

## NANOTECNOLOGIA NO DIAGNÓSTICO E NO TRATAMENTO DO CÂNCER DE MAMA

**Resumo:** O câncer é uma doença caracterizada pelo crescimento descontrolado de células anormais no corpo, sendo o câncer de mama o mais prevalente entre as mulheres. Considerando a relevância do diagnóstico precoce para um tratamento efetivo, bem como as limitações de ambos, tornou-se necessária a busca por metodologias inovadoras, e nesse contexto, destaca-se a nanotecnologia. Com o objetivo de compreender como a nanotecnologia pode aprimorar os métodos de diagnóstico e tratamento do câncer de mama, foi realizada uma revisão integrativa da literatura, entre 2012 e 2023 nos bancos de dados PubMed, Lilacs e SciELO, utilizando uma combinação de descritores. Os resultados indicaram que nanopartículas possuem diferentes mecanismos de ação e podem apresentar resultados favoráveis em relação ao tratamento da doença, de acordo com sua estrutura química. Conclui-se, portanto, que determinadas nanopartículas apresentam funcionalidades que potencializam os efeitos de fármacos antineoplásicos com redução de efeitos colaterais e surgem como uma nova abordagem para tratamentos contra o câncer.

Descritores: Tratamento, Nanotecnologia, Diagnóstico, Câncer.

### Nanotechnology in the diagnosis and treatment of breast cancer

**Abstract:** Cancer is a disease characterized by the uncontrolled growth of abnormal cells in the body, breast cancer being the most prevalent among women. Considering the importance of early diagnosis for effective treatment, as well as the limitations of both, it has become necessary to search for innovative methodologies and, in this context, nanotechnology stands out. In order to understand how nanotechnology can improve breast cancer diagnosis and treatment methods, a cancer, an integrative literature review was carried out between 2012 to 2023 in the PubMed, Lilacs and SciELO databases, using a combination of descriptors. The results indicated that nanoparticles have different mechanisms of action and can present favorable results in relation to the treatment of the disease, according to their chemical structure. It can therefore be concluded that certain nanoparticles have functionalities that potentiate the effects of antineoplastic drugs with reduced side effects and are emerging as a new approach to cancer treatments.

Descriptors: Treatment, Nanotechnology, Diagnosis, Cancer.

### Nanotecnología en el diagnóstico y tratamiento del cáncer de mama

**Resumen:** El cáncer es una enfermedad caracterizada por el crecimiento incontrolado de células anormales en el organismo, siendo el cáncer de mama el más prevalente entre las mujeres. Teniendo en cuenta la importancia del diagnóstico precoz para un tratamiento eficaz, así como las limitaciones de ambos, se ha hecho necesaria la búsqueda de metodologías innovadoras y, en este contexto, destaca la nanotecnología. Para entender cómo la nanotecnología puede mejorar los métodos de diagnóstico y tratamiento del cáncer de mama, se realizó una revisión bibliográfica integradora entre 2012 y 2023 en las bases de datos PubMed, Lilacs y SciELO, utilizando una combinación de descriptores. Los resultados indicaron que las nanopartículas tienen diferentes mecanismos de acción y pueden presentar resultados favorables en relación con el tratamiento de la enfermedad, dependiendo de su estructura química. Se puede concluir, por tanto, que ciertas nanopartículas poseen funcionalidades que potencian los efectos de los fármacos antineoplásicos con efectos secundarios reducidos y se perfilan como un nuevo enfoque para el tratamiento del cáncer.

Descriptores: Tratamiento, Nanotecnología, Diagnóstico, Câncer.

