

# **Licenciatura em Tecnologia Biomédica**



## **O Sistema de Ressonância Magnética**

**202200051 Beatriz Vilar**

**202200162 Luís Correia**

**Trabalho de investigação em Equipamentos de Saúde**

**Maio de 2024**

## Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer, à professora que leciona a cadeira de Biomateriais laboratorial Marta Ferreira e à monitora Beatriz Pereira por nos ter ajudado a fazer alguns parâmetros da estrutura do Word, que nós não sabíamos fazer, pois nunca nos tinha sido ensinado como fazê-lo.

Agradecer ao Dr. Nuno Cristino, neurocirurgião, e à Dra. Sandra Matias, neurorradiologista, ambos do Hospital da Luz de Setúbal e de Lisboa, pelos manuais de equipamentos, e fotos fornecidas, que ajudaram à realização deste projeto.

À enfermeira e CEO da Careceiver, Joana Santos Afonso, pelos materiais fornecidos, ao estudante da Nova Medical School, João Pessoa, pelo manual de RM de medicina.

Agradecer à fundação Champalimaud por ter permitido que visitássemos o Serviço de Imagiologia, e nos colocou em contacto com o físico Paulo Ferreira, um investigador do Digital Surgery Lab, Nuno Loução, e duas técnicas de radiologia, Vera Raposinho, e Sandra Costa e podendo assim perceber um pouco mais sobre o assunto e tirar as nossas dúvidas.

Por último ao Valter Herlander – Philips MRI technical Installer da empresa Bomi Group, an UPS Company, por ter aceitado reunir-se e ajudar-nos a perceber mais sobre a RM.

## Resumo

Este trabalho oferece uma análise ampla da ressonância magnética (RM) na medicina contemporânea. Começa com uma breve explicação dos princípios de funcionamento, são destacados os componentes essenciais do equipamento, as suas aplicações e implicações na prática clínica. A análise percorre a história da RM até aos seus desenvolvimentos tecnológicos mais recentes, explora desafios práticos e considerações éticas e sociais associadas à sua utilização.

São apresentadas diversas aplicações clínicas da RM, incluindo neuroimagem, avaliação músculo-esquelética, diagnóstico torácico e abdominal, e o seu papel na oncologia. Além disso, é apresentado os avanços tecnológicos recentes, como sequências avançadas de imagem e técnicas de pós-processamento, bem como os desafios enfrentados pela RM, como custos elevados, acessibilidade limitada e questões éticas.

A segurança na realização de exames de RM é enfatizada, destacando precauções e medidas para proteger os utentes, técnicos e outros presentes durante o procedimento.

Em suma, este trabalho fornece uma visão ampla e atualizada da RM, destacando a sua importância na medicina moderna e na pesquisa científica, abordando os aspetos técnicos, clínicos e sociais, juntamente com avanços, desafios e considerações éticas. O objetivo deste trabalho é informar profissionais de saúde, pesquisadores e tomadores de decisão sobre a relevância e o impacto da RM, oferecendo uma visão completa e equilibrada da tecnologia.

**Palavras-chave:** Ressonância Magnética (RM); Medicina Contemporânea; Princípios de Funcionamento; Aplicações Clínicas; Desenvolvimentos Tecnológicos; Considerações Éticas; Segurança do Utente; Avanços Tecnológicos; Neuroimagem; Avaliação Músculo-Esquelética; Diagnóstico Torácico; Diagnóstico Abdominal; Oncologia; Precauções de Segurança; Impacto na Saúde Pública.

## **Abstract**

This paper offers a comprehensive analysis of magnetic resonance imaging (MRI) in contemporary medicine. It begins with a brief explanation of the operating principles, highlighting the essential components of the equipment, its applications, and implications in clinical practice. The analysis spans the history of MRI to its most recent technological developments, exploring practical challenges and ethical and social considerations associated with its use.

Various clinical applications of MRI are presented, including neuroimaging, musculoskeletal assessment, thoracic and abdominal diagnostics, and its role in oncology. Additionally, recent technological advancements such as advanced imaging sequences and post-processing techniques are discussed, along with challenges faced by MRI, such as high costs, limited accessibility, and ethical issues.

The safety of MRI examinations is emphasized, focusing on precautions and measures to protect patients, technicians, and others present during the procedure.

In summary, this paper provides a broad and updated view of MRI, highlighting its importance in modern medicine and scientific research, addressing technical, clinical, and social aspects, along with advances, challenges, and ethical considerations. The aim of this paper is to inform healthcare professionals, researchers, and decision-makers about the relevance and impact of MRI, offering a comprehensive and balanced view of the technology.

**Keywords:** Magnetic Resonance Imaging (MRI); Contemporary Medicine; Operating Principles; Clinical Applications; Technological Developments; Ethical Considerations; Patient Safety; Technological Advances; Neuroimaging; Musculoskeletal Evaluation; Thoracic Diagnosis; Abdominal Diagnosis; Oncology; Safety Precautions; Public Health Impact.

# Índice

<b>Agradecimentos.....</b>	<b>I</b>
<b>Resumo.....</b>	<b>II</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>III</b>
<b>Índice.....</b>	<b>IV</b>
<b>Lista de Figuras.....</b>	<b>VI</b>
<b>Lista de Tabelas.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Lista de Acrónimos e Abreviaturas .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de símbolos.....</b>	<b>X</b>
<b>Capítulo 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo 2.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Ressonância Magnética .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. História .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Fundamentos da física da RM .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Funcionamento da RM.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. Componentes e Funcionamento.....</b>	<b>7</b>
<b>2.5. Tipos de Ressonância Magnética .....</b>	<b>10</b>
<b>2.6. Aplicações Clínicas da Ressonância Magnética .....</b>	<b>11</b>
<b>2.7. Obtenção de Imagens.....</b>	<b>12</b>
<b>Capítulo 3.....</b>	<b>15</b>
<b>3. Tecnologia e o futuro.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1. Desenvolvimento Tecnológicos Recentes.....</b>	<b>15</b>
<b>3.2. Artefactos de imagem e suas causas .....</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo 4.....</b>	<b>17</b>
<b>Capítulo 5.....</b>	<b>19</b>
<b>5. Segurança .....</b>	<b>19</b>

<b>5.1. Considerações de Segurança.....</b>	<b>19</b>
<b>Capítulo 6.....</b>	<b>21</b>
<b>6. Conclusão.....</b>	<b>21</b>
<b>Capítulo 7.....</b>	<b>23</b>
<b>7. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>23</b>

## Lista de Figuras

Figura 1 - Ressonâncias Magnéticas Canon, Philips, GE (fonte: Dra. Sandra Matias, Hospital da Luz em Setúbal).....	1
Figura 2 – Edward Purcell (A) e Félix Bloch (B).....	1
Figura 3 - Dr. Raymond Damadian, 1ª tentativa de obter imagem (C) e Dr. Lawrence Minkoff, 1ª tentativa bem sucedida de obtenção de imagem (D).....	1
Figura 4 - Imagem de RM de 1977 – 2012.....	2
Figura 5 - Núcleo a girar rapidamente e possuindo um campo magnético fonte: Manual Philips .....	2
Figura 6 - Precessão de um núcleo giratório em torno de um eixo de um campo magnético aplicado fonte: Manual Philips .....	2
Figura 7 - torque .....	3
Figura 8 - Precessão de Larmor .....	3
Figura 9 - Precessão de magnetização sob influência de um campo magnético estacionário B0 e um campo oscilante B1 durante um pulso de 90° no sistema de laboratório (A) e no sistema rotativo (B) Fonte: Manual Philips .....	3
Figura 10 – “A longitudinal e magnetização transversal durante o relaxamento. T1 é o tempo necessário para magnetização longitudinal retorne a 63% do seu valor original. T2 é o tempo necessário para a transversal magnetização caia 63% do seu valor original. T1 e T2 é independente. T2 é sempre maior que T1.” Fonte: Manual Philips.....	4
Figura 11 - Processo de Excitação dos Átomos de Hidrogénio.....	4
Figura 12 - Filtro Passa-Baixo .....	5
Figura 13 - Filtro Rejeita Banda .....	5
Figura 14 - Filtro Passa-Alto .....	5
Figura 15 - ADC .....	5
Figura 16 - Arquitetura das salas envolvidas .....	6
Figura 17 - Cabos de alta tensão (pretos com fita branca) de refrigeração (branco).....	6
Figura 18 - Imagem detalhada obtida pela RM 7T fonte: siemens-healthineers .....	7
Figura 19 - Ressonância Magnética Portátil (fonte: MedicalExpo) .....	7
Figura 20 - Neuroimagem de RM.....	7
Figura 21 - RM Músculo-esquelética .....	8
Figura 22 - RM torácica.....	8
Figura 23 - RM Abdominal.....	8

Figura 24 - RM Metástase da Lombar sem contraste (G) e com contraste (H).....	8
Figura 25 - Filtros .....	9
Figura 26 - Sinalética de Segurança antes da entrada na sala. Fonte: Champalimaud ....	9
Figura 27 - Consentimento informado pag.1. Fonte: Fundação Champalimaud.....	10
Figura 28 - Consentimento informado pag.2. Fonte: Fundação Champalimaud.....	11
Figura 29 - Consentimento informado pag.3 fonte: Fundação Champalimaud.....	12



## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Empresas fabricantes de equipamentos de RM .....	14
Tabela 2 - Alguns T1e T2 valores para tecidos humanos. O diferenças em T1e T2são explorados em imagens de ressonância magnética para obter contraste entre diferentes tecidos. Fonte: Manual Philips.....	15
Tabela 3 - Distâncias mínimas a manter do centro dos eixos x,y,z do íman. Fonte: Siemens - syngo MR XA10.....	15
Tabela 4 - Sinalética da RM Fonte: Siemens - syngo MR XA10 .....	16

## **Lista de Acrónimos e Abreviaturas**

RM – Ressonância Magnética

7 T – Sete Tesla

Esq. – Esquerda

Dir. – Direita

RF – Radiofrequência

m - Momento Magnético Nuclear

B0 – Campo Magnético Externo/ Campo Aplicado

SI – Sistema Internacional

AC – Corrente Alternada

PET – Tomografia por Emissão de Positrões

CT – Tomografia Computadorizada

CPU - Unidades de processamento central

GPU – Unidade de processamento Gráfico

IA – Inteligência Artificial

RGPD – Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados

IP – Protocolo de internet

He – Hélio

H - Hidrogénio

## Lista de símbolos

$T$  – *Tesla*

$G$  – *Gauss*

$MHz$  – *Mega Hertz*

$\omega$  – *frequência angular de Larmor (MHz)*

$\gamma$  – *Constante de Proporcionalidade (razão giromagnética)*

$B_0$  – *intensidade do campo magnético (T)*

$\perp$  – *perpendicular*

$\cong$  – *aproximadamente igual a*

$^{\circ}C$  – *Graus Celsius*

## **Capítulo 1**

---

Neste capítulo falar-se-á sobre o que é a ressonância magnética, a nossa motivação para a realização deste projeto, os nossos objetivos e a estrutura deste relatório.

### **1. Introdução**

A ressonância magnética (RM) Figura 1, anexo I, é um equipamento de saúde, onde é realizado um exame médico, através de uma técnica de imagem que produz cortes finos de tecidos, conhecidos como imagens tomográficas (imagens tridimensionais de uma estrutura), utilizando campos magnéticos e ondas de rádio (Mafraji, 2023). A RM é um equipamento crucial em diagnósticos médicos e pesquisa científica, fornecendo imagens detalhadas do interior do corpo humano. Neste relatório tenta-se explorar os fundamentos físicos da RM, as suas aplicações clínicas e as considerações éticas e sociais associadas.

