



ESRF
EUROPEAN SOCIETY OF RADIOLOGY

 **cbr**
EDUCA

e-Book Educação em Radiologia na Graduação

| **CAPÍTULO:** Ressonância Magnética



Créditos

Título original

The eBook for Undergraduate Education in Radiology

Tradução

Precise Editing Tradução e Edição de Textos Ltda

Revisão da tradução

Dr. Dante Luiz Escuissato

Professor associado do Departamento de Clínica Médica da UFPR; Médico Radiologista da Clínica DAPI / Curitiba; Membro Titular do CBR

Coordenação Geral

Dr. Ronaldo Hueb Baroni

Professor da Faculdade Israelita de Ciências da Saúde Albert Einstein; Gerente Médico do Departamento de Imagem do Hospital Israelita Albert Einstein; Diretor Científico do CBR

Realização

Colégio Brasileiro de Radiologia e Diagnóstico por Imagem

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência
Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências:
A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens
e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Prefácio

O ensino de graduação em radiologia na Europa é ministrado de acordo com esquemas nacionais e pode variar consideravelmente de uma instituição acadêmica para outra. Às vezes, o campo da radiologia é considerado uma “disciplina transversal” ou ensinado no contexto de outras disciplinas clínicas, por exemplo, medicina interna ou cirurgia.

Este e-book foi criado para auxiliar estudantes de medicina e professores universitários em toda a Europa, respectivamente, na compreensão e no ensino da radiologia como uma disciplina coerente por si só. O seu conteúdo baseia-se no Currículo Europeu da ESR de Formação em Radiologia em Nível de Graduação e resume os chamados **elementos essenciais** que podem ser considerados os princípios básicos com os quais todo estudante de medicina deve estar familiarizado. Embora as habilidades específicas do diagnóstico radiológico para interpretação de imagens não possam ser adquiridas por todos os estudantes e pertençam mais aos objetivos de aprendizagem dos Currículos de Formação da ESR em Níveis de Pós-Graduação, o presente e-book também contém alguns **insights adicionais** relacionados aos exames de imagem modernos na forma de exemplos das principais patologias, conforme sua visualização nas diferentes modalidades de imagem. O objetivo é dar ao estudante de graduação interessado uma compreensão da radiologia moderna, refletindo seu caráter multidisciplinar como especialidade baseada em órgãos.

Gostaríamos de estender nossos agradecimentos especiais aos autores e membros do Comitê de Educação da ESR que contribuíram para este e-book, a Carlo Catalano, Andrea Laghi e András Palkó, que iniciaram este projeto, e ao Escritório da ESR, em particular a Bettina Leimberger e Danijel Lepir, por todo o apoio na realização deste projeto.

Esperamos que este e-book possa cumprir seu propósito como uma ferramenta útil para o ensino acadêmico de radiologia na graduação.

Minerva Becker
ESR Education Committee Chair

Vicky Goh
ESR Undergraduate Education Subcommittee Chair

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência
Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências:
A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens
e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Copyright e Termos de Uso

Este trabalho está licenciado sob [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

É permitido:

- **Compartilhar** – copiar e redistribuir o material em qualquer meio ou formato

Nos seguintes termos:

- **Atribuição** – Você deve dar o devido crédito, fornecer um link para a licença e indicar se foram feitas alterações. Você pode fazê-lo de qualquer maneira razoável, mas não de forma que sugira que o licenciante endosse tais alterações ou seu uso.
- **Não Comercial** – Você não pode utilizar o material para fins comerciais.
- **Sem derivações** – Se você reescrever, transformar, ou recriar o material, você não poderá distribuir o material modificado..

Como citar este trabalho:

European Society of Radiology, Bénédicte MA Delattre, Andrea Laghi, András Kincses, Minerva Becker (2024) e-book—Educação em Radiologia na Graduação: Magnetic Resonance Imaging. DOI 10.26044/esr- undergraduate-ebook-24

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Hyperlinks



Conhecimentos Essenciais



Conhecimentos Adicionais



Atenção



Compare



Perguntas



Referências

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência
Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências:
A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens
e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



eBook Educação em Radiologia na Graduação

Baseado no ESR Curriculum for Undergraduate Radiological Education

Capítulo: **Ressonância Magnética**

Autores

Bénédicte MA Delattre (1)
Andrea Laghi (2)
András Kincses (3,4)
Minerva Becker (1)

Afiliações

- (1) Division of Radiology, Diagnostic Department, Geneva University Hospitals, Geneva University, Geneva, Switzerland
- (2) Sapienza University, Rome, Italy
- (3) Department of Radiology, Albert Szent-Györgyi Faculty of Medicine and Clinical Center, University of Szeged, Szeged, Hungary
- (4) Institute of Biophysics, HUN-REN Biological Research Centre, Szeged, Hungary

benedicte.delattre@hug.ch
andrea.laghi@uniroma1.it
a.kincses08@gmail.com
minerva.becker@hug.ch



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência
Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências:
A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens
e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Conteúdo

- **Sistema da RM**
 - O Básico
 - Segurança e Restrição de Acesso
 - Componentes do Sistema da RM
- **Princípio da RM**
 - Produção de sinal
 - Relaxamento
 - Recepção de sinal
 - Codificação Espacial – Direção Z
 - Codificação Espacial – Direções X e Y
 - Relação entre Sinal e Imagem
 - Gradientes e Ruído na RM
- **Sequência Spin Eco**
 - O que é um Eco?
 - Importância de TE & TR para Contraste?
 - Sequências RM: Por que são tão Longas?
- **Sequência Gradiente Eco**
- **Outras Sequências: A “Selva” RM**
 - Recuperação da Inversão (RI)
 - Imagem ponderada por difusão (DWI)
 - Imagem por Tensor de Difusão (DTI)
 - Time-of-Flight (ToF)
 - RM Funcional (RMf)
 - Espectroscopia
- **Agentes de Contraste na RM**
 - Imagem Ponderada por Perfusão (PWI)
- **Artefatos na RM**
- **Vantagens e Desvantagens da RM**
- **Mensagens Finais**
- **Referências**
- **Teste Seus Conhecimentos**

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



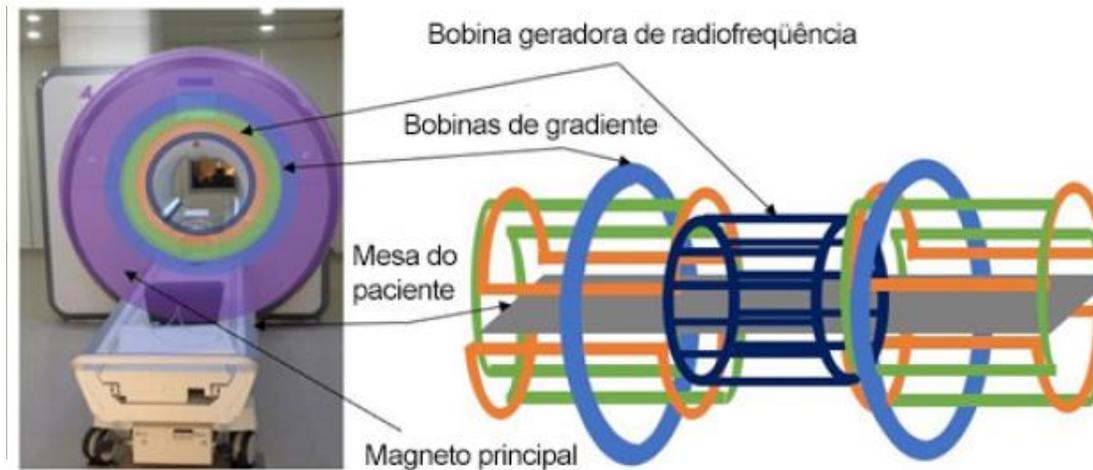
Sistema da Ressonância Magnética (RM): O Básico



A ressonância magnética é uma técnica sofisticada não invasiva que utiliza campos magnéticos poderosos para obter imagens do corpo humano.

Um scanner de ressonância magnética é composto de 3 partes principais:

- o **Magneto principal** => para produzir o campo magnético estático principal (B_0).
- o **Bobinas de gradiente** => para produzir variações intencionais em B_0
- o **Bobinas transmissoras de radiofrequência (RF)** => que atuam como antenas do sistema de RM: transmitem o campo de RF e recebem o sinal resultante.



Magneto (ímã) principal



O magneto supercondutor (supercondutor => sem resistência à eletricidade) produz um campo magnético de alta intensidade denominado " B_0 ". O magneto é resfriado com hélio líquido (e nitrogênio líquido). É usado para gerar uma magnetização efetiva do tecido dentro do túnel. O tamanho do túnel é de 60 a 70 cm de diâmetro.



A corrente elétrica constante em um fio gera um campo magnético estático (lei de Biot-Savart). A intensidade do campo magnético é proporcional à corrente elétrica.

