

Integração de Mamografia, Ultrassom e Inteligência Artificial no Auxílio Diagnóstico do Câncer de Mama

Larissa C. Cardoso¹, Gabriel F. Cyrino², Izak Pinheiro¹, Marco Aurélio Prudencio Silva³

¹Centro Universitário do Triângulo
Uberlândia, MG, Brazil

²Universidade Federal de Uberlândia
Uberlândia, MG, Brazil

³Faculdade Anhanguera Uberlândia
Uberlândia, MG, Brazil

larissacamposcardoso@gmail.com, gabrielcyrino@ufu.br

Resumo. *A detecção precoce do câncer de mama é essencial para reduzir a mortalidade, mas métodos tradicionais como mamografia e ultrassom possuem limitações, como baixa sensibilidade em mamas densas e dependência da experiência do operador. Nesse contexto, a Inteligência Artificial surge como uma solução inovadora, permitindo análises mais precisas de imagens médicas, integração de múltiplas fontes de dados e criação de modelos preditivos, aumentando significativamente a taxa de detecção. O artigo propõe uma abordagem multimodal que combina mamografia, ultrassom, IA e Gêmeos Digitais para melhorar a precisão diagnóstica, otimizar processos clínicos e personalizar o tratamento do câncer de mama.*

1. Introdução

A detecção precoce do câncer de mama é crucial para a redução da mortalidade e a melhoria dos resultados do tratamento. No entanto, os métodos de rastreamento convencionais, como a mamografia e o ultrassom, apresentam limitações inerentes. A mamografia, embora seja a principal ferramenta de rastreamento, possui sensibilidade reduzida em mamas densas, resultando em uma taxa de falsos negativos que pode variar entre 15% e 30% [Rodriguez-Ruiz et al. 2019].

2. Fundamentação Teórica

2.1. IA em Mamografia

Algoritmos de deep learning, particularmente as Redes Neurais Convolucionais (CNNs), têm demonstrado grande potencial na análise de imagens mamográficas. Essas redes são treinadas em vastos bancos de dados públicos, como o Digital Database for Screening Mammography (DDSM) e o Wisconsin Diagnostic Breast Cancer (WDBC), para identificar padrões sutis, como microcalcificações e massas, com uma acurácia que pode ser comparável ou até superior à de radiologistas experientes. A capacidade da IA de processar grandes volumes de dados e aprender características complexas permite uma classificação mais precisa entre lesões benignas e malignas, auxiliando na redução de falsos positivos e negativos.

2.2. Gêmeos Digitais em Oncologia Mamária

Os Gêmeos Digitais (DTs) representam uma inovação transformadora na oncologia mamária. São réplicas virtuais dinâmicas de tumores ou pacientes, construídas a partir de uma integração abrangente de dados clínicos, genômicos e de imagem. Essa abordagem permite simulações e previsões altamente personalizadas:

- **DT de Componente (CDT):** Os CDTs são modelos virtuais de tumores individuais. Eles permitem a simulação *in silico* da resposta a diferentes quimioterápicos, possibilitando que os médicos testem virtualmente a eficácia de tratamentos antes de aplicá-los ao paciente real.
- **DT Humano (HDT):** Os HDTs integram um conjunto ainda mais amplo de informações, incluindo histórico médico completo, biomarcadores e imagens detalhadas, para prever a progressão da doença e a resposta individual a terapias. A plataforma FarrSight®-Twin, por exemplo, é um exemplo notável de HDT que replica virtualmente ensaios clínicos, prevendo a eficácia terapêutica com uma precisão de 75%.

3. Metodologia

A metodologia proposta para apoio ao diagnóstico por imagem baseia-se em um fluxo de trabalho estruturado em cinco etapas principais, conforme ilustrado na Figura 1. A seguir, descreve-se cada uma dessas etapas:

3.1. Aquisição de Imagens

Nesta etapa inicial, são coletadas imagens médicas por meio de mamografia digital e ultrassom automatizado. Os exames são realizados conforme protocolos clínicos padronizados, garantindo a qualidade e a uniformidade dos dados obtidos.

