Como as Práticas de Segurança em Ressonância Magnética Impactaram a Medicina Moderna

How Magnetic Resonance Safety Practices Have Impacted Modern Medicine

1. Giovanna Alessandra Salvador Vieira
1. Nubia Luisa Alvares Garcia
2. Orientadora: Ma. Patrícia Lius Melo Alves
Afiliação: 1. Acadêmicas do curso de Biomedicina da Universidade de Sorocaba
2. Professora assistente da Universidade de Sorocaba

Resumo: A ressonância magnética (RM) é um método de diagnóstico por imagem que utiliza fortes campos magnéticos para produzir imagens detalhadas do corpo humano sem a exposição à radiação ionizante, sendo amplamente valorizada na medicina moderna pela precisão e segurança. Desde sua introdução, a RM tem sido fundamental para o diagnóstico e acompanhamento de inúmeras condições médicas, diferenciando tecidos com alta precisão e possibilitando a revelação precoce de alterações no corpo humano. No entanto, seu uso exige rigorosos protocolos de segurança devido a força do campo magnético, que tem capacidade de provocar deslocamento e aquecimento de implantes metálicos, além de complicações em pacientes com dispositivos cardíacos. Para mitigar esses riscos, a RDC 611/2022 da ANVISA estabelece normas para a operação segura de equipamentos de RM, incluindo diretrizes de zoneamento, programas de qualidade e exigências de treinamento especializado para os profissionais do setor. Esta revisão de literatura examina as práticas de segurança em RM, ressaltando as adaptações e regulamentações necessárias para garantir a proteção de pacientes e profissionais. Apesar dos avanços, a capacitação contínua e a conscientização sobre essas normas de segurança ainda representam desafios importantes. Assim reforçando a necessidade de atualizações constantes, tanto tecnológicas quanto regulamentares, para assegurar o uso eficaz e seguro da RM na prática médica, maximizando seus benefícios no diagnóstico e tratamento de diversas condições.
Palavras-chave: Imagem por ressonância magnética; segurança; acidentes; implantes; RDC 611;

Abstract: Magnetic Resonance Imaging (MRI) is a diagnostic imaging method that uses strong magnetic fields to produce detailed images of the human body without exposure to ionizing radiation, making it highly valued in modern medicine for its precision and safety. Ever since it was implemented, MRI has been fundamental in the diagnosis and monitoring of numerous medical conditions, distinguishing tissues with high precision and enabling early detection of changes in the human body. However, its use requires strict safety protocols due to the strength of the magnetic field, which can cause movement and heating of metallic implants, as well as complications in patients with cardiac devices. To mitigate these risks, ANVISA's RDC 611/2022 establishes standards for the safe operation of MRI equipment, including zoning guidelines, quality assurance programs, and specialized training requirements for professionals in the field. This literature review examines MRI safety practices, highlighting the adaptations and regulations needed to ensure the protection of both patients and professionals. Despite advances, continuous training and awareness of these safety standards remain significant challenges. This highlights the need for continuous updates, both in technology and regulation, to guarantee the effective and safe use of MRI in medical practice, maximizing its benefits for the diagnosis and treatment of various conditions.
Keywords: Magnetic resonance imaging; safety; accidents; implants; RDC 611;

1 INTRODUÇÃO

O funcionamento do aparelho de Ressonância Magnética (RM) é fundamentado na formação de campos eletromagnéticos que alteram os vetores do corpo humano por meio de pulsos de radiofrequência (RF). Esses pulsos excitam as moléculas de hidrogênio que estão presentes em abundância no corpo humano, emitindo sinais eletromagnéticos captados pelas bobinas da máquina e resultando na formação de imagens computacionais em tons de cinza de acordo com a quantidade de átomos presentes em cada região anatômica.[1,2]

Afim de prolongar a estimativa de vida humana, a indústria clínica investe ativamente em tecnologias e inovações que cada vez mais identificam precocemente uma alteração no corpo humano. Dentre estes avanços, a RM, que é um método de diagnóstico por imagem capaz de diferenciar órgãos e tecidos com alta precisão, possui uma larga escala de serviços e não expõe o paciente a radiação ionizante, sendo um método considerado seguro.[3,4]

Deste modo, a regulamentação de protocolos de segurança nestes serviços de diagnósticos é essencial para proteger não apenas o paciente, mas também todo o setor de RM. Ressalta-se que, através da RDC 611/2022 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), são estabelecidos os parâmetros técnicos relacionados aos estabelecimentos de serviços de radiologia diagnóstica, mas vale enfatizar que a segurança do estabelecimento de RM só é garantida uma vez que todos os profissionais do setor são capacitados para lidar com um aparelho de alto campo magnético.[4,5]

A primeira imagem de ressonância magnética foi gerada em 1972, quando Paul Lauterbur introduziu o uso de gradientes espaciais no campo magnético, permitindo a variação da frequência de precessão dos prótons e a criação de imagens bidimensionais. Em 1977, Raymond Damadian desenvolveu o primeiro scanner de RM, que utilizava um campo eletromagnético de baixa intensidade. Desde então, a tecnologia tem evoluído continuamente, levando ao crescimento significativo no número de exames realizados anualmente.[6]

