

SELEÇÃO DE ALUNOS DO PPGETI PARA TURMA 2026.2**ÁREAS TEMÁTICAS***AC: Vagas para “Ampla Concorrência” AA: Vagas para “Ações Afirmativas”*

Título da área temática	Vagas Mestrado AC	Vagas Mestrado AA	Vagas Doutorado AC	Vagas Doutorado AA
ALOCÇÃO DE RECURSOS PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES DE PRÓXIMA GERAÇÃO	1	1	1	1
ANTENAS, DISPOSITIVOS E SISTEMAS DE RADIO FREQUÊNCIA E MICROONDAS	0	0	1	1
APLICAÇÕES DA TEORIA DA INFORMAÇÃO EM SISTEMAS QUÂNTICOS	1	0	0	0
APLICAÇÕES DAS FUNÇÕES WQ DE LAMBERT-TSALLIS E DA DISENTROPIA EM COMPUTAÇÃO E COMUNICAÇÃO QUÂNTICAS	0	0	1	1
APLICAÇÕES INTELIGENTES SOBRE REDE 5G EXPERIMENTAL PRIVADA COM SDR	1	0	0	1
ARQUITETURAS DE COMUNICAÇÃO E SEGURANÇA PARA CUBESATS	1	0	0	0
ARQUITETURAS FOTÔNICAS PARA COMPUTAÇÃO E COMUNICAÇÕES QUÂNTICAS	1	0	1	0
ARQUITETURAS LAKEHOUSE INTEROPERÁVEIS QUÂNTICO-INSPIRADAS PARA DADOS CLÍNICOS, OPERACIONAIS E FINANCEIROS EM SAÚDE	0	0	1	0
CÁLCULO DE ASSINATURAS E DE INDISPONIBILIDADE DE SISTEMAS SATELITAIS GNSS: ESTIMAÇÃO DE CANAIS, MITIGAÇÃO DE PERTURBAÇÕES IONOSFÉRICAS E DETECÇÃO DE SINAIS,	1	0	0	0
COMPARTILHAMENTO DINÂMICO DE ESPECTRO PARA COEXISTÊNCIA ENTRE REDES CELULARES TERRESTRES EM CANAIS COMPARTILHADOS	1	1	0	0

Título da área temática	Vagas Mestrado AC	Vagas Mestrado AA	Vagas Doutorado AC	Vagas Doutorado AA
CONTROLE AUTÔNOMO DE SUPERFÍCIES INTELIGENTES RECONFIGURÁVEIS (RIS) HÍBRIDAS VIA APRENDIZADO PROFUNDO	0	0	1	1
DESENVOLVIMENTO DE INFRAESTRUTURA PARA INTERNET QUÂNTICA	1	1	0	0
DIGITAL TRANSFORMATION OF WATER SYSTEMS	1	2	2	0
GERENCIAMENTO DE RECURSOS DE RÁDIO EM REDES TERRESTRES E NÃO TERRESTRES PARA SISTEMAS CELULARES DE SEXTA GERAÇÃO (6G)	0	1	1	0
INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FUZZY COM CÁLCULO FRACIONÁRIO PARA CONTROLE DE ROBÔS MANIPULADORES	0	0	1	0
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E COMPUTAÇÃO FORENSE PARA AUDITORIA DA CADEIA DE CUSTÓDIA DIGITAL	0	0	1	0
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL MULTIMODAL E BIOMARCADORES DIGITAIS PARA DIAGNÓSTICO E MONITORAMENTO DA DOENÇA DE PARKINSON	0	0	1	0
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA BORDA (EDGE AI) PARA APLICAÇÕES DE INTERNET DAS COISAS	1	0	0	0
INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL APLICADA À PROBLEMAS DA ÁREA DE SEGURANÇA PÚBLICA, PRIVADA E CIBERSEGURANÇA.	1	1	1	0
MECANISMOS DE TOMADA DE DECISÃO EM SISTEMAS AUTÔNOMOS INTELIGENTES	0	0	1	0
MÉTODOS ANALÍTICOS E COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA BASEADOS NA FUNÇÃO LAMBERT-TSALLIS	1	0	1	0

Título da área temática	Vagas Mestrado AC	Vagas Mestrado AA	Vagas Doutorado AC	Vagas Doutorado AA
MODELAGEM PROGNÓSTICA DA RETINOPATIA DIABÉTICA PARA MEDICINA DE PRECISÃO	0	0	1	0
MODELAGEM TENSORIAL PARA PROCESSAMENTO DE SINAIS E IMAGENS	1	1	0	0
PLANEJAMENTO DE CAMINHO E PREVENÇÃO DE COLISÃO DE ROBÔS AUTÔNOMOS	0	0	1	0
PREDIÇÃO CONFORME PARA APRENDIZADO DE MÁQUINAS	1	0	1	0
PROCESSAMENTO DE NUVENS DE PONTOS, CENAS TRIDIMENSIONAIS E SUAS APLICAÇÕES	1	1	1	0
PROCESSAMENTO DE SINAIS E APRENDIZADO DE MÁQUINAS PARA DETECÇÃO DE ANOMALIAS E DE PONTOS DE MUDANÇAS	1	0	0	1
PROCESSAMENTO, DETECÇÃO, ANÁLISE E QUANTIFICAÇÃO DE DOENÇAS CARDÍACAS A PARTIR DE IMAGENS DE TC CARDÍACA E ANGIOTOMOGRAFIA DE CORONÁRIAS PARA AUXÍLIO AO DIAGNÓSTICO MÉDICO	1	0	0	0
SENSORIAMENTO E LOCALIZAÇÃO NA PRÓXIMA GERAÇÃO DE COMUNICAÇÕES SEM FIO.	3	2	0	0
SEPARAÇÃO DE FONTES DE ÁUDIO EM MONITORAMENTO AMBIENTAL ECOACÚSTICO	1	1	1	0
TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS E APRENDIZADO DE MÁQUINA NA ANÁLISE DE DOENÇAS NA VOZ	0	0	1	0
TOTAL	21	12	21	6

ALOCAÇÃO DE RECURSOS PARA SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES DE PRÓXIMA GERAÇÃO

Descrição: Redes de comunicações de quinta e sexta geração têm múltiplas antenas de transmissão e recepção como tecnologia fundamental, especialmente quando operam em altas frequências, como ondas milimétricas. Com múltiplas antenas, a dimensão espacial passa a integrar grande parte dos mecanismos de comunicação dos sistemas e da modelagem de canal, estendendo-os além das dimensões de tempo (slots) e frequência (canais) normalmente consideradas. Neste contexto, diferentes técnicas que exploram múltiplas antenas têm sido propostas para as futuras redes de comunicações, sejam terrestres, de alta altitude ou satelitais. Alguns exemplos são o acesso múltiplo por divisão de taxa (RSMA), as antenas móveis 6D e as antenas fluidas, entre outras. Este projeto visa estudar e propor algoritmos de alocação de recursos e de processamento de sinais voltados para sistemas de comunicações de próxima geração usando diferentes tecnologias de múltiplas antenas. Nesse amplo ecossistema, são igualmente variadas e flexíveis as oportunidades de investigação, indo desde o estudo de algoritmos de agrupamento de usuários e de escalonamento de recursos até técnicas de conformação de feixes e separação de sinais via otimização ou inteligência artificial.

Palavras-chave: Redes de comunicações de próxima geração, alocação de recursos, múltiplas antenas.

Referências:

1. A Primer on Rate-Splitting Multiple Access: Tutorial, Myths, and Frequently Asked Questions, Bruno Clerckx et al., <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.00491>
2. A Tutorial on Six-Dimensional Movable Antenna for 6G Networks: Synergizing Positionable and Rotatable Antennas, Xiaodan Shao et al, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.18240>
3. Fluid Antenna Systems Enabling 6G: Principles, Applications, and Research Directions, Tuo Wu et al., <https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.03839>

ANTENAS, DISPOSITIVOS E SISTEMAS DE RADIO FREQUÊNCIA E MICROONDAS

Descrição: A tecnologia em Microondas (MW) e Radiofrequência (RF) tem sido adotada em uma vasta área de aplicações, como radioastronomia, comunicações a longa distância, navegação espacial, sistemas de radar, equipamentos médicos, sistemas eletrônicos em mísseis etc. Como resultado dessa acelerada taxa de crescimento do uso da tecnologia de RF e MW na pesquisa e na indústria, surge a necessidade de conhecimento das propriedades físicas e químicas dos materiais novos e tradicionais envolvidos na pesquisa e desenvolvimento de novos componentes e dispositivos para uso nesses sistemas. Neste tema, as antenas dielétricas e de microfita são componentes de alto interesse tecnológico para operação em uma vasta faixa de frequências que se estende à região de ondas milimétricas com grande eficiência. Elas são elementos fundamentais em diversos sistemas de comunicação que vão desde a comunicação entre aviões militares e bases em terra, bem como em sistemas de telecomando e telemetria em foguetes, além de aplicações em telefonia celular móvel. Componentes como filtros, osciladores, circuladores e outros também estão no espectro de atuação nesta área.

Palavras-chave: Antenas, Dispositivos de RF e microondas, filtros, osciladores.

Referências:

1. Fifth Generation Antennas: A Comprehensive Review of Design and Performance Enhancement Techniques, SUMIT KUMAR, AMRUTA S. DIXIT, RAJESHWARI R. MALEKAR, HEMA D. RAUT, AND LAXMIKANT K. SHEVADA IEEE Access, VOLUME 8, 2020, 163568 Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.3020952
2. Review on Multifunctional Pattern and Polarization Reconfigurable Antennas VENKATASWAMY SURYAPAGA, (Student Member, IEEE), AND VIKAS V. KHAIRNAR, (Member, IEEE) Received 22 May 2024, accepted 23 June 2024, date of publication 28 June 2024, date of current version 8 July 2024. Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2024.3420426
3. Reconfigurable intelligent surfaces as the keyenabling technology for smart electromagnetic Environments F. Bilotti, M. Barbutto, Z. Hamzavi-Zarghani, M. Karamirad, M. Longhi, A. Monti, D. Ramaccia, L. Stefanini, A. Toscano & S. Vellucci (2024) Advances in Physics: X, 9:1, 2299543, DOI: 10.1080/23746149.2023.2299543

4. Features and Futures of Smart Antennas for Wireless Communications: A Technical Review Ayodele S. Oluwole* and Viranjay M. Srivastava Journal of Engineering Science and Technology Review 11 (4) (2018) 8 – 24 doi:10.25103/jestr.114.02

APLICAÇÕES DA TEORIA DA INFORMAÇÃO EM SISTEMAS QUÂNTICOS

Descrição: O desenvolvimento da teoria da informação desempenhou um papel fundamental na física moderna, particularmente após a formulação da teoria matemática da comunicação de Shannon [1], na qual a entropia foi introduzida como uma medida quantitativa da incerteza associada às distribuições de probabilidade. Na mecânica quântica, esse conceito se conecta naturalmente com a interpretação probabilística da função de onda, uma vez que a densidade de probabilidade contém a informação estatística do sistema. Consequentemente, a entropia de Shannon tem sido amplamente empregada para caracterizar as propriedades de localização e deslocalização de estados quânticos [2,3]. Complementarmente, a informação de Fisher [4] fornece uma medida local da distribuição de probabilidade, sendo altamente sensível a gradientes e estruturas oscilatórias da função de onda, o que a torna particularmente útil para investigar efeitos de localização e relações de incerteza. Essas quantidades informacionais encontraram amplas aplicações na física quântica [5,6], incluindo confinamento quântico [6], sistemas de osciladores harmônicos [7], modelos de massa efetiva [8], criptografia quântica [9] e canais de comunicação ruidosos [10]. Dessa forma, a presente linha de pesquisa tem como principal objetivo investigar medidas de informação quântica aplicadas a diferentes modelos da mecânica quântica, buscando compreender como propriedades geométricas, interações externas e estruturas efetivas influenciam o comportamento estatístico e informacional dos sistemas físicos.

