓRICO

### A. Segurança em Sistemas de Controle Industrial

Os sistemas de controle industrial (ICS — *Industrial Control System*) são fundamentais para a operação eficiente de infraestruturas críticas, mas enfrentam desafios de segurança devido à ampliação da malha da rede para acessos externos [4]. Incorporando novas tecnologias, os ICS demandam atenção à segurança para garantir disponibilidade, integridade e confidencialidade [5]. Medidas como defesa em profundidade, monitoramento em tempo real e escolha cuidadosa de topologias de rede são essenciais para mitigar riscos, mas também apresentam vulnerabilidades [6], [7], [8].

Lucas S. Cruz e Iguatemi E. Fonseca são do Programa de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa - PB, e-mail: ssh.lucasacruz@gmail.com, iguatemi@ci.ufpb.br Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq e pela CAPES.

### B. Ataques Cibernéticos em Ambientes Industriais

Os ataques cibernéticos direcionados a ambientes industriais têm se tornado uma preocupação de extrema relevância, dada a importância crítica dos ICS para o funcionamento eficiente e confiável das infraestruturas críticas. Agentes mal-intencionados, sejam indivíduos isolados ou grandes conglomerados, utilizam diversas estratégias para obter vantagens competitivas por meio de espionagem industrial. Dentre os métodos mais amplamente empregados, destacam-se os ataques de negação de serviço (DoS — *Denial of Service*) e a manipulação de pacotes para enviar instruções maliciosas, visando influenciar as rotinas dos atuadores [9].

### C. Acesso às Redes de Confiança Zero

A arquitetura ZT consiste na proteção efetiva dos recursos, baseada na premissa de que as permissões não são concedidas implicitamente, mas sim constantemente avaliadas segundo as diretrizes estabelecidas pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST — *National Institute of Standards and Technology*). Isso significa que, ao contrário do modelo tradicional de segurança, que estabelecia perímetros para controlar o acesso dos usuários, a abordagem ZT se concentra na segurança em nível de dispositivo individuais e controlando a segurança por meio das centrais de aplicação e decisão de política de segurança [10].

## III. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES NUMÉRICAS

### A. Cenários de Simulação

Para avaliar a eficácia da arquitetura ZT, implementamos uma metodologia que criou um ambiente de teste virtual. Nesse ambiente, configuramos três instâncias virtuais idênticas, todas executando o sistema operacional Debian. Uma dessas instâncias foi designada como central ZT, enquanto as duas restantes desempenharam os papéis de cliente Interface Homem-Máquina - (HMI — *Human-Machine Interface*) servidor Controlador Lógico Programável - (PLC — *Programmable Logic Controller*) com comunicação via protocolo Modbus TCP [11]. Além disso, foram criadas instâncias adicionais para a configuração de rotas de acesso, utilizando solução como PFSense, e outra instância dedicada a simular ataques, empregando Kali Linux. Adicionalmente, um dispositivo Windows no papel de operador, estabelecia conexão com a instância designada para apresentar o HMI, permitindo a ativação de rotinas sob diferentes perspectivas.

A instância com PFSense configurada com regras para a oferta de segmentação da rede, enquanto a máquina atacante

simulou ataques ao tráfego ModBus TCP. A interação entre HMI e PLC seguiu o modelo PERA, sendo escolhida a topologia ponto-a-ponto [12], introduzindo complexidade ao cenário de teste. Sendo conduzidos dois cenários: com e sem a abordagem, no qual a instância que representava a central ZT estabeleceu a estratégia de acesso [13]. Rotinas de “Write Single Coil” foram executadas a cada intervalo de 1 s, e cada cenário teve a duração de 15 min, com intervalos de 1000 ms entre as requisições cliente para o PLC. Os resultados foram coletados através da ferramenta Wireshark.

Neste estudo, empregamos o protocolo ModBus TCP em diversos cenários, utilizando o framework *Cyber Kill Chain* [14] para conduzir ataques. Identificamos dispositivos e portas com o Nmap e executamos *scripts* personalizados com Scapy. O ataque escolhido foi o DoS, consistindo no envio contínuo de pacotes de escrita de bobina para o PLC, usando vinte *threads* ativadas após cinco minutos de tráfego legítimo.

### B. Resultados

Foram realizados testes em diversos cenários para comparar a eficácia do ZT em situações com e sem ataque. Os resultados demonstraram que o ZT trouxe estabilidade e consistência na transferência de dados, com menor variação no jitter, mesmo quando submetido a ataque (ver Tabela I).

Acerca do ataque de negação de serviço, quando o ZT não foi utilizado, a conexão entre HMI e o PLC tornou-se indisponível, Figura 1. Porém, ao ser empregado, o ataque foi identificado e neutralizado em 11s, gerando considerável redução na interrupção da comunicação, Figura 2.

Os gráficos de taxa de transferência de dados descrevem a comunicação cliente-servidor e em dado momento a presença não autorizada do atacante. A arquitetura demonstrou eficácia na detecção, mantendo a integridade da comunicação. Uma vez que características distintivas dos dispositivos registrados em histórico interrompeu as ações de sobrecarga no cliente.

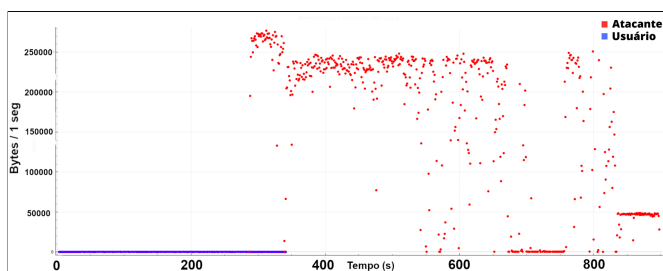


Fig. 1. Teste com ataque DoS. Iniciado após cinco minutos em ambiente desprovido de ZT.

TABLE I

Time to Service (TTS) E JITTER. TESTES COM E SEM O ATAQUE DO S.

Teste - Cenários propostos	Jitter (s)	TTS (s)
SEM ATAQUE/SEM ZT	≈ 0,0003	≈ 0,0012
SEM ATAQUE/COM ZT	≈ 0,0036	≈ 0,0029
COM ATAQUE/SEM ZT	∞	∞
COM ATAQUE/COM ZT	≈ 0,0097	≈ 0,0051

### IV. CONCLUSÃO

Em resumo, este estudo demonstra que a implementação do modelo ZT pode aprimorar a segurança em ambientes

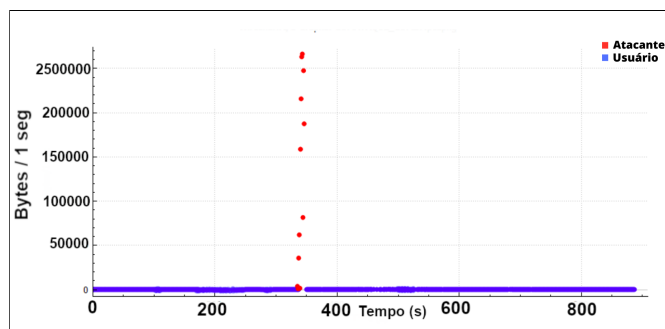


Fig. 2. Teste com ataque DoS. Iniciado após cinco minutos em ambiente com ZT.

industriais, oferecendo proteção contra ataques e assegurando uma transferência de dados mais estável e confiável. Nos testes realizados, o modelo empregado foi eficaz na mitigação de ataques de negação de serviço, além de evitar acesso indevido de usuários a soluções de ICS. Novos tipos de ataques importantes no contexto de redes industriais estão atualmente em fase de testes em ambientes com ZT.