Ordem de grandeza para intensidades de campo magnético:

- Campo magnético da Terra na latitude 0°: $31 \mu\text{T}$
- Ímã de geladeira: 5 mT
- Ímã de ferro-velho/sucata: 1T
- Ressonância magnética médica: na maioria das vezes 1,5T e 3,0T, raramente 7,0T



Contraindicações ou restrições para ressonância magnética:

- Claustrofobia
- Metal ferromagnético no corpo
- Alguns marca-passos, implantes eletrônicos, ...

Conteúdo

- ▶ [Sistema da RM](#)
 - ▶ [O Básico](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

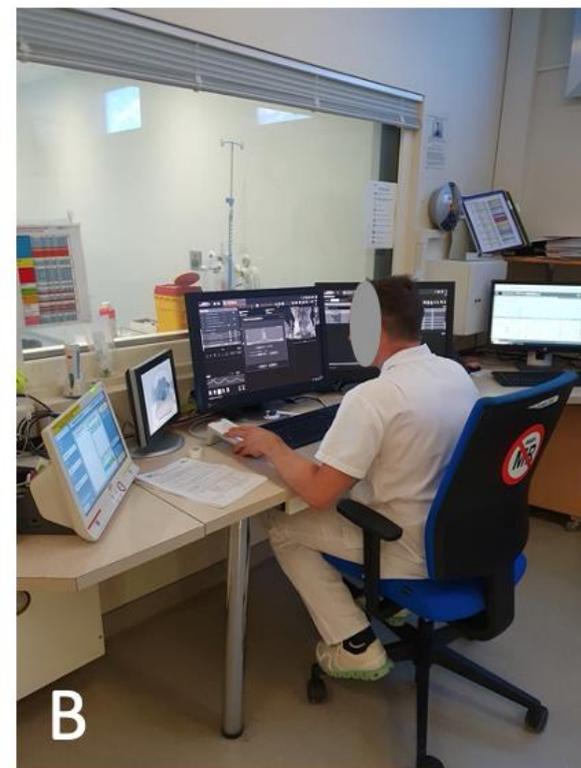
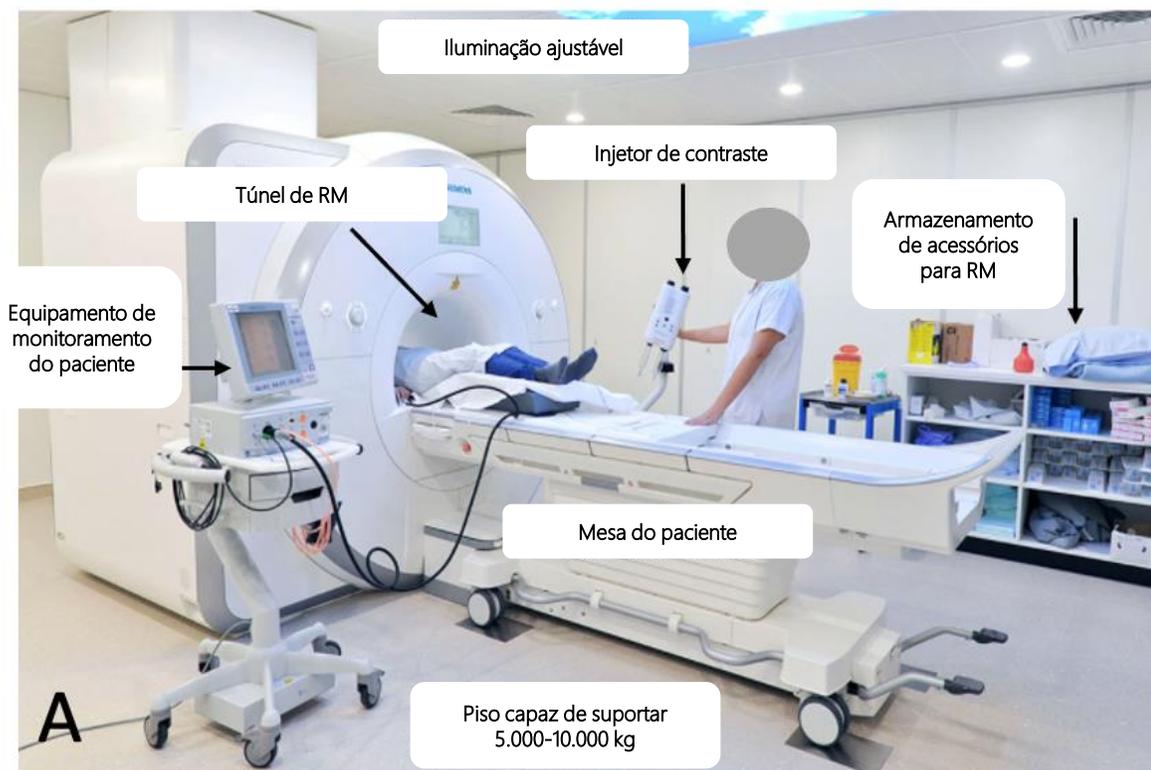
[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)

Sistema da RM: O Básico



As paredes da sala de RM (A) possuem camadas que desempenham diferentes funções: blindagem magnética para confinar o campo magnético estacionário, blindagem de RF para impedir que ruído eletromagnético entre ou saia da sala de exame e blindagem acústica para restringir a transmissão de ruído para além da sala de RM. A sala de controle (B) está localizada imediatamente ao lado da sala de exame. Contém o console do operador, equipamentos de informática, dispositivos de comunicação e monitores (ECG e O₂).

Conteúdo

- ▶ [Sistema da RM](#)
 - ▶ O Básico

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Sistema da RM: Segurança e Restrição de Acesso



- O magneto está sempre LIGADO!
- O campo magnético principal B_0 está sempre ativo. Nunca se aproxime do campo com um objeto **ferromagnético***.
- A força de atração associada ao torque puxará o objeto através do ímã principal com força **incontrolável!**: efeito projétil ou efeito míssil.
- **Infelizmente, incidentes passados mataram pessoas!**
- Isto explica porque as regras de segurança em torno da RM são muito rigorosas!
- Pacientes submetidos a exames de RM devem retirar todos os objetos metálicos. Alguns departamentos de radiologia usam dispositivos de detecção ferromagnéticos.

* Objetos ferromagnéticos contêm:

- Ferro, Cobalto, Níquel
- Ligas com esses componentes



Acidente em um sistema de RM de 1,5T. Uma enceradeira foi atraída pelo campo magnético. Ela só pôde ser removida diminuindo o campo magnético. Visão da parte traseira (fundo do aparelho) de RM. Reproduzido de: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MRI_accident_on_a_1.5_Tesla_MR_system.jpg

Conteúdo

- ▶ **Sistema da RM**
 - ▶ Segurança e Restrição de Acesso

Princípio da RM

Sequência Spin Eco

Sequência Gradiente Eco

Outras Sequências: A Selva RM

Agentes de Contraste

Artefatos na RM

Vantagens e Desvantagens

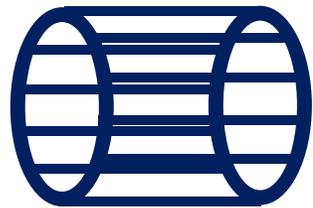
Mensagens Finais

Referências

Teste Seus Conhecimentos

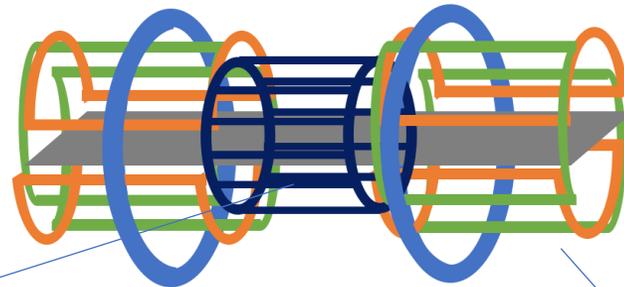


Sistema da RM: Components



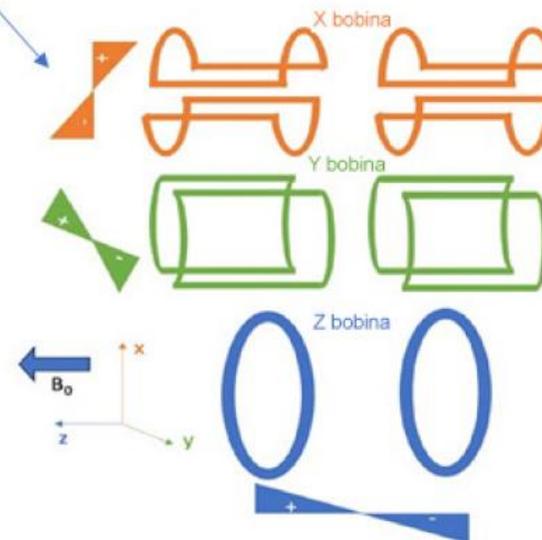
Bobina de radiofrequência

Produce também um campo magnético variável que é usado para inclinar a magnetização efetiva perpendicularmente ao campo magnético principal B_0 .



