

Universidade de Pernambuco

Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Computação (PPGEC)

Proposta de Tese de Doutorado

Área: Computação Inteligente

Título: Otimização de Representações Latentes em Grafos Vasculares Retinianos para Identificação de Doenças Sistêmicas

Orientador: Carmelo José Albanez Bastos Filho (carmelo.filho@upe.br)

Coorientador: Hitalo Oliveira da Silva (hitalo.silva@belojardim.ifpe.edu.br)

Descrição:

Devido à possibilidade de observar, de forma não invasiva, alterações microvasculares associadas a fatores de risco cardiovascular, hipertensão arterial, diabetes e outros desfechos clínicos, a retina torna viável o uso da sua microvasculatura como um recurso auxiliar na investigação de doenças oftalmológicas e sistêmicas [1][2][3]. Estudos recentes indicam que propriedades morfológicas e estruturais extraídas de imagens de fundo de olho, como densidade vascular, calibre, tortuosidade, padrão de bifurcações, dimensão fractal e organização da rede vascular, podem atuar como biomarcadores quantitativos relevantes para caracterização do estado vascular sistêmico [2][4][5].

Apesar dos avanços em Visão Computacional e Deep Learning (DL) para segmentação vascular, predição de risco e classificação de doenças a partir de retinografias, muitas abordagens ainda operam majoritariamente no domínio da imagem ou em métricas globais de desempenho, sem explorar de forma explícita a estrutura relacional da árvore vascular [1][4]. Essa limitação é particularmente importante porque vasos, bifurcações, terminações e conexões formam uma rede anatômica complexa, na qual pequenas alterações de conectividade, ramificação ou organização topológica podem carregar informação clínica que não é totalmente capturada por descritores baseados apenas em pixels ou por representações latentes pouco interpretáveis [5][6].

Nesse contexto, a modelagem da vasculatura retiniana como grafo permite representar segmentos vasculares como arestas e pontos anatômicos relevantes, como bifurcações e endpoints, como nós de uma estrutura formal passível de análise quantitativa [5][6]. A Ciência das Redes oferece métricas para caracterizar conectividade, centralidade, densidade, caminhos, modularidade e complexidade estrutural, enquanto redes neurais em grafos e técnicas de aprendizado de representações permitem aprender embeddings capazes de integrar atributos geométricos, topológicos e morfológicos da rede vascular [6][7][8]. Trabalhos recentes em diagnóstico retiniano já demonstram o potencial de representações latentes baseadas em grafos e arquiteturas híbridas CNN-GCN para capturar relações entre amostras, lesões e estruturas visuais relevantes [9][10].

Este projeto de doutorado propõe investigar métodos para otimização de representações latentes em grafos vasculares retinianos voltadas à identificação de doenças sistêmicas. A proposta parte de grafos vasculares obtidos a partir de imagens de fundo de olho previamente segmentadas e convertidas em estruturas ponderadas, enriquecidas com atributos anatômicos, geométricos e topológicos. A partir desses grafos, serão avaliadas estratégias de aprendizado supervisionado, auto-supervisionado e contrastivo para aprender embeddings capazes de preservar a conectividade vascular, a geometria dos vasos, a organização das bifurcações e padrões globais de complexidade da rede.

O objetivo central da pesquisa é compreender como fatores associados à geração das representações latentes (incluindo dimensionalidade dos embeddings, atributos dos nós e arestas, normalização, funções de perda e arquiteturas de aprendizado em grafos) influenciam a qualidade, estabilidade, interpretabilidade e utilidade clínica dessas representações em tarefas de identificação, estratificação de risco ou apoio computacional à análise de doenças sistêmicas. Busca-se avaliar em que medida métricas clássicas da Ciência das Redes podem complementar embeddings aprendidos por modelos de DL, produzindo representações mais robustas, explicáveis e clinicamente informativas. A ideia é oferecer bases para uma estrutura computacional que direcione a criação e o aprimoramento de representações latentes de grafos da vasculatura retiniana, promovendo análises mais sólidas, interpretáveis e clinicamente significativas de doenças relacionadas ao sistema vascular.

Referências Bibliográficas:

- [1] Ryan Poplin, Avinash V. Varadarajan, Katy Blumer, Yun Liu, Michael V. McConnell, Greg S. Corrado, Lily Peng, and Dale R. Webster. Prediction of cardiovascular risk factors from retinal fundus photographs via deep learning. *Nature Biomedical Engineering*, 2:158-164, 2018.
- [2] Seyedeh Maryam Zekavat, Vineet K. Raghu, Mark Trinder, Yixuan Ye, Satoshi Koyama, Michael C. Honigberg, Zhi Yu, Akhil Pampana, Sarah Urbut, Sara Haidermota, Declan P. O'Regan, Hongyu Zhao, Patrick T. Ellinor, Ayellet V. Segre, Tobias Elze, Janey L. Wiggs, James Martone, Ron A. Adelman, Nazlee Zebardast, Lucian Del Priore, Jay C. Wang, and Pradeep Natarajan. Deep Learning of the Retina Enables Phenome- and Genome-Wide Analyses of the Microvasculature. *Circulation*, 145(2):134-150, 2022.
- [3] Zhuoting Zhu, Yifan Chen, Wei Wang, Yueye Wang, Wenyi Hu, Xian-wen Shang, Huan Liao, Danli Shi, Yu Huang, Jason Ha, Zachary Tan, Katerina V. Kiburg, Xueli Zhang, Shulin Tang, Honghua Yu, Xiaohong Yang, and Mingguang He. Association of Retinal Age Gap With Arterial Stiffness and Incident Cardiovascular Disease. *Stroke*, 53(11):3320-3328, November 2022.
- [4] Yukun Zhou, Siegfried K. Wagner, Mark A. Chia, An Zhao, Peter Woodward-Court, Moucheng Xu, Robbert Struyven, and Pearse A. Keane. AutoMorph: Automated Retinal Vascular Morphology Quantification Via a Deep Learning Pipeline. *Translational Vision Science & Technology*, 11(7):12, 2022.
- [5] Hitalo Silva, Diego Silva, Carmelo Bastos-Filho, Alexandre Rosa, Rafael Albuquerque, Arlington Rodrigues, Luigi Tahara, Luiz Roisman, and Samuel Moscovitch. A Hybrid Framework for Quantifying and Analyzing the Structural Properties of Human Retinal Vessel Networks. In Mariana Macedo, Alessio Cardillo, Wellington Franco, Angelo Brayner, and Ronaldo Menezes, editors, *Complex Networks XVI*, pages 41-53, Cham, 2025. Springer Nature Switzerland.
- [6] Albert-László Barabási. *Network Science*. Cambridge University Press, 2016. Disponível em: <<http://networksciencebook.com/>>.
- [7] Thomas N. Kipf and Max Welling. Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks. In *International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2017.
- [8] William L. Hamilton. *Graph Representation Learning*. Morgan & Claypool Publishers, 2020.
- [9] Mei Yang, Xiaoxin Guo, Bo Feng, Hongliang Dong, Xiaoying Hu, and Songtian Che. A Self-supervised CNN-GCN hybrid network based on latent graph representation for retinal disease diagnosis. *Computers & Electrical Engineering*, 118:109447, 2024.
- [10] Peng Zhang, Yuan Li, Haotian Song, Yankai Jiang, Yubo Tao, Hai Lin, and Hongguang Cui. SIGraph: Saliency Image-Graph Network for Retinal Disease Classification in Fundus Image. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 39(10):10049-10057, 2025.