

# Nanomagnetismo no diagnóstico precoce e tratamento do câncer: Uma revisão narrativa

Nanomagnetism in early diagnosis and treatment of cancer: A narrative review

Nanomagnetismo en el diagnóstico temprano y tratamiento del cáncer: Una revisión narrativa

Recebido: 23/05/2024 | Revisado: 05/06/2024 | Aceitado: 07/06/2024 | Publicado: 10/06/2024

**Carolina Cardoso Santos**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-5991-3291>  
Universidade Anhembi Morumbi, Brasil  
E-mail: cardosos.carol@icloud.com

**Gustavo José Vasco Pereira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9811-7220>  
Universidade Anhembi Morumbi, Brasil  
E-mail: gustavovasco.usp@gmail.com

**Isabelle Almeida de Sousa Cunha**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6190-9049>  
Universidade Anhembi Morumbi, Brasil  
E-mail: isabellealmeida135@yahoo.com.br

**Jaqueline Lopes**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2084-7969>  
Universidade Anhembi Morumbi, Brasil  
E-mail: jaque.lopes123.jl@gmail.com

**Mirella Silva Rocha**

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1142-4541>  
Universidade Anhembi Morumbi, Brasil  
E-mail: mirellasilva219@gmail.com

## Resumo

Esta revisão apresenta uma análise sobre nanomagnetismo no tratamento e cura do câncer. O principal objetivo deste estudo foi investigar como as nanopartículas magnéticas podem ser otimizadas para maximizar a eficiência e segurança no tratamento de tumores, minimizando os efeitos colaterais associados às terapias convencionais. Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos detalhados: abordar sobre o câncer, nanotecnologia e nanomagnetismo, nanomagnetismo no diagnóstico de câncer, investigar o mecanismo de ação das nanopartículas, analisar os avanços e desafios em pesquisas clínicas, e comparar a eficácia e segurança dessas terapias com as convencionais. A metodologia utilizada incluiu a análise de literatura pertinente e a avaliação de dados provenientes de fontes secundárias. Os resultados do estudo indicaram uma efetiva concentração de tratamentos no tecido tumoral com minimização de danos a células saudáveis, e concluiu-se que oferecem uma promessa significativa para revolucionar os tratamentos oncológicos. As considerações finais destacam a importância de continuar a pesquisa sobre segurança a longo prazo, colaboração multidisciplinar e regulamentação clínica, aspectos cruciais para ampliar a compreensão do assunto e fomentar avanços futuros na aplicação clínica.

**Palavras-chave:** Hipertermia; Nanopartículas; Terapia magnética; Tratamento de câncer.

## Abstract

This review presents an analysis of nanomagnetism in the treatment and cure of cancer. The primary objective of this study was to investigate how magnetic nanoparticles can be optimized to maximize efficiency and safety in tumor treatment, while minimizing the side effects associated with conventional therapies. To achieve this, the study set forth the following detailed objectives: to discuss cancer, nanotechnology, and nanomagnetism; to examine nanomagnetism in cancer diagnosis; to investigate the mechanism of action of nanoparticles; to analyze advancements and challenges in clinical research; and to compare the efficacy and safety of these therapies with conventional ones. The methodology employed included a review of relevant literature and an evaluation of data from secondary sources. The study's findings indicated effective concentration of treatments in tumor tissue with minimized damage to healthy cells, concluding that magnetic nanoparticles hold significant promise for revolutionizing oncological treatments. The final considerations emphasize the importance of continuing research on long-term safety, multidisciplinary collaboration, and clinical regulation, which are crucial for expanding understanding and fostering future advances in clinical application.

**Keywords:** Hyperthermia; Nanoparticles; Magnetic therapy; Cancer treatment.

## Resumen

Esta revisión presenta un análisis sobre el nanomagnetismo en el tratamiento y la cura del cáncer. El objetivo principal de este estudio fue investigar cómo las nanopartículas magnéticas pueden optimizarse para maximizar la eficiencia y seguridad en el tratamiento de tumores, minimizando los efectos secundarios asociados a las terapias convencionales. Para ello, se establecieron los siguientes objetivos detallados: abordar el cáncer, la nanotecnología y el nanomagnetismo; el nanomagnetismo en el diagnóstico del cáncer; investigar el mecanismo de acción de las nanopartículas; analizar los avances y desafíos en la investigación clínica; y comparar la eficacia y seguridad de estas terapias con las convencionales. La metodología utilizada incluyó el análisis de la literatura pertinente y la evaluación de datos provenientes de fuentes secundarias. Los resultados del estudio indicaron una concentración efectiva de tratamientos en el tejido tumoral con una minimización de daños a las células saludables, y se concluyó que ofrecen una promesa significativa para revolucionar los tratamientos oncológicos. Las consideraciones finales destacan la importancia de continuar la investigación sobre la seguridad a largo plazo, la colaboración multidisciplinaria y la regulación clínica, aspectos cruciales para ampliar la comprensión del tema y fomentar avances futuros en la aplicación clínica.

**Palabras clave:** Hipertermia; Nanopartículas; Terapia magnética; Tratamiento para el cáncer.

## 1. Introdução

O campo do nanomagnetismo tem emergido como uma fronteira promissora na medicina, especialmente no tratamento e potencial cura do câncer. Nanopartículas magnéticas, devido ao seu tamanho diminuto e propriedades magnéticas únicas, oferecem novas possibilidades para o direcionamento e destruição de células cancerígenas com precisão sem precedentes.

Essas nanopartículas podem ser guiadas por um campo magnético externo, permitindo que sejam direcionadas especificamente a tumores, minimizando o impacto em tecidos saudáveis circundantes. Uma vez no local desejado, essas nanopartículas podem ser ativadas para induzir hipertermia localizada, processo no qual o calor gerado pelas nanopartículas induz a morte das células cancerígenas. Estudos recentes demonstraram que a hipertermia magnética pode ser eficaz em reduzir tumores em modelos animais, sugerindo um caminho promissor para tratamentos menos invasivos em humanos.

Em um método conhecido como terapia magnética direcionada, os medicamentos são conjugados às nanopartículas que, guiadas magneticamente até o tumor, liberam o fármaco diretamente no sítio tumoral. Este método potencializa a eficácia do tratamento, ao mesmo tempo que reduz os efeitos colaterais associados à distribuição sistêmica de quimioterápicos. Um exemplo relevante deste avanço é o uso de óxido de ferro superparamagnético em nanopartículas, que tem demonstrado eficácia na entrega direcionada de medicamentos em pesquisas clínicas. Estas, quando aplicadas em conjunto com um campo magnético externo, mostram uma capacidade notável de concentrar agentes terapêuticos em regiões específicas do corpo, como evidenciado por estudos de imagem que confirmam sua precisão de localização.