Bobinas de gradiente

Produce campos magnéticos variáveis em 3 direções espaciais (x, y, z).
Usado para codificar espacialmente o sinal de RM



Veremos nas próximas páginas como cada uma dessas partes contribui para a produção de imagens =>

Conteúdo

- ▶ [Sistema da RM](#)
 - ▶ Componentes

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Princípio da RM

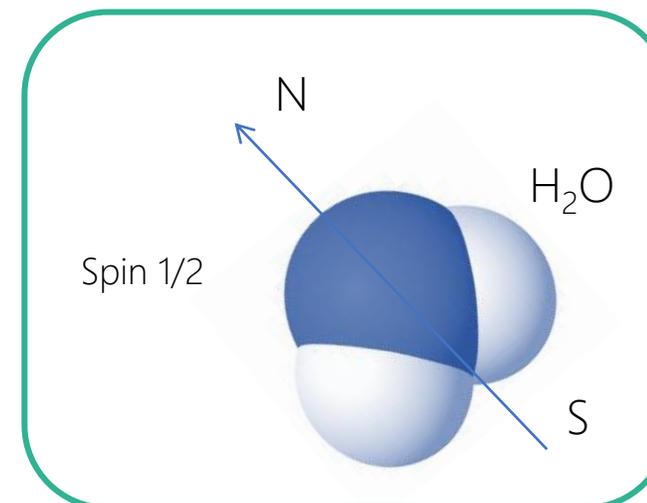
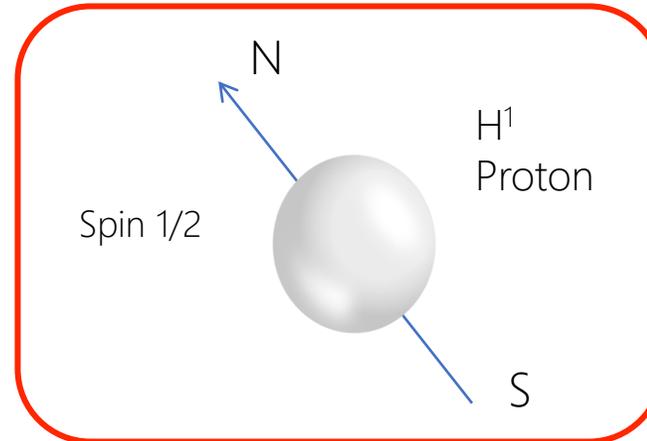


O núcleo de um átomo é composto de prótons (carga positiva) e nêutrons (sem carga), que giram em torno de seu próprio eixo. Os elétrons (carga negativa) giram em torno do núcleo e também giram em torno de seu próprio eixo.

A rotação de todas essas partículas produz um momento angular de rotação, denominado spin. O **spin** é uma propriedade fundamental dos átomos, como massa ou carga elétrica. O spin é representado em múltiplos de $\frac{1}{2}$.

Como o próton tem carga positiva e gira continuamente, ele cria um pequeno campo magnético, chamado **momento magnético** (ou seja, ele se comporta como um mini ímã com polo norte e polo sul).

- Existe uma abundância natural de H_2O nos tecidos biológicos e, portanto, uma abundância de H^1 .
- H^1 ocorre principalmente na água do corpo humano.
- Composição corporal humana => ~ 60% - 70% água (2 H^1)
- H^1 tem um **grande** momento magnético.
- A propriedade magnética de H^1 é usada principalmente para obter imagens da distribuição de água dos tecidos do corpo com RM.



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

▶ [Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



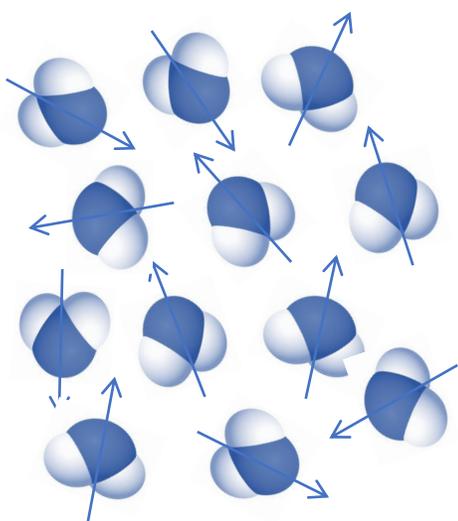
Princípio da RM



Quando o tecido biológico é colocado em um campo magnético forte, um **vetor de magnetização efetiva** é criado. Para explicar efetivamente esse fenômeno, é necessária a mecânica quântica, o que está além do escopo deste capítulo.

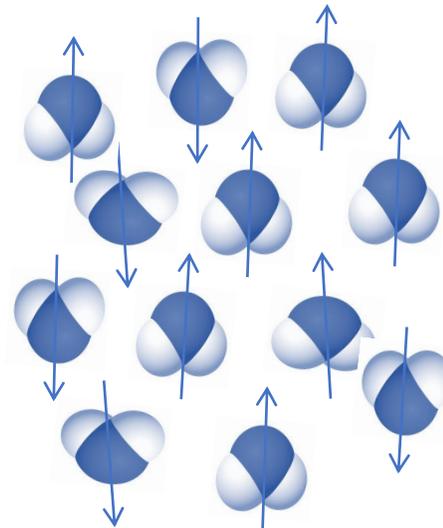
Este efeito se aplica a átomos com **propriedades específicas de momento magnético**, ou seja, núcleo com número quântico de spin = $\frac{1}{2}$: H^1 / C^{13} / N^{15} / O^{17} / Na^{23} / ...

Alinhamento paralelo ou antiparalelo ao campo magnético corresponde a dois estados de energia diferentes. A maioria dos prótons se alinha paralelamente a B_0 pois isso exige menos energia do que o alinhamento antiparalelo. A magnetização efetiva é criada pela fração de spin em excesso \vec{M} em um dos estados de energia:



Fora do campo magnético

B_0



Dentro do campo magnético

\vec{M}



EXEMPLO: fração em excesso
@ 3T ~10 on 10^6 !

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

▶ [Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Produção de Sinal

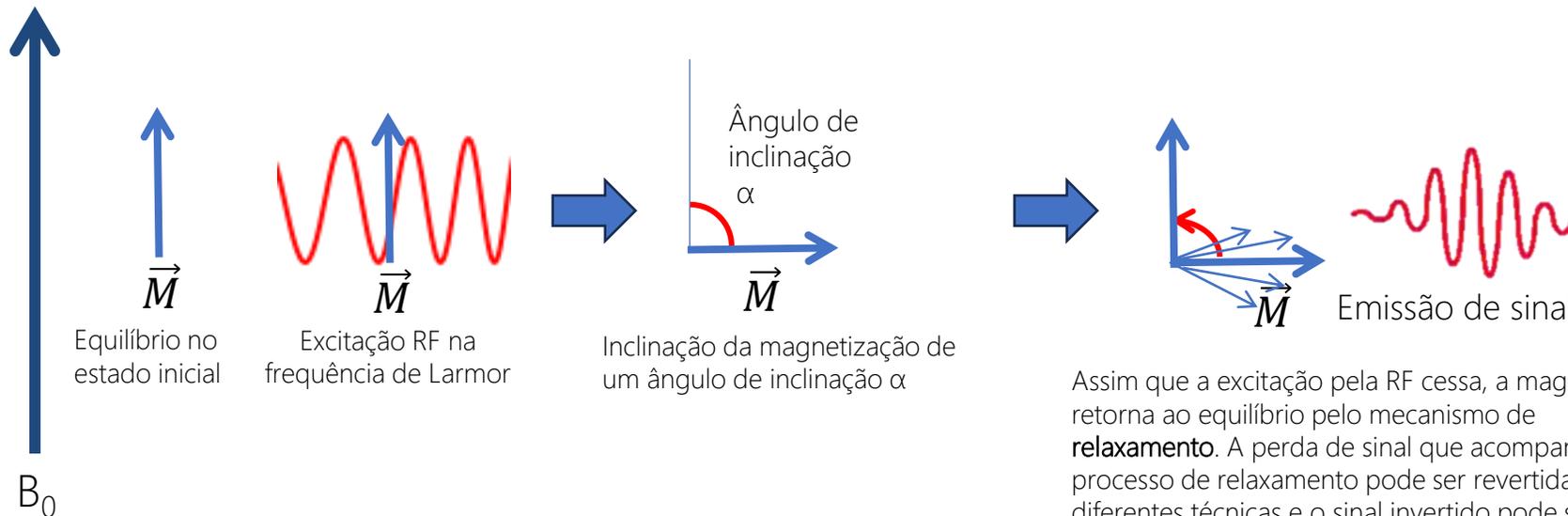


Excitação ...