À medida que avançamos no século XXI, os sistemas de RM continuam a evoluir, impulsionados por avanços tecnológicos e inovações científicas. Novas técnicas, como a RM 7 Tesla (T), para mais informações sobre esta, consultar a página [siemens-healthineers](https://www.siemens-healthineers.com/pt-br/mr/7t), a aplicação da inteligência artificial (IA) na análise de imagens, prometem revolucionar ainda mais a medicina.

Embora este tema tenha sido sorteado em aula, houve uma grande motivação para trabalhar nele, pois consideramos que os princípios que estão por trás do funcionamento e a aplicação médica, onde é necessário obter resultados com o máximo detalhe, faz com que este equipamento continue a evoluir ao longo do tempo, e num futuro com a ajuda da IA, os investigadores e os pesquisadores na área de ciências da saúde e das engenharias poderão melhorar o diagnóstico obtido com melhorias a nível de imagem e a nível de dimensões do equipamento. Pois a RM ainda é para muitos usuários um desafio principalmente para os que sofrem de ansiedade, obesidade e claustrofobia, devido às características físicas do equipamento. Esperamos com este trabalho evoluir os nossos conhecimentos e quem sabe num futuro próximo ajudar a projetar um novo equipamento.

O objetivo deste trabalho é tentar adquirir conhecimentos sobre o funcionamento de um equipamento médico de grandes dimensões. Tentar perceber como são adquiridas as imagens detalhadas da RM. Saber quais os dispositivos eletrónicos que a compõem, a tecnologia utilizada, os prós e os contras na elaboração deste equipamento. Tentar saber

o porquê de ser um material tão dispendioso, e perceber o que poderia ser melhorado num futuro próximo.

O primeiro capítulo apresenta a motivação por trás deste trabalho, traça os objetivos do relatório e fornece uma visão geral da sua estrutura. O segundo capítulo mergulha nos princípios fundamentais da RM, desde a sua história até aos elementos essenciais dos sistemas de RM e os tipos de ressonância. No terceiro capítulo, discute-se os desenvolvimentos tecnológicos recentes relacionados à RM, bem como os artefactos de imagem comuns e as suas causas. No quarto capítulo analisa-se os desafios e as limitações da tecnologia, incluindo custos, acessibilidade, contraindicações, e as considerações éticas e sociais. No quinto capítulo, abordamos as considerações de segurança em relação ao uso da RM. Finalmente, no sexto capítulo, concluímos o relatório, recapitulando os principais pontos discutidos. Por fim, apresentamos as referências bibliográficas utilizadas neste projeto.

Este relatório tem como objetivo fornecer uma compreensão abrangente da RM, desde os seus princípios físicos até às suas implicações práticas e éticas, servindo como um recurso informativo para profissionais de saúde, pesquisadores e tomadores de decisão.

Este capítulo fala-se do equipamento em estudo, a RM, destacando a sua importância em diagnósticos médicos e pesquisa científica. Explica-se a nossa motivação para estudar a RM, focando os avanços tecnológicos e a aplicação da inteligência artificial para melhorar os diagnósticos. O nosso objetivo é entender o funcionamento da RM, quais os seus componentes eletrónicos, os custos e possíveis melhorias futuras, especialmente para torná-la mais acessível e confortável para todos os utentes.

O relatório está estruturado para cobrir desde os princípios fundamentais da RM até às considerações de segurança e éticas, proporcionando uma visão abrangente e informativa sobre o tema.

## **Capítulo 2**

---

Neste capítulo fala-se dos princípios fundamentais da RM, desde a sua história até aos elementos essenciais dos sistemas de RM e os tipos de ressonância.

### **2. Ressonância Magnética**

#### **2.1. História**

Nikola Tesla descobriu o campo magnético rotativo, em 1882, em Budapeste, Hungria.

A criação da RM, ganhou o prémio Nobel da Física no ano de 1952, e é creditada a dois cientistas, o suíço Félix Bloch, Figura 2 (B), anexo I, e o americano Edward Purcell, Figura 2 (A), anexo I, que detetaram o fenómeno da RM de forma independente em 1946. Entre 1950 e 1970 a RM foi aprimorada e teve como principal utilização as análises moleculares físicas e químicas. (URM Ressonância Magnética, 2024)

Em 1971, o médico e inventor americano, Raymond Damadian mostrou que existia diferenças no tempo de relaxamento de diferentes tecidos e tumores. Esta descoberta foi um enorme incentivo para os cientistas, que passaram a utilizar a RM como um método de deteção de doenças. (URM Ressonância Magnética, 2024)

Em 1973, o químico americano, Paul Lauterbur apresentou a RM - Figura 30, anexo I (URM Ressonância Magnética, 2024).

Em 1975, o químico-físico suíço, Richard Ernst propôs a utilização da RM como um exame médico, utilizando a codificação em fase e frequência e a transformação de Fourier. A técnica de codificação em fase e frequência é frequentemente aplicada na RM para mapear a localização espacial dos sinais de ressonância gerados pelos tecidos do corpo. Essa abordagem desempenha um papel crucial na produção de imagens tomográficas de alta qualidade por meio da RM. Durante o processo de aquisição de dados da RM, são aplicados gradientes de campo magnético em diferentes direções. Estes variam em intensidade ao longo de uma direção específica (fase) e em uma direção perpendicular (frequência), resultando em variações espaciais conhecidas como “codificação de fase” e “codificação de frequência”. A transformação de Fourier é um conceito matemático que é utilizado na RM com o objetivo de converter os sinais de

ressonância detetados em imagens detalhadas. Pois permite decompor um sinal complexo em frequências. Os sinais de ressonância capturados são revelados em uma matriz e submetidos à transformação de Fourier para extrair as informações de fase e frequência. Essas informações são utilizadas para reconstruir a imagem final por meio de algoritmos computacionais (URM Ressonância Magnética, 2024).

Em 1977, Raymond Damadian, Figura 3 (C) , anexo I , apresentou a RM como Ressonância Nuclear Magnética com campo focado. Tendo realizado como utente, o primeiro exame de RM em humanos. Dadas as dúvidas dos resultados obtidos, em julho de 1977, fez uma nova tentativa com o voluntário, Dr. Lawrence Minkoff, Figura 3 (D) , anexo I . Na Figura 4, anexo I, podemos ver as diferenças extraordinárias da evolução na obtenção de imagens da RM, num intervalo de trinta e cinco anos (1977 - 2012) (URM Ressonância Magnética, 2024).

O neurocientista britânico, David G. Gadian, o físico inglês, Sir Peter Mansfield, o físico-químico americano, Paul Lauterbur, e o engenheiro Biomédico americano, Charles Dumoulin, liderados pelo radiologista americano de imagem médica, Peter Edelstein, foram pesquisadores pioneiros no desenvolvimento de técnicas de imagem por RM. Em 1980, Edelstein e a sua equipa apresentaram um método inovador de aquisição de imagens em RM chamado "Ernst Imaging", em homenagem ao físico e químico Richard R. Ernst, um químico suíço que contribuiu significativamente para o desenvolvimento de técnicas de RM na década de 1970. Ernst recebeu o Prémio Nobel de Química em 1991 pelas suas contribuições para o desenvolvimento da ressonância magnética nuclear de alta resolução. A técnica Ernst Imaging permitiu a aquisição rápida de imagens em RM, reduzindo drasticamente o tempo necessário para obter uma única imagem. Isso representou um avanço significativo na tecnologia de RM, tornando-a mais prática e eficiente para uso clínico. Passando de 5 minutos para 5 segundos. Neste mesmo ano, desenvolveu-se técnica microscópica, que permite a resolução espacial de aproximadamente dez metros em cerca de um centímetro de amostra. Em 1987 a técnica eco planar (técnica avançada da RM que permite a aquisição rápida de imagens em tempo real) foi usada para produzir imagens em tempo real de um ciclo cardíaco único. Charles Dumoulin realizou uma angiografia por RM, que permitiu a visualização do fluxo sanguíneo sem o uso do meio de contraste (URM Ressonância Magnética, 2024). Mais recentemente no decorrer do ano de 2003, Paul C. Lauterbur da Universidade de Illinois e Sir Peter Mansfield da Universidade de Nottingham receberam o Prémio Nobel de

Medicina pelas suas descobertas no campo da RM. Neste mesmo ano, houve aproximadamente dez mil equipamentos de RM no mundo todo e cerca de setenta e cinco milhões de exames realizados (URM Ressonância Magnética, 2024).

Atualmente há vários fabricantes de equipamentos de RM (Philips, GE, Siemens, Toshiba, Hitachi e Fonar), Tabela 1, anexo I, e outros fornecedores de peças, materiais e suplementos incluindo, as bobinas, meios de contraste paramagnético, amplificadores de radiofrequência e magnetos (URM Ressonância Magnética, 2024).

## **2.2. Fundamentos da física da RM**

Os princípios da RM são bastante complexos e envolvem conhecimentos em diversas áreas das ciências. A ressonância é um fenómeno intrigante em diversos sistemas físicos, caracterizados pela sincronização das oscilações entre dois sistemas que compartilham uma mesma frequência. Nesta dança energética, a transferência de energia dá-se de forma eficiente. O spin característico do núcleo, induz um campo magnético com eixo coincidente com o eixo do spin, e com magnitude e direção representadas pelo momento magnético ( $\mu$ ) - Figura 5, anexo I. Na Figura 6, anexo I, observa-se que o alinhamento do momento magnético com o campo aplicado ( $B_0$ ) não é perfeito. Na presença de um campo magnético aplicado os vetores de spin dos núcleos sofrem torque (Figura 7, anexo I), que os faz girar em torno do eixo do campo aplicado com uma frequência precisa. Esta rotação é denominada por Precessão de Larmor (Fenómeno de Ressonância) - Figura 8, anexo I. A taxa de precessão depende das características físicas do isótopo envolvido e da força do campo magnético aplicado de acordo com (2.1)(Philips, 2012).

$$\omega = \gamma \times B_0 \quad (2.1)$$

$\omega$  – frequência angular de Larmor (MHz)

$\gamma$  – Constante de Proporcionalidade (razão giromagnética)

$B_0$  – intensidade do campo magnético (T)

Fenómenos de Precessão e Frequência de Larmor – para obter informações dos spins, eles devem estar perturbados ou excitados. Isto poder ser conseguido irradiando o sistema de spin com um pulso de radiofrequência (RF), correspondente á frequência de



Larmor dos núcleos de interesse. Isto cria um desvio dependente do tempo de magnetização para longe da sua orientação de equilíbrio. Após este pulso de RF, a magnetização está processando em torno do campo magnético principal com a frequência de Larmor. O uso de um referencial rotativo irá simplificar a visualização desses movimentos complexos. Este sistema de coordenadas gira em torno do  $B_0$  com a frequência de Larmor. Isto tem o efeito de “congelar” a precessão de magnetização (mudança de eixo), semelhante a observar a precessão estando no mesmo “carrossel” em que a precessão gira. Neste quadro rotativo o pulso de excitação de RF pode ser representado por um campo magnético adicional ( $B_1$ ) e  $B_1 \perp B_0$  fica ligado por um curto período de tempo. O efeito de aplicação do  $B_1$  é que a magnetização precessa em torno deste segundo campo, portanto, gira para longe da direção vertical - Figura 9, anexo I (Philips, 2012).

