



INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

# EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

João Daniel Santo Casimiro

Hugo Ferreira (ESTESL/IBEB)

Nuno Teixeira (ESTESL)

Mestrado em Radiações Aplicadas às Tecnologias da Saúde

Lisboa, Fevereiro 2015



INSTITUTO POLITÉCNICO DE LISBOA  
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DA SAÚDE DE LISBOA

EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL A CAMPOS  
ELECTROMAGNÉTICOS  
EM RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

A RM 3 TESLA DO HOSPITAL DONA ESTEFÂNIA

João Daniel Santo Casimiro

Técnico de Radiologia

Licenciatura em Radiologia pela ESTESL

Dr. Hugo Ferreira (ESTESL/IBEB)

Dr. Nuno Teixeira (ESTESL)

Mestrado em Radiações Aplicadas às Tecnologias da Saúde

Lisboa, Fevereiro 2015

O documento não adopta as regras do Acordo Ortográfico Português

O documento é disponibilizado à Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Lisboa, assim como os dados nele apresentados.

A legislação apresentada no trabalho é válida até à data da apresentação do trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Os agradecimentos deste trabalho vão principalmente para a minha mulher e filho, pois só foi possível realizá-lo retirando algum tempo a eles. Outro agradecimento muito significativo aos meus pais que sempre me incentivaram a concluir esta investigação.

Por outro lado tenho também de agradecer aos responsáveis pelo departamento de Ressonância Magnética do Hospital D. Estefânia e aos seus profissionais a oportunidade de realizar este estudo e o facto de permitirem a captação de imagens dos seus procedimentos.

Um último agradecimento à empresa que me permitiu realizar os testes para obtenção dos dados para o trabalho, a COMUT Technologies, e ao Engenheiro Nuno Medeiros pela disponibilidade de me ter instruído sobre a utilização do dosímetro de medição do campo eléctrico.



# RESUMO

---

A Ressonância Magnética (RM) é actualmente a técnica de imagem médica mais evoluída e em maior desenvolvimento. Este progresso que se tem vindo a notar é atingido em parte devido ao aumento do campo magnético utilizado, bem como à potência dos gradientes que as máquinas utilizam. Como resultado destes desenvolvimentos algumas entidades têm vindo a levantar questões sobre a segurança dos profissionais que trabalham com a RM. As recomendações publicadas pela ICNIRP, transpostas para Directivas pela Comissão Europeia, estabeleceram limites para algumas actividades que usam os campos electromagnéticos, como é o caso da RM. Mais tarde, devido às incertezas que ainda subsistiam ao nível dos danos biológicos no ser humano e aos prejuízos para a Medicina, esses limites foram abolidos para os profissionais que trabalham com RM na área médica pela Directiva 2013/35 EU. A mesma Directiva obriga ainda assim a uma avaliação de risco efectuado pelo empregador.

Assim, este trabalho realiza uma avaliação de risco ao Departamento de Ressonância Magnética do Hospital D. Estefânia, onde se avaliou o *layout* do próprio departamento, profissionais, procedimentos efectuados e qual a exposição aos campos electromagnéticos para as situações de risco. Os resultados obtidos permitiram tirar conclusões sobre quais os procedimentos de maior risco de exposição aos campo electromagnéticos no contexto do Departamento de Ressonância Magnética do Hospital D. Estefânia.

# ABSTRACT

---

*Magnetic Resonance Imaging (MRI) is currently the most developed medical imaging technique and it is in further development. The progress that has been observed is due to the increase of the magnetic field and the power of the new gradients. As a result of these developments some entities have been raising questions about the safety of professionals working with and around MRI. The recommendations that were published by ICNIRP and made voice through the European Commission through Directives, set limits for some activities using electromagnetic fields, such as MRI. Later, because of the uncertainties that still existed regarding the biological effects of magnetic fields in humans, and because of the possible impairment to medicine, these limits were abolished for professionals working with MRI in medical environment by the Directive 2013/35 EU. Despite all this, the same directive obliges a risk assessment carried out by the employer.*

*This investigation carried out a risk assessment of the MRI Department in Hospital D. Estefânia, in which the layout of the department, professionals and procedures were evaluated. The results allowed us to draw conclusions about what procedures might be considered high-risk situations of exposure to electromagnetic fields in the MRI Department of Hospital D. Estefânia.*

# INDICE

---

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Pertinência do Estudo .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Organização da dissertação .....</b>	<b>3</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Campos Electromagnéticos na Ressonância Magnética.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1 Campo Magnético Estático .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2 Campo Magnético Variável .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.3 Campo de Radiofrequência.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Efeitos na saúde dos campos electromagnéticos não ionizantes .....</b>	<b>9</b>
<b>2.3 Campo magnético estático .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.1 Estudos em seres humanos .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.2 Estudos <i>in vivo</i>.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.3 Estudos <i>in vitro</i> .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 Campos de Extremamente Baixa Frequência.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.1 Efeitos Carcinogénicos .....</b>	<b>13</b>
<b>2.4.2 Outros efeitos na saúde .....</b>	<b>14</b>
<b>2.5 Campos de Frequência Intermédia.....</b>	<b>14</b>
<b>2.6 Campos de Radiofrequência.....</b>	<b>14</b>
<b>2.6.1 Efeitos Carcinogénicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2.6.2 Efeitos no sistema nervoso .....</b>	<b>17</b>
<b>2.6.3 Efeitos no sistema Reprodutor .....</b>	<b>18</b>
<b>2.7 Legislação Europeia e Recomendações Internacionais .....</b>	<b>19</b>
<b>2.7.1 Directiva 2004/40 CE.....</b>	<b>19</b>

2.7.2	Directiva 2008/46 CE.....	21
2.7.3	Proposta para nova directiva.....	21
2.7.4	Directiva 2012/11 UE.....	22
2.7.5	Directiva 2013/35 UE.....	22
2.8	Tipos de Exposição ocupacional em ressonância magnética.....	24
2.8.1	Categorias de exposição em RM .....	25
2.8.1.1	Categoria 1 - Exposição ao campo magnético estático .....	25
2.8.1.2	Categoria 2 - Exposição ao campo magnético estático, campos de extremamente baixa frequência e campos de frequência intermédia.....	25
2.8.1.3	Categoria 3 - Exposição ao campo magnético estático, campos de extremamente baixa frequência, campos de frequência intermédia e campos de radiofrequência.....	26
2.8.2	Classificação de zonas.....	27
2.8.2.1	Zona 1 .....	27
2.8.2.2	Zona 2 .....	27
2.8.2.3	Zona 3 .....	27
2.8.2.4	Zona 4 .....	28
2.9	Novas aplicações em Ressonância Magnética.....	29
3.1	Questão de investigação e objetivos do estudo .....	31
3.2	Desenho do Estudo .....	32
3.3	Contexto .....	33
3.4	População e amostra.....	33
3.5	Instrumentos de Recolha de dados.....	35
3.5.1	Determinação de cenários de exposição máxima.....	35
3.5.2	Registo de Vídeo.....	36
3.6	Medições dos campos electromagnéticos .....	37
3.6.1	Campo magnético.....	37
3.6.2	Campo eléctrico.....	38
4.	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	43
4.1	Procedimentos realizados no departamento de RM .....	43
4.1.1	Limpeza diária matinal .....	43
4.1.2	Posicionamento de Doente .....	44
4.1.3	Limpeza de equipamento .....	45
4.1.4	Cateterização venosa para injeção de meio de contraste .....	45
4.1.5	Indução anestésica de doentes pediátricos .....	46

4.1.6	Acompanhamento de doentes pediátricos .....	46
4.1.7	Manutenção/Reparação equipamento.....	47
4.2	Gelha de registos dos procedimentos .....	47
4.3	Quantificação dos procedimentos de exposição máxima .....	49
4.3.1	Exposição ao campo magnético estático .....	49
4.3.2	Exposição ao Campo Eléctrico.....	51
5	DISCUSSÃO .....	57
5.1	Avaliação do departamento de RM do Hospital D. Estefânia .....	57
5.1.1	Campos electromagnéticos .....	57
5.1.2	Riscos ocupacionais .....	58
5.1.3	Zonas.....	59
5.1.4	Classificação dos profissionais .....	60
5.1.5	Procedimentos de maior exposição aos CEM.....	62
5.2	Considerações sobre os valores registados da exposição aos CEM.....	63
5.3	Limitações do estudo .....	64
5.4	Protocolo de avaliação de risco de um departamento de RM .....	65
6	CONCLUSÃO.....	67



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema de Pertinência do estudo.....	2
Figura 2 - Esquema de um equipamento de Ressonância Magnética .	6
Figura 3 - Esquema da criação de um campo magnético numa estrutura solenóide ( <a href="http://www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/solenoid.html">www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/solenoid.html</a> ).	7
Figura 4 - Gradientes de um equipamento de RM.....	8
Figura 5 - Faixas do espectro EM revistas pelo SCENIHR. ....	10
Figura 6 - Mapa cronológico de directivas e recomendações na área dos CEM.....	24
Figura 7- Esquema das zonas de um departamento de RM e respectivas actividades por zona	28
Figura 8 - Número de publicações de RM intervenção .....	29
Figura 9 - Zonas da sala de RM para localização espacial. ....	36
Figura 10 – Localização da câmara de registo vídeo dos procedimentos.....	37
Figura 11 – Dosímetro Satimo <sup>®</sup> EME Guard .....	38
Figura 12 - Colocação do Dosímetro para avaliação do campo eléctrico na sala de exame na posição B (estrela).....	40
Figura 13 – Limpeza diária matinal. ....	44
Figura 14 - Posicionamento do Doente.....	44
Figura 15 - Limpeza do equipamento.....	45
Figura 16 - Cateterização venosa para injeção de meio de contraste. ....	45
Figura 17 - Indução anestésica de doentes pediátricos. ....	46
Figura 18 - Acompanhamento de doente pediátrico.....	46
Figura 19 - Manutenção/Reparação do equipamento.....	47
Figura 20 - Procedimentos de maior exposição ao campo magnético e eléctrico. ....	49
Figura 21 - Esquema da sala de RM com posição A de exposição máxima ao campo magnético estático .....	49
Figura 22 - Planta do departamento de RM do Hospital D. Estefânia e linhas de isocampo.....	50
Figura 23 - Esquema da sala de RM com posição B de exposição máxima ao campo eléctrico	51
Figura 24 - Gráfico temperatura durante a avaliação, nas 3 fases. ....	52
Figura 25 - Esquema da sala de RM com os locais de medição do campo eléctrico .....	53
Figura 26 - Gráfico de medições do campo eléctrico exterior da sala de RM (exterior da sala de exame).....	53
Figura 27 - Gráfico de medições do campo eléctrico no interior da sala de RM, acompanhamento de doente por parte de Enfermeiro. ....	54

Figura 28 - Gráfico de medições do campo eléctrico numa média de 6 minutos no interior da sala de RM, acompanhamento de doente por parte de Enfermeiro.....	55
Figura 29 - Gráfico de medições do campo eléctrico no interior da sala de RM, ventilação manual pelo Anestesista. ....	55
Figura 30 - Gráfico de medições do campo eléctrico numa média de 6 minutos no interior da sala de RM, ventilação manual pelo Anestesista. ....	56
Figura 31 - Mapa de zonas do departamento de RM do Hospital D. Estefânia .....	59
Figura 33 - Categorias de exposição profissional na RM do Hospital D. Estefânia. ....	61

## INDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Grelha de avaliação de procedimento.....	35
Tabela 2 – Especificações do dosímetro SATIMO® EME GUARD .....	39
Tabela 3 –Fases da avaliação do campo eléctrico.....	41
Tabela 4 - Grelha de registo de procedimentos.....	48
Tabela 5 – Tabela de comparação de valores registados do campo magnéticos e valores propostos pela Directiva 2013/35 EU .....	64
Tabela 6 – Tabela de comparação de valores registados do campo eléctrico e valores propostos pela Directiva 2013/35 EU .....	65



## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>RM</b>	Ressonância Magnética
<b>CEM</b>	Campo Electromagnético
<b>CME</b>	Campo Magnético Estático
<b>CMV</b>	Campos Magnéticos Variáveis
<b>CE</b>	Campo Eléctrico
<b>CEBF</b>	Campo Extremamente Baixa Frequência
<b>FI</b>	Campo de Frequência intermédia
<b>RF</b>	Campo de Radiofrequência
<b>HDE</b>	Hospital Dona Estefânia
<b>UE</b>	União Europeia
<b>CE</b>	Comissão Europeia
<b>ICNIRP</b>	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection
<b>SCENIHR</b>	Scientific Commission on Emerging and Newly Identified Health Risks
<b>SAR</b>	Taxa de Absorção Específica



# 1. INTRODUÇÃO

---

A Ressonância Magnética é actualmente a técnica mais evoluída na área do diagnóstico por imagem, mesmo sendo uma das técnicas mais recentes. A RM é também a modalidade de imagem que detém maior margem de evolução e aquela para a qual ainda não se conhecem os limites do seu desenvolvimento.

A RM permite através da utilização de um campo magnético e campos de radiofrequência, localizar e quantificar átomos, normalmente de Hidrogénio, por forma a obter uma imagem de um objecto, ou de avaliar a sua composição química.

A técnica da RM pressupõe então a exposição de doentes e trabalhadores a campos electromagnéticos (CEM) cada vez intensos, existindo hoje em dia equipamentos na ordem das dezenas de Tesla (Atkinson, Renteria, Burd, Pliskin, & Thulborn, 2007). Apesar da investigação científica não ter encontrado ainda efeitos adversos relevantes (SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, 2009), durante os últimos 30 anos, vários organismos têm emitido recomendações para a exposição aos CEM presentes num equipamento de RM (ICNIRP, 1998) (European Parliament and the Council, 2013). Esta margem de progressão demonstrada pela RM obriga a uma monitorização rigorosa da exposição aos CEM.

## 1.1 Pertinência do Estudo

A principal mais-valia deste projecto/trabalho de investigação é estudar a temática da exposição ocupacional dos trabalhadores que operam directamente com equipamentos de Ressonância Magnética. Conhecendo a temática da exposição ocupacional às radiações não ionizantes num ambiente de RM poderemos interpretar as novas recomendações e directivas que regulam a exposição ocupacional nestes casos. Deste modo será possível realizar as medições indicadas nestes documentos de forma a perceber de uma forma científica o que estas novas condições poderão afectar ou não a prática actual da RM. Resumindo, a grande mais valia deste projecto será perceber de que forma várias práticas na RM poderão ser afectadas pelas recomendações/directivas que estão neste momento prestes a ser transpostas para as legislações nacionais. No caso concreto deste trabalho irá proceder-se a uma avaliação do risco da exposição ocupacional no Centro Hospitalar de Lisboa – Zona Central, mais precisamente no equipamento de Ressonância Magnética do Hospital D. Estefânia, que apresenta como mais-valia para o estudo o facto de ser um equipamento de alto campo magnético.

A realização de uma avaliação de risco ao Departamento de RM do Hospital Dona Estefânia permitirá tirar conclusões sobre a forma como poderá ser aplicada a legislação proposta pela Directiva 2013/35 EU, bem como identificar práticas de maior risco por forma a estudá-las e eventualmente alterá-las tentando minimizar a exposição dos trabalhadores aos CEM.

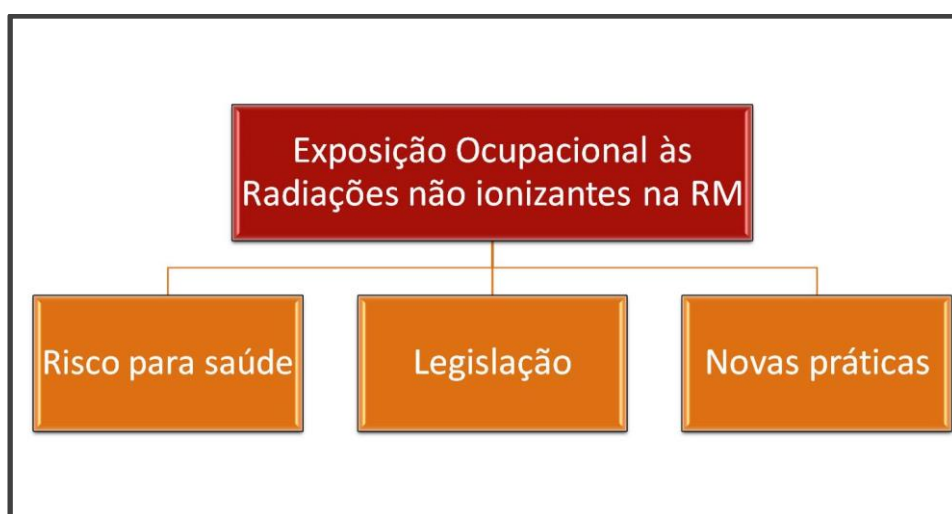


Figura 1 – Esquema de Pertinência do estudo.

## **1.2 Organização da dissertação**

A dissertação foi organizada nas seguintes fases: primeiro surge uma revisão da bibliografia relacionada tanto com a parte legislativa bem como as evidências científicas disponíveis à data da dissertação. Segundo, apresentou-se uma metodologia de trabalho a aplicar no local da investigação utilizando os meios técnicos disponíveis à data da realização da investigação. A terceira fase foi a análise dos resultados obtidos tanto nas medições da exposição aos CEM, como das avaliações do departamento e dos profissionais. Seguidamente, apresenta-se a discussão que resulta da análise dos resultados obtidos e a sua aplicação no quotidiano da prática da RM a nível clínico. Por fim temos a conclusão da dissertação que serve para sistematizar todo o conhecimento revisto e obtido através deste trabalho.



## 2. REVISÃO DA LITERATURA

---

### 2.1 Campos Electromagnéticos na Ressonância Magnética

Os equipamentos de Ressonância Magnética são equipamentos médicos de elevada complexidade que utilizam campos electromagnéticos para obter informações sobre o corpo humano. As imagens de RM são o resultado principal obtido através do equipamento, contudo é possível obter informações de outra natureza como quantificar elementos ou avaliar as suas velocidades. Os campos electromagnéticos utilizados são produzidos, recebidos e analisados por um conjunto de elementos de Hardware que compõem o equipamento da RM.

Existem 3 componentes principais na produção e recolha dos Campos Electromagnéticos da RM que são: o Magneto (A), as bobinas de gradientes (B) e as antenas de Radiofrequência (C), conforme ilustrado na Figura 2.

#### 2.1.1 Campo Magnético Estático

O magneto é o componente mais dispendioso de todo o equipamento devido às suas propriedades supercondutoras. A supercondutividade é atingida por meio de um fio supercondutor que, quando colocado a uma temperatura próxima do zero absoluto

(-273,15°C ou 0 K), adquire uma resistência eléctrica aproximadamente igual a zero. Estas condições são obtidas pela imersão do fio supercondutor em Hélio líquido. Assim, com a passagem de corrente nesta bobina, esta circulará ininterruptamente desde que as condições estejam reunidas, criando um campo magnético estável. Ainda assim pequenas perdas no campo magnético principal poderiam ser registadas ao longo dos anos. Nos modelos mais recentes existe ainda um sistema de arrefecimento exterior ao equipamento que ajuda a refrigerar um componente denominado de cabeça fria, aumentando o tempo de utilização do hélio até 3 ou 4 anos.

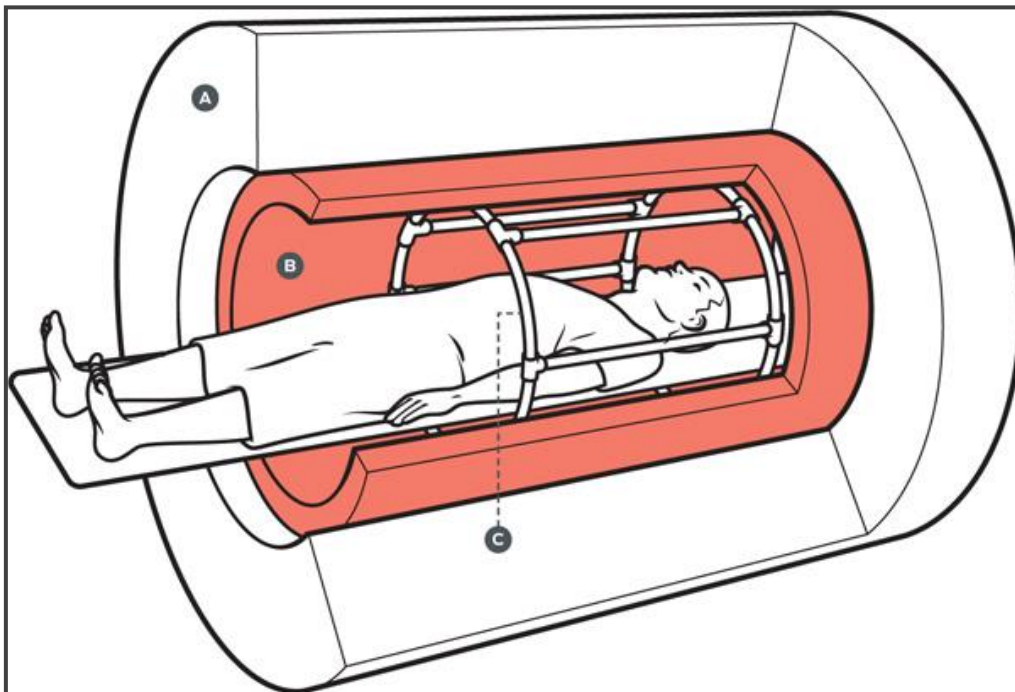


Figura 2 - Esquema de um equipamento de Ressonância Magnética ([www.spectrum.ieee.org](http://www.spectrum.ieee.org)).

