

Medicina de precisão no câncer de mama: avanços diagnósticos e terapêuticos com aplicabilidade no sistema único de saúde (SUS)

Suelen Cristina Teixeira Farias; Programa de Pós-Graduação em Imunologia Básica e Aplicada da Universidade Federal do Amazonas (PPGIBA-UFAM), suelenctfarias@gmail.com;

Brendha Victoria de Oliveira Venâncio; Acadêmica de Biomedicina da Faculdade Estácio do Amazonas (ESTÁCIO);

Bruno Eduardo Feitosa do Nascimento; Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Amazonas (PPGBIOTEC-UFAM);

Lucas da Silva Oliveira, Programa de Pós-Graduação em Imunologia Básica e Aplicada da Universidade Federal do Amazonas (PPGIBA-UFAM);

Jerusa Araujo Quintão Arantes Faria, Docente do Programa de Pós-Graduação em Imunologia Básica e Aplicada da Universidade Federal do Amazonas (PPGIBA-UFAM);

Adriana Malheiro Alle Marie; Docente do Programa de Pós-Graduação em Imunologia Básica e Aplicada da Universidade Federal do Amazonas (PPGIBA-UFAM).

1. Introdução

O câncer de mama é a neoplasia maligna mais prevalente entre mulheres no Brasil, representando um grave problema de saúde pública. O Instituto Nacional de Câncer (INCA) estima 73.610 novos casos em cada ano do triênio 2023–2025, correspondendo a uma taxa ajustada de 41,9 por 100 mil mulheres¹. Apesar de avanços garantidos pela Lei nº 11.664/2008(2) e pela Política Nacional de Prevenção e Controle do Câncer (Lei nº 14.758/2023)³, persistem barreiras para diagnóstico precoce, estratificação prognóstica e acesso a terapias modernas, sobretudo em regiões de menor infraestrutura.

Em dezembro de 2024, o Ministério da Saúde atualizou o Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas (PCDT), incorporando procedimentos como cirurgias oncoplásticas, reconstrução mamária imediata e terapias sistêmicas específicas⁴. Além disso, a Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no Sistema Único de Saúde (CONITEC) recomendou a incorporação de olaparibe para tratamento de manutenção em pacientes com carcinoma de ovário avançado com mutações germinativas em *BRCA1/BRCA2*, alinhando diagnóstico molecular e terapêutica personalizada⁵. Embora a decisão se refira inicialmente ao câncer de ovário, essa incorporação representa um marco para a medicina personalizada em oncologia no SUS, pois estabelece precedente regulatório para a inclusão de terapias-alvo também no câncer de mama hereditário, uma vez que o mecanismo de ação do olaparibe se aplica a tumores BRCA-mutados de diferentes sítios.

Paralelamente, cresce a discussão sobre a incorporação de ferramentas digitais que auxiliem no rastreamento e no diagnóstico precoce do câncer de mama. Aplicativos móveis voltados à educação em saúde e ao acompanhamento de sinais suspeitos têm sido testados em populações de difícil acesso, enquanto algoritmos de inteligência artificial aplicados à mamografia já demonstraram desempenho comparável ao de radiologistas em estudos internacionais⁶. Essas inovações podem otimizar a triagem, ampliar a cobertura do rastreamento em áreas remotas e reduzir a sobrecarga de profissionais, configurando alternativas viáveis para integração ao Sistema Único de Saúde (SUS) em médio prazo.

Esses avanços reforçam a importância da integração de tecnologias inovadoras ao SUS. Assim, a proposta desse trabalho consistiu na realização de uma revisão integrativa acerca das novas tecnologias e inovações diagnósticas e/ou terapêuticas aplicadas ao câncer de mama em países em desenvolvimento ou no contexto do SUS.

2. Material e Métodos

Trata-se de uma revisão integrativa conduzida conforme o método de Whitemore & Knafl⁷. A estratégia de busca foi estruturada em blocos de descritores, combinando termos

relacionados a câncer de mama, diagnóstico precoce, inteligência artificial, terapias inovadoras, SUS e países em desenvolvimento, como representado (“breast cancer” OR “breast neoplasms” OR “câncer de mama”) AND (“early diagnosis” OR “diagnostic imaging” OR “mammography” OR “screening” OR “diagnóstico precoce” OR “rastreamento”) AND (“artificial intelligence” OR “machine learning” OR “deep learning” OR “novel methods” OR “technology” OR “inteligência artificial” OR “inovação tecnológica”) AND (“therapy” OR “targeted therapy” OR “precision medicine” OR “tratamento” OR “terapia alvo” OR “medicina personalizada”) AND (“Brazil” OR “Unified Health System” OR “Sistema Único de Saúde” OR “public health system” OR “developing countries”).