- Para criar um sinal a partir do tecido, é utilizada uma onda de radiofrequência (RF). Ela está sintonizada na frequência de ressonância dos spins, denominada « Larmor frequency » f , definida por:

$$f = gB_0$$

- Onde g é a razão giromagnética ($g = 42.58 \text{ MHz/T}$) e B_0 é a força do campo magnético.
 - Em 1.5T, $f = 64 \text{ MHz}$
 - Em 3T, $f = 128 \text{ MHz}$



... e relaxação

Assim que a excitação pela RF cessa, a magnetização retorna ao equilíbrio pelo mecanismo de **relaxamento**. A perda de sinal que acompanha o processo de relaxamento pode ser revertida com diferentes técnicas e o sinal invertido pode ser registrado!

Conteúdo

Sistema da RM

▶ Princípio da RM

▶ Produção de Sinal

Sequência Spin Eco

Sequência Gradiente Eco

Outras Sequências: A Selva RM

Agentes de Contraste

Artefatos na RM

Vantagens e Desvantagens

Mensagens Finais

Referências

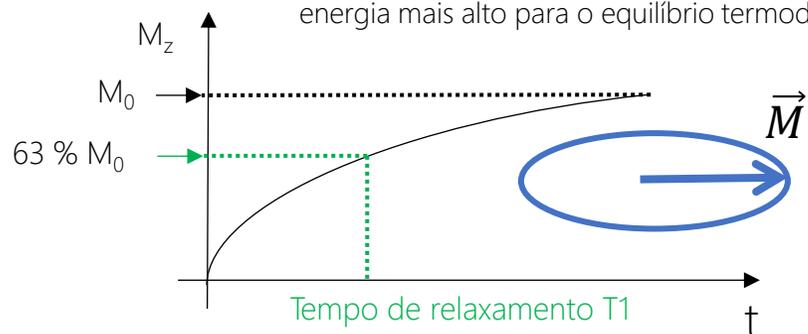
Teste Seus Conhecimentos

Relaxamento

Relaxamento acontece por dois processos simultâneos mas distintos.

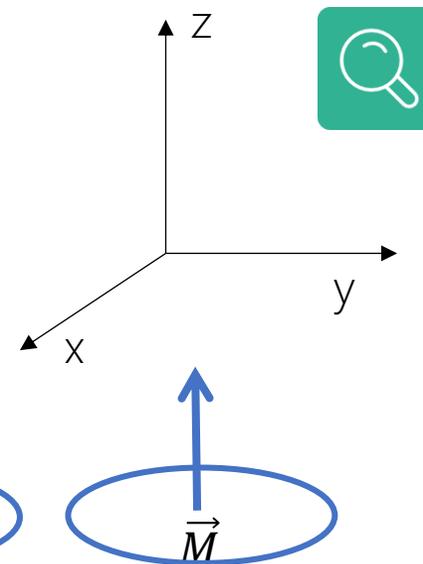
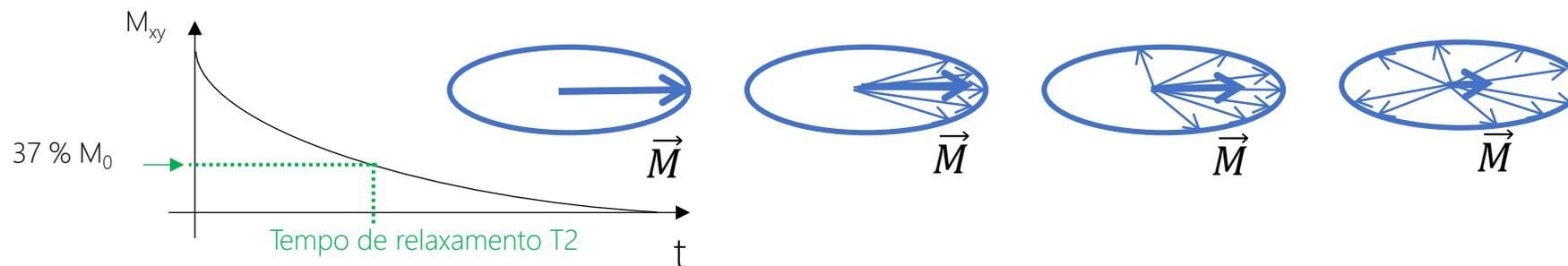
T1 relaxamento

A energia dos prótons é dispersada em seu ambiente (principalmente núcleo e outros átomos); a magnetização recupera seu estado inicial ao longo de B_0 (magnetização longitudinal). O mecanismo pelo qual M_z relaxa exponencialmente de um estado de energia mais alto para o equilíbrio termodinâmico é chamado **relaxamento spin-retículo**.



T2 relaxamento

O ângulo de inclinação da magnetização no plano transversal é reduzida devido à defasagem dos prótons. O mecanismo pelo qual M_{xy} decai exponencialmente em direção ao seu valor de equilíbrio também é chamado de **relaxamento spin-spin**.



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

▶ [Princípio da RM](#)
▶ Relaxamento

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

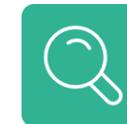
[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Relaxamento



T1 é a constante de tempo para recrescimento de M_z (magnetização longitudinal)

T2 é a constante de tempo para decaimento/defasamento de $M_{x,y}$ (magnetização transversal)

Os tempos de relaxamento T1 e T2 dependem do ambiente e são característicos de diferentes tecidos!

Alguns exemplos de valores de relaxação T1 e T2 a 1.5T!

A um campo principal de 1,5 T

Tipo de Tecido	Valor aproximado de T em ms	Valor aproximado de T2 em ms
Tecidos adiposos	240-250	60-80
Sangue total (deoxigenado)	1350	50
Sangue total (oxigenado)	1350	200
Fluido cerebrospinal (semelhante à água pura)	4200-4500	2100-2300
Substância cinzenta do cérebro	920	100
Substância branca do cérebro	780	90
Fígado	490	40
Rins	650	60-75
Músculos	860-900	50

Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/Relaxation_\(NMR\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Relaxation_(NMR))

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

▶ [Princípio da RM](#)
▶ Relaxamento

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

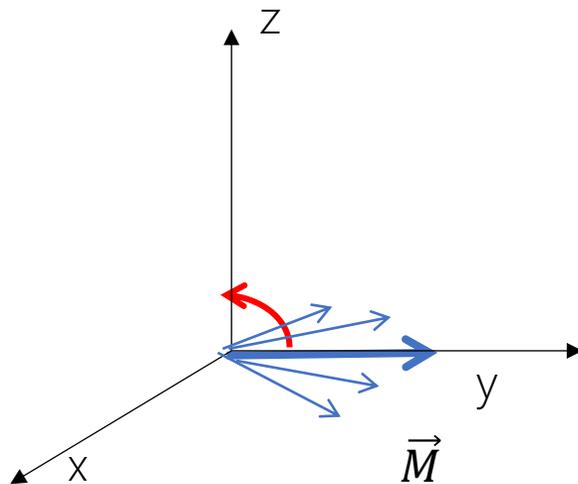
[Teste Seus Conhecimentos](#)



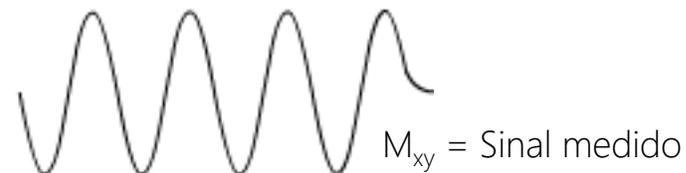
Recepção de Sinal



O sinal em intervalos regulares que acompanha o relaxamento da magnetização efetiva pode ser registrado por uma bobina.



Bobina = rolo de fio condutor



Corrente induzida criada magnetização variável no tempo

Conteúdo

Sistema da RM

- ▶ Princípio da RM
 - ▶ Recepção de Sinal

Sequência Spin Eco

Sequência Gradiente Eco

Outras Sequências: A Selva RM

Agentes de Contraste

Artefatos na RM

Vantagens e Desvantagens

Mensagens Finais

Referências

Teste Seus Conhecimentos



Recepção de Sinal



- Bobinas especiais são utilizadas para cada aplicação:
- As bobinas receptoras modernas contêm várias bobinas pequenas (também chamadas de canais), cada uma recebendo o sinal emitido. Tais configurações ajudam a alcançar uma alta relação sinal-ruído, bem como uma grande cobertura da anatomia para investigar.