Este fenómeno é explicado pelas leis do Electromagnetismo, mais propriamente pela Lei de Ampère, a qual afirma que para um solenóide, a densidade de fluxo magnético,  $B$ , é dada pelo produto entre a permeabilidade magnética do material situado no interior do solenóide,  $\mu$ , o número de espiras,  $n$ , e a intensidade de corrente aplicada,  $I$ , de acordo com a seguinte equação:

$$B = \mu n I.$$

No caso da RM a fórmula explica a criação do campo magnético no centro da bobine de fio (solenóide) como demonstrado pela Figura 3:

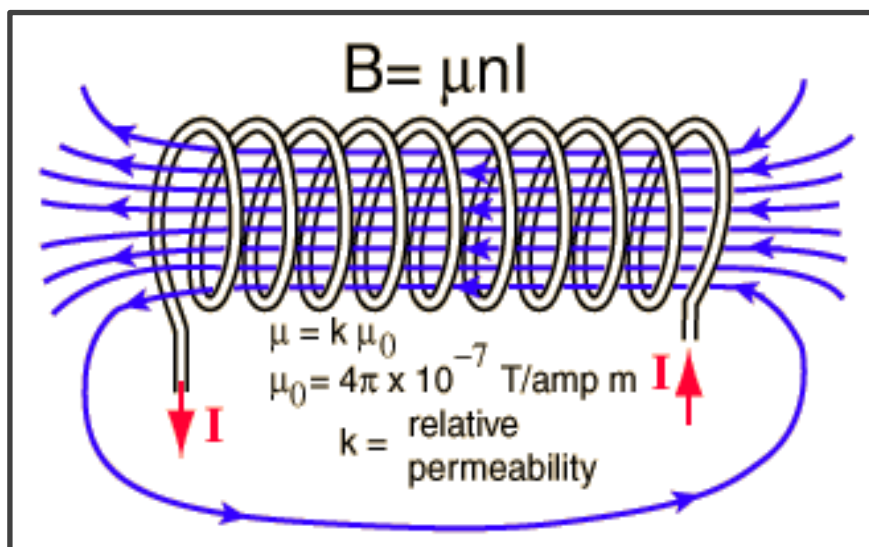


Figura 3 - Esquema da criação de um campo magnético numa estrutura solenóide ([www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/solenoid.html](http://www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/magnetic/solenoid.html)).

O Tesla (T) é a unidade do sistema internacional para a densidade de fluxo magnético. Os campos magnéticos aprovados para uso médico têm hoje em dia um limite de 3Tesla, contudo existem já equipamentos para uso em ambiente de investigação que se estendem às dezenas de Tesla.

Outra particularidade do Magneto é o seu desenho que, actualmente permite que o campo magnético, mesmo a pouca distância do magneto, decresça consideravelmente, encontrando-se muito delimitado, algo importante em termos da segurança no ambiente de RM.

### 2.1.2 Campo Magnético Variável

O campo magnético variável é criado por *bobinas de gradiente* que são bobinas mais pequenas que a do magneto, e que produzem gradientes no campo magnético principal ( $B_0$ ). Ao contrário do magneto principal, estas não necessitam de ser arrefecidas por hélio e consoante a sua configuração criam o gradiente escolhido. São usadas para codificar espacialmente as posições dos prótons analisados fazendo variar o campo magnético ao longo do volume em estudo. Seguindo o sistema tradicional de desenho da RM, uma bobina cria um campo magnético B na direcção Z

que é somado ao campo magnético principal. Outras bobinas criam campos magnéticos que resultam em gradientes nas direções X e Y no  $B_0$ .

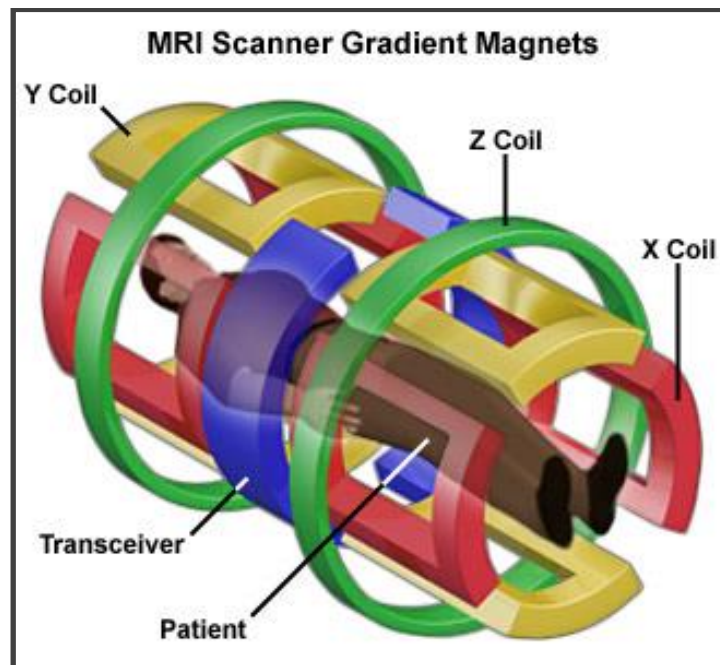


Figura 4 - Gradientes de um equipamento de RM ([www.legacywww.magnet.fsu.edu](http://www.legacywww.magnet.fsu.edu)).

As novas gerações de bobinas de gradientes são cada vez mais eficazes com amplitudes mais elevadas na ordem dos 100mT/m e com *slew rates* na ordem dos 150 mT/m/ms, características indispensáveis para realização de estudos infra-milimétricos e de volume na RM. Este tipo de estudos requer que os gradientes sejam ligados e desligados muito rapidamente e várias vezes o que tem como consequência a criação de correntes induzidas em redor das bobinas de gradientes.

### 2.1.3 Campo de Radiofrequência

As bobinas ou antenas de radiofrequência (RF) criam campos electromagnéticos ( $B_1$ ), com frequências da ordem dos megahertz (MHz); da sua aplicação resulta uma alteração da distribuição de populações dos *spin* protónicos, os quais se alinham paralela ou anti-paralelamente em relação ao campo magnético externo,  $B_0$ . As antenas de RF estão divididas em 3 tipos, nomeadamente *emissoras/receptoras*,

*emissoras e receptoras*. As antenas emissoras criam o campo magnético próximo ( $B_1$ ) que actua na sequência alterando o estado de relaxação das moléculas. Por sua vez, as receptoras detectam a radiação electromagnética de radiofrequência proveniente da relaxação dos *spins* do doente, possibilitando depois a criação de uma imagem por Ressonância Magnética.

## **2.2 Efeitos na saúde dos campos electromagnéticos não ionizantes**

A crescente utilização de tecnologias que utilizam CEM é hoje em dia transversal às mais diversas áreas do quotidiano. Áreas como as telecomunicações, segurança, indústria, energia e medicina beneficiam das potencialidades que os CEM oferecem. O caso mais conhecido e, por consequência, mais estudado são as comunicações móveis. Existem em todo o mundo mais de 6 mil milhões de utilizadores de telefone móvel (SCENIHR, 2006). Esta área tem sido pioneira na investigação dos efeitos adversos na saúde humana. Por consequência a grande maioria dos estudos realizados reporta-se aos efeitos da exposição às radiofrequências típicas das comunicações móveis.

A *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) publicou em 1998 (ICNIRP, 1998) uma opinião sobre os riscos dos CEM na Saúde a qual transmitiu à *Scientific Steering Committee* (SSC) da Comissão Europeia (CE).

A CE, por intermédio da sua *Scientific Committee on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment* (CSTEE), actualizou e publicou em 2001 o documento “Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF), Radio Frequency Fields (RF) and Microwave Radiation on human health”. Este foi revisto em 2006 pelo *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks* (SCENIHR) através do documento “Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health”. Mais recentemente, a 19 Janeiro de 2009 a SCENIHR fez uma revisão deste documento adicionando os novos conhecimentos disponíveis até à data de publicação. Todos estes documentos desde 1998 visavam apresentar os conhecimentos até à data sobre os efeitos dos CEM na saúde Humana, bem como monitorizar os efeitos de exposições baixas provenientes de equipamentos do quotidiano ao longo de grandes períodos de tempo. Já em 2013 a SCENIHR, através do documento “*Potential health*

*effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*” voltou a rever os estudos e a analisar outros mais recentes por forma a emitir uma opinião sobre os riscos associados à exposição aos CEM.

Para descrever os efeitos do espectro electromagnético, em 2006, a SCENIHR decidiu fazer uma separação por bandas de frequências, apresentadas na Tabela 1 do Anexo 1.

Outras regiões do espectro electromagnético como o espectro óptico, micro-ondas, ultravioletas e infravermelhos não foram avaliadas uma vez não se encontrarem disponíveis dados científicos em quantidade relevante.

Para elaborar esta revisão, a SCENIHR serviu-se de artigos científicos publicados em publicações científicas de língua inglesa e dividiu os efeitos de acordo com quatro características do espectro electromagnético, a saber, *campo magnético estático*, *campos de frequência extremamente baixa*, *campos de frequência intermédia* e *campos de radiofrequência* – ver Figura 5.

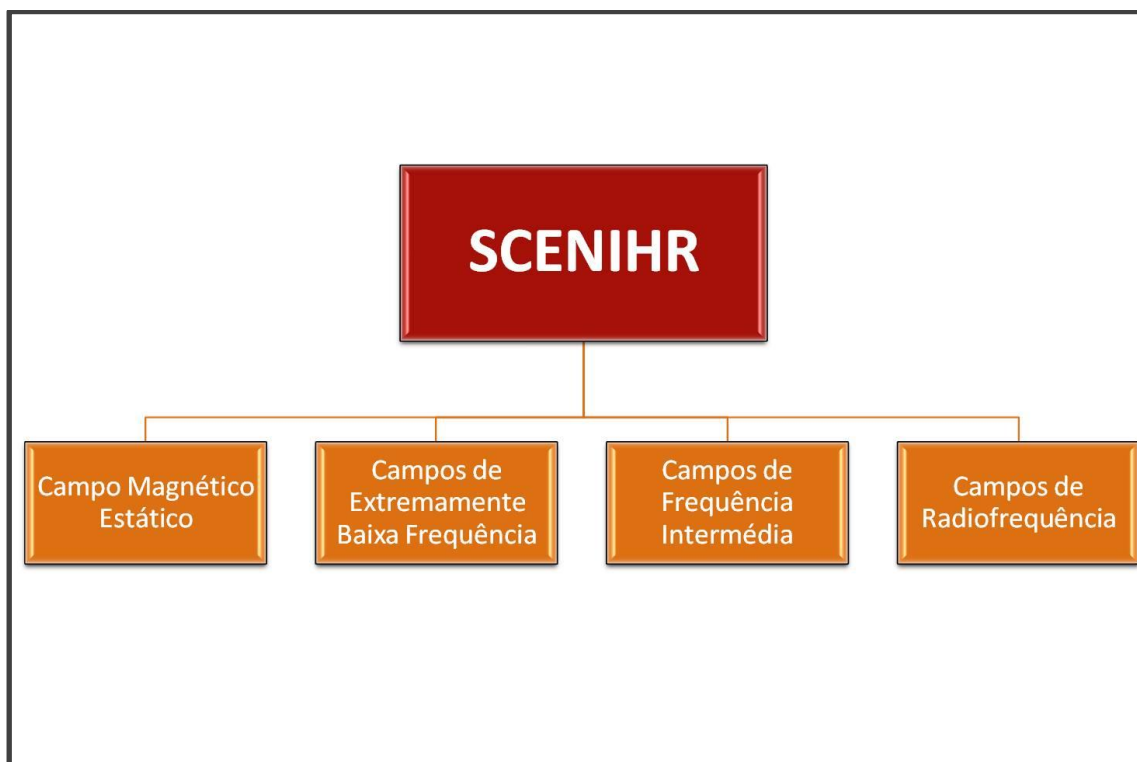


Figura 5 - Faixas do espectro EM revistas pelo SCENIHR.

## 2.3 Campo magnético estático

Os campos magnéticos estáticos (CME) têm maior prevalência nos equipamentos de Ressonância Magnética de investigação que utilizam CME muito elevados, chegando hoje em dia a valores que se encontram à volta dos 10 Tesla (Atkinson, Renteria, Burd, Pliskin, & Thulborn, 2007).

Vários estudos biológicos foram desenvolvidos nos últimos anos e foram detectados efeitos directos nas moléculas com propriedades magnéticas causando alterações nas mesmas, facto que ainda não é esclarecedor de produzir efeitos para a saúde humana (Denaro V, et al., 2008).

Com os avanços na RM muitos dos estudos têm analisado os efeitos da exposição aos CME mas também aos campos magnéticos variáveis (CMV) criados pelas bobinas de gradiente presentes neste tipo de tecnologia.

### 2.3.1 Estudos em seres humanos

Os estudos realizados com voluntários expostos aos CME e /ou CMV centraram-se nos efeitos sobre sistema nervoso central e periférico, onde foram detectados o aumento da actividade na banda *theta* do funcionamento cerebral (Toyomaki & Yamamoto, 2007) ou alterações no sistema sensorial que desapareciam após 30 minutos da exposição aos CME (Patel, Williamsom, Dorevitch, & Buchanan, 2008). Por outro lado outros estudos não revelaram efeitos nos sinais vitais e/ou cognitivos (Atkinson, Renteria, Burd, Pliskin, & Thulborn, 2007), bem como alterações na percepção da dor (Kuipers, Sauder, & Ray, 2007).

Outros estudos, principalmente os realizados por Sirmatel *et al*, que registaram efeitos contraditórios no stress oxidativo, primeiro mostrando um aumento da concentração total do óxido nítrico nas amostras de sangue exposto a uma CME de 1,5T durante 30 minutos, resultando num incremento do stress oxidativo. Num segundo estudo registou um decréscimo do status oxidativo e diminuição do índice de stress oxidativo (Sirmatel , Sert, Sirmatel, Selek , & Yokus, 2007) (Sirmatel, et al., 2007).

### 2.3.2 Estudos *in vivo*

A maioria dos estudos de científicos publicados de experiências realizadas *in vivo* foi realizada em ratos tendo-se detectado alterações ao nível do sistema nervoso. A redução da percepção da dor e a sua relação com o aumento do nível de exposição ao CME está descrita (László, et al., 2007) (László, J; Gyires, K, 2009). Outros estudos mostram que a exposição ao CME provocou alterações no comportamento e alguma limitação cognitiva aos ratos (Ammari, et al., 2008), assim como demonstraram alterações da velocidade de transmissão efectuadas pelas sinapses (Yeh , Yang, Lee, & Tsai).

Outras áreas como o sistema circulatório, o crescimento de vasos, assim como o desenvolvimento e a reprodução têm apresentado resultados contrários, não demonstrando efeitos nocivos da exposição ao CME.

### **2.3.3 Estudos *in vitro***

Os estudos experimentais *in vitro* realizados mostram que a exposição ao CME provoca alterações a nível da expressão genética ou do próprio DNA (Denaro V, et al., 2008) (Tenuzzo , Vergallo, & Dini, 2009) tanto de mamíferos como de humanos sendo que os efeitos aparentam estar relacionados com a duração e a amplitude dos gradientes magnéticos a que a amostra foi exposta. Apesar dos efeitos genotóxicos registados, estes parecem poder ser revertidos e logo não se apresentam como permanentes. Relativamente aos estudos de crescimento celular e morte celular os resultados obtidos são contraditórios e altamente dependentes do tipo de célula avaliado. Esta área de investigação encontra-se ainda muito carente de dados representativos que permitam retirar conclusões definitivas.

## 2.4 Campos de Extremamente Baixa Frequência

Os campos electromagnéticos de extremamente baixa frequência (EBF) estão também presentes num variado leque de fontes, desde os electrodomésticos até às linhas de alta tensão de transporte de electricidade. A exposição aos campos de EBF divide-se nas densidades de fluxo magnético e nos campos eléctricos criados que podem atingir alguns mT e valores de 5 kV/m perto de linhas de alta tensão. Relativamente à exposição ocupacional, trabalhadores de centrais eléctricas e soldadores são os mais expostos, estando obrigados a cumprir os limites da Directiva 2004/40/CE (European Parliament and the Council, 2004).

Nas aplicações médicas a Estimulação de Crescimento Ósseo, a Estimulação Magnética Transcranial, medições de bioimpedância para detecção de cancro e outras aplicações emergentes são fontes de exposição aos Campos de EBF que também necessitam de cumprir os limites impostos na Directiva 2004/40/CE.

### 2.4.1 Efeitos Carcinogénicos

Em 2002 a *International Agency for Research of Cancer* (IARC) classificou os campos de EBF no grupo 2B, ou seja, como possivelmente cancerígenos para os humanos (IARC, 2002). Esta classificação deveu-se a uma associação dos Campos de EBF com a Leucemia Infantil mostrada em alguns estudos, facto que foi amplamente contrariado em estudos experimentais (SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, 2009). Apesar de os estudos experimentais serem contrários à epidemiologia, para a exposição a campos de 3/4  $\mu\text{T}$  considera-se de elevada importância a reavaliação dos dados obtidos (SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, 2009). Estudos recentes, em ratos, comprovaram efeito carcinogénico dos campos de EBF também para intensidades de 100  $\mu\text{T}$ , conclusões que carecem ainda de confirmação independente. A investigação in-vitro efectuada começa a mostrar que os campos EBF sozinhos ou associados a outros carcinogéneos induzem efeitos genotóxicos e biológicos para densidades de fluxo iguais ou superiores a 100  $\mu\text{T}$  (SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, 2009). Assim e apesar da indução de danos directamente no DNA por parte dos campos EBF ser improvável a sua associação com outros agentes deverá ser investigada por estudos independentes ao mesmo tempo que se deverão tentar estabelecer novas hipóteses para os fenómenos registados.

### **2.4.2 Outros efeitos na saúde**

Para os efeitos que não o cancro, existem estudos epidemiológicos recentes que mostram um possível aumento da doença de Alzheimer devido à exposição aos campos EBF (Roosli, et al., 2007) (Huss, Spoerri, Egger, & Roosli, 2009)

Conclui-se por fim que os estudos experimentais mostram efeitos somente para exposições mais elevadas que as registadas nos estudos epidemiológicos que associam a exposição à Leucemia Infantil e à doença de Alzheimer, o que obriga à continuação da investigação na área.

## **2.5 Campos de Frequência Intermédia**

Os *campos de frequência Intermédia* (FI) são cada vez mais comuns na sociedade por exemplo em tecnologias como detectores anti roubo nas lojas, leitores de cartões, placas de indução para cozinha, radio transmissores de onda larga e equipamento de solda industrial. Estas tecnologias funcionam com frequências desde alguns Hz até aos GHz, como é o caso da solda industrial onde a exposição pode atingir os 100kHz, e os poucos estudos existentes sugerem a necessidade de implementação de medidas de protecção (Mair, 2005).

Na Medicina existem também aplicações na gama da FI como a electrocirurgia onde os sistemas operam frequências na ordem das centenas de kHz (Aniolczyk, Mamrot, & Politanski, 2006). Na Ressonância Magnética também são criados campos de algumas dezenas de kHz, o que sugere a necessidade de mais investigação acerca da exposição dos trabalhadores nestas áreas (Mild, et al., 2009).

A gama dos campos de FI é por isto considerada uma das áreas de investigação à qual deve ser dada prioridade (SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, 2009).

## **2.6 Campos de Radiofrequência**

Os *campos de radiofrequência* (RF) estão actualmente disseminados pelas mais diversas áreas da sociedade, sendo as mais relevantes as telecomunicações, a

transmissão de sinais, medicina e indústria. Apesar de estarem bem documentadas, estas emissões evoluem a um ritmo muito elevado criando novos padrões de exposição e acrescentando cada vez mais fontes de exposição. Deste modo o cálculo da exposição deverá ser cada vez mais multi-fonte em vez das avaliações de uma só fonte (p.e. estações base telecomunicações). Ao mesmo tempo que o número de fontes de exposição aumenta, as fontes têm também cada vez mais alcance provocado uma exposição em larga escala (SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, 2009).

Os campos RF podem então ser divididos em 3 grupos:

- Os *campos que se encontram junto ao corpo humano*, sendo o melhor exemplo telemóveis. Os telemóveis têm, antes de entrar no mercado, de mostrar cumprimento das directivas Europeias relativamente à quantidade de RF que se deposita no corpo Humano não podendo a Taxa de Absorção Específica (SAR) ser superior a 2 W/Kg na cabeça Humana (CENELEC, 2011). Os testes de aceitação são realizados em condições de exposição máxima que se traduzem em vários factores como distância à estação base ou o momento em que efectua a ligação móvel, momentos em que o equipamento utiliza o nível de potência máxima. Apesar de estes serem os casos de exposição máxima, ocorrem também exposições muito mais baixas com o equipamento em *standby* que dependem do tipo de transmissão para estação base, protocolo de dados e posição do equipamento.

Adicionalmente às comunicações através de telemóveis, existem hoje em dia várias outras tecnologias de comunicação com outputs de potência mais baixos. São exemplos disto as tecnologias DECT (*Digital European Cordless Telecommunications*), WLAN (*Wireless Local Area Network*) e a UWB (*Ultra WideBand*). Depois existem ainda várias outras aplicações tão diferentes como sistemas anti-roubo para as lojas, maquinas de selar através de RF e até às manutenções das estações de transmissão.

- Os *campos que se encontram afastados do corpo humano*, são tipicamente as estações base de telecomunicações e transmissão de dados. Nas sociedades modernas a procura impulsiona as empresas prestadoras de serviços de telecomunicações a distribuírem estações receptoras e emissoras em intervalos de espaço cada vez mais pequenos, aumentando a concentração de antenas, aumentando também a exposição média da população residente nessas áreas. O nível de referência de exposição para a população em geral às frequências típicas das

antenas de telemóveis (900MHz), estabelecido pela Recomendação do Conselho Europeu 1999/519/EC, é de 4,5 W/m<sup>2</sup>.

Outros exemplos de fontes de RF são as antenas de transmissão (AM e FM), sinal digital de televisão, radares civis e militares, sistemas de radio privados, entre outras.

- As *aplicações na medicina* que utilizam valores acima dos valores recomendados para atingir benefícios para a saúde dos pacientes, por exemplo, a Hipertermia utiliza campos de RF elevados para provocar aquecimento que leve à morte das células cancerígenas. Outro exemplo são os equipamentos de Ressonância Magnética, que normalmente utilizam campos RF de 63 MHz ou 128 MHz que juntamente com os campos magnético estático e os gradientes da máquina deverão ser tidos em conta para a exposição dos profissionais.