3.2. Pré-processamento

As imagens adquiridas passam por um processo de pré-tratamento com o objetivo de melhorar sua qualidade e facilitar as etapas subsequentes. As técnicas aplicadas incluem:

- **Redução de ruído:** uso de filtros adaptativos para atenuar ruídos sem comprometer a nitidez das bordas;
- **Normalização:** padronização da escala de intensidade de pixels;
- **Realce de contraste:** aplicação de transformações para melhorar a visibilidade das estruturas relevantes.

3.3. Extração de Características

Nesta fase, realiza-se a análise morfométrica das lesões com a finalidade de extrair características discriminantes. São computados atributos como textura, forma, contorno, área e densidade.

3.4. Classificação por Inteligência Artificial

Utilizam-se modelos híbridos de inteligência artificial para classificar as lesões quanto à probabilidade de malignidade. Dentre os métodos empregados, destacam-se redes CNN's, máquinas de vetores de suporte (SVM) e classificadores combinados. Os modelos são treinados e validados com base em um conjunto de dados WDBC, que inclui medidas como raio, textura, perímetro, área, suavidade, concavidade, entre outras.

3.5. Resultado Diagnóstico

A última etapa consiste na geração de um resultado diagnóstico baseado na saída dos modelos de IA, considerando acurácia, precisão, recall e F1-score. Para a análise dos resultados foi utilizado, Regressão Logística, Random Forest e redes neurais (MLP). Essa avaliação apresenta a probabilidade do tumor ser maléfico, fornecendo suporte à decisão clínica.



Figura 1. Fluxo metodológico para diagnóstico auxiliado por inteligência artificial com imagens de mamografia e ultrassom.

3.6. Gêmeo Digital do Tumor

A criação de um Gêmeo Digital do Tumor (CDT) será um passo futuro fundamental para a personalização do tratamento. Este processo envolverá:

- **Modelagem Individualizada:** Um CDT é construído para cada paciente, incorporando dados específicos como densidade mamária, perfil genético do tumor, histórico clínico e características histopatológicas.
- **Simulação e Predição:** Utilizando algoritmos de física médica e modelos computacionais avançados, o CDT simula o crescimento tumoral e a resposta a diferentes regimes de tratamento. Essa simulação *in silico* permite prever a eficácia de cada tratamento.

3.7. Ferramentas e Tecnologias

A implementação dessa abordagem multimodal fez uso de ferramentas e tecnologias específicas:

3.7.1. Streamlit

Para facilitar a interação entre os profissionais de saúde e os sistemas de IA, interfaces interativas são desenvolvidas utilizando frameworks como Streamlit. Essas interfaces permitem o upload de imagens médicas, a visualização em tempo real dos resultados da análise da IA.

3.7.2. SHAP/LIME

A explicabilidade da Inteligência Artificial (XAI) é crucial em aplicações médicas. Ferramentas como SHAP (SHapley Additive exPlanations) e LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) são empregadas para explicar as decisões dos modelos de IA. Elas destacam as regiões nas imagens que mais contribuíram para a classificação da IA, aumentando a confiança dos médicos nos resultados e fornecendo insights valiosos para o diagnóstico [Lauritzen et al. 2024].

3.7.3. Plataformas de DT

A integração de gêmeos digitais com sistemas de informação em saúde existentes é essencial para a atualização contínua dos dados clínicos. Plataformas como SAP Health facilitam essa integração, permitindo que os DTs sejam alimentados com informações em tempo real sobre o estado do paciente, a progressão da doença e a resposta ao tratamento. Isso garante que os gêmeos digitais permaneçam dinâmicos e relevantes ao longo do tempo [?].