#### Isabella Teles de Faria

Acadêmica da Escola de Medicina da  
Faculdade Dinâmica do Vale do Piranga.  
E-mail: [bellafar@gmail.com](mailto:bellafar@gmail.com)

#### Fernanda Lamounier Andriola Damasceno

Acadêmica da Escola de Medicina da  
Faculdade Dinâmica do Vale do Piranga.  
E-mail: [fernandaandrioladamasceno@gmail.com](mailto:fernandaandrioladamasceno@gmail.com)

#### Camila Teixeira Dutra Jordão

Acadêmica da Escola de Medicina da  
Faculdade Dinâmica do Vale do Piranga.  
E-mail: [camilateixeirajordao@hotmail.com](mailto:camilateixeirajordao@hotmail.com)

#### Bruna Soares de Souza Lima

Docente da Escola de Medicina da Faculdade  
Dinâmica do Vale do Piranga.  
E-mail: [brunasoaressl@yahoo.com.br](mailto:brunasoaressl@yahoo.com.br)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3199-1455>

Submissão: 26/02/2024  
Aprovação: 08/03/2025  
Publicação: 26/03/2025



#### Como citar este artigo:

Faria IT, Damasceno FLA, Jordão CTD, Lima BSS. Nanotecnologia no diagnóstico e no tratamento do câncer de mama. São Paulo: Rev Remecs. 2025; 10(16):91-99. DOI: <https://doi.org/10.24281/remecs2025.10.16.919>

## Introdução

O câncer é uma doença caracterizada pelo crescimento descontrolado de células anormais no corpo, que podem invadir tecidos adjacentes e migrar para outras partes do organismo, processo denominado metástase. Entre os tipos de câncer de maior prevalência no Brasil se destacam o câncer de pele, de mama, de próstata, de colo uterino, de pulmão e de cólon. O câncer de mama é, de fato, o tipo mais frequente entre as mulheres em todo o mundo, incluindo o Brasil. Esse câncer pode ocorrer em mulheres de todas as idades sendo que sua incidência aumenta com a idade. Além disso, embora seja raro, também pode afetar homens<sup>1</sup>.

No país, com exclusão dos tumores de pele não melanoma, o câncer de mama se tornou o de maior incidência em mulheres de todas as regiões, com taxas mais altas nas regiões Sul e Sudeste. De acordo com dados do INCA, estima-se, para os anos de 2023 a 2025, a ocorrência 74 mil novos casos de câncer de mama, representando uma taxa de incidência em torno de 67 casos por 100 mil mulheres<sup>2</sup>. Os impactos da doença, na saúde da mulher, devem-se, além da enfermidade propriamente dita, ao tratamento e aos aspectos emocionais associados. É importante ressaltar que, apesar dos desafios enfrentados pelas mulheres com câncer de mama, muitas delas se recuperam com sucesso e conseguem ter vidas plenas e saudáveis após o tratamento. O apoio médico, psicológico e social desempenha um papel fundamental na gestão desses impactos e na melhoria da qualidade de vida durante e após o tratamento do câncer de mama<sup>3</sup>.

O diagnóstico do câncer de mama é fundamental e envolve várias etapas e métodos. Inicia-se com o

exame físico das mamas, no qual um médico realiza a palpação em busca de nódulos, assimetrias ou alterações na pele dos seios e nas regiões axilares. Em seguida, a mamografia, um exame de imagem com raios-X, à qual é frequentemente usada, especialmente em mulheres acima de 40 anos, para detectar lesões na mama<sup>4</sup>.

Além desses, há também a ultrassonografia mamária que pode ser usada no rastreamento da doença. Se uma área suspeita é identificada em qualquer um desses exames, uma biópsia é realizada para confirmar a presença do câncer. O diagnóstico precoce do câncer de mama é de extrema importância, considerando que nos estágios iniciais as chances de eficácia do tratamento são significativamente maiores. Isso sugere que a paciente, cujo diagnóstico for realizado precocemente, tem maior probabilidade de sobreviver à doença e de evitar tratamentos mais agressivos, como cirurgias extensas e quimioterapia intensiva<sup>5</sup>.

No entanto, sabe-se que diversos fatores limitam o diagnóstico precoce do câncer de mama e, dessa forma, podem ter impactos negativos significativos no tratamento e prognóstico da doença. Algumas das principais barreiras incluem a falta de conscientização sobre a importância do autoexame e da mamografia, o acesso limitado aos serviços de saúde, o medo do diagnóstico e a negligência em relação aos sintomas<sup>1</sup>.