### **2.6.1 Efeitos Carcinogénicos**

A investigação feita aos efeitos dos campos RF e a saúde Humana têm-se centrado maioritariamente nas tecnologias de comunicação móveis. A consequência maior da utilização dos telemóveis na saúde humana é o efeito provocado nos tecidos devido à SAR. Nos estudos relacionados com o cancro os grandes focos têm sido os tumores intracranianos e os neurinomas do acústico uma vez que a criação de ondas electromagnéticas e a sua recepção numa zona muito próxima do corpo, no caso o ouvido, provocam um aumento local da temperatura de 2,6°C a 3,7°C (Mat, 2010) (Ghandi, Lazzi, & Furse, 1996). Outros estudos têm sido desenvolvidos nas zonas próximas da cabeça, por exemplo, as glândulas salivares. Relativamente às antenas base de telecomunicações existem ainda poucos estudos.

Desde 2001 a Comissão Europeia por intermédio da SCENIHR tem vindo a rever os estudos científicos publicados na área. No relatório de 2006 os dados não mostravam evidência de um aumento do risco de tumor cerebral para utilizadores de telemóveis até 10 anos. Ainda assim, e apesar dos estudos mais consistentes não mostrarem um aumento substancial de risco face à exposição aos campos RF, estes deixavam em aberto a possibilidade de baixo a moderado risco para utilizadores de telemóveis, de contraírem gliomas e neurinomas do acústico.

O maior estudo disponível, chamado de *Interphone Study*, é um conjunto de estudos nacionais coordenados pela IARC realizados em países como Noruega, França,

Japão, Alemanha, Reino Unido e outros países nórdicos. As conclusões preliminares retiradas pela IARC são que, de uma forma geral, não existe risco de tumores como glioma ou meningioma com o uso de telemóveis. Ainda assim surgiram associações positivas de risco aumentado de glioma para exposições mais elevadas, mas que devido a vieses e erros de investigação impedem interpretação causal. Para os neurinomas do acústico também não existe aumento do risco para utilizadores regulares ou com mais de 10 anos de utilização. Estudos que mostraram *Odds Ratios* (OR) mais elevadas nos casos de exposição máxima devem-se talvez a acasos, vieses ou efeitos causais (IARC, 2011). Em conclusão, a IARC, mesmo aplicando cenário de erro, não consegue determinar o risco aumentado de glioma ou neurinoma do acústico, devido à dificuldade de estabelecer o efeito causal e os problemas de participação nos estudos. Por tudo isto a conclusão alcançada, devido a vieses e erros, não permite uma interpretação causal.

Outra linha de investigação dos efeitos das RF na saúde Humana tem sido a leucemia infantil onde alguns estudos têm investigado o efeito da proximidade das crianças a antenas base de telecomunicações. Apesar dos estudos revelarem aumento de incidência de leucemias nos casos de distância, até à antena transmissora, inferior a 2 Km ( $OR \geq 1$ ), a associação entre a doença e a proximidade às antenas transmissoras mostra-se negativa ( $OR < 1$ ) (SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, 2009). Os estudos efectuados quer *in vivo* quer *in vitro* têm também demonstrado não existirem efeitos carcinogénicos, mesmo a níveis de SAR superiores aos provocados pelos telemóveis.

Na revisão de 2013 a SCENIHR conclui que face aos estudos mais recentes, fica excluída a associação aos gliomas cerebrais mas a associação com os neurinomas do acústico permanece válida (SCENIHR, 2013).

### **2.6.2 Efeitos no sistema nervoso**

A exposição aos campos RF tem mostrado alterações na actividade eléctrica e nos aspectos bioquímicos da neuro transmissão mas não demonstrando efeitos adversos patológicos. Os focos dos estudos nesta área têm sido por um lado o comportamento

e capacidade cognitiva, as medidas electrofisiológicas e sensoriais e por outro lado a integridade do tecido celular, por exemplo ao nível da barreira hemato-encefálica.

Com a excepção de alguns achados em estudos, não há evidência de efeitos agudos ou a longo prazo da exposição aos níveis de SAR presentes nos telemóveis (IARC, 2011). Existe contudo evidência que a RF influencia a actividade cerebral medida pelo Electroencefalograma (EEG), em particular o sono nos humanos (Regel, Tinguely, Schuderer, Adam, & Kuster, 2007). Estes resultados são contraditórios relativamente aos efeitos a nível celular o que justifica a necessidade da realização de mais estudos na área. Os achados positivos nesta área mostram uma dificuldade de estabelecer uma relação de dose-efeito, necessitando por isso de metodologias melhoradas. Um exemplo são os resultados que mostram alterações das células gliais para exposições de SAR muito elevadas podendo indicar gliólise e consequentemente neuro-degeneração, não tendo o mesmo acontecido para exposições mais baixas.

### **2.6.3 Efeitos no sistema Reprodutor**

Na literatura existem vários estudos animais que mostram claramente que os campos RF são teratogénicos em níveis de exposição suficientes para causar aumento significativo da temperatura ( $>1^{\circ}\text{C}$ ). Não existem contudo evidências de alterações em níveis de exposição não-térmicos. Ainda assim o limitado número e o poder estatístico dos estudos impedem conclusões definitivas (SCENIHR, Health Effects of Exposure to EMF, 2009).

Em conclusão sabe-se que nas três principais linhas de estudo (epidemiológica, animal e *in-vitro*) a exposição às RF é improvável que esteja relacionada como o aumento da incidência de cancro. Contudo com o aumento da exposição às RF e às outras fontes do CEM, torna-se necessário perceber se a exposição prolongada (superior a 10 anos) pode conduzir ao aumento do risco tumoral. A exposição de grupos de risco como as crianças (grupo com elevada taxa de desenvolvimento celular) deverá ser também investigada não só no âmbito das RF mas também das outras gamas do espectro electromagnético.

## 2.7 Legislação Europeia e Recomendações Internacionais

O Conselho da Comunidades Europeias (CCE) apresentou em 1989 a Directiva 89/39/EEC (Council of European Communities, 1989) que visava apresentar recomendações para trabalhadores e entidades empregadoras sobre riscos e efeitos da exposição a diferentes agentes aos quais os trabalhadores seriam sujeitos durante a sua actividade laboral. Ao abrigo desta directiva foram apresentadas várias outras Directivas Individuais que se dirigiam especificamente a alguns tipos de riscos ocupacionais, como por exemplo, a vibração pela 16ª Directiva Individual em 2002 e o ruído pela 17ª Directiva Individual em 2003. A 18ª Directiva relativa aos campos electromagnéticos viria a ser uma das mais controversas relativamente ao seu conteúdo, facto que se comprovou pelo seu sucessivo adiamento até aos dias de hoje.

### 2.7.1 Directiva 2004/40 CE

Em 1992 foi criada em Montreal uma comissão independente descendente de uma outra comissão pertencente à Agência Internacional de Protecção contra Radiações (IRPA) que se denominou de Comissão Internacional de Protecção contra Radiações não Ionizantes (ICNIRP). Esta comissão reviu e actualizou um conjunto de documentos publicados por entidades como a OMS e a IRPA, publicando em 1998 o documento *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)* (ICNIRP, 1998).

O Conselho Europeu adoptou estas *guidelines* e publicou a Directiva 1999/519 EC que apresentava os limites para a exposição do público em geral aos campos electromagnéticos (0Hz até 300GHz), transposto para Portugal pelo despacho do Ministério da Economia nº19610/2003. Mais tarde em 2004 a Comissão Europeia tendo por base este mesmo documento da ICNIRP, publicou a 18ª Directiva Individual ao abrigo do artigo 16º(1) da Directiva 89/391 CCE, designada Directiva 2004/40/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 29 de Abril de 2004 relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (campos electromagnéticos) (European Parliament and the Council, 2004). Esta directiva apresentava requisitos mínimos que deveriam ser

adoptados pelos Estados Membros por forma a estabelecer um sistema eficaz de protecção contra os efeitos prejudiciais que se manifestam a curto prazo causados pela circulação de correntes induzidas e pela absorção de energia, bem como pelas correntes de contacto. Esta directiva não observava os eventuais efeitos a longo prazo.

A Directiva 2004/40 CE apresenta na sua secção I, artigo 2º as definições relevantes deste documento. Em primeiro lugar estabelece o campo electromagnético como “qualquer campo magnético estático ou qualquer campo eléctrico, magnético ou electromagnético variável no tempo com frequências até 300 GHz”. Segundo estabelece os *valores limite de exposição*, como os “limites relativos à exposição a campos electromagnéticos baseados directamente em efeitos sobre a saúde já estabelecidos e em considerações biológicas. A observância destes limites garantirá a protecção dos trabalhadores expostos a campos electromagnéticos contra todos os efeitos prejudiciais conhecidos para a saúde”. Em terceiro estabelece os *valores que desencadeiam a acção*, como a “magnitude de parâmetros directamente mensuráveis, fornecidos em termos de intensidade do campo eléctrico (E), intensidade do campo magnético (H), densidade do fluxo magnético (B) e densidade de potência (S), a partir da qual devem ser tomadas uma ou mais das medidas especificadas na presente directiva. A observância destes valores garantirá a observância dos valores-limite de exposição aplicáveis”. No artigo 3º desta Secção I estavam apresentados os Valores limite de exposição reproduzidos no quadro 2 (Anexo 2) e os Valores que desencadeiam a acção no quadro 3 (Anexo 2).

A secção II desta Directiva apresentava no artigo 4º as *obrigações das entidades patronais* como a determinação da exposição e avaliação dos riscos onde o empregador deve caracterizar o CEM que utiliza e os valores limites de exposição e valores que desencadeiam a acção relativos à prática que executa. No artigo 5º apresentava as disposições destinadas a evitar ou reduzir os riscos como por exemplo barreiras, equipamentos de protecção individual e concepção e disposição de postos de trabalho. O artigo 6º e 7º diziam respeito à informação e formação dos trabalhadores e à consulta e participação dos trabalhadores, respectivamente.

A secção III no artigo 8º continha orientações para a Vigilância da Saúde que deveria ser efectuada segundo as orientações do artigo 14º da Directiva 89/391 CCE e cujos resultados teriam de ser preservados de forma a poderem ser consultados no futuro caso seja solicitado. Por fim na secção IV no seu artigo 13º estava descrito o limite

para a transposição desta directiva para as legislações nacionais cuja data limite era até 30 de Abril de 2008.

### **2.7.2 Directiva 2008/46 CE**

Esta directiva surge somente como uma emenda à directiva 2004/40 CE, na medida que altera o conteúdo do 13º artigo passando a nova data limite de transposição da directiva a ser até 30 de Abril de 2012 (European Parliament and the Council, 2008)

A razão apresentada foi que no decurso dos quatro anos que separaram estas duas directivas surgiram novos estudos relativos aos efeitos dos CEM e tanto a ICNIRP como a OMS estariam a rever os seus conteúdos, sendo que seriam esperadas novas conclusões no final de 2008, conclusões estas que poderiam produzir recomendações diferentes às anteriormente publicadas. Assim, e devido ao impacto provocado pela implementação da directiva 2004/40 CE nas áreas médicas e algumas indústrias, a CE decidiu prolongar o prazo de implementação. Outra questão eram as normas de avaliação dos CEM a que os trabalhadores estariam expostos, documento que era expectável ser publicado no final de 2008 pelo CENELEC. Paralelamente a CE lançou um estudo que visava avaliar particularmente a situação da imagem médica, mais precisamente a Ressonância Magnética.

Assim a CE decidiu adiar a implementação da directiva 2004/40 CE e ao mesmo tempo trabalhar numa nova proposta de directiva actualizada ao mais recente conhecimento científico.

### **2.7.3 Proposta para nova directiva**

Em 2011 o Parlamento e o Conselho Europeu publicaram a proposta para uma nova directiva 2004/40 CE, mais actualizada face ao conhecimento e às preocupações actuais. Grande parte do conteúdo mantém-se da anterior directiva, sendo que a grande alteração desta proposta de Directiva é a *exclusão da Ressonância Magnética* e actividades relacionadas do cumprimento dos limites apresentados no artigo 3º da directiva 2004/40 CE. Após análise das novas *guidelines* da ICNIRP e as revisões da OMS, juntamente com a preocupação demonstrada pela comunidade médicas o Parlamento Europeu, face à inexistência de evidências de efeitos adversos major e

perante o enorme benefício que a RM apresenta, decidiu-se excluir a RM dos limites impostos. Ainda assim ficaram outras orientações que terão de ser aplicadas, como as presentes no anexo 4 da proposta de Directiva, especificamente para a RM, que é a aplicação de programas e medidas de protecção qualitativas nos ambientes controlados. Estes programas englobam medidas como:

- medidas de informação efectivas e mecanismos de consulta dinâmicos;
- medidas de treino para os profissionais;
- regras rígidas de acesso às salas de RM;

A par disto ficam designadas tarefas que deveram ser cumpridas e estudadas como:

- recolha de métodos de boas práticas;
- avaliar *guidelines* existentes e procedimentos de trabalho;
- Identificar e descrever riscos (CEM, ruído, efeito projectil, líquidos criogénicos);
- identificar cenários de exposição máxima;
- definir situações típicas de trabalho;
- definir procedimentos para cada tipo de trabalho;
- implementar programa de treino;
- adoptar, em instalações futuras, medidas preventivas como o desenho dos departamentos.

A CE propõe-se também realizar este tipo de avaliação e revelar os seus resultados ao Parlamento e ao Concelho Europeu.

#### **2.7.4 Directiva 2012/11 UE**

Esta directiva alterou novamente o prazo da implementação da directiva 2004/40 EC de 30 Abril de 2012 para 31 Outubro de 2013 (European Parliament and the Council, 2012). A razão apresentada pela CE foi que devido à complexidade técnica da matéria a nova proposta não estaria concluída até à data anterior sendo necessário efectuar uma extensão do prazo.

#### **2.7.5 Directiva 2013/35 UE**

A directiva 2013/35 da União Europeia é o resultado do trabalho desenvolvido pela Comissão através da anterior proposta de directiva e das actualizações efectuadas

desde 2011 à luz dos novos desenvolvimentos científicos. Surgem agora novos termos mais específicos aos efeitos conhecidos da exposição aos CEM. Esta directiva aborda agora os efeitos adversos de uma forma mais particularizada, separando efeitos biológicos directos em: efeitos térmicos, não térmicos e correntes nos membros; e os efeitos indirectos, como efeito projectil, interferências com equipamentos médicos, entre outros. Efectua ainda uma separação para efeitos sensoriais e efeitos de saúde, discriminando assim *valores limites de exposição* (VLE) e os *níveis de acção* (NA) diferentes para cada caso como mostra o anexo 3.

Relativamente às actividades relacionadas com a RM, no artigo 10º, *Excepções*, lê-se que:

*“ a) A exposição pode ultrapassar os VLE se estiver associada à instalação, ensaios, utilização, desenvolvimento ou manutenção, no sector da saúde, de equipamentos de ressonância magnética destinados aos pacientes, ou a práticas de investigação relacionadas com estes equipamentos, desde que se encontram cumulativamente preenchidas as seguintes condições:*

- A avaliação de risco efectuada nos termos do artigo 4º demonstrou que os VLE foram ultrapassados,*
- Tendo em conta o progresso tecnológico, foram aplicadas todas as medidas técnicas e/ou organizativas,*
- As circunstâncias justificam devidamente que os VLE sejam ultrapassados,*
- Foram tidas em conta as características do local de trabalho e do equipamento de trabalho e as práticas de trabalho, e*
- O empregador demonstrou que os trabalhadores continuam a estar protegidos em relação aos efeitos nocivos para a saúde e aos riscos de segurança, nomeadamente assegurando que as instruções fornecidas pelo fabricante tendo em vista uma utilização segura nos termos da Directiva 93/42/CCE do Conselho, de 14 de Junho de 1993 relativa aos dispositivos médicos, sejam cumpridas.”* (European Parliament and the Council, 2013)

Deste modo a RM encontra-se livre dos valores limite de exposição, não condicionando a sua prática, mas carece de alguns medidas que deverão ser adoptadas como a avaliação de risco do local de trabalho.

Por fim, lê-se que esta directiva substitui a directiva 2004/40 CE e que deverá ser transposta até dia 1 de Julho de 2016.

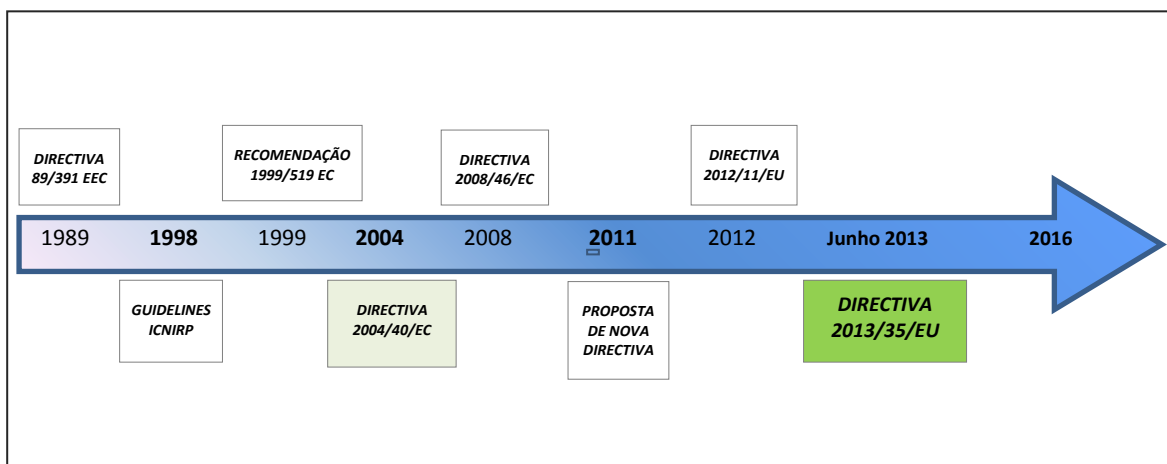


Figura 6 - Mapa cronológico de directivas e recomendações na área dos CEM.

## 2.8 Tipos de Exposição ocupacional em ressonância magnética

Actualmente existem em todo o mundo entre 20 000 a 25 000 RM (Hansson Mild, et al., 2013), o que faz com que seja um equipamento com que interagem diariamente um número considerável de profissionais. Num departamento de RM existe um grupo de profissionais que trabalha mais directamente com o equipamento, como os Técnicos de Radiologia, Médicos, os Assistentes, os Enfermeiros, contudo existem outros grupos que também se devem ter em conta quando se avalia o grupo de profissionais que trabalha nestes departamentos, como é o caso de equipa de limpeza e até os Engenheiros do equipamento.

A exposição de maior relevância associada à RM é a exposição ao campo magnético estático (CME), porém existem situações em que os profissionais poderão estar expostos aos outros campos do espectro electromagnético, tornando este tipo de avaliação de extrema dificuldade quando se tenta quantificar a exposição real de cada trabalhador. Assim, é necessário dispor os profissionais por categorias de exposição e até conceber zonas acção dentro de um departamento de RM, por forma a tentar aumentar a fiabilidade das avaliações das exposições de cada profissional em estudos epidemiológicos, por forma a perceber com exactidão os efeitos dos CEM presentes na RM.

### **2.8.1 Categorias de exposição em RM**

A classificação dos trabalhadores que actuam num departamento de RM tem sobretudo a ver com o tipo de actividade que desempenham, a sua especificidade e a duração do seu horário de trabalho. Como exemplo, estão os médicos radiologistas que fazem procedimentos de intervenção e os que não o fazem. Enquanto o médico intervencionista poderá estar sujeito a outros campos electromagnéticos que não só o estático, o médico não intervencionista normalmente não estará exposto a outro campo que não o estático. Logo torna-se necessário criar categorias de exposição baseadas no trabalho específico ao invés da categoria profissional.

#### **2.8.1.1 Categoria 1 - Exposição ao campo magnético estático**

Este tipo de exposição acontece quando o profissional está na sala de RM enquanto não está a ser realizado nenhum exame. Neste grupo de exposição incluem-se os Técnicos de Radiologia, Enfermeiros, Médicos, Físicos, Engenheiros e pessoal de manutenção como a brigada de limpeza. Destes, o grupo mais exposto ao CME e aos movimentos no campo estático de gradientes são os Técnicos de Radiologia e os Assistentes Operacionais que precisam de estar na sala e posicionar muitos utentes por turno. Segundo Hansson Mild, existem cerca de 10 000 Técnicos de Radiologia só na Europa que trabalham diariamente com RM, transformando-se no maior grupo ocupacionalmente exposto ao um CME que pode variar desde os 0,5 T até aos 7T.

#### **2.8.1.2 Categoria 2 - Exposição ao campo magnético estático, campos de extremamente baixa frequência e campos de frequência intermédia**

A categoria 2 pressupõe a presença do profissional no interior da sala do equipamento no decorrer de exames, mas fora do *bore* do equipamento. Esta categoria de profissionais encontra-se exposta ao campo magnético estático e a campos de extremamente baixa frequência e às frequências intermédias provocadas pelos gradientes. Neste grupo de profissionais estão abrangidos Enfermeiros e Médicos Anestesiologistas dos departamentos de RM, principalmente nos que são especializados

em exames pediátricos e que realizam procedimentos muito específicos que requerem a sua presença na sala durante a realização do exame. Outros profissionais expostos poderão ser os Técnicos de Radiologia, os Físicos, os Engenheiros de manutenção e fabrico do equipamento e voluntários.

Os profissionais que estão incluídos nesta categoria são em número muito mais reduzido que os da categoria 1, uma vez que realizam procedimentos muito específicos e que normalmente não abrangem todo o horário de trabalho. O número total de profissionais que poderá ser incluído nesta categoria na Europa não será superior a algumas centenas (Hansson Mild, et al., 2013).

### **2.8.1.3 Categoria 3 - Exposição ao campo magnético estático, campos de extremamente baixa frequência, campos de frequência intermédia e campos de radiofrequência**

Este é um tipo de exposição muito específico que ocorre quando o profissional se encontra parcialmente dentro do *bore* do equipamento durante a realização de sequências. Nesta categoria incluem-se Cirurgiões e médicos Intervencionistas, Técnicos de Radiologia e fabricantes do equipamento. O número de profissionais que executam este tipo de procedimentos na Europa não deverá ultrapassar os 100 (Hansson Mild, et al., 2013), mas por tendência pensa-se que irá aumentar no futuro próximo. Outro tipo de procedimentos que poderá ser realizado tem a ver com alguns tipos de imobilização, tracção dos membros ou estimulação de algumas funções do corpo do doente/utente examinado.