Processos de Relaxamento – Após a excitação, os núcleos retornam ao equilíbrio, perdendo energia pela emissão de radiação eletromagnética e pela transferência de energia para a rede ou entre si. Este processo é chamado de relaxamento e começa no término do pulso de RF. Durante o processo de relaxamento, tanto o longitudinal como o transversal, os componentes da magnetização retornam aos seus valores de equilíbrio. Isto significa que a precessão coerente dos spins reverte. O tempo necessário para que o componente longitudinal (paralelo ao campo magnético) retorne ao equilíbrio é chamado de tempo de relaxamento longitudinal ( $T_1$ ), já o tempo necessário para que o componente transversal (perpendicular ao campo magnético) se desfça é chamado de tempo de relaxamento transversal ( $T_2$ ). Esses tempos de relaxamento são características dos diferentes tecidos biológicos e são explorados para gerar contraste nas imagens de RM. Após a excitação, os spins nucleares retornam ao equilíbrio térmico com o campo magnético principal em um processo chamado relaxamento.  $T_1$  refere-se ao tempo necessário para que a magnetização longitudinal retorne a 63% de seu valor máximo, enquanto o  $T_2$  refere-se ao tempo necessário para que a magnetização transversal se dissipe a 37% de seu valor máximo. Conforme mostrada na Figura 10, anexo I, . Os sinais de RM são detetados por antenas de RF no scanner de RM e são usados para reconstruir imagens detalhadas do interior do corpo. A intensidade e o tempo de eco desses sinais dependem das propriedades dos tecidos, permitindo a geração de imagens com contrastes variados - Tabela 2, anexo I ,(Philips, 2012).

### **2.3. Funcionamento da RM**

A RM é um método de imagem que permite a visualização de estruturas internas do corpo humano, sem a necessidade de utilizar radiação ionizante. O princípio fundamental desta, baseia-se na interação entre os campos magnéticos e os átomos presentes nos tecidos biológicos. O utente é posicionado no local correto do scanner, onde é exposto a um campo magnético intenso e uniforme, gerado por um íman supercondutor - Figura 31, anexo I. Este campo magnético alinha os spins nucleares dos átomos de hidrogénio presentes na água e nas moléculas de gordura. Os spins nucleares comportam-se como pequenos ímanes e a sua tendência é alinhar-se com a direção do campo magnético principal. Quando estes, se encontram alinhados com o campo magnético, são aplicados pulsos de RF de curta duração e frequência específica através de uma bobina emissor-recetor que se encontra localizada em torno da região do corpo que se encontra a ser examinada -Figura 11, anexo I. Estes pulsos de RF são absorvidos pelos spins nucleares, fazendo com que eles entrem em ressonância e alterem temporariamente a sua orientação em relação ao campo magnético principal. Após ser aplicado o pulso de RF, os spins retornam gradualmente ao seu estado de equilíbrio original, emitindo energia na forma de sinais de RF. Estes sinais são detetados pela mesma bobina emissor-recetor e são usados para reconstruir uma imagem do interior do corpo. A informação obtida dos sinais é processada por um computador e transformada em uma imagem das estruturas anatómicas do corpo. Os diferentes tipos de tecidos biológicos têm propriedades de relaxamento únicas, o que resulta em contrastes variados na imagem. Por exemplo, os tecidos com alta densidade de protões de hidrogénio, como o líquido cefalorraquidiano e a gordura, aparecem como áreas brilhantes na imagem, enquanto os tecidos com menor densidade de protões, como o osso, aparecem mais escuros (Loução, 2024).

### **2.4. Componentes e Funcionamento**

Um estudo de ressonância magnética utiliza uma combinação de um campo magnético estático, variações locais deste campo magnético (gradientes) para codificar informações espaciais no núcleo dentro de uma amostra de tecido. Para atingir esses objetivos o sistema de imagem por RM deve incluir os seguintes componentes:

Ímanes – 3 tipos:

- Íman resistivo – consistem em enrolamentos de bobinas através dos quais flui uma forte corrente elétrica criando assim um campo magnético;

- Íman permanente – não precisam de fonte de alimentação para criar o campo magnético apenas são usados com intensidade máxima de 0,3T. São estáveis se a temperatura for muito bem controlada. Estes ímanes são muito pesados.
- Íman supercondutor – possuem enrolamentos de bobinas imersos em fluídos criogénicos (hélio (He) líquido  $\cong -297\text{ }^{\circ}\text{C}$  )

**Bobinas de gradiente** - As bobinas de gradiente, são vários conjuntos de bobinas localizadas dentro do aparelho, responsáveis por criar campos magnéticos variáveis em diferentes direções espaciais dentro do campo magnético principal. Esses gradientes são usados para codificar a posição espacial dos sinais de RM, o que é essencial para a formação de imagens detalhadas. Ao variar os gradientes espaciais durante a aquisição dos sinais de RM, é possível obter informações sobre a localização precisa dos diferentes tecidos no corpo e estruturas, permitindo a reconstrução de imagens com alta resolução espacial (Philips, 2012).

**Bobinas de RF** - As bobinas de transmissão de RF, são responsáveis por gerar os pulsos RF utilizados para excitar os átomos de hidrogénio dos tecidos do corpo humano. Emitem ondas de RF para criar campos magnéticos oscilantes, alinhando os spins nucleares. As bobinas de receção de RF são utilizadas para receber os sinais de ressonância gerados pelos spins nucleares após a excitação. Estes sinais são então enviados para o sistema de aquisição de imagem, onde são processados e utilizados para reconstruir as imagens do corpo (Philips, 2012).

**Subsistemas de controle e computação** - Os subsistemas de controlo e computação são responsáveis por coordenar todas as operações do sistema de RM. Isso inclui o controlo dos ímanes supercondutores para manter o campo magnético estável, o acionamento das bobinas de gradiente para codificar a posição espacial dos sinais de RM e a geração e aquisição dos pulsos de RF. Além disso, esses subsistemas processam os sinais de RM digitais, aplicando algoritmos de reconstrução de imagem para gerar as imagens finais. O sistema de RM inclui subsistemas de controle e computação que desempenham um papel fundamental no funcionamento do equipamento. Esses subsistemas controlam a geração dos campos magnéticos, a sequência de pulsos de RF, os gradientes de campo magnético e a aquisição de dados. Eles também lidam com o processamento das informações de sinal para a formação das imagens de RM. Além disso, os subsistemas de controle e

computação permitem que os operadores ajustem os parâmetros do exame e controlem o sistema durante o procedimento (Philips, 2012).

**Computador Host** - Computadores ou máquinas ligadas a uma rede por meio do número de IP e domínio definido. Têm como objetivo oferecer recursos, informações e serviços aos usuários (Philips, 2012).

**Sistema de aquisição e controle** - O subsistema de aquisição e controle está localizado entre o computador host, o reconstrutor e o front-end (hardware de RF, gradiente e fisiologia). Este subsistema executa a execução dos programas do método de RM, aquisição e desmodulação dos sinais de RM e transporte para o processador de array, aquisição e processamento de sinais fisiológicos para sincronizar os programas de RM como a fisiologia do utente, calibração automática do front-end para a necessária digitalização (fase de preparação), calibração e instalações de teste para o front-end. O espectrômetro MR faz parte do sistema de aquisição e controle (Philips, 2012).

Existem outros materiais dos quais se destaca os amplificadores, filtros, conversores analógico-digitais (ADCs), sistemas de processamento de sinal, memória temporária e transferência de dados (Philips, 2012).

**Amplificadores:** Responsáveis por aumentar a intensidade dos sinais elétricos capturados pelas bobinas recetoras. Os amplificadores de gradiente são utilizados para excitar átomos de hidrogénio no corpo humano e para receber os sinais de ressonância criados por esses átomos. São também responsáveis por criar campos magnéticos variáveis necessários para codificar a posição espacial das informações de ressonância. Os amplificadores de Potência RF criam os pulsos de RF que vão excitar os átomos de hidrogénio (H), anexo I, (Philips, 2012).

**Filtros:** Utilizados para remover ruídos e interferências indesejadas dos sinais elétricos capturados. Melhoram o contraste e a nitidez da imagem. Os filtros mais utilizados são os filtros passa-baixo que são utilizados para atenuar frequências mais altas que possam representar ruído ou interferência nos sinais da RM - Figura 12, , anexo I, os filtros notch (filtro rejeita-banda): Projetados para suprimir frequências específicas que podem ser causadas por fontes de interferência externa, como linhas de energia elétrica - Figura 13, anexo I, os filtros passa-alto que são ser utilizados para remover componentes de baixa frequência indesejados dos sinais da RM - Figura 14, anexo I, (Philips, 2012).

**Conversores Analógico-Digitais (ADCs):** Convertem os sinais elétricos analógicos provenientes das bobinas de RF em sinais digitais que podem ser processados por um computador. São essenciais para a digitalização dos sinais da RM, permitindo a sua manipulação e armazenamento para a reconstrução da imagem - Figura 15, anexo I.

**Sistemas de Processamento de Sinal:** Englobam uma variedade de componentes e circuitos dedicados ao processamento dos sinais digitais da RM. Estes sistemas aplicam algoritmos complexos de reconstrução de imagem para converter os dados digitais em uma imagem visualmente compreensível, representando com precisão as estruturas anatômicas do corpo humano. Os processadores de imagem são responsáveis por aplicar algoritmos complexos de reconstrução de imagem para converter os dados digitais em uma imagem visualmente compreensível, os CPU e GPU realizam cálculos intensivos para reconstrução de imagem e aplicação de técnicas avançadas, como supressão de artefactos e aprimoramento de contraste, os sistemas de armazenamento e visualização de imagem permitem o armazenamento eficiente de grandes volumes de dados de imagem e a sua exibição nos monitores para análise médica (Philips, 2012).

A sala deve disposta seguindo alguns critérios como representado na Figura 16, anexo I, (Philips, 2012).

Existem vários cabos como os de refrigeração (de água e ar), os de alta voltagem, entre outros - Figura 17 (Loução, 2024).

### 2.5. Tipos de Ressonância Magnética

Existem vários tipos de RM a de 1.5 Tesla clínica, a de 3.0 Tesla clínica, a de 7 Tesla clínica, a de alto campo, a de campo ultra-alto, a de campo aberto e a portátil.

A RM de 1.5 Tesla clínica utiliza um campo magnético de intensidade baixa. É utilizada em diagnósticos clínicos para visualizar estruturas anatômicas com alta resolução, como o cérebro, a coluna vertebral, articulações e órgãos abdominais (Loução, 2024; Raposinho, 2024).

A RM de 3.0 Tesla clínica utiliza um campo magnético de intensidade superior à da 1.5T. Isso resulta em imagens com uma maior resolução e qualidade, permitindo uma melhor visualização de detalhes anatômicos. São utilizadas em estudos de neuroimagem de alta resolução ou em investigações músculo-esqueléticas (Loução, 2024; Raposinho, 2024).

A RM de 7.0 Tesla clínica, começou recentemente a ser utilizada em utentes e ainda possui informação - Figura 18, anexo I, (Loução, 2024; Raposinho, 2024).