Bobina para cabeça (32 canais)



Bobina para coluna (geralmente incluída na mesa do paciente)



Bobina para pé/tornozelo



Bobina para
mão/pulso



Bobina para ombro (16 canais)



Conteúdo

Sistema da RM

▶ Princípio da RM

▶ Recepção de Sinal

Sequência Spin Eco

Sequência Gradiente Eco

Outras Sequências: A Selva RM

Agentes de Contraste

Artefatos na RM

Vantagens e Desvantagens

Mensagens Finais

Referências

Teste Seus Conhecimentos



Codificação Espacial – Direção Z



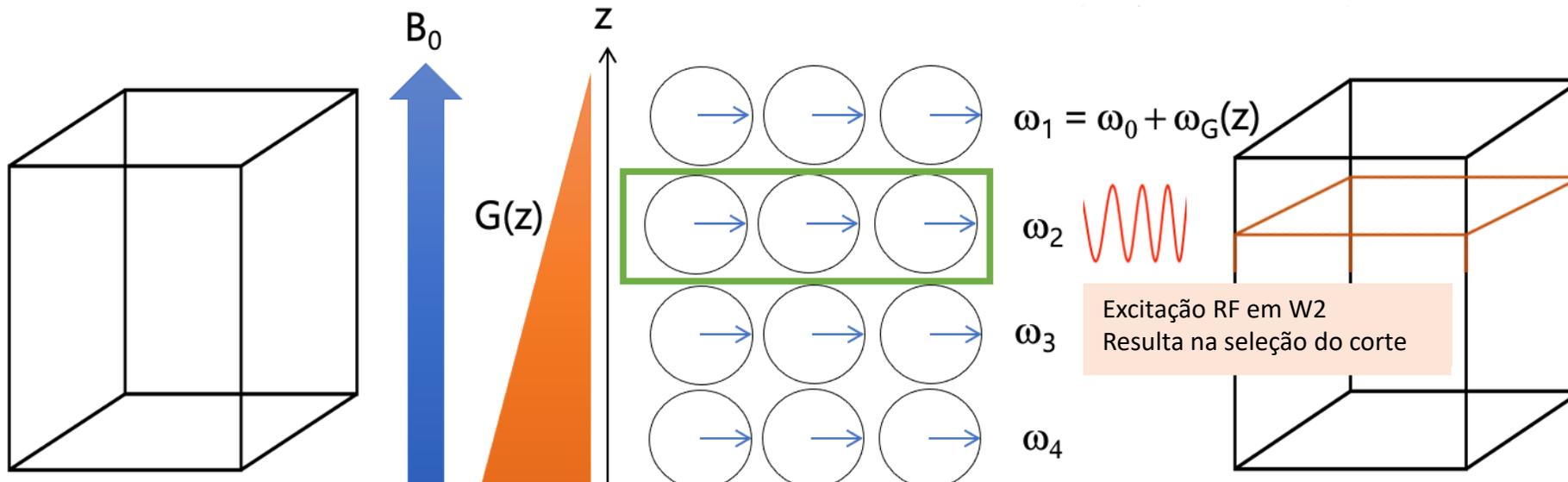
- Nesta fase, o sinal é fornecido por todo o volume de tecido excitado pela bobina de RF.
- Lembre-se: o sistema é composto por 3 bobinas de gradiente, uma para cada dimensão geométrica (x, y, z).
- As bobinas de gradiente são usadas para adicionar alguma codificação espacial ao sinal!
- Como funciona?

Exemplo com codificação de corte

Volume excitado pela RF sintonizado em ω_0 (sem gradiente)

Adição de campo magnético variando na direção z com o gradiente z

Para selecionar espacialmente o sinal proveniente de um corte, sintonizamos o RF para a frequência modificada correspondente, aqui ω_2 por exemplo.



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

▶ [Princípio da RM](#)

- ▶ [Codificação Espacial Direção Z](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)

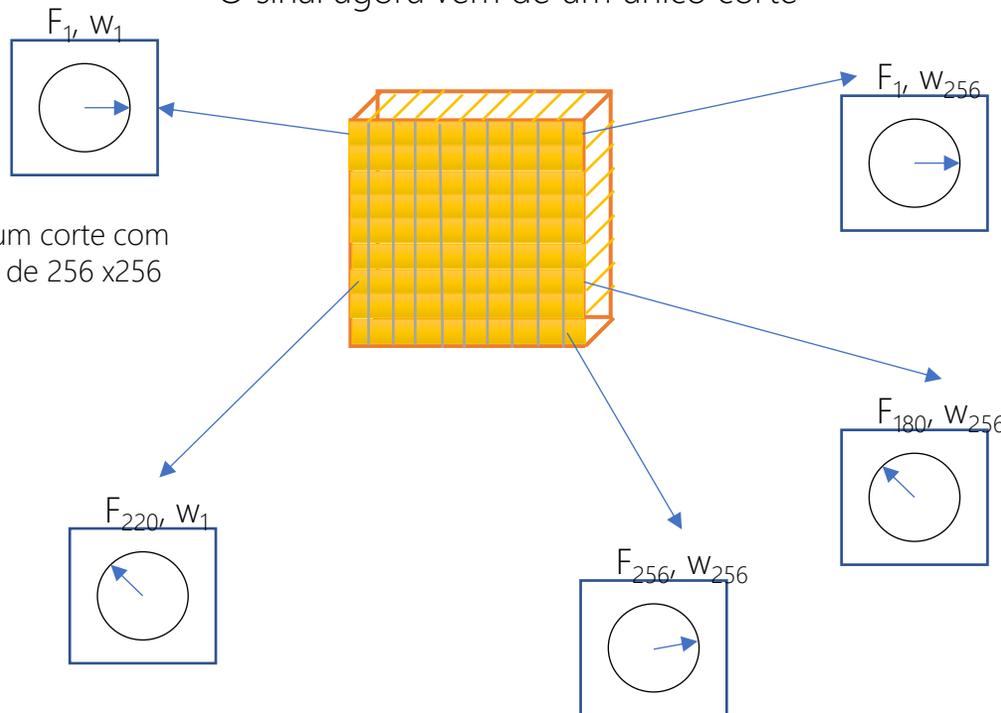


Codificação Espacial – Direções X e Y



Para adicionar informações espaciais nas outras duas dimensões, os gradientes x e y também são usados em um tempo específico antes e durante a recepção do sinal. Eles são usados para adicionar **defasamento espacialmente variável** (na chamada **direção de codificação de fase**) e frequência espacialmente variável (na chamada **direção de frequência**).

O sinal agora vem de um único corte



Considere um corte com uma matriz de 256 x 256 pixels

Cada voxel conterá spins com informações espaciais codificadas em:
- fase F
- frequência w

Nesta etapa, o sinal recebido ainda não é uma imagem, mas uma combinação complexa de sinais variados de fase e frequência.

Conteúdo

Sistema da RM

▶ Princípio da RM

- ▶ Codificação Espacial Direções X e Y

Sequência Spin Eco

Sequência Gradiente Eco

Outras Sequências: A Selva RM

Agentes de Contraste

Artefatos na RM

Vantagens e Desvantagens

Mensagens Finais

Referências

Teste Seus Conhecimentos



Relação entre Sinal e Imagem

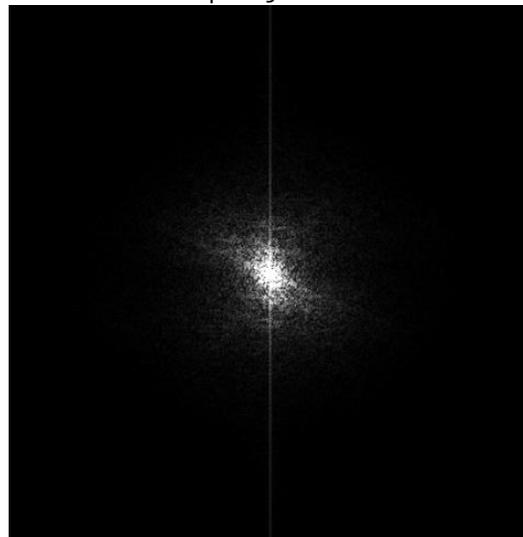


O sinal medido está no espaço de frequência, denominado "espaço k". O "k" representa um número que mantém as informações de codificação espacial do gradiente. Este "espaço k" pode ser traduzido na imagem final usando a transformada de Fourier.



LEMBRE-SE: Até agora medimos a magnetização de prótons com gradientes adicionais variáveis, para criar informações contidas no espaço de frequência (espaço k). A imagem será criada pela transformada de Fourier desse espaço k.

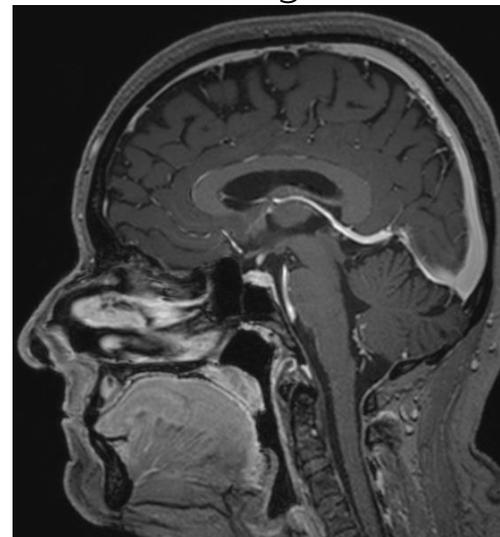
Espaço K



Transformada
em Fourier



Imagem



Conteúdo

Sistema da RM

▶ Princípio da RM

- ▶ Relação entre Sinal e Imagem

Sequência Spin Eco

Sequência Gradiente Eco

Outras Sequências: A Selva RM

Agentes de Contraste

Artefatos na RM

Vantagens e Desvantagens

Mensagens Finais

Referências

Teste Seus Conhecimentos



Gradientes e Ruído na RM



Bobinas de gradiente usadas para adicionar informações espaciais ao sinal produzem campos magnéticos variados durante a aquisição da imagem. Essas variações fazem vibrar as bobinas de gradiente. Esta é a origem do ruído alto ouvido durante a aquisição de imagens de RM.