Assim, os profissionais que trabalham com equipamentos de RM são dos que mais expostos estão a CEM dos mais variados tipos. Contudo, a maior exposição é devido ao campo magnético estático que tendo vindo a aumentar nos últimos anos e prevê-se que continuará a aumentar.

## **2.8.2 Classificação de zonas**

A concepção de um Departamento de RM deverá idealmente obedecer a um desenho dos espaços tendo em conta zonas de controlo crescente devido aos perigos associados à presença de materiais ferromagnéticos no interior da sala de RM. Em departamentos instalados em Serviços já existentes, a separação de zonas deverá também ser efectuada por forma a evitar os riscos de um acesso não controlado à zona do campo magnético estático.

### **2.8.2.1 Zona 1**

Esta área diz respeito a todas as zonas de livre acesso ao público em geral, no exterior de um departamento de RM. Esta área é tipicamente a zona por onde os profissionais, doentes/utentes e outros acedem ao departamento de RM.

### **2.8.2.2 Zona 2**

Esta área é a interface entre a zona acessível pelo público, não controlada (zona 1) e zona onde o público passa a estar sobre supervisão dos profissionais. Nesta área efectuam-se tarefas como o registo do doente/utente, a transferência do doente acamado, o inquérito de segurança e o despiste de materiais ferromagnéticos. A partir deste momento os doentes/utentes passam a estar numa zona controlada.

### **2.8.2.3 Zona 3**

Esta área é um espaço onde a circulação de pessoas de forma não controlada poderá resultar em lesões muito sérias e em último caso até na morte de pessoas devido à sua interacção e dos objectos que transportam com o CME presente na zona 4. Esta é a zona de espera dos doentes/utentes que já foram inspeccionados pelo questionário de segurança. É igualmente a área onde o doente/utente se prepara para a realização do exame e onde os que já realizaram o exame recuperam por exemplo da indução anestésica. Este é também o local onde se encontra a zona de controlo do equipamento de RM onde os Técnicos de Radiologia e os Médicos executam o

exame. A zona 3 deve conter barreiras físicas de modo a impedir a circulação de pessoas vindas do exterior sendo por isso uma zona controlada.

#### 2.8.2.4 Zona 4

A zona 4 é o espaço/sala onde se encontra o equipamento de RM. Dentro desta sala devido ao magneto existe um CME constante com linhas de força que se estendem desde a porta da sala. A sala do equipamento deverá então, por definição, estar localizada dentro da zona 3. Pessoas não pertencentes ao departamento de RM deverão ser acompanhadas com supervisão e contacto visual permanente. À entrada da zona 3 e especialmente da zona 4 deverão existir avisos alertando para a proximidade ao magneto da RM.

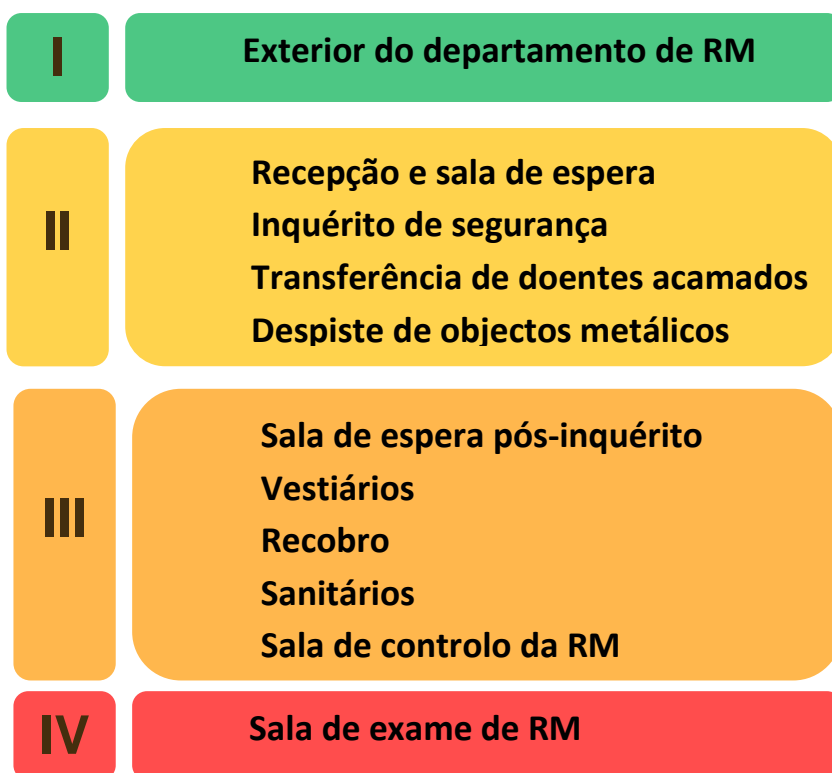


Figura 7- Esquema das zonas de um departamento de RM e respectivas actividades por zona.

## 2.9 Novas aplicações em Ressonância Magnética

Actualmente a grande evolução da área da RM está na disseminação de equipamentos de 3 Tesla para o uso clínico e de equipamentos de CME ainda mais elevados para investigação. O interesse em equipamento abertos ou com *bore* mais curto e com campo de 1T também tem vindo a aumentar para RM intra-operatórias e procedimentos de intervenção como mostra Capstick (figura 8) no seu trabalho em 2007 (Capstick, et al., 2007). As técnicas de intervenção de Ressonância são actualmente do tipo ablativo, quer por microondas, criogenia, radiofrequência ou ultras-sons. Adicionalmente são realizadas biópsias e até laparoscopias guiadas. (Capstick, et al., 2007).

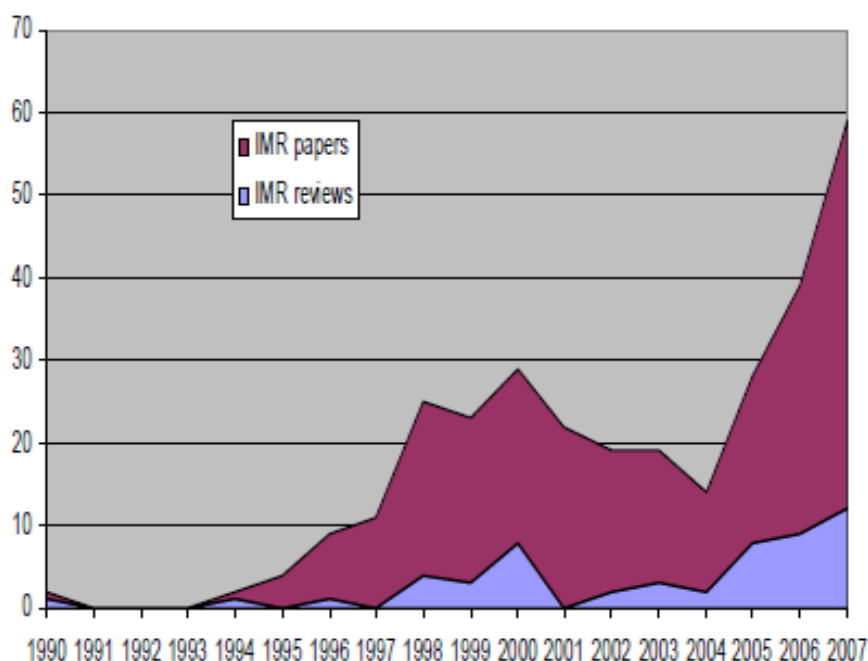


Figura 8 - Número de publicações de RM intervenção (Capstick, et al., 2007).

Aplicações dentro da Cardiologia também têm vindo a ser desenvolvidas tentando substituir a Angiografia, oferecendo qualidade e sendo minimamente invasivas em termos de exposição. No futuro próximo prevê-se que sejam instaladas RM não só nos departamentos de Radiologia mas também em Blocos Operatórios, Serviços de Cardiologia e de Ortopedia, propagando a exposição aos CEM a mais profissionais dos que existem actualmente.



## 3. QUESTÃO E METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

---

### 3.1 Questão de investigação e objetivos do estudo

O desenvolvimento deste estudo tem subjacente a questão de investigação:

*“Qual o risco ocupacional de exposição ao campos electromagnéticos, avaliado pelas práticas e procedimentos dos profissionais, estrutura física e desenho organizacional num departamento de Ressonância Magnética?”*

As Directivas publicadas pela Comissão Europeia a partir das recomendações da ICNIRP, têm levantado questões acerca do futuro da RM e quais os passos necessários ao cumprimento dessas directivas, aquando da sua transposição para as legislações nacionais. Apesar da exclusão da RM dos limites de exposição aos CEM, parte da Directiva 2013/35 EU indica a necessidade da melhor caracterização dos riscos subjacentes à prática diária num departamento de RM.

O objectivo geral deste trabalho será então efectuar uma avaliação de risco a um departamento de RM, avaliando o próprio departamento, profissionais e práticas. A RM é hoje a técnica de imagem mais valiosa no diagnóstico de muitas patologias e apresenta um desenvolvimento quase diário. Devido a este crescente

desenvolvimento e ao seu imenso valor na área médica torna-se necessário salvaguardar a própria técnica de potenciais riscos para utilizadores e operadores. Esta modalidade de imagem apresenta alguns riscos para quem a utiliza, contudo estes encontram-se controlados por rigorosos sistemas de prevenção, como é o caso do Taxa de Absorção Específica (níveis de Operação) e do efeito projectil (inquérito de segurança) do CEM principal do equipamento. Com o actual progresso da técnica começam a surgir recomendações para fiscalizar outros parâmetros presentes num equipamento de RM.

Os objectivos específicos deste trabalho são três:

- 1. Compreender o que a legislação exige actualmente e o que poderá vir a decretar no futuro com a aplicação das recomendações de entidades como o ICNIRP por parte da Comissão Europeia.*
- 2. Avaliar que tipos de procedimentos realizados no equipamento de RM do Hospital Dona Estefânia poderão representar, segundo as recomendações, comportamentos de risco.*
- 3. Testar e elaborar um protocolo de avaliação do risco da exposição ocupacional aos CEM em RM segundo a directiva 2013/35 EU.*

## **3.2 Desenho do Estudo**

O presente estudo é um estudo descritivo e exploratório de análise qualitativa e quantitativa (análise mista), de caso único. Proceder-se-á ao estudo das questões teóricas relacionadas com a exposição ocupacional às radiações não ionizantes, mais concretamente na área da RM. Posteriormente irão identificar-se as práticas de risco relativas à exposição aos campos electromagnéticos no decurso da actividade clínica da RM. Para este efeito será adoptado um período de observação por forma a encontrar as práticas mais expostas aos CEM. Posteriormente, as práticas seleccionadas serão avaliadas por intermédio de registo vídeo, a fim de determinar distribuição temporal e espacial na sala de exame. Por fim serão avaliadas as práticas de maior exposição ao CEM, calculando-se e medindo a exposição ao campo magnético e ao campo eléctrico para cada uma.

### 3.3 Contexto

O local estudado será o Centro Hospitalar de Lisboa Central, no pólo do Hospital Dona Estefânia e no departamento de Ressonância Magnética. O HDE é um hospital terciário de cariz pediátrico e obstetro-ginecológico com as mais variadas especialidades médicas. Muitos dos casos que recorrem ao HDE são crianças encaminhadas de outras unidades de saúde que necessitam de exames, consultas e tratamentos muito especializados. Um dos exames que se pode realizar é o exame de RM. O equipamento de RM do Serviço de Radiologia do HDE é um *General Electric*, modelo HDxT com um campo magnético estático de 3 Tesla. Esta é uma máquina muito complexa que realiza exames de elevado valor diagnóstico utilizando campos electromagnéticos. As restantes especificações do equipamento estão descritas no anexo 4.

O departamento de RM funciona há cerca de dois anos, período durante o qual se foram desenvolvendo procedimentos clínicos susceptíveis de provocar uma exposição mais elevada aos CEM. Para cada grupo profissional foi seleccionada a prática que teoricamente traria maior risco de exposição. Foram avaliadas 7 práticas do departamento de RM do HDE. As observações e medições efectuadas foram autorizadas pelos responsáveis do departamento.

### 3.4 População e amostra

A população do estudo são os profissionais do Hospital D. Estefânia que directa ou indirectamente poderão ter contacto com a RM.

A amostra do estudo são os profissionais que executam as práticas consideradas de risco acrescido, onde se incluem Técnicos de Radiologia, Enfermeiros, Auxiliares, Médicos Anestésistas, Equipa de Limpeza e Engenheiros de Manutenção do equipamento.

As práticas seleccionadas foram encontradas sem que os profissionais soubessem que está a decorrer uma observação científica. Contudo, para a avaliação individual de cada prática, os profissionais souberam que estavam a ser estudados, uma vez que foi solicitada a sua autorização para captação de imagens.

Foi estudado um grupo composto de 6 Técnicos de Radiologia, 5 Assistentes Operacionais, 4 Enfermeiros, 6 Médicos Anestesiastas, 7 Médicos Radiologistas, 3 Médicos Neurorradiologistas, 2 Senhoras da Equipa de Limpeza e 1 Engenheiro do Equipamento. Alguns dos profissionais foram avaliados mais do que uma vez.

As práticas seleccionadas para a realização do estudo foram as seguintes:

- **Limpeza diária da sala do equipamento** - procedimento realizado todos as manhãs pela Equipa de limpeza, onde se recolhe o lixo e se procede à limpeza do pavimento de toda a sala de exame.
- **Posicionamento para exame** – procedimento efectuado sempre que é realizado um exame de RM pelo Assistente operacional, onde se procede ao posicionamento na mesa de exame do paciente. Foi considerado somente as situações de pacientes mobilizáveis e não anestesiados.
- **Limpeza de equipamento de RM** – procedimento realizado pelo Assistente operacional, uma vez por semana, onde se procede à desinfeção da mesa de exame e do interior do *bore* do equipamento.
- **Cateterização venosa para injeção de meio de contraste** – procedimento realizado pelo Técnico de Radiologia ou Enfermeiro, onde se cateteriza um acesso venoso do paciente para injeção de meio de contraste.
- **Indução anestésica de doentes pediátricos (prematuros)** – procedimento realizado pelo Médico Anestesista, em que a sedação inalatória requer ventilação manual devido a especificidades da situação clínica do doente, por exemplo grande prematuridade.
- **Acompanhamento de doentes (por impossibilidade dos acompanhantes)** - procedimento realizado pelo Enfermeiro, nas situações em que para se evitar que o doente seja anestesiado, é solicitado a presença do acompanhante junto do doente, mas este não se encontra disponível ou tem alguma contra-indicação ao ambiente da RM.
- **Manutenção/reparação do equipamento** – procedimento realizado pelo Engenheiro responsável pelo equipamento que é ou periódico (bi-anual) ou pontual por necessidade de reparação de alguma avaria.

## 3.5 Instrumentos de Recolha de dados

### 3.5.1 Determinação de cenários de exposição máxima

A actividade clínica do Hospital Dona Estefânia que expõe os profissionais a CEM provenientes do equipamento de RM, consiste em vários procedimentos executados por diversos grupos profissionais, entres eles o Técnico de Radiologia, o Assistente Operacional, o Enfermeiro, o Médico Anestesta e o Médico Radiologista/Neurorradiologista.

As práticas seleccionadas foram aquelas que mais se realizam no Departamento de RM do Hospital D. Estefânia. Para determinar quais destas apresentavam maior exposição aos CEM recorreu-se a uma grelha de registo de dados, onde se registou o procedimento, profissional envolvido, frequência, duração, distribuição espacial por zona e tipo de exposição, como se demonstra na tabela abaixo:

Procedimento	Profissionais	Frequência	Duração (min)	Distribuição espacial	Exposição
				Zona	CME ou CMV

Tabela 1 – Grelha de avaliação de procedimento.

Para o registo espacial foi também criada uma divisão da sala de exames, por zonas, de acordo com a figura 9.

Cada uma das práticas foi avaliada posteriormente a nível individual de forma a obter uma caracterização mais detalhada das acções desenvolvidas.

As figuras das plantas do departamento foram retiradas do manual de instalação do equipamento, levado a cabo pela empresa *General Electric* em 2011 e mantêm-se actualizadas até à data do trabalho.

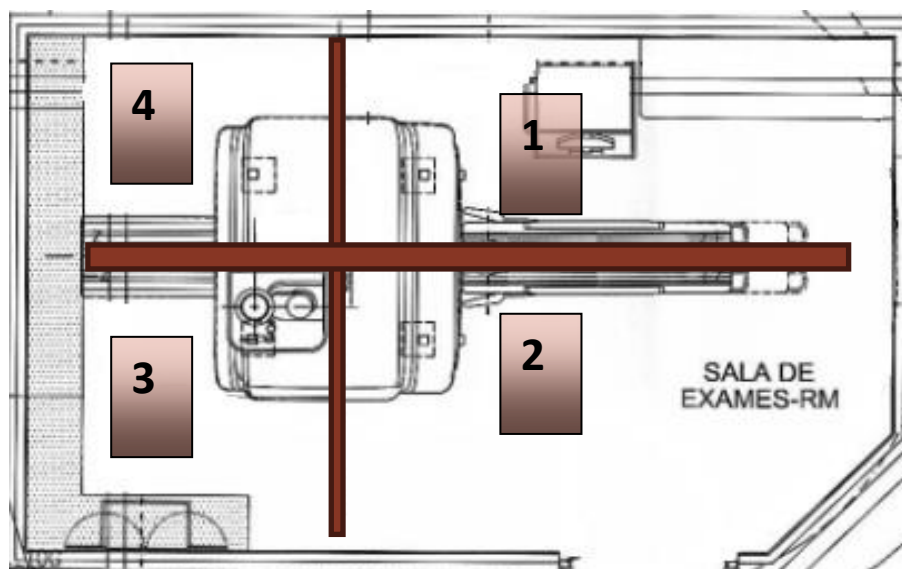


Figura 9 - Zonas da sala de RM para localização espacial (figura retirada do manual do equipamento *General Electric*).

### 3.5.2 Registo de Vídeo

As práticas seleccionadas foram registadas recorrendo a uma câmara de vídeo de visão grande angular ou grande abertura (anexo 5) colocada num topo da sala de exame, na posição V, conforme ilustrada na figura 10 por forma a registar a distribuição temporal e espacial dos profissionais dentro da sala de exame por cada prática. A câmara escolhida foi uma *GoPro Hero3* devido às suas capacidades de visão grande angular e fácil montagem o que permitia ter uma visualização completa da sala de exames. Os parâmetros de gravação foram 30 f/s, 1080p e *ultra wide angle*. As imagens foram revistas através do software *GoPro Cineform Studio*.

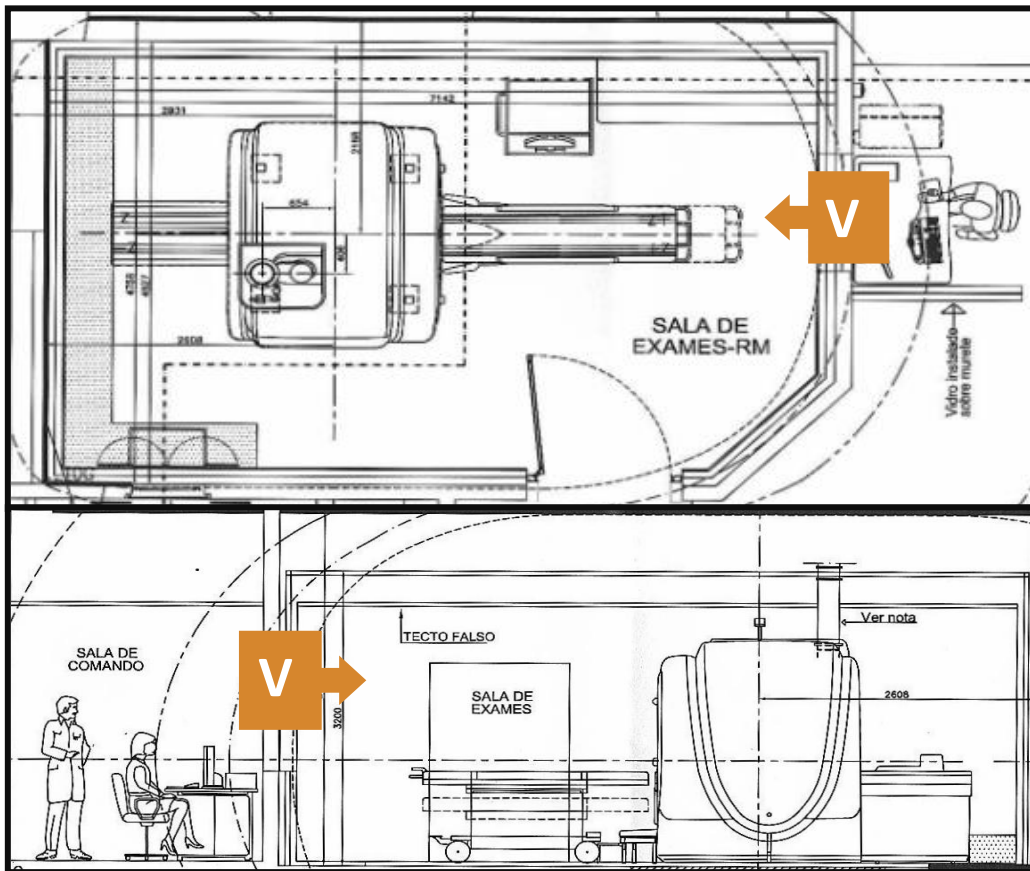


Figura 10 – Localização da câmara de registo vídeo dos procedimentos (figura retirada do manual do equipamento *General Electric*).

### 3.6 Medições dos campos electromagnéticos

O protocolo de medições de campo electromagnético foi executado para os casos de exposição máxima aos CEM dentro da sala de exame.

#### 3.6.1 Campo magnético

O campo magnético foi encontrado através da análise dos dados recolhidos aquando da instalação do equipamento e das respectivas linhas de campo magnético traçadas nas plantas, com as especificações do equipamento, trabalho levado a cabo pela empresa que procedeu à instalação, a *General Electric*.

### 3.6.2 Campo eléctrico

O campo eléctrico foi avaliado através de um equipamento de avaliação da exposição individual ao campo eléctrico. O equipamento escolhido foi um SATIMO® EME GUARD (figura 11). Este é um dosímetro de avaliação da exposição individual do portador do dispositivo, e foi por isso considerado o mais indicado face à questão em estudo e perante a oferta existente no mercado na altura da investigação.