Palavras-chave: Informação quântica; entropia de Shannon; informação de Fisher; complexidade de Fisher-Shannon

Referências:

1. C. E. Shannon, The Bell System Technical Journal 27, 379 (1948). <https://www.lcs.poli.usp.br/~pjj/shannon.pdf>
2. W. Beckner, Ann. Math. 102, 159 (1975). <https://doi.org/10.2307/1970980>
3. I. B.-Birula, and J. Mycielski, Commun. Math. Phys. 44, 129 (1975). <https://doi.org/10.1007/BF01608825>
4. B. R. Frieden, J. Mod. Opt. 35, 1297 (1988). <https://doi.org/10.1080/09500348814551451>
5. C. O. Edet, F. C. E. Lima, C. A. S. Almeida, N. Ali, and M. Asjad, Entropy 24, 1059 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2023.106343>

6. F. C. E. Lima, A. R. P. Moreira, L. E. S. Machado, and C. A. S. Almeida, *Int. J. Quantum Chem.* 121, e26749 (2021).
<https://arxiv.org/abs/2104.05863>
7. J. S. Dehesa, E. D. Belega, I. V. Toranzo, and A. I. Aptekarev, *Int. J. Quantum Chem.* 119, e25977 (2019).
<https://doi.org/10.1002/qua.25977>
8. Q. R. D. S. Moreira, L. F. Ximenes, A. R. P. Moreira, J. B. R. Silva, *Physica E* 178, 116478 (2026).
<https://doi.org/10.1016/j.physe.2026.116478>
9. F. Grosshans and N. J. Cerf, *Phys. Rev. Lett.* 92, 047905 (2004). <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0311006>
10. A. D. Wyner and S. Shamai, *Proc. IEEE* 86, 442 (1998).
https://web.archive.org/web/20170809090540id_/http://www.mkssa.dii.univpm.it/biblioteca/sala_tecnica/scaffale_teorica/campionamento/intro_shannon.pdf

APLICAÇÕES DAS FUNÇÕES WQ DE LAMBERT-TSALLIS E DA DISENTROPIA EM COMPUTAÇÃO E COMUNICAÇÃO QUÂNTICAS

Descrição: A função Wq de Lambert-Tsallis tem encontrado aplicações em diversas áreas da matemática, física e computação, fornecendo soluções analíticas para problemas comumente solucionados por técnicas numéricas. Por outro lado, a disentropia tem sido utilizada para o cálculo de quantumness, aleatoriedade e medidas de entrelaçamento de sistemas quânticos. Nessa direção, o objetivo do trabalho a ser desenvolvido é encontrar aplicações da função Wq e da disentropia na modelagem de dispositivos e sistemas de telecomunicações, na solução de problemas de computação e comunicação quânticas ou no processamento de sinais astronômicos.

Palavras-chave: Função Wq de Lambert-Tsallis, Disentropia, Laser, Nanodispositivos, Óptica quântica, Informação quântica.

Referências:

1. K. Inoue, Differential phase-shift quantum key distribution systems, IEEE Sel. Top. in Quant. Elec., 21, 3, 6600207, 2015.
2. F. Laudenbach, C. Pacher, C.-H. F. Fung, A. Poppe, M. Peev, B. Schrenk, M. Hentschel, P. Walther, H. Hübel, Continuous-Variable Quantum Key Distribution with Gaussian Modulation — The Theory of Practical Implementations, Adv. Quantum Technol.,1, 1800011/1-37, 2018.
3. Y. Liang, Q. Fei, Z. Liu, K. Huang, H. Zeng, “Low-noise InGaAs/InP single-photon detector with widely tunable repetition rates”, Photonics Research, 7, 3, A1-A6, 2019.
4. Lixing You, Superconducting nanowire single-photon detectors for quantum information, Nanophotonics 2020; 20200186, <https://doi.org/10.1515/nanoph-2020-0186>, 2020.
5. Paul Jimenez, Raphael Cardoso, Maurício Gomes de Queiroz, Mohab Abdalla, Cédric Marchand, Xavier Letartre, and Fabio Pavanello, Complexity Assessment of Analog Security Primitives Using the Disentropy of Autocorrelation, arXiv 2402.17488, 2024.
6. K. Gkouliaras, V. Theos, Z. Dahm, W. Richards, K. Vasili, and S. Chatzidakis, False Data Injection Detection in Nuclear Systems Using Dynamic Noise Analysis, IEEE ACCESS, 2024.
7. F. J. L. de Almeida, R. V. Ramos, Disentropy in astronomy, Eur. Phys. J. Plus, 138, 20, 2023.

8. G.S. Castro, R.V. Ramos, Enhancing eavesdropping detection in quantum key distribution using disentropy measure of randomness. Quantum Inf. Process. 21, 79 (2022).
9. R.V. Ramos, Disentropy of the Wigner function. J. Opt. Soc. Am. B 36, 2244–2249 (2019)
10. G.B. da Silva, R.V. Ramos, The Lambert–Tsallis W_q function. Physica A 525, 164–170 (2019)

APLICAÇÕES INTELIGENTES SOBRE REDE 5G EXPERIMENTAL PRIVADA COM SDR

Descrição: Esta área temática tem como objetivo a pesquisa e o desenvolvimento de soluções para redes 5G experimentais privadas e de aplicações inteligentes que utilizem essa infraestrutura para comunicação, processamento e tomada de decisão. Por exemplo, aplicações que combinem transmissão de vídeo em tempo real via rede 5G, processamento por inteligência artificial na borda da rede e execução automática de ações. A rede 5G experimental será baseada em rádio definido por software (SDR) e plataformas open source, como srsRAN, Open5GS e OpenAirInterface, permitindo acesso aos seus diferentes componentes e interfaces para fins de pesquisa e desenvolvimento. O aluno deverá implementar scripts e ferramentas capazes de: (i) configurar interfaces de rede; (ii) monitorar tráfego; (iii) correlacionar eventos de rede e KPIs; e (iv) tomar ações automáticas com base em KPIs de rede, como taxa e latência. Para ser capaz de conduzir os experimentos, espera-se que o aluno já tenha familiaridade com: (i) operação de sistemas Linux (configuração de rede, serviços e logs); (ii) protocolos essenciais (IP, DHCP, DNS e SSH); e (iii) uso de ferramentas como tcpdump, Wireshark e iperf, além do desenvolvimento de scripts em Bash e Python.

Palavras-chave: SDR, USRP, Linux, 5G, ORAN

Referências:

1. Dória, M., Sousa, V., Campos, A., Oliveira, N., Eduardo, P., Filho, P., Lima, C., Guilherme, J., Luna, D., Rego, I., Fernandes, M., & Neto, A. (2024), "Virtualized 5G Tesbed using OpenAirInterface: Tutorial and Benchmarking Tests". Journal of Internet Services and Applications, 15(1), 523–535. <https://doi.org/10.5753/jisa.2024.4454>.
2. Abularach Arnez, J., Acioli E Silva, W., Medeiros Silva, W., Gomes dos Reis, R. K., Tavares Da Silva, A., & Bezerra De Souza, C. B. (2024). A Private SDR 5G SA Network: An Evaluation of the Quality of Service (QoS) and Computational Resource Allocation for eMBB Slice. Journal of Communication and Information Systems, 39(1), 178–188. <https://doi.org/10.14209/jcis.2024.19>.
3. CHENG, Hai et al. ORANSlice: An open source 5G network slicing platform for O-RAN. In: Proceedings of the 30th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. 2024. p. 2297-2302.

4. J. L. Herrera, S. Montebugnoli, D. Scotece, L. Foschini and P. Bellavista (2025), "A Tutorial on O-RAN Deployment Solutions for 5G: From Simulation to Emulated and Real Testbeds," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, doi: 10.1109/COMST.2025.3577687.

ARQUITETURAS DE COMUNICAÇÃO E SEGURANÇA PARA CUBESATS

Descrição:

Os CubeSats são satélites da classe dos nanossatélites e possuem como forte característica a modularidade, além da disponibilidade de soluções comerciais para aquisição de módulos e outros componentes. Essa classe de satélites geralmente é empregada em missões de curta duração, dependendo da órbita em que são lançados. Mesmo em missões mais curtas, a atualização de firmware do nanossatélite é um recurso essencial, pois permite a correção de eventuais erros, bem como a possibilidade de melhorar a coleta de dados e as funcionalidades do satélite em operação no espaço. Uma das maiores dificuldades na atualização de firmware de satélites em operação no espaço é a comunicação Terra–satélite. Esse enlace de comunicação, comumente chamado de uplink, apresenta baixas taxas de transmissão, elevada taxa de erros e janelas de contato curtas, o que pode fazer com que a transmissão de arquivos, mesmo pequenos, leve vários dias para ser concluída. Neste sentido, um estudo aprofundado de arquiteturas de comunicação segura para CubeSats, capaz de criar novas formas de transmissão confiáveis em enlaces de baixa taxa de dados, pode ter uma aplicabilidade extremamente relevante tanto em pesquisas quanto em soluções de mercado. No contexto das missões em que o LESC está atualmente envolvido, podemos utilizar essa linha de investigação para aprimorar a robustez dos sistemas embarcados, especialmente em projetos como o NASCERR, que demandam alta confiabilidade em ambientes com elevada radiação. A pesquisa pode ainda contribuir para o desenvolvimento de protocolos de atualização segura de firmware em órbita, integrando mecanismos de autenticação, integridade e resiliência a falhas, permitindo que sistemas críticos sejam atualizados mesmo em cenários de comunicação limitada. Além disso, soluções dessa natureza podem ser expandidas para plataformas comerciais e acadêmicas, fortalecendo o ecossistema nacional de nanossatélites e criando oportunidades de inovação em comunicações espaciais seguras.

Palavras-chave: CubeSats, comunicação segura, uplink, enlaces de baixa taxa, atualização de firmware, sistemas satelitais, tolerância a falhas, protocolos de autenticação

Referências:

1. N. Saeed, A. Elzanaty, H. Almorad, H. Dahrouj, T. Y. Al-Naffouri and M. -S. Alouini, "CubeSat Communications: Recent Advances and Future Challenges," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 22, no. 3, pp. 1839-1862, thirdquarter 2020, DOI: 10.1109/COMST.2020.2990499.

2. A. Gangwal and A. Paliwal, "CSUM-G: Group Software Updates for CubeSat Clusters," in 2025 IEEE 50th Conference on Local Computer Networks (LCN), Sydney, Australia, 2025, pp. 1-9, doi: 10.1109/LCN65610.2025.11146335.
3. Roy Peled, Roee Idan, Tomer Galor, Ofir Chodeda, Eli Marcus, Asaf Shabtai, and Yuval Elovici. 2025. A Reproducible and Open-Source Testbed for Satellite Cybersecurity. In Proceedings of the 3rd ACM Conference on Reproducibility and Replicability (ACM REP '25). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 51–61. <https://doi.org/10.1145/3736731.3746144>
4. A. R. K. Verma, "Cybersecurity in Satellite Communication Networks: Key Threats and Neutralization Measures," in IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 6, pp. 5667-5692, 2025, doi: 10.1109/OJCOMS.2025.3585060

ARQUITETURAS FOTÔNICAS PARA COMPUTAÇÃO E COMUNICAÇÕES QUÂNTICAS

Descrição: Esta área temática de pesquisa tem como objetivo o estudo, a modelagem, a análise e o desenvolvimento de arquiteturas fotônicas quânticas voltadas ao processamento, à transmissão e à manipulação de informação quântica, com ênfase em plataformas integradas, reconfiguráveis e potencialmente escaláveis [1-2]. O tema abrange diferentes estados quânticos da luz e suas codificações físicas, incluindo estados coerentes, estados de Fock, estados comprimidos, estados emaranhados, estados de Bell, codificação temporal do tipo time-bin e abordagens híbridas que combinam variáveis discretas, contínuas e bosônicas. Pretende-se investigar como esses recursos podem ser empregados na implementação de portas lógicas, circuitos quânticos, blocos aritméticos reversíveis, protocolos de distribuição quântica de chaves, teletransporte, interconexão entre nós quânticos e redes quânticas fotônicas [2-6]. Além dos aspectos fundamentais, esta área enfatiza mecanismos e técnicas para melhoria de eficiência em sistemas fotônicos quânticos, tais como multiplexação temporal, espacial e espectral, feed-forward ativo, sincronização de eventos ópticos, aumento da indistinguibilidade entre fótons, uso de fontes determinísticas ou quase determinísticas baseadas em pontos quânticos, integração fotônica em chip e emprego de detectores de alta eficiência, como SNSPDs. Esses elementos são centrais para reduzir perdas, aumentar taxas de sucesso, melhorar a fidelidade operacional e viabilizar arquiteturas mais robustas para aplicações práticas [3-4]. Portanto, trata-se de um tema interdisciplinar e atual, que articula fundamentos de óptica quântica, engenharia fotônica, teoria da informação quântica, computação e telecomunicações avançadas, com forte aderência às prioridades internacionais em ciência da informação quântica e ao cenário emergente de redes quânticas escaláveis [2-3].