A busca foi realizada nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Web of Science, LILACS e BVS, considerando as produções publicadas no período de janeiro de 2015 a julho de 2025, tanto em língua inglesa quanto língua portuguesa.

Os estudos incluídos corresponderam a artigos originais e revisões de literatura disponíveis nas bases de dados previamente definidas e acessíveis à pesquisa livremente ou mediante conta institucional. Como critério de exclusão, foram excluídos artigos de opinião, editoriais, livros, teses e dissertações, anais de eventos científicos e artigos originais exclusivamente pré-clínicos sem perspectiva de aplicação em até cinco anos, relatos de caso isolados sem relevância metodológica e trabalhos duplicatas entre bases de dados.

A seleção de estudos incluídos foi realizada sistematicamente pela análise de títulos e dos resumos, conforme quantidade de artigos/ano. Os dados foram extraídos em planilha padronizada, contendo título, autores, ano, periódico, tecnologia estudada e aplicabilidade. A análise foi realizada em Python (pandas, matplotlib), incluindo remoção de duplicatas, distribuição temporal e síntese qualitativa das inovações identificadas.

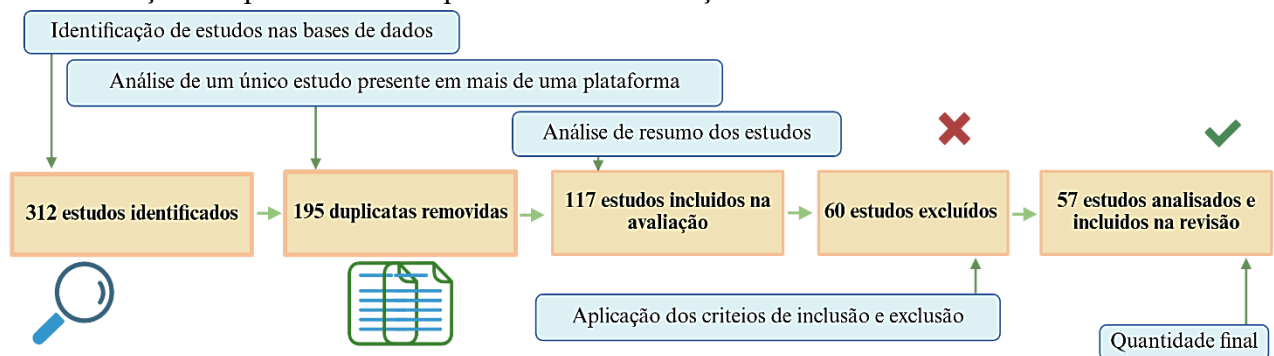


Figura 1 - Fluxograma da estratégia de busca e seleção dos artigos.
Fonte: Criado no Biorender.

3. Resultados e Discussão

A análise temporal da produção científica recuperada está apresentada no Gráfico 1. O qual destaca o recorte metodológico adotado, evidenciando crescimento progressivo da produção a partir de 2015, com pico em 2024 (25 artigos; 21,3% do total). Esse comportamento reflete a consolidação de estudos em inteligência artificial aplicada ao rastreamento mamográfico e o fortalecimento de programas nacionais de genômica, como o Genomas Brasil.

O ano de 2024 correspondeu ao pico de publicações, com 25 artigos (21,3%), período associado ao fortalecimento de pesquisas em inteligência artificial aplicada à imagem médica, com estudos demonstrando desempenho comparável ou superior ao de radiologistas na detecção de câncer de mama^{6,8}. Paralelamente, programas nacionais de genômica avançaram no país, como o Genomas Brasil, lançado pelo Ministério da Saúde⁹, e publicações recentes em revistas de alto impacto confirmaram a identificação de milhões de variantes inéditas na população brasileira, com relevância direta para o desenvolvimento de estratégias de medicina de precisão¹⁰.