É importante ressaltar que, enquanto as possibilidades são notáveis, a aplicação de nanotecnologia magnética em contextos clínicos ainda enfrenta desafios significativos. Questões como a biodistribuição, biocompatibilidade, e a eliminação segura das nanopartículas do corpo após o tratamento são áreas ativas de pesquisa. O sucesso na superação desses obstáculos é essencial para o avanço dessa tecnologia do laboratório para a clínica.

Avaliar a eficácia das nanopartículas magnéticas no direcionamento preciso de fármacos para o tratamento de tumores constitui o principal propósito deste estudo. O trabalho se propõe a explorar o tema, visando enriquecer o ambiente acadêmico e estabelecer fundamentos para pesquisas futuras.

O principal objetivo deste estudo foi investigar como as nanopartículas magnéticas podem ser otimizadas para maximizar a eficiência e segurança no tratamento de tumores, minimizando os efeitos colaterais associados às terapias convencionais. Para alcançar este objetivo central e evidenciar uma compreensão profunda sobre o assunto, os trabalhos foram delineados:

- Investigar o mecanismo pelo qual direcionam os fármacos ao tecido tumoral, com foco na minimização da afetação de células saudáveis;

- Analisar as tendências recentes em pesquisas clínicas que a utilizam em tratamentos oncológicos, destacando os avanços e desafios;
- Avaliar os resultados de eficácia e segurança das terapias que a empregam, comparando-os com terapias convencionais;
- Examinar as barreiras tecnológicas e biológicas que impactam a implementação clínica deste tipo de terapia.

Este estudo é relevante porque aborda uma tecnologia inovadora no campo da oncologia, com potencial para revolucionar o tratamento do câncer, oferecendo métodos menos invasivos e mais eficazes.

Adicionalmente, destaca lacunas na literatura atual, principalmente no que se refere à biodistribuição e biodegradação das nanopartículas, e como esta pesquisa busca preenchê-las e contribuir para o acervo científico. Além disso, a pesquisa examina possíveis aplicações práticas e efeitos adversos em tratamentos oncológicos, podendo assim servir para futuras investigações nesta área promissora.

## 2. Metodologia

Este trabalho é baseado em uma revisão narrativa da literatura (Mattos, 2015; Rother, 2007) sobre o papel do nanomagnetismo no diagnóstico e tratamento do câncer. Optou-se por uma abordagem qualitativa e interpretativa, visando sintetizar e discutir as contribuições científicas e tecnológicas na área de nanotecnologia aplicada à oncologia.

A pesquisa bibliográfica foi conduzida através de bases de dados científicas reconhecidas, incluindo PubMed, Web of Science e Scielo. Palavras-chave como "nanopartículas magnéticas", "tratamento do câncer", "hipertermia magnética" e "diagnóstico por imagem com nanopartículas" foram utilizadas para garantir uma coleta abrangente e relevante de artigos, revisões e estudos clínicos. A seleção de materiais também se deu através da consulta de referências bibliográficas de artigos-chave para assegurar a inclusão de literatura seminal e influente.

A análise dos textos selecionados foi realizada de maneira crítica, com foco na identificação de temas emergentes, discussão de avanços tecnológicos e avaliação dos desafios atuais enfrentados por pesquisadores na aplicação de nanomagnetismo no campo médico. Além disso, procurou-se explorar as diferentes perspectivas teóricas e metodológicas dos estudos, a fim de apresentar uma visão compreensiva do estado da arte e das perspectivas futuras na área.

## 3. Resultado e Discussão

O resultado do estudo demonstra que nanopartículas magnéticas tem significativa capacidade de auxiliar nos tratamentos oncológicos, atuando como agente de contraste de imagem, como direcionadores de fármacos nos locais onde o tumor se manifesta, auxiliando a ação do fármaco diretamente ao tecido tumoral. Comparado as terapias convencionais, o tratamento com nanopartículas magnéticas minimiza os danos as células saudáveis, o que auxilia a redução dos efeitos colaterais no organismo.

O estudo destacou também casos em que o uso de nanopartículas magnéticas facilitou a aplicação através da hipertermia magnética e terapias combinadas, resultando uma diminuição do tamanho tumoral, o que visa melhorar os tratamentos de câncer utilizados com essas nanopartículas.

A pesquisa enfatizou a importância de continuar aprimorando e atualizando novos estudos na área de nanotecnologia para tratamento de câncer, a fim de intensificar o debate sobre o tema, visando otimizar as terapias convencionais e promover a busca de tratamentos mais avançados e eficazes na busca da cura do câncer.

### 3.1 Câncer

O termo câncer refere-se ao grupo de doenças causadas por mutações genéticas que têm células com características em comum, diferenciando-se das células comuns por apresentarem mecanismos de crescimento desordenado e capacidade de invadir e migrar para outros tecidos e órgãos (Instituto Nacional de Câncer, 2022).

As células cancerígenas apresentam modificações que as tornam menos suscetíveis aos mecanismos de indução de morte celular regulados pelo processo de homeostase do corpo. Essas modificações são principalmente mutações no DNA das células, que normalmente se dividem por mitose, perdendo esse mecanismo na fase celular adulta. Entretanto, podem sofrer ativação desse processo de divisão celular, resultando no surgimento de um tumor (Belizário, 2002).

Os tumores são classificados em dois grupos: benignos, caracterizados pela ausência de invasão em outros tecidos e crescimento relativamente controlado, mantendo-se semelhantes ao tecido original, e malignos, que se diferenciam por crescerem descontroladamente e invadirem tecidos dos quais não se originaram (Jesus, 2002).

Durante o processo de tumorigênese, as células sofrem mutações em suas proteínas estruturais, podendo ou não ser reconhecidas como "NON-SELF" pelo corpo. Quando não são reconhecidas, as células cancerígenas podem invadir outros tecidos e se proliferar, caracterizando a metástase (Veronez et al., 2019).

Além da capacidade de invadir outros tecidos, os tumores malignos podem se originar em qualquer tecido do corpo, como angiosarcomas (células epiteliais), leucemias (tecido sanguíneo), sarcomas (tecidos moles), linfomas (sistema linfático) e tumores do sistema nervoso central (Abbas et al., 2000).