Palavras-chave: Computação quântica; comunicação quântica; redes quânticas; óptica quântica; estados quânticos da luz; fotônica integrada; multiplexação; feed-forward; detectores SNSPD; informação quântica.

Referências:

1. U.S. Department of Energy. DOE Explains... Quantum Networks. Disponível em: <https://www.energy.gov/science/doe-explainsquantum-networks>.

2. LABONTÉ, L. et al. Integrated Photonics for Quantum Communications and Metrology. PRX Quantum, v. 5, 2024. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PRXQuantum.5.010101>.
3. ABUGHANEM, B. Photonic Quantum Computers. arXiv, 2024. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2409.08229>.
4. LEE, C. et al. Photonic Hybrid Quantum Computing. arXiv, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2510.00534>.
5. [Autores não identificados no resultado de busca]. Practical blueprint for low-depth photonic quantum computing with quantum dots. arXiv, 2025. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2507.16152>.
6. WANG, J.; SCIARRINO, F.; LAING, A.; THOMPSON, M. G. Recent progress in quantum photonic chips for quantum communication. Light: Science & Applications, 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41377-023-01173-8>.

ARQUITETURAS LAKEHOUSE INTEROPERÁVEIS QUÂNTICO-INSPIRADAS PARA DADOS CLÍNICOS, OPERACIONAIS E FINANCEIROS EM SAÚDE

Descrição: Esta linha de pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento de uma arquitetura inteligente de dados em saúde baseada no paradigma Lakehouse, incorporando técnicas de computação quântico-inspirada, interoperabilidade semântica e análise preditiva para integração unificada de dados clínicos, administrativos, financeiros e operacionais provenientes de múltiplas fontes heterogêneas. A proposta contempla a construção de uma infraestrutura escalável capaz de consolidar informações oriundas de prontuários eletrônicos (EHR/PEP), sistemas hospitalares (HIS), laboratórios (LIS), sistemas financeiros, faturamento, auditoria, recursos humanos, regulação e bases públicas de saúde, utilizando padrões internacionais como HL7 FHIR, OMOP, ICD-10, SNOMED CT e OpenEHR. A pesquisa envolverá o desenvolvimento de pipelines inteligentes de ingestão e transformação de dados (ETL/ELT), mecanismos de governança, qualidade e rastreabilidade (data lineage), além da aplicação de algoritmos de otimização quântico-inspirada para seleção de atributos, planejamento de consultas analíticas, balanceamento de cargas computacionais e aceleração de processos de aprendizado de máquina. A arquitetura será estruturada em múltiplas camadas (Bronze, Silver e Gold), permitindo análises históricas e em tempo quase real para suporte à tomada de decisão estratégica. Além da integração de dados clínicos, o trabalho investigará modelos para correlação entre indicadores assistenciais e financeiros, possibilitando a análise conjunta de custos, faturamento, glosas, utilização de recursos, produtividade hospitalar, desfechos clínicos e eficiência operacional. Serão exploradas técnicas de inteligência artificial, AutoML, aprendizado federado e analytics avançado para geração de indicadores preditivos voltados à sustentabilidade financeira e à melhoria da qualidade assistencial. Como resultado esperado, pretende-se desenvolver uma arquitetura de referência para o ecossistema brasileiro de saúde digital, capaz de promover interoperabilidade, governança inteligente, conformidade com LGPD e ISO 27701, redução da fragmentação informacional e suporte à gestão baseada em evidências, contribuindo simultaneamente para a eficiência operacional, sustentabilidade econômica e melhoria dos resultados clínicos das instituições de saúde. Esta proposta está diretamente alinhada aos desafios identificados no projeto QIMED e aos princípios emergentes da Saúde Digital 5.0.

Palavras-chave: Arquiteturas Lakehouse Interoperáveis; Computação Quântico-Inspirada; Inteligência Artificial para Gestão Clínico-Financeira em Saúde

Referências:

1. TABARI, P.; COSTAGLIOLA, G.; DE ROSA, M.; BOEKER, M. State-of-the-Art Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR)-Based Data Model and Structure Implementations: Systematic Scoping Review. *JMIR Medical Informatics*, v. 12, e58445, 2024. DOI: 10.2196/58445.
2. AMAR, F.; ABED, M.; BENABDELOUAHID, R. et al. Electronic Health Record and Semantic Issues Using Fast Healthcare Interoperability Resources: Systematic Mapping Review. *Journal of Medical Internet Research*, v. 26, e45209, 2024. DOI: 10.2196/45209.
3. SHANG, Y.; ZHANG, Y.; LIU, Y. et al. Electronic Health Record–Oriented Knowledge Graph System: Collaborative Reasoning Across Multicenter Fragmented Medical Data. *Journal of Medical Internet Research*, v. 26, e54263, 2024. DOI: 10.2196/54263.
4. GUPTA, R. S.; WOOD, C. E.; ENGSTROM, T.; POLE, J. D.; SHRAPNEL, S. A Systematic Review of Quantum Machine Learning for Digital Health. *npj Digital Medicine*, v. 8, art. 237, 2025. DOI: 10.1038/s41746-025-01597-z.

CÁLCULO DE ASSINATURAS E DE INDISPONIBILIDADE DE SISTEMAS SATELITAIS GNSS: ESTIMAÇÃO DE CANAIS, MITIGAÇÃO DE PERTURBAÇÕES IONOSFÉRICAS E DETECÇÃO DE SINAIS

Descrição: Os processos de estimação de sistemas e detecção de sinais em sistemas GNSS passam obrigatoriamente por definir os cenários e integrá-los às estratégias de tratamento de sinais adequadas, no interesse de garantir o melhor desempenho de suas partes, visando à conectividade e à qualidade da recepção dos sinais em qualquer situação das camadas ionosféricas. Este tema propõe estudar pelo menos um dos problemas que contaminam o bom desempenho dos sistemas de comunicações GNSS no âmbito de, pelo menos, uma das metodologias das seguintes abordagens: (i) formulações e soluções para novas formas de onda no contexto lagrangeano da otimização não linear com restrições, para aplicações em sistemas GNSS com múltiplas portadoras não ortogonais, considerando o apoio e a disponibilidade dos dados e de suas distribuições de probabilidade e características numéricas extraídas dos ambientes de propagação terrestre-satélite; (ii) modelar e calcular o mapeamento de assinaturas e a indisponibilidade dos sistemas GNSS. Para isso, serão investigadas novas estratégias de otimização com funções-custo complexas, métodos e técnicas baseados em quantificação de incertezas, métodos variacionais e processamento tensorial de sinais para o projeto de filtragem nos transmissores e, conseqüentemente, nos receptores, no interesse da recuperação eficiente do sinal transmitido, observando as condições do sinal recebido, taxa de dados, eficiência espectral e relação sinal-ruído, visando satisfazer o cumprimento dos indicadores de desempenho qualitativo e quantitativo do sistema.

Palavras-chave: Aprendizado de máquinas, bigdata, mineração de dados, predição e retropredição, análise e estatística multivariada, medidas estatísticas, tensores, extração de atributos e características, classificação de padrões, álgebra linear e multilinear, estimação de funções densidade de probabilidade conjunta complexas, funções custo-complexas, estruturas de filtragem adaptativa, método dos elementos finitos, splines, funções de base hilbertianas, acoplamento entre matrizes, filtragem de kalman.

Referências:

1. T. Strohmer and S. Beaver. Optimal OFDM Design for Time-Frequency Dispersive Channels. IEEE Trans. On Communications, V. 51, N° 7, july 2003.

2. V. Papadopoulos and D. G. Giovanis, Stochastic Finite Element Methods: An Introduction, Mathematical Engineering, Springer, 2017.
3. A.M.P. de Lucena, J.C.M. Mota and C.C. Cavalcante. Optimum detection of non-orthogonal QAM signals with spectral overlapping. IET Communications, Vol. 3, Issue. 2, pp. 249– 256, 2009.
4. Kozek, W. and Molisch, A.F. Nonorthogonal pulse shapes for multicarrier communications in doubly dispersive channels. IEEE J. Select. Areas Commun., 16 (8), 1998, pp. 1579–1589.
5. Sahin, A., Guvenc, I., and Arslan, H. A survey on multicarrier communications: prototype filters, lattice structures, and implementation aspects. IEEE Commun. Surveys & Tut., 16 (3), pp. 1312–1338, 2012.
6. Cursi, E.S., and Sampaio, R., Uncertainty Quantification and Stochastic Modeling with Matlab®, iSTE Press, ELSEVIER, 2015.
7. Lars Hörmander- An Introduction to Complex Analysis in Several Variables, North Holland, 2^a ed., 1979.
8. Steven G. Krantz - Function Theory of Several Complex Variables, John Wiley and Sons, N.Y., 1982.
9. Robert C. Gunning, Introduction to holomorphic functions of several variables, Wadsworth & Brooks/Cole, Function theory, Local theory, Homological theory.
10. R. C. Gunning and H. Rossi, Analytic functions of several complex variables, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1965.
11. J. Villà-Valls et al, Survey on signal processing for GNSS on ionospheric scintillation: detection, monitoring, and mitigation, DOI:10.1002/navi.379
12. T. E. Humphreys et al., Simulating Ionosphere-Induced Scintillation for Testing GPS Receiver Phase Tracking Loops, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING, VOL. 3, NO. 4, AUGUST 2009

COMPARTILHAMENTO DINÂMICO DE ESPECTRO PARA COEXISTÊNCIA ENTRE REDES CELULARES TERRESTRES EM CANAIS COMPARTILHADOS

Descrição: A crescente escassez de espectro e a necessidade de suportar serviços cada vez mais exigentes em termos de capacidade, latência e confiabilidade tornam o compartilhamento dinâmico de espectro uma das tecnologias-chave para redes 6G. Diferentemente das abordagens tradicionais de alocação fixa de espectro, os mecanismos estudados nesta área temática permitirão que múltiplas redes compartilhem recursos de forma flexível, explorando oportunidades temporais, espaciais e espectrais para aumentar a utilização efetiva do espectro disponível. Neste contexto, esta área temática investiga mecanismos de coexistência entre redes terrestres (Terrestrial Networks – TNs) que operam simultaneamente em uma mesma faixa de frequência, com abordagens tanto centralizadas quanto distribuídas, empregando modelos matemáticos de otimização, teoria dos jogos, aprendizado por reforço, geometria estocástica e simulações em plataformas de redes sem fio.

Palavras-chave: alocação de recursos, coexistência, alocação dinâmica de espectro

Referências:

1. Cao, X. et al. (2024), AI-Empowered Multiple Access for 6G: A Survey of Spectrum Sensing, Protocol Designs, and Optimizations.
2. Future 6G Radio Access Network – Ericsson (2024), <https://www.ericsson.com/en/blog/2024/5/future-6g-radio-access-network-design-choices>.
3. Multi-RAT Spectrum Sharing for Efficient 5G–6G Coexistence - Ericsson (2026), <https://www.ericsson.com/en/blog/2026/4/5g-6g-spectrum-sharing-mrss>.
4. Kumar, P. et al, Dynamic Interference Management for TN-NTN Coexistence in the Upper Mid-Band, 2026, <https://arxiv.org/abs/2602.10813>.

CONTROLE AUTÔNOMO DE SUPERFÍCIES INTELIGENTES RECONFIGURÁVEIS (RIS) HÍBRIDAS VIA APRENDIZADO PROFUNDO

Descrição: A literatura recente destaca o avanço das superfícies inteligentes reconfiguráveis (RIS) como uma tecnologia-chave para manipulação dinâmica de ondas eletromagnéticas, especialmente em micro-ondas, visando aplicações em comunicações 6G, sensoriamento integrado e ambientes autônomos. O co-design paramétrico baseado em dados, aliado à estimação de canal via aprendizado de máquina, tem sido fundamental para superar desafios como a necessidade de estimativas precisas do canal, otimização da resposta eletromagnética e adaptação a ambientes dinâmicos. Estudos experimentais e teóricos mostram que abordagens baseadas em redes neurais profundas, métodos híbridos (quantum-classical) e arquiteturas com elementos ativos/passivos permitem não só o controle autônomo das RIS, mas também a integração eficiente entre reflexão e sensoriamento. A geração de conjuntos de dados paramétricos, variando dimensões, substrato e condições dos diodos PIN, é apontada como etapa crítica para alimentar modelos robustos de aprendizado de máquina. Geometrias fractais ou caóticas são sugeridas para ampliar a versatilidade funcional das RIS, enquanto topologias híbridas com células sensoras “espiãs” viabilizam a validação experimental da rede lógica e do chaveamento dos controladores. Este panorama evidencia um campo multidisciplinar em rápida evolução, com desafios abertos na modelagem física, integração hardware-software e validação experimental.