Atualmente, estima-se que cerca de 75 milhões de exames de RM sejam realizados anualmente, evidenciando um crescimento significativo no volume de exames ao longo dos últimos anos. Com uma expectativa de aumento de 10% ao ano nos países do Ocidente, a RM continua a se afirmar como um método essencial para a detecção precoce e o acompanhamento de diversas condições médicas, refletindo seu papel fundamental na evolução contínua da medicina.[5]

Devido à sua relevância, houve a necessidade de adaptar implantes biológicos com menores atividades ferromagnéticas para garantir a segurança do paciente e reduzir os

artefatos provocados pelos dispositivos implantados. Contudo, os implantes biológicos mais antigos, fabricados com materiais ferromagnéticos, ainda são comumente encontrados dentre a população, podendo causar o deslocamento e/ou aquecimento dos implantes biológicos durante o exame de RM.[7]

Com base nessas informações, o objetivo deste trabalho é destacar a importância da RM como um método de diagnóstico por imagem, além de apresentar as adaptações implementadas na medicina moderna para aprimorar a segurança dos pacientes e dos profissionais nos setores deste método de exame.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa delibera, por meio de consultas em bases de dados como PubMed e Google Acadêmico, uma revisão de literatura sobre trabalhos científicos que discorrem temáticas que envolvem a segurança em RM e o impacto desta tecnologia na rotina médica. É necessário enfatizar a importância das normas de segurança em ambientes de RM durante todo o processo de execução da pesquisa realizada.

Os trabalhos científicos foram selecionados de acordo com o título e resumo, por meio dos descritores vindos da plataforma Descritores em Ciência e Saúde (DeCS): imagem por ressonância magnética, segurança, acidentes, marca passo cardíaco artificial, clipes de aneurisma, queimaduras, implantes e RDC 611. Equitativamente, os seguintes descritores foram traduzidos para a língua inglesa: Magnetic Resonance Imaging, Safety, Accidents, Pacemaker Artificial, Aneurysm Clips, Burns e Implants.

Como critério de inclusão a pesquisa obteve o operador (AND), além de selecionar os documentos: artigos de revisão, relatos de caso, portarias e livros científicos publicados no período de 2014 a 2024. Deste modo, documentos sem validação científica como sites, blogs, enciclopédias, notícias e publicações que antecedem o ano de 2014 foram estabelecidos como o critério de exclusão.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Princípios Físicos

Os princípios físicos da RM se baseiam no comportamento dos núcleos de átomos de hidrogênio, uma vez que são submetidos através da combinação de um alto campo magnético e uma excitação de determinada frequência (frequência de Larmor) resultando em um rádio sinal que pode ser captado e transformado em imagem. Ou seja, quando os prótons são colocados no centro do campo magnético (B0), ocorre uma sinergia com a frequência do ressonador, que emite sinais qual são utilizados para a formação de imagens.[4]

O corpo humano possui diferentes quantidades de hidrogênio em cada tecido, derivado principalmente da molécula de água, portanto, para a aquisição de imagens é necessário identificar as diferentes frequências de precessão. A partir desta frequência, é possível selecionar diferentes tecidos do corpo humano por meio de gradientes de campo magnético, mas para a formação da imagem são realizadas três etapas sob o gradiente.[4]

A seleção de corte que ocorre por meio de um pulso de RF de 90 graus qual excita a região alvo selecionando o volume de prótons presente. A codificação de fase, que por sua vez realiza uma aceleração na frequência de precessão resultando na diferenciação de fase dos prótons devido a direção do gradiente e pôr fim a codificação de frequência, que ocorre por meio da alteração do campo magnético sob este gradiente, levando a uma mudança na frequência de prótons de acordo com sua localização espacial.[4,8]

Portanto, para que a técnica de diagnóstico seja bem-sucedida, é crucial entender os possíveis interferentes, como os objetos ferromagnéticos, que apresentam alta susceptibilidade magnética devido à influência do campo magnético sobre sua estrutura molecular. Esse conhecimento dos princípios físicos da RM não só permite a obtenção de imagens de alta qualidade, como também assegura que o procedimento seja realizado de forma segura.[4,8]

Através das três etapas (seleção de corte, codificação de fase e codificação de frequência) ocorre o preenchimento do espaço K, que é considerado uma matriz qual cada ponto de seu preenchimento corresponde por uma intensidade de sinal e uma posição no tempo representando a amplitude de sinais captados pelas bobinas no dado momento. Portanto, cada ponto preenchido do espaço K possui informações de todo o corte, considerando que quanto maior for a quantidade de linhas nesta matriz, maior é o tempo de aquisição e a quantidade de sinal coletado.[8]

Assim, quanto mais linhas forem preenchidas no espaço K, maior será o tempo necessário para adquirir a imagem, mas também maior será a quantidade de informações disponíveis para a formação de uma imagem mais detalhada e precisa. No entanto, se ocorrer a presença de artefatos durante o processo de aquisição, especialmente no momento da sequência de pulsos, esses artefatos podem se propagar por toda imagem, distorcendo partes essenciais comprometendo a qualidade e precisão diagnóstica.[8]