Quanto à distribuição por bases de dados, a PubMed/MEDLINE concentrou 59 artigos (50,4%), a LILACS e a BVS contribuíram com 20 artigos cada (17,1%) e a Web of Science recuperou 18 artigos (15,4%). Do total, aproximadamente um terço das publicações teve participação de grupos de pesquisa brasileiros, especialmente vinculados a universidades federais e institutos de referência em oncologia e genética, como INCA, USP, UFG e UFAM. Essa presença recorrente demonstra a consolidação de redes nacionais de investigação no tema, algumas das quais aparecem em mais de uma publicação, indicando continuidade e maturidade das linhas de pesquisa.

Entre os periódicos mais recorrentes, destacam-se títulos internacionais de alto impacto, como Journal of Clinical Oncology, The Lancet Digital Health, The Oncologist, Frontiers in Oncology e European Radiology, que concentraram parte significativa dos estudos analisados. Essa distribuição reforça tanto a inserção da produção brasileira no cenário científico global quanto a relevância de periódicos regionais indexados em LILACS e BVS para difusão de conhecimento aplicado ao SUS.

No campo do diagnóstico molecular, estudos nacionais confirmam a prevalência significativa de variantes patogênicas em *BRCA1*, *BRCA2* e *TP53* em pacientes com critérios de risco atendidas pelo SUS, alcançando 15,9% nas coortes avaliadas ¹¹. Entre essas variantes, destaca-se a mutação fundadora *TP53* p.Arg337His, exclusiva da população brasileira, cuja recorrência sustenta sua inclusão em painéis genéticos nacionais ^{11,12}. A detecção de mutações germinativas tem impacto direto na estratificação prognóstica, definição de protocolos de seguimento, escolha de terapias-alvo e, sobretudo, na testagem em cascata de familiares em risco, ampliando o alcance da prevenção em saúde pública.

Nesse contexto, destacam-se os inibidores de PARP (Poly-ADP-Ribose Polymerase), classe de fármacos que bloqueia o reparo de quebras simples no DNA. Em tumores associados à mutações em *BRCA1/BRCA2*, já deficientes na recombinação homóloga, essa inibição promove letalidade sintética, resultando em morte seletiva das células tumorais⁵. Dessa forma, a identificação de variantes germinativas não apenas permite testagem em consanguíneos ampliando o impacto em saúde pública, mas também orienta diretamente a adoção de terapias-alvo já incorporadas ao SUS pela CONITEC, como o olaparibe, em 2024 ^{5,13}.

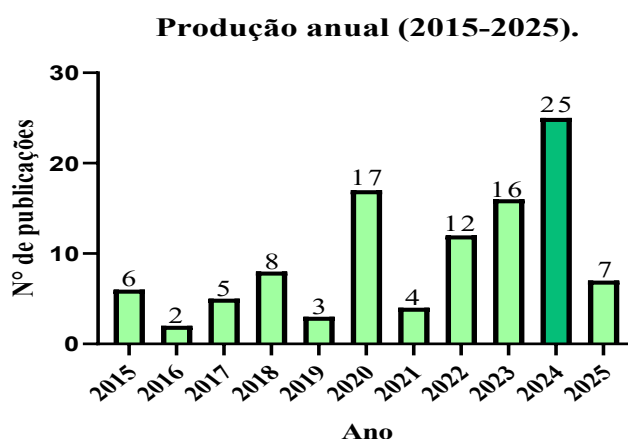


Figura 2 - Gráfico expressando o quantitativo de produções científicas anuais observadas pelo desenho de busca na literatura estabelecidos no presente trabalho.
Fonte: Criado no GraphPad Prism 8.0

Para sintetizar os principais achados do presente estudo, a Tabela 1 elenca os artigos de destaque os quais descrevem as novas inovações e tecnologia voltadas ao diagnóstico e no tratamento com ênfase em sua aplicabilidade no SUS.

Tabela 1. Principais artigos selecionados e destaque de suas contribuições para o SUS.

