

**Curso de Segurança em  
Ressonância Magnética**

**10**  
PASSOS PARA UMA  
**RM**  
**SEGURA**

## INTRODUÇÃO

Quando realizamos um exame de RM, devemos ter a noção que, apesar da Ressonância Magnética (RM) não utilizar radiação ionizante no seu processo de aquisição de imagem, este método imagiológico tem riscos e efeitos associados. Estes são diferentes e independentes do tipo campo eletromagnético (CEM). Em RM existem três tipos de CEM: i) campo magnético estático (B0); ii) gradientes de campo ou campos magnéticos variáveis no tempo; iii) campos de radiofrequência (RF).

O entendimento correto do funcionamento e da física relacionada com RM é bastante importante, de modo a melhor lidar com aspetos relacionados com a segurança em RM.

Deste modo, parece pertinente a realização de um curso sobre segurança em RM. Haveria muito a ser dito e discutido, mas para já os seguintes "10 Passos para uma RM Segura" pareceram-me ser os mais importantes tanto para quem já executa RM ou quem é "novo" nesta área. Aproveitem e espero que gostem!!!

AUTOR

**Vitor Silva**

- Licenciado em Radiologia pela Escola Superior de Tecnologia da Saúde do Porto. Mestre em Informática Médica pela Faculdade de Medicina da Universidade do Porto.
- Doutorando no Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Assistente convidado na área Técnico Científica de Ciências Morfológicas da Escola Superior de Saúde do Porto. Professor Convidado na Pós Graduação em Ressonância Magnética na Escola Superior de Tecnologia da Saúde de Coimbra.

## 10 PASSOS PARA UMA RM SEGURA

1. Construção, blindagem e proteção da sala de exames;
2. Zonas de Segurança em RM;
3. Preparação e triagem dos doentes / Questionários de segurança;
4. Riscos e Efeitos do campo magnético estático;
5. Riscos e Efeitos dos gradientes de campo (campos magnéticos variáveis no tempo);
6. Riscos e Efeitos dos campos de radiofrequência (RF);
7. Specific Absorption Rate (SAR) e B1 + rms;
8. Uso de produtos de contraste em RM;
9. Enquadramento Legal e Normativo;
10. Dispositivos médicos implantáveis e RM.

# PASSO 1

## Construção, blindagem e proteção da sala de exames

Os conceitos e projeções relacionados com a segurança em RM começam no planeamento e construção dos departamentos da RM. Aspetos relacionados com a localização, departamentos adjacentes, entre muitos outros são importantes.

A blindagem em RM é um componente fundamental para o bom funcionamento e proteção. As principais funções são: atenuar os sinais de RF externos que podem vir a interferir na qualidade diagnóstica da imagem, prevenir a possível interferência do campo magnético com equipamentos elétricos e/ou eletrónicos próximos do equipamento e prevenir interferências magnéticas que grandes objetos ou massas metálicas em movimento possam perturbar na uniformidade do campo magnético principal e degradar a qualidade final da imagem.

Existem dois tipos de blindagem em RM:

- **Blindagem da RF:** mais conhecida como Gaiola de Faraday (figura 1). Esta consiste normalmente numa caixa de placas ou malhas de fios de cobre ou outro material semelhante eletricamente condutor evitando interferências de ondas de RF externas.
- **Blindagem magnética:** consiste em proteger o meio em redor da sala de exame dos efeitos do campo magnético e garantir a homogeneidade do mesmo, já que este pode levar ao mau funcionamento de dispositivos eletrónicos no meio envolvente e também dispositivos eletrónicos médicos implantáveis, tais como pacemakers, cárdio - desfibrilhadores, entre outros.

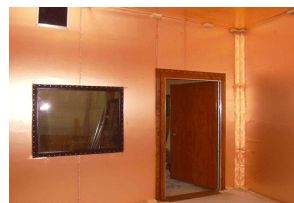


Figura 1 - Gaiola de Faraday.  
(<http://mriquestions.com/why-rf-shielding.html>)

Toda o processo de blindagem e os responsáveis da sua projeção têm de ter em conta que a projeção do campo magnético estático é tridimensional.

A marcação de algumas linhas de projeção de campo magnético (fringe fields) (por exemplo, **a linha de 5 Gauss**) assim como a existência de painéis ilustrativos com materiais não compatíveis são aspetos fulcrais para uma maior segurança em RM.



os elevadores, automóveis, camiões, ou seja, grandes massas metálicas em movimento em redor de um departamento de RM podem causar artefactos nas imagens da RM, tendo, portanto, de existir distâncias mínimas entre eles e a RM?