Figura 11 – Dosímetro Satimo® EME Guard (retirado do manual do dosímetro).

As especificações técnicas do dosímetro SATIMO® EME GUARD estão descritas na tabela seguinte:

<b>SATIMO® EME GUARD</b>		
<b>Tipo de Produto</b>	Dosímetro pessoal de banda larga	
<b>Função</b>	Registo contínuo do nível do campo electromagnético e emissão de alertas de possível sobreexposição	
<b>Tipo de actividades</b>	- Qualquer pessoa que trabalhe perto de antenas emisoras (televisão, telecomunicações, radares...) - Trabalhadores de instalação e manutenção de antenas emisoras ou trabalhadores de entidade reguladoras.	
<b>Banda de Frequências</b>	27 MHz a 40 GHz Limite superior de detecção – 200V/m Limite inferior de detecção – 5V/m	
<b>Incerteza de medição</b>	<u>Isotropia axial:</u> ± 1dB aos 1400 MHz ± 2dB aos 2100 MHz <u>Frequência de resposta:</u> 27 MHz - 2.5 GHz: ± 3 dB 2.5 GHz - 6 GHz: +6/0 dB 6 GHz - 10 GHz: +12/+6 dB 10 GHz - 20 GHz: +10/0 dB 20 GHz - 40 GHz: +8/-3 dB	
<b>Configurações de medição</b>	Tempo de actualização de <i>display</i> e alarmes	1 seg
	Registo de medições	Activado ou desactivado
	Capacidade de registo	30 000 medições
	Período de registo	1-255 seg
	Duração de registo	<u>Min;</u> 1 min <u>Máx.:</u> $\frac{30\,000 \text{ leituras} \times \text{período de registo (seg)}}{60}$
<b>Características mecânicas</b>	Dimensões	172 X 60 X 35 mm
	Peso	320 g
	Protecção	IP 55
<b>Software</b>	EME Guard Analysis SW	
<b>Número de série</b>	DW_001_4013	
<b>Última Calibração</b>	12-11-2013	
<b>Aplicações</b>	Possibilidade de definir <i>thresholds</i> de medição com respectivo alarme (CNIRP, 2004/40/EU...)	

Tabela 2 – Especificações do dosímetro SATIMO® EME GUARD.

O protocolo de medição escolhido foi uma medição a cada 5 segundos durante o tempo de exame. O dosímetro foi colocado na horizontal com a sonda dirigida ao equipamento na posição referente ao procedimento de risco, a 1 metro do exterior do magneto. Os valores de campo eléctrico foram registados a cada 5 segundos em  $V/m$  e numa média a cada 6 min - medidas proposta nas Directivas Europeias (European Parliament and the Council, 2013)

O dosímetro foi colocado na sala de exame conforme a Figura 12, simulando a posição B (estrela).

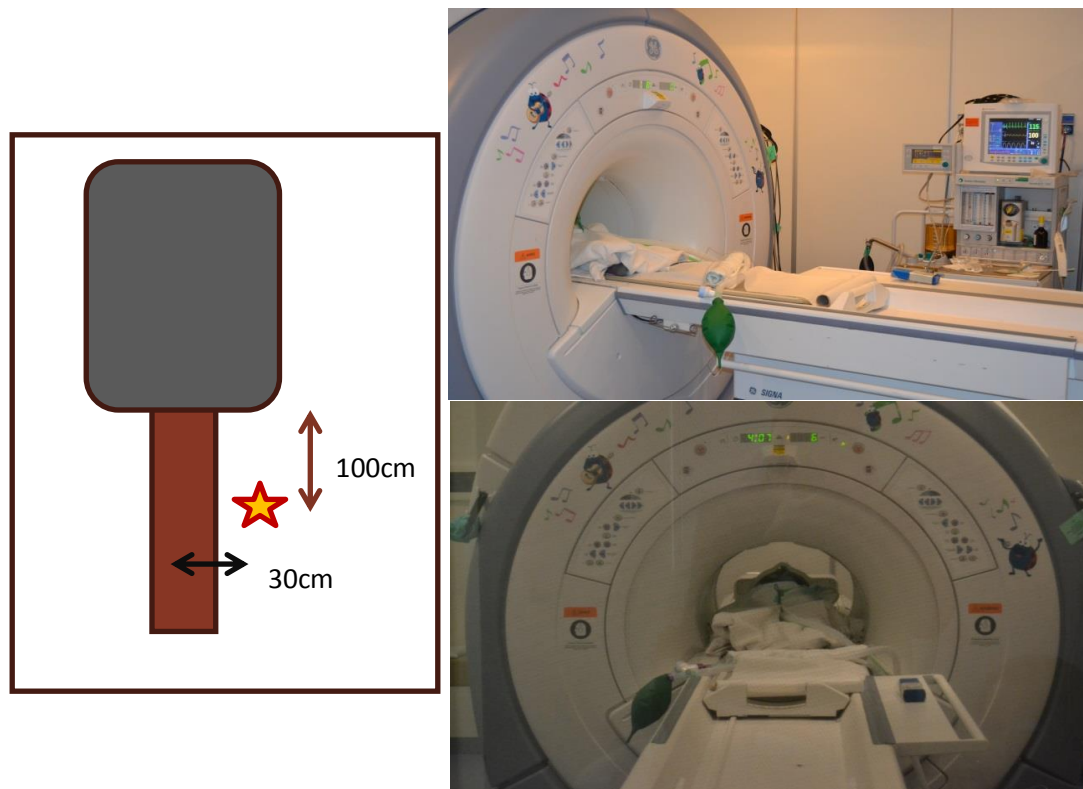


Figura 12 - Colocação do Dosímetro para avaliação do campo eléctrico na sala de exame na posição B (estrela).

As fases da avaliação do campo eléctrico foram divididas de acordo a tabela seguinte:

<b>Etapa</b>	<b>Cenário</b>	<b>Posição do Dosímetro</b>
<b>Primeira Fase</b>	Avaliação da exposição ao campo eléctrico no exterior da sala de RM	<b>CE1</b>
<b>Segunda Fase</b>	Avaliação da exposição ao campo eléctrico no interior da sala de RM por parte do enfermeiro no acompanhamento de doentes	<b>CE2</b>
<b>Terceira Fase</b>	Avaliação da exposição ao campo eléctrico no interior da sala de RM por parte do Anestesiologista na anestesia com ventilação manual	<b>CE2</b>

Tabela 3 –Fases da avaliação do campo eléctrico.



## **4. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

---

### **4.1 Procedimentos realizados no departamento de RM**

A avaliação dos procedimentos mais usuais no departamento de RM do Hospital D. Estefânia foi efectuada através de uma grelha de observação a qual permitiu identificar profissionais, frequência, duração, distribuição espacial e tipo de exposição envolvida. A avaliação destas grelhas permitiu depois concluir quais os procedimentos onde os profissionais se encontrariam mais expostos aos diversos tipos de CEM.

Foram então avaliados 7 procedimentos:

#### **4.1.1 Limpeza diária matinal**

A limpeza diária matinal é um procedimento realizado diariamente antes do início do primeiro exame do dia, onde uma empregada da equipa de limpeza procede à higienização de todo o pavimento da sala de exame.

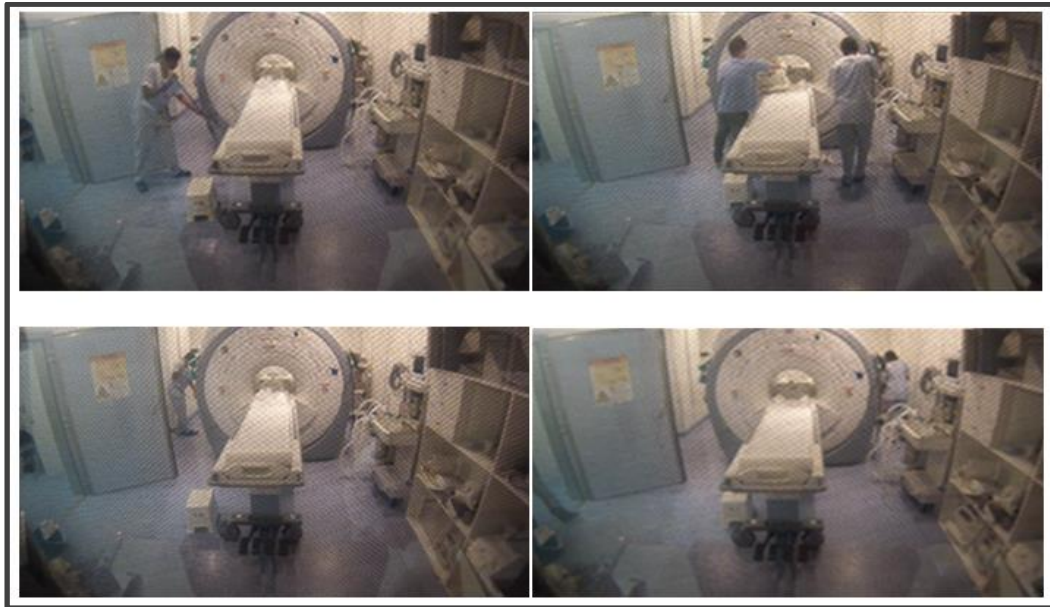


Figura 13 – Limpeza diária matinal.

#### 4.1.2 Posicionamento de Doente

O procedimento de posicionamento de doente no equipamento de RM é habitualmente realizado pelo Assistente Operacional no início de cada exame. Consiste na colocação das bobinas específicas para o exame, posicionamento do doente na mesa e colocação do doente no interior do *bore* do equipamento



Figura 14 - Posicionamento do Doente.

### 4.1.3 Limpeza de equipamento

O procedimento da limpeza do equipamento é efectuado pelo Assistente Operacional e tem como objectivo a higienização do exterior e interior do equipamento de RM, implicando a entrada do Assistente Operacional no interior do *bore*.



Figura 15 - Limpeza do equipamento.

### 4.1.4 Cateterização venosa para injeção de meio de contraste

O procedimento de cateterização para injeção de meio de contraste é efectuado pelo Técnico ou pelo Enfermeiro sempre que um exame necessite de imagens com contraste endovenoso. O procedimento requer que o profissional entre na sala de exame, cateterize um acesso venoso e proceda à injeção do meio de contraste ou que conecte o acesso para uma injeção através de injector automático.

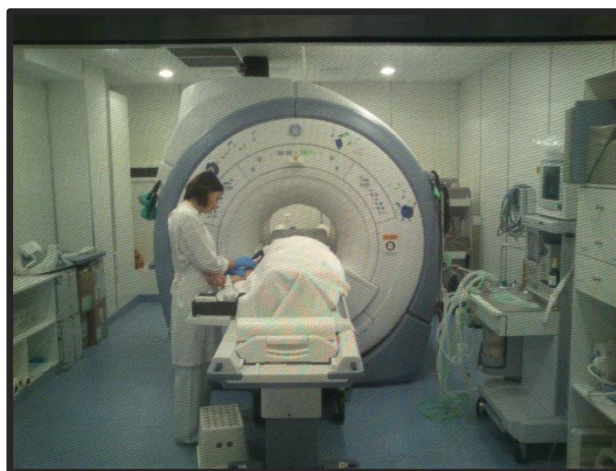


Figura 16 - Cateterização venosa para injeção de meio de contraste.

#### 4.1.5 Indução anestésica de doentes pediátricos

O procedimento de indução anestésica de doentes pediátricos, especialmente em bebés prematuros com baixos volumes respiratórios ou com dificuldades respiratórias requer que seja feita uma indução anestésica mais vigiada ou com insuflações manuais por forma a garantir o sucesso da indução anestésica, implicando por isso a presença do Médico Anestesiologista perto do doente.



Figura 17 - Indução anestésica de doentes pediátricos.

#### 4.1.6 Acompanhamento de doentes pediátricos

O procedimento de acompanhamento de doentes pediátricos ocorre sempre que para evitar o stress e o medo provocado pelo exame de RM, o Enfermeiro acompanha o doente pediátrico durante o decorrer do exame acalmando-o e evitando assim um procedimento anestésico.



Figura 18 - Acompanhamento de doente pediátrico.

#### 4.1.7 Manutenção/Reparação equipamento

O procedimento de manutenção ou reparação do equipamento de RM é realizado pelo Engenheiro responsável da marca. A manutenção programada implica a sua presença na sala a fim de realizar testes e avaliar alguns componentes do equipamento. Nas reparações de avarias, estas podem obrigar à sua presença dentro da sala de exame e até dentro do *bore* do equipamento por longos períodos de tempo.



Figura 19 - Manutenção/Reparação do equipamento.

## 4.2 Gelha de registos dos procedimentos

Os procedimentos foram registados em vídeo e avaliados através da grelha de avaliação, e do mapa de zonas da sala de exame, como se encontra demonstrado na Tabela 4.

Procedimento	Profissionais	Frequência	Duração	Distribuição espacial	Exposição
Limpeza diária matinal	Empregada de limpeza	Diária	5min	Todas as zonas	CME
Posicionamento de paciente	Assistente Operacional	Diário	5min	Zona 1 e 2	CME
Limpeza de equipamento	Assistente Operacional	Semanal	10min	Todas as zonas (incluindo <i>bore</i> )	CME
Cateterização venosa para injeção de meio de contraste	Técnico de Radiologia/ Enfermeiro	Diário (variável)	3min	Zona 1 e 2	CME
Indução anestésica doentes pediátricos	Médico Anestesiologista	Ocasional	1hora	Zona 1	CME, CMV
Acompanhamento de doentes pediátricos	Enfermeiro	Raro	1hora	Zona 1 e 2	CME, CMV
Manutenção/Reparação equipamento	Engenheiro	Trimestral ou Avarias	Variável	Todas as zonas (incluindo <i>bore</i> )	CME

Tabela 4 - Grelha de registo de procedimentos.

A avaliação desta grelha permitiu concluir que em termos de exposição ao campo magnético principal os procedimentos mais expostos seriam a limpeza do equipamento e a manutenção/reparação do equipamento, uma vez que ambos exigem a entrada do profissional no interior do equipamento. Relativamente à exposição ao campo eléctrico os únicos procedimentos que registaram esse tipo de exposição foram a indução anestésica a doentes pediátricos e o acompanhamento de doentes pediátricos, pois exigem a presença dos profissionais no interior da sala durante todo o exame (Figura 20).

## Campo Magnético

- Limpeza do equipamento
- Manutenção/reparação do equipamento

## Campo Eléctrico

- Indução anestésica a doentes pediátricos
- Acompanhamento de doentes pediátricos

Figura 20 - Procedimentos de maior exposição ao campo magnético e eléctrico.

### 4.3 Quantificação dos procedimentos de exposição máxima

#### 4.3.1 Exposição ao campo magnético estático

O procedimento de trabalho que revelou deter a exposição máxima ao CME foi a limpeza do equipamento, uma vez que o assistente operacional que efectua a limpeza, tem de entrar no *bore* do equipamento e limpar o interior do túnel, colocando-se na posição A, como ilustrado na Figura 21, assim como a manutenção e reparação de componentes na RM, situação na qual o Engenheiro também pode ter necessidade de se colocar no interior do *bore* da máquina.

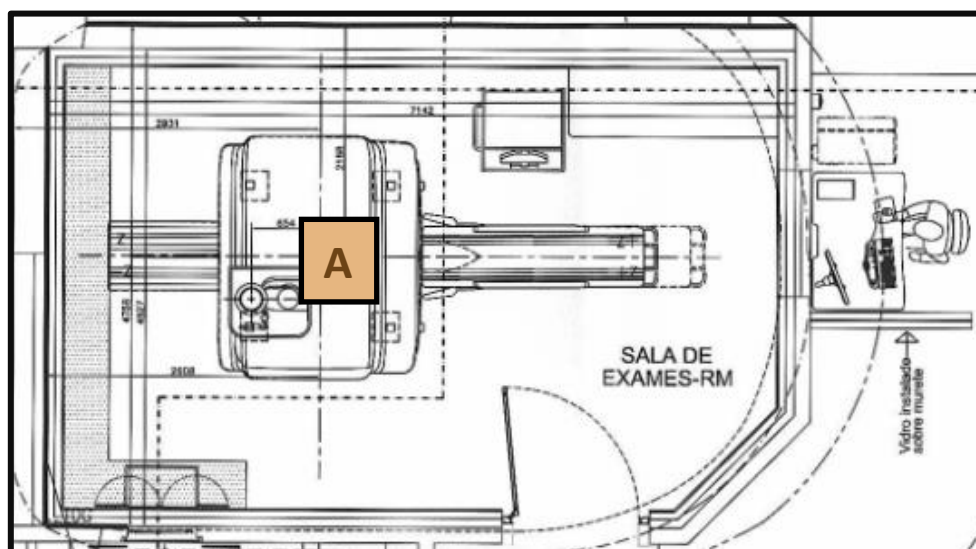


Figura 21 - Esquema da sala de RM com posição A de exposição máxima ao campo magnético estático (figura retirada do manual do equipamento General Electric).

Este tipo de acção expõe o profissional ao CME máximo possível no equipamento, 3 T. Acresce a isto o facto de todo o equipamento ser também limpo ou reparado na parte exterior, local onde o CME é também igualmente elevado (2 T), conforme indicado na Figura 22.

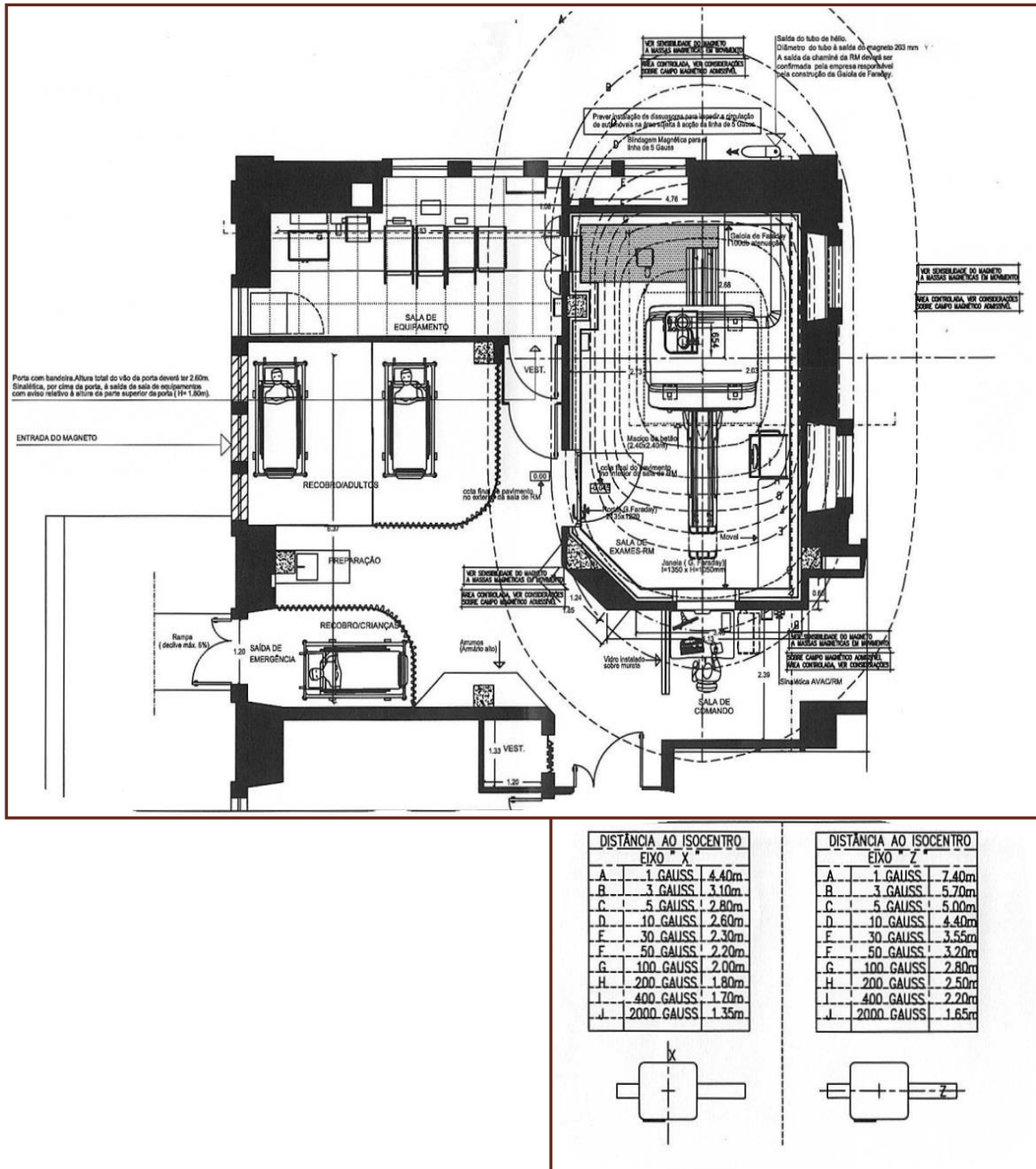


Figura 22 - Planta do departamento de RM do Hospital D. Estefânia e linhas de isocampo (figura retirada do manual do equipamento General Electric).

Relativamente aos outros procedimentos de exposição ao CME, de referir primeiro, a exposição do assistente operacional aquando da preparação da sala, posicionamento e conclusão do exame, que representa em termos de frequência o grupo profissional mais exposto, com exposições até aos 2 Tesla durante todo o turno de trabalho. O turno de trabalho tem em média 8 a doentes, contabilizado o posicionamento e a conclusão do exame, resulta numa frequência média máxima de 16 doentes por turno. Em termos de duração da exposição ao CME outros dois cenários mostram ser os mais expostos em termos temporais, a indução anestésica *in-loco* ou o acompanhamento de doentes (posição B, Figura 25). Estes tipos de procedimentos podem exceder 1 hora de exposição e atingir valores de CME até aos 2 Tesla.

### 4.3.2 Exposição ao Campo Eléctrico

A exposição ao campo eléctrico foi medida nas únicas situações onde se verifica a exposição ao campo eléctrico no decorrer de um exame de RM. A situação avaliada foi a indução anestésica *in-loco* ou o acompanhamento de doentes, onde em ambos os casos o profissional se encontra localizado na posição B da Figura 23.