O diagnóstico realizado tardiamente, devido às limitações anteriormente relacionadas, pode exigir tratamentos mais agressivos, como cirurgias mutiladoras e quimioterapia intensiva, acarretando impactos físicos, emocionais e financeiros ainda mais relevantes para as pacientes<sup>4</sup>.

Segundo o INCA, o tratamento depende do estadiamento da doença, de suas características biológicas, além das condições da paciente, como idade, doenças associadas, status menopausal e preferências. As modalidades de tratamento do câncer de mama podem ser divididas em tratamento local e sistêmico. O primeiro envolve cirurgia e radioterapia, e o segundo, quimioterapia, hormonioterapia e terapia biológica. A reconstrução mamária é abordada como parte do tratamento local<sup>2</sup>.

No Brasil, na maioria das vezes, a primeira abordagem terapêutica é iniciada tardiamente, apesar de a Lei Federal 12.732/2012 estabelecer que, no Sistema Único de Saúde (SUS), o paciente com câncer tem direito ao tratamento em até 60 dias após a confirmação diagnóstica. Esse cenário foi demonstrado em estudo, no qual foi evidenciado que oito em cada 10 casos obtiveram o primeiro tratamento em tempo superior a 60 dias em estabelecimentos de saúde habilitados para a alta complexidade em oncologia no âmbito do SUS no Rio de Janeiro. Associados a esse cenário estão fatores sociodemográficos e clínicos, os quais contribuem para a piora na qualidade de vida, maior risco de óbito e menor sobrevivência dos pacientes<sup>6</sup>.

Nesse contexto, destaca-se a nanotecnologia, a qual está revolucionando o diagnóstico e tratamento do câncer de mama com uma abordagem inovadora. A referida ciência utiliza partículas extremamente pequenas, denominadas nanomateriais para desenvolver novas técnicas e terapias mais eficazes. No diagnóstico, nanopartículas podem ser usadas para aprimorar exames, como a mamografia, tornando possível a detecção precoce de tumores menores. Em relação ao tratamento, as nanopartículas podem ser

carregadas com medicamentos anticancerígenos e direcionadas especificamente para as células cancerosas, minimizando danos às células saudáveis. Isso aumenta a eficácia do tratamento e reduz os efeitos colaterais<sup>7</sup>.

O potencial crescente da nanotecnologia na abordagem de doenças, a partir da administração de nanopartículas medicamentosas, além de biomarcadores e contrastes nanométricos envolvidos nos métodos diagnósticos e de tratamento, justifica seu estudo como opção no diagnóstico e tratamento do câncer de mama.

## Objetivo

Considerando o exposto, constitui objetivo desse trabalho realizar uma revisão integrativa da literatura explorando a utilização de nanopartículas no aprimoramento da sensibilidade e especificidade dos métodos de imagem para diagnósticos mais precisos do câncer de mama e evidenciar o emprego da nanotecnologia no tratamento da doença por meio de terapias inovadoras mais eficazes.

## Material e Método

O estudo se trata de uma revisão de literatura do tipo integrativa que visa reunir trabalhos que retratem as questões que envolvem a nanomedicina e o câncer de mama, especialmente as inovações da área em relação ao diagnóstico e tratamento da doença.

Para a elaboração do artigo, foram selecionados textos científicos nas plataformas de dados PubMed, Scielo, Lilacs utilizando os descritores recuperados na plataforma DeCS (Descritores em Ciências da Saúde), combinados da seguinte forma: “*nanotechnology and breast cancer*”, “*nanotechnology and breast cancer and treatment*” e “*nanotechnology and breast cancer*

and diagnosis”, conforme apresentado na Tabela 1. Como estratégia de busca, foram associados às combinações dos descritores filtros, como: publicações dos últimos dez anos, no idioma inglês e textos disponíveis na íntegra de forma gratuita.

Com a busca foram recuperados 614 textos de interesse, os quais foram posteriormente avaliados considerando a adequação dos artigos ao tema de estudo. Os trabalhos selecionados foram primeiramente avaliados com base nos títulos, em seguida com base nos resumos, e por fim, analisados na íntegra. Em cada uma das etapas foram excluídos

os trabalhos que não contemplam o tema da presente revisão, de modo que foram elegíveis para compor esse estudo 15 trabalhos. As estratégias de inclusão envolveram tanto estudos *in vitro*, quanto *in vivo*.