O câncer é o principal problema de saúde pública no mundo e uma questão alarmante no Brasil, onde o Instituto Nacional de Câncer estimou que, em 2023, houve 704 mil casos novos de câncer. Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (2020), identifica como os cânceres letais mais comuns os de pulmão, cólon, reto e estômago.

Estima-se que 80% a 90% dos casos de câncer poderiam ser evitados, sendo grande parte deles relacionados a hábitos de vida e fatores externos, segundo dados do Instituto Nacional de Câncer (2022).

Devido à alta incidência e mortalidade, o câncer é amplamente estudado visando melhorar o prognóstico da doença. Esses estudos incluem a detecção precoce da doença, possibilitando uma gama mais ampla de tratamentos quando os primeiros sintomas surgem, e a ampliação das opções de tratamento e distribuição de medicamentos no organismo (Araújo et al., 2018).

Dentre esses estudos, destaca-se o uso do nanomagnetismo como aliado na detecção precoce da doença e na vetorização mais eficaz e significativa de medicamentos.

### 3.2 Nanotecnologia

A nanotecnologia tem sido uma área de avanços significativos de pesquisas e aplicações tecnológicas em constante evolução, auxiliando a ciência no geral. O responsável pelo início dos estudos sobre a nanotecnologia foi Richard Phillips Feynman em 1959, onde sugeriu que seria possível o controle e a manipulação dos átomos em escalas nanométricas (Dias et al., 2021). Nesta escala, os átomos apresentam características distintas, através da sua coloração, tolerância a temperatura, condutividade elétrica, reação química ou por sua potência (Costa e Silva, 2017), o que possibilitou a formação de nanopartículas especiais para cada área que se pretende auxiliar.

A nanotecnologia se resume a materiais de tamanhos nanométricos, que varia entre 1 e 100 nanômetros (nm), que podem ser apresentados como nanopartículas, nanofios, filmes fino, entre outras nanoestruturas. São sintetizados de várias formas, dimensão e composição, podendo ser sintetizado com elementos como óxidos, polímeros, metais, carbono e entre outros elementos em estudo (Falleiros et al., 2011).

Suas aplicações abrangem uma vasta gama de setores, incluindo agricultura e meio ambiente, eletrônicos, energia, desenvolvimento de nanoproductos na indústria em geral, na saúde e medicina, entre outros (Khan et al., 2021).

Nanopartículas medem 10-9m, ou seja, 1 nanômetro é igual a 1 bilionésimo de metro. Esta escala nanométrica pode ser ilustrada considerando a comparação da dimensão de um fio de cabelo, onde a nanopartícula seria aproximadamente 700 vezes menor que o diâmetro da ponta de um fio de cabelo. Devido a esse tamanho extremamente reduzido, as nanopartículas conseguem interagir com moléculas biológicas, conseguem auxiliar na captação de sinal magnético, além de auxiliar a interpretação precoce dos diagnósticos de determinadas doenças (Joanitti et al., 2022).

Na área biomédica os nanoproductos estão avançando em estudos cada vez mais tecnológicos, podendo ser utilizados em diagnóstico, formulação e carreador de medicamentos, rastreamento celular, tratamentos de câncer, reparo de tecidos, entre outros estudos que estão em desenvolvimento. (Khan et al., 2021).

Os nanomateriais podem ser utilizados como marcadores tumorais em estágios iniciais, possibilitando um tratamento mais eficaz e precoce (Joanitti et al., 2022). Também podem ser utilizados como entrega de compostos bioativos, conhecidos como “Drug delivery”, onde a nanoestrutura irá levar o fármaco até o local de tratamento, este fármaco por sua vez, sintetizado de tamanho nanométrico para melhor eficácia do tratamento (Cancino et al., 2014).

As nanopartículas podem ser utilizadas para auxiliar nos diagnósticos de ressonância magnética nuclear, com a funcionalidade de agentes de contraste, permitindo uma melhor visualização da imagem do tumor, além de agir por hipertermia magnética (Cancino et al., 2014).

No Brasil entre 2012 e 2023, foi investido o total de R\$ 98 milhões, segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2024), no programa do Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologias, que consiste em laboratórios e corpo técnico-científico qualificado para o desenvolvimento tecnológico e realização de projetos com empresas parceiras que visa o incentivo a pesquisa, desenvolvimento e inovação a nanotecnologia no país.

### 3.3 Nanomagnetismo

O nanomagnetismo é o estudo das características e aplicabilidades de materiais magnéticos em nanoescala, sendo composto por nanopartículas, nanofios, filmes fino e multicamada, além de amostras que interagem com materiais nanoestruturados.

As nanopartículas magnéticas consistem em minúsculos ímãs em escala nanométrica sem perder suas propriedades magnéticas originais (Falleiros et al., 2011). Essas nanopartículas se denominam dipolos magnéticos, ou seja, possuem polos opostos, podendo ser atrativas ou repulsivas de acordo com a reação de um campo externo (Martins & Trindade, 2012).

De acordo com Faria e Lima (2005) os materiais magnéticos podem ser classificados em cinco momentos magnéticos atômicos, onde o comportamento do material magnético pode ser influenciado pelo campo externo de acordo como o material utilizado. Abordaremos brevemente a seguir:

Diamagnetismo, quando não há dipolos magnéticos, onde os materiais são repelidos na presença de um campo magnético externo, ou seja, nanomateriais diamagnéticos que se opõem ao campo externo, podendo ser conhecido como magnetismo negativo. Já os nanomateriais paramagnéticos, agem quando os dipolos magnéticos se tornam alinhados paralelamente ao campo externo, diminuindo sua suscetibilidade de acordo com a temperatura e o material utilizado.

Ferromagnéticos é o domínio onde os dipolos magnéticos existem mesmo sem a interferência de um campo magnético externo, exercendo efeito permanente e de longo alcance.

Antiferromagnéticos, o alinhamento magnético é antiparalelo, ou seja, aponta em direção oposta ao campo externo, o que apresenta magnetismo quase nulo ou muito pequeno.

Ferrimagnéticos, o alinhamento dos materiais magnéticos é antiparalelo, porém não possui magnetismo nulo referente ao campo externo, devido as suas intensidades diferentes, o que resulta em momento magnético paralelos ao campo externo.