### REFERÊNCIAS

- [1] N. F. Syed, S. W. Shah, A. Shaghghi, A. Anwar, Z. Baig, and R. Doss, “Zero Trust Architecture (ZTA): A Comprehensive Survey,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 57 143–57 179, 2022. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9773102/>
- [2] K. FERENCZ, J. DOMOKOS, and L. KOVÁCS, “Review of industry 4.0 security challenges,” in *2021 IEEE 15th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI)*, 2021, pp. 245–248.
- [3] P. Jayalaxmi, R. Saha, G. Kumar, N. Kumar, and T.-H. Kim, “A taxonomy of security issues in industrial internet-of-things: Scoping review for existing solutions, future implications, and research challenges,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 25 344–25 359, 2021.
- [4] Cisco, *INDUSTRIAL CYBERSECURITY: Monitoring & Anomaly Detection*. Cisco, 2021. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/dam/en/us/solutions/internet-of-things/cisco-cyber-vision-ebook.pdf>
- [5] A. Humayed, J. Lin, F. Li, and B. Luo, “Cyber-physical systems security—a survey,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 6, pp. 1802–1831, 2017.
- [6] ISA, “ISA/IEC 62443 Series of Standards,” 2021. [Online]. Available: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-iec-62443-series-of-standards>
- [7] —, “ISA95 Enterprise-Control System Integration,” 2023. [Online]. Available: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-standards-committees/isa95>
- [8] T. J. Williams, “The Purdue Enterprise Reference Architecture,” *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 26, no. 2, Part 4, pp. 559–564, Jul. 1993. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017485326>
- [9] W. Duo, M. Zhou, and A. Abusorrah, “A survey of cyber attacks on cyber physical systems: Recent advances and challenges,” *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, vol. 9, no. 5, pp. 784–800, 2022.
- [10] S. Rose, O. Borchert, S. Mitchell, and S. Connelly, “Zero Trust Architecture,” National Institute of Standards and Technology, Tech. Rep. NIST Special Publication (SP) 800-207, Aug. 2020. [Online]. Available: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-207/final>
- [11] T. M. Organization, “Modbus application protocol specification v1.1b,” 2004. [Online]. Available: <http://www.modbus.org/specs.php>
- [12] K. Stouffer, M. Pease, C. Tang, T. Zimmerman, V. Pillitteri, and S. Lightman, “Guide to operational technology (ot) security,” National Institute of Standards and Technology, Tech. Rep., 2022.
- [13] Z. Huff, “Pritunl-zero,” 2022. [Online]. Available: <https://docs.pritunl.com/docs/pritunl-zero>
- [14] L. Martin, “Cyber kill chain,” URL: [http://cyber.lockheedmartin.com/hubfs/Gaining the Advantage Cyber Kill Chain. pdf](http://cyber.lockheedmartin.com/hubfs/Gaining%20the%20Advantage%20Cyber%20Kill%20Chain.pdf), 2014.

# Transmissão IoT e Sistema Fuzzy Para a Detecção dos Níveis de Interferência em Sensores de Temperatura Afetados Pela Formação de Biofilme

Tatiane F. Balbinot, Wilson A. C. Macedo, Salomão B. Santos, Fabrício J. B. Barros, Rommel T. J. Ramos, Edian F. F. de L. Santos, Jasmine P. L. de Araújo

**Resumo**—O biofilme é uma matriz extracelular de bactérias autoproduzidas que se aderem às superfícies que estão em contato com a água. Com base nesse conceito e considerando o cenário de redes IoT para a transmissão dos dados coletados, o presente artigo propõe demonstrar por meio da regra *fuzzy* que a formação de biofilme na superfície dos sensores de temperatura DS18B20, inseridos na água para monitoramento, pode causar ruídos e eventualmente interferir nos resultados das medições.

**Palavras-Chave**—Biofilme, Sensor de temperatura, *Fuzzy*, *IoT*

## I. INTRODUÇÃO

A água é um bem inestimável para a humanidade, sendo utilizada para as mais diversas finalidades. Um bem de tamanha importância deve ser monitorado em tempo real para subsidiar as tomadas de decisões. Para o monitoramento constante das águas, a IoT (*Internet of Things*) e suas aplicações se apresentam como uma das alternativas viáveis para o envio de dados em tempo real, pois ela apresenta soluções de comunicação distribuídas, de menor custo e de fácil acesso por seus usuários.

Quando se fala de coleta de dados em água, é fundamental que se tenha informação sobre o estado de conservação dos sensores em tempo real, assim como a eficácia das medições aferidas para que haja a manutenções preventivas com base na sua condição de operação real. Ao depositar os sensores nas águas dos rios ou lagos, este estará sujeito à formação de biofilme. Os biofilmes são agregados de células de microrganismos que se aderem uma às outras formando uma matriz extracelular no entorno da superfície em contato com a água [1], em particular, ocorre em situações na qual a temperatura se encontra ligeiramente elevada. É observado em [2] que temperaturas entre 30° e 40° favorecem o ritmo de crescimento de bactérias e influenciam nas propriedades da superfície, como na hidrofobicidade e em fatores de fixação.

Portanto, em vista dos conceitos e a literatura sobre a formação de biofilme bem como as condições para sua formação, este artigo tem como proposta utilizar os dados coletados e transmitidos pelos sensores de temperatura

Tatiane F. Balbinot, Wilson A. C. Macedo, Salomão B. Santos, Fabrício J. B. Barros, Rommel T. J. Ramos, Jasmine P. L. de Araújo. Universidade Federal do Pará – UFPA. E-mail: anebalbinotnb@gmail.com, wilson.macedo@itec.ufpa.br, salomao.santos@itec.ufpa.br, fjbrito@gmail.com, rommelramos@ufpa.br, jasmine@ufpa.br

Edian F. F. de L. Santos. Instituto Tecnológico de Santo Domingo - INTEC. E-mail: edianfranklin@gmail.com

DS18B20, que estão armazenados em uma estrutura de banco de dados, para avaliar os níveis de ruído causado pela aderência de biofilme em sua superfície, realizando análises estatísticas como pré-processamento e utilizando-as como entrada para o sistema *fuzzy* desenvolvido. Todo esse processo determinará quando o sensor deve ser limpo para que se possa diminuir os erros durante a coleta de dados em uma situação real.

## II. METODOLOGIA

Para realizar a coleta dos dados, dois sensores de temperatura DS18B20 foram postos um ao lado do outro, nivelados, dentro de um aquário de aproximadamente dois litros. A água foi coletada diretamente do rio Guamá, dentro do campus da UFPA, com o intuito de capturar os micro-organismos presentes e mantê-los no ambiente controlado. Um filtro, sem os elementos filtrantes, foi adicionado apenas para manter a oxigenação e o fluxo da água, como mostrado na Fig. 1. Além dos sensores citados o end-node também é composto pela placa Wemos D1 LOLIN mini que é um microcontrolador da família ESP8266, que conecta outros dispositivos à internet através da rede Wi-Fi, e de uma pastilha de Peltier, acionado quando a temperatura está abaixo de 30°C para servir de fonte de calor e conduzir o experimento, em média, acima da temperatura citada.