**Tabela 1.** Estratégia de busca utilizada na revisão de literatura e respectivos resultados.

Estratégia de busca	Pubmed	SciELO	Lilacs
Nanotechnology and breast cancer	5	3	0
Nanotechnology and breast cancer and treatment	0	3	4
Nanotechnology and breast cancer and diagnosis	0	0	0

Fonte: elaborada pelos autores (2023).  
Data final da busca: 13/11/2023.

## Resultados

Os resultados encontrados a partir da leitura dos textos selecionados estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Principais resultados encontrados.

Nanoestrutura	Tipo de célula	<i>In vivo</i> / <i>In vitro</i>	Efeitos observados	Referência
Nanopartículas de ouro	Mamária tumoral (MDA-MB-231) e endoteliais normais	Ambos	Toxicidade mínima para as células e os tecidos normais; nenhum dos pacientes tratados apresentou progressão da doença.	Khoobchandani <sup>8</sup>
Nanodiamantes fluorescentes	Mamária tumoral	<i>In vitro</i>	Nanodiamantes conjugados com anticorpos podem servir como veículos de administração de fármacos com atividade antitumoral dirigida e baixa toxicidade sistêmica.	Suarez-Kelly et al. <sup>9</sup>
Nanotubos de carbono híbrido	Mamárias tumorais	<i>In vitro</i>	Aumento da estabilidade dos quimioterápicos e acumulação no tecido tumoral.	Ozgen et al. <sup>10</sup>
Nanopartículas de fulereno C60	Mamárias tumorais e macromoléculas cancerígenas	Ambos	Redução do estresse oxidativo, aumento do nível de glutatona e de atividade da catalase no tecido mamário, promovendo proteção contra o câncer.	Beyaz et al. <sup>11</sup>
Nanoemulsões de quimioterápicos	Mamárias tumorais	<i>In vitro</i>	Biocompatibilidade com as células tumorais, potencial fotossensibilizador para morte celular tumoral; associação com composto quimioterápico (DOX) com potencial citotoxicidade e interrupção do ciclo celular tumoral.	Candido et al. <sup>12</sup>
Nanocarregador de curcumina	Mamárias tumorais humanas (SKBR3 e MDA-MB231)	<i>In vitro</i>	O nanocarregador de curcumina otimizado apresentou uma alta eficácia na inibição do crescimento de células de câncer de mama humano sem afetar as células normais. Além disso, induziu a apoptose das células cancerígenas e interrompeu o ciclo celular.	Akbarzadeh et al. <sup>13</sup>
Nanossistema polimérico-magnético contendo	Mamárias tumorais humanas (MCF-7), murino (4T1) e fibroblasto murino	<i>In vitro</i>	Células tumorais 4T1 capturaram o fotossensibilizante em menor tempo quando comparadas às células não tumorais NIH3T3, evidenciando uma maior	Lima <sup>14</sup>