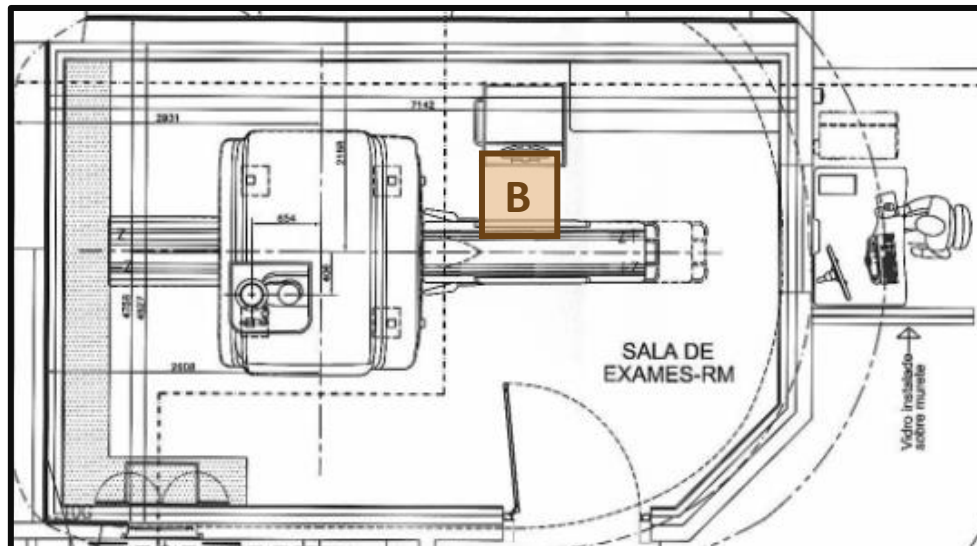


Figura 23 - Esquema da sala de RM com posição B de exposição máxima ao campo eléctrico (figura retirada do manual do equipamento General Electric).

A primeira fase da avaliação decorreu no exterior da sala de RM durante a realização de um exame, a segunda fase foi durante uma RM Cranioencefálica a uma criança de

4 anos e a terceira fase foi uma RM Cranioencefálica e Medula a uma criança de 9 meses.

O protocolo de medição foi de uma medida a cada 5 segundos. As 3 fases da avaliação demoraram 1h31m15s, tempo o qual se realizaram 1095 leituras. As 3 fases foram registadas numa só medição, tendo esta sido interrompida entre cada fase.

A banda de frequência alcançada pelo equipamento foi de 27 MHz a 40 GHz, sendo que o limite inferior de detecção é de 5 V/m. A incerteza associada aos valores encontrados, para as frequências em estudo é de  $\pm 3$  dB.

A temperatura registada na sala de exame durante as 3 fases está representada no gráfico seguinte:

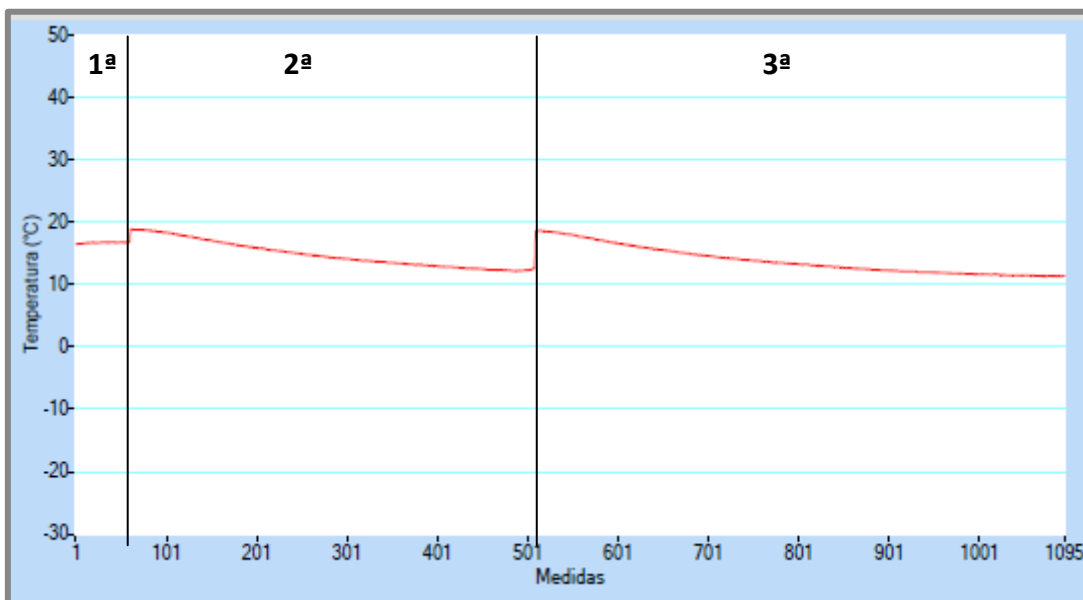


Figura 24 - Gráfico temperatura durante a avaliação, nas 3 fases.

- Na *primeira fase* o dosímetro foi colocado no exterior da sala, exactamente a seguir a porta da sala de exame, na posição *CE1*, conforme Figura 25, e a medição teve uma duração de 5 minutos, desde a 1ª até à 51ª leitura.

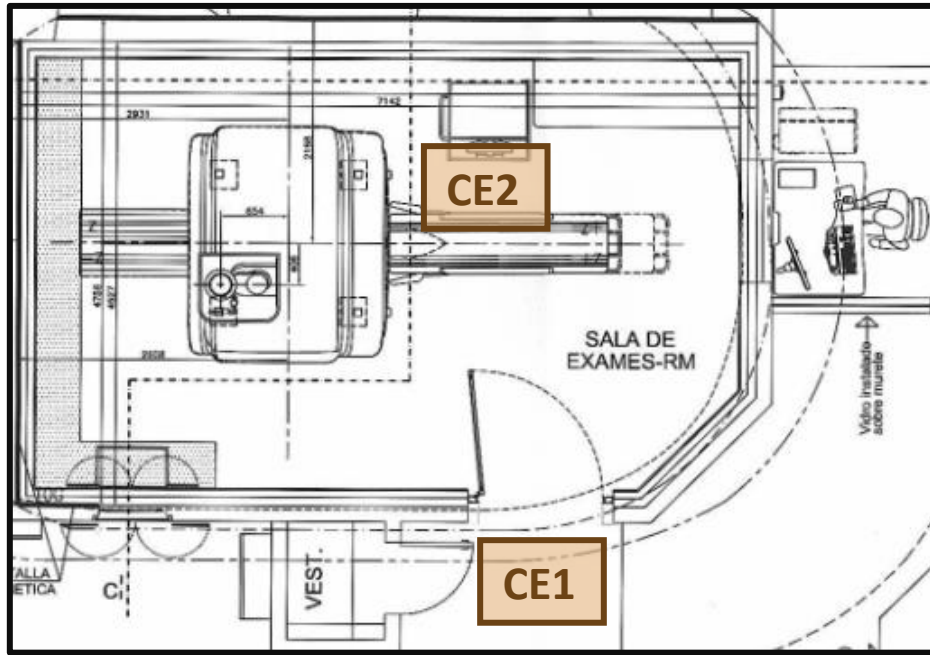


Figura 25 - Esquema da sala de RM com os locais de medição do campo eléctrico (figura retirada do manual do equipamento General Electric).

O resultado da medição está apresentado no gráfico seguinte onde no eixo do xx estão as medições que nos dá a relação temporal, e no eixo dos yy estão as unidades de campo eléctrico no caso V/m (Figura 26). Os valores registados relativamente ao campo eléctrico no exterior da sala de RM durante a realização de uma RM são de 0 V/m.

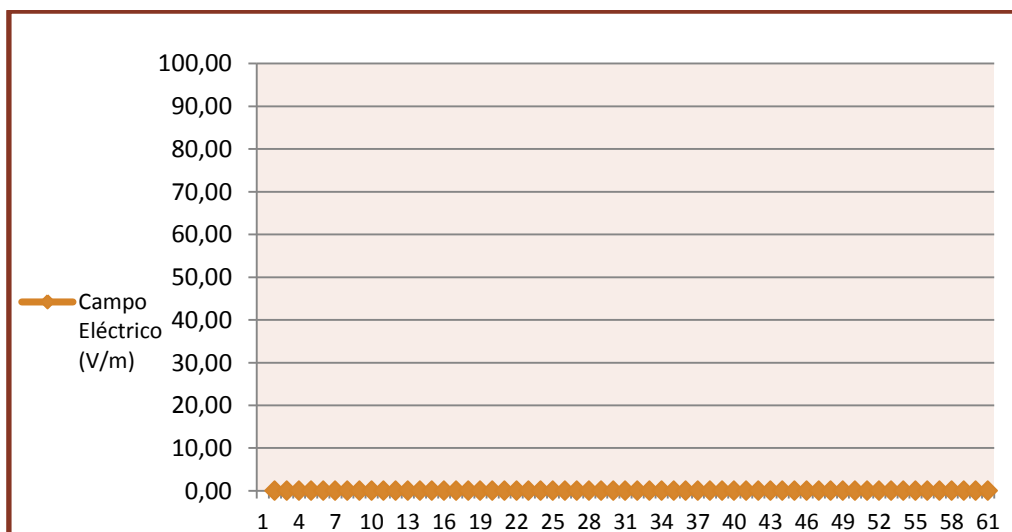


Figura 26 - Gráfico de medições do campo eléctrico exterior da sala de RM (exterior da sala de exame).

- A *segunda fase* da avaliação foi a medição no interior da sala de RM com o intuito de simular a exposição na posição *CE2* (Figura 25), neste caso, do Enfermeiro no acompanhamento de doente em que os acompanhantes não podem entrar na sala de exame. O resultado da medição está apresentado no gráfico seguinte onde no eixo do *xx* estão as medições que nos dá a relação temporal, e no eixo dos *yy* estão as unidades de campo eléctrico em V/m (Figura 27).

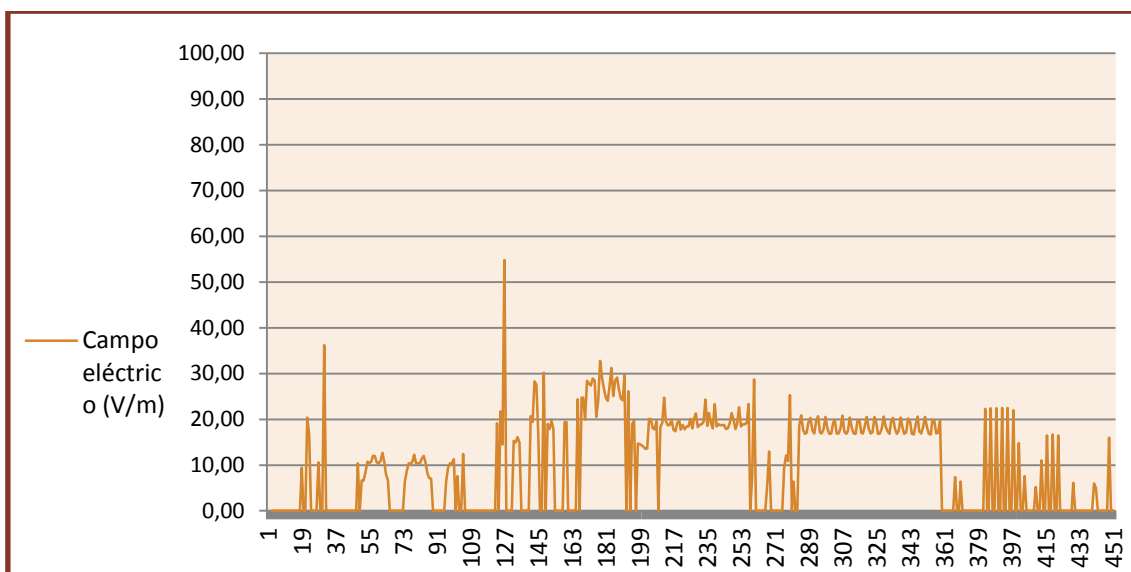


Figura 27 - Gráfico de medições do campo eléctrico no interior da sala de RM, acompanhamento de doente por parte de Enfermeiro.

Durante este período de medição foram registados vários valores de exposição ao campo eléctrico sendo que o valor mais elevado foi de 54,8 V/m, na leitura 127. Os valores registados seguem por vezes um padrão ao qual se poderá associar o intervalo de tempo de uma sequência específica. O gráfico dos valores do campo eléctrico numa média de 6 min para o acompanhamento de doente por parte de Enfermeiro é apresentado na figura 28, e demonstrou um valor máximo 21,02 V/m no ponto 239.

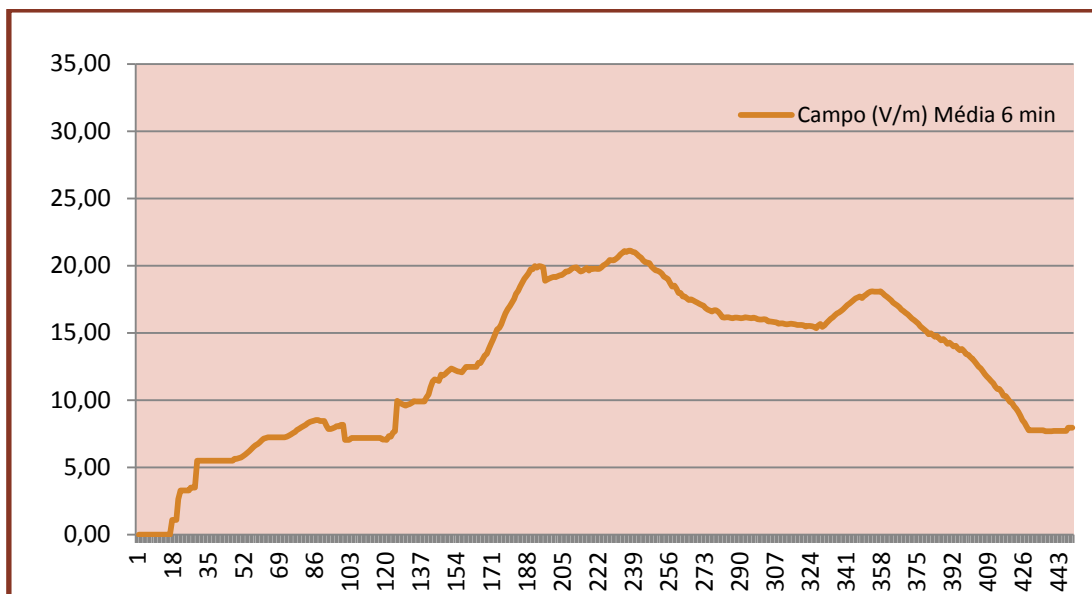


Figura 28 - Gráfico de medições do campo eléctrico numa média de 6 minutos no interior da sala de RM, acompanhamento de doente por parte de Enfermeiro.

- A terceira fase da avaliação foi a medição no interior da sala de RM com o intuito de simular a exposição também na posição CE2 (Figura 25), neste caso, do Anestésista nos procedimentos anestésicos que requerem ventilação manual da criança. O resultado da medição está apresentado no gráfico seguinte onde no eixo do xx estão as medições que nos dá a relação temporal, e no eixo dos yy estão as unidades de campo eléctrico em V/m (Figura 29).

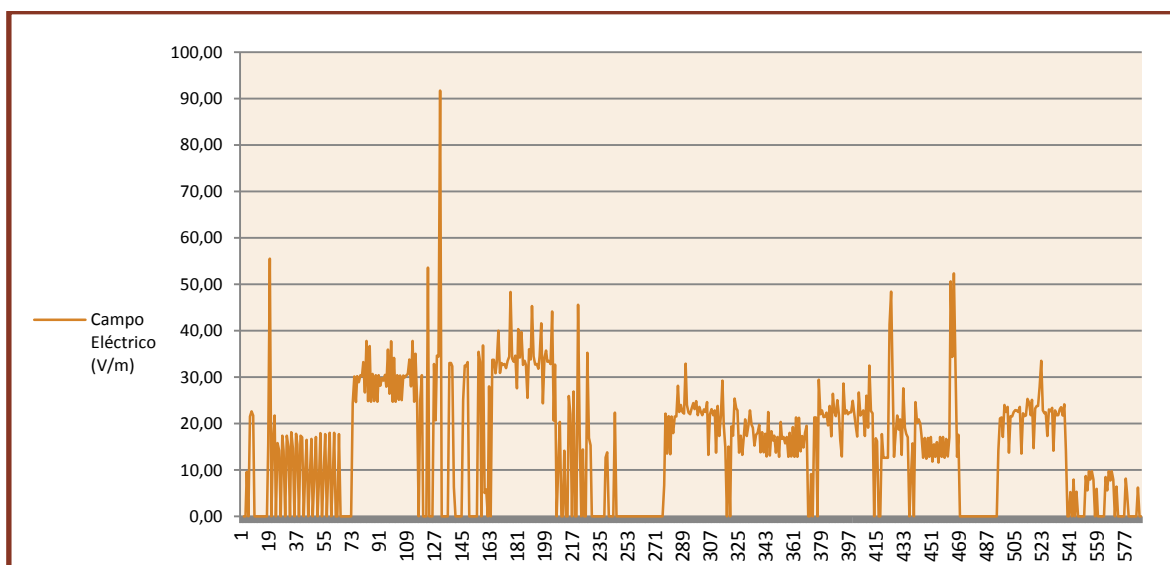


Figura 29 - Gráfico de medições do campo eléctrico no interior da sala de RM, ventilação manual pelo Anestésista.

Durante este período de medição foram registados vários valores de exposição ao campo eléctrico sendo que o valor mais elevado foi de 91,7 V/m, na leitura 131. O gráfico dos valores de campo eléctrico numa média de 6 min para a ventilação manual pelo Anestesiologista é apresentado na Figura 30, e demonstrou um valor máximo 29,66 V/m no ponto 199.

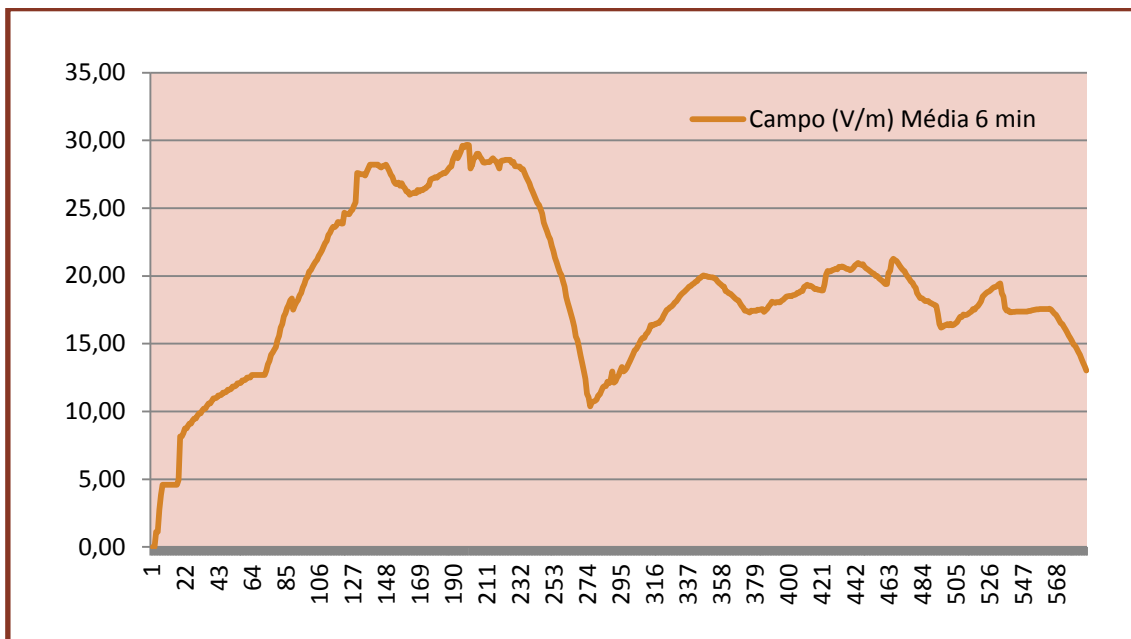


Figura 30 - Gráfico de medições do campo eléctrico numa média de 6 minutos no interior da sala de RM, ventilação manual pelo Anestesiologista.

De referir o facto de em ambas as simulações se terem registado valores de exposição ao campo eléctrico. O acompanhamento por parte do enfermeiro aos doentes dentro da sala de RM, demonstrou valor máximo de exposição ao campo eléctrico de 54,8 V/m e numa média de 6 min de 21,10 V/m. A presença do anestesiologista para efectuar ventilação manual a doentes pediátricos, demonstrou valor máximo de exposição ao campo eléctrico de 91,7 V/m e numa média de 6 min de 28,56 V/m.

## 5. DISCUSSÃO

---

A RM é uma actividade clínica que actualmente se apresenta como uma das mais valiosas no campo do diagnóstico médico. Deste modo executam-se diariamente uma elevado número de exames. Com a exclusão da RM dos limites de exposição ocupacional pela directiva 2013/35/EU, ficou previsto o estudo e discriminação dos riscos envolvidos nas salas de RM.

Foi então realizado um estudo descritivo e exploratório de análise mista e de caso único no departamento de RM do Hospital D. Estefânia e a caracterização desse departamento face à exposição ocupacional aos CEM foi realizada.

### **5.1 Avaliação do departamento de RM do Hospital D. Estefânia**

#### **5.1.1 Campos electromagnéticos**

O departamento de RM está exposto aos 3 tipos de campos electromagnéticos descritos anteriormente, contudo estes estão praticamente confinados ao interior da sala de RM. O campo magnético principal tem a sua intensidade máxima no centro da

máquina de RM atingindo um valor de 3 Tesla, contudo estende as suas linhas de campo menos intensas até dois metros após a parede exterior da sala de RM, conforme a figura 10. Relativamente ao campo eléctrico e ao campo de radiofrequência estes estão limitados ao interior da sala de RM e somente quando o exame está a decorrer.

### **5.1.2 Riscos ocupacionais**

O primeiro risco presente no departamento de RM do HDE são os campos electromagnéticos descritos anteriormente. Adicionalmente existem outros riscos que importa considerar todos directamente relacionados com o equipamento de RM.