Autor/Ano	Revista	Base de dados	Inovação/Tecnologia estudada	Principais achados	Potencial aplicação no SUS
Nunes et al., 2025 (10)	<i>Science</i>	PubMed/WoS	Projeto DNA do Brasil (genômica)	Identificação de >8 milhões de variantes inéditas na população brasileira	Desenvolvimento de painéis nacionais de NGS, melhorando diagnóstico e prognóstico
Gomes et al., 2020 (12)	<i>Clinics</i>	PubMed	Prevalência de BRCA1/BRCA2 no SUS	15,9% de variantes patogênicas em coortes nacionais	Indicação de testagem germinativa em protocolos do SUS
Oliveira et al., 2022 (14)	<i>Rev Bras Ginecol Obstet</i>	LILACS	Programa Goiás Todo Rosa	Integração de mamografia digital, aconselhamento genético e Linha Rosa	Modelo replicável de atenção integral no SUS
Robson et al., 2017 (16)	<i>N Engl J Med</i>	PubMed	Inibidores de PARP (olaparibe)	Benefício em pacientes com mutações BRCA germinativas	Terapia já incorporada pela CONITEC ao SUS em 2024

Nesse cenário, iniciativas como o BIPMed¹⁴ e o projeto “DNA do Brasil”, publicado na *Science* em 2025, têm contribuído significativamente para reduzir variantes de significado incerto (VUS) ao revelar mais de 8 milhões de variantes genéticas inéditas na população brasileira, muitas delas de potencial impacto na saúde¹⁰.

No âmbito regional, destaca-se a iniciativa “Goiás Todo Rosa” regulamentado pela Lei Estadual nº 20.707/2020, o qual foi pioneiro em integrar o aconselhamento genético e testes *BRCA1/BRCA2* no SUS, em parceria com a Universidade Federal de Goiás (UFG)¹⁵. O programa expandiu a rede de mamografia digital em unidades móveis, capacitou equipes da atenção primária e estruturou a chamada “Linha Rosa”, garantindo fluxo integral de cuidado oncológico¹⁶. Essa experiência comprova a viabilidade de modelos regionais replicáveis que associam rastreamento, diagnóstico molecular, aconselhamento genético e tele saúde.

Na esfera terapêutica, a atualização do PCDT (2024)⁴ e os pareceres da CONITEC⁵ consolidaram a incorporação de terapias alvo-moleculares, como o olaparibe, que demonstrou benefício clínico em pacientes com mutações BRCA germinativas¹⁷. Em paralelo, diretrizes da Sociedade Brasileira de Radioterapia (SBRT) validam a radioterapia hipofracionada, considerada eficaz, segura e custo-efetiva, com impacto direto na redução de filas de espera de pacientes e otimização do uso dos recursos¹⁸. Além disso, a padronização de protocolos cirúrgicos oncoplásticos e de reconstrução mamária no SUS contribui para reduzir desigualdades regionais e melhorar a qualidade de vida das pacientes.

4. Conclusões

Coletivamente, os resultados desta revisão sugerem que as tecnologias de maior aplicabilidade imediata ao SUS são aquelas de baixo custo e escalabilidade, como os testes genéticos com aconselhamento, a radioterapia hipofracionada e a padronização cirúrgica. Já inovações que requerem aplicações e estabelecimento em um médio prazo, como os painéis genômicos nacionais e a integração de programas regionais a iniciativas como o Genomas Brasil, representam estratégias essenciais para consolidar a medicina personalizada no Brasil, alinhando-se à realidade orçamentária e às diretrizes de equidade do sistema público.

Palavras-Chave: Câncer de mama; Sistema Único de Saúde; Diagnóstico precoce; Inteligência artificial; Terapias inovadoras.

Divulgação

O (s) autor (es) e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, o Congresso Pan-Amazônico de Oncologia detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação deste resumo, por meio eletrônico.

Referências

1. Brasil. Instituto Nacional de Câncer (INCA). Estimativa 2023: incidência de câncer no Brasil. Rio de Janeiro: INCA; 2022. 160 p. 2023; 1–160.