Palavras-chave: Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS), quantum-classical, comunicações 6G, micro-ondas

Referências:

1. Hybrid Reconfigurable Intelligent Metasurfaces: Enabling Simultaneous Tunable Reflections and Sensing for 6G Wireless Communications, <https://ieeexplore.ieee.org/document/10352433>
2. Reconfigurable Intelligent Surfaces for Wireless Communications: Principles, Challenges, and Opportunities, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9086766>
3. A reconfigurable intelligent surface with integrated sensing capability, <https://www.nature.com/articles/s41598-021-99722-x>

4. Reconfigurable Intelligent Surface (RIS) in the Sub-6 GHz Band: Design, Implementation, and Real-World Demonstration,
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9668918>

DESENVOLVIMENTO DE INFRAESTRUTURA PARA INTERNET QUÂNTICA

Descrição: A internet quântica seria uma rede quântica, eventualmente de alcance global, que conectaria diversos sítios para realizar protocolos de comunicação quântica entre eles. Exemplos de protocolos simples seriam a troca quântica de chaves criptográficas e a teleportação quântica, que envolve a transmissão de estados quânticos arbitrários entre sítios distantes. A possibilidade de armazenar e processar informação localmente nos sítios da rede pode ainda levar ao desenvolvimento de protocolos mais poderosos e robustos. A ideia de uma internet quântica foi bastante energizada nos últimos anos pelo sucesso chinês de realizar distribuição de emaranhamento quântico em escala global, entre China e Europa, utilizando um satélite desenvolvido especialmente para esse fim [1]. Com isso, o ideal de comunicação quântica a grandes distâncias tornou-se uma realidade, com consequências ainda completamente inexploradas.

A distribuição quântica de chaves (QKD) é uma abordagem alternativa para troca de chaves que funciona aproveitando as propriedades fundamentais da mecânica quântica [2]. A QKD oferece Segurança Teórica da Informação (ITS) e, portanto, é incondicionalmente segura contra um invasor com poder computacional de criptoanálise ilimitado [3]. Isso está em forte contraste com os esquemas criptográficos tradicionais, que são apenas condicionalmente seguros contra um invasor com capacidades computacionais bem definidas e finitas. Assim, a QKD também serve como uma alternativa natural para troca de chaves contra um adversário quântico. Um ponto importante a ser observado é que não é necessário um computador quântico para implementar um sistema de QKD.

Nessa temática, o Grupo de Informação Quântica (GIQ) do PPGETI/UFC, atuando no Laboratório de Tecnologia da Informação Quântica (LATIQ), desenvolve pesquisas como parte das atividades de formação de recursos humanos do programa, em cooperação com outros centros de pesquisa. Nessa frente, o grupo trabalha para implementar protocolos de comunicação de crescente complexidade à medida que a escala da rede aumenta. A ideia é compreender as necessidades das aplicações específicas idealizadas para tais redes, de modo a guiar o desenvolvimento experimental com esse fim. Pretende-se contribuir com três objetivos experimentais: (1) construir um gerador quântico de números aleatórios com variáveis contínuas [4]; (2) construir um sistema de distribuição quântica de chaves com variáveis contínuas; e (3) construir um sistema de distribuição quântica de chaves com variáveis discretas.

Palavras-chave: Internet Quântica, Distribuição quântica de chaves (QKD), Desentropia da autocorrelação, função de Larbert-Tsallis.

Referências:

1. Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers J Yin, Y Cao, YH Li, SK Liao, L Zhang, JG Ren, WQ Cai, WY Liu, B Li, Science 356 (6343), 1140-1144.
2. WU, B.; SHASTRI, B. J.; PRUCNAL, P. R. Chapter 11 – Secure Communication in Fiber-Optic Networks. In: Emerging Trends in ICT Security. Morgan Kaufmann, 2013. p. 173 – 183.
3. SHOR, P.W. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. In: PROCEEDINGS OF THE 35TH ANNUAL SYMPOSIUM OF FOUNDATION OF COMPUTER SCIENCE, vol. 35, 1994, IEEE Press, p. 124.
4. DE OLIVEIRA, S. T. ; DE ANDRADE, J. S. ; DE OLIVEIRA, G. L. ; RAMOS, R. V. . Applications of disentropy in the analysis of randomness generated by quantum random number generators. QUANTUM INFORMATION PROCESSING (DORDRECHT. ONLINE), v. 24, p. 73, 2025.

DIGITAL TRANSFORMATION OF WATER SYSTEMS

Descrição: The digitalisation of water and wastewater treatment has become increasingly important for ensuring safe, efficient, and sustainable water services in the face of growing challenges such as climate change, population growth, urbanisation, and stricter regulatory standards. Modern utilities must maintain high service quality while optimising energy and resource use, reducing operational costs, improving environmental performance, and ensuring system reliability. Achieving these goals requires the integration of advanced automation, monitoring, and data-driven technologies across both centralised and decentralised water and wastewater systems. This project focuses on advancing the modelling, monitoring, and control of water and wastewater systems through digital technologies, using full-scale facilities in Ceará as case studies. The project will address both conventional large-scale infrastructure and decentralised systems, which are increasingly important for extending water and sanitation services to remote communities and improving water accessibility. We will employ methods from control theory, system identification, and probabilistic modelling to design and implement advanced process-control and decision-support solutions. Key topics include model-based control strategies, such as model predictive control and optimal control, alongside the development, calibration, and identification of dynamic models for water and wastewater treatment plants. A central component of the research is the analysis of system performance and dynamic behaviour to better understand operational responses, detect anomalies, and improve plant operation. Probabilistic methods will be used to quantify uncertainties arising from variable influent characteristics, environmental conditions, and operational disturbances, supporting robust and adaptive solutions. We are seeking motivated and enthusiastic students to contribute to the development of modelling, monitoring, and control tools for water and wastewater systems. The work will involve collecting, analysing, and pre-processing operational data from full-scale facilities. Using full-scale and synthetic data, students will develop, calibrate, and validate dynamic process models and digital twins, and employ these tools to design and evaluate advanced monitoring and control strategies in virtual and real environments.

Palavras-chave: Tratamento de água, Identificação de sistemas, Modelagem probabilística, Controle avançado de processos

Referências:

1. Ljung L., 2008, Perspectives on System Identification, IFAC Proceedings Volumes, 41(2), pp. 7172-7184.
2. Rawlings J.B., 2000, Tutorial overview of model predictive control, in IEEE Control Systems Magazine, vol. 20, no. 3, pp 38-52.
3. Yuan Z., Olsson G., Cardell-Oliver R., van Schagen K., Marchi A., Deletic A., Urich C., Rauch W., Liu Y., Jiang G., 2019, Sweating the assets - The role of instrumentation, control and automation in urban water systems, Water Research, vol. 155, pp, 381-402.

GERENCIAMENTO DE RECURSOS DE RÁDIO EM REDES TERRESTRES E NÃO TERRESTRES PARA SISTEMAS CELULARES DE SEXTA GERAÇÃO (6G)

Descrição: A integração entre redes terrestres, do inglês **Terrestrial Networks** (TNs), e redes não terrestres, do inglês **Non-Terrestrial Networks** (NTNs), é considerada um dos habilitadores de futuros sistemas celulares de sexta geração (6G), permitindo ampliar a cobertura, aumentar a resiliência da infraestrutura de comunicações e oferecer conectividade em áreas remotas ou com infraestrutura limitada. Entretanto, essa integração traz desafios importantes relacionados ao gerenciamento de recursos de rádio, gerência de mobilidade, gerenciamento de interferência e distribuição eficiente de tráfego entre os segmentos terrestre e não terrestre da rede. Nesta área temática, serão investigadas soluções para suporte à operação integrada TN-NTN, considerando aspectos como coexistência espectral, coordenação de interferência, mobilidade de usuários, seleção de acesso e alocação de recursos. O objetivo é desenvolver soluções capazes de melhorar a utilização dos recursos disponíveis, aumentando a qualidade de serviço oferecida em sistemas 6G. Para isso, serão empregados modelos matemáticos e computacionais, simulações baseadas em padrões 3GPP, técnicas de otimização matemática, algoritmos heurísticos e métodos de aprendizado de máquina. É desejável que o candidato possua conhecimentos de programação, especialmente em Python, para implementação, validação e avaliação das soluções desenvolvidas.

Palavras-chave: NTN, RRM, gerência de interferência, gerência de mobilidade, 6G

Referências:

1. M. Figaro, Francesco Rossato, Marco Giordani, Alessandro Traspadini, Takayuki Shimizu, Chinmay Mahabal, Sanjeewa Herath, Chunghan Lee, Dogan Kutay Pekcan, Michele Zorzi, "5G NR Non-Terrestrial Networks: From Early Results to the Road Ahead." arXiv preprint arXiv:2601.04882 (2026).
2. A. A. R. Alsaeedy, M. K. Mohsen and E. K. P. Chong, "5G/6G TN-NTN Coexistence: Perspectives on Seamless Service and Handover Management," in IEEE Network, vol. 40, no. 2, pp. 312-318, March 2026, doi: 10.1109/MNET.2025.3569154.

3. A. A. R. Alsaeedy and E. K. P. Chong, "A Survey of Mobility Management in Non-Terrestrial 5G Networks: Power Constraints and Signaling Cost," in IEEE Access, vol. 12, pp. 107529-107551, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3438613.
4. B. Shang, Z. Wang, X. Li, C. Yang, C. Ren and H. Zhang, "Spectrum Sharing in Satellite-Terrestrial Integrated Networks: Frameworks, Approaches, and Opportunities," in IEEE Network, 2025, doi: 10.1109/MNET.2025.3600150.

INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS FUZZY COM CÁLCULO FRACIONÁRIO PARA CONTROLE DE ROBÔS MANIPULADORES

Descrição: O controle de robôs manipuladores industriais, incluindo aspectos associados à suavidade da trajetória, como a continuidade dos perfis de velocidade e aceleração e a limitação do **jerk** (derivada da aceleração), é frequentemente realizado por controladores proporcional-integral-derivativo (PID) devido à sua simplicidade matemática, ampla aceitação industrial e facilidade de implementação. Entretanto, em diversas aplicações, o controlador PID clássico apresenta limitações relacionadas à sintonia de seus parâmetros, especialmente em sistemas não lineares, acoplados, sujeitos a incertezas, perturbações externas e demandas de alta performance. Essas limitações podem resultar em sobressinais, alto **jerk**, erro residual e perda de desempenho em tarefas complexas. Nesse contexto, destaca-se o crescente interesse em controladores que fazem uso da teoria do cálculo de ordem fracionária, ou simplesmente cálculo fracionário, motivado principalmente pela introdução dos parâmetros adicionais de integração e derivação de ordem fracionária, que ampliam os graus de liberdade disponíveis para o projeto do controlador. Essa característica permite a síntese de controladores capazes de capturar dinâmicas complexas presentes em manipuladores robóticos, favorecendo melhorias de desempenho e robustez frente a incertezas, perturbações e variações nas condições operacionais. Diante disso, esta linha de pesquisa propõe investigar o uso de controladores fracionários integrados a sistemas de inferência fuzzy para o controle de manipuladores robóticos industriais. Nessa estratégia, sistemas de inferência fuzzy, principalmente os do tipo 2, podem incorporar conhecimento heurístico e, portanto, incerto, sobre o processo, por meio de regras linguísticas do tipo se-então, para ajustar os parâmetros do controlador em função do erro e da variação do erro. Busca-se, assim, melhorar a precisão no rastreamento de trajetórias previamente planejadas, a suavidade do movimento e o atendimento às especificações de desempenho do sistema de controle. Por fim, técnicas adaptativas (e.g., neurofuzzy) deverão incorporar também capacidades de aprendizado neural ao controlador fuzzy fracionário, com vistas ao uso em ambientes não estacionários.