3.2. Segurança

Em 2022, foi publicada a RDC/Anvisa nº 611 no Diário Oficial da União, que discorre sobre os requisitos necessários para a organização e funcionamento de serviços de radiologia diagnóstica ou intervencionista. Vale ressaltar que a resolução também estabelece a implementação de programas de garantia de qualidade e proteção radiológica, envolvendo

o monitoramento individual dos trabalhadores. Além disso, estipula a execução de protocolos de segurança e treinamento dos profissionais, garantindo que estejam atualizados com as técnicas de segurança.[9]

Também se destaca a importância da Instrução Normativa nº 97, publicada em 2021, que por sua vez descreve detalhadamente todos os parâmetros sanitários necessários para garantia de qualidade em serviços de RM. Assim padronizando a segurança nesses serviços, abrangendo desde a identificação de zonas específicas até a construção adequada das salas onde os exames serão realizados.[10] Conforme ilustrado no Quadro 1, o zoneamento de segurança é dividido em quatro zonas (Zona I a IV), cada uma com diferentes níveis de restrição e medidas de segurança.

Quadro 1 – Zoneamento de Segurança em Ressonância Magnética

Zona	Descrição	Características Principais	Observações
Zona I	Áreas Externas e Recepção	Acesso livre ao público. Não requer sinalização obrigatória, exceto se a recepção for próxima de áreas internas sendo então considerada Zona II.	Acessível ao público sem restrições de segurança específicas.
Zona II	Corredor de Acesso à MRI	Pacientes supervisionados. Realização de questionário de segurança para detecção de metais antes de entrar em sala. Acesso controlado.	Pacientes não podem estar sozinhos; devem ser acompanhados por colaboradores da RM. Sinalização para área com campo magnético maior. Portas com restrição de acesso.
Zona III	Corredor Interno e Áreas sem Barreira Física	Acesso restrito a colaboradores da RM e pessoas treinadas. Materiais são verificados quanto à segurança no ambiente de RM.	Pacientes e visitantes supervisionados. Materiais móveis precisam ser classificados e identificados. Portas restritas. Sinalização sobre riscos.
Zona IV	Sala do Magneto (Área mais restrita)	Área de maior perigo com riscos de campo magnético radiofrequência gradientes e criogênicos. Sinalização obrigatória e restrição de acesso.	Lâmpada indicadora de campo magnético ativo ("Magnet On"). Acesso somente para pessoal treinado. Emergências devem ser tratadas fora da zona antes de atendimentos.

Fonte: Adaptado de Mazzola AA, *et al*. (2019)

A Instrução Normativa enfatiza a segurança relacionada a processos de trabalho, destacando a importância de obter profissionais treinados para lidar com alto campo magnético gerados pelos equipamentos. Adicionalmente, aborda os cuidados individuais que os profissionais precisam ter, além das precauções necessárias com o público que irá frequentar o local.[10]

Atualmente, o diagnóstico por imagens de RM tem recebido grande destaque no campo da medicina devido à sua capacidade de avaliar uma ampla variedade de alterações no corpo humano. Esse método de imagem é reconhecido como referência no acompanhamento de diversas doenças e uma das principais vantagens é a não emissão de radiação ionizante, tornando-a como uma opção segura em comparação com outras técnicas de imagem. No entanto, devido a utilização de altos campos magnéticos, é imprescindível o estabelecimento de protocolos de segurança a fim de evitar acidentes que possam ocorrer devido ao ímã do equipamento.[2]

3.3. Acidentes

Para amenizar os riscos associados aos intensos campos magnéticos da RM, uma série de medidas preventivas são implementadas, visando evitar possíveis acidentes. Diversas ocorrências relacionadas a estruturas metálicas são reportadas em hospitais que apresentam alta demanda de exames de RM, ocasionando sérias consequências aos pacientes e profissionais.[11]

A implementação de protocolos em clínicas e hospitais onde são realizados exames de RM são imprescindíveis para que se possa evitar acidentes e garantir a segurança do ambiente. Além disso, é fundamental proporcionar treinamento adequado para profissionais menos experientes, destacando a importância da verificação dos dados paciente, bem como os exames anteriores à realização da RM e dos potenciais objetos que não são permitidos próximos ao alto campo magnético.[11]

Como um exemplo da falta de cuidados relacionado com pessoas inexperientes sobre os protocolos de segurança, em Nova Deli no ano de 2014, um técnico de RM notificou a um porteiro do recinto a necessidade de uma máscara de oxigênio, no entanto o porteiro que era leigo no assunto compreendeu que o solicitado era um tanque de oxigênio. Como conclusão desta comunicação errônea, o porteiro levou o tanque de oxigênio para dentro da sala sendo puxado e prensado pelo aparelho, qual precisou permanecer durante 4 horas devido a falha do botão quench, responsável pelo desligamento do campo magnético.[3]

3.4. Queimaduras

É importante se atentar sobre presença de componentes metálicos nos sistemas de administração transdérmica de medicamentos, conforme evidenciado por uma pesquisa realizada na Espanha. Mais da metade dos medicamentos evidenciados na pesquisa possuíam partículas metálicas elevando a ocorrência de queimaduras na pele durante exames de RM. A falta de instrução sobre a necessidade de remover o adesivo antes de realizar o exame representa uma carência na informação, ressaltando a importância de uma

abordagem mais abrangente para garantir a segurança dos pacientes.[12]