# PASSO 2

## Zonas de Segurança em RM

O *American College of Radiology* (ACR) estabelece quatro zonas de segurança em RM, cada uma com as suas restrições. Desta forma existem quatro zonas de segurança (figura 2), devidamente diferenciadas num departamento de RM:

- I. **Zona I:** área livremente acedida pelo público em geral. Muitas vezes consideram-se áreas fora do departamento de RM, mas adjacentes ao mesmo. É um espaço não controlado pelo pessoal que trabalha no departamento de RM, onde os riscos associados à RM são inexistentes;
- II. **Zona II:** área considerada como a interface entre a zona 1 e a zona 3, onde os doentes, pessoal acompanhante, profissionais de outros serviços hospitalares e outro pessoal que se dirige à unidade devem ser devida e rigorosamente rastreados;
- III. **Zona III:** área onde o seu acesso tem de ser restrito apenas ao pessoal que trabalha em ambientes de RM, assim como os doentes e outro pessoal devida e previamente rastreados. É uma área onde poderá já existir potencial interferência na estimulação de determinados equipamentos por parte do aparelho de RM;
- IV. **Zona IV:** área onde se situa o equipamento de RM, que deverá ser claramente marcada com painéis ilustrativos, onde tanto doentes, como outro pessoal devidamente rastreado tem de ter supervisão constante e direta do pessoal que trabalha no departamento. Riscos relacionados com a estimulação, aquecimento induzido pela radiofrequência (RF), efeito míssil, entre outros efeitos e riscos estão presentes.

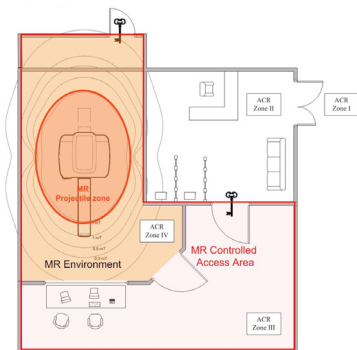


Figura 2 - Zonas de Segurança segundo o ACR.



existem detetores de materiais ferromagnéticos que podem ser colocados em redor da porta da sala de exames (conhecida por zona 4), sendo vantajoso e mais seguro na medida em que deteta materiais incompatíveis com a RM a alguma distância da entrada da sala?

# PASSO 3

## Preparação e triagem dos doentes / Questionários de segurança

O processo de triagem dos doentes, com o conseqüente preenchimento de um questionário de segurança em RM é fulcral para a realização do exame de RM.

Todos os doentes, independentemente do seu estado de consciência têm de ser rastreados. É de vital importância ter o conhecimento de todo o historial clínico e cirúrgico dos doentes para a execução do exame.

Deste modo, várias perguntas poderão ser feitas e terão de fazer parte do questionário de segurança das diferentes instituições:

- Saber se o doente já realizou alguma RM prévia;
- Saber quais os antecedentes cirúrgicos (tipo, data...);
- Por vezes, outros exames imagiológicos, como radiografias e tomografia computadorizada prévias, poderão informar a presença ou não de algum material heterólogo;
- Saber se o doente tem claustrofobia e reações prévias ao produto de contraste;
- Saber se o doente possui corpos estranhos, nomeadamente limalhas nos olhos, projéteis, estilhaços em alguma parte do corpo e tatuagens;
- Conhecer outros problemas de saúde relacionados com o doente (por exemplo, diabetes, hipertensão arterial, entre outras), medicações e alergias a algo;
- Nas doentes do sexo feminino e em idade fértil é importante saber se a doente está grávida ou suspeita e se está a amamentar. Para determinados exames, como a RM mamária, é importante saber-se a data da última menstruação, por exemplo.

Todos os acompanhantes dos doentes (por exemplo, pais de crianças) também deverão ser triados, preenchendo também eles um questionário de segurança.

Todos os doentes deveriam usar uma bata hospitalar para efetuar um exame de RM, uma vez que existem roupas que podem aquecer em demasia aquando da exposição aos CEM em RM.



também é importante saber se o doente algum tipo de maquilhagem definitiva?