Palavras-chave: Cálculo fracionário; Sistemas fuzzy tipo 2; Controle de robôs; Modelos neurofuzzy; Sintonia de controladores fracionários.

Referências:

1. Li, Zhijie, Jie Ding, Min Wu, and Jinxing Lin. "Discrete fractional order PID controller design for nonlinear systems." *International Journal of Systems Science* 52, no. 15 (2021): 3206-3213.
2. Tepljakov, Aleksei, Baris Baykant Alagoz, Celaleddin Yeroglu, Emmanuel Gonzalez, S. Hassan HosseinNia, and Eduard Petlenkov. "FOPID controllers and their industrial applications: A survey of recent results." *IFAC-PapersOnLine* 51, no. 4 (2018): 25-30.
3. Aceves-López, Alejandro, and Joseph Aguilar-Martin. "A simplified version of mamdani's fuzzy controller: the natural logic controller." *IEEE Transactions on fuzzy systems* 14, no. 1 (2006): 16-30.
4. Al-Dhaifallah, Mujahid, Niranjana Kanagaraj, and Kottakkaran Sooppy Nisar. "Fuzzy Fractional-Order PID Controller for Fractional Model of Pneumatic Pressure System." *Mathematical Problems in Engineering* 2018, no. 1 (2018): 5478781.
5. Wang, W., Zhang, J. & Jiao, R. Optimized Fractional-Order Type-2 Fuzzy PID Attitude Controller for Fixed-Wing Aircraft. *J Optim Theory Appl* 203, 2592–2616 (2024).

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E COMPUTAÇÃO FORENSE PARA AUDITORIA DA CADEIA DE CUSTÓDIA DIGITAL

Descrição: Esta linha de pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento de métodos avançados de inteligência artificial, computação forense e análise de evidências digitais para suporte à auditoria, validação e monitoramento automatizado da cadeia de custódia digital. A proposta investiga mecanismos capazes de garantir integridade, rastreabilidade, autenticidade e confiabilidade probatória de evidências oriundas de dispositivos computacionais, sistemas corporativos, aplicações móveis, serviços em nuvem e ambientes distribuídos. O foco está na construção de modelos inteligentes para detecção automática de inconsistências, lacunas temporais, manipulações indevidas, violações de integridade e fragilidades na cadeia de custódia, integrando técnicas de aprendizado de máquina, grafos de conhecimento, raciocínio simbólico, inteligência artificial explicável (XAI) e análise temporal de eventos. A pesquisa contempla a modelagem formal da cadeia de custódia como um ecossistema de eventos, agentes, evidências e metadados inter-relacionados, permitindo a reconstrução cronológica automática de ocorrências a partir de múltiplas fontes heterogêneas de informação. Serão investigadas arquiteturas escaláveis para processamento de grandes volumes de dados forenses, incluindo logs, imagens forenses, artefatos digitais, registros de sistemas, documentos eletrônicos e evidências provenientes de ambientes corporativos e judiciais. Além disso, serão desenvolvidos mecanismos de classificação de risco probatório, suporte à decisão técnico-jurídica e geração automatizada de relatórios auditáveis compatíveis com requisitos legais e regulatórios. A proposta também explora técnicas avançadas de governança da prova digital, trilhas auditáveis, versionamento de evidências, preservação da cadeia de custódia e representação semântica baseada em grafos de conhecimento, permitindo análises contextuais e explicáveis. Como resultado esperado, pretende-se desenvolver uma arquitetura de referência para auditoria inteligente de evidências digitais, contribuindo para a redução de riscos jurídicos, aumento da confiabilidade das análises periciais, melhoria da eficiência operacional e fortalecimento da segurança jurídica em aplicações governamentais, corporativas e forenses. O trabalho está diretamente alinhado aos desafios tecnológicos do projeto SICAI – Sistema Inteligente de Cadeia de Custódia com Inteligência Artificial.

Palavras-chave: Computação Forense; Cadeia de Custódia Digital; Inteligência Artificial Explicável; Auditoria Inteligente de Evidências Digitais

Referências:

1. HALL, S. W.; SAKSA, A.; CHOO, K.-K. R. Explainable artificial intelligence for digital forensics. *WIREs Forensic Science*, v. 4, n. 2, e1434, 2022. DOI: 10.1002/wfs2.1434.
2. NATH, S.; AKTHER, T.; BAO, T.; FENG, Z.; JADLIWALA, M.; BAEK, J. H. Digital evidence chain of custody: Navigating new realities of digital forensics with distributed ledger technologies. *IEEE Transactions on Technology and Society*, 2024. DOI: 10.1109/TTS.2024.3409127
3. KHALID, Zainab; IQBAL, Farkhund; FUNG, Benjamin C. M. Towards a unified XAI-based framework for digital forensic investigations. *Forensic Science International: Digital Investigation*, v. 50, suppl., 301806, 2024.
4. NATH, Souradip; SUMMERS, Keb; BAEK, Jaejong; AHN, Gail-Joon. Digital Evidence Chain of Custody: Navigating New Realities of Digital Forensics. In: 2024 IEEE 6th International Conference on Trust, Privacy and Security in Intelligent Systems, and Applications (TPS-ISA). IEEE, 2024. p. 11–20. DOI: 10.1109/TPS-ISA62245.2024.00012.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL MULTIMODAL E BIOMARCADORES DIGITAIS PARA DIAGNÓSTICO E MONITORAMENTO DA DOENÇA DE PARKINSON

Descrição: Esta linha de pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento de métodos avançados de inteligência artificial para identificação, fusão e interpretação de biomarcadores digitais associados à Doença de Parkinson, utilizando dados multimodais provenientes de diferentes fontes clínicas, fisiológicas e comportamentais. A proposta investiga a integração de sinais de voz, escrita digital, marcha, movimento corporal, tremor, exames de neuroimagem, registros clínicos, dispositivos vestíveis (*wearables*) e sensores IoT para a construção de modelos computacionais capazes de apoiar o diagnóstico precoce, a estratificação de pacientes e o monitoramento longitudinal da progressão da doença. A pesquisa contempla o desenvolvimento de arquiteturas multimodais baseadas em *Deep Learning*, *Transformers*, *Foundation Models*, aprendizado federado e sistemas multiagentes para extração de biomarcadores digitais interpretáveis e clinicamente relevantes. Serão investigadas estratégias de fusão de dados multimodais, aprendizado autossupervisionado, explicabilidade (XAI) e inferência causal, visando identificar padrões associados aos estágios da doença, à resposta terapêutica, ao risco de progressão e às alterações motoras e não motoras. Além dos biomarcadores tradicionais, o trabalho explorará biomarcadores digitais contínuos obtidos em ambientes domiciliares e comunitários, permitindo avaliações ecológicas e monitoramento remoto da saúde. A proposta também contempla a construção de grafos de conhecimento clínico e mecanismos de suporte à decisão baseados em evidências, capazes de integrar informações provenientes de diferentes modalidades e contextos clínicos. Como resultado esperado, pretende-se desenvolver uma plataforma inteligente para apoio ao diagnóstico e acompanhamento da Doença de Parkinson, contribuindo para a medicina personalizada, o monitoramento remoto, a detecção precoce de alterações clínicas e a melhoria da qualidade de vida dos pacientes. A pesquisa está alinhada às tendências internacionais em saúde digital, inteligência artificial multimodal e biomarcadores digitais para doenças neurodegenerativas.

Palavras-chave: Doença de Parkinson; Biomarcadores Digitais; Inteligência Artificial Multimodal; Saúde Digital

Referências:

1. C. R. Pereira, S. A. T. Weber, C. Hook, G. H. Rosa, and J. P. Papa, "Deep Learning-Aided Parkinson's Disease Diagnosis from Handwritten Dynamics," 2016 29th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI), pp. 340–346, Oct. 2016, doi: 10.1109/sibgrapi.2016.054.
2. T. F. Tropea and A. S. Chen-Plotkin, "Unlocking the mystery of biomarkers: A brief introduction, challenges and opportunities in Parkinson Disease," Parkinsonism & Related Disorders, vol. 46, pp. S15–S18, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.parkreldis.2017.07.021.
3. P. A. Kempster, "Biomarkers for the progression of Parkinson disease," Neurology, vol. 86, no. 15, pp. 1406–1406, Apr. 2016, doi: 10.1212/wnl.0000000000002473.
4. K. Tuyls, "Multiagent Learning: From Fundamentals to Foundation Models," Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 1, pp. 1–1, May 2023, doi: 10.65109/dcdr3358.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA BORDA (EDGE AI) PARA APLICAÇÕES DE INTERNET DAS COISAS

Descrição: O paradigma de Internet das Coisas (*Internet of Things* – IoT) tem sido amplamente utilizado em diversos domínios de aplicação, como indústria, agricultura e saúde, para monitoramento e controle. Os dispositivos IoT geram uma quantidade massiva de dados heterogêneos, que são usualmente analisados e processados por soluções baseadas em inteligência artificial para extrair conhecimento e dar suporte à tomada de decisão. Entretanto, a limitação de recursos desses dispositivos tem potencializado o envio dos dados gerados para centros de dados na nuvem, onde são processados. Alguns dos desafios dessa abordagem, que devem ser levados em consideração nas infraestruturas para computação de inteligência artificial, estão relacionados aos diferentes requisitos das aplicações IoT, como baixa latência e tratamento de dados sensíveis, bem como à conectividade intermitente em diversos ambientes, evidenciando questões de latência e segurança.

A computação em borda (*edge computing*) tem se destacado como um paradigma promissor para superar parte desses desafios, uma vez que os dados podem ser processados e analisados em nós localizados na borda da rede, próximos aos dispositivos IoT onde são gerados. Dessa forma, reduzem-se o volume de dados transmitidos e a carga computacional na nuvem, além de promover menor latência e maior segurança. Nesse contexto, a inferência e o treinamento de modelos de inteligência artificial podem ser realizados em diferentes níveis da infraestrutura *edge-cloud continuum*, incluindo dispositivos IoT, nós de borda e ambientes em nuvem. A aplicação de inteligência artificial em dispositivos localizados na borda da rede deu origem ao paradigma denominado *Edge AI*.

Apesar dos potenciais benefícios da *Edge AI* no contexto da Internet das Coisas, ainda existem desafios relevantes relacionados a: (i) arquiteturas para treinamento e/ou inferência distribuída de modelos de IA nas diferentes camadas do *edge-cloud continuum*, incluindo aprendizado distribuído, aprendizado federado, entre outras abordagens; (ii) gerenciamento e desempenho dos modelos de IA de acordo com os requisitos específicos das aplicações e dos dados IoT; e (iii) gerenciamento de recursos computacionais dos nós e das operações associadas ao ciclo de vida dos modelos de aprendizado de máquina em ambientes de produção, como abordagens de MLOps.

Nesse contexto, o objetivo desta linha de pesquisa é investigar e propor soluções para enfrentar esses desafios, contribuindo para a consolidação e evolução do paradigma *Edge AI* aplicado ao contexto da Internet das Coisas.

Palavras-chave: Edge AI; Internet das Coisas; Inteligência Artificial, Computação em Borda (Edge Computing); Gerenciamento de Recursos e Modelos, IoT Analytics.

Referências:

1. Raghubir Singh, Sukhpal Singh Gill, Edge AI: A survey, Internet of Things and Cyber-Physical Systems, Volume 3, 2023, Pages 71-92, ISSN 2667-3452, <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.02.004>.
2. Gill, S.S., Golec, M., Hu, J. et al. Edge AI: A Taxonomy, Systematic Review and Future Directions. Cluster Comput 28, 18 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10586-024-04686-y>
3. Nazli Tekin, Ahmet Aris, Abbas Acar, Selcuk Uluagac, Vehbi Cagri Gungor, A review of on-device machine learning for IoT: An energy perspective, Ad Hoc Networks, Volume 153, 2024, 103348, ISSN 1570-8705, <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2023.103348>.

INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL APLICADA À PROBLEMAS DA ÁREA DE SEGURANÇA PÚBLICA, PRIVADA E CIBERSEGURANÇA

Descrição: A área de segurança pública e privada no Brasil e no mundo tem enfrentado diversos problemas que envolvem aspectos relacionados à segurança física, de pessoal e à cibersegurança. A legislação vigente, bem como as políticas de segurança, tem sido atualizada no sentido de manter a conformidade; entretanto, as medidas e ações administrativas públicas e privadas muitas vezes não têm acompanhado a evolução da aplicação das novas leis e das ameaças emergentes dos novos cenários. Em muitos casos, falta capacidade para a implementação de ações corretivas. Um dos pontos críticos que se destaca consiste na necessidade de buscar novas formas e modelos para o monitoramento de pessoas, ambientes físicos e ambientes virtuais em diversas situações. A utilização massiva de novas tecnologias, com destaque para a aplicação de conceitos de inteligência artificial, área de pesquisa que tem se tornado cada vez mais necessária para a solução de diversos problemas sociais e organizacionais, apresenta-se como uma alternativa promissora. A presente área temática visa identificar problemas e propor soluções, focando em desafios nos quais o suporte de novas tecnologias possa causar impacto positivo e promover mudanças inovadoras em processos, atividades e práticas que envolvam o conceito de segurança em seus diversos aspectos.

Palavras-chave: Cibersegurança; inteligência computacional;

Referências:

1. KAVITHA, D.; THEJAS, S. AI Enabled Threat Detection: Leveraging Artificial Intelligence for Advanced Security and Cyber Threat Mitigation. IEEE Access, v. 12, p. 173127–173136, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3493957.
2. PHILLIPS, S. et al. Automated Knowledge-Based Cybersecurity Risk Assessment of Cyber-Physical Systems. IEEE Access, 2024. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3404264.
3. YIN, X. et al. A Novel Transformer Model Enhanced by Scaled-CNN and Bi-LSTM Hybrid Networks for Real-time Threat Identification within SCADA Systems. IEEE Access, 2025. DOI: 10.1109/ACCESS.2025.3633662

4. BUCCAFURRI, F.; DE ANGELIS, V.; IDONE, M. F. et al. Secure Electronic Monitoring of Sex Offenders. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, v. 10, p. 463–475, 2024. DOI: 10.1007/s40860-024-00227-x.
5. ELÇI, F.; DOKUR, E.; YÜZGEÇ, U.; KURBAN, M. A Data-Driven Forecasting Model for Active Offenders on Electronic Monitoring Systems in Türkiye. *Electrica*, v. 24, n. 1, p. 154–162, 2024. DOI: 10.5152/electrica.2024.23103.
6. HAWKES, A. L.; SELBOM, M.; GILMOUR, F. E. Under Surveillance: Does Global Positioning System Monitoring of Offenders Reduce Recidivism? *Criminology & Criminal Justice*, v. 24, n. 4, p. 862–881, 2024. DOI: 10.1177/17488958231188414.
7. ALMEIDA, L. B. Os desafios da utilização do Sistema Eletrônico de Execução Unificado (SEEU) como forma de aplicação da Lei de Execução Penal. Dissertação (Mestrado Profissional em Planejamento e Políticas Públicas) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2023.
8. FÓRUM BRASILEIRO DE SEGURANÇA PÚBLICA (FBSP). Anuário Brasileiro de Segurança Pública 2025. São Paulo: FBSP, 2025.

MECANISMOS DE TOMADA DE DECISÃO EM SISTEMAS AUTÔNOMOS INTELIGENTES

Descrição: Sistemas inteligentes com uso de IoT são cada vez mais frequentes na indústria. A próxima fase da revolução industrial será composta por sistemas em que dispositivos dotados de algoritmos inteligentes precisarão tomar decisões de forma autônoma. Isso implica o desenvolvimento de novos modelos de processamento de informação, sistemas de comunicação e uso de inteligência na borda que se adaptem às contínuas mudanças do domínio do conhecimento [1]. Para isso, a computação em nuvem (Cloud Computing) poderá ser uma infraestrutura importante para o tratamento de aplicações de *Big Data Analytics [2]. A “Autonomia das Coisas” (Autonomy of Things – A-IoT) requer a solução de lacunas tecnológicas em diversos domínios que permitirão, no futuro, a criação de Sistemas Autônomos Inteligentes (Intelligent Autonomous Systems – IAS) [3], com otimização de desempenho [4] em contextos de aprendizado federado (*Federated Learning) [3,6]. Outro aspecto a ser considerado é a questão da privacidade e da segurança dos dados na borda da rede. Estudos recentes indicam a possibilidade do gerenciamento de dispositivos em ambientes híbridos de Big Data [3], nos quais as aplicações de análise de dados devem ser implementadas com o humano no ciclo decisório (Human-in-the-Loop – HiTL) [5]. A adoção dessas tecnologias viabiliza o desenvolvimento de aplicações em áreas como veículos autônomos, controle de tráfego aéreo urbano, aeronaves autônomas de mobilidade aérea avançada, robôs hospitalares, gerenciamento de redes de comunicação 5G/6G, assistentes inteligentes (helpers), entre outras.

Palavras-chave: IAS, Big Data, Deep Learning, Machine Learning. IoT, Otimização de Algoritmos

Referências:

1. Bayram, Firas, Ahmed, Bestoun S., Kassler, Andreas: From concept drift to model degradation: An overview on performance-aware drift detectors, Knowledge-Based Systems 245, 108632, 2022.
2. Rosendo, Daniel, Costan, Alexandru, Valduriez, Patrick, Antoniu, Gabriel: Distributed intelligence on the Edge-to-Cloud Continuum: A systematic literature review, Journal of Parallel and Distributed Computing 166, 71–94, Apr 2022.
3. dos Anjos, Julio C. S., Matteussi, Kassiano J., Orlandi, Fernanda C., Barbosa, Jorge L. V., Silva, Jorge Sá, Bittencourt, Luiz F., Geyer, Cláudio F. R.: A Survey on Collaborative Learning for Intelligent Autonomous Systems, ACM Comput. Surv. 1(1), ACM, 1–36, 9 2023.

4. Valente Neto, Ernesto G., Peixoto, Solon A., Leithardt, Valderi R. Q., De Paz, Juan F., Dos Anjos, Julio C. S.: Adding Data Quality to Federated Learning Performance Improvement, IEEE Access, IEEE Computer Society, 1–26, June 2025.
5. Fernandes, J., Raposo, D., Armando, N., Sinche, S., Silva, J. Sá, Rodrigues, A., Pereira, V., Oliveira, H. Gonçalo, Macedo, Luís, Boavida, F.: ISABELA – A Socially-Aware Human-in-the-Loop Advisor System, Online Social Networks and Media 16, Elsevier Publishers B. V., 100060, March 2020.
6. Orlandi, Fernanda C., Anjos, Julio C. S. dos, Santana, Juan F. de P., Leithardt, Valderi R. Q., Geyer, Claudio F. R.: Entropy to mitigate non-IID data problem on Federated Learning for the Edge Intelligence environment, IEEE Access 11, IEEE Computer Society, 78845–78857, July 2023.

MÉTODOS ANALÍTICOS E COMPUTACIONAIS EM ENGENHARIA BASEADOS NA FUNÇÃO LAMBERT–TSALLIS

Descrição: O foco principal do trabalho será desenvolver uma análise algébrica e computacional para obtenção de soluções de problemas aplicados à engenharia por meio da função Lambert–Tsallis. Do ponto de vista metodológico, o estudante deverá estudar a definição da função Lambert–Tsallis, sua relação com trinômios generalizados, suas múltiplas soluções no plano complexo e sua implementação computacional. A pesquisa poderá incluir a análise de estabilidade de sistemas de ordem fracionária, modelos algébricos oriundos de problemas de controle, funções de transferência, resposta em frequência, impedâncias generalizadas e fenômenos descritos por relações não lineares com estrutura trinomial. A proposta é compatível com a área de Sinais e Sistemas, mantendo também interface com Eletromagnetismo Aplicado sempre que os modelos envolverem propagação, ressonância, impedância, modos ou estruturas algébricas associadas a leis de potência.

Palavras-chave: Função de Lambert-Tsallis; teoria de controle; sistemas fracionários

Referências:

1. I. R. Sousa, K. Z. Nóbrega e G. A. Barreto — “An Analytical Approach to the Stability Conditions of a New Class of Fractional-Order Control Systems by the Lambert-Tsallis Function”, IEEE Access, v. 12, p. 175006–175018, 2024.
2. C. G. B. de Freitas, K. Z. Nóbrega e R. V. Ramos — “Função de Lambert–Tsallis”
3. G. B. da Silva e R. V. Ramos — “The Lambert–Tsallis W_q function”, Physica A, 2019.

MODELAGEM PROGNÓSTICA DA RETINOPATIA DIABÉTICA PARA MEDICINA DE PRECISÃO

Descrição: Esta linha de pesquisa tem como objetivo desenvolver modelos computacionais baseados em Gêmeos Digitais (*Digital Twins*) para simulação, monitoramento e previsão da progressão da Retinopatia Diabética. Diferentemente das abordagens tradicionais focadas exclusivamente na classificação de imagens, a proposta busca construir representações digitais individualizadas dos pacientes, integrando informações oftalmológicas, metabólicas, clínicas e comportamentais para prever a evolução da doença e apoiar decisões terapêuticas personalizadas. Serão investigadas arquiteturas de inteligência artificial capazes de modelar a dinâmica temporal da progressão da retinopatia, incorporando informações provenientes de imagens retinianas, exames laboratoriais, histórico clínico, fatores de risco cardiovasculares e dados longitudinais. A pesquisa explorará técnicas de aprendizado temporal, modelagem causal, inferência probabilística e sistemas de suporte à decisão para a construção de gêmeos digitais capazes de simular cenários futuros e estimar riscos individualizados de perda visual, edema macular diabético e progressão para formas proliferativas da doença. A proposta visa contribuir para a transição da oftalmologia baseada em diagnóstico reativo para um paradigma preditivo, preventivo e personalizado, alinhado aos conceitos emergentes da Saúde Digital 5.0 e da Medicina de Precisão.

Palavras-chave: Retinopatia Diabética, Medicina de Precisão, Inteligência Artificial Preditiva

Referências:

1. VUJOSEVIC, S.; ALBERTI, M.; MURACA, A.; et al. Novel Artificial Intelligence for Diabetic Retinopathy: Current Applications and Future Perspectives. *Current Opinion in Ophthalmology*, v. 35, n. 6, 2024. DOI: 10.1097/ICU.0000000000001100.
2. YANG, Q.; LI, J.; ZHOU, Y.; et al. Use of Artificial Intelligence With Retinal Imaging in Screening and Prediction of Diabetes-Related Systemic Diseases: A Review. *eClinicalMedicine*, 2025.
3. STRAUSS, I.; et al. Biomarkers of Preclinical Diabetic Retinopathy Detected by Optical Coherence Tomography Angiography: A Literature Review. *Life*, v. 16, n. 3, 2026. DOI: 10.3390/life16030496.

4. MORANO, J.; FAZEKAS, B.; SÜKEI, E.; et al. Multimodal foundation model and benchmark for comprehensive retinal OCT image analysis. npj Digital Medicine, v. 8, n. 1, p. 576, 2025.

MODELAGEM TENSORIAL PARA PROCESSAMENTO DE SINAIS E IMAGENS

Descrição: À medida que a quantidade de dados trafegados por redes de comunicação aumenta, a demanda por poder de processamento cresce de forma significativa. Nesse contexto, o desenvolvimento de novas técnicas de processamento de sinais (dados) torna-se fundamental. Tensores são ferramentas matemáticas que, quando aplicadas ao processamento de sinais, permitem explorar de forma eficiente dados tipicamente multidimensionais, dependentes de parâmetros como tempo, frequência, espaço, canal, entre outros. De forma geral, um tensor pode ser visto como uma generalização de matrizes (linhas e colunas) para um número maior de dimensões. Nos últimos anos, tensores e suas decomposições têm ganhado destaque em aplicações de *big data*, compressão e modelagem de dados estruturados, além de se tornarem particularmente relevantes em comunicações sem fio de próxima geração (5G/6G). Em especial, modelos tensoriais têm sido explorados em sistemas MIMO massivos assistidos por superfícies inteligentes reconfiguráveis (RIS) e em sistemas ISAC (*Integrated Sensing and Communication*), permitindo modelar de forma natural a estrutura multidimensional dos sinais recebidos (tempo, frequência, antenas, elementos da RIS e usuários) e viabilizando algoritmos eficientes de estimação de canal, localização, sensoriamento e detecção. Além das comunicações sem fio, tensores são amplamente utilizados no processamento de imagens, em *machine learning* e *deep learning* (por exemplo, para compressão de redes neurais e representação de dados de alta dimensão) e em sinais biomédicos, como EEG e ECG, incluindo aplicações de fusão EEG-fMRI, nas quais a natureza multidimensional dos dados é intrínseca. Este tema abrange propostas que explorem algoritmos, estruturas de dados e aplicações nas quais os tensores se mostrem uma ferramenta eficaz. Dentre os focos de investigação em modelos tensoriais, destacam-se, sem se limitar a: aplicações em processamento de sinais para sistemas de comunicação sem fio, com ênfase em RIS e ISAC; aplicações em processamento de sinais para imagens; aplicações em *machine learning* e *deep learning* (modelagem, compressão e regularização de modelos); aplicações em processamento de sinais biomédicos (EEG, ECG e dados multimodais); estudo e proposição de novas estruturas tensoriais e modelos de decomposição; desenvolvimento de novos algoritmos de decomposição e extração eficientes; e utilização de modelos tensoriais em diferentes domínios científicos e industriais, como telecomunicações, saúde e Indústria 4.0, entre outros.