À vista disso, é fundamental que profissionais da saúde estejam cientes desses riscos e adotem medidas preventivas ao lidar com pacientes que apresentam queimaduras ou que estão sujeitos a procedimentos médicos envolvendo a exposição a campos magnéticos. A divulgação de informações claras e precisas sobre a importância das regulamentações e normativas existentes para o uso de aparelhos com alto campo magnético se mostram essenciais para garantir a segurança dos pacientes.[12]

No relato de caso envolvendo a queimadura de contato pele a pele, é descrito que as pernas do paciente foram pressionadas no momento do posicionamento do exame causando uma sensação de queimação na região das coxas. Após a realização do exame, foi realizada uma biópsia da queimadura ocasionada, revelando uma necrose epidérmica e alterações coagulativas na parte superficial da pele, consistindo em uma lesão grave.[13]

Evidencia-se também os riscos relacionados a processos estéticos, tais como tatuagens realizadas recentemente, devido a presença de partículas metálicas na composição da tinta, levando a interação com o magneto do aparelho, ocasionando queimaduras. Além disso, apenas o contato pele com pele durante o exame já é suficiente para ocasionar uma queimadura, isso acontece devido a capacidade da máquina emitir alta potência de RF levando a formação de um ciclo de pulsos de RF resultando a uma queimadura devido ao aquecimento.[8,13]

As queimaduras na pele possuem um potencial significativo para causar danos permanentes, perda de funcionalidade e habilidades, além de sequelas físicas, estéticas e psicológicas. Em relação aos exames de RM, é importante considerar que os pacientes podem estar suscetíveis a queimaduras decorrentes não apenas da exposição a uma elevada taxa de absorção de RF, mas também devido à presença de componentes metálicos em seus corpos.[14]

Quando se trata do atendimento a pacientes obesos, a realização de alguns exames de RM apresenta desafios, exigindo abordagens específicas devido às características anatômicas e fisiológicas desse grupo populacional. A taxa de absorção específica (SAR) da energia da RF depositada nos tecidos pode levar a complicações, incluindo aumento da infecção local em casos de queimadura. Estratégias como a terapia por pressão negativa (TPN) têm sido empregadas durante o tratamento dessas lesões, oferecendo uma alternativa aos métodos convencionais.[14]

3.5. Implantes

O risco do aquecimento vale também para pacientes com implantes ortopédicos e pesquisas realizadas nos implantes à base de magnésio (Mg) foram realizadas para

compreender a influência com a composição e o aquecimento dos implantes. Testes foram elaborados com parafusos de compressão ortopédica à base da liga WE43, equivalentes de titânio, compostas de magnésio ligado com ítrio.[15]

Os testes foram iniciados a partir da corrosão in vitro em solução salina tamponada com fosfato de Dulbecco (DPBS), a monitoração evidenciou que o aquecimento máximo ocorreu nos estágios iniciais da corrosão, antes de formar a degradação. Durante o aumento do tempo de corrosão, houve diminuição de temperatura, mas não observaram diferenças significativas entre o aquecimento induzido por RF nos parafusos WE43 e no equivalente de titânio.[15]

O aquecimento por RF é influenciado pela composição e geometria dos implantes. A degradação apresenta redução na temperatura e, em relação à geometria dos parafusos, houve reduções com formação de camadas de degradação, que influenciam no aquecimento dos implantes durante a RM. Os resultados apresentados em ambas as pesquisas sobre implantes possuem implicações valiosas para a segurança e monitoramento do aquecimento durante a RM.[15]

O aquecimento, ocasionado pela RF durante exames de RM, traz sérias consequências e limitações para pacientes que possuem algum tipo de implante, principalmente para aqueles que possuem estimulação cerebral profunda (DBS) e necessitam de um exame de RM após a implantação do implante cerebral. Em vista disso, foram desenvolvidas pesquisas que possam estudar como ocorre o aquecimento ao redor de contatos dos eletrodos DBS, permitindo exames de RM seguros para esses pacientes. As pesquisas promovem a medição da corrente induzida nos eletrodos durante uma pré-varredura, assim conseguindo “prever” o aquecimento por RF, consequentemente possibilitando ajustar os parâmetros de imagem e garantir que os limites de temperatura sejam respeitados.[16]

Os testes para essa pesquisa foram realizados em um “Phantom” de cabeça humana, usado para demonstrar concordância entre os resultados simulados experimentais, podendo observar a consistência da transimpedância do eletrodo independentemente das condições de excitação da RF. Apesar do avanço, serão necessárias mais investigações acima da transimpedância para compreender como ocorre a variação em relação a geometria do eletrodo e os materiais utilizados.[16]

3.6. Marcapasso Artificial

O exame de RM para pacientes com dispositivos eletrônicos cardíacos implantáveis (CIEDs), foi apresentado primariamente como um desafio no diagnóstico por imagem, uma vez que o campo eletromagnético interfere diretamente no funcionamento do marcapasso. Portanto, a busca para a inclusão deste grupo de possíveis pacientes, foi imprescindível a

necessidade de desenvolvimento e melhoria de tecnologias envolvidas ao dispositivo capazes de tornar-se possível o atendimento desta população.[17]