O ruído produzido pela acção dos gradientes é um dos riscos a considerar principalmente nas situações em que os profissionais necessitem de permanecer no interior da sala de RM durante o exame. A exposição dos profissionais ao ruído deve ser mitigada a fim de ir ao encontro da Directiva 89/39/EEC, mais concretamente pela sua 17ª Directiva Individual publicada em 2003. Para esse efeito deverão estar disponíveis auscultadores com atenuação de ruído até aos níveis recomendados, quer para os doentes como para os profissionais.

O efeito do campo magnético sobre os materiais ferromagnéticos, o efeito projectil, é outro dos riscos de um departamento de RM. No caso do equipamento de RM do HDE, o seu campo magnético principal chega aos 3 Tesla no interior do *bore* e próximo da máquina tem uma intensidade de 2 Tesla, valor que exerce uma força suficiente para projectar, tanto os objectos menos volumosos até cadeiras e camas com materiais ferromagnéticos, em direcção ao equipamento, representado um perigo enorme para o profissional que esteja nessa direcção. A fim de evitar isto, é obrigatório estarem afixados alertas desde a entrada no departamento de RM até a porta de entrada na sala de exames.

Um outro risco associado aos departamentos de RM são os riscos associados ao trabalho em ambientes que utilizem líquidos criogénicos como é o caso do equipamento de RM. O magneto do equipamento de RM é arrefecido até a temperatura de  $-273,15^{\circ}\text{C}$  de forma a criar uma resistência nula no material que compõe a solenóide no interior do magneto, facilitando a circulação de corrente eléctrica de modo a criar um campo magnético ao mesmo tempo elevado e estável. Em

caso de acidente ou avaria o contacto com o líquido criogénico poderá induzir lesões/ queimaduras graves no profissional. Por outro lado em caso de emergência, a necessidade de desligar o campo magnético, manobra conhecida por *Quench* poderá também libertar gases a temperaturas extremamente baixas, que quando inaladas poderão provocar lesões pulmonares graves.

### 5.1.3 Zonas

O departamento de RM do Hospital D. Estefânia está inserido no Serviço de Radiologia do Hospital D. Estefânia. Deste modo a Zona 1 será a área correspondente ao exterior do Serviço de Radiologia local onde está inserido o departamento de RM.

Depois desta zona os doentes/utentes chegam ao Serviço de Radiologia através da sala de espera comum com o departamento de RM, onde são recebidos pelo serviço administrativo. Seguidamente são acompanhados por um Assistente Operacional desde a sala de espera até ao departamento de RM. Nesta altura o doente entra numa zona que no Hospital D. Estefânia é simultaneamente Zona 2 e 3, local onde se realizam questionários de segurança, transferência de doentes acamados, vestiários, recobro e sala de controlo de RM (Figura 31).

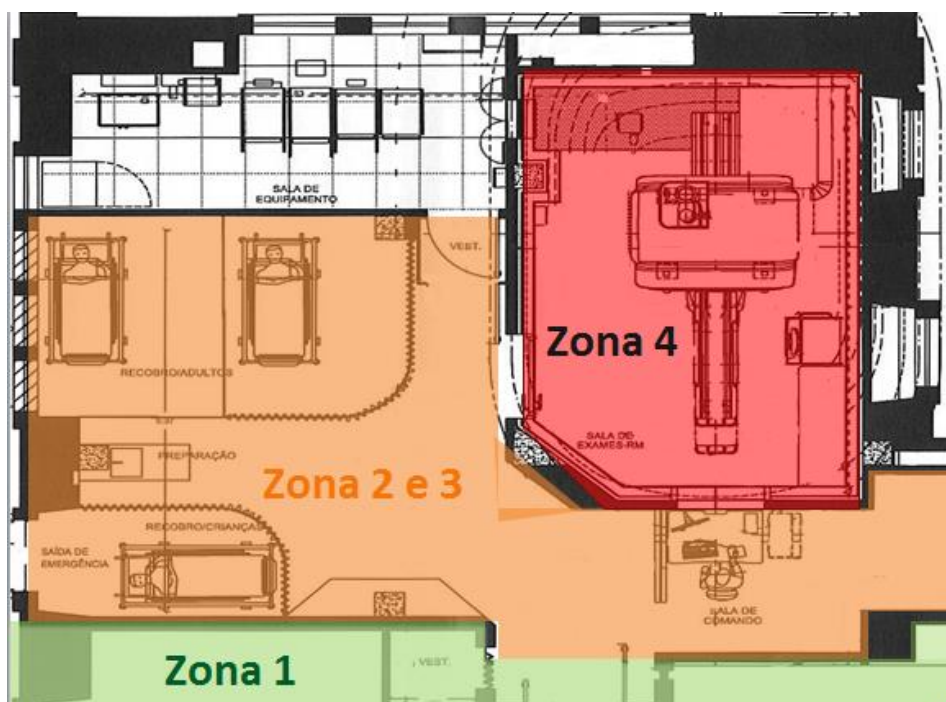


Figura 31 - Mapa de zonas do departamento de RM do Hospital D. Estefânia (figura retirada do manual do equipamento General Electric)

Deste modo observa-se que na zona 3 circulam já doentes, ainda que devidamente acompanhados, e outros profissionais que ainda não responderam ao questionário de segurança, facto que poderá representar algum perigo especialmente para outros profissionais que não os do departamento de RM.

Por fim a Zona 4 (Figura 31) que representa o interior da sala de exames de RM, o local de maior perigo para doentes e profissionais, mas também o mais vigiado e sinalizado das 4 zonas.

#### **5.1.4 Classificação dos profissionais**

A classificação dos profissionais expostos aos CEM pode ser efectuada, como visto anteriormente, em 3 categorias consoante a sua exposição ao campo magnético estático, campo de frequência baixa e intermédia e campos de radiofrequência.

A observação efectuada no departamento de RM do Hospital D. Estefânia mostrou ser possível distribuir os profissionais nas 2 primeiras categorias de exposição aos CEM, exposição ao campo magnético estático e a exposição ao campo magnético estático, campos de extremamente baixa frequência e campos de frequência intermédia.

Na *categoria 1* incluem-se os médicos Radiologistas e Neurorradiologistas, que por vezes tem a necessidade de entrar na sala de exame a fim de esclarecer alguma dúvida clínica ou de prestar algum esclarecimento ao doente ou acompanhante. Nesta categoria inclui-se também o Técnico de Radiologia que entra em todos os exames na sala de RM, mas quando se inicia o exame este tem de estar no exterior a operar o equipamento. Outro profissional que se inclui na categoria 1 é o Assistente Operacional, que como o Técnico de Radiologia também tem necessidade de entrar em todos os exames na sala de RM. A categoria 1 alberga também os Engenheiros do equipamento que efectuem reparações e manutenções à máquina, expondo-se por isso ao campo magnético estático. A equipa de limpeza está também inserida na categoria 1 uma vez que efectua diariamente limpeza à sala de exame. Ainda nesta categoria podem ser incluídos outros profissionais externos ao departamento de RM como Electricistas ou Enfermeiros e Médicos dos serviços dos quais provêm os doentes.

A *categoria 2*, no departamento de RM do Hospital D. Estefânia, abrangem os Enfermeiros e os Médicos Anestesistas. Devido à especificidade do departamento, incluído num hospital pediátrico surge por vezes a necessidade do enfermeiro ou acompanhar uma criança durante o exame, a fim de evitar um procedimento anestésico ou até de efectuar uma injeção de contraste endovenoso em doente onde a utilização do injector automático está contra-indicada. Este tipo de procedimentos obriga a que o Enfermeiro permaneça no interior da sala de exame de RM durante parte ou na totalidade do procedimento, ficando exposto para além do campo magnético estáticos aos campos de extremamente baixa frequência e campos de frequência intermédia.

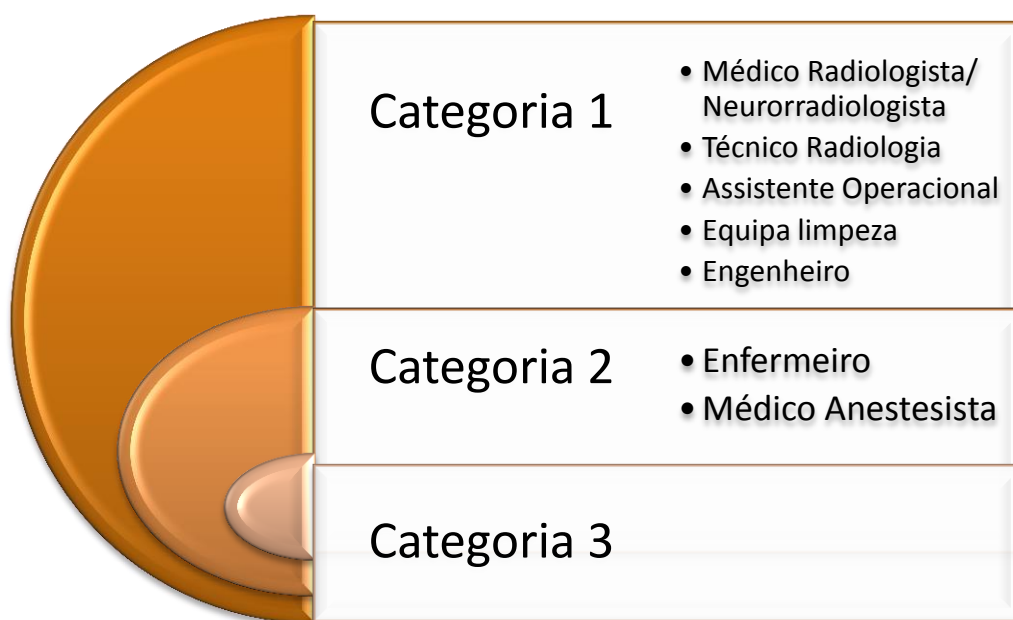


Figura 32 - Categorias de exposição profissional na RM do Hospital D. Estefânia.

Os Médicos Anestesistas também se incluem nesta categoria uma vez que têm de por vezes efectuar o procedimento anestésico no interior da sala de exames. Os doentes pediátricos neonatais, entre outros, requerem por vezes que se efectue uma ventilação manual durante todo o exame de RM, mais uma vez obrigando o profissional a permanecer dentro da sala perto do paciente.

Esta categoria poderá também abranger os Técnicos de Radiologia e Médicos Radiologista e Neurorradiologistas, que poderão ter de actuar no decorrer dos

exames, ou realizando injeções de contraste endovenoso, ou realizando manobras no decorrer do exame, casos que não se verificaram nesta observação. A categoria 2 compreende um grupo mais reduzido de profissionais que a categoria 1, facto também destacado por Hansson Mild. (Hansson Mild, et al., 2013)

A exposição aos campos de radiofrequência não se verificou nesta observação, não permitindo incluir nenhum profissional na categoria 3.

### **5.1.5 Procedimentos de maior exposição aos CEM**

Os procedimentos de maior exposição dos profissionais aos CEM presentes no departamento de RM do Hospital D. Estefânia foram avaliados durante um período de tempo de cerca de 12 meses. A partir dessa observação foram seleccionados os 7 procedimentos que poderiam expor mais os profissionais. A avaliação desses procedimentos permitiu apontar 4 práticas onde a exposição se pode apresentar como sendo maior, facto depois avaliado com o nível de exposição, quer ao campo magnético, quer ao campo eléctrico.

Na exposição ao campo magnético, as 2 práticas de maior exposição assinaladas foram: a manutenção do equipamento efectuada pelo Engenheiro responsável, onde se realizam procedimentos que implicam a permanência de períodos de tempo variava no interior do *bore* do equipamento, expondo-se a um campo magnético de 3 Tesla, ainda que com uma frequência temporal baixa (trimestral). A outra prática de maior exposição, a limpeza do equipamento executada pelo Assistente Operacional, que em termos de distribuição espacial é semelhante à anterior, onde ambos os profissionais têm de entrar dentro do *bore* para realizar o procedimento expondo-se ao valor máximo de campo magnético (3 Tesla), é realizada no mínimo semanalmente, o que apresenta por isso uma frequência muito superior, tornando esta prática a de maior exposição relativamente ao campo magnético.

Em relação ao campo eléctrico existem também duas práticas de maior exposição que são: o acompanhamento de doente por parte do enfermeiro, procedimento que implica a permanência do profissional dentro da sala de exames durante todo o procedimento, expondo-se a uma valor de campo eléctrico de 54,8 V/m. A outra prática é a anestesia com recurso a ventilação manual efectuada pelo Médico Anestesta, que requer igualmente a permanência do profissional dentro da sala de exame durante todo o

procedimento, tendo sido registada uma exposição ao campo eléctrico de 91,7 V/m. Em ambos os casos a posição adoptada pelos profissionais foi igual, não se atribuindo por isso risco acrescido a nenhum destes procedimentos. Admite-se porem que o procedimento de acompanhamento de doente realizado pelo Enfermeiro possa ser o de maior risco uma vez que, ao não estar sedado, o doente necessite de estabelecer algum diálogo com o profissional, obrigando-o a aproximar-se mais da entrada do *bore* do equipamento.

## 5.2 Considerações sobre os valores registados da exposição aos CEM

A exposição máxima ao campo magnético da RM a que, tanto o Assistente Operacional como o Engenheiro, estão sujeitos (3 Tesla) são das mais elevadas a que um profissional nas várias áreas da indústria pode estar exposto, tornando-os dos grupos profissionais sujeitos a maior risco. O valor registado é superior ao valor proposto no quadro A1 dos efeitos Não Térmicos da Directiva 2013/35 EU (2 Tesla) para as condições de trabalho consideradas. Contudo para as condições de trabalho controladas encontra-se abaixo (8 Tesla).

Procedimento	Valor Registado	Valor Proposto Directiva 2013/35 EU	
Manutenção equipamento e Limpeza do equipamento	3T		VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais
		Condições normais de trabalho	2T
		Exposição localizada nos membros	8T
			VLE aplicáveis aos efeitos na saúde
		Condições de trabalho controladas	8T

Tabela 5 – Tabela de comparação de valores registados do campo magnéticos e valores propostos pela Directiva 2013/35 EU.

A exposição ao campo eléctrico máxima registada na avaliação dos dois procedimentos executados pelo Enfermeiro e Médico Anestesta foi de 91,7 V/m e numa média de 6 min de 28,56 V/m. O valor registado é superior ao nível de acção proposto no quadro B1 dos efeitos Térmicos da Directiva 2013/35 EU para a gama de frequências em que efectuamos as medições.

Procedimento	Valor Registado	Valor Proposto Directiva 2013/35 EU
Acompanhamento de doente e Anestesia com ventilação manual	91,7 V/m	61 V/m

**Tabela 6 – Tabela de comparação de valores registados do campo eléctrico e valores propostos pela Directiva 2013/35 EU.**

### 5.3 Limitações do estudo

A principal limitação do estudo foi ao nível da avaliação do campo eléctrico uma vez que o único equipamento que foi possível obter para realizar as medições tinha um intervalo de medição que começava num limite superior àquele que se verifica no equipamento de RM do Hospital D. Estefânia, negligenciando por isso o contributo das frequências mais baixas para o valor de campo eléctrico registado. Uma segunda limitação foi o facto de devido à frequência baixa das práticas consideradas de maior risco relativamente à exposição ao campo eléctrico, e de questões de cedência do equipamento de medição, só foi possível efectuar uma avaliação por cada procedimento, facto que poderá afectar os resultados obtidos. Outra limitação é o facto do estudo ter sido efectuado em contexto pediátrico não podendo os resultados ser extrapolados para uma população adulta. Por fim admite-se que os profissionais poderão ter alterado os seus comportamentos ao saberem que estavam a ser observados.

## **5.4 Protocolo de avaliação de risco de um departamento de RM**

A Directiva 2013/35 EU, obrigará aquando da sua transposição para as legislações nacionais, através do seu artigo 4º a uma avaliação de riscos e determinação da exposição aos CEM, efectuada pela entidade empregadora. Esta avaliação deverá seguir os guias práticos que irão ser disponibilizados pela Comissão Europeia até seis meses antes da data limite de transposição. Ainda assim existem avaliações base que poderão ser efectuadas pelos departamentos de RM de forma a prepararem a aplicação da Directiva, tais como:

- Avaliação da estrutura física e organizacional do departamento (Atribuição de zonas)
- Avaliação dos profissionais e do tipo de acção que desenvolvem no departamento de RM (classificação dos profissionais)
- Avaliação dos procedimentos realizados na sala de RM e sinalização daqueles que apresentam maior exposição a fim de procurar procedimentos alternativos.

A aplicação deste protocolo servirá para os departamentos de RM começarem a desenvolver alguns dos pontos fundamentais para a futura avaliação de risco.



## 6. CONCLUSÃO

---

A RM é uma das técnicas da actividade clínica mais evoluída actualmente. A sua combinação entre o uso de campos electromagnéticos com electrónica proporciona uma ferramenta de incontestável valor no diagnóstico médico. O desenvolvimento da técnica tem levado a um aumento quer do campo magnético principal, quer dos campos de gradientes e de radiofrequências, levantando algumas questões relativas à segurança de doentes e profissionais. A Comissão Europeia, orientada pelas guidelines da ICNIRP publicou em 2004 uma Directiva que visava limitar a exposição dos profissionais aos CEM da RM. Contudo, os limites impostos na Directiva ameaçavam colocar a RM e os seus profissionais em transgressão desses mesmos limites. Após um intenso debate entre a comunidade científica e de vários adiamentos da data de transposição da Directiva, a CE decidiu excluir a RM dos limites anteriormente propostos através da Directiva 2013/35, obrigando ainda assim a que se efectuasse uma avaliação de risco dos departamentos de RM.

Esse foi o trabalho que se executou com este estudo, tentando efectuar uma avaliação de risco a um departamento de RM, no caso o departamento de RM do Hospital D. Estefânia.

Foram avaliadas práticas clínicas, estrutura e desenho organizacional do departamento tendo em evidência algumas práticas de maior exposição aos CEM. Estas práticas, não podendo ser evitadas, devem ser estudadas por forma a se encontrarem soluções de as minimizar, reduzindo os tempos de exposição dos profissionais. Adicionalmente estes profissionais deverão ser monitorizados mais atentamente pelos departamentos de Saúde Ocupacional por forma a detectar precocemente qualquer alterações que se possam relacionar com a exposição aos CEM.

Neste trabalho as práticas que demonstraram ser de exposição aos CEM foram, para o campo magnético a limpeza do equipamento por parte do Assistente Operacional e as Manutenções/reparações do equipamento efectuadas pelo Engenheiro. Por outro lado para a exposição ao campo eléctrico as práticas mais expostas o acompanhamento de doentes por parte do Enfermeiro e a Anestesia de doentes pediátricos com condições especiais que requerem presença do Médico Anestesiologista dentro da sala de exame.

Deve ainda assinalar-se que no estudo efectuado, apesar de se terem encontrado práticas consideradas de risco acrescido face ao proposto na Directiva 2013/35, estas são uma minoria face à prática clínica diária.

Em conclusão este é um trabalho científico que permitiu, para além de quantificar a exposição ocupacional das práticas da RM, estabelecer uma metodologia para avaliação do risco associado ao trabalho na RM, permitindo responder às exigências da nova Directiva 2013/35 EU, a ser transposta para as legislações nacionais até 1 de Julho de 2016, particularmente aos pontos presentes no artigo 10º, face à exposição dos trabalhadores da RM aos CEM.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

(s.d.).

Ammari, M., Brillaud, E., Gamez, C., Lecomte, A., Salky, M., Abdelmelek, H., & Roy, V. (2008). Static magnetic field exposure affects behavior and learning in rats. *Electromagnetic Biologic Medicine*, pp. 185-196.

Aniołczyk, H., Mamrot, P., & Politanski, P. (2006). Evaluation of EMF exposure from medical electrical equipment. *IRPA Congress*. Paris.

Atkinson, I., Renteria, L., Burd, H., Pliskin, N., & Thulborn, K. (2007). Safety of human MRI at static fields above the FDA 8 T guideline: sodium imaging at 9.4 T does not affect vital signs or cognitive ability. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, pp. 1222-7.

Capstick, M., McRobbie, D., Hand, J., Christ, A., Kuhn, S., Hansson Mild, K., . . . Kuster, N. (2007). *An investigation into occupational exposure to electromagnetic fields for personnel working with and around medical magnetic resonance imaging equipment*. Obtido de myesr: <http://www.myesr.org/html/img/pool/VT2007017FinalReportv04.pdf>

CENELEC, E. C. (2011). *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices human models, instrumentation, and procedures - Part 1: Procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for devices used next to the ear (fre)*. Brussels : CENELEC.

Council of European Communities. (29 de Junho de 1989). Council Directive of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work. *Official Journal of European Communities*.

Denaro V, Cittadini, A., Barnaba, S., Ruzzini, L., Denaro, L., & Rettino, A. (2008). Static electromagnetic fields generated by corrosion currents inhibit human osteoblast differentiation. *Spine*, pp. 955-9.

Directiva2004/40/CE. (2004). Directive 2004/40/EC of the European Parliament and the council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the

exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive. *EN Official Journal of the European Union*.

European Parliament and the Council. (24 de Abril de 2004). Directive 2004/40/EC of the European Parliament and the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (18th individual Directive. *Official Journal of the European Union*.

European Parliament and the Council. (26 de Abril de 2008). Directive 2008/46/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2008 amending Directive 2004/40/EC of the European Parliament and the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers t. *Official Journal of the European Union*.

European Parliament and the Council. (19 de Abril de 2012). Directive 2012/11/EU of the European Parliament and of the Council of 19 April 2012 amending Directive 2004/40/EC of the European Parliament and the Council of 29 April 2004 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers t. *Official Journal of the European Union*.

European Parliament and the Council. (26 de junho de 2013). Directive 2013/35/EU of the European Parliament and the Council of 26 June 2013 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to risks arising from physical agents (electromagnetic fields) (...) repealing Directive 2004/40/EC. *Official Journal of the European Union*.

Ghandi, O. P., Lazzi, G., & Furse, C. M. (October de 1996). Electromagnetic Absorption un the Human Head and Neck for Mobile Telephones at 835 and 1900MHz. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques vol 44 nº10*.