Palavras-chave: Processamento tensorial de sinais; decomposição tensorial; RIS; ISAC; sistemas de comunicação sem fio; processamento de imagens; sinais biomédicos; machine learning; deep learning.

Referências:

1. T. G. Kolda, B. W. Bader, "Tensor Decompositions and Applications," SIAM Review, vol. 51, no. 3, pp. 455–500, 2009.
2. K. Naskovska, "Advanced Tensor Based Signal Processing Techniques for Wireless Communication Systems and Biomedical Signal Processing".
3. P. Comon, X. Luciani e A. L. F. de Almeida, "Tensor decompositions, alternating least squares and other tales," Journal of Chemometrics, vol. 23, n. 7–8, pp. 393–405, 2009.
4. A. Cichocki, "Era of Big Data Processing: A New Approach via Tensor Networks and Tensor Decompositions," CoRR, abs/1403.2048, 2014.
5. M. Wang et al., "Tensor Networks Meet Neural Networks: A Survey and Future Perspectives".
6. Y. Panagakis, J. Kossaifi, G. G. Chrysos, J. Oldfield, M. A. Nicolaou, A. Anandkumar, and S. Zafeiriou, "Tensor methods in computer vision and deep learning," Proceedings of the IEEE, vol. 109, no. 5, pp. 863–890, 2021.
7. R. Borsoi, K. Usevich, and M. Clausel, "Low-rank tensor decompositions for the theory of neural networks," arXiv preprint arXiv:2508.18408, 2025.

PLANEJAMENTO DE CAMINHO E PREVENÇÃO DE COLISÃO DE ROBÔS AUTÔNOMOS

Descrição: No contexto de uma sociedade em que a presença de veículos ou máquinas com autonomia de navegação em ambientes não estruturados seja pervasiva, a necessidade de estratégias e técnicas inteligentes voltadas à proposição de trajetórias seguras e eficientes constitui um requisito fundamental. Métodos clássicos, como campos de potenciais artificiais [1], mapas de rotas probabilísticos [2] e planejamento de caminho topológico [4], dependem de informações completas do ambiente, o que nem sempre está disponível. Além disso, essas técnicas frequentemente apresentam o problema de convergência para mínimos locais, limitando seu emprego em soluções reais de navegação. Esses elementos apontam para a necessidade de novos métodos que não sofram com mínimos locais e que operem a partir de uma percepção incremental do cenário circundante, permitindo uma navegação flexível e adaptável em ambientes dinâmicos. O interesse desta área temática está na proposição de novos métodos de navegação para robôs móveis ou manipuladores industriais, baseados em técnicas de planejamento de caminhos e prevenção de colisões capazes de gerar rotas que atendam a requisitos de segurança e eficiência. De particular interesse para a pesquisa proposta estão as técnicas baseadas em aprendizado de máquina e/ou aprendizado profundo (*deep learning*) [4].

Palavras-chave: Navegação autônoma, planejamento de caminho, prevenção de colisões, aprendizado de máquinas

Referências:

1. Khatib, O. "The potential field approach and operational space formulation in robot control". In: Adaptive and Learning Systems: Theory and Applications. Boston, MA: Springer, 1986. p. 367–377.
2. Kavraki, L. et al. "Probabilistic roadmaps for path planning in high-dimensional configuration spaces". IEEE Transactions on Robotics and Automation, v. 12, n. 4, p. 566–580, 1996.
3. Batista, J. G. et al. Collision avoidance for a selective compliance assembly robot arm manipulator using topological path planning. Applied Sciences, v. 13, n. 21, 2023.

4. R. Singh, J. Ren and X. Lin, "A Review of Deep Reinforcement Learning Algorithms for Mobile Robot Path Planning", *Vehicles*, 2023, 5(4), 1423-1451, DOI: 10.3390/vehicles5040078

PREDIÇÃO CONFORME PARA APRENDIZADO DE MÁQUINAS

Descrição: Em cenários do uso de modelos de aprendizado de máquinas, a escolha dos modelos de classificação ou predição em geral são definidos levando em conta vários aspectos da aplicação objeto de interesse, limitando os aspectos de predição aos dados em uso e suas características, já que dados diferentes podem ter características (*features*) que não se adequam àquelas inicialmente consideradas para o desenho inicial. A predição conforme (CP, do inglês) é uma técnica estatística utilizada para produzir conjuntos de dados de predição, resultados da aplicação de algum modelo de predição, que não assume qualquer modelo ou estrutura específica sobre o algoritmo de predição. Assim, de uma forma geral, predição conforme, também conhecida como inferência conforme, é um método que, considerando uma noção heurística de incerteza, para qualquer modelo de predição é capaz de gerar um modelo de incerteza rigoroso que seja: (i) agnóstico ao modelo; (ii) agnóstico ao modelo de distribuição dos dados; e (iii) válido para número finito de amostras. A nossa ideia neste projeto é utilizar a predição conforme para a redução da complexidade de desenho de métodos de predição e suas implementações (classificadores, regressores, filtros etc.) e para a quantificação da incerteza nos processos, tipicamente renegada nos cenários de aprendizado de máquina. De nosso especial interesse estão os cenários de processamento distribuído e a capacidade de gerar modelos locais simples e permitir uma generalização global da medida de incerteza e/ou, ainda, a transferência de aprendizado, ao menos de forma parcial, de um nó/agente para outro.

Palavras-chave: Predição conforme, aprendizado de máquinas, processamento estatístico de sinais.

Referências:

1. G. Shafer and V. Vovk, “A Tutorial on Conformal Prediction,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 9, no. 12, pp. 371–421, 2008.
2. A. N. Angelopoulos and S. Bates, “Conformal Prediction: A Gentle Introduction,” *Foundations and Trends in Machine Learning*, vol. 16, no. 4, pp. 494–591, 2023.
3. R. F. Barber, E. J. Candès, A. Ramdas, and R. J. Tibshirani, “Predictive inference with the jackknife+,” *The Annals of Statistics*, vol. 49, no. 1, pp. 486–507, 2021.

4. V. Vovk, J. Shen, V. Manokhin, and M. ge Xie, "Nonparametric predictive distributions based on conformal prediction," *Machine Learning*, vol. 108, pp. 445–474, 2019.
5. R. F. Barber, E. J. Candès, A. Ramdas, and R. J. Tibshirani, "Conformal prediction beyond exchangeability," *The Annals of Statistics*, vol. 51, no. 2, pp. 816–845, 2023.

PROCESSAMENTO DE NUVENS DE PONTOS, CENAS TRIDIMENSIONAIS E SUAS APLICAÇÕES

Descrição: O processamento e o uso de informação espacial a partir de representações tridimensionais têm encontrado relevante espaço de aplicação na sociedade contemporânea, e áreas do conhecimento como arquitetura de interiores [1] e domótica [2] podem se beneficiar grandemente dos avanços científicos na renderização de cenários. Escolhas convencionais para essa representação incluem malhas e nuvens de pontos, sendo adequadas para uso em *hardware* típico de unidades de processamento gráfico (GPU) e suas interfaces de programação. Desde as soluções iniciais, que incluíam *Structure-from-Motion* (SfM) [3] na geração de nuvens de pontos, mas sofriam com a existência de descontinuidades espaciais na superfície sob análise, passando pelas estratégias mais recentes baseadas em campos de radiância neurais [4], avanços significativos têm sido obtidos na qualidade das cenas geradas. Entretanto, limitações associadas aos tempos de treinamento e de renderização permanecem como desafios. De fato, enquanto a natureza contínua desses métodos contribui para aspectos de otimização, a amostragem estocástica que caracteriza a renderização é computacionalmente exigente e, além disso, pode acarretar o aparecimento de ruído. Nesse contexto, foi recentemente apresentada à comunidade científica uma técnica de representação de cenas que utiliza primitivas gaussianas tridimensionais para uma nuvem de pontos gerada por SfM, adicionando incerteza espacial às coordenadas tridimensionais e conferindo um caráter visual de “esguicho” a cada ponto que compõe a nuvem [5]. Após uma etapa de otimização dos parâmetros de posição, opacidade, covariância anisotrópica e coeficientes harmônicos esféricos da representação gaussiana, ocorre a renderização propriamente dita, que faz uso de algoritmos rápidos de ordenação em GPU e é inspirada em rasterização por blocos. São de interesse desta área temática proposições de pesquisa que envolvam algoritmos para geração de cenas tridimensionais baseados em representação probabilística de superfícies, nuvens de pontos, voxels e estruturas correlatas, com particular preferência por soluções baseadas em arquiteturas de redes neurais de processamento leve. Dentre os potenciais focos de investigação incluem-se: (i) abordagens para extração de atributos de regiões de nuvens de pontos que possam ser utilizados como referência ou como etapa de pré-processamento por algoritmos de registro e/ou renderização de cenas; (ii) proposição de estruturas de dados, bem como novas formas de representação da informação tridimensional, que ofereçam suporte especializado a algoritmos de registro de nuvens de pontos 3D e/ou renderização de cenas; (iii) desenvolvimento de aplicações de classificação que utilizem novas formas de representação da informação tridimensional de cenas; e (iv)

proposição de técnicas de representação e processamento de nuvens de pontos assistidas por aprendizagem profunda para diversas aplicações.

Palavras-chave: Processamento de imagens 3D; reconstrução 3D de objetos e cenas; aprendizagem profunda em dados de nuvens de pontos; campo de radiância neural; renderização de cenas; registro de nuvens de pontos 3D

Referências:

1. Liang Xiang, Junjie Hou, Jianfeng Wang, Lulu Liu, Construction of a Distributed 3D Interior Design System Based on Artificial Intelligence Algorithms, Procedia Computer Science, Volume 243, 2024.
2. Dapoto, S. et al. (2021). 3D-Domotic: A 3D Mobile Application for Domotic Control. Communications in Computer and Information Science, vol 1444. Springer, Cham.
3. Noah Snavely, Steven M Seitz, and Richard Szeliski. 2006. Photo tourism: exploring photo collections in 3D. In Proc. SIGGRAPH.
4. Fridovich-Keil and Yu, Matthew Tancik, Qinhong Chen, Benjamin Recht, and Angjoo Kanazawa. 2022. Plenoxels: Radiance Fields without Neural Networks. In CVPR.
5. Bernhard Kerbl, Georgios Kopanas, Thomas Leimkuehler, and George Drettakis. 2023. 3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering. ACM Trans. Graph. 42, 4.