Diretrizes foram estabelecidas no Reino Unido, Europa e EUA para assegurar a segurança durante os exames. No entanto, a implementação prática enfrenta barreiras logísticas, resultando em uma carência de exames de RM para esses pacientes. Nos EUA, pacientes com CIEDs têm 40 a 50 vezes menos probabilidade de serem encaminhados para RM do que deveriam. Situações semelhantes são encontradas em países como Irlanda, Itália e Reino Unido, onde pacientes relatam atrasos e recusas frequentes, intensificando a discrepância entre esses países na saúde.[17]

Para melhorar o acesso e garantir a segurança, é fundamental instruir médicos e pacientes, simplificar protocolos e promover colaborações entre diferentes áreas. Novas tecnologias, como os pacemakers SureScan® da Medtronic, e estratégias organizacionais, como centralização de expertise e agendamentos específicos para exames de RM, podem facilitar esses processos. A demanda por RM em pacientes com CIEDs é alta e crescente, ressaltando a importância de implementar mudanças rápidas para garantir diagnósticos e tratamentos eficazes.[17,18]

A Medtronic, empresa focada em tecnologias médicas, desenvolveu o sistema SureScan® para auxiliar pacientes com CIEDs que precisam se submeter a exames de imagem. Um exemplo dessa inovação é o sistema EnRhythm MRI SureScan, que inclui ajustes de hardware para minimizar a transmissão de energia e introduzir o novo parâmetro, amenizando o ruído durante a RM e prevenindo possíveis complicações.[18]

Enfatiza-se também o desenvolvimento dos cabos-eletrodos CapSureFix MRI SureScan, os quais foram modificados para minimizar o risco de superaquecimento durante a RM. Além disso, o sistema apresenta o modo MVP, permitindo a estimulação no ventrículo direito apenas quando necessário, reduzindo os riscos de complicações cardíacas associadas e tendo como resultado a representação do avanço significativo da medicina relacionada aos pacientes com CIEDs e a compatibilidade com RM.[18]

3.7. Clipes de Aneurisma

A realização da anamnese prévia em pacientes que possuem os clipes de aneurisma ou outros dispositivos ferromagnéticos também é de suma importância para que seja garantida a segurança e a eficácia do exame. No que se diz respeito aos clipes de aneurisma, a RM não é contraindicada, mas é necessário que seja realizada uma avaliação dos dispositivos para que o exame seja executado nas condições apresentadas pelo fabricante.[19]

Apesar de não ser necessariamente proibido o exame com esses dispositivos, nem

todos os clipes são seguros para a RM, já que existem registros de acidentes graves envolvendo o deslocamento dos clipes incompatíveis com o equipamento de RM. Deste modo, uma pesquisa realizada na Holanda, elaborou perguntas voltadas ao departamento de neurocirurgia referentes a modelos e a quantidade de clipes implantados ao decorrer dos anos, com a finalidade de identificar o ano exato que a composição dos implantes deixou de ser ferromagnética em campos de 1,5 e 3 teslas.[19,20]

O resultado da pesquisa identificou que até o ano de 2018, dos 349 modelos de clipes listados na base de dados *MRIsafety.com*, 173 foram classificados como seguros, 157 foram designados como segurança condicional e apenas 18 modelos destacados como inseguros. Assim, foram desenvolvidas diretrizes para auxiliar na avaliação de risco dos pacientes que possuem os implantes, para garantir a segurança antes de realizar exames de RM.[20]

O aneurisma intracraniano ocorre uma vez que a pressão sanguínea normal do vaso causa uma dilatação incomum na parede arterial, geralmente no Polígono de Willis, devido ao enfraquecimento do tecido, o qual pode crescer lentamente e progressivamente até causar uma hemorragia. Sua tradicional intervenção cirúrgica é através do procedimento de clipagem na região do aneurisma, que leva ao bloqueio da circulação sanguínea assim evitando o possível rompimento.[4]

Por mais que o material dos clipes seja passível ao contato com o forte campo magnético, é recomendado a realização de testes relacionados à segurança magnética antes da intervenção cirúrgica para a garantia total da segurança do paciente. Destaca-se também a necessidade de orientações específicas e objetivas sobre estes implantes de maneira efetiva no campo de trabalho, assim evitando possíveis danos à saúde do paciente.[4]

4 RESULTADOS

Com a finalidade de apontar a importância da RM como método de diagnóstico e seu impacto nos avanços da medicina, a pesquisa desenvolvida traz como resultado as informações mais recentes de acordo com as publicações científicas envolvidas na temática do projeto. Deste modo enfatizando a importância da compreensão sobre a segurança em ambiente com alto campo magnético, a fim de diminuir quantitativamente os acidentes envolvendo o equipamento de RM de modo didático.

De acordo com a metodologia inicial proposta no trabalho, houve a identificação de 212 trabalhos através da base de dados PubMed, conforme mostrado no Quadro 2. Adicionalmente, por meio da plataforma Google Acadêmico, foram obtidas 29 publicações, conforme descrito no Quadro 3.

Quadro 2 - Bases de dados e sintaxes utilizadas na revisão literária.

Plataforma de Pesquisa	Total de Artigos	Palavras-chave/Descritores
PubMed	15	Magnetic Resonance Imaging AND Accidents AND Safety
	21	Magnetic Resonance Imaging AND Burns AND Safety
	170	Magnetic Resonance Imaging AND Implants AND Safety
	3	Magnetic Resonance Imaging AND Pacemaker, Artificial AND Safety
	3	Magnetic Resonance Imaging AND Aneurysm Clips AND Safety

Fonte: elaboração própria

Quadro 3 - Bases de dados e sintaxes utilizadas na revisão literária.