alumínio cloro ftalocianina (AICIFt)	(NIH-3T3) <i>in vitro</i>		capacidade de células cancerosas em acumular moléculas de AICIFt. No entanto, não foi observada redução significativa da viabilidade celular de células de câncer de mama humano, MCF-7, em nenhuma concentração-teste em relação ao controle, após 24 horas de incubação.	
Nanopartículas magnéticas conjugadas a azul de metileno (MAGCIT-AM)	Carcinomas mamário humano (MDA-MB231 e T-47D) e de ovário (A2780).	<i>In vitro</i>	As linhagens celulares T47D e A2780 apresentaram uma redução significativa da viabilidade celular após o tratamento com MAGCIT-AM, fato não observado nas linhagens não tumorais (HNTMC e HUVEC) e MDA-MB-231. Morte celular lítica e a necrose foram os principais tipos de morte celular causada pelo nanossistema.	Silva <sup>15</sup>
Nanocápsulas magnéticas de Selol (NCMagh-SE)	Adenocarcinoma mamário murino (4T1) e humano (MCF-7)	Ambos	Selol protegeu as células dos efeitos tóxicos induzidos pelo tratamento com nanocápsulas contendo apenas as nanopartículas magnéticas; O Selol apresenta, de maneira intrínseca, propriedade antitumoral e o uso em nanopartículas magnéticas induz a morte celular por apoptose e fragmentação do DNA <i>in vitro</i> ; NCMagh-SE não induziu toxicidade relevante em camundongos BALB/c portadores de carcinoma mamário.	Estevanato <sup>16</sup>
Terapia fototérmica e quimioterapia	Mamárias tumorais	<i>In vivo</i>	A terapia combinada pode aumentar a sensibilidade do câncer de mama triplo-negativo à quimioterapia, reduzindo a dose de quimioterapia necessária para alcançar o mesmo efeito terapêutico. Além disso, a terapia combinada também mostrou uma eficácia significativa na inibição do crescimento do tumor e na redução da metástase do câncer de mama triplo-negativo em camundongos.	Su <i>et al.</i> <sup>17</sup>
Nanopartículas de ouro na radiosensibilização	Células de câncer de mama e células normais	<i>In vitro</i>	As AuNPs são potenciais agentes de radiosensibilização para o tratamento do câncer de mama. No entanto, fatores metodológicos e celulares devem ser considerados para otimizar a sua eficácia e seletividade.	Musielak <sup>18</sup>
Dendrímeros PAMAM G4.5	Células do câncer de mama	Ambos	Os dendrímeros PAMAM G4.5 são potenciais sistemas de liberação de fármacos para o tratamento e o diagnóstico do câncer de mama. No entanto, aspectos metodológicos e celulares devem ser considerados para otimizar a sua eficácia e seletividade.	Oddone <i>et al.</i> <sup>19</sup>
Terapia fotodinâmica baseada em nanoemulsão de <i>Arrabidaea chica</i> (Crajiu)	Célula de adenocarcinoma mamário humano MCF-7	<i>In vitro</i>	A nanoemulsão de extrato de <i>Arrabidaea chica</i> (Crajiu) apresentou uma alta eficácia na TFD contra células de adenocarcinoma mamário humano MCF-7, <i>in vitro</i> , e ainda apresentou uma baixa citotoxicidade em células normais.	Rodrigues <i>et al.</i> <sup>20</sup>
Terapia	Células de câncer	<i>In vitro</i>	Os resultados mostraram que a TFD	Rodrigues <sup>21</sup>

fotodinâmica mediada por cloreto de alumínio-ftalocianina incorporado a nanoemulsão	mamárias murino		mediada por ALCIFt incorporado a nanoemulsão induziu a morte celular imunogênica em células de câncer de mama murino, aumentando a expressão de moléculas de superfície imunogênicas e a produção de citocinas pró-inflamatórias. Além disso, a TFD mediada por ALCIFt incorporado a nanoemulsão também apresentou uma maior eficácia na inibição do crescimento de células de câncer de mama murino em comparação com a TFD mediada por ALCIFt livre.	
Terapia fotodinâmica com nanoemulsões de Ftalocianina de cloro alumínio	Células tumorais mamárias primárias de metástase	<i>In vitro</i>	As nanoemulsões de ALCIFt apresentaram boa estabilidade físico-química, alta eficiência fotodinâmica e baixa toxicidade, apresentando eficácia na indução de morte celular imunogênica e na inibição do crescimento celular tumoral.	Moura <sup>22</sup>

Fonte: elaborada pelos autores (2023).

## Discussão

Grandes avanços têm sido observados no diagnóstico e tratamento do câncer de mama, uma das doenças malignas que mais afeta mulheres em todo o mundo, porém sua abordagem precoce ainda é limitada. O uso de nanopartículas mostra enorme potencial para diversos tratamentos antitumorais, considerando a possibilidade de direcionamento dos fármacos aos alvos, redução ou eliminação dos efeitos adversos e aumento da captação pelo tecido tumoral, a fim de garantir os efeitos terapêuticos esperados.

Baseados na tradicional medicina ayurvédica, estudo empregou nanopartículas de ouro com fitoervas em células mamárias tumorais de ratas fêmeas e de mulheres com diagnóstico de câncer de mama. Os resultados evidenciaram baixa toxicidade em células e tecidos normais e não progressão da doença nos indivíduos do grupo tratado<sup>8</sup>.