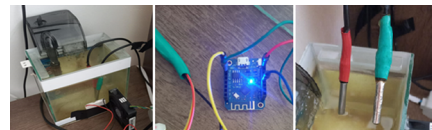


Figura 1: Aquário com o filtro e sensores, microcontrolador, comparação do sensor de referência (vermelho) e sensor de biofilme (verde).

A cada minuto o end-node realiza a leitura de ambos os sensores, sendo encaminhada diretamente para o servidor da *Thingspeak*, uma plataforma de análise IoT que agrega esses dados no qual ficam disponíveis para verificação e análise [3]. Durante as medições ocorreu o processo de limpeza de um dos sensores de temperatura, em um intervalo de 12 horas, objetivando tornar mínima a presença do biofilme na superfície do mesmo, enquanto o outro sensor é deixado para a formação do biofilme. Visualmente, Fig. 1, a formação do biofilme,

superfície viscosa, tornou-se evidente no sensor verde após três dias do início dos testes e ao final dos testes a camada se encontrou mais espessa.

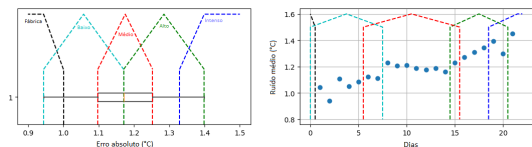


Figura 2: *Boxplot* do ruído médio por dia (esquerda) e *Plot* do ruído médio por dias observados (direita).

Os dados das medições dos sensores foram requisitados diretamente da API do *ThingSpeak*, utilizando um código escrito em *Python*. Foi observado durante as análises dos dados uma diferença de temperatura de ambos os sensores, chegando-se à conclusão de que há uma diferença natural de fabricação entre eles. Desta forma, definiu-se um limiar de diferença de fabricação entre os sensores denominado ruído de fábrica. Baseado neste limiar, qualquer diferença medida entre os sensores maior que o ruído de fábrica, foi considerado ruído pela formação de biofilme. O primeiro passo foi determinar o ruído absoluto subtraindo a matriz do sensor de referência pela matriz do sensor de biofilme.

Devido à natureza vagarosa da formação do biofilme, considerando o presente contexto, realizou-se uma média do valor de ruído por dia para melhor observar a tendência de variação do ruído, obtendo-se então o ruído médio para cada dia de medição. Esses valores foram analisados estatisticamente utilizando o *boxplot* como exposto na Fig. 2, sendo as primeiras 12 horas utilizadas para determinar o ruído de fábrica, pois não havia a presença de biofilme nesse intervalo. Para definir as *membership functions* (MFs) de saída do controlador *fuzzy* foram utilizados os limiares dos quartis do *boxplot* da Fig. 2.

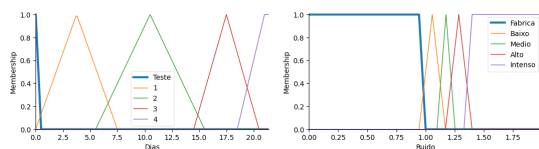


Figura 3: MFs de entrada (à esquerda) e saída (à direita) do controlador *fuzzy*

Tendo em vista os intervalos anteriormente obtidos, e considerando a presença do ruído de fábrica nas primeiras 12h de experimento, observou-se o gráfico do ruído médio ao longo dos dias, e agrupou-se os dias em conjuntos com maior ocorrência das MFs de saída, ainda na Fig. 2. Dessa forma, utilizou-se os intervalos dos conjuntos encontrados para a definição das MFs de entrada do controlador *fuzzy*, formando assim as funções expostas na Fig. 3, sendo feita associação direta entre as MFs de entrada e saída nas regras do controlador.

### III. RESULTADOS

Após o desenvolvimento do controlador *fuzzy* foram feitos alguns testes para verificar se o mesmo contempla adequadamente a progressão do ruído médio do experimento desenvolvido, então realizou-se aferições sobre alguns dias, expostas na Fig. 4, para verificar se os graus de pertinência estão dentro da análise da Fig. 2, obtendo-se um resultado dentro dos conjuntos esperados.

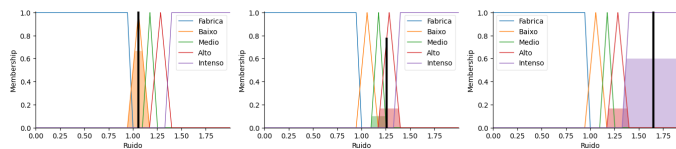


Figura 4: Verificação das saídas para os dias 5 (esquerda), 15 (meio) e 20 (direita).

Para realizar uma análise abrangente, foi feita a predição de todos os dias do experimento usando o controlador *fuzzy*, comparando aos dados reais na Fig. 5, observando que a predição se mostrou muito próxima da maioria dos valores reais, o que indica que as MFs e as regras de associação direta representaram adequadamente o contexto deste experimento.

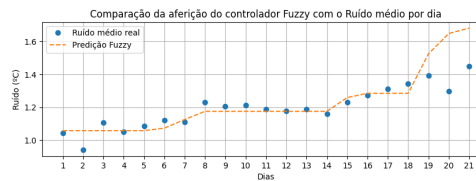


Figura 5: Comparação da saída fuzzy com o ruído médio.

### CONCLUSÃO

O trabalho apresentou a implementação de um controlador *fuzzy* para análise de ruído em sensores de temperatura DS18B20 causado pela aderência de biofilme em sua superfície. O mapeamento utilizando o sistema *fuzzy* mostrou-se eficiente para o experimento realizado, alertando a necessidade de limpeza do sensor ao indicar a tendência de surgimento de ruído gerado pela formação de biofilme, tendência essa que será observada a longo prazo em trabalhos futuros para a aplicação e adaptação do controlador desenvolvido no presente artigo em diferentes contextos além do ambiente controlado.

### REFERÊNCIAS

- [1] DE MATOS, Rafael et al. Biofilmes microbianos, você sabe o que são?. In: DE MATOS, Rafael et al. Biofilmes microbianos, você sabe o que são?. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/microbiologando/2022/09/06/biofilmes-microbianos-voce-sabe-o-que-sao/>. Acesso em: 7 jun. 2023.
- [2] PEREIRA DA SILVA, Mírian. Efeito Do Ph e Temperatura na Adesão e Formação de Biofilmes de Diferentes Estirpes de Bacillus Cereus em Aço Inoxidável. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, [S. l.], 2018.
- [3] THINGSPEAK: A plataforma que precisa para IoT. [S. l.], 9 ago. 2017. Disponível em: <https://pplware.sapo.pt/internet/thingspeak-a-plataforma-que-precisa-para-iot/>. Acesso em: 7 jun. 2023.