A RM de alto campo refere-se a sistemas com uma intensidade de campo magnético superior à 3.0 Tesla. É frequentemente utilizada em pesquisas avançadas e aplicações clínicas que exigem o máximo de detalhamento possível (Loução, 2024; Raposinho, 2024).

A RM de campo ultra-alto refere-se a sistemas com intensidades de campo magnético muito maiores em comparação com as outras, na faixa de 7.0 Tesla ou superior. São utilizados principalmente em pesquisas de ponta e estudos científicos (Loução, 2024; Raposinho, 2024).

A RM de campo aberto, possui um campo magnético entre 1.5T-3.0T, foram criadas em especial para pessoas obesas e claustrofóbicas (Loução, 2024; Raposinho, 2024).

A RM portátil é uma tecnologia que tem como objetivo oferecer os benefícios de uma RM tradicional, mas de uma forma mais acessível, utilizados em situações de urgência. No entanto, é importante sobressair que estes dispositivos ainda estão em desenvolvimento e podem não estar disponíveis ou completamente validados - Figura 19, anexo I, (Loução, 2024; Raposinho, 2024). Figura 19

### 2.6. Aplicações Clínicas da Ressonância Magnética

Estas aplicações demonstram a flexibilidade e a importância da RM em várias áreas da medicina, proporcionando diagnósticos precisos e não invasivos.

A ressonância magnética está envolvida na produção de várias imagens estruturais como:

- ☞ **Neuroimagem:** utilizada para visualizar estruturas cerebrais e detetar alterações associadas a doenças neurológicas, lesões traumáticas, tumores, acidentes vasculares cerebrais (AVC) e distúrbios neurodegenerativos - Figura 20, anexo I
- ☞ **Do sistema músculo-esquelético:** ferramenta valiosa para avaliar lesões e patologias dos ossos, articulações, músculos, ligamentos e tendões. Ela é frequentemente utilizada para diagnosticar fraturas, lesões de tecidos moles, como entorses e distensões musculares, doenças degenerativas das articulações, como artrite, e para monitorar o progresso de tratamentos, como a reabilitação pós-operatória - Figura 21, anexo I.

- ☞ **Torácica:** usada para diagnosticar variedades de condições, como tumores pulmonares, lesões cardíacas, doenças da parede torácica, patologias mediastinais, entre outras - Figura 22, anexo I.
- ☞ **Abdominal:** avaliação de órgãos e estruturas abdominais, incluindo fígado, vesícula biliar, pâncreas, rins, baço e intestinos. Ela é frequentemente usada para diagnosticar condições como tumores, cistos, infecções, inflamações, obstruções e lesões traumáticas - Figura 23, anexo I.
- ☞ **Aplicações em oncologia:** Possui um papel importante no diagnóstico, o nível de estágio e monitorização de tratamento do cancro em várias partes do corpo. Ela pode fornecer informações detalhadas sobre o tamanho, localização, extensão e características dos tumores. Além disso, é frequentemente usada para avaliar a resposta do tumor ao tratamento - Figura 24, anexo I.
- ☞ **Outras aplicações emergentes:** Além das aplicações mencionadas, a ressonância magnética está sendo explorada em uma variedade de outras áreas emergentes, incluindo neurociência cognitiva, estudos de imagem metabólica, pesquisa de imagem molecular, monitoramento de terapia celular e regenerativa, mapeamento funcional do cérebro em tempo real e avaliação de doenças inflamatórias e autoimunes.

### 2.7. Obtenção de Imagens

A obtenção de imagens RM envolve uma série de etapas e técnicas para produzir imagens detalhadas dos tecidos do corpo humano.

1. **Preparação do utente:** instruir para remover todos os objetos metálicos e vestir uma roupa confortável sem acessórios metálicos, ou a solicitação para preencher um questionário médico para garantir que não existe contraindicações (Figura 27;Figura 28;Figura 29) , anexo I.
2. **Posicionamento do utente:** posicionamento na mesa do equipamento RM, com a área do corpo a ser examinada centrada no campo de visão do scanner. As almofadas ou os dispositivos de suporte são usados para garantir que o utente permaneça imóvel durante a realização do exame.
3. **Seleção da sequência de pulso:** tendo em conta a área do corpo que vai ser examinada e as informações clínicas, o técnico ou radiologista seleciona a sequência de pulso mais apropriada. As sequências mais comuns são a T1, T2, FLAIR (Fluid-Attenuated Inversion Recovery), que é projetada para suprimir

o sinal do líquido cefalorraquidiano, permitindo a visualização de lesões cerebrais que poderiam ser ofuscadas por esse sinal - Figura 25, anexo I.

4. **Ajuste dos parâmetros de sequência:** Os parâmetros da sequência de pulso, como o tempo de repetição (TR), o tempo de eco (TE), a espessura do corte, a matriz de aquisição e o número de excitadores, são ajustados de acordo com as necessidades específicas. Estes parâmetros determinam o contraste, a resolução e outros aspetos da qualidade da imagem final. O contraste nas imagens de RM é ajustado pela seleção adequada dos parâmetros de sequência, como tempo de repetição (TR) e tempo de eco (TE). Nas imagens ponderadas em T1, os tecidos com T1 longo aparecem com hipossinal (sinal fraco), enquanto os tecidos com T1 curto aparecem com hipersinal (sinal forte). Nas imagens ponderadas em T2, o contraste é invertido.
5. **Aquisição das imagens:** Uma vez configurados os parâmetros da sequência, o scanner de RM inicia o processo de aquisição de imagens. Durante a aquisição, pulsos de radiofrequência (RF) são aplicados ao utente, enquanto gradientes de campo magnético são usados para codificar as informações espaciais. O sinal emitido pelos tecidos é detetado por uma antena de radiofrequência (bobina), e as informações são digitalizadas e armazenadas pelo sistema de computador do scanner.
6. **Processamento de imagem:** Após a aquisição, as imagens brutas são processadas pelo sistema de computador do scanner para otimizar o contraste, a resolução e a qualidade geral da imagem. Isso pode incluir aplicação de filtros, correção de artefactos, ajustes de contraste e reconstrução da imagem em diferentes planos.
7. **Revisão e interpretação:** As imagens processadas são revisadas por um radiologista ou médico especialista, que interpreta as imagens e emite um relatório diagnóstico com base no que viu nas imagens.
8. **Arquivamento e documentação:** As imagens processadas e o relatório diagnóstico são arquivados no sistema de informações médicas para partilha com outros profissionais de saúde, se necessário.



**Página deixada propositadamente em branco**

## **Capítulo 3**

---

Neste capítulo é apresentado os desenvolvimentos tecnológicos recentes relacionados à RM, bem como os artefactos de imagem comuns e as suas causas.

### **3. Tecnologia e o futuro**

A RM é um equipamento indispensável na medicina contemporânea, permitindo não só a visualização de forma não invasiva, mas também de uma maneira muito detalhada as estruturas anatómicas e processos fisiológicos. No entanto, para manter sua relevância e eficácia, é crucial entender os desenvolvimentos recentes e futuros na tecnologia de RM. É também importante ter em conta como apresentá-la aos utentes, pois muitos deles ainda temem fazer a RM.

#### **3.1. Desenvolvimento Tecnológicos Recentes**

- ☞ **Sequências avançadas de imagem:** as mais recentes oferecem insights detalhados, ajudando em várias aplicações clínicas, desde a deteção precoce de lesões até à monitorização de respostas terapêuticas (Raposo, 2024).
- ☞ **Aquisição rápida de imagem:** a RM paralela, permite exames com maior rapidez, reduzindo o tempo de aquisição e melhorando a tolerância do utente (Raposo, 2024).
- ☞ **Melhorias na qualidade de imagem:** avanços na tecnologia de RF, gradientes e bobinas resultam em melhorias significativas na qualidade das imagens, proporcionando maior compreensão e detalhe, exemplo disto é a RM 7T - Figura 18, anexo I (Raposo, 2024).
- ☞ **Novas técnicas de pós-processamento de imagem:** a fusão de imagens multi-contraste e a correção da distorção do campo magnético, estão a expandir as capacidades diagnósticas da RM (Raposo, 2024).

#### **3.2. Artefactos de imagem e suas causas**

Os artefactos são aspetos que fazem com que ocorra alterações na imagem original, pode prejudicar a visualização da imagem original, ou acrescentar informações à imagem original. Os artefactos podem ser provenientes de movimentos, corpos estranhos e interferências. Logo os artefactos são prejudiciais na obtenção de imagens por RM. Para minimizar foram precisas melhorias, tais como:

- ☞ **Avanços em hardware e software:** inovações em hardware, como bobinas de RF de alto campo e software de correção de artefactos (Raposo, 2024).
- ☞ **Aplicações potenciais em medicina personalizada:** permite a visualização de características individuais e a adaptação de tratamentos de acordo com as necessidades específicas de cada utente. (Raposo, 2024).
- ☞ **Integração com outras modalidades de imagem:** com o Tomografia por Emissão de Positrões (PET) e Tomografia Computadorizada (CT), está a aumentar cada vez mais as capacidades diagnósticas, oferecendo uma visão mais abrangente e precisa das condições médicas. (Raposo, 2024)
- ☞ **Impacto da inteligência artificial na interpretação de imagens de RM:** o uso de algoritmos de inteligência artificial está a revolucionar a interpretação das imagens obtidas pela RM, aumentando a eficácia e precisão do diagnóstico, embora também apresente desafios éticos e clínicos a serem considerados. (Raposo, 2024)

Neste capítulo apresenta-se os recentes avanços tecnológicos na RM, que estão a melhorar a capacidade diagnóstica e a experiência dos utentes. Destaca-se melhorias nas sequências de imagem, aquisição rápida, qualidade de imagem, e técnicas de pós-processamento. Também aborda os desafios dos artefactos de imagem e as soluções inovadoras em hardware e software para minimizá-los. A integração da RM com outras modalidades de imagem e o uso crescente da inteligência artificial estão a expandir as capacidades diagnósticas e personalizar os tratamentos médicos. Esses desenvolvimentos garantem que a RM permaneça uma ferramenta essencial na medicina moderna.

## **Capítulo 4**

---

No quarto capítulo analisa-se os desafios e as limitações da tecnologia, incluindo custos, acessibilidade, contraindicações, e as considerações éticas e sociais.

### **4. Desafios, Limitações e Considerações Éticas e Sociais**

A aquisição de equipamentos de RM e os custos associados podem ser significativamente altos, tornando-os inacessíveis para muitos hospitais e clínicas, especialmente em regiões com recursos limitados. Além disso, os custos de manutenção e operação também são consideráveis, exigindo técnicos especializados e peças de reposição caras. Em áreas rurais, pode haver falta de acesso a instalações de RM devido à sua localização. As limitações de infraestrutura podem dificultar a instalação e operação de equipamentos (rede de internet, rede elétrica confiável). Alguns utentes podem apresentar contraindicações para exames de RM devido a implantes metálicos, cardíacos, ou outros dispositivos médicos, devido aos riscos associados aos campos magnéticos. Os utentes com claustrofobia podem ter dificuldade em tolerar o confinamento no interior do equipamento durante o exame, o que pode afetar a qualidade das imagens ou exigir sedação. Além disso, certas condições médicas, como obesidade extrema, podem limitar a capacidade do utente de se ajustar ao equipamento ou dificultar a obtenção de imagens de alta qualidade. Outra limitação é o uso da sedação, pois utentes com problemas respiratórios ou alergia, podem sofrer consequências (Raposinho, 2024).