# PASSO 4

## Riscos e Efeitos do campo magnético estático

Atualmente, os campos magnéticos estáticos (B0) utilizados em Medicina, nas vertentes clínica e investigação possuem uma intensidade bastante mais elevada relativamente ao campo magnético terrestre. A “exigência” atual de uma melhor qualidade das imagens, que permitam um diagnóstico mais preciso e com maior acuidade, fazem com que os B0 utilizados sejam bastante potentes. Para utilização clínica já existem equipamentos de 7T de intensidade de campo.

B0 interage com os tecidos humanos e os materiais ferromagnéticos ocasionando o aparecimento de diferentes riscos e efeitos. Estes podem ser classificados em biológicos e mecânicos (figura 3).

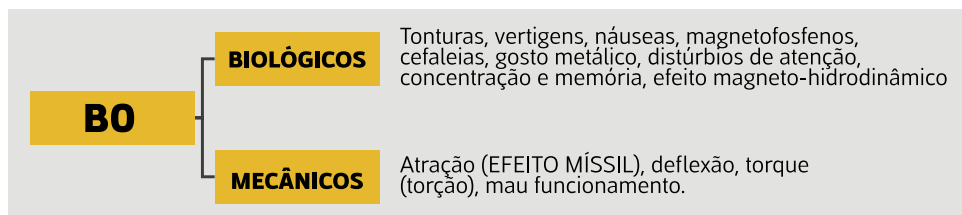


Figura 3 – Riscos e efeitos biológicos e mecânicos relacionados com B0 em RM.

Muitos efeitos biológicos são percebidos pelos pacientes. No entanto, os profissionais de saúde, estando sujeitos a B0, também poderão perceber alguns dos sintomas descritos. Todos os sintomas são reversíveis e transitórios, cessando após alguns minutos da exposição a B0 ou quando o sujeito se afasta da fonte emissora principal de campo – o equipamento. Essas sensações aumentam em consequência de movimentos mais rápidos e bruscos da cabeça que possam ser efetuados nestes ambientes. Também poderão ser mais frequentes na presença de equipamentos de intensidades de campo mais elevadas.

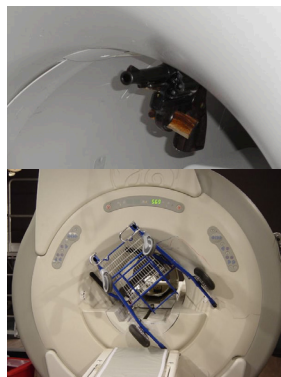


Figura 4 - Acidentes relacionados com o efeito míssil (atração) em RM.



o campo magnético estático está sempre ligado, mesmo quando não estão a ser realizados exames ou até mesmo quando ocorrem falhas da energia elétrica, podendo surgir acidentes e/ou incidentes graves?

# PASSO 5

## Riscos e Efeitos dos gradientes de campo (campos magnéticos variáveis no tempo)

Com a evolução da intensidade de  $B_0$ , os gradientes de campo também desenvolveram quanto à sua tecnologia e tornaram-se mais sofisticados e potentes, de modo a obterem-se melhor qualidade das imagens, mais rápidas. Uma das suas características principais é o *slew rate*, que indica a performance dos gradientes.

No interior de um equipamento de RM existem três bobinas de gradiente (figura 5).

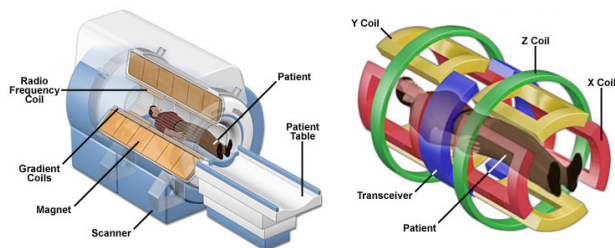


Figura 5 - Equipamento de RM e seu sistema de bobinas de gradientes.



os doentes com “grandes materiais de instrumentação cirúrgica” (ex: escoliose) podem experimentar sensações vibratórias ao longo de um exame de RM?

Durante um exame de RM, os gradientes são ligados e desligados muito rapidamente e, por esta razão, irão induzir correntes elétricas nos tecidos dos doentes. Os nervos, vasos sanguíneos e músculos vão agir como condutores, havendo a preocupação com este tipo de tecidos (lei de Faraday). Essas correntes podem levar a uma despolarização das membranas celulares, conduzindo a uma **estimulação nervosa periférica**, sendo este o efeito biológico principal dos gradientes em RM.

Um outro efeito, considerado físico, é o ruído acústico. Este é proporcionado por leis da física, chamadas forças de Lorenz, que induzem correntes elétricas nos gradientes, fazendo com estes vibrem e deformem produzindo forças de compressão.