Não podemos deixar de citar o superparamagnetismo que consiste nas características do óxido de ferro, os quais são utilizados nos tratamentos de câncer por hipertermia magnética e como agentes de contraste na detecção precoce de tumores com a utilização da ressonância magnética nuclear (Yigit et al., 2012).

O superparamagnetismo funciona quando o núcleo de cada nanopartícula é pequeno o suficiente para não possuir um dipolo magnético permanente na ausência de um campo magnético externo (Yigit et al., 2012), ou seja, elas possuem momentos magnéticos aleatórios que mudam de direção rapidamente de acordo com a agitação térmica induzida pelo campo magnético externo, no caso por exemplo da ressonância magnética nuclear, o que favorece o superaquecimento das células tumorais, levando-as a lise (Pereira, 2012).

Os momentos magnéticos definem como os nanomateriais magnéticos se comportam de acordo com tamanho, material e temperatura induzidos por um campo magnético externo. Esses momentos são importantes para avaliar qual o melhor método a ser utilizado, conforme o tratamento que se almeja em determinada doença.

Os avanços cada vez mais tecnológicos e inclusivos, torna os diagnósticos e tratamentos médicos e biomédicos mais precisos, avaliando os riscos e benefícios sobre nanomateriais magnéticos, não devendo negligenciar a atualização de estudos periódicos.

### **3.4 Nanomagnetismo no Diagnóstico do Câncer**

Recentes pesquisas têm trazido avanços significativos no campo do diagnóstico de células neoplásicas. Uma estratégia em destaque envolve o uso de nanopartículas, especialmente óxidos metálicos, que proporcionam um alto contraste em imagens de ressonância magnética ou tomografia computadorizada. Segundo Costa e Silva (2017), essas nanopartículas podem ser modificadas com anticorpos específicos que se ligam aos receptores de membrana presentes em células cancerosas, destacando-as durante os procedimentos de imagem. Essa abordagem oferece uma forma de identificar e localizar as células cancerosas de maneira precisa e eficaz, o que contribui com informações valiosas para diagnósticos precoces e tratamentos individualizados.

Atualmente, nas práticas de diagnóstico por imagem, observa-se o crescente uso de nanopartículas magnéticas como agentes de contraste, que visa aprimorar a especificidade e a sensibilidade dos exames, ao mesmo tempo em que proporciona imagens com maior resolução espacial. Esse avanço contribui para diagnósticos mais ágeis e precisos. Devido a sua característica magnética, essas nanopartículas se tornam facilmente distinguíveis em uma variedade de exames de imagem, além disso, sua capacidade de fluorescência adiciona outra camada de identificação. Um aspecto positivo adicional é a ausência de efeitos colaterais significativos, comuns nos agentes de contraste tradicionais, como por exemplo o iodo. (Silva et al., 2021).

Nanopartículas magnéticas facilitam a localização de células tumorais ao se ligarem aos biomarcadores presentes na superfície dessas células. Quando as nanopartículas são detectadas, elas revelam a localização do tumor de maneira precisa (Silva et al., 2021).

### **3.5 Ressonância Magnética Nuclear**

A ressonância magnética nuclear tem se destacado em relação a outras técnicas de obtenção de imagens. Trata-se de uma técnica não invasiva e não destrutiva com capacidade de obter imagens em duas ou três dimensões ideais para a visualização de tecidos moles, mostrando anatomia e fisiologia simultaneamente, sendo amplamente utilizada para diagnósticos, exames pré-cirúrgicos e monitoramento de terapias, sem limitação de volume ou profundidade do tecido analisado (Bulte et al., 2002).

A imunolocalização de células tumorais, em conjunto com a utilização de nanopartículas superparamagnéticas, viabiliza a detecção precoce de neoplasias por meio de ressonância magnética nuclear. Essas nanopartículas apresentam a vantagem de serem quimicamente modificáveis, o que as torna não tóxicas, injetáveis, biocompatíveis e capazes de se concentrarem num elevado nível no tecido ou órgão alvo. A intensa natureza magnética dessas nanopartículas as qualifica como agentes de contraste

de excelência. Atualmente, há uma grande diversidade de partículas produzidas, que diferem em tamanho e no tipo de material de revestimento, incluindo amido, albumina, silicões, dextrana, poli(etilenoglicol), entre outros.

As partículas podem ser classificadas em dois grupos distintos, conforme o seu tamanho e o impacto disso na meia-vida plasmática e na biodistribuição, possibilitando seu uso em imagens de órgãos como fígado e baço. Um dos grupos é denominado SPIOs, ou seja, óxidos de ferro superparamagnéticos, caracterizado por nanopartículas com tamanho superior a 50 nm, incluindo o revestimento. O outro grupo é conhecido como USPIOs, que são óxidos de ferro superparamagnéticos ultrapequenos, onde as nanopartículas possuem tamanho inferior a 50 nanômetros (Pereira, 2012).

O desenvolvimento de scanners e receptores mais avançados para dispositivos de ressonância magnética, tem permitido uma significativa redução no tempo de obtenção das imagens, passando de horas para segundos (Zhang e Webb, 2005). Além disso, Johnson et al. (1993), apresentaram um aumento na resolução desses aparelhos, de centímetros para micrometros, possibilitando a obtenção de imagens microscópicas de tecidos in vivo. Esses avanços transformaram a ressonância magnética em uma poderosa ferramenta para o diagnóstico e tratamento de câncer.

No que diz respeito à avaliação de neoplasias, a ressonância magnética é capaz de fornecer informações morfológicas detalhadas, como tamanho, contornos, quantidade de lesões, presença de edema e necrose, relação com estruturas adjacentes e características relacionadas ao uso de contraste intravenoso.

### **3.6 Mecanismo de Ação das Nanopartículas Magnéticas**

As nanopartículas magnéticas com células tumorais, devido à sua capacidade de serem manipuladas externamente via campos magnéticos, apresentam um método inovador para o tratamento de câncer que visa especificamente as células malignas, evitando danos às células normais. Este enfoque se baseia na utilização de revestimentos ou ligantes que reconhecem e se ligam a marcadores expressos predominantemente em células tumorais.

As investigações recentes demonstram que ao revesti-las com anticorpos ou peptídeos que têm afinidade por marcadores específicos de células cancerígenas, é possível aumentar a precisão com que essas nanopartículas se acumulam em tumores. Por exemplo, estudos demonstraram que nanopartículas revestidas com o anticorpo anti-HER2 se acumulam eficazmente em tumores de mama que expressam o receptor HER2 em alta densidade. Este direcionamento não apenas melhora a eficácia terapêutica, mas também reduz a incidência e severidade dos efeitos colaterais comparativamente aos métodos de tratamento mais generalizados (Caizer & Rai, 2021).