Outras questões referidas pelos técnicos da Fundação Champalimaud, foi o som dentro da sala de exame, ser demasiado alto e incomodativo, e o tempo de realização do exame. Um vídeo encontrado demonstra o som dentro da sala de exame - [reidaradiologia](#) (Raposinho, 2024).

Estes desafios e limitações destacam a necessidade contínua de avanços tecnológicos e estratégias de acesso para tornar a RM mais acessível, segura e eficaz para uma variedade de utentes e cenários clínicos.

Existem várias considerações éticas e sociais importantes a ter em conta na realização da RM. Das quais destacamos:

- Privacidade e confidencialidade – dados médicos dos utentes, incluindo as imagens obtidas e os relatórios, devem ser alvo de tratamento de

confidencialidade e privacidade de modo a proteger os dados dos respetivos utentes (RGPD – UE679/2016 de 27 de abril).

- Consentimento informado – os utentes devem ser devidamente informados sobre os procedimentos do exame, incluindo os benefícios, riscos antes de dar o consentimento Figura 27 / Figura 28 / Figura 29, anexo I.
- Equidade no acesso – acesso equitativo garantindo que todos tenham a oportunidade de beneficiar desta tecnologia, se necessário, independentemente da sua situação socioeconómica ou da sua localização geográfica.
- Uso responsável – não deve ser usado excessivamente, deve apenas ser realizado este exame quando clinicamente justificável.
- Riscos e benefícios – os técnicos de saúde devem estar cientes dos riscos tais como reações alérgicas ao contraste, claustrofobia. Assim devem tomar medidas para minimizar estes riscos garantindo que os benefícios os superem.

É essencial garantir que a realização do exame, seja feita de forma responsável, respeitando os direitos e a dignidade dos utentes, contribuindo assim para o bem estar da sociedade.

Este capítulo aborda os desafios e limitações da RM, incluindo os altos custos de aquisição e manutenção, a acessibilidade limitada, as contraindicações médicas, e as dificuldades associadas ao desconforto dos utentes. As barreiras económicas e logísticas, como a falta de infraestrutura em áreas rurais, foram destacadas como obstáculos significativos. Além disso, questões éticas e sociais, como a necessidade de garantir privacidade, consentimento informado, equidade no acesso, e o uso responsável da RM foram apresentadas. Estes desafios ressaltam a importância de continuar a desenvolver soluções tecnológicas e políticas que tornem a RM mais acessível, segura e ética para todos os utentes.

## **Capítulo 5**

---

Neste capítulo será abordado questões de segurança, em relação ao uso da RM.

### **5. Segurança**

Segurança é a condição de estar protegido contra perigos, danos, riscos ou qualquer outra ameaça que possa causar dano físico, emocional ou material.

#### **5.1. Considerações de Segurança**

Quando se trata da segurança na RM, refere-se especificamente às precauções e medidas tomadas para garantir que os utentes, operadores e qualquer pessoa presente na área estejam protegidos durante o procedimento de RM. Ao implementar protocolos de segurança, é possível garantir é realizado com o mais alto nível de segurança para todos os envolvidos no processo. Existem equipamentos como cadeiras de rodas, andarilhos ou escadas, com materiais específicos, para poder transportar os utentes de forma segura.

A segurança na RM inclui muitos aspetos, como a segurança do utente (a maior prioridade é garantir a segurança e o conforto do mesmo). Isto inclui:

A realização prévia de um questionário através de um consentimento informado, exemplar Figura 27 / Figura 28 / Figura 29, anexo I, tendo como objetivos saber se existem materiais que interagem com os campos magnéticos, como piercings, próteses metálicas, fragmentos de metal ou certas tatuagens (ecomax, 2022).

Utentes com dispositivos médicos implantados, têm restrições e precauções especiais durante a realização do exame devido à potencial interação com o campo magnético. “Existem assim protocolos que devem ser seguidos para garantir a segurança desses utentes, que incluem a obtenção de informações detalhadas sobre os dispositivos antes do exame e uma conversa com o médico responsável pelo dispositivo.” (Costa, 2024)

Em relação aos técnicos e auxiliares, inclui:

“Devem ser formados para garantir total proteção dos intervenientes. Isto inclui o conhecimento de como operar o equipamento com segurança, evitar objetos ferromagnéticos na sala de exame que possam ser atraídos para dentro do scanner pelo campo magnético e seguir protocolos específicos em caso de emergência. Inclui também

o conhecimento de como a sala deve estar posicionada e a temperatura ambiente.” (Costa, 2024)

Os campos magnéticos e de radiofrequência utilizados durante o exame podem representar riscos se não forem controlados corretamente. É importante seguir protocolos de segurança para minimizar estes riscos, incluindo a garantia de que este equipamento está a funcionar corretamente.

Mesmo sendo tomadas as precauções devidas, emergências podem surgir durante um exame. É assim, importante que a equipa médica esteja preparada para lidar com essas situações de forma rápida e eficaz. Isso pode incluir a disponibilidade de equipamento de ressuscitação cardiopulmonar na sala de exame, protocolos de evacuação e formação regular da equipa em procedimentos de emergência específicos (Costa, 2024).

A nível eletrónico existem circuitos implementados para detetar objetos ferromagnéticos que possam ser atraídos. Colocação de sensores de temperatura em componentes críticos como as bobinas de RF e amplificadores, de forma a evitar o sobreaquecimento e potencial dano aos sistemas eletrónicos. São implementados circuitos de deteção de corrente de fuga. Integrados sistemas de emergência, com o objetivo de interromper de imediato o funcionamento do equipamento. Em alguns sistemas, são equipados com circuitos que monitorizam a frequência cardíaca do utente durante o exame e podem interromper automaticamente o procedimento se forem detetadas anomalias cardíacas. São também colocados circuitos de proteção com o objetivo de evitar a exposição excessiva dos utentes aos pulsos de radiofrequência, garantindo que os parâmetros de RF permanecem dentro de limites seguros. (Costa, 2024)

As sinaléticas existentes fora da sala desempenham um papel muito importante antes e durante os procedimentos da RM Figura 26, anexo I. A RM possui também sinaléticas (Tabela 4) sobre a sua segurança como ser um equipamento de Classe II, por outras palavras possui um isolamento duplo, se é do Tipo B, fornece um nível especial de proteção para correntes de fuga e confiança na ligação à terra e possui uma parte em contacto direto com o utente o tipo BF é parecido ao B, o que difere é que possui partes flutuantes e isoladas, pois não existe nada em contacto com o utente. Existem também distâncias de segurança como referido na Tabela 3, anexo I. As questões de segurança são essenciais para garantir que a RM é realizada de forma segura e eficaz, sem colocar o bem-estar e a saúde dos envolvidos em perigo. (Costa, 2024)

## **Capítulo 6**

---

### **6. Conclusão**

A RM, possui a capacidade de produzir imagens detalhadas e não invasivas das estruturas anatómicas e processos fisiológicos, revolucionando assim o diagnóstico e o tratamento de várias patologias. Explorou-se o funcionamento da RM, detalhando os componentes essenciais do equipamento, como os ímanes, os gradientes e as bobinas de RF, que são fundamentais para a geração das imagens. Apresentou-se também, os diferentes tipos de RM, incluindo a RM de 1.5 Tesla e 3.0 Tesla, muito utilizadas em diagnósticos clínicos, e as de campo ultra-alto, como as de 7.0 Tesla, que estão a abrir novas fronteiras na pesquisa biomédica. As aplicações clínicas da RM são muitas e bastante diversificadas. Os avanços tecnológicos mais recentes, como as técnicas de aquisição rápida de imagem e as melhorias na qualidade da mesma, estão a melhorar a RM. A integração da RM com outras modalidades de imagem, como a PET e a CT, está a expandir o potencial diagnóstico de utentes. O uso de inteligência artificial na interpretação de imagens de RM promete diagnosticar cada vez mais de forma precisa, embora existam desafios éticos que devem ser considerados em conta. No entanto, a RM enfrenta várias barreiras, como os custos elevados na aquisição, a manutenção e a operação dos equipamentos, pois limitam o seu acesso, especialmente em regiões com recursos limitados, como limitações de infraestrutura nas zonas rurais. Também foi referido as contraindicações para utentes com implantes metálicos ou com claustrofobia. Teve-se em conta as questões éticas, como a privacidade dos dados médicos e o consentimento informado do utente.

A segurança é a maior prioridade, quando se utiliza a RM, por isso deve-se seguir todos os conselhos dados pelo técnico.



**Página deixada propositadamente em branco**

## **Capítulo 7**

---

### **7. Referências Bibliográficas**

Costa, S. (2024, May 13). Segurança. *Técnica de Radiologia*.

ecomax. (2022, July 29). *Quem tem tatuagem pode realizar ressonância magnética?* <https://ecomax-cdi.com.br/blog/quem-tem-tatuagem-pode-realizar-ressonancia-magnetica/>

Loução, N. (2024). Visita Champalimaud. *Investigador Do Digital Surgery Lab*.

Philips. (2012). *Basic principles of MR imaging Basic Principles of MR Imaging Edition 2012*.

Raposinho, V. (2024). Visita Champalimaud. *Técnica Radiologista*.

URM Ressonância Magnética. (2024). *História da Ressonância Magnética*. <https://urmgy.com.br/historia-da-ressonancia-magnetica/>

**Página deixada propositadamente em branco**

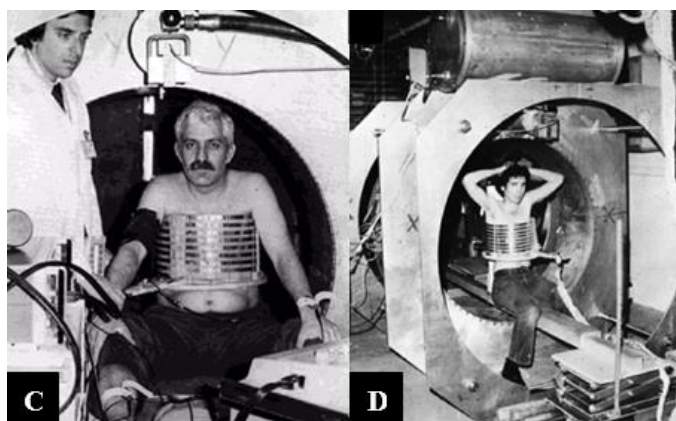
Anexo I



*Figura 1 - Ressonâncias Magnéticas Canon, Philips, GE (fonte: Dra. Sandra Matias, Hospital da Luz em Setúbal)*



*Figura 2 – Edward Purcell (A) e Félix Bloch (B)*



*Figura 3 - Dr. Raymond Damadian, 1ª tentativa de obter imagem (C) e Dr. Lawrence Minkoff, 1ª tentativa bem sucedida de obtenção de imagem (D)*