Plataforma de Pesquisa	Total de Artigos	Palavras-chave/Descritores
Google Acadêmico	20	Ressonância Magnética Segurança
	2	Ressonância Magnética Acidentes
	1	Ressonância Magnética Queimaduras
	2	Ressonância Magnética Implantes
	3	Ressonância Magnética Marcapasso Artificial
	1	Ressonância Magnética Clipes de Aneurismas

Fonte: elaboração própria

Após a análise inicial dos resultados, realizou-se uma filtragem de publicações, priorizando as mais recentes e alinhadas à temática da pesquisa. Como resultado desse processo, a quantidade de trabalhos científicos selecionados foi atualizada para 13, dos quais 5 foram obtidos por meio da plataforma Google Acadêmico, conforme mostra o Quadro 4 e os outros 8 indexados pelo PubMed, evidenciados no Quadro 5. No entanto, foi necessário a inserção de uma publicação proveniente da plataforma Google Acadêmico realizada em 2008, devido a quantidade de informações pertinentes ao tema proposto na pesquisa atual, assim totalizando 14 publicações ao todo.

Vale ressaltar que a filtragem quantitativa dos artigos contribui com os critérios de exclusão estabelecidos através da metodologia, assim resultando apenas os artigos que possuem relação direta com a temática apresentada. Destaca-se também que das publicações selecionadas na segunda fase de filtragem, do total de publicações indexadas das plataformas descritas anteriormente, 6 estão em língua portuguesa e 8 estão na língua inglesa.

Após a obtenção dos artigos filtrados para a validação da temática, os quadros a seguir discorrem sobre os pontos chave de cada trabalho, apontando o nome dos autores, ano de publicação e citação direcionada com o objetivo da pesquisa atual separados por meio das bases de dados que disponibilizaram cada trabalho.

Quadro 4 – Descrição dos estudos incluídos do Google Acadêmico na revisão literária.

Autor e ano	País	Tipo de estudo	Resultado
Soares GS, et al. 2008[18]	Brasil	Estudo clínico randomizado	Discorre sobre a avaliação da eficácia de um novo marcapasso projetado para uso seguro durante exames de RM.
Santos MAL. 2016[8]	Brasil	Revisão narrativa	Mostra a importância da verificação diária de parâmetros do equipamento de RM, buscando possíveis problemáticas que levem a influenciar nos resultados.
Paiva Nunes W. 2018[4]	Brasil	Revisão integrativa	Discorre sobre a prevenção de acidentes envolvendo clipes de aneurisma cerebral em serviços de RM.
Mazzola AA, Stieven KI, Neto GH, Cardoso G de M. 2019[3]	Brasil	Revisão integrativa	Fornece diretrizes práticas para incorporar medidas de segurança nos procedimentos diários de serviços clínicos e de pesquisa em RM.
Lima Guerra D. 2022[2]	Brasil	Estudo qualitativo	Realiza um estudo da RDC n. 611 e IN97 e propõe uma estratégia para implementar novos requisitos em serviços de RM na rede privada de saúde do Município de Fortaleza.

Fonte: elaboração própria

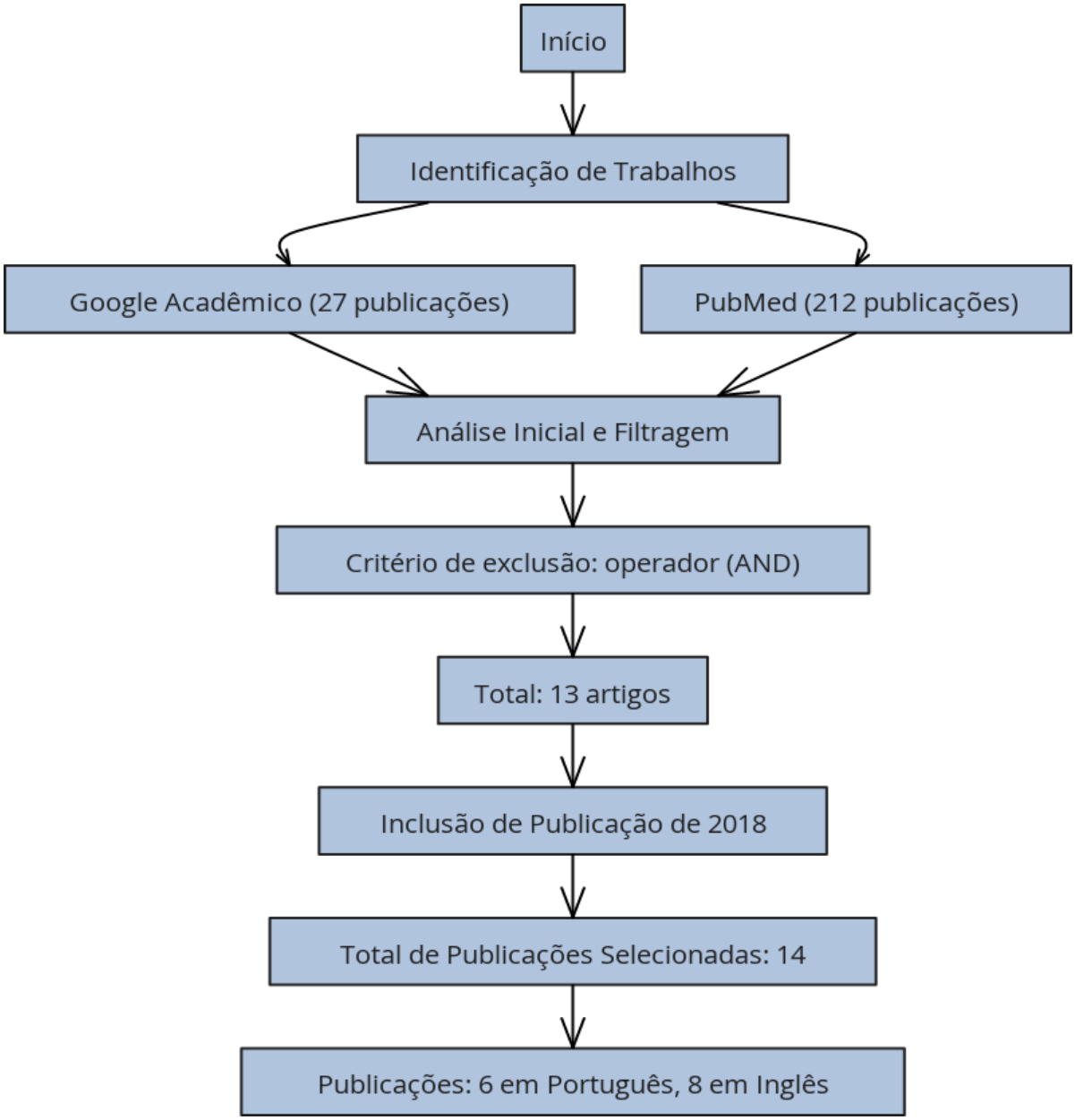
Quadro 5 – Descrição dos estudos incluídos do PubMed na revisão literária.