O paciente deve usar **proteção auditiva** durante o exame!



140 dB = Decolagem de avião

130 dB = RM

110 dB = Concerto ou boate

95 dB = Refeitório escolar

85 dB = Cortador de grama

80 dB = Carro

60 dB = Conversa



Ilustração: <https://pixabay.com/de/photos/mann-arbeiter-presslufthammer-785548/>

Conteúdo

Sistema da RM

▶ Princípio da RM

- ▶ Gradientes e Ruído na RM

Sequência Spin Eco

Sequência Gradiente Eco

Outras Sequências: A Selva RM

Agentes de Contraste

Artefatos na RM

Vantagens e Desvantagens

Mensagens Finais

Referências

Teste Seus Conhecimentos



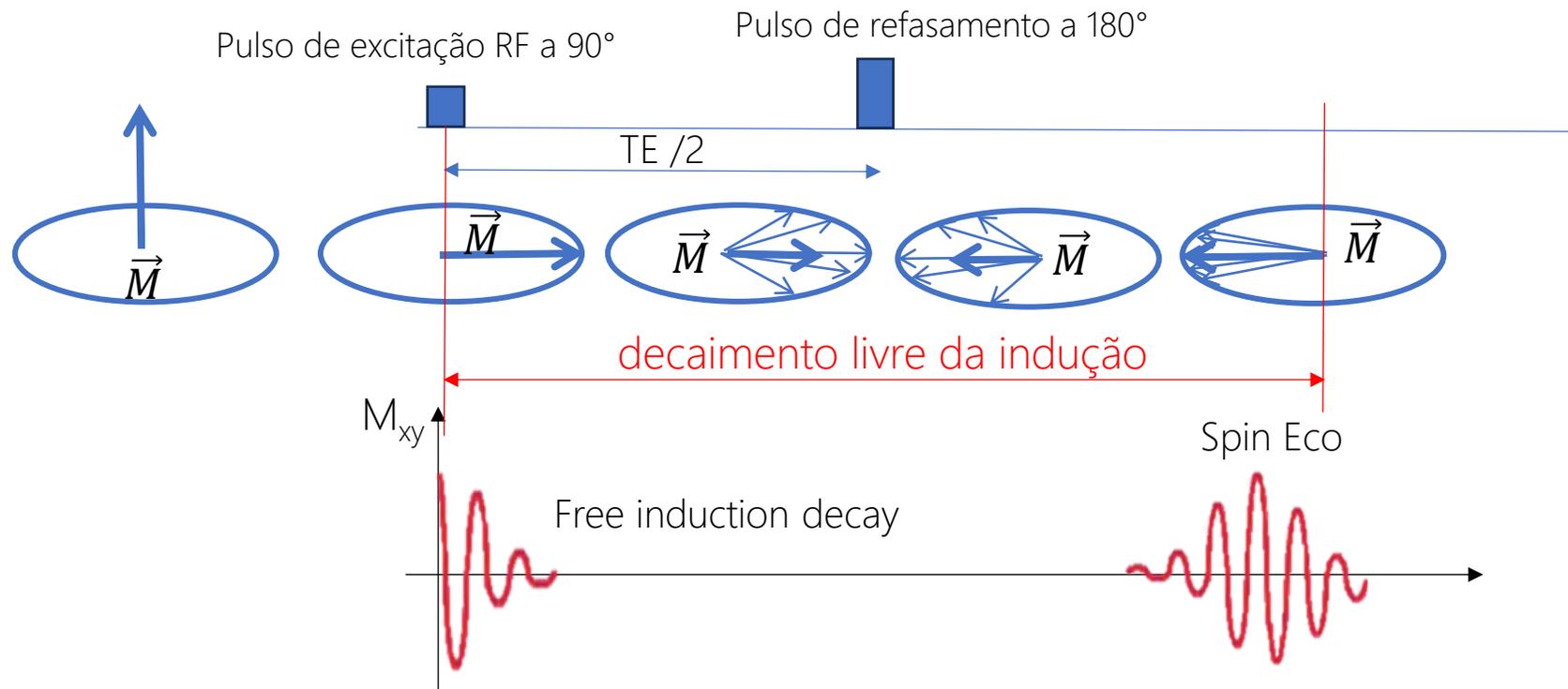
A Sequência Spin Eco (SE)



O que é um Eco?

Quando a magnetização volta ao equilíbrio após a aplicação de um pulso de RF, o sinal produzido é chamado de « decaimento livre da indução ».

Quando um segundo pulso de RF é usado, em particular um pulso de 180°, ou **pulso de refasamento**, então um eco é criado! O tempo entre o primeiro pulso de RF e o eco é chamado de **tempo de eco**.



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

▶ [Sequência Spin Eco](#)
▶ O que é um Eco?

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)

A Sequência Spin Eco (SE)

Entre os pulsos de 90° e 180° , os prótons estão defasados. Os componentes de rotação rápida defasam mais do que os componentes de rotação lenta. O pulso de 180° põe em fase os prótons "revertendo" a defasagem, de modo que os componentes de rotação rápida recuperam a fase para se juntarem aos componentes de rotação lenta.

Analogia => A Lebre e a Tartaruga

Lebre: componente de rotação rápida.
Tartaruga: componente de rotação lenta.

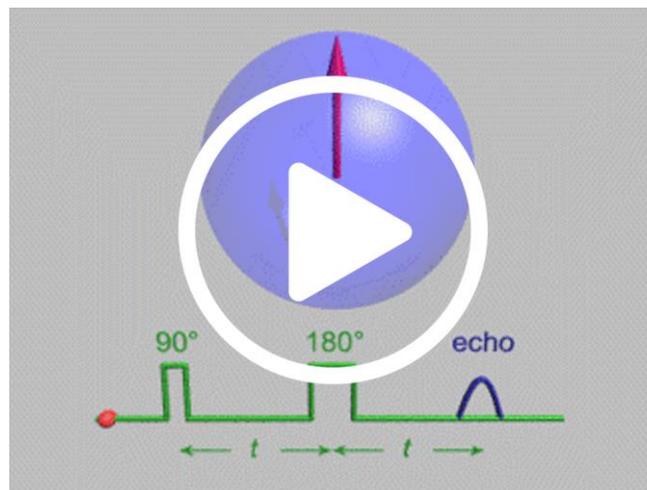


Ilustração:
https://en.wikipedia.org/wiki/Spin_echo

[Clique para ver o vídeo no browser \(externo\)](#)



[Clique para ver o vídeo no browser \(externo\)](#)

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

▶ [Sequência Spin Eco](#)

▶ [O que é Eco?](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



A Sequência Spin Eco (SE)



Conforme explicado anteriormente, o sinal proveniente do eco é emitido por todo o volume excitado! Gradientes são adicionados para codificar a origem espacial do sinal. O diagrama temporal de quando e onde esses gradientes são aplicados em relação aos pulsos de excitação RF e à leitura do eco representa a "sequência RM".