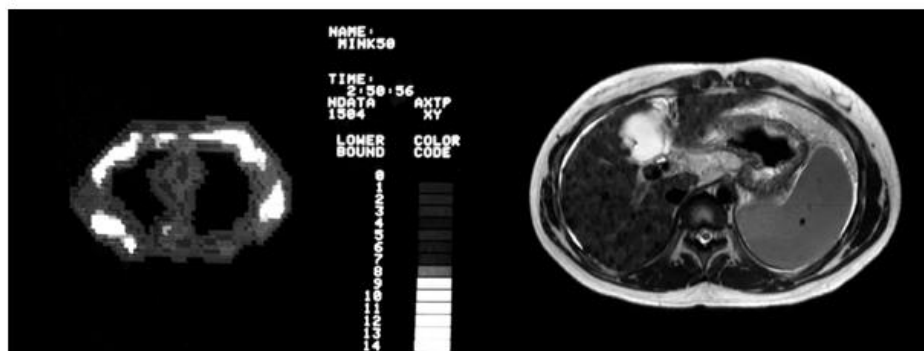


Figura 4 - Imagem de RM de 1977 – 2012

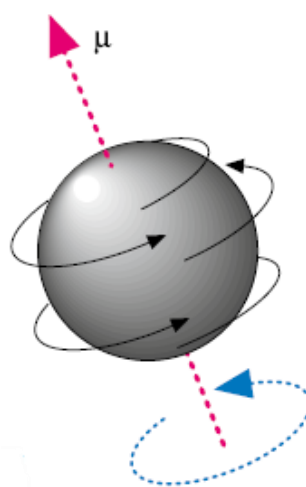


Figura 5 - Núcleo a girar rapidamente e possuindo um campo magnético fonte: Manual Philips

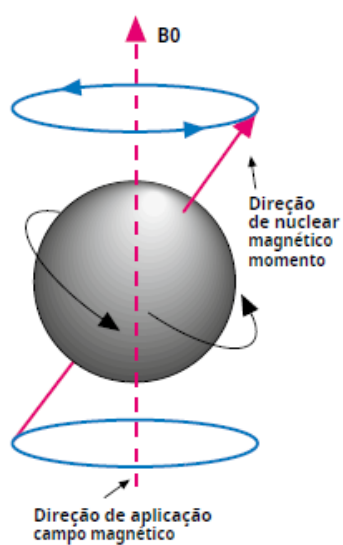


Figura 6 - Precessão de um núcleo giratório em torno de um eixo de um campo magnético aplicado fonte: Manual Philips

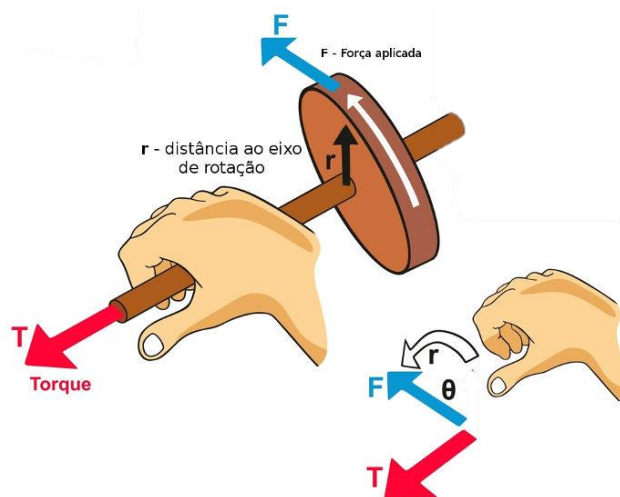


Figura 7 - torque

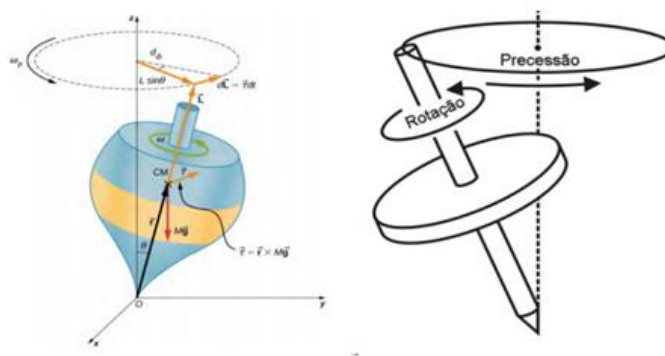


Figura 8 - Precessão de Larmor

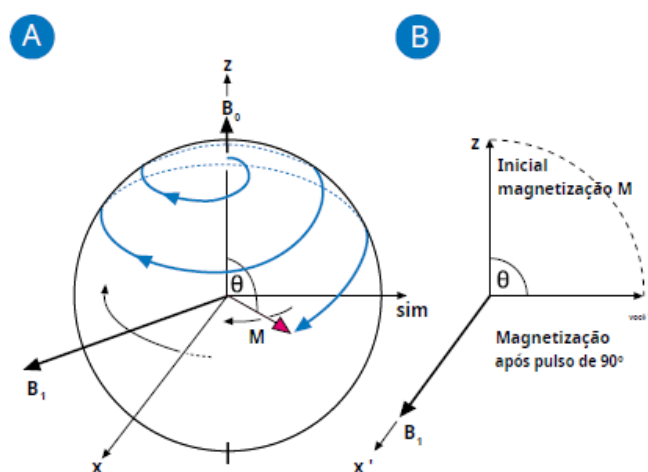


Figura 9 - Precessão de magnetização sob influência de um campo magnético estacionário  $B_0$  e um campo oscilante  $B_1$  durante um pulso de  $90^\circ$  no sistema de laboratório (A) e no sistema rotativo (B) Fonte: Manual Philips

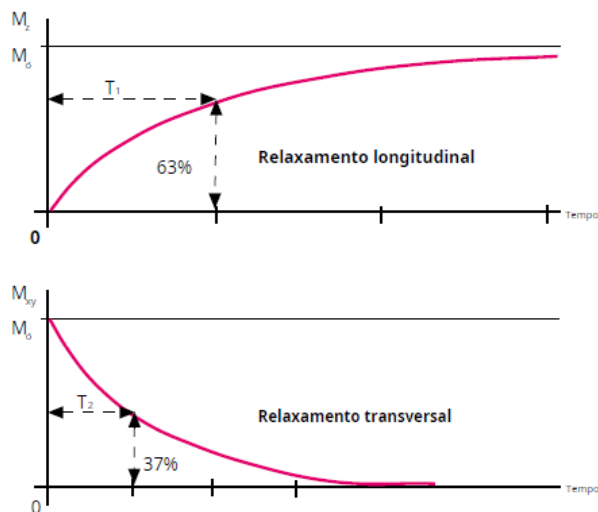


Figura 10 – “A longitudinal e magnetização transversal durante o relaxamento.  $T_1$  é o tempo necessário para magnetização longitudinal retorne a 63% do seu valor original.  $T_2$  é o tempo necessário para a transversal magnetização caia 63% do seu valor original.  $T_1$  e  $T_2$  é independente.  $T_2$  é sempre maior que  $T_1$ .” Fonte: Manual Philips