Autor e ano	País	Tipo de estudo	Resultado
Mandel NS, Ramdial JL, Marcus EN. 2017[13]	Estados Unidos	Relato de caso	O artigo discorre sobre um paciente que desenvolveu lesões bolhosas após RM devido a queimaduras térmicas por contato pele a pele.
Bhuva AN, et al. 2020[17]	Reino Unido	Estudo observacional	O objetivo do artigo é promover a implementação de serviços de RM para pacientes com dispositivos cardíacos,visando garantir o mesmo acesso ao exame que o restante da população.
Espiritu J, et al. 2023[15]	Alemanha	Estudo experimental	O artigo estuda como os implantes ortopédicos de magnésio se aquecem durante a RM.
Inaguma K, et al. 2023[11]	Japão	Revisão sistemática	Realiza uma análise de acidentes relacionados a objetos ferromagnéticos levados a sala de RM em bases de dados multicêntrico nacional.
Courtman M, et al. 2024[19]	Reino Unido	Estudo observacional	O artigo aborda o uso de recursos computacionais paraclassificar imagens, visando melhorar os procedimentos ea segurança dos pacientes.
Hofman MBM, et al. 2024[20]	Holanda	Revisão sistemática	Explora materiais de clipes de aneurisma compatíveis e incompatíveis, além de recomendações para avaliação de riscos dos pacientes.
Zulkarnain NIH, et al. 2024[16]	Estados Unidos	Estudo experimental	Realiza uma pesquisa voltada ao potencial de aquecimento por radiofrequência em torno de eletrodos de DBS em Phantom antropomórfico de crânio.
Lorenzo-Pinto A, et al. 2023[12]	Espanha	Estudo observacional descritivo	Revisa a presença de componentes metálicos em medicamentos de administração transdérmica comercializados na Espanha.

Fonte: elaboração própria

Em virtude dos resultados obtidos por meio da metodologia proposta no trabalho, foi elaborado um fluxograma explicativo com todas as etapas da pesquisa, conforme representado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma do processo de identificação e seleção de publicações utilizadas na pesquisa.



Fonte: elaboração própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo sobre as práticas de segurança em RM evidenciou a importância desse método de diagnóstico para a medicina moderna, destacando sua capacidade de gerar imagens detalhadas sem a utilização de radiação ionizante. Contudo, a necessidade de protocolos de segurança rígidos é fundamental para evitar acidentes relacionados ao uso do aparelho.

A análise de diversas pesquisas mostra que os incidentes envolvendo a incompatibilidade com dispositivos biológicos e/ou a falta de orientação nos setores de RM ainda são consideráveis. Esses problemas são agravados em situações onde há falhas na aplicação de normas regulamentadas, como as definidas pela RDC 611/2022 da ANVISA. O desenvolvimento de implantes compatíveis e o aprimoramento das práticas de treinamento para profissionais de saúde são essenciais para reduzir esses riscos.

Com a demanda por exames de ressonância magnética crescendo e ultrapassando 75 milhões de exames anuais, é crucial manter a adaptação constante das tecnologias e das regulamentações. Apesar dos avanços alcançados, a segurança nesse campo continua sendo um desafio, exigindo esforços contínuos para assegurar que seus benefícios sejam plenamente aproveitados, sem colocar em risco a integridade de pacientes e profissionais.