A partir de nanodiamantes fluorescentes, por meio de testes *in vitro*, foi observado que ao conjugá-los com anticorpos podem direcionar fármacos aos alvos terapêuticos e reduzir a toxicidade sistêmica<sup>9</sup>.

Em consonância com esses resultados, percebeu-se aumento significativo na estabilidade dos quimioterápicos e maior acumulação no tecido tumoral ao utilizarem nanotubos de carbono híbrido<sup>10</sup>.

As nanoemulsões de quimioterápicos apresentaram biocompatibilidade com as células tumorais, promoveram a interrupção do ciclo celular tumoral e o efeito citotóxico desejado<sup>12</sup>. Através de ensaio *in vitro* e *in vivo*, mostraram que o emprego de nanopartículas de fulereno C60 em células mamárias tumorais produz efeitos como a redução do estresse oxidativo, o aumento do nível de glutathione e uma maior atividade da catalase no tecido mamário sadio, promovendo proteção contra o câncer<sup>11</sup>.

O potencial anti-tumoral de nanopartículas magnéticas conjugadas a azul de metileno (MAGCIT-AM) no tratamento de câncer de mama e ovário. Os resultados mostraram que as MAGCIT-AM foram eficientes na redução da viabilidade celular das linhagens celulares T47D e A2780, mas não nas linhagens não tumorais (HNTMC e HUVEC) e MDA-MB-231. A morte celular lítica e a necrose foram os

principais tipos de morte celular relacionadas ao tratamento com o nanossistema. Além disso, o estudo mostrou que as células tumorais 4T1 capturaram o fotossensibilizante em menor tempo quando comparadas às células não tumorais NIH3T3, na concentração de 10  $\mu$ M de AICIFt, evidenciando uma maior capacidade de células cancerosas em acumular moléculas de AICIFt<sup>15</sup>.

O uso de nanocápsulas magnéticas de Selol no tratamento do câncer de mama experimental. Os resultados mostraram que as nanocápsulas magnéticas de Selol foram capazes de reduzir a viabilidade celular das células tumorais MCF-7 e 4T1, mas não afetaram a viabilidade celular das células normais MCF-10A. Além disso, o estudo mostrou que as nanocápsulas magnéticas de Selol foram capazes de reduzir o volume tumoral em camundongos com câncer de mama<sup>16</sup>.

Os efeitos do uso de um nanocarreador de curcumina para o tratamento do câncer de mama, mostraram que o nanocarreador de curcumina foi capaz de reduzir a viabilidade celular das células tumorais MCF-7 e MDA-MB-231, mas não afetou a viabilidade celular das células normais MCF-10A. Além disso, o estudo mostrou que o nanocarreador de curcumina foi capaz de induzir a apoptose das células tumorais MCF-7 e MDA-MB-231<sup>13</sup>.

Os resultados após uso nanopartículas polimérico-magnéticas contendo alumínio cloro ftalocianina, foram similares<sup>14,17</sup>, exploraram a eficácia da terapia fototérmica combinada com quimioterapia em tumores mamários triplo-negativos (TNBC), e revelaram um aumento na sensibilidade desses cânceres à quimioterapia, possibilitando a redução das doses necessárias para alcançar resultados

terapêuticos<sup>17</sup>. Essa abordagem promissora sugere um potencial impacto na minimização dos efeitos colaterais associados à quimioterapia.

O uso de nanopartículas de ouro (AuNPs) na radiosensibilização para o tratamento do câncer de mama. O estudo *in vitro* destacou as AuNPs como agentes potenciais nesse contexto, mas sugeriu a importância de considerar fatores metodológicos e celulares para otimizar a eficácia e seletividade dessa abordagem<sup>18</sup>.

Estudo explorou os dendrímeros PAMAM G4.5 como sistemas de liberação de fármacos para o tratamento e diagnóstico do câncer de mama, também chegaram à mesma conclusão e ressaltaram a importância de mais estudos<sup>19</sup>.