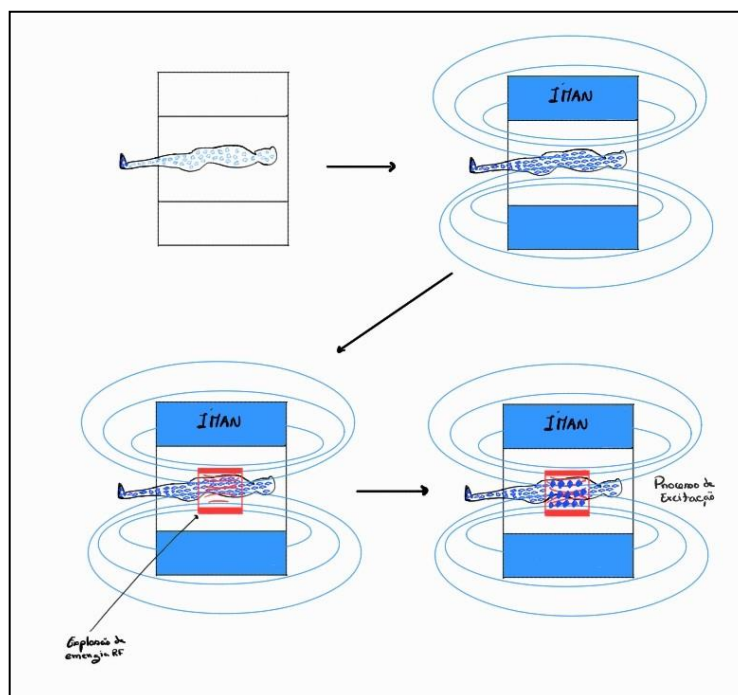


Figura 11 - Processo de Excitação dos Átomos de Hidrogénio

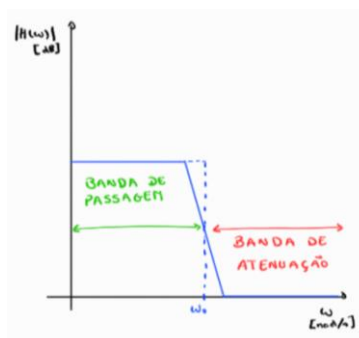


Figura 12 - Filtro Passa-Baixo

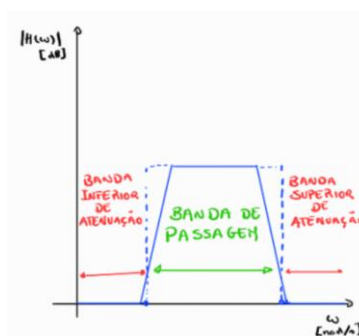


Figura 13 - Filtro Rejeita Banda

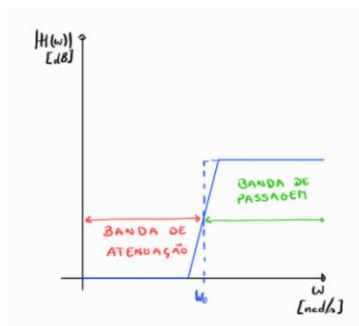


Figura 14 - Filtro Passa-Alto

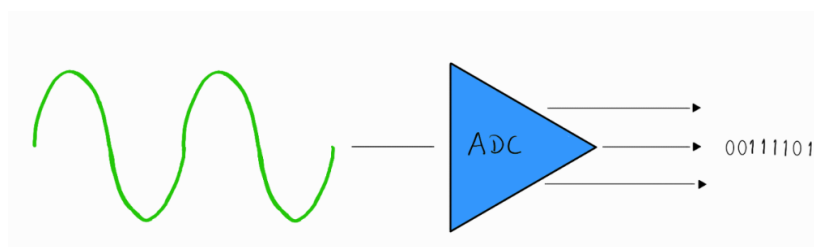


Figura 15 - ADC



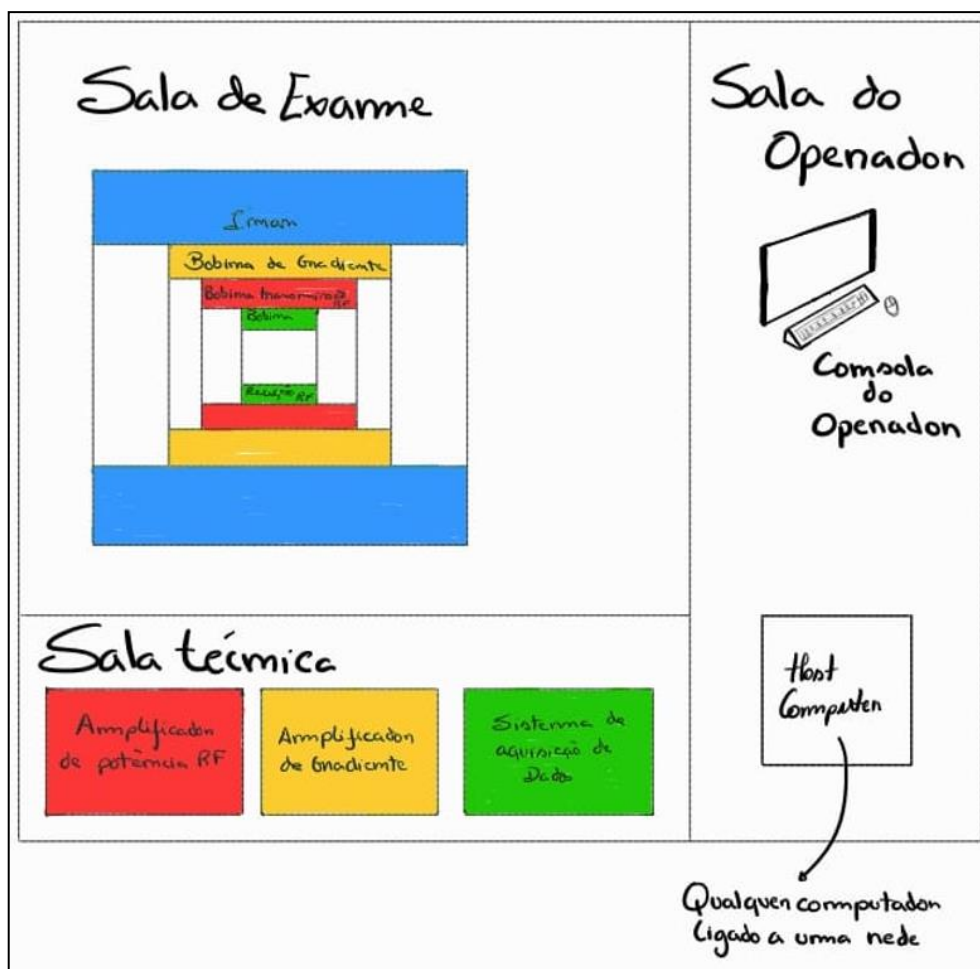


Figura 16 - Arquitetura das salas envolvidas

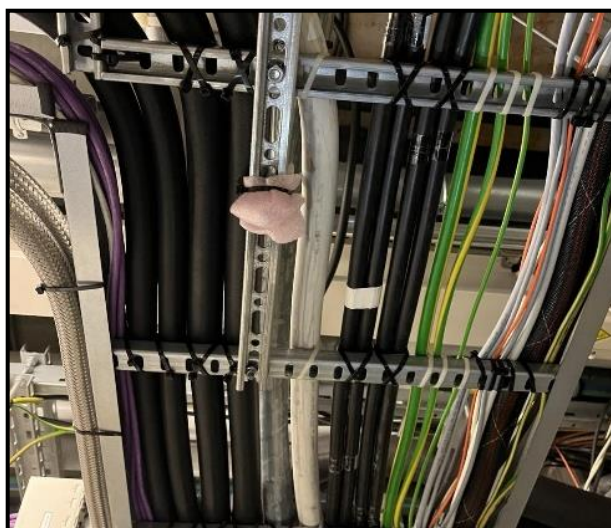
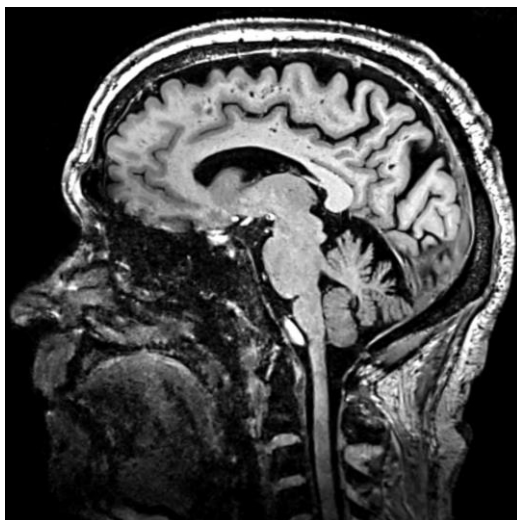


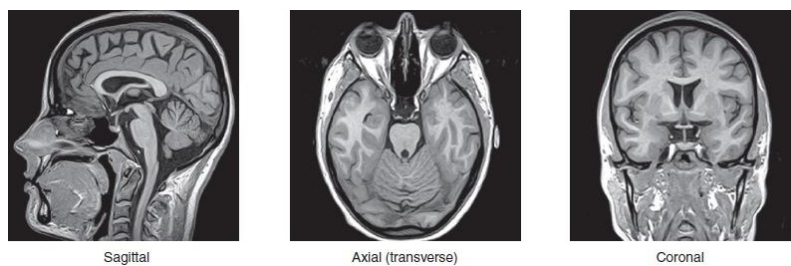
Figura 17 - Cabos de alta tensão (pretos com fita branca) de refrigeração (branco)



*Figura 18 - Imagem detalhada obtida pela RM 7T fonte: siemens-healthineers*



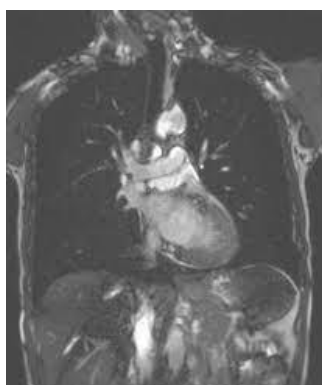
*Figura 19 - Ressonância Magnética Portátil (fonte: MedicalExpo)*



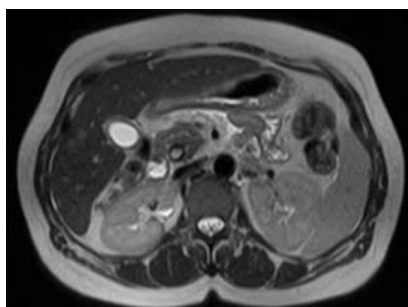
*Figura 20 - Neuroimagem de RM*



*Figura 21 - RM Músculo-esquelética*



*Figura 22 - RM torácica*



*Figura 23 - RM Abdominal*



*Figura 24 - RM Metástase da Lombar sem contraste (G) e com contraste (H)*

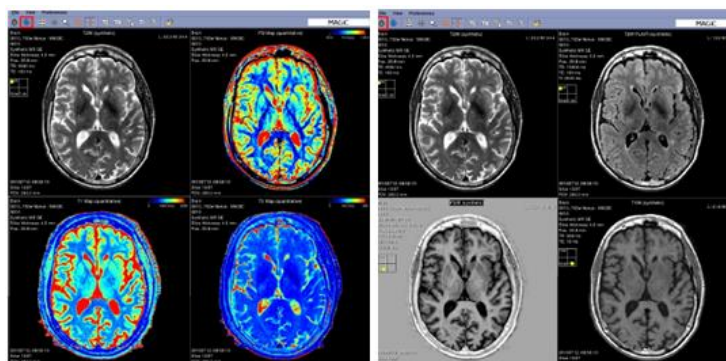



Figura 25 - Filtros



Figura 26 - Sinalética de Segurança antes da entrada na sala. Fonte: Champalimaud



**Centro Clínico Champalimaud**

**Fundação  
Champalimaud**

**CONSENTIMENTO INFORMADO E PREPARAÇÃO PARA A REALIZAÇÃO DE  
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA**

**Identificação do(a) doente**

N.º CCC:

Nome:

Data Nasc.: / /

Peso:

Kg

Por favor leia com atenção este documento e solicite as informações necessárias caso não fique esclarecido(a). Se tudo estiver em conformidade, preencha o questionário em anexo, e assine-o.

**Descrição do ato médico**

**Informação Sobre a Ressonância Magnética**

A ressonância magnética (RM) é uma técnica de imagem utilizada no diagnóstico e seguimento de diversas doenças. A imagem é obtida utilizando um campo magnético gerado por ondas de radiofrequência (radiação electromagnética, não ionizante).

**Procedimento**

A RM é um exame seguro e fiável. A RM pode ser alterada ou estar contra-indicada pela presença de alguns materiais metálicos. Caso o exame seja dirigido à face ou crânio, deverá remover a maquilhagem que tiver nas pálpebras. Antes de entrar na sala de RM terá de retirar todos os objetos pessoais e roupa com metal, usando o vestuário fornecido.

Na sala de RM irá deitar-se numa marquesa que desliza dentro de um túnel curto, iluminado e ventilado, aberto nas duas extremidades, sendo a parte do corpo a ser examinada posicionada no centro. Um dispositivo, tipo placa, conhecido como bobina, poderá ser colocado sobre o corpo. Se é claustrofóbico(a) ou se sentir ansioso(a), por favor informe-nos antecipadamente. Porque o funcionamento do aparelho de RM é ruidoso, ser-lhe-ão fornecidos protetores para os ouvidos para reduzir o nível acústico. Deverá permanecer tão imóvel quanto puder durante o exame, pois o movimento resulta em imagens desfocadas e de menor qualidade.

O exame durará aproximadamente 30 minutos mas, dependendo da(s) parte(s) do corpo a estudar e do tipo de patologia, poderá ser mais prolongado. Durante o exame, o(a) técnico(a) tem visualização direta e permanente com a sala, bem como possibilidade de contacto auditivo. Caso seja necessário, poderá pressionar um botão que permite interromper o exame e solicitar apoio.

Em alguns casos, o médico responsável pelo exame poderá considerar necessário o uso de meios de contraste, conforme o âmbito da RM a realizar:

- Contraste intravenoso – Administração de contraste à base de gadolínio, através de um cateter endovenoso periférico habitualmente colocado no membro superior, imediatamente antes ou durante a realização do exame;
- Contraste oral – Ingestão de um líquido com contraste para preenchimento do tubo digestivo entre 30 minutos a 1 hora antes da entrada na sala de RM (Utilizado em exames de entero-RM);
- Contraste endovaginal – Aplicação de gel por via vaginal para preenchimento do canal vaginal;
- Contraste rectal – Aplicação de contraste através do ânus para preenchimento do cólon.

A administração de contraste, tal como qualquer medicamento, pode produzir (raramente), efeitos secundários leves, como uma ligeira erupção cutânea e mais raramente náuseas ou vômitos. Os efeitos mais graves ou eventualmente fatais são excecionais. No caso de saber ser alérgico(a) a algum produto de contraste, por favor informe a equipa clínica responsável. Se deseje recusar a injeção de contraste, informe o(a) técnico(a).

**Preparação**

Para realizar este exame deverá estar em jejum de sólidos e de líquidos durante 4 horas antes do procedimento. No entanto, se tiver medicação para tomar neste período, deve tomá-la com uma pequena quantidade de água (no máximo, metade de um copo pequeno) e pelo menos 2 horas antes do exame, de forma a não comprometer o jejum necessário. No dia do exame, apresente-se à hora indicada no Serviço de Radiologia do Centro Clínico Champalimaud.


**Centro Clínico Champalimaud**  
Av. Brasília | 1400-038 Lisboa | Portugal  
T (+351) 210 480 048 | T (+351) 965 927 748

Email: [centro.atendimento@fundacaochampalimaud.pt](mailto:centro.atendimento@fundacaochampalimaud.pt)  
[www.fchampalimaud.org](http://www.fchampalimaud.org)

Versão 1  
Novembro 2022  
Página 1 de 3

Figura 27 - Consentimento informado pag.1. Fonte: Fundação Champalimaud

**Centro Clínico Champalimaud**



**Fundação  
Champalimaud**

### CONSENTIMENTO INFORMADO E PREPARAÇÃO PARA A REALIZAÇÃO DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

**Deverá trazer consigo**

- Exames anteriores se os tiver (análises, exames endoscópicos, exames de imagem realizados na mesma parte do corpo);
- A listagem de todos os medicamentos que está a tomar, a qual deverá mostrar à equipa clínica antes do procedimento;
- O questionário de segurança devidamente preenchido.