REFERÊNCIAS

1. Gama Rodrigues A, Almeida da Silva P, Ribeiro D'Almeida Couto ÁA, Monteiro Sanches JL. Paciente portador de marca-passo cardíaco e a evolução na realização de ressonância magnética: uma revisão sistematizada. Interdiscip Meta. 2023;1(1):63.
2. Lima Guerra D. RDC 611 na prática: desafios e estratégias para a implantação da in97 - ressonância magnética nuclear [Dissertação de Mestrado na Internet]. São Paulo: INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES; 2022 [citado 23º outubro 2024]. 78 p. Disponível em: https://repositorio.ipen.br/entities/publication/47ed994c-0722-48c7-8d3c-7ce507e0c9b2
3. Mazzola AA, Stieven KI, Neto GH, Cardoso G de M. Segurança em Imagem por Ressonância Magnética. Rev Bras Fis Med [Internet]. 1º de setembro de 2019 [citado 23º outubro 2024];13(1):76-91. Disponível em: https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/519
4. Paiva Nunes W. Segurança envolvendo clipes de aneurismas cerebrais para exames de imagem por ressonância magnética [Internet]. Florianópolis: Instituto Federal Santa Catarina; 2018 [citado 23º outubro 2024]. 47 p. Disponível em: https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/519
5. Rosatti SFC, Araújo-Moreira FM, Trevelin LC, Rosa S. Ressonância magnética de tórax em portadores de dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis condicionais para ressonância magnética: contraindicaçao clássica ou exame seguro: Ressonância magnética de tórax em portadores de dispositivos cardíacos eletrônicos implantáveis condicionais para ressonância magnética: contraindicaçao clássica ou exame seguro*. J. Cardiac Arrhythmias* [Internet]. 17º de oubturo de 2015 [citado 24º outubro 2024];28(1):3-11. Available from: https://www.jca.org.br/jca/article/view/2389
6. Everlin S. Estudo da técnica de ressonância magnética para algumas aplicações voltadas à neurologia e à neurociência [Internet]. Unesp.br. Universidade Estadual Paulista (Unesp); 2016 [citado 22° outubro de 2024]. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/items/1ea51bc2-49b2-4c6b-aa1e-e2fb91870991
7. Siqueira MG, et al. Clipes de titânio no tratamento de aneurismas saculares intracranianos. Arquivos Brasileiros de Neurocirurgia [Internet]. 1999;18(1):37-40.[citado 23º outubro 2024]. Disponível em: https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-603911
8. Santos MAL. Fatores de risco e prevenção de acidentes em exames de ressonância magnética [Internet]. Bauru: Faculdade de Tecnologia (FATEC); 2016 [citado 23º outubro 2024]. Disponível em: https://ric.cps.sp.gov.br/handle/123456789/11136
9. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 611, de 9 de março de 2022. Dispõe sobre os requisitos para o funcionamento dos serviços de hemoterapia. Diário Oficial da União, Seção 1. Brasília (DF); 11 mar 2022. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/dou/-/[NL1]
10. Brasil. Ministério da Economia. Secretaria de Gestão. Instrução Normativa nº 97, de 27 de maio de 2021: Dispõe sobre a gestão e a governança de contratos de prestação de serviços terceirizados. Diário Oficial da União, Seção 1. Brasília (DF); 31 maio 2021.
11. Inaguma K, et al. Medical accidents related to ferromagnetic objects brought into the MRI room: Analysis of the national multicenter database by orthopedic surgeons. *Spine Surg Relat Res*. 2022;7(1):96-102. doi:10.22603/ssrr.2022-0110.
12. Lorenzo-Pinto A, et al. Presence of metallic components in transdermal drug delivery systems and risk of skin burns. *Farm Hosp*. 2023.

13. Mandel NS, Ramdial JL, Marcus EN. A second-degree burn after MRI. *Cleveland Clin J Med*. 2017;84(5):348-349.
14. Silva TE, Villarinho ACA. Doença pulmonar obstrutiva crônica: atuação do biomédico no diagnóstico por imagem. *Episteme Transversalis*. 2021;12(2). [citado 14º abril 2024]. Disponível em: http://revista.ugb.edu.br/ojs302/index.php/episteme/article/view/2403.
15. Espiritu J, et al. Radiofrequency induced heating of biodegradable orthopaedic screw implants during magnetic resonance imaging. *Bioact Mater*. 2023;25:86-94.
16. Zulkarnain NIH, et al. A workflow for predicting radiofrequency-induced heating around bilateral deep brain stimulation electrodes in MRI. *Med Phys*. 2023:1007-1018. doi:10.1002/mp.16913.
17. Bhuva AN, et al. Making MRI available for patients with cardiac implantable electronic devices: growing need and barriers to change. *Eur Radiol*. 2020;30(3):1378-84. doi:10.1007/s00330-019-06449-5.
18. Soares GS, et al. Ressonância magnética em pacientes portadores de marcapasso. *J Card Arrhythmias*. 2008;21(2):146-148.
19. Courtman M, et al. Deep learning detection of aneurysm clips for magnetic resonance imaging safety. *J Imaging Inform Med*. 2024:1-9.
20. Hofman MBM, et al. MRI in patients with a cerebral aneurysm clip; review of the literature and incident databases and recommendations for the Netherlands. *Phys Med*. 2024;117:103187.