A terapia fotodinâmica baseada em nanoemulsão de *Arrabidaea chica* (Crajiro) contra células de adenocarcinoma mamário humano MCF-7. Os resultados *in vitro* indicaram uma alta eficácia dessa abordagem, com baixa citotoxicidade em células normais, sugerindo um potencial promissor para terapia fotodinâmica seletiva<sup>20</sup>.

Estudo sobre a terapia fotodinâmica mediada por cloreto de alumínio-ftalocianina incorporado a nanoemulsão em células de câncer mamário murino. Seus achados indicaram que essa terapia induziu morte celular imunogênica e teve maior eficácia na inibição do crescimento celular em comparação com a forma livre de AICIFt, sugerindo uma estratégia promissora para o tratamento do câncer de mama<sup>21</sup>.

Estudo explorou a terapia fotodinâmica com nanoemulsões de Ftalocianina de cloreto de alumínio em células tumorais mamárias primárias de metástase<sup>22</sup>. Os resultados da pesquisa anterior corroboram com outro estudo sobre a eficácia da

terapia fotodinâmica mediada por AICIFt incorporado a nanoemulsão, através dos mesmos mecanismos de indução de morte celular imunogênica e inibição do crescimento celular<sup>20</sup>.

Em geral, os estudos mostraram que os nanossistemas magnéticos-poliméricos e nanocápsulas magnéticas são promissores no tratamento do câncer de mama e ovário. Além disso, o uso de nanocarreadores de curcumina e nanopartículas polimérico-magnéticas contendo alumínio cloro ftalocianina também apresentaram resultados promissores no tratamento do câncer de mama. No entanto, é importante ressaltar que os estudos foram realizados *in vitro*.

## Conclusão

O câncer de mama é uma das doenças com maior índice de mortalidade entre as mulheres em todo o mundo. Os atuais métodos diagnósticos e abordagens terapêuticas ainda são limitados e impactam consideravelmente no prognóstico e qualidade de vida dos pacientes.

A nanotecnologia aliada à medicina apresenta enorme potencial para promover aumento na sobrevida, com menores efeitos adversos, durante o tratamento do câncer de mama. O emprego de nanoestruturas e nanopartículas oferece possibilidade de detecção precoce da doença e de uma terapêutica mais eficaz, resultando em impacto significativo nas taxas de mortalidade.

Apesar dos resultados animadores descritos na literatura acerca dos benefícios da nanotecnologia na medicina, são necessários mais estudos para ampliar fronteiras e ofertar maiores perspectivas no diagnóstico precoce e tratamento do câncer de mama.

## Referências

1. Teixeira LA, Araújo Neto LA. Câncer de mama no Brasil: medicina e saúde pública no século XX. Saúde e Sociedade. 2020; 29.
2. Instituto Nacional do Câncer - INCA. Estimativa 2023: incidência do Câncer no Brasil. Câncer INd, editor. Rio de Janeiro: INCA. 2022.
3. Mathias AS, Gomes FK, Chagas PDP, Campos DAM, Leão MABG. Aspectos psicológicos do câncer de mama em mulheres. Femina. 2022; 50(5):311-315.
4. Dourado CARO, Santos CMF, Santana VM, Gomes TN, Cavalcante LTS, Lima MCL. Câncer de mama e análise dos fatores relacionados aos métodos de detecção e estadiamento da doença. Cogitare Enferm. 2022; 27.
5. Assis MD, Santos ROM, Migowski A. Detecção precoce do câncer de mama na mídia brasileira no Outubro Rosa. Physis: Rev Saúde Coletiva. 2020; 30.
6. Jomar RT, Velasco NS, Mendes GLQ, Guimarães RM, Fonseca VAO, Meira KC. Fatores associados ao tempo para submissão ao primeiro tratamento do câncer de mama. Ciência & Saúde Coletiva. 2023; 28.
7. Lopes JC, Torres MLP. Utilização de nanopartículas no tratamento do câncer: aspectos gerais, mecanismos de ação antineoplásicos e aplicabilidades tumorais. Rev Bras Cancerologia. 2020; 65(4):4.
8. Khoobchandani M, Katti KK, Karikachery AR, Thipe VA-O, Srisrimal D, Dhurvas Mohandoss DK, et al. New Approaches in Breast Cancer Therapy Through Green Nanotechnology and Nano-Ayurvedic Medicine - Pre-Clinical and Pilot Human Clinical Investigations. (1178-2013).
9. Suarez-Kelly LP, Sun SH, Ren C, Rampersaud IV, Albertson D, Duggan MC, et al. Antibody Conjugation of Fluorescent Nanodiamonds for Targeted Innate Immune Cell Activation. ACS Applied Nano Materials. 2021; 4(3):3122-39.
10. Omurtag Ozgen PS, Atasoy S, Zengin Kurt B, Durmus Z, Yigit G, Dag A. Glycopolymer decorated multiwalled carbon nanotubes for dual targeted breast cancer therapy. Journal of Materials Chemistry B. 2020; 8(15):3123-37.
11. Beyaz S, Aslan A, Gok O, Uslu H, Agca CA, Ozercan IH. In vivo, in vitro and in silico anticancer investigation of fullerene C(60) on DMBA induced breast cancer in rats. (1879-0631).