4. Resultados e Aplicações Práticas

4.1. Melhoria na Precisão Diagnóstica

4.1.1. Redução de Erros

A aplicação da IA no rastreamento mamográfico tem levado a uma significativa redução de erros diagnósticos. Um estudo alemão de larga escala, que analisou 461.818 mamografias, revelou um aumento de 17,6% na taxa de detecção de câncer de mama quando a IA foi utilizada como ferramenta de apoio aos radiologistas [Eisemann et al. 2025].

4.2. Personalização com Gêmeos Digitais

Os gêmeos digitais representam um avanço notável na medicina personalizada, permitindo simulações e monitoramento individualizados que antes eram impensáveis. Tendo isso em foco, se faz possível uma replicação em tempo real da mama, unindo-se com a leitura de dados realizada pela IA, assim conseguindo auxiliar o profissional a chegar no melhor tratamento para cada indivíduo, e minimizando efeitos tratamentais adversos. [Katsoulakis et al. 2024].

4.2.1. Simulação de Tratamentos

No Royal Marsden NHS Foundation Trust, no Reino Unido, a aplicação de gêmeos digitais tem revolucionado a forma como os tratamentos oncológicos são planejados. Os DTs replicaram virtualmente ensaios clínicos, prevendo as respostas dos pacientes a diferentes terapias com uma taxa de acerto de 75% [Pastorino et al. 2024].

5. Conclusão e Perspectivas Futuras

A integração sinérgica da mamografia, ultrassom, inteligência artificial e gêmeos digitais representa um marco transformador no manejo do câncer de mama. Enquanto a IA otimiza a detecção precoce e a caracterização de lesões com uma precisão sem precedentes,

os gêmeos digitais abrem caminho para terapias hiperpersonalizadas, adaptadas às características genéticas e fenotípicas de cada paciente. Essa abordagem não apenas promete reduzir significativamente os custos associados a tratamentos ineficazes, mas, também, melhora substancialmente os prognósticos e a qualidade de vida das pacientes, prometendo um futuro onde o diagnóstico precoce e o tratamento personalizado se tornem a norma no combate ao câncer de mama.

Referências

- Eisemann, N., Bunk, S., Mukama, T., Baltus, H., Elsner, S. A., Gomille, T., Hecht, G., Heywang-Köbrunner, S., Rathmann, R., Siegmann-Luz, K., Töllner, T., Vomweg, T. W., Leibig, C., and Katalinic, A. (2025). Nationwide real-world implementation of AI for cancer detection in population-based mammography screening. *Nature Medicine*, 31(3):917–924. Publisher: Springer Science and Business Media LLC.
- Katsoulakis, E., Wang, Q., Wu, H., Shahriyari, L., Fletcher, R., Liu, J., Achenie, L., Liu, H., Jackson, P., Xiao, Y., Syeda-Mahmood, T., Tuli, R., and Deng, J. (2024). Digital twins for health: a scoping review. *npj Digital Medicine*, 7(1). Publisher: Springer Science and Business Media LLC.
- Lauritzen, A. D., Lillholm, M., Lynge, E., Nielsen, M., Karssemeijer, N., and Vejborg, I. (2024). Early Indicators of the Impact of Using AI in Mammography Screening for Breast Cancer. *Radiology*, 311(3). Publisher: Radiological Society of North America (RSNA).
- Pastorino, U., Sabia, F., Valsecchi, C., Rolli, L., Ledda, R., Balbi, M., and Marchianò, A. (2024). 124P Automated measurement of coronary artery calcifications predicts survival in resected stage I lung cancer. *ESMO Open*, 9:102703. Publisher: Elsevier BV.
- Rodriguez-Ruiz, A., Lång, K., Gubern-Merida, A., Broeders, M., Gennaro, G., Clauser, P., Helbich, T. H., Chevalier, M., Tan, T., Mertelmeier, T., Wallis, M. G., Andersson, I., Zackrisson, S., Mann, R. M., and Sechopoulos, I. (2019). Stand-Alone Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Mammography: Comparison With 101 Radiologists. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 111(9):916–922. Publisher: Oxford University Press (OUP).