Outra abordagem estudada envolve o uso para criar um ambiente hipertérmico localizado, que é ativamente destrutivo para células tumorais sem afetar tecidos normais adjacentes. A aplicação de calor somente nas áreas tumorais pode induzir a apoptose celular diretamente ou sensibilizar as células tumorais a tratamentos subsequentes, como a quimioterapia (Rodrigues, 2019). Pesquisas com modelos animais mostraram que a combinação de hipertermia induzida por nanopartículas magnéticas e quimioterapia convencional resulta em uma redução significativa do tamanho do tumor (Rajan & Sahu, 2020).

Sendo assim, estas estratégias exemplificam como a especificidade das nanopartículas pode ser ajustada para alvejar células cancerosas de maneira eficaz, proporcionando um tratamento focado e personalizado. Com a evolução contínua dessas tecnologias, espera-se que as aplicações clínicas se tornem cada vez mais precisas, com melhores perfis de segurança e eficácia. Assim, a pesquisa nesta área continua a ser relevante, com o potencial de transformar fundamentalmente a abordagem terapêutica no tratamento de câncer, tornando-a mais direcionada e menos invasiva.

Estas nanopartículas, quando expostas a um campo magnético externo, podem ser direcionadas e retidas especificamente nos tecidos tumorais. Tal capacidade de direcionamento permite uma concentração elevada do agente terapêutico no local do tumor, ao mesmo tempo que reduz a exposição de tecidos saudáveis ao tratamento (Makridis, 2019).

A natureza da movimentação é influenciada por vários fatores, incluindo o tamanho, a forma e a composição do material magnético, assim como a intensidade e a orientação do campo magnético aplicado. Pesquisas recentes têm mostrado que nanopartículas esféricas de óxido de ferro, com tamanhos na escala de nanômetros, demonstram uma resposta rápida e eficiente sob a influência de campos magnéticos moderados, facilitando sua migração através dos vasos sanguíneos até os locais dos tumores (Konwar & Deb, 2021).

Estudos têm investigado o uso de campos magnéticos localizados para 'ancorar' as nanopartículas dentro do tecido tumoral. Esta técnica reduz significativamente a possibilidade de as partículas serem removidas do local de tratamento pelo fluxo sanguíneo ou atividade celular normal. Além disso, a distribuição e a permanência das nanopartículas nos tecidos podem ser monitoradas por técnicas de imagem, como a ressonância magnética, que fornece feedback em tempo real sobre a eficácia do direcionamento (Sabença, 2023).

Desse modo, essa capacidade de manipular precisamente a localização das nanopartículas no corpo abre novas avenidas para tratamentos mais específicos e menos invasivos para o câncer, destacando a importância de continuar a pesquisa e desenvolvimento nesta interseção de nanotecnologia e física aplicada. A manipulação efetiva dessas propriedades não só melhora a eficácia do tratamento, mas também minimiza os riscos associados ao tratamento tradicional, oferecendo um método terapêutico promissor na luta contra o câncer.

### **3.7 Avanços e Desafios em Pesquisas Clínicas**

Os avanços em pesquisas clínicas envolvendo nanopartículas magnéticas têm sido notáveis, proporcionando novas perspectivas para o tratamento do câncer. Essas inovações são acompanhadas de desafios significativos que demandam soluções técnicas e ajustes regulatórios. Este segmento de estudo tem, de fato, revelado potenciais terapêuticos impressionantes, embora a transição para a prática clínica ainda encontre obstáculos substanciais.

Segundo Hermes e Bastos (2014) existem 5 principais desafios éticos que devem ser elaborados sobre o uso das nanotecnologias sem que apresentem riscos à saúde, como: avaliar a exposição ambiental, avaliar a toxicidade das nanopartículas, prever o impacto de novos nanomateriais, avaliar o impacto dos nanomateriais ao longo do seu ciclo de vida e designar programas estratégicos a fim de definir os riscos da nanotecnologia.

Cada novo tipo de nanopartícula deve passar por um rigoroso processo de aprovação que avalia sua segurança e eficácia. Avanços recentes incluem a implementação de diretrizes mais claras por órgãos regulatórios, que têm como objetivo facilitar o caminho da pesquisa à prática clínica, garantindo ao mesmo tempo que todos os requisitos de segurança sejam atendidos (Caizer & Rai, 2021; Lewis, 2023).

No Brasil ainda não há uma lei específica que regulamenta o uso da nanotecnologia em medicina, porém outras regulamentações abrangem a área, como por exemplo a Lei de Inovação nº10.973 (2004), que dispõe sobre os incentivos a inovação e a pesquisa científica e tecnológica no âmbito produtivo e dá outras providências, seguido de sua atualização de Lei nº 13.243 (2016), acompanhado pelo criterioso sistema da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, juntamente ao programa Sistema Nacional de Laboratórios em Nanotecnologia e demais órgãos regulatórios do país.

Outro desafio se dá a completa compreensão dos mecanismos de entrada e saída das nanopartículas nas células, estabilidade, exposição a curto, médio e longo prazo, que ainda precisam de mais estudos e comprovações da nanotoxicidade e seus efeitos no organismo, a fim de garantir a eficácia da utilização desses nanomateriais de forma segura.

Para que as nanopartículas possam interagir com o organismo, alguns fatores devem ser estabelecidos, como a composição química do local alvo que se pretende aderir, tamanho e forma, capacidade de agregação ou aglomeração, propriedades físico-químicas e a funcionalização com determinadas biomoléculas (Cancino et al., 2014). Além desses fatores

outras questões devem ser levadas em consideração, como por exemplo o tempo que esse nanomaterial fica na corrente sanguínea até ser eliminado completamente e a quantidade de doses administradas sem que haja uma toxicidade ao organismo

Alguns estudos sugerem metodologias como a citometria de fluxo, proliferação celular, ciclo celular, biodisponibilidade e biodispersão além da fragmentação do DNA, para analisar possível toxicidade dessas nanopartículas no organismo (Cancino et al., 2014).

A pesquisa clínica enfrenta desafios como a variabilidade na produção de nanopartículas que pode afetar a uniformidade e a eficácia do tratamento. A padronização dos processos de fabricação é essencial para garantir que as partículas sejam consistentemente produzidas com as especificações desejadas. Além disso, o corpo humano apresenta uma complexidade que muitas vezes pode alterar a dinâmica esperada das nanopartículas, exigindo estudos mais aprofundados sobre sua biodistribuição e metabolismo (Caro et al., 2024).