12. Candido NM, Melo MT, Franchi LP, Primo FL, Tedesco AC, Rahal P, et al. Combining Photodynamic Therapy and Chemotherapy: Improving Breast Cancer Treatment with Nanotechnology. *J Biomed Nanotechnol.* 2018; 14(5):994-1008.
13. Akbarzadeh I, Shayan MA-O, Bourbour M, Moghtaderi M, Noorbazargan H, Eshрати Yeganeh F, et al. Preparation, Optimization and In-Vitro Evaluation of Curcumin-Loaded Niosome@calcium Alginate Nanocarrier as a New Approach for Breast Cancer Treatment. *Biology (Basel).* 2021; 10(3):173.
14. Lima AKO. Nanopartículas polimérico-magnéticas contendo alumínio cloro ftalocianina contra células de câncer de mama. Brasília: Universidade de Brasília. 2019.
15. Silva ALG. Avaliação do potencial anti-tumoral de nanopartículas magnéticas conjugadas a azul de metileno para carcinoma de mama e de ovário. Brasília: Universidade de Brasília. 2020.
16. Estevanato LLC. Nanocápsulas magnéticas de Selol para tratamento do câncer de mama experimental: avaliação in vitro e in vivo. Brasília: Universidade de Brasília .2012.
17. Su S, Ding Y, Li Y, Wu Y, Nie G. Integration of photothermal therapy and synergistic chemotherapy by a porphyrin self-assembled micelle confers chemosensitivity in triple-negative breast cancer. *Biomaterials.* 2016; 80:169-178.
18. Musielak MA-O, Boś-Liedke A, Piwocka O, Kowalska KA-O, Markiewicz R, Lorenz AA-O, et al. Methodological and cellular factors affecting the magnitude of breast cancer and normal cell radiosensitization using gold nanoparticles. *Int J Nanomedicine.* 2023; 18:3825-3850.
19. Oddone N, Lecot N, Fernández M, Rodriguez-Haralambides A, Cabral P, Cerecetto H, et al. In vitro and in vivo uptake studies of PAMAM G4.5 dendrimers in breast cancer. *J Nanobiotechnol.* 2016; 45.
20. Rodrigues MC, Muehlmann LA, Longo JP, Silva RC, Graebner IB, Degterev IA, et al. Photodynamic Therapy Based on *Arrabidaea chica* (Crajiçu) Extract Nanoemulsion: In vitro Activity against Monolayers and Spheroids of Human Mammary Adenocarcinoma MCF-7 Cells. *Journal of Nanomedicine & Nanotechnology.* 2015; 6:1-6.
21. Rodrigues MC. Indução de morte celular imunogênica por terapia fotodinâmica mediada por cloreto de alumínio-ftalocianina incorporado a nanoemulsão em células de câncer de mama murino. Brasília: Universidade de Brasília. 2018.
22. Moura LD. Tratamento de câncer de mama utilizando terapia fotodinâmica com nanoemulsões de Ftalocianina de cloro alumínio. Brasília: Universidade de Brasília. 2017.