O **ruído acústico** constitui uma causa de incómodo para o trabalho, um obstáculo às comunicações verbais e sonoras, podendo provocar fadiga geral e, em casos extremos, trauma auditivo e alterações fisiológicas extra – auditivas nos profissionais.

Nos doentes causa incómodo, má colaboração com o exame e, no limiar, lesões auditivas temporárias e até permanentes.



# PASSO 6

## Riscos e Efeitos dos campos de radiofrequência (RF)

As ondas eletromagnéticas de RF podem interagir com os tecidos biológicos humanos através de diferentes mecanismos, sendo o seu efeito principal a deposição de calor, provocando aquecimentos dos tecidos.

Estes campos também podem interagir com dispositivos médicos implantáveis metálicos e/ou eletrônicos, tatuagens e produtos de cosmética contendo óxidos de ferro e outros pigmentos metálicos, causando efeitos adversos devido ao aquecimento excessivo dos tecidos, como as queimaduras, havendo casos já descritos na literatura.

O próprio mau funcionamento por parte dos profissionais de saúde com o manuseamento das bobines de RF poderá provocar efeitos adversos nos doentes. O não isolamento das estruturas anatómicas com os cabos das bobines de RF podem aumentar a propensão de ocorrência de queimaduras (figura 6).



Figura 6 –Exemplo de uma queimadura por contacto com o cabo de uma antena de RF, devido à má utilização do material.

O corpo humano tem a capacidade de dissipar o excesso de calor, mas essa dissipação difere de um órgão para o outro. Os membros, por exemplo, têm a capacidade de dissipar mais rapidamente o calor que os órgãos abdominais.

A dissipação de calor irá também ser dependente do fluxo sanguíneo.



existem acidentes e/ou incidentes reportados na literatura provocados pelo uso de cobertores indevidos num ambiente de RM, provocando queimaduras e, inclusive, um "pequeno incêndio"?

# PASSO 7

## Specific Absorption Rate (SAR) e B1 + rms

O parâmetro *Specific Absorption Rate (SAR)* é definido como a RF absorvida por unidade de massa por um objeto. De um modo mais básico é a deposição da energia da RF no corpo dos doentes. É medido em watts por quilograma (W/kg). O SAR descreve o potencial aquecimento dos tecidos do doente. É um *valor model dependent*, sendo crucial a inserção do peso e altura dos doentes previamente à execução do exame.

Existem diferentes conceitos de SAR, a citar:

- Whole Body SAR;
- Partial Body SAR;
- Head SAR;
- Local SAR.

Outro aspeto a ter em conta é o facto da importância do operador (técnico) ser o responsável de manter os níveis de SAR no nível mais baixo quanto possível.

O SAR é diretamente proporcional à intensidade de B0, ao flip angle que se utiliza para a aquisição das imagens nas diferentes sequências, ao ciclo de pulsos de RF e à intensidade do campo gerado pela antena de RF.

O parâmetro B1 + rms, por definição, é o tempo médio de RF efetivo que é gerado pelo equipamento de RM e o seu entendimento requer o conhecimento dos princípios de funcionamento da RM.

Este parâmetro foi inserido em 2010, sendo que a partir de 2013 todos os equipamentos deveriam ter este parâmetro disponível.

Não é afetado pelas características dos doentes, mas sim pelos parâmetros das sequências e seu tipo, diferindo de uma para a outra. **A Comissão Internacional Eletrotécnica (CIE) considera a utilização do valor B1 + rms mais importante na avaliação do potencial aquecimento de implantes e dispositivos médicos implantáveis ativos** (como neuroestimuladores cerebrais e dispositivos cardíacos implantáveis).



quando se passa de um equipamento de intensidade 1.5T para um de intensidade 3T ocorre um aumento quádruplo dos valores de SAR?

# PASSO 8

## Uso de produtos de contraste em RM

Os produtos de contraste em RM podem ser classificados em paramagnéticos e superparamagnéticos (estes descontinuados na Europa). Estas substâncias quando expostas aos CEM em RM vão alcançar um momento magnético significativo, afetando a resposta dos átomos de hidrogénio próximos do produto de contraste, aumentando a intensidade de sinal da imagem, melhorando, deste modo, a qualidade de imagem e acuidade diagnóstica diferencial.