Hansson Mild, K., Hand, J., Hietanen, M., Gowland, P., Karpowicz, J., & Keevil, S. (2013). Exposure Classification of MRI Workers in Epidemiological Studies. *Bioelectromagnetics*, pp. 81-84.

Huss, A., Spoerri, A., Egger, M., & Roosli, M. (2009). REsidence near Power lines and Mortality from Neurodegenerative Diseases: Longitudinal Study for the Swizz Population. *Ameriacan Journal of Epidemiology*, pp. 167-175.

IARC. (2002). Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. In IARC, *IARC MOnographs on Carcinogenic Risks to Humans*. Lyon : IARC Press.

IARC. (2011). *IARC Report to the Union for International Cancer Control (UICC) on the Interphone Study*. Lyon: WHO.

- ICNIRP. (1998). ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz). *Health Physics*, pp. 494-522.
- Kuipers, N., Sauder, C., & Ray, C. (2007). Influence of static magnetic fields on pain perception and sympathetic nerve activity in humans. *Journal of Applied Physiology*, pp. 1410-5.
- László, J., Reiczigel, J., Szekely, L., Gasparics, A., Bogar, I., & Bors, L. (2007). Optimization of static magnetic field parameters improves analgesic effect in mice. *Bioelectromagnetics*, pp. 615-627.
- László, J.; Gyires, K. (2009). 3 T homogeneous static magnetic field of a clinical MR significantly inhibits pain in mice. *Life Science*, pp. 12-7.
- Mair, P. (2005). Assessment of EMF (Electromagnetic Fields) and biological effects in arc welding applications. *International Institute of Welding, Commission XII, Intermediate Meeting, Fronius International*, (pp. 1848-05).
- Mat, D. A. (2010). Electromagnetic Radiation towards Adult Human Head from Handheld. *International Journal of Network and Mobile Technologies*, vol 1, issue 2.
- Mild, K. H., Alanko, T., Decat, G., Falsaperla, R., Gryz, K., Hietanen, M., . . . Sandström, M. (2009). Exposure of Workers to Electromagnetic Fields. A Review of Open Questions on Exposure of Workers to Electromagnetic. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 15, No. 1, 3–33.
- Patel, M., Williamsom, R., Dorevitch, S., & Buchanan, S. (2008). Pilot study investigating the effect of the static magnetic field from a 9.4-T MRI on the vestibular system. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, pp. 576-83.
- Regel, S., Tinguely, G., Schuderer, J., Adam, M., & Kuster, N. (2007). Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. *J Sleep Res*, pp. 253-258.
- Roosli, M., Lortscher, M., Egger, M., Schreier, N., Lortscher, E., Spoerri, A., & Minder, C. (11 de setembro de 2007). Mortality from Neurodegenerative disease and exposure to extremely low-frequency fields: 31 years of observations on Swiss railway employees. *Neuroepidemiologia*, pp. 197-2006.
- SCENIHR. (2006). *Possible effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health*. Brussels: European Commission.
- SCENIHR. (2009). *Health Effects of Exposure to EMF*. Brussels: European Commission.
- SCENIHR. (2013). *Potencial effects of exposure to electromagnetic fields*. Brussels: European Commission.
- SCENIHR. (2013). *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*. Brussels: European Commission.

Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. (2013). *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*. Bruxelas: European Commission.

Sirmatel , O., Sert, C., Sirmatel, F., Selek , S., & Yokus, B. (2007). Total antioxidant capacity, total oxidant status and oxidative stress index in the men exposed to 1.5 T static magnetic field. *General Physiology Biophysics*, pp. 86-90.

Sirmatel, O., Sert , C., Tumer, C., Ozturk, A., Bilgin, M., & Ziylan, Z. (2007). Change of nitric oxide concentration in men exposed to a 1.5 T constant magnetic field. *Bioelectromagnetics*, pp. 152-4.

Tenuzzo , B., Vergallo, C., & Dini, L. (2009). Effect of 6mT static magnetic field on the bcl-2, bax, p53 and hsp70 expression in freshly isolated and in vitro aged human lymphocytes. *Tissue Cell*, pp. 169-179.

Toyomaki, A., & Yamamoto, T. (2007). Observation of changes in neural activity due to the static magnetic field of an MRI scanner. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, pp. 1216-21.

Yeh , S., Yang, J., Lee, Y., & Tsai, L. (s.d.). Static magnetic field expose enhances neurotransmission incrayfish nervous system. *International Journal of Radiot Biology*, pp. 561-7.

# ANEXOS

## ANEXO 1

**Tabela 1** - Fontes típicas de campos Electromagnéticos (SCENIHR, 2006)

Gama de Frequências	Frequências	Fonte do campo	Exemplos de intensidade máxima
<b>Campo Magnético Estático</b>	0Hz	Natural Displays vídeo Ressonância Magnética e outros equipamentos médicos/científicos Electrólise Industrial	70 $\mu$ T  até 11,4T no bore decrescendo com a distância
<b>Frequências Extremamente Baixas (ELF)</b>	0 Hz < f $\leq$ 300Hz	Linhas de alta Tensão Instalação eléctrica doméstica Motores eléctricos caros e comboios	10-20 $\mu$ T debaixo das linhas (10 kV/m) < 0,1-0,2 $\mu$ T 50 $\mu$ T e 300 V/m
<b>Frequências Intermédias (IF)</b>	300Hz < f $\leq$ 100kHz	Unidades de display vídeo Dispositivos anti-roubo lojas Controlos de acesso "mãos-livres" Leitores cartões Detectores metais	30 até máx 700nT 10 V/m
<b>Radiofrequência (RF)</b>	100kHz < f $\leq$ 300GHz	Radiodifusão Telemóveis, e Televisão Microondas Radares Radio pessoais portáteis	0,1 W/m <sup>2</sup> 0,5 W/m <sup>2</sup> 0,2 W/m <sup>2</sup>



## ANEXO 2

**Quadro 2** - Quadro 1 do Anexo da Directiva 2004/40/EC referente aos Valores Limites de Exposição

<b>Valores limite de exposição (nº1 do artigo 3º) (todas as condições a preencher)</b>					
<i>Gama de frequências</i>	Densidade da corrente para a cabeça e o tronco J (mA/m <sup>2</sup> )(rms)	SAR média para todo o corpo (W/Kg)	SAR localizada (cabeça e tronco) (W/Kg)	SAR localizada (membros) (W/Kg)	Densidade de potência (W/m <sup>2</sup> )
Até 1 Hz	40	-	-	-	-
1-4 Hz	40/f*	-	-	-	-
4-1000 Hz	10	-	-	-	-
1000 Hz- 100KHz	f/100	-	-	-	-
100 KHz-10 MHz	f/100	0.4	10	20	-
10 MHz-10 GHz	-	0.4	10	20	-
10 GHz-300GHz	-	-	-	-	50

*Tabela 2 – Quadro 1 do Anexo da Directiva 2004/40/EC referente aos Valores Limites de Exposição*

\*f é a frequência em Hz

**Quadro 3** – Quadro 2 do Anexo da Directiva 2004/40/EC referente aos Valores que Desencadeiam a Acção

<b>Valores que desencadeiam a acção (nº2 do artigo 3º) (valores rms constantes)</b>						
<i>Gama de frequências</i>	Intensidade do campo eléctrico E (v/m)	Intensidade do campo magnético H (A/m)	Densidade do fluxo magnético B (µT)	Densidade de potência da onda plana equivalente S <sub>av</sub> (W/m <sup>2</sup> )	Corrente de contacto I <sub>c</sub> (mA)	Corrente induzida dos membros I <sub>L</sub> (mA)
0-1 Hz	-	1.63x10 <sup>5</sup>	2x10 <sup>5</sup>	-	1.0	-
1-8 Hz	20 000	1.63x10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>	2x10 <sup>5</sup> /f <sup>2</sup>	-	1.0	-
8-25 Hz	20 000	2x10 <sup>4</sup> /f	2.5x10 <sup>4</sup> /f	-	1.0	-
0.025-0.82 kHz	500/f	20/f	25/f	-	1.0	-
0.82-2.5 kHz	610	24.4	30.7	-	1.0	-
2.5-65 kHz	610	24.4	30.7	-	0.4 f	-
65-100 kHz	610	1 600/f	2 000/f	-	0.4 f	-
0.1-1 MHz	610	1.6/f	2/f	-	40	-
1-10 MHz	610/f	1.6/f	2/f	-	40	-
10-110 MHz	61	0.16	0.2	10	40	100
110-400 MHz	61	0.16	0.2	10	-	-
400-2000 MHz	3/f <sup>1/2</sup>	0.008f <sup>1/2</sup>	0.008f <sup>1/2</sup>	f/40	-	-
2-300 GHz	137	0.36	0.45	50	-	-



## ANEXO 3

### - Anexo da Directiva 2013/435/EU

**EFEITOS NÃO TÉRMICOS** – Valores limite exposição e Níveis de acção na gama de frequências de 0 Hz a 10 Mhz

#### a) Valores limite de exposição (VLE)

**Quadro A1** – VLE para densidades do fluxo magnético externo ( $B_0$ ) entre 0Hz e 1Hz

	VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais
Condições normais de trabalho	2T
Exposição localizada nos membros	8T
	VLE aplicáveis aos efeitos na saúde
Condições de trabalho controladas	8T

-Os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais são os VLE para condições normais de trabalho e dizem respeito a vertigens e outros efeitos fisiológicos relacionados com perturbações do equilíbrio humano causadas principalmente pelo movimento num campo magnético estático.

-Os VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para condições de trabalho controladas são temporariamente aplicáveis durante a transição, quando a prática ou o processo seguidos o justifiquem e desde que tenham sido tomadas medidas preventivas, tais como o controlo dos movimentos e a prestação de informação aos trabalhadores.

**Quadro A2** – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para intensidades do campo eléctrico interno entre 1Hz e 10Hz

Gama de frequências	VLE aplicáveis aos efeitos na saúde
$1\text{Hz} \leq f < 3\text{kHz}$	$1,1\text{ Vm}^{-1}$ (max)
$3\text{kHz} \leq f \leq 10\text{MHz}$	$3,8 \times 10^{-4} f\text{ Vm}^{-1}$ (max)

-Os VLE aplicáveis aos efeitos na saúde dizem respeito à estimulação eléctrica de todos os tecidos do corpo pertencentes ao sistema nervoso periférico e central, incluindo cabeça

**Quadro A3** – VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para intensidades do campo eléctrico interno entre 1Hz e 400Hz

Gama de frequências	VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais
$1 \text{ Hz} \leq f < 10 \text{ Hz}$	$0,7/f \text{ Vm}^{-1}(\text{max})$
$10 \text{ Hz} \leq f < 25\text{Hz}$	$0,07 \text{ Vm}^{-1}(\text{max})$
$25 \text{ Hz} \leq f \leq 400 \text{ Hz}$	$0,028 \text{ fVm}^{-1}(\text{max})$

-Os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais dizem respeito a efeitos do campo eléctrico no sistema nervoso central na cabeça, ou seja, fosfenos retinianos e alterações menores transitórias de algumas funções cerebrais.

#### b) Níveis de acção (NA)

**Quadro B1** –NA no caso de exposição a campos eléctricos de 1Hz a 10 MHz

Gama de frequências	Intensidade do campo eléctrico NA baixo (E) [Vm <sup>-1</sup> ] [valores quadráticos médios]	Intensidade do campo eléctrico NA alto (E) [Vm <sup>-1</sup> ] [valores quadráticos médios]
$1 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^4$	$2,0 \times 10^4$
$25 \text{ Hz} \leq f < 50\text{Hz}$	$5,0 \times 10^4/f$	$2,0 \times 10^4$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^4/f$	$1,0 \times 10^6/f$
$1,64 \text{ kHz} < f < 3 \text{ kHz}$	$5,0 \times 10^4/f$	$6,1 \times 10^2$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$	$1,7 \times 10^2$	$6,1 \times 10^2$

- os NA baixos para o campo eléctrico externo baseiam-se na limitação do campo eléctrico interno a valores abaixo dos VLE (quadros A2 e A3) e na limitação das descargas de faísca no ambiente de trabalho

- para valores inferiores ao NA alto, o campo eléctrico não ultrapassa os VLE (quadros A2 e A3) e são evitadas as descargas de faísca inoportunas, desde que sejam tomadas as medidas de protecção previstas na directiva.

**Quadro B2** –NA no caso de exposição a campos magnéticos de 1 Hz a 10 MHz

Gama de frequências	Densidade de fluxo magnético NA (B) baixo [ $\mu\text{T}$ ] [valores quadráticos médios]	Densidade de fluxo magnético NA (B) alto [ $\mu\text{T}$ ] [valores quadráticos médios]	Densidade de fluxo magnético NA para a exposição dos membros a um campo magnético localizado [ $\mu\text{T}$ ] [valores quadráticos médios]
$1 \text{ Hz} \leq f < 25 \text{ Hz}$	$2,0 \times 10^2/f^2$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$25 \text{ Hz} \leq f < 50 \text{ Hz}$	$2,5 \times 10^4/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$50 \text{ Hz} \leq f < 1,64 \text{ kHz}$	$1,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$1,64 \text{ kHz} < f < 3 \text{ kHz}$	$3,0 \times 10^5/f$	$3,0 \times 10^5/f$	$9,0 \times 10^5/f$
$3 \text{ kHz} \leq f \leq 10 \text{ kHz}$	$1,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$3,0 \times 10^2$

- os NA baixos baseiam-se, para frequências inferiores a 400 Hz, nos VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais (quadro A3), e, para frequências superiores a 400 Hz, nos VLE aplicáveis aos efeitos na saúde dos campos eléctricos internos (quadro A2)

- os NA altos, baseiam-se nos VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para campo eléctrico internos relacionados com a estimulação eléctrica de tecidos nervosos periféricos e autónomos na cabeça e tronco (quadro A2). O cumprimento dos NA altos garante que os VLE aplicáveis aos efeitos na saúde não sejam ultrapassados, embora sejam possíveis efeitos relacionados com fosfenos retinianos e alterações transitórias menores da actividade cerebral, no caso de a exposição da cabeça ultrapassar os NA baixos para exposições até 400 Hz.

**Quadro B3** –NA para corrente de contacto  $I_c$ 

Gama de frequências	NA ( $I_c$ ) corrente de contacto em estado estacionário [mA] [valores quadráticos médios]
Até 2,5 kHz	1,0
$2,5 \text{ kHz} \leq f < 100 \text{ kHz}$	$0,4f$
$100 \text{ kHz} \leq f < 10000 \text{ kHz}$	40

**Quadro B4** –NA para densidade de fluxo magnético de campos magnéticos estáticos

Perigos	NA (B <sub>0</sub> )
Interferência em implantes médicos activos, por exemplo, estimuladores cardíacos	0,5 µT
Riscos de atracção e projecção na extremidade alta do campo magnético (>100 µT)	3 µT

**EFEITOS TÉRMICOS** – Valores limite exposição e Níveis de acção na gama de frequências de 100 kHz a 300 Ghz

a) **Valores limite de exposição (VLE)**

**Quadro At1** – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para uma exposição a campos electromagnéticos de 100kHz a 6 GHz

VLE aplicáveis aos efeitos na saúde	Valores médios da SAR medidos a intervalos de 6 minutos
VLE relativo ao stress causado pelo calor no corpo todo, expresso como SAR média no corpo	0,4 Wkg <sup>-1</sup>
VLE relativo ao stress causado pelo calor localizado na cabeça e tronco, expresso como SAR média no corpo	10 Wkg <sup>-1</sup>
VLE relativo ao stress causado pelo calor localizado nos membros, expresso como SAR média no corpo	20 Wkg <sup>-1</sup>

Os VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para frequências de 100 kHz a 6 GHz são limites para a energia e a potência absorvidas por unidade de massa de tecido corporal geradas pela exposição a campo eléctricos e magnéticos.

**Quadro At2** – VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para exposição a campos electromagnéticos de 0,3 GHz a 6 GHz

Gama de frequências	Absorção específica de energia (SA) localizada
$0,3 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	$10 \text{ mJkg}^{-1}$

Os VLE aplicáveis aos efeitos sensoriais para frequências de 0,3 GHz a 6 GHz são limites para a energia absorvida por uma pequena massa de tecido na cabeça, resultante da exposição a campos electromagnéticos.

Este VLE aplicável aos efeitos sensoriais diz respeito à necessidade de evitar efeitos auditivos causados pela exposição da cabeça a radiações micro-ondas constituídas por impulsos.

**Quadro At3** – VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para uma exposição a campos electromagnéticos de 6 GHz a 300 GHz

Gama de frequências	Absorção específica de energia (SA) localizada
$6 \text{ GHz} \leq f \leq 300 \text{ GHz}$	$50 \text{ Wm}^{-2}$

Os VLE aplicáveis aos efeitos na saúde para frequências superiores a 6 GHz são limites para a densidade de potência de uma onda electromagnética incidente na superfície do corpo.

#### a) **Níveis de acção (NA)**

**Quadro Bt1** – NA no caso de exposição a campos eléctricos e magnéticos de 100kHz e 300GHz

Gama de frequências	Intensidade do campo eléctrico NA (E) [ $\text{Vm}^{-1}$ ] [valores quadráticos médios]	Densidade de fluxo magnético NA (B) [ $\mu\text{T}$ ] [valores quadráticos médios]	Densidade de potência NA (S) ( $\text{Wm}^{-2}$ )
$100\text{kHz} \leq f < 1\text{MHz}$	$6,1 \times 10^2$	$2 \times 10^6/f$	-
$1\text{MHz} \leq f < 10\text{MHz}$	$6,1 \times 10^8/f$	$2 \times 10^6/f$	-
$10\text{MHz} \leq f < 400\text{MHz}$	61	0,2	-
$400 \text{ MHz} < f < 2\text{GHz}$	$3,0 \times 10^{-3} f^{1/2}$	$1,0 \times 10^{-5} f^{1/2}$	-
$2 \text{ GHz} \leq f \leq 6 \text{ GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	-
$6 \text{ GHz} \leq f_n \leq 300\text{GHz}$	$1,4 \times 10^2$	$4,5 \times 10^{-1}$	50

Os NA (E) e NA (B) são derivados da SAR ou dos VLE da densidade de potência (quadros At1 e At3) com base nos limiares relativos aos efeitos térmicos internos causados por exposição a campos eléctricos e magnéticos (externos).

**Quadro Bt2** – NA para correntes de contacto em estado estacionário e para correntes induzidas nos membros

Gama de frequências	Correntes de contacto em estado estacionário, NA ( $I_c$ ) [mA] [valores quadráticos médios]	Correntes induzida em qualquer membro, NA ( $I_i$ ) [mA] [valores quadráticos médios]
$100 \text{ kHz} \leq f < 10 \text{ MHz}$	40	-
$10 \text{ MHz} \leq f < 110 \text{ MHz}$	40	100

## ANEXO 4

- Características do equipamento de RM do Hospital D. Estefânia

### MAGNETO

Especificações Magneto	
Força campo Magnético	3 Tesla
Frequência de Operação	127,7 MHz
<i>Shim Coils</i>	18 super condutores
Tamanho	2,06 m x 1,72 m
Peso	9,525 com liquido criogénico
Período de reposição de liquido criogénico	Aprox. 4 anos
<i>Boil-off rate</i>	< 0,03 litros/hora

Especificações Gradientes		
	Zoom	Whole Body
Erro máximo Integrado	225 $\mu$ A.S	250 $\mu$ A.S
<i>Shot-to-shot</i>	20 $\mu$ A.S	25 $\mu$ A.S
<i>Cycle-to-cycle</i>	30 $\mu$ A.S	35 $\mu$ A.S
Erro de simetria	85 $\mu$ A.S	90 $\mu$ A.S
Amplitude máxima de gradientes em cada plano ortogonal	50 mT/m	23 mT/m
Amplitude máxima efectiva de gradiente	87 mT/m	39 mT/m
Tempo de elevação para amplitude máxima	267	287
<i>Slew rate</i> máximo de gradiente	150 T/m/s	80 T/m/s
FOV máximo de aquisição	44 cm (x,y) x 35 cm (z)	44 cm (x,y) x 35 cm (z)



## ANEXO 5

Equipamento de registo video - GoPro® Hero3 Silver Edition

GoPro® Hero3 Silver Edition																	
<b>Tipo de Produto</b>	Camara de Video																
<b>Óptica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lente de super resolução f/2.8 com 6 elementos esféricos</li> <li>- Ângulo de 178°</li> </ul>																
<b>Vídeo</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Resolução</th> <th style="text-align: left;">f/seg</th> <th style="text-align: left;">Ângulo de Visão</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1080p</td> <td>30, 25,24</td> <td><i>Ultra Wide, Med, Narrow</i></td> </tr> <tr> <td>960p</td> <td>48, 30, 25</td> <td><i>Ultra Wide</i></td> </tr> <tr> <td>720p</td> <td>60, 50, 30, 25</td> <td><i>Ultra Wide</i></td> </tr> <tr> <td>WVG</td> <td>120</td> <td><i>Ultra Wide</i></td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizou-se a resolução 1080p a 30 f/s, <i>ultra wide</i></li> <li>- Formato vídeo: H.264 codec, mp4 file format</li> </ul>		Resolução	f/seg	Ângulo de Visão	1080p	30, 25,24	<i>Ultra Wide, Med, Narrow</i>	960p	48, 30, 25	<i>Ultra Wide</i>	720p	60, 50, 30, 25	<i>Ultra Wide</i>	WVG	120	<i>Ultra Wide</i>
Resolução	f/seg	Ângulo de Visão															
1080p	30, 25,24	<i>Ultra Wide, Med, Narrow</i>															
960p	48, 30, 25	<i>Ultra Wide</i>															
720p	60, 50, 30, 25	<i>Ultra Wide</i>															
WVG	120	<i>Ultra Wide</i>															
<b>Bateria</b>	Bateria de Lítio de 1050mAh , recarregável via USB																
<b>Armazenamento</b>	Cartão micro SD até 32GB classe 10																
<b>Características específicas</b>	Controlo e pré-visualização por Wifi																
<b>Acessórios de montagem</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ventosa</li> <li>- Suporte de tripe</li> <li>- 3 way pivot</li> </ul>																
<b>Software</b>	GoPro Cineform Studio																

- Fotografias do *set-up* experimental para registo de vídeo