Caso entenda necessário, pode solicitar informação adicional junto do(a) Técnico(a) de Radiologia que executa o seu exame ou junto do(a) Médico(a) Radiologista de serviço.

**Questionário de segurança para a realização da Ressonância Magnética**

- Já teve algum problema relacionado com um exame de ressonância magnética anterior? Sim ☐ Não ☐  
Se sim, por favor descreva: \_\_\_\_\_
- Teve alguma reação à injeção de contraste em exames de imagem? Sim ☐ Não ☐  
Se sim, por favor descreva: \_\_\_\_\_
- Já alguma vez foi operado(a)? Sim ☐ Não ☐  
Data: / / Tipo de cirurgia: \_\_\_\_\_  
Data: / / Tipo de cirurgia: \_\_\_\_\_
- Teve alguma lesão no olho ou já foi ferido(a) por um objeto ou fragmento metálico (por exemplo, lascas metálicas, aparas, corpo estranho, bala, chumbo, etc.)? Sim ☐ Não ☐  
Se sim, por favor descreva: \_\_\_\_\_
- É alérgico(a) a alguma medicação? Sim ☐ Não ☐  
Se sim, por favor descreva: \_\_\_\_\_
- Tem história de asma ou de alergias? Sim ☐ Não ☐  
Se sim, por favor descreva: \_\_\_\_\_
- Tem claustrofobia? Sim ☐ Não ☐
- Tem insuficiência renal? Sim ☐ Não ☐

9. Indique se tem algum dos seguintes materiais

Clip cirúrgicos	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Stent, filtro ou coils/espiras metálicos	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Próteses ou suturas metálicas	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Pacemaker cardíaco	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Próteses valvulares cardíacas	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Desfibrilhador cardioversor implantado	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Implantes ou sementes de radioterapia	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Expansor tecidual (ex: mamário)	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Implante coclear ou aparelho auditivo	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Prótese (ocular, peniana, etc.)	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Shunt intracraniano	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Bomba infusora	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Neuroestimulador	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Prótese ou aparelho dentários?	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>
Prótese (ocular, peniana, etc.)	Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/>

Onde e há quanto tempo?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Qualquer outro dispositivo, implante ou prótese não referido anteriormente

\_\_\_\_\_

- Para doentes do sexo feminino
 

Está grávida ou existe possibilidade de estar grávida? Sim ☐ Não ☐

Está a amamentar? Sim ☐ Não ☐

Data do último período menstrual / / Sim ☐ Não ☐

Já iniciou a menopausa? Sim ☐ Não ☐

Está a tomar contraceptivos orais ou a receber tratamento hormonal? Sim ☐ Não ☐

Assinale se tem: Anel vaginal ☐ Tampão ou copo vaginal ☐ DIU ☐
- Entregou exames anteriores? Sim ☐ Não ☐


**Centro Clínico Champalimaud**  
Av. Brasília | 1400-038 Lisboa | Portugal  
T (+351) 210 480 048 | T (+351) 965 927 748

Email: [centro.atendimento@fundacaochampalimaud.pt](mailto:centro.atendimento@fundacaochampalimaud.pt)  
[www.fchampalimaud.org](http://www.fchampalimaud.org)

Versão 1  
Novembro 2022  
Página 2 de 3

Figura 28 - Consentimento informado pag.2. Fonte: Fundação Champalimaud





**Fundação  
Champalimaud**

**Centro Clínico Champalimaud**

**CONSENTIMENTO INFORMADO E PREPARAÇÃO PARA A REALIZAÇÃO DE  
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA**

**Declaração do(a) próprio(a) ou seu(sua) representante legal**

**Declaro**  
que consinto a realização do exame de RM solicitado e certifico que:

- Este formulário foi-me explicado, que o li ou que me foi lido, que o preenchi ou foi preenchido pelo meu(minha) representante e que compreendi o seu conteúdo;
- Foi-me dada a oportunidade de colocar questões sobre o procedimento e sobre os seus riscos;
- Acredito ter informação suficiente para dar este consentimento informado.

Relativamente à administração de contraste, assinale a afirmação correta:

- Permito a injeção do meio de contraste endovenoso ☐
- Recuso a injeção do meio de contraste endovenoso ☐

Assinatura do(a) próprio(a) ou representante legal: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Se for assinado pelo(a) representante legal indicar:**  
Tipo de representação / Grau de parentesco: \_\_\_\_\_  
Morada: \_\_\_\_\_  
Documento de identificação e validade: \_\_\_\_\_  
Telefone: \_\_\_\_\_ Email: \_\_\_\_\_

Este documento tem duas vias, ficando o original no Centro Clínico Champalimaud e sendo o duplicado entregue ao(a) próprio(a) ou ao(a) seu(sua) representante legal.

**Centro Clínico Champalimaud**  
Av. Brasília | 1400-038 Lisboa | Portugal  
T (+351) 210 480 048 | T (+351) 965 927 748

Email: [centro.atendimento@fundacaochampalimaud.pt](mailto:centro.atendimento@fundacaochampalimaud.pt)  
[www.fchampalimaud.org](http://www.fchampalimaud.org)

Versão 1  
Novembro 2022  
Página 3 de 3

Figura 29 - Consentimento informado pag.3 fonte: Fundação Champalimaud

**Primeiro modelo RM,**  
rabiscado num  
guardanapo por  
P. C. Lauterbur.

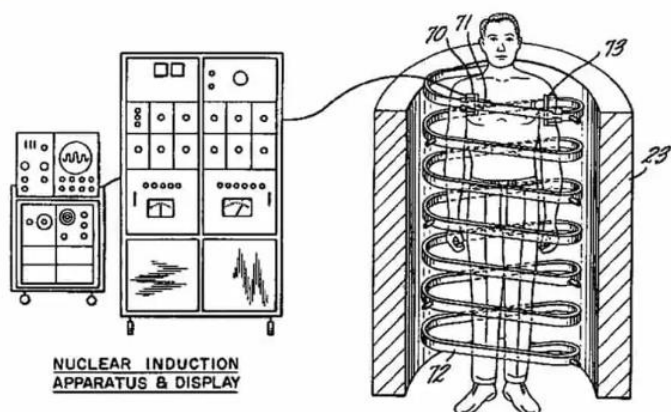


Figura 30 - Rabisco 1º Modelo RM

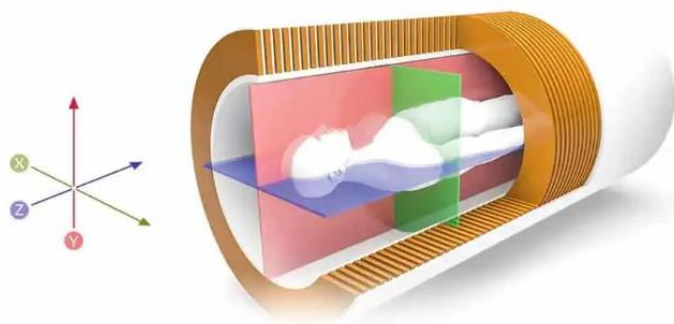


Figura 31 - Íman



Tabela 1 - Empresas fabricantes de equipamentos de RM

Empresa	Designação em RM	Logotipo
Siemens Healthineers	oferece uma ampla gama de produtos que incluem máquinas de RM de alto campo e baixo campo, e equipamentos de RM portáteis.	
GE Healthcare	fornece sistemas de RM avançados para uma variedade de aplicações médicas. Incluem máquinas de alto campo, baixo campo e de campo aberto.	
Philips Healthcare	sistemas de RM de alta qualidade e tecnologia avançada. desde máquinas de RM de alto campo até sistemas compactos e portáteis	
Toshiba Medical Systems	reconhecida na fabricação de equipamentos de imagem médica, incluindo sistemas de RM	
Hitachi Healthcare	produzem sistemas de RM de alta qualidade e tecnologicamente avançados	
Bruker Corporation	fabricam equipamentos de RM de alto campo para aplicações em pesquisa biomédica, química e materiais	
Neusoft Medical Systems	líder em tecnologia médica na China, que produz sistemas de ressonância magnética de alto campo e de campo aberto.	
Paramed Medical Systems	sistemas de ressonância magnética de campo aberto.	
Fonar Corporation	empresa pioneira em sistemas de RM de campo aberto e foi a primeira a comercializar esse tipo de sistema. Produzem sistemas de RM de alto campo e de campo aberto.	

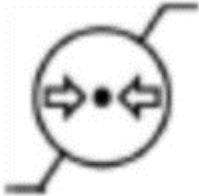









Tabela 2 - Alguns T1 e T2 valores para tecidos humanos. O diferenças em T1 e T2 são explorados em imagens de ressonância magnética para obter contraste entre diferentes tecidos. Fonte: Manual Philips











Tecido	T1 a 1,5T (ms)	T1 a 0,5T (ms)	T2 (ms)
Músculo esquelético	870	600	47
Fígado	490	323	43
Rim	650	449	58
Baço	780	554	62
Gordão	260	215	84
matéria cinzenta	920	656	101
Matéria branca	790	539	92
Líquido cefalorraquidiano	> 4000	> 4000	> 2000
Pulmão	830	600	79

Tabela 3 - Distâncias mínimas a manter do centro dos eixos x,y,z do íman. Fonte: Siemens - syngo MR XA10

informação = 1mT = 10 Gauss		
Densidade do fluxo magnético	Distâncias mínimas (x = y = radial, z = axial)	Exemplos: Dispositivos afetados
3 mT	x = 2,16 m z = 3,24 m	Motores pequenos, relógios, câmaras, cartões de crédito, suportes de dados magnéticos
1 mT	x = 2,45 m z = 4,05 m	Osciloscópios, computadores, unidades de disco, monitores a cores blindados
0,5 mT	x = 2,65 m z = 4,65 m	Monitores a preto e branco, suportes de dados magnéticos, estimuladores cardíacos, bombas de
0,2 mT	x = 3,12 m z = 5,72 m	Sistemas de Tomografia Computorizada da Siemens
0,1 mT	x = 3,8 m z = 6,8 m	Aceleradores lineares da Siemens
0,05 mT	x = 4,8 m z = 8,1 m	Intensificadores de imagens radiológicas, câmaras gama, aceleradores lineares de terceiros.

*Tabela 4 - Sinalética da RM Fonte: Siemens - syngo MR XA10*

Etiqueta	Descrição
	Limites de pressão atmosférica
	Limites de temperatura
 ou 	Seguro para RM
	Condicional para RM
	Não seguro para RM
 OU 	Bobinas apenas de receção
 OU 	Bobina de transmissão

	Limites de humidade
	Porta de ligação do sistema de alerta do utente
	Porta de ligação do controlo periférico
	Porta de ligação do fole respiratório
	Corte de emergência (alimentação do sistema)
	Paragem de emergência
	Equipamento de Classe II (isolamento duplo)
	Peça aplicada do Tipo B (classificações, ligações AP)
	Peça aplicada do Tipo BF
	Radiação eletromagnética não - ionizante (classificações)