O produto de contraste mais utilizado é o gadolínio (Gd) (elemento paramagnético), que irá afetar principalmente o tempo T1. Este elemento não pode ser administrado na sua forma livre, pois é altamente tóxico, sendo utilizado sob a forma de quelato de Gd, pois tem boas propriedades farmacocinéticas, nomeadamente:

- Baixa toxicidade;
- Boa tolerância;
- Não existe metabolização do Gd, sendo eliminado na sua forma original.

Contudo, não devem ser usados em doentes grávidas, pois os iões de Gd passam a barreira placentária, entrando na circulação fetal, podendo ser libertados, posteriormente, no líquido amniótico, permanecendo aí e transformando-se num elemento tóxico.

A curto prazo, as reações adversas podem ser: náuseas, vómitos, urticária, cefaleias. A longo prazo, poderá ocorrer a fibrose sistémica nefrogénica (FSN) (figura 7). Esta condição patológica é associada apenas a doentes com insuficiência renal crónica (IRC), principalmente em estádios terminais e em diálise.



Figura 7 - Fibrose Sistémica Nefrogénica num doente com IRC.  
(<https://www.clinicalcorrelations.org/?p=75>)

Desta forma, em todos os doentes com IRC dever-se-á questionar se o doente tem análises recentes, para deste modo se poder calcular a clearance de creatinina (taxa de filtração glomerular) (contraindicado se  $\leq 30$  ml/min).

Atualmente, existem novas controvérsias acerca do uso de Gd em RM, nomeadamente a sua deposição nos núcleos da base do cérebro e núcleos dentados do cerebelo (figura 8).

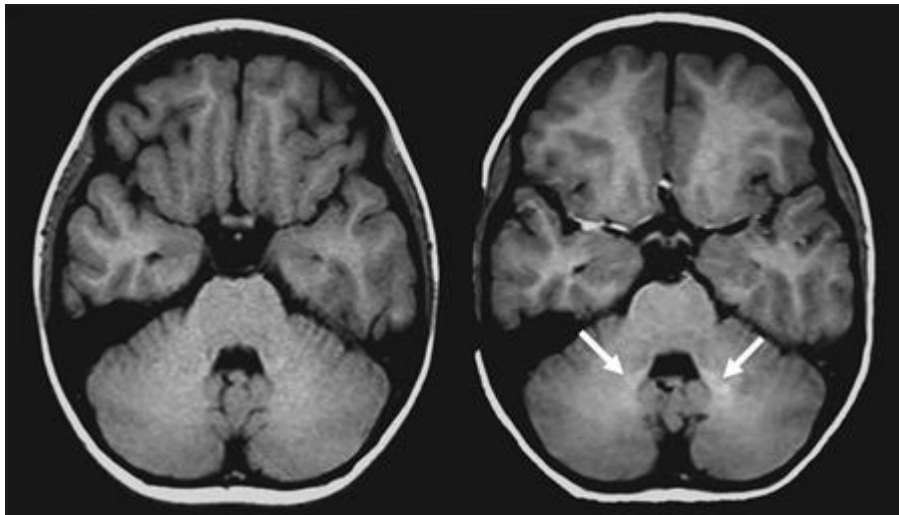


Figura 8 - Retenção do gadolínio nos núcleos dentados do cerebelo em doentes que realizaram várias RM sucessivas com injeção de gadolínio endovenoso.



os primeiros casos de FSN apareceram no ano 2000, sendo que atualmente já quase não existem novos casos desta condição patológica?

# PASSO 9

## Enquadramento Legal e Normativo

Em 2004 surgiu uma diretiva europeia (2004/40/CE) relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos, nomeadamente aos CEM, que, entre outros aspetos, definiam valores limite de exposição (VLE) aos CEM. Esta diretiva englobava todas as indústrias, sendo que a RM era incluída na indústria da “saúde” e enquadrada, portanto, na diretiva. Desse modo, muitos dos equipamentos existentes não obedeciam a esses VLE. Assim, surge a Alliance for MRI, um grupo formado por pessoas experientes no campo, por forma a revogarem a diretiva.

Em 2013, surge uma nova diretiva (2013/35/CE) que revoga a de 2004, havendo uma derrogação para a RM (artigo 10º). Deste modo, esta nova diretiva refere que **“...a exposição pode ultrapassar os VLE se estiver associada à instalação, ensaio, utilização, desenvolvimento ou manutenção, no setor da Saúde, de equipamentos de ressonância magnética destinados aos pacientes, ou a práticas de investigação relacionadas com esses equipamentos.”**

Os Estados-Membros deveriam dar cumprimento à diretiva a partir de 1 de julho de 2016. Em Portugal, esta diretiva apenas foi transposta para a legislação em 2017 nomeadamente na lei nº 64 / 2017, de 7 de agosto.