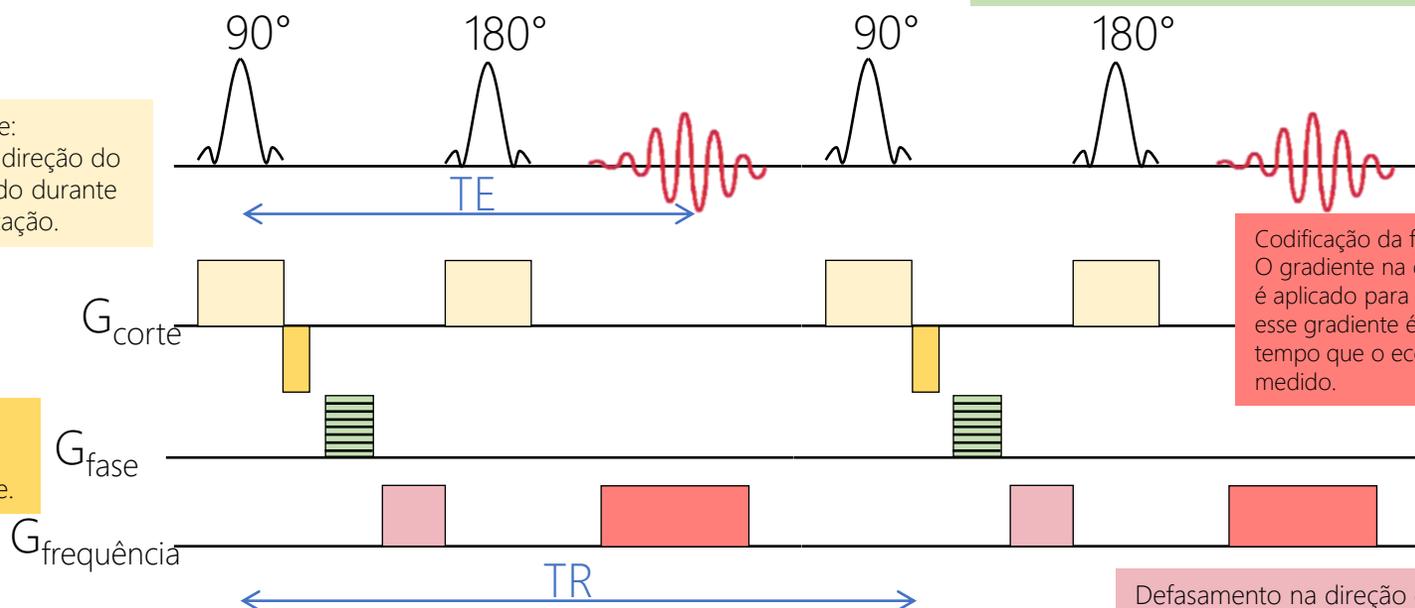
Existem 2 parâmetros de tempo importantes na sequência:

- Tempo entre o pulso de excitação e o eco: Tempo de eco, TE
- Tempo entre dois pulsos de excitação sucessivos: Tempo de repetição, TR.
- TE e TR são escolhidos pelo operador!

Phase encoding :
Gradient in phase direction is applied to encode y direction, this gradient varies at each « TR » to encode the different lines in the phase direction.

Seleção de corte:
O gradiente na direção do corte z é aplicado durante o pulso de excitação.

Gradiente de refasamento na direção do corte.



Codificação da frequência:
O gradiente na direção da frequência é aplicado para codificar a direção x; esse gradiente é aplicado ao mesmo tempo que o eco é produzido e medido.

Defasamento na direção da frequência; O gradiente é aplicado para compensar o refasamento produzido durante o eco.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

▶ [Sequência Spin Eco](#)

▶ O que é Eco?

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



A Sequência Spin Eco (SE)

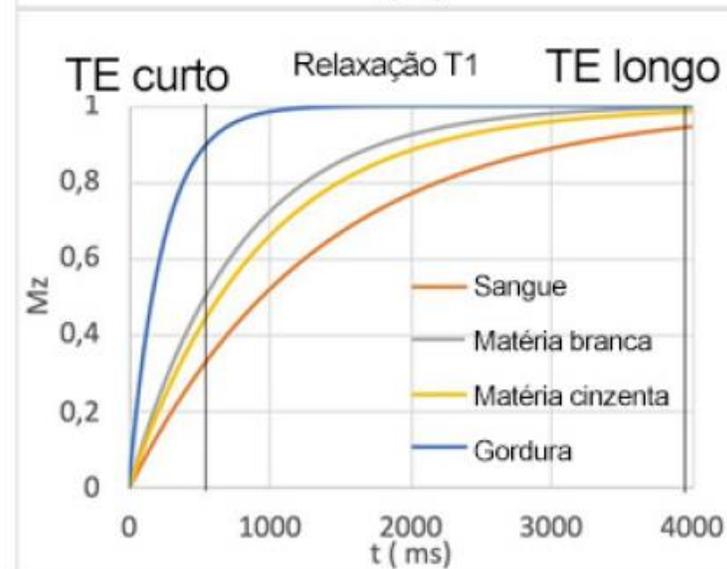
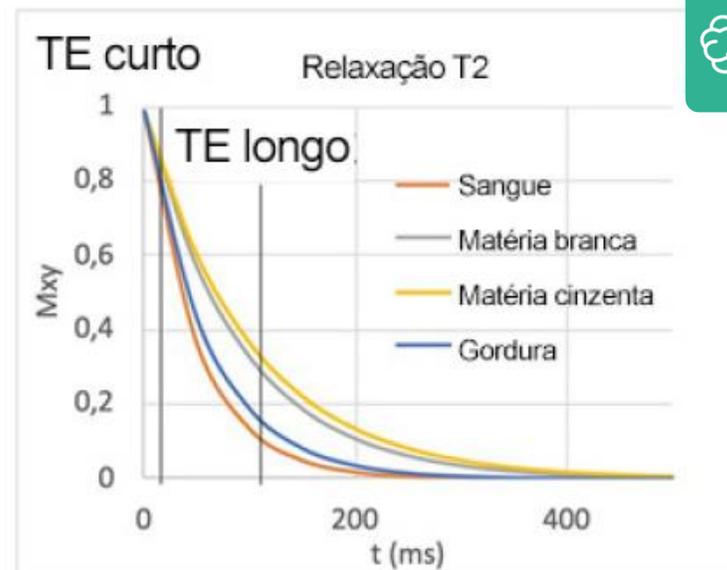
Importância de TE e TR para Contraste

TE longo contribui para o contraste T2.

- O sinal é menos proeminente para rotações de defasamento rápido (T2 baixo) do que para rotações de defasamento lento (T2 alto).
- TE curto não permite o defasamento dos spins, não há contribuição do contraste T2 no sinal.

TR curto contribui para o contraste T1.

- O recrescimento da magnetização não está completo, a magnetização de crescimento lento dará menos sinal (T1 alto) do que a magnetização de crescimento rápido (T1 baixo).
- O TR longo permite que a magnetização longitudinal volte ao seu estado original, sem contribuição para o contraste T1.



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

- ▶ [Sequência Spin Eco](#)
 - ▶ A Sequência Spin Eco (SE)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



A Sequência Spin Eco (SE)

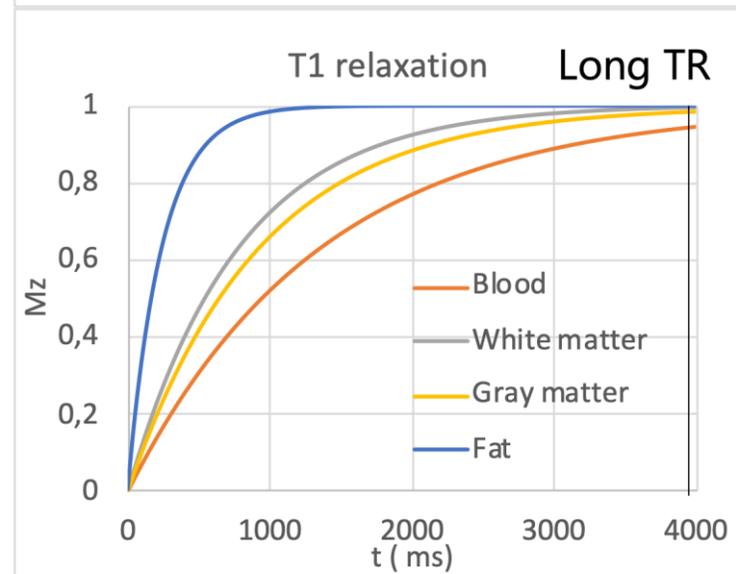
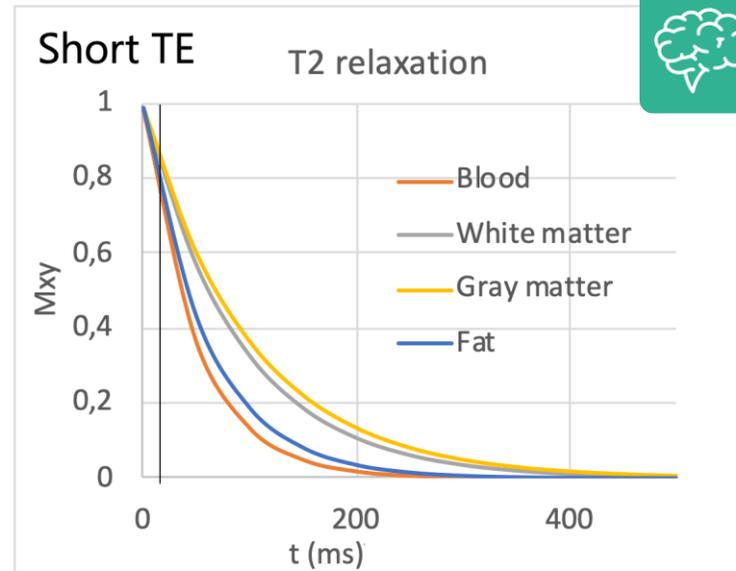
Importância de TE e TR para Contraste

To obtain an image without T1 nor T2 contrast but only sensitive to proton density, a short TE and a long TR should be used.