2. Brasil. Lei nº 11.664, de 29 de abril de 2008. Dispõe sobre a efetivação de ações de saúde que assegurem a prevenção, a detecção, o tratamento e o seguimento dos cânceres do colo uterino e de mama, no âmbito do Sistema Único de Saúde – SUS. Diário Oficial da União. 2008 abr 30., https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/lei/11664.htm (2008).
3. Brasil. Ministério da Saúde. Portaria nº 874, de 16 de maio de 2013. Institui a Política Nacional para a Prevenção e Controle do Câncer na Rede de Atenção à Saúde das Pessoas com Doenças Crônicas no SUS. Diário Oficial da União. 2013 maio 17, https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2013/prt0874_16_05_2013.html (2013).
4. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção Especializada à Saúde; Secretaria de Ciência, Tecnologia, Inovação e do Complexo Econômico-Industrial da Saúde. Portaria Conjunta SAES/SECTICS nº 17, de 25 de novembro de 2024. Aprova o Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas do Câncer de Mama. Diário Oficial da União. 2024 nov 25, <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/pcdt>, (2024).
5. Brasil. Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no SUS (CONITEC). Relatório de Recomendação nº 914: Olaparibe para tratamento de manutenção do câncer de ovário avançado com mutação BRCA. Brasília: Ministério da Saúde; 2024 jul., <https://www.gov.br/conitec/pt-br> (2024).
6. Rodriguez-Ruiz A, Lång K, Gubern-Merida A, et al. Stand-Alone Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Mammography: Comparison With 101 Radiologists. *J Natl Cancer Inst* 2019; 111: 916–922.
7. Whitemore R, Knafl K. The integrative review: updated methodology. *J Adv Nurs* 2005; 52: 546–553.
8. Dembrower K, Crippa A, Colón E, et al. Artificial intelligence for breast cancer detection in screening mammography in Sweden: a prospective, population-based, paired-reader, non-inferiority study. *Lancet Digit Health* 2023; 5: e703–e711.
9. Ministério da Saúde Gabinete do Ministro PORTARIA Nº 1.949, DE 4 DE AGOSTO DE 2020 Altera a Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para instituir o Programa Nacional de Genômica e Saúde de Precisão-Genomas Brasil e o Conselho Deliberativo do Programa Genomas Brasil.
10. Nunes K, Araújo Castro e Silva M, Rodrigues MR, et al. Admixture's impact on Brazilian population evolution and health. *Science* (1979); 388. Epub ahead of print 15 May 2025. DOI: 10.1126/science.adl3564.
11. Matta BP, Gomes R, Mattos D, et al. Familial history and prevalence of BRCA1, BRCA2 and TP53 pathogenic variants in HBOC Brazilian patients from a public healthcare service. *Sci Rep* 2022; 12: 18629.
12. Alemar B, Gregório C, Herzog J, et al. BRCA1 and BRCA2 mutational profile and prevalence in hereditary breast and ovarian cancer (HBOC) probands from Southern Brazil: Are international testing criteria appropriate for this specific population? *PLoS One* 2017; 12: e0187630.
13. Robson M, Im S-A, Senkus E, et al. Olaparib for Metastatic Breast Cancer in Patients with a Germline BRCA Mutation. *New England Journal of Medicine* 2017; 377: 523–533.
14. Rocha CS, Secolin R, Rodrigues MR, et al. The Brazilian Initiative on Precision Medicine (BIPMed): fostering genomic data-sharing of underrepresented populations. *NPJ Genom Med* 2020; 5: 42.
15. Goiás. Lei nº 20.707, de 14 de janeiro de 2020. Dispõe sobre a realização do exame de detecção de mutação genética dos genes BRCA1 e BRCA2 em mulheres com histórico familiar de câncer de mama ou de ovário. Diário Oficial do Estado de Goiás. 2020 jan 15.
16. Goiás. Secretaria de Estado da Saúde. Projeto Goiás Todo Rosa. Goiânia: SES-GO; <https://goias.gov.br/saude/goias-todo-rosa/> (2024, accessed 26 August 2025).
17. Robson ME, Im S-A, Senkus E, et al. OlympiAD extended follow-up for overall survival and safety: Olaparib versus chemotherapy treatment of physician's choice in patients with a germline BRCA mutation and HER2-negative metastatic breast cancer. *Eur J Cancer* 2023; 184: 39–47.
18. de Siqueira GSM, Hanna SA, de Moura LF, et al. Moderately hypofractionated radiation therapy for breast cancer: A Brazilian cohort study. *Lancet regional health Americas* 2022; 14: 100323.