Um dos principais avanços observados na pesquisa clínica é a capacidade das nanopartículas de serem funcionalizadas para combinar terapia e diagnóstico, um conceito conhecido como teranóstica. Essa abordagem permite não apenas tratar os tumores de forma eficaz, mas também monitorar a resposta ao tratamento em tempo real. Exemplos recentes incluem estudos onde foram utilizadas para melhorar a visualização por imagem de ressonância magnética, enquanto simultaneamente administravam agentes quimioterápicos ou realizavam hipertermia localizada. Tais estudos destacam a multifuncionalidade das nanopartículas e o potencial para uma medicina personalizada mais eficiente (Joanitti et al., 2022).

Os avanços em pesquisa ocorrem também com a avaliação criteriosa de nanopartículas já comercializadas, como exemplo o estudo de Lanier et al. (2019), onde avaliaram 31 tipos de nanopartículas magnéticas que estão regulamentadas e disponíveis comercialmente para o tratamento de câncer, onde utilizaram o método de hipertermia de fluido magnético, definindo a importância de padronização dos métodos de cálculos dos tamanhos das nanopartículas magnéticas, a fim de facilitar as aplicações por hipertermia, o que resultou o aumento da eficácia da radiação e da quimioterapia convencional nos ensaios clínicos.

A pesquisa clínica está em um estágio onde o equilíbrio entre inovação tecnológica e segurança do paciente deve ser meticulosamente gerenciado. Embora os avanços recentes ofereçam grandes promessas, os desafios devem ser enfrentados com soluções inovadoras e colaboração contínua entre cientistas, clínicos e reguladores para transformar potencial em tratamentos eficazes e seguros para o câncer.

### **3.8 Comparação com Terapias Convencionais**

A eficácia do tratamento utilizando nanopartículas magnéticas tem demonstrado resultados promissores quando comparados às terapias convencionais para o tratamento de tumores. As nanopartículas oferecem uma plataforma versátil para a terapia direcionada, permitindo a concentração de agentes terapêuticos diretamente no tumor com precisão elevada, o que potencialmente reduz os efeitos adversos típicos das terapias tradicionais, como a quimioterapia e a radioterapia, que frequentemente afetam células saudáveis e causam numerosos efeitos colaterais.

Estudos mostraram que a aplicação localizada de calor pode induzir a morte celular em tumores sem causar danos significativos aos tecidos saudáveis circundantes. Por exemplo, pesquisas clínicas com pacientes com câncer de próstata que receberam tratamento com hipertermia mediada evidenciaram uma redução notável no tamanho do tumor, com menores taxas de recorrência em comparação com pacientes que receberam apenas a terapia convencional (Rajan & Sahu, 2020).

A capacidade de carregar e liberar fármacos de forma controlada no local do tumor permite uma liberação gradual do medicamento, mantendo a concentração terapêutica necessária por um período prolongado e evitando a administração excessiva do fármaco, que é comum em tratamentos padrão. Estudos comparativos em modelos animais de câncer têm mostrado que esta

metodologia não só melhora a supressão do crescimento tumoral, mas também diminui significativamente a toxicidade associada ao tratamento (Makridis, 2019).

Apesar dos avanços serem impressionantes, é preciso continuar a pesquisa para otimizar ainda mais essas tecnologias, garantindo sua aplicabilidade e segurança em um espectro mais amplo de tipos de câncer. A transição desses tratamentos do ambiente experimental para o clínico representa um desafio que requer uma colaboração estreita entre pesquisadores, médicos e órgãos reguladores, visando transformar essas inovações em soluções viáveis e acessíveis para pacientes oncológicos (Konwar & Deb, 2021).

A avaliação do perfil de segurança e dos efeitos colaterais associados ao uso ajuda a entender seu potencial como alternativa às terapias convencionais de quimioterapia e radioterapia. As nanopartículas magnéticas, projetadas para direcionar e tratar células tumorais com alta especificidade, têm o potencial de reduzir significativamente a toxicidade sistêmica geralmente observada em métodos tradicionais de tratamento (Tong et al., 2019).

Em comparação com a quimioterapia e a radioterapia, que frequentemente causam efeitos adversos severos devido ao impacto indiscriminado em células tanto cancerígenas quanto saudáveis, oferecem uma abordagem mais direcionada. Isso resulta em menor incidência de efeitos colaterais comuns como náuseas, perda de cabelo, fadiga extrema e comprometimento imunológico. Por exemplo, estudos clínicos demonstraram que pacientes tratados com nanopartículas para hipertermia experienciam efeitos colaterais significativamente reduzidos em comparação com aqueles submetidos à radioterapia convencional (Sabença, 2023).

A biocompatibilidade e a biodistribuição dessas partículas ainda são preocupações críticas que necessitam de investigação rigorosa. Efeitos colaterais como reações inflamatórias locais, possível toxicidade dependente da composição das partículas e preocupações sobre a eliminação “*long-term*” das nanopartículas do corpo são áreas de estudo ativo. Estudos recentes têm focado em desenvolver coberturas de nanopartículas que são biodegradáveis e biocompatíveis, visando reduzir esses potenciais riscos (Verma et al., 2023).

A precisão no direcionamento minimiza a exposição do tecido saudável ao tratamento, o que é um avanço considerável em relação aos métodos convencionais. Pesquisas estão em andamento para aprimorar as técnicas de monitoramento em tempo real durante a aplicação de tratamentos com nanopartículas, permitindo ajustes imediatos para maximizar a eficácia e minimizar os efeitos adversos (Caro et al., 2024).

Dessa maneira, enquanto apresentam uma alternativa promissora com um perfil de segurança potencialmente superior para o tratamento do câncer, a colaboração entre engenheiros biomédicos, oncologistas e reguladores é importante para desenvolver normas que garantam a realização plena do potencial terapêutico dessas tecnologias avançadas.

#### **4. Considerações Finais**

Esse estudo contribui significativamente para o campo da nanomedicina em várias frentes. Para alcançar os objetivos propostos, foi realizada uma exploração minuciosa do nanomagnetismo no tratamento e cura do câncer, através de uma revisão bibliográfica extensiva e metódica. As obras escolhidas ofereceram uma visão abrangente da temática e facilitaram a análise das evidências encontradas.