Summary:

- TE curto, short TR : T1-weighted image
- TE longo, long TR : T2-weighted image
- TE curto, Long TR : Proton density weighted image
- (TE longo, short TR is not used in practice)



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

- ▶ [Sequência Spin Eco](#)
 - ▶ Importância de TE e TR para Contraste

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

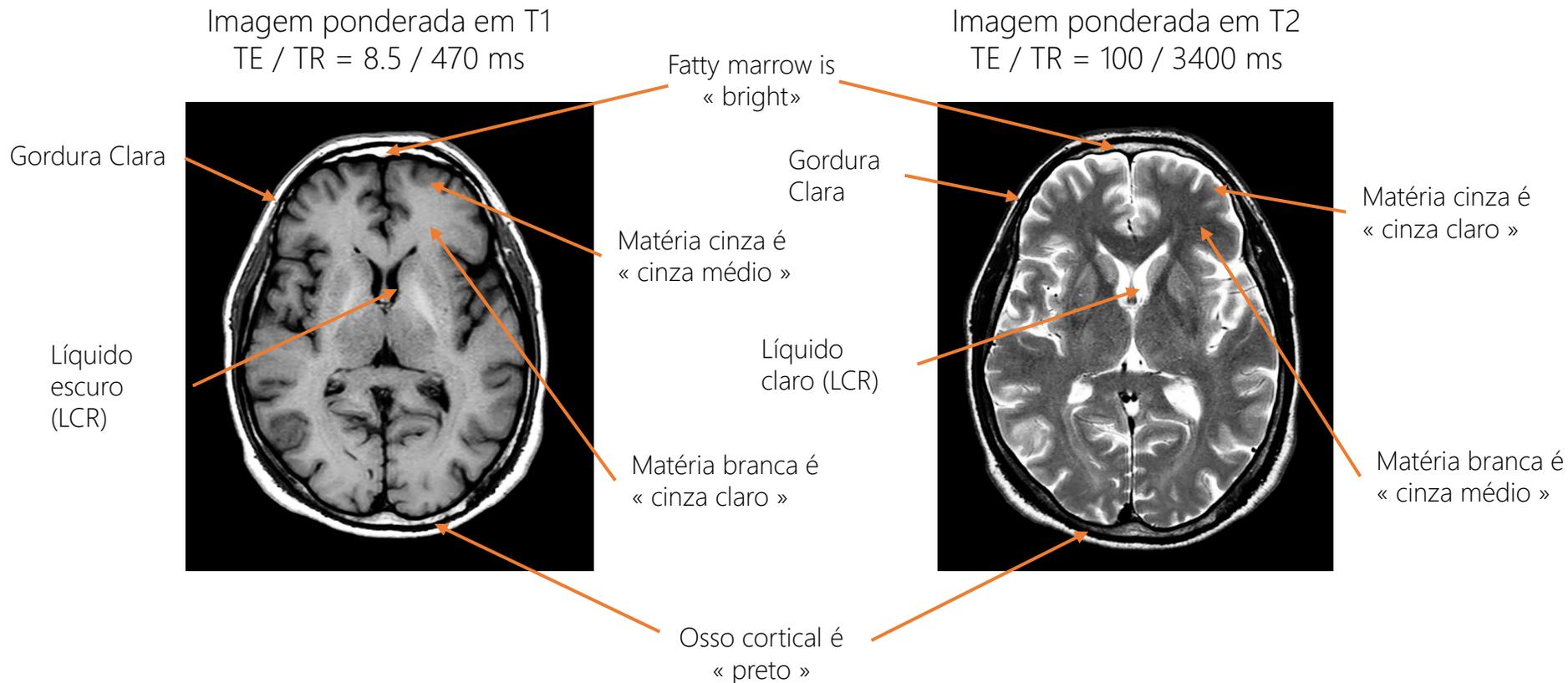
[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Importância de TE e TR para Contraste



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

- ▶ [Sequência Spin Eco](#)
 - ▶ Importância de TE e TR para Contraste

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Sequências de RM: Por que são tão Longas?



O tempo de aquisição de uma sequência de RM depende principalmente do TR, do número de linhas de codificação de fase (matriz) e do número de cortes:

$$\text{tempo de aquisição} = \text{TR} \cdot \text{NPy} \cdot \text{Ncortes}$$

- TR = Tempo de repetição
- NPy = Número de linhas de codificação de fase
- Ncortes = Número de cortes

Exemplo para uma sequência em T1: TR = 500 ms, tamanho de matriz 128, 10 cortes:
Tempo de aquisição = $0,5 \text{ s} \cdot 128 \cdot 10 = 10 \text{ min } 40 \text{ s!}$

RM é uma técnica de aquisição lenta!

Na prática, várias técnicas foram desenvolvidas para acelerar a aquisição de sequências:
O tempo típico de aquisição de uma sequência 2D que cobre todo o cérebro é de 2 a 4 minutos.
A aquisição de sequências 3D é mais longa, normalmente em torno de 4 a 6 minutos.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

- ▶ [Sequência Spin Eco](#)
 - ▶ Sequências de RM: Por que são tão Longas?

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Sequência Gradiente Eco Echo (GRE) Sequence



Sequência Gradiente Eco Echo (GRE) sequence doesn't use a 180° RF pulse to refocus the dephasing spins but uses instead a gradient to dephase and then rephase the spins, thus creating an echo.

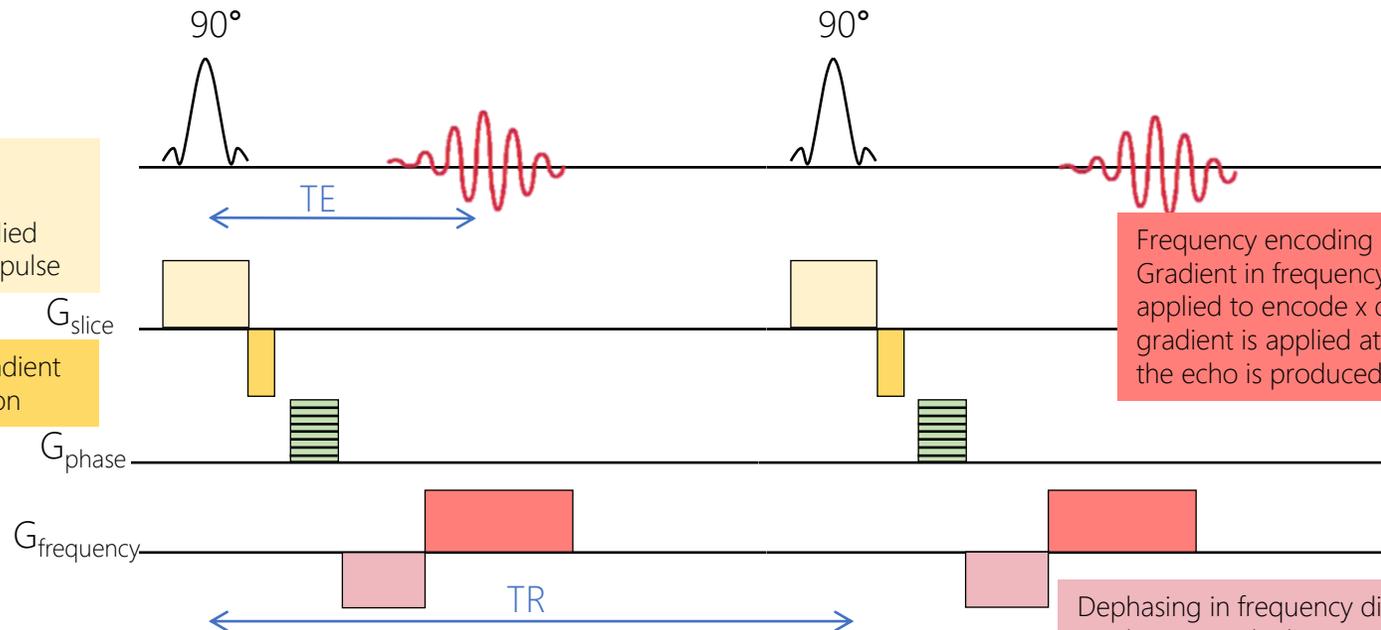
This can shorten a lot the TE and TR and make faster images !

But... it adds dephasing errors, so it is more prone to artifacts.

Phase encoding :
Gradient in phase direction applied to encode y direction, this gradient varies at each « TR » to encode the different lines in phase direction.

Slice selection :
Gradient in slice direction z is applied during excitation pulse

Rephasing gradient in slice direction



Frequency encoding :
Gradient in frequency direction is applied to encode x direction, this gradient is applied at the same time as the echo is produced and measured.

Dephasing in frequency direction, gradient is applied to compensate the rephasing produced during the echo.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

► [Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



A Sequência Gradiente Eco (GRE)



Como não há mais pulso de RF de refasamento, o defasamento do spin é agora