PROCESSAMENTO DE SINAIS E APRENDIZADO DE MÁQUINAS PARA DETECÇÃO DE ANOMALIAS E DE PONTOS DE MUDANÇAS

Descrição: A grande interconexão de informações em sistemas modernos de monitoramento, recomendação e controle traz um volume de dados sem precedentes. Esse volume de dados em grande escala, denominado **big data**, traz desafios consideráveis para seu tratamento tanto em modo **offline** quanto, especialmente, em tempo real. Em cenários de alta dimensionalidade, devido à heterogeneidade dos processos adquiridos, a caracterização dos dados ganha enorme dificuldade na representação da geometria de suas distribuições e de suas inter-relações, necessitando de uma modelagem por meio de variedades curvas, o que dificulta sobremaneira a busca de soluções por estratégias clássicas que consideram o espaço euclidiano. A detecção de pontos de mudança (CPD, do inglês **Change-Point Detection**) é um problema fundamental em estatística e aprendizado de máquinas, com foco na identificação de mudanças abruptas nas propriedades dos dados ao longo do tempo. Essas mudanças, comumente chamadas de pontos de mudança, indicam transições na distribuição subjacente ou na dinâmica de um sistema, as quais podem surgir devido a eventos externos ou alterações estruturais internas. O objetivo da CPD é, então, determinar quando essas mudanças ocorrem e, em alguns casos, caracterizar a natureza dessas transições. Neste projeto, iremos considerar soluções baseadas em geometria da informação para o desenvolvimento de métodos fundamentados em geometria não euclidiana, de modo a aproveitar a geometria dos dados, e na modelagem de sinais em grafos para levar em consideração suas características dinâmicas. Busca-se, assim, propor soluções que permitam tratar os aspectos temporais e espaciais, tanto de suas características estatísticas quanto topológicas, buscando alternativas capazes de extrair as características mais relevantes dos dados para fornecer soluções em intervalos temporais adequados a sistemas adaptativos.

Palavras-chave: Detecção de ponto de mudança, variedades estatísticas, processamento estatístico de sinais, processamento de sinais em grafos.

Referências:

1. Charles Truong, Laurent Oudre, Nicolas Vayatis, “Selective review of offline change point detection methods”. Signal Processing, Volume 167, 2020.

2. André Ferrari, Cédric Richard, Anthony Bourrier, Ikram Bouchikhi, "Online change-point detection with kernels", Pattern Recognition, Volume 133, 2023.
3. X. Wang, R. A. Borsoi, C. Richard and J. Chen, "Change Point Detection with Neural Online Density-Ratio Estimator," ICASSP 2023.
4. X. Wang, R. A. Borsoi, and C. Richard, "Non-Parametric Online Change Point Detection on Riemannian Manifolds," in Proc. ICML, 2024.
5. A. Ortega, P. Frossard, J. Kovacevic, J. M. F. Moura, and P. Vandergheynst, "Graph Signal Processing: Overview, Challenges, and Applications," Proc. of the IEEE, vol. 106, no. 5, pp. 808–828, 2018.

PROCESSAMENTO, DETECÇÃO, ANÁLISE E QUANTIFICAÇÃO DE DOENÇAS CARDÍACAS A PARTIR DE IMAGENS DE TC CARDÍACA E ANGIOTOMOGRAFIA DE CORONÁRIAS PARA AUXÍLIO AO DIAGNÓSTICO MÉDICO

Descrição: Conforme relatório de 2024 da Organização Mundial da Saúde, as doenças cardiovasculares permanecem como a principal causa de morte no mundo, respondendo por cerca de 17,9 milhões de óbitos anuais. No ranking, destacam-se: doença isquêmica do coração (1º lugar), responsável por aproximadamente 13% de todas as mortes globais, e acidente vascular cerebral (3º lugar), ambos fortemente associados à doença aterosclerótica. Os exames de imagem desempenham um papel importante no diagnóstico e tratamento de doenças cardíacas; a detecção precoce é uma das estratégias para reduzir a mortalidade desses tipos de doenças. Diversos trabalhos recentes têm sido publicados concluindo que técnicas automatizadas de visão computacional e/ou inteligência artificial (como modelos de *deep learning*), além de outros sistemas computacionais, podem ser aplicadas, a partir desses exames de imagem, como ferramentas de auxílio médico, por meio de sistemas que realizam a detecção e a segmentação das estruturas cardíacas e das artérias coronárias, além da quantificação de placas ateroscleróticas, estenoses coronarianas e escore de cálcio. Nesse sentido, as imagens de Tomografia Computadorizada (TC) cardíaca, em especial a angiotomografia de coronárias (angio-TC), destacam-se na avaliação de doenças cardíacas pelo nível de detalhes oferecido aos especialistas, além da possibilidade de reconstrução tridimensional dos exames e da utilização de metadados intrínsecos vinculados ao padrão DICOM, no qual tais imagens são armazenadas. Assim, a TC cardíaca contém informações fundamentais para um diagnóstico precoce e eficiente, exemplificado pela doença arterial coronariana e pela quantificação do cálcio coronariano (escore de Agatston).

Palavras-chave: Tomografia computadorizada; Doenças cardiovasculares; Doença arterial coronariana; Escore de cálcio; Detecção automática; Segmentação; Deep learning.

Referências:

1. SHRIVASTAVA, P.; KASHIKAR, S.; PARIHAR, P. H.; KASAT, P.; BHANGALE, P.; SHRIVASTAVA, P. A systematic review on deep learning-enabled coronary CT angiography for plaque and stenosis quantification and cardiac risk prediction. *European Journal of Radiology Open*, v. 14, p. 100652, 2025.
2. FÖLLMER, B.; TSOGIAS, S.; BIAVATI, F. et al. Automated segment-level coronary artery calcium scoring on non-contrast CT: a multi-task deep-learning approach. *Insights into Imaging* 15, 250 (2024).
3. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). The top 10 causes of death. 7 ago. 2024.
4. NARULA, J.; STUCKEY, T. D.; NAKAZAWA, G. et al. Prospective deep learning-based quantitative assessment of coronary plaque by computed tomography angiography compared with intravascular ultrasound: the REVEALPLAQUE study. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*, v. 25, n. 9, 2024.
5. IHDAYHID, A. R.; SEHLY, A.; HE, A. et al. Coronary artery stenosis and high-risk plaque assessed with an unsupervised fully automated deep learning technique. *JACC: Advances*, v. 3, n. 9, 100861, 2024.

SENSORIAMENTO E LOCALIZAÇÃO NA PRÓXIMA GERAÇÃO DE COMUNICAÇÕES SEM FIO

Descrição: Os arrays de sensores são utilizados em diversas aplicações em uma ampla gama de disciplinas. Alguns cenários em comunicação e sensoriamento para o 6G incluem formação de feixe (*beamforming*), filtragem espacial e estimativa de alta resolução da direção de chegada (*Direction of Arrival* – DoA). A introdução de frequências mais altas, como as bandas de ondas milimétricas (*millimeter-wave* – mmWave) e terahertz (THz), apresenta um comportamento de propagação distinto, tornando os canais móveis mais esparsos. Por um lado, essas frequências mais elevadas permitem obter maior largura de banda e instalar um número massivo de antenas tanto na estação-base (*Base Station* – BS) quanto nos equipamentos do usuário (*User Equipment* – UE). Isso nos leva a enfrentar diferentes problemas em aberto relacionados à formação de feixe eficiente e inteligente para minimizar a interferência e aumentar a capacidade da rede móvel, à filtragem espacial, bem como à estimação e ao rastreamento dos parâmetros do canal.

Palavras-chave: Estimativa de parâmetros, formação de feixe no 6G, bandas de ondas milimétricas (mm-wave) e terahertz (THz), sensoriamento comprimido e rastreamento baseado em Kalman, estimativa de DoA, Integrando sensoriamento e comunicações.

Referências:

1. Theodore S. Rappaport, “Wireless Communications and Applications Above 100 GHz: Opportunities and Challenges for 6G and Beyond” IEEE Access (Volume: 7) 2019.
2. Zhe Wang, “A Tutorial on Extremely Large-Scale MIMO for 6G: Fundamentals, Signal Processing, and Applications”, IEEE Communications Surveys & Tutorials (Volume: 26, Issue: 3, 2024).
3. Thorsten Wild, “Joint Design of Communication and Sensing for Beyond 5G and 6G Systems ” IEEE Access (Volume: 9), 2021.
4. Zhiqing Wei, “Integrated Sensing and Communication Signals Toward 5G-A and 6G: A Survey”, IEEE Internet of Things Journal (Volume: 10, Issue: 13, 01 July 2023).
5. ZHILING TANG, “The Estimation Method of Sensing Parameters Based on OTFS,” IEEE Access (Volume: 11) 2023.

SEPARAÇÃO DE FONTES DE ÁUDIO EM MONITORAMENTO AMBIENTAL ECOACÚSTICO

Descrição: O estudo de métodos de monitoramento ambiental ecoacústico, sejam voltados a estudos do clima, da biodiversidade ou da poluição sonora, encontra múltiplas dificuldades devido à ampla variedade de agentes acústicos, sejam eles geofônicos (p. ex., chuva e vento), antropofônicos (p. ex., voz e música), tecnofônicos (p. ex., motores), biofônicos (p. ex., cigarras, grilos e anfíbios), entre outros. As misturas de fontes de áudio são extremamente diversas, ricas e complexas, tornando sua separação (p. ex., para fins de filtragem e remoção de ruído) e classificação (p. ex., para identificação de espécies ou de eventos climáticos) tarefas desafiadoras. Soma-se a isso a escassez de organizações dedicadas à manutenção, curadoria e disseminação de *datasets* de áudio padronizados para diferentes áreas de aplicação. Este projeto visa estudar a aplicação de técnicas de separação de fontes de áudio e análise quantitativa por meio da aplicação e do estudo de índices ecoacústicos aplicados à filtragem e classificação de áudio utilizando técnicas de aprendizado de máquina. Entre as potenciais aplicações estão a análise de áudio de chuva, para a qual há um amplo *dataset* disponível, e o estudo de separação de fontes em outras áreas, utilizando *datasets* disponíveis publicamente na Internet.

Palavras-chave: Separação de fonte, ecoacústica, aprendizado de máquina

Referências:

1. Farina, A. "Ecoacoustics: A Quantitative Approach to Investigate the Ecological Role of Environmental Sounds", 2019.
<https://doi.org/10.3390/math7010021>
2. Bedoya, C.; Isaza, C.; et al. "Automatic identification of rainfall in acoustic recordings", 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.018>
3. Xavier, R. S.; Gosset, M.; et al, "Measuring Amazon Rainfall Intensity with Sound Recorders". <http://dx.doi.org/10.1029/2024GL108210>
4. Araki, S.; Ito, N.; et al. "30+ Years of Source Separation Research: Achievements and Future Challenges",
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.11837>

TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE SINAIS E APRENDIZADO DE MÁQUINA NA ANÁLISE DE DOENÇAS NA VOZ

Descrição: Disfonia resulta de distúrbios da voz e é caracterizada por alterações perceptivas na qualidade vocal, tom, intensidade ou esforço vocal. Em torno de 3% a 9% da população mundial possui algum tipo de patologia vocal ou apresenta sintomas em diferentes graus. Doenças ou alterações na voz afetam a comunicação, a qualidade de vida e o desempenho profissional das pessoas. Diversos fatores podem causar disfonias, como lesões em órgãos relacionados à produção vocal, poluição do ar, tabagismo, hábitos alimentares inadequados e estresse. Especialmente para aqueles que utilizam a voz profissionalmente por longos períodos, como professores, cantores e outros profissionais da voz, a incidência de doenças vocais é mais elevada. Clinicamente, a localização de lesões laringeas é geralmente determinada por meio de endoscopia laríngea. Esse método clínico de detecção de doenças da voz depende consideravelmente da experiência clínica e do julgamento subjetivo dos médicos, além de apresentar custo relativamente elevado. Nesse contexto, algoritmos computacionais para extração de características a partir dos sinais de áudio dos pacientes surgem como uma alternativa objetiva, não invasiva, de baixo custo e escalável, permitindo a realização de triagens remotas e o apoio à decisão clínica.

Palavras-chave: Voice pathology detection, Machine Learning, audio signal processing, Deep learning

Referências:

1. Xiaoping Xie, Hao Cai, Can Li, Yu Wu, Fei Ding, A Voice Disease Detection Method Based on MFCCs and Shallow CNN, Journal of Voice, 2026.
2. Idrisoglu A, Dallora A, Anderberg P, Berglund J Applied Machine Learning Techniques to Diagnose Voice-Affecting Conditions and Disorders: Systematic Literature Review, J Med Internet Res, 2023.
3. Mujeeb Ur Rehman, Arslan Shafique, Qurat-UI-Ain Azhar, Sajjad Shaukat Jamal, Youcef Gheraibia, Aminu Bello Usman, Voice disorder detection using machine learning algorithms: An application in speech and language pathology, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2024.

4. Chen, Z., Zhu, P., Qiu, W., Guo, J., & Li, Y. (2023) Deep learning in automatic detection of dysphonia: Comparing acoustic features and developing a generalizable framework. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 58, 279–294.