Outros valores importantes e existentes nas consolas do operador são os valores de SAR a que os doentes estão sujeitos. Esses valores são fornecidos pela norma 60601-2-33 da CIE, que estabelece três níveis de operação (Tabela 1).

Tabela 1 - Limites de SAR e temperatura corporal pela norma da CIE 60601-2-33.

	Modo de operação		
	Normal	1º Nível Controlado	2º Nível Controlado (investigação)
SAR Corpo inteiro (W/kg)	2	4	>4
Elevação temperatura corporal (°C)	0.5	1	>1



existem outras entidades e guidelines onde nos podemos orientar quanto às prescrições de segurança em RM?

# PASSO 10

## Dispositivos médicos implantáveis e RM

Todos os doentes devem ser rigorosamente rastreados antes de realizarem o exame de RM, requerendo todos os cuidados necessários para uma maior segurança. No entanto, os doentes com dispositivos médicos implantáveis (DMI) require, por vezes, cuidados redobrados quanto à execução da RM.

Os DMI podem ser classificados como seguros (MR Safe), condicionais (MR Conditional) e inseguros (MR Unsafe), havendo símbolos próprios para essa categorização (figura 9).



Figura 9 - Simbologia dos materiais e DMI em RM.

Os DMI terão maior propensão ao aquecimento, pois devido à sua própria composição, terão maior condutividade térmica e elétrica e, conseqüentemente, maior a probabilidade de formação dos hot spots.

Os DMI que requerem mais cuidado são os chamados condicionais e aqueles considerados “ativos”, pois doentes com estes dispositivos só poderão ser submetidos ao exame de RM, sob determinadas condições e especificações. Estas estão disponíveis nas brochuras dos próprios DMI e, em caso de qualquer dúvida, deve-se sempre entrar em contacto com os fabricantes. Existem também páginas web direcionadas aos DMI e sua compatibilidade, nomeadamente a página [www.mrisafety.com](http://www.mrisafety.com).

Existem já no mercado neuroestimuladores cerebrais, dispositivos cardíacos implantáveis (como pacemakers, cárdio-desfibrilhadores, por exemplo) e implantes cocleares condicionais à realização de uma RM, inclusive em B0 de intensidade 3T.



dependendo do fabricante dos dispositivos cardíacos implantáveis existem diferentes guidelines e valores de SAR, da intensidade de B0 e dos gradientes que devem ser seguidas, entre outras especificações?

## REFERÊNCIAS

- Coskun, O. (2011). Magnetic resonance imaging and safety aspects. *Toxicology and Industrial Health*, 27(4), 307–313. <https://doi.org/10.1177/0748233710386413>
- Crook, N., & Robinson, L. (2009). A review of the safety implications of magnetic resonance imaging at field strengths of 3 Tesla and above. *Radiography*, 15(4), 351–356. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2009.07.004>
- Feychting, M. (2005). Health effects of static magnetic fields - A review of the epidemiological evidence. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 87(2–3 SPEC. ISS.), 241–246. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2004.08.007>
- Hartwig, V., Giovannetti, G., Vanello, N., Lombardi, M., Landini, L., & Simi, S. (2009). Biological effects and safety in magnetic resonance imaging: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(6), 1778–1798. <https://doi.org/10.3390/ijerph6061778>
- ICNIRP. (2009b). ICNIRP statement on the “Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (Up to 300 GHz).” *Health Physics*, 97(3), 257–258. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181aff9db>
- McRobbie, D. (2012). Occupational exposure in MRI. *British Journal of Radiology*, 85(1012), 293–312. <https://doi.org/10.1259/bjr/30146162>
- MHRA. (2014). *Safety Guidelines for Magnetic Resonance Imaging Equipment in Clinical Use*. London.
- Tsai, L. L., Grant, A. K., Morteale, K. J., Kung, J. W., & Smith, M. P. (2015). A Practical Guide to MR Imaging Safety: What Radiologists Need to Know. *RadioGraphics*, 35(6), 1722–1737. <https://doi.org/10.1148/rg.2015150108>

Faça o download deste guia em PDF em:  
<http://congresso.atarp.pt/RMsegura>

[www.atarp.pt](http://www.atarp.pt)

**XVII Congresso Nacional da ATARP** | 03 & 04  
NOV 2017