Ao finalizar a pesquisa, observou-se que as nanopartículas magnéticas demonstram uma capacidade significativa para direcionar fármacos de forma precisa a tumores, reduzindo a interação com tecidos saudáveis e minimizando os efeitos colaterais típicos das terapias convencionais, além de agir como excelente agente de contraste de imagem em ressonância magnética nuclear. Esta descoberta está alinhada com as hipóteses iniciais que postulavam a superioridade potencial dessa abordagem sobre métodos mais tradicionais de tratamento de câncer. A revisão também destacou vários estudos de caso recentes, onde o uso

facilitou a aplicação localizada de hipertermia e de agentes quimioterapêuticos, resultando em uma diminuição do tamanho tumoral e em uma melhoria dos índices de sobrevivência em modelos animais.

Importante salientar, a pesquisa trouxe à tona a necessidade de investigações mais aprofundadas sobre a biodistribuição e a eliminação das nanopartículas do corpo, um aspecto crítico que requer avanços para garantir a segurança a longo prazo dessas terapias. A questão das barreiras regulatórias e técnicas para a transição de estudos laboratoriais para aplicações clínicas também foi enfatizada, indicando a urgência de desenvolver normas claras e procedimentos de avaliação mais eficientes.

Para avançar neste campo, é crucial focar em estudos clínicos e de segurança. A avaliação detalhada da biocompatibilidade e toxicidade a longo prazo das nanopartículas magnéticas é essencial. O desenvolvimento de novos materiais, como nanopartículas multifuncionais que combinem capacidades de diagnóstico e tratamento (teranóstica), é uma área promissora. A exploração de materiais biodegradáveis para nanopartículas pode reduzir os riscos de acúmulo no corpo, melhorando a segurança dos tratamentos.

Aplicações ampliadas também são uma direção importante. O desenvolvimento de técnicas para funcionalizar nanopartículas com ligantes que reconheçam biomarcadores específicos de diferentes tipos de câncer pode melhorar a precisão dos tratamentos. Além disso, investigar como a terapia magnética pode ser combinada com outras modalidades de tratamento, como imunoterapia e radioterapia, pode levar a resultados mais eficazes.

Para implementar essas direções, é essencial incentivar colaborações multidisciplinares entre cientistas de materiais, biólogos, oncologistas e engenheiros. Investir em infraestrutura e equipamentos de última geração para caracterização e monitoramento de nanopartículas é crucial. Programas de educação e treinamento devem ser promovidos para capacitar novos pesquisadores nas técnicas e conhecimentos necessários em nanomedicina.

Algumas áreas específicas para futuras investigações incluem a nanotoxicologia, que envolve estudos aprofundados sobre os efeitos a longo prazo das nanopartículas no corpo humano. A personalização do tratamento é outra área promissora, com o desenvolvimento de nanopartículas adaptadas às características genéticas e moleculares de cada paciente. Além disso, a exploração do uso de nanopartículas magnéticas para melhorar a eficácia da imunoterapia contra o câncer pode abrir novas fronteiras no tratamento da doença.

É fundamental destacar a importância de continuar as investigações nesta área para aprimorar o conhecimento existente e intensificar o debate sobre o tema. Tais esforços são essenciais não apenas para a otimização das estratégias terapêuticas atuais, mas também para a evolução contínua da nanomedicina como um campo promissor na luta contra o câncer. A integração de avanços tecnológicos com o rigor científico pode, portanto, abrir novos caminhos para tratamentos mais eficazes e menos invasivos.

## Referências

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pober, J. S. (2000). *Imunologia Celular e Molecular*. Revinter.
- Araújo, L. H., Baldotto, C., Castro Jr, G. de., Katz, A., Ferreira, C. G., Mathias, C., Mascarenhas, E., et al.. (2018). Lung câncer in Brazil. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 44(1), 55–64.
- Belizário, J. E. (2002). O próximo desafio, reverter o câncer. *Ciência Hoje*, 31(184), 51-57.
- Brasil. (2004). Lei n.º 10.973, de 2 de dezembro de 2004. Dispõe sobre incentivos à inovação e à pesquisa científica e tecnológica no ambiente produtivo e dá outras providências. [https://planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.973.htm](https://planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.973.htm)
- Brasil. (2016). Lei n.º 13.243, de 11 de janeiro de 2016. Dispõe sobre estímulos ao desenvolvimento científico, à pesquisa, à capacitação científica e tecnológica e à inovação e dá outras providências. [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13243.htm)
- Bulte, J. W., Duncan, I. D., & Frank, J. A. (2002). In vivo magnetic resonance tracking of magnetically labeled cells after transplantation. *Journal of cerebral blood flow and metabolism: official journal of the international society of cerebral blood flow and metabolism*, 22(8), 899–907.
- Caizer, C., & Rai, M. (2021). *Magnetic nanoparticles in human health and medicine: current medical applications and alternative therapy of cancer*. John Wiley & Sons.