# Um Estudo Comparativo entre Redes Neurais Convolucionais e YOLO como Estratégias de Controle do *Aedes Aegypti*

Romário da Costa Silva  
Instituto de Tecnologia - ITEC  
Universidade Federal do Pará - UFPA  
Belém, Brasil 66075-110  
Email: romario.silva@castanhal.ufpa.br

Carlos André de Mattos Teixeira  
Instituto de Tecnologia - ITEC  
Universidade Federal do Pará - UFPA  
Belém, Brasil 66075-110  
Email: carlos.mattos@itec.ufpa.br

Carlos Renato Lisboa Francês  
Instituto de Tecnologia - ITEC  
Universidade Federal do Pará - UFPA  
Belém, Brasil 66075-110  
Email: rfrances@ufpa.br

**Resumo**—Este trabalho apresenta uma breve comparação entre o uso de Redes Neurais Convolucionais (CNNs) e a arquitetura YOLO (You Only Look Once) como estratégias de controle do mosquito *Aedes Aegypti*, transmissor de doenças como Dengue e Zika. Por meio dos resultados obtidos, a arquitetura YOLO apresenta maior precisão na detecção das larvas do mosquito. Os resultados indicam que o modelo de segmentação apresentou melhor desempenho nas métricas de mAP (Mean Average Precision) e Recall, alcançando os valores finais de 0.957 e 0.953, respectivamente. Os modelos propostos se apresentam como estratégias promissoras para o controle vetorial do mosquito.

**Palavras-chave**—Aprendizagem profunda, Monitoramento ambiental, Visão computacional, Dengue

## I. INTRODUÇÃO

O controle vetorial do mosquito *Aedes Aegypti* consiste em uma problemática recorrente, visto que este mosquito é o vetor de diversas doenças sazonais, como Dengue, Zika, Chikungunya e Febre Amarela. Além disso, o período reprodutivo deste mosquito é extremamente rápido (de 7 a 10 dias) e facilita a proliferação em ambientes onde não se exerça um controle minimamente efetivo [1].

Segundo [2], esta espécie de mosquito apresenta capacidade elevada de adaptação ao clima, ambiente e resistência a alguns inseticidas. Ademais, vem desenvolvendo a habilidade de se proliferar em corpos de água cada vez menores. Nesse cenário, dado a busca constante por estratégias efetivas de controle, destacam-se as soluções baseadas em técnicas de visão computacional: redes neurais convolucionais (*Convolutional Neural Networks* - CNN) e algoritmos de detecção de objetos.

O presente estudo visa realizar a criação e comparativo entre modelos voltados ao controle do mosquito *Aedes*, através da identificação, classificação e segmentação das larvas. Os modelos propostos foram baseados na CNN ResNet50 e no algoritmo YOLO.

## II. METODOLOGIA

Dado a limitação de disponibilidade de bases públicas contendo quantidades significativas de imagens com larvas de mosquitos *Aedes*, realizou-se a criação de conjunto de dados (*dataset*) próprio, disponível em [3]. O *dataset* foi composto

pelo conjunto de dados de [4] somado a imagens retiradas de bases públicas diversas.

O *dataset* totaliza 710 imagens, sendo 420 para a classe *Aedes* e 290 para a classe Não *Aedes*. Além disso, foram distribuídas em 60% para treinamento, 20% para validação e 20% para teste. Para as tarefas de detecção e segmentação, a anotação das imagens foi realizada manualmente com o auxílio das ferramentas contidas na plataforma Roboflow [5].

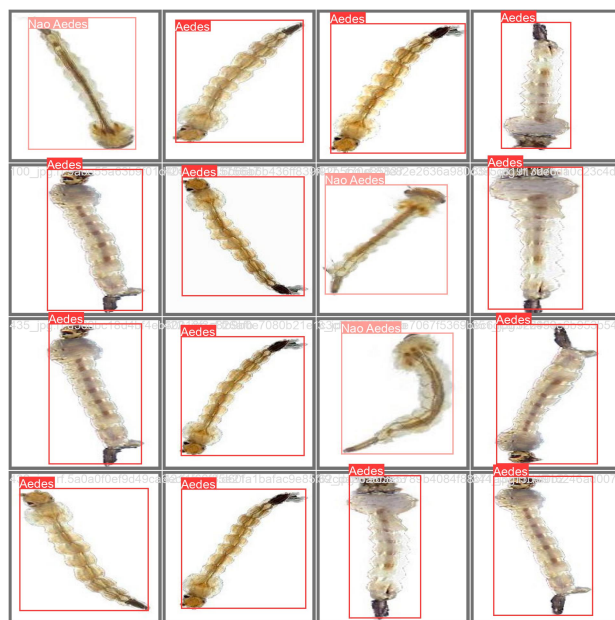


Fig. 1: Recorte do dataset utilizado.

### A. ResNet50

ResNet-50 é uma arquitetura de CNN da família ResNet (Rede Neural Residual). Essa arquitetura foi desenvolvida para resolver o problema de degradação do desempenho à medida que as redes ficam mais profundas. A metodologia por trás das redes ResNet consiste na implementação de blocos residuais, os quais ajudam a mitigar essa dificuldade



e, conseqüentemente, permitem treinar redes mais profundas maiores desempenhos [2].

### B. Yolo

O YOLO (*You Only Look Once*) é um algoritmo de detecção de objetos com capacidade de executar a detecção em uma única passagem pela rede neural. Sua característica fundamental reside na sua capacidade de prever, de uma única vez, tanto as caixas delimitadoras (*bounding boxes*) que circundam os objetos quanto as classes que esses objetos pertencem. A YOLOv8, versão mais recente do algoritmo, se destaca pela introdução de ferramentas otimizadas [6].

## III. RESULTADOS

Para o treinamento do modelo utilizou-se da rede AlexNet para a tarefa de classificação e do *dataset COCO (Common Objects in Context)* para as tarefas de detecção e segmentação. Os resultados obtidos após o treinamento foram avaliados através das métricas Acurácia, mAP (*Mean Average Precision*) e *Recall*.

Estas métricas são amplamente utilizadas na literatura para avaliar o desempenho de modelos em diferentes tipos de tarefas de aprendizado de máquina, especialmente em tarefas de detecção de múltiplos objetos. A Tabela 1 apresenta os valores obtidos para as métricas em cada modelo proposto, considerando as tarefas designadas. O modelo YOLOv8 S apresentou os melhores resultados gerais com mAP de 0.957 e *Recall* de 0.953.

Tabela 1: Métricas de avaliação obtidas em cada modelo

Modelo	Tarefa	Acurácia	mAP	Recall
ResNet50	Classificação	<b>0.823</b>	-	0.830
YOLOv8 D	Deteção	-	0.830	0.838
YOLOv8 S	Segmentação	-	<b>0.957</b>	<b>0.953</b>

Na Fig. 2 é possível observar o comportamento do treinamento em relação a mAP50-95 e MSE, ao longo de 100 épocas para os modelos YOLOv8 D e S. Inicialmente, os valores apresentaram grandes variações, porém, a partir da época 80 passaram a convergir antes de atingir a época final.

O comparativo entre as detecções realizadas pelos modelos YOLO é apresentado na Fig. 3. Os resultados revelam que os modelos YOLO superaram a abordagem com o uso de CNNs, demonstrando um desempenho superior nas métricas de avaliação utilizadas.

## IV. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado um breve comparativo entre modelos, baseados na CNN ResNet-50 e YOLO, voltados para as tarefas de classificação, detecção e segmentação de larvas de mosquitos *Aedes*. O desempenho dos modelos propostos foram avaliados através das métricas de acurácia, mAP e *Recall*. O modelo YOLOv8 S apresentou o melhor desempenho. Embora, tenha sido constatada uma grande diferença entre o melhor modelo e os demais, todos se apresentam como estratégias promissoras para o controle vetorial do mosquito *Aedes Aegypti*.

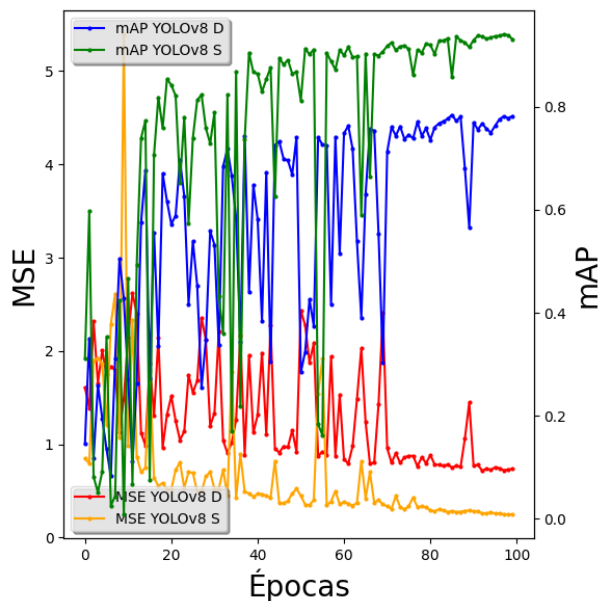


Fig. 2: Resultados obtidos no treinamento do modelo YOLOv8 S e D.

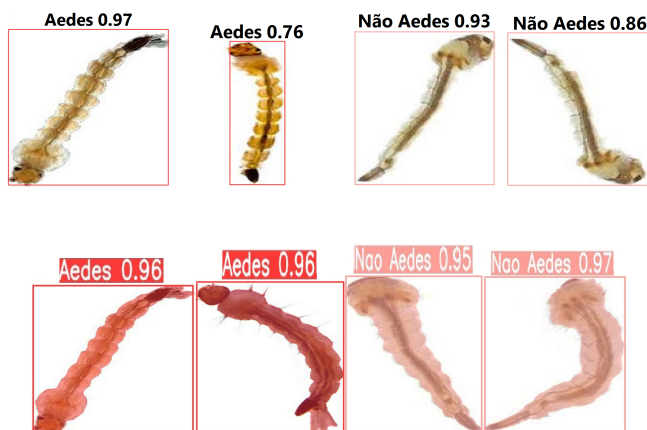


Fig. 3: Classificações realizadas pelos modelos YOLO.

## REFERÊNCIAS

- [1] W. S. Andrade. Dengue no Brasil: uma revisão integrativa, 2022.
- [2] T. M. Dias et al., "Autonomous Detection of Mosquito-Breeding Habitats Using an Unmanned Aerial Vehicle," 2018 Latin American Robotic Symposium, 2018 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2018 Workshop on Robotics in Education (WRE), João Pessoa, Brazil, 2018, pp. 351-356.
- [3] Larvae Aedes Segmentation Yolo Dataset. Romário Silva. Roboflow Universe (Version 1.0) [Software]. Available from <https://universe.roboflow.com/ufpa-4qzhl/larvae-aedes-segmentation-yolo>, 2023.
- [4] M. S. Hossain, M. E. Raihan, M. S. Hossain, M. M. Syeed, H. Rashid and M. S. Reza. Aedes Larva Detection Using Ensemble Learning to Prevent Dengue Endemic. *BioMedInformatics*, 2(3), 2022, pp 405-423.
- [5] B. Dwyer, J. Nelson, J. Solawetz. Roboflow (Version 1.0) [Software]. Available from <https://roboflow.com>. computer vision, 2022.
- [6] J. Terven and D. Cordova-Esparza. A comprehensive review of YOLO: From YOLOv1 to YOLOv8 and beyond. *arXiv preprint arXiv:2304.00501*, 2023.

# Um Método para Ocultação de Informação em Imagens Digitais Inspirado no Sistema Braille

Marcos Canejo  
Universidade Católica de Pernambuco  
Recife, Pernambuco, 50050-900  
Email: marcos.azevedo@unicap.br

Francisco Madeiro  
Escola Politécnica de Pernambuco  
Universidade de Pernambuco  
Recife, Pernambuco, 50720-001  
Email: madeiro@poli.br

**Resumo**—A oclutação de informação é o processo de esconder dados em um objeto digital, como uma imagem, áudio ou vídeo. A esteganografia é um exemplo de técnica utilizada para este fim, envolvendo três possíveis domínios, no âmbito de imagens: espacial, frequência e o comprimido. Nesse último, imagens comprimidas por quantização vetorial, por exemplo, podem ser usadas para esconder dados secretos. Neste trabalho, é apresentado uma técnica de oclutação de informação em imagens submetidas à quantização vetorial, inspirada no esquema de representação da informação em código Braille.

## I. INTRODUÇÃO

Técnicas de oclutação de dados têm o objetivo de embutir informações em objetos digitais, como áudio, vídeo e imagens. Uma delas, a esteganografia [1], tem se mostrado útil em diversos sistemas [2], [3] devido a sua capacidade de ocultar informação de forma imperceptível, tornando difícil sua detecção por pessoas não autorizadas.

Visando a redução dos requisitos de espaço para armazenamento e de largura de banda para transmissão, as técnicas de compressão são de importância inquestionável. A Quantização Vetorial (QV) [4] é uma técnica de compressão com perda que utiliza blocos de amostras (no caso de voz, por exemplo) ou blocos de pixels (no caso de imagens). Ela consiste num mapeamento de blocos em um vetores pertencentes a um dicionário. O algoritmo mais conhecido para o projeto de dicionários é o Linde-Buzo-Gray (LBG) [5].

Este trabalho apresenta um novo método de esteganografia com QV inspirado no sistema Braille.

## II. MÉTODO PROPOSTO

Neste método, oculta-se uma mensagem secreta em uma imagem comprimida via QV. O objetivo é obter uma estego-imagem com qualidade visual semelhante à imagem quantizada original (isto é, imagem sem informação oculta), para diferentes mensagens secretas. O método é baseado na técnica de marca d'água apresentada por Wang et al. [6].

### A. Quantização Vetorial

A QV é uma técnica que permite obter altas taxas de compressão. Seu funcionamento consiste no mapeamento de um vetor  $x$  do espaço euclidiano  $K$ -dimensional em um vetor pertencente a um subconjunto finito  $W$ , que é chamado de dicionário, ou seja,  $Q : \mathbb{R}^K \rightarrow W$ . Cada elemento do dicionário  $W = \{w_i; i = 1, 2, \dots, N\}$  é chamado de

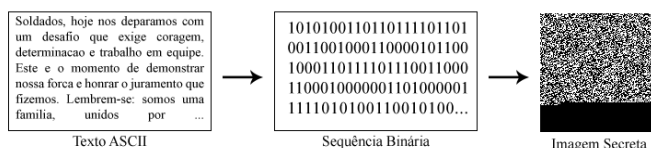


Figura 1. Processo de codificação ASCII-binário e binário-bloco.

vetor-código. A quantidade de componentes de cada vetor é denominada dimensão ( $K$ ). O tamanho do dicionário é a quantidade de vetores-código, aqui denotada por  $N$ .

### B. Mensagem Secreta

A codificação binário-bloco proposta se baseia no Sistema Braille. De forma geral, cada célula Braille pode ter até seis pontos, ou seja, uma matriz de pontos em relevo dispostos em 3 linhas e 2 colunas. Diferentes combinações desses pontos são utilizadas para representar letras, número, símbolos e pontuação, permitindo que pessoas cegas ou com baixa visão consigam ler e escrever utilizando apenas o tato. A vogal “a”, por exemplo, tem o primeiro ponto (linha 1 e coluna 1) em relevo e todos os outros planos.

Na codificação binário-bloco, utilizada no método ora apresentado, cada célula Braille é representada por um bloco de pixels  $3 \times 3$ , ou seja, 9 posições que são preenchidas de cima para baixo da esquerda para a direita. Cada posição do bloco pode ser entendida como um bit e o bloco como um caractere. Apesar de os caracteres possuírem 8 bits, a última posição do bloco é usada para codificar o próximo caractere, permitindo esconder mais caracteres na imagem. Assim, a mensagem secreta em ASCII é convertida em uma sequência de bits e transformada em blocos de pixels, onde 0 representa branco e 1 representa preto, criando a imagem secreta, como mostra a Figura 1.

### C. Particionamento

O método de compressão de imagem por quantização vetorial requer um dicionário com vetores-código que representem de forma eficiente a imagem. É necessário um processamento offline para projetar e particionar o dicionário como primeira etapa do processo de oclutação. O desafio principal está na etapa de particionamento do dicionário, onde é gerada a chave de oclutação. A divisão do dicionário deve ser feita de forma a

minimizar a perda de qualidade visual da imagem quantizada obtida com os vários tamanhos de imagens secretas a serem ocultadas. O Algoritmo Genético (AG) é utilizado, com seus parâmetros definidos em [6], para buscar uma chave otimizada, onde a sua função fitness é calculada com base no valor de PSNR médio de três imagens secretas previamente inseridas. Com o dicionário já projetado e particionado, a inserção da imagem secreta é exatamente igual ao método proposto em [6], porém em vez de inserirmos uma imagem de marca d'água, utilizaremos a imagem secreta.

### III. METODOLOGIA E RESULTADOS

As imagens Lena, Elaine, Peppers, Man, Boat e Barbara foram usadas como imagens de cobertura nas simulações. A imagem Lena teve um PSNR de 31,57 dB após a quantização, enquanto que as imagens Elaine, Peppers, Boat e Barbara obtiveram, respectivamente, 31,49 dB, 31,27 dB, 26,49 dB, 29,06 dB e 27,41 dB. Os textos ASCII foram submetidos à codificação de Huffman para aumentar a capacidade de ocultação de caracteres. Os resultados a seguir foram obtidos a partir do AG para as seis imagens testadas com o objetivo de obter o melhor particionamento do dicionário. São apresentados os valores de PSNR considerando ocultação de textos ASCII com e sem compactação.

Tabela I  
BPSNR E APSNR PARA OS RESULTADOS OBTIDOS PELO AG NA ETAPA DE PARTICIONAMENTO.

		BPSNR	APSNR
Barbara	Normal	26,15	26,12
	Huffman	26,80	26,62
Boat	Normal	27,87	27,84
	Huffman	28,18	28,15
Elaine	Normal	30,47	30,45
	Huffman	30,72	30,69
Lena	Normal	30,31	30,28
	Huffman	30,66	30,63
Man	Normal	25,55	25,53
	Huffman	25,82	25,79
Peppers	Normal	29,89	29,83
	Huffman	30,11	30,08

Na Tabela I, que apresenta os melhores valores de PSNR (BPSNR) e os valores médios (APSNR) alcançados pelo AG, é possível observar um ganho de PSNR para as imagens com codificação de Huffman em relação às imagens sem codificação. Por exemplo, a imagem Barbara obteve 26,80 dB de BPSNR utilizando o código de Huffman enquanto que sua versão sem codificação obteve 26,15 dB, o que corresponde a um ganho de 0,65 dB.

Após o particionamento, um texto com 1438 caracteres (Texto 1) e outro com 1810 (Texto 2), retirados aleatoriamente da internet, foram submetidos ao sistema de codificação apresentado e suas imagens secretas inseridas nas imagens comprimidas via QV. A Tabela II apresenta os resultados

obtidos. Observa-se, mais uma vez, os benefícios do código de Huffman.

Tabela II  
RESULTADOS DE VALOR DE PSNR APÓS A INSERÇÃO DAS IMAGENS SECRETAS NAS IMAGENS COMPRIMIDAS VIA QV.

		BPSNR	APSNR
Barbara	Normal	26,11	25,73
	Huffman	26,67	26,42
Boat	Normal	27,74	27,68
	Huffman	28,14	27,84
Elaine	Normal	30,43	30,28
	Huffman	30,68	30,56
Lena	Normal	30,27	30,03
	Huffman	30,64	30,37
Man	Normal	25,51	25,39
	Huffman	25,78	25,63
Peppers	Normal	29,91	29,82
	Huffman	30,04	29,92

### IV. CONCLUSÃO

O método proposto para ocultação de informação em imagens digitais comprimida via quantização vetorial explora aspectos do Sistema Braille. Um aspecto a destacar é o benefício introduzido pela codificação de Huffman quanto ao tamanho da mensagem efetivamente oculta.

### AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pelo apoio financeiro.

### REFERÊNCIAS

- [1] P. C. Mandal, I. Mukherjee, G. Paul, and B. Chatterji, "Digital image steganography: A literature survey," *Information Sciences*, vol. 609, pp. 1451–1488, 2022.
- [2] H. T. Alrikabi and H. Tuama Hazim, "Enhanced data security of communication system using combined encryption and steganography," *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, vol. 15, no. 16, p. pp. 144–157, 2021.
- [3] M. S. Rathore, M. Poongodi, P. Saurabh, U. K. Lilhore, S. Bourouis, W. Alhakami, J. Osamor, and M. Hamdi, "A novel trust-based security and privacy model for internet of vehicles using encryption and steganography," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 102, p. 108205, 2022.
- [4] A. Gersho and R. M. Gray, *Vector quantization and signal compression*. Springer Science & Business Media, 2012, vol. 159.
- [5] Y. Linde, A. Buzo, and R. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, no. 1, pp. 84–95, 1980.
- [6] F.-H. Wang, L. C. Jain, and J.-S. Pan, "VQ-based watermarking scheme with genetic codebook partition," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 30, no. 1, pp. 4–23, 2007.

# Viabilidade da Tecnologia de Radiofrequência LoRa para Aplicações de IoT em Smart Campus

Iviny M. S. Cavalcante, Daniel de Q. Cavalcanti, Samara R. Silva, Fabrício B. S. Carvalho e Waslon T. A. Lopes

**Resumo**—Este estudo apresenta um cenário de monitoramento de um campus inteligente utilizando uma rede de sensores sem fio no Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Para a coleta de dados, foi empregado um par de módulos LoRa, sendo um deles equipado com sensores de gás, temperatura e umidade para aquisição dos dados e transmissão, enquanto o segundo desempenha a função de receptor. Os resultados deste artigo são baseados na análise dos indicadores de Sinal-Ruído (SNR) e Intensidade do Sinal Recebido (RSSI) dessas medições, com o objetivo de avaliar a viabilidade da tecnologia LoRa neste ambiente.

**Palavras-chave**—IoT, LoRa, Campus Inteligente.

## I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a partir do rápido desenvolvimento das tecnologias e de seus avanços significativos, a indústria se encontra em uma nova realidade, na qual máquinas precisam interagir entre si e tomar decisões assertivas por conta própria, a fim de minimizar os erros causados por fatores humanos. Dessa forma surgiu a Internet das Coisas, do inglês (*Internet of Things* - IoT), a qual se refere a qualquer tecnologia de integração pervasiva de uma tarefa específica [1]. Dessa forma, a exponencial necessidade de conexão entre dispositivos trouxe novas demandas e problemas para sua implementação [2]. Problemas de conexão, distância e consumo de potência trouxeram a necessidade de tecnologias integrativas de menor custo e sem complicações para o desempenho. Nesse sentido, aparece entre as soluções a tecnologia LoRa (*Long Range*), a qual oferece soluções de baixo custo e baixo consumo energético, com uma vasta cobertura.

Atualmente, a literatura técnica tem pontuado a utilização de dispositivos IoT implementados com o uso dessa tecnologia. Em [3] e [4], por exemplo, utiliza-se a tecnologia LoRa para melhorias em cenários reais: em [3], essa tecnologia é utilizada para otimizar um Sistema de Água, a fim de detectar eventuais falhas e problemas, baseada na cobertura oferecida pelo LoRa. Em [4], o módulo LoRa é utilizado para o monitoramento de reconhecimento facial com essa tecnologia de baixo custo, sendo abordado como foi feito o procedimento e os resultados obtidos, mesmo com as baixas taxas de transmissão de dados oferecidas por essa tecnologia.

Diante dessas perspectivas, este trabalho tem como objetivo avaliar a utilização da tecnologia LoRa na implementação de um Campus Inteligente.

Iviny M<sup>a</sup> S. Cavalcante, Daniel de Q. Cavalcanti, Samara R. Silva, Fabrício B. S. Carvalho e Waslon T. A. Lopes, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, Brasil, E-mails: iviny.cavalcante@cear.ufpb.br, danielcavalcanti@cc.ci.ufpb.br, samara.silva@cear.ufpb.br, fabricio@cear.ufpb.br e waslon@cear.ufpb.br.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção, é descrita a metodologia experimental desenvolvida para que fosse possível a comunicação entre um par de módulos utilizando a tecnologia LoRa. Em seguida, é apresentada a implementação experimental nos Centro de Tecnologia e Centro de Ciências Exatas e da Natureza, localizados no Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Em suma, o par de módulos LoRa estava dividido em duas tarefas: a um módulo de transmissão, responsável pelo envio dos dados das variáveis presentes, o qual foi utilizado em conjunto de uma placa de prototipagem eletrônica Arduino UNO, sensores de gás, temperatura e umidade do ar. O outro módulo do par desempenhou a função de recepção do sinal, sendo o responsável pelo recebimento e armazenamento dos dados coletados pelo módulo transmissor, sendo composto pela placa Arduino UNO e o próprio módulo.

A finalidade do experimento era confirmar o funcionamento e viabilidade da tecnologia LoRa através da comunicação dos módulos. As medições práticas foram realizadas com dois cenários diferentes para o módulo receptor, havendo alteração no local do módulo de recepção, denominado como Rx, e na altura das medições coletadas pelo módulo transmissor. Foram utilizados os seguintes sensores: verificação e armazenamento das variáveis de temperatura e umidade do ar através do Sensor DHT11; presença de gases no ambiente através do Sensor de gás Gás MQ-8; além desses, o próprio módulo LoRa faz a indicação de intensidade do sinal recebido (do inglês *Received Signal Strength Indication* – RSSI) e a relação sinal ruído (do inglês *Signal-to-Noise Ratio* - SNR).

O módulo receptor ficou fixo em dois locais diferentes: no prédio CTJ, encontrado no Centro de Tecnologia da UFPB, como o primeiro local e, como o segundo local, o prédio dos Departamentos de Matemática e Física, no Centro de Ciências Exatas e da Natureza da UFPB. A finalidade da mudança de locais para o receptor era para verificação do seu alcance máximo radialmente em relação ao transmissor. Em ambas as situações foram feitas medições em ambientes que apresentavam obstruções em relação ao transmissor.

## III. RESULTADOS

Esta seção expõe os resultados obtidos nos testes experimentais descritos na seção anterior, separadamente em relação aos locais.

### A. Local 1 - Bloco CTJ, Centro de Tecnologia

O módulo receptor foi fixado no segundo andar do prédio CTJ e o transmissor foi posicionado em diferentes pontos nas

redondezas, em formato radial. A Figura 1 ilustra os pontos de medições realizadas.

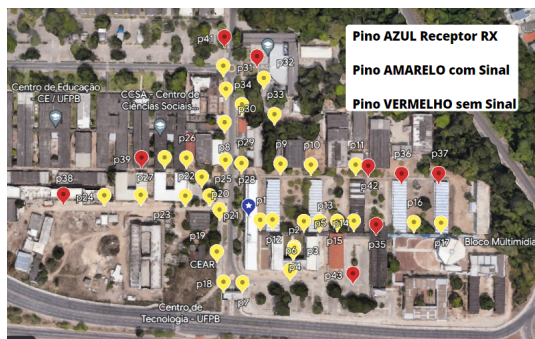


Figura 1. Pontos de Medição - Local 1.

O sensor de umidade e temperatura DHT11 desempenhou seu papel da maneira esperada, podendo ser observadas as variações de acordo com a mudança do ambiente. Em relação ao deslocamento do módulo transmissor, percebeu-se que nas medições do primeiro local a maior distância na qual houve recebimento do sinal foi de 202,72 m. Essas medições podem ser observadas na Figura 2.

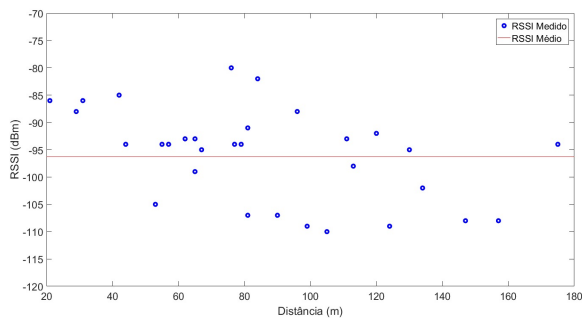


Figura 2. RSSI em função da distância no Local 1.

Analisando, dessa vez, o RSSI - que é o indicador da potência do sinal recebido - a intensidade do sinal, como esperado, diminuiu conforme o módulo transmissor se afastou do módulo receptor. Além disso, pode ser observado que o pior cenário ocorre ao se aproximar dos 100 m de distância. Destaque para a faixa entre 75 m a 80 m, na qual o sinal teve maior intensidade.

### B. Local 2 - 1º Andar, CCEN

O segundo local utilizado para os testes está localizado no bloco dos departamentos dos cursos de Física e Matemática. O mesmo procedimento experimental do local 1 foi feito. A Figura 3 ilustra os pontos de medições realizadas.

É notório que ao expor o sinal a uma área de vegetação mais densa, o alcance da comunicação entre os módulos foi afetado. Nota-se que o sensor DHT11 desempenha seu papel de forma satisfatória, mais uma vez. Contudo, em consequência da vegetação mais densa e da maior concentração de prédios, houve maior interferência no sinal. A comunicação com maior distância foi de, aproximadamente, 120 m, como pode ser observado na Figura 4.

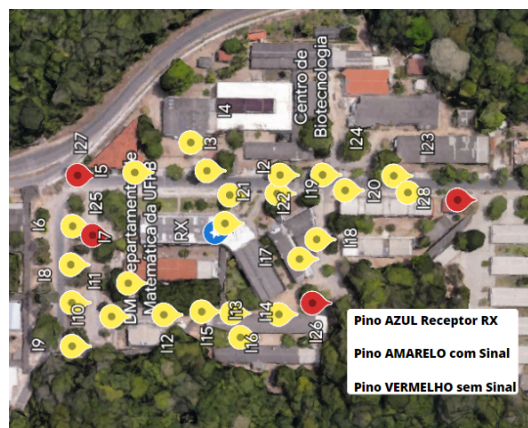


Figura 3. Pontos de Medição - Local 2.

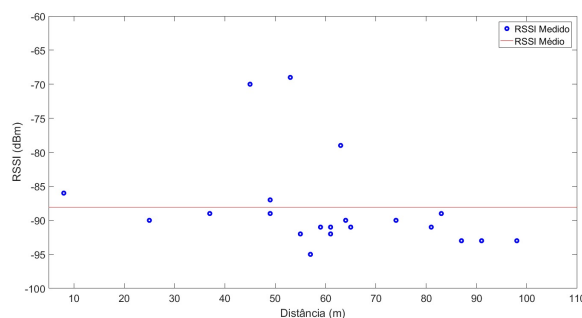


Figura 4. RSSI em função da distância no Local 2.

Em relação ao RSSI, pode ser observado que o pior cenário foi observado novamente próximo à faixa de 100 m de distância, com destaque entre 45 m a 55 m, na qual o sinal teve melhor desempenho em termos de intensidade.

## IV. CONCLUSÕES

Foi apresentado neste trabalho um estudo e implementação de uma rede de sensores sem fio utilizando a tecnologia LoRa, no Campus I da UFPB em João Pessoa. A partir dos resultados obtidos foi possível observar como o sinal se comporta de acordo com a mudança de cenários e a exposição a interferências, neste caso causadas, sobretudo, por vegetação e edificações. Apesar disso, os resultados obtidos mostraram que o sistema é funcional e viável para implementação proposta em metodologia.

## REFERÊNCIAS

- [1] V. J. C. Rodrigues and F. B. S. Carvalho. “Cenário Atual, Perspectivas e Aplicações de IoT”. *RTIC - Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação*, vol. 10, no. 1, Nov. 2021.
- [2] L. Alliance. “About LoRa Alliance®”. Disponível em: <https://loralliance.org/about-lora-alliance/>, Acesso em: 27 julho 2023.
- [3] Medeiros, E. L., Carvalho, F. S., Villanueva, J. M. M., Moreira, C. S., and Filho, C. A. S. “Data Acquisition System Using Hybrid Network Based on LoRa for Hydraulic Plants”.
- [4] V. J. C. Rodrigues, F. B. S. Carvalho, and W. T. A. Lopes. “LoRa System for Monitoring and Facial Recognition”. *Journal of Communication and Information Systems*, vol. 36, no. 1, pp. 1–16, 2021.
- [5] S. R. Silva, F. B. S. Carvalho, and W. T. A. Lopes. “Monitoramento de variáveis em um Campus Inteligente por meio da Tecnologia LoRa”.



# Realização



# Patrocínio e Apoio



## CHAMADA DE TRABALHOS

O intenso crescimento experimentado pelas redes de comunicação tem demandado o desenvolvimento de novos serviços e arquiteturas que permitam explorar todo o seu potencial, acomodando a crescente demanda dos usuários por altas taxas de transmissão de dados, escalabilidade, confiabilidade e segurança.

A versão eletrônica da Revista de Tecnologia da Informação e Comunicação, **classificada como B5 para a área Engenharias IV, pelo sistema Webqualis da Capes**, é publicada pelo Instituto de Estudos Avançados em Comunicações, sediado em Campina Grande, e tem por objetivo fornecer aos pesquisadores, professores, estudantes de graduação e estudantes de pós-graduação, atuantes em temas de interesse das telecomunicações, um veículo para a divulgação de novas tendências e resultados acadêmicos e para o aprendizado e atualização de conhecimentos. São contemplados resultados de pesquisas oriundos de teses, dissertações, tutoriais, trabalhos de iniciação científica e trabalhos de conclusão de curso.

Os autores são convidados a submeterem seus artigos escritos em *LaTeX* para as próximas edições. Os artigos, formatados de acordo com as instruções disponibilizadas para os autores, devem ser convertidos para PDF e enviados para o *e-mail* de um dos editores chefes.

### INFORMAÇÕES ADICIONAIS

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

**Wamberto J. L. de Queiroz, D.Sc., UFCG, Waslon T. A. Lopes, D.Sc., UFPB**

**Editores chefes**

wamberto@dee.ufcg.edu.br, waslon@cear.ufpb.br

### Áreas de Interesse e seus Editores

#### **Segurança em Redes de Comunicações**

Valdemar Cardoso da Rocha Jr., UFPE, Brasil

#### **Teoria das Comunicações**

Luís M. Correia, Instituto Superior Técnico, Portugal

#### **Sistemas de Comunicações Digitais**

Elvino S. Sousa, University of Toronto, Canadá

#### **Microondas, Propagação e Antenas**

Evandro Conforti, Unicamp, Brasil

#### **Processamento de Sinais e Imagens**

Francisco Madeiro Bernardino Júnior, UPE, Brasil

#### **Processamento de Voz**

Raissa Rocha, UFS, Brasil

#### **Redes de Comunicações**

Ruan Delgado Gomes, IFPB, Brasil

#### **Comunicações sem Fio**

Fabrcio Braga Soares de Carvalho, UFPB, Brasil

#### **Comunicações Móveis**

Waslon Terlizzie Araújo Lopes, UFPB, Brasil

#### **Fotônica e Comunicações Ópticas**

Eduardo Fontana, UFPE, Brasil

### Conselho Editorial

Marcelo Sampaio de Alencar, Ph.D., UFCG

Cecílio José Lins Pimentel, Ph.D., UFPE

Valdemar Cardoso da Rocha Jr., Ph.D., UFPE

Eduardo Fontana, Ph.D., UFPE

José Ewerton Pombo de Farias, D.Sc., UFCG

**Instituto de Estudos Avançados em Comunicações – Iecom**

<http://www.iecom.org.br>

Rua Aprígio Veloso, 882, Bairro Universitário, Campina Grande – PB, CEP: 58.429-900