- Cancino, J., Marangoni, V. S., & Zucolotto, V. (2014). Nanotecnologia em medicina: aspectos fundamentais e principais preocupações. *Química Nova*, 37(3), 521–526.
- Caro, C., Guzzi, C., Moral-Sánchez, I., Urbano-Gámez, J. D., Beltrán, A. M., & García-Martín, M. L. (2024). Smart design of znfe and znfe@fe nanoparticles for mri-tracked magnetic hyperthermia therapy: challenging classical theories of nanoparticles growth and nanomagnetism. *Advanced Healthcare Materials*, 13(12). <https://doi.org/10.1002/adhm.202304044>.
- Costa, A. M., & Silva, V. V. (2017). Estratégias nanotecnológicas para diagnóstico e tratamento do câncer. *Revista Saúde e Meio Ambiente*, 5(2), 1–13.
- Dias, B. de P., Ribeiro, E. M. de C., Gonçalves, R. L., Oliveira, D. S., Ferreira, T. H., & Silva, B. de M. (2021). A nanotecnologia no Brasil e o desenvolvimento de produtos com atividade antimicrobiana. *Química Nova*, 44(8), 1084–1092.
- Falleiros, J. P. B., Brandl, A. L., & Fonseca, A. R. A. (2011). Aplicações da nanotecnologia no diagnóstico e tratamento de câncer. *Nucleus*, 8(1), 1–20.
- Faria, Rubens N., & Lima, L. F. C.P. (2005). *Introdução ao magnetismo dos materiais*. Livraria da Física.
- Hermes, E. G. C., & Bastos, P. R. H. de O. (2014). Nanotecnologia: progresso científico, material, global e ético. *Persona Y Bioética*, 18(2), 107–118.
- Instituto Nacional de Câncer. (2022). O que é câncer?. *Instituto Nacional de Câncer – INCA*. <https://www.gov.br/inca/pt-br/assuntos/cancer/o-que-e-cancer>.
- Instituto Nacional de Câncer. (2023). Estimativa 2023 – Incidência de Câncer no Brasil. *Instituto Nacional de Câncer - INCA*. <https://www.inca.gov.br/sites/ufu.sti.inca.local/files/media/document/estimativa-2023.pdf>
- Jesus, M. C. (2002). Imunologia do câncer. *Centro Universitário de Brasília*. <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/2487>
- Joanitti, G. A., Morais, P. C., & Azevedo, R. B. (2022). *Nanotecnologia: considerações em materiais, saúde e meio ambiente*. Editora UnB, 186 (1), 220-256.
- Johnson, G. A., Benveniste, H., Black, R. D., Hedlund, L. W., Maronpot, R. R., & Smith, B. R. (1993). *Histology by magnetic resonance microscopy*. *Magnetic Resonance Quarterly*, 9(1), 1–30.
- Khan, A. U., Chen, L., & Ge, G. (2021). Recent development for biomedical applications of magnetic nanoparticles. *Inorganic Chemistry Communications*. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2021.108995>
- Konwar, K., & Deb, P. (2021). Review of soft computing techniques and nanomagnetism: Impact on biomedical applications. *Soft Computing Techniques and Applications in Mechanical Engineering* (pp. 53-72) <https://doi.org/10.1201/9781003161707-3>
- Lanier, O. L., Korotych, O. I., Monsalve, A. G., Wable, D., Savliwala, S., Grooms, N. W. F., Nacea, C., Tuitt, O. R., & Dobson, J. (2019). Evaluation of magnetic nanoparticles for magnetic fluid hyperthermia. *International journal of hyperthermia: the official journal of European Society for Hyperthermic Oncology, North American Hyperthermia Group*, 36(1), 687–701. <https://doi.org/10.1080/02656736.2019.1628313>
- Lewis, G. (2023). *Understanding nanomagnetism from all angles: Developments in magnetic electron tomography*. Apollo - University of Cambridge Repository. <https://doi.org/10.17863/CAM.97030>
- Makridis, A. (2019). Magnetic nanostructures and nanomagnetism for modern biomedical applications. *Aristotle University Of Thessaloniki*.
- Martins, M. A., & Trindade, T. (2012). Os nanomateriais e a descoberta de novos mundos na bancada do químico. *Química Nova*, 35(7), 1434–1446. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000700026>
- Mattos, P. C. (2015). *Tipos de revisão de literatura*. Unesp, 1-9. Recuperado de <https://www.fca.unesp.br/Home/Biblioteca/tipos-de-evisao-de-literatura.pdf>
- Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. (2024). Sistema Nacional de Laboratórios de Nanotecnologias (SisNano). [https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/incentivo\\_desenvolvimento/sisnano/sisnano.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/tecnologia/incentivo_desenvolvimento/sisnano/sisnano.html)
- Organização Pan-Americana da Saúde (2020). Câncer. *Organização Mundial da Saúde*. <https://www.paho.org/pt/topicos/cancer>
- Pereira, N.M.S. (2012). Desenvolvimento de nanopartículas para aplicações biomédicas. *Escola Superior de Tecnologia e Gestão Instituto Politécnico de Bragança*. Recuperado de [https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/8218/1/Pereira\\_Nuno.pdf](https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/8218/1/Pereira_Nuno.pdf)
- Rajan, A., & Sahu, N. K. (2020). Review on magnetic nanoparticle-mediated hyperthermia for cancer therapy. *Journal of Nanoparticle Research*, 22(11). <https://doi.org/10.1007/s11051-020-05045-9>
- Rother, E. T. (2007). Revisão sistemática x revisão narrativa. *Acta paulista de enfermagem*. 20 (2). <https://doi.org/10.1590/S0103-21002007000200001>
- Rodrigues, F. V. P. (2019). *Desmistificando a neutralidade da ciência e da tecnologia: uma proposta sobre nanociência*. Instituto de Física da Universidade de Brasília. Recuperado de [http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/39276/1/2019\\_FranciscaVaniaPereiraRodrigues.pdf](http://icts.unb.br/jspui/bitstream/10482/39276/1/2019_FranciscaVaniaPereiraRodrigues.pdf)
- Sabença, C. C.S. (2023). *Avaliação da influência da força iônica na síntese de nanopartículas de fe3o4 para aplicação de hipertermia magnética*. Universidade Federal Fluminense.
- Silva, V. & Costa, I. & Barros, R. & Almeida, C. & Gonzaga, M. (2021). *Nanotecnologia aplicada ao tratamento do câncer*. *Revista Saúde em Foco*, 13, 95-107.
- Tong, S., Zhu, H., & Bao, G. (2019). *Magnetic iron oxide nanoparticles for disease detection and therapy*. *Materials Today* (Kidlington, England), 31, 86–99. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2019.06.003>

Verma, J., Warsame, C., Seenivasagam, R. K., Katiyar, N. K., Aleem, E., & Goel, S. (2023). *Nanoparticle-mediated cancer cell therapy: basic science to clinical applications*. *Cancer Metastasis Reviews*, 42(3), 601–627. <https://doi.org/10.1007/s10555-023-10086-2>

Veronez, L., Salomão, K., das Chagas, P., Barbieri, M., Scrideli, C., & Tone, L. (2019). *Genética e imunologia do câncer para alunos do ensino básico: relato de uma experiência*. *Revista Brasileira de Extensão Universitária*, 10(2), 63-70. <https://doi.org/10.24317/2358-0399.2019v10i2.10625>

Yigit, M. V., Moore, A., & Medarova, Z. (2012). Magnetic nanoparticles for cancer diagnosis and therapy. *Pharmaceutical Research*, 29(5), 1180–1188. <https://doi.org/10.1007/s11095-012-0679-7>

Zhang, X. and Webb, A. (2005). *Design of a four-coil surface array for in vivo magnetic resonance microscopy at 600 MHz*. *Concepts in Magnetic Resonance*. 24B: 6-14. <https://doi.org/10.1002/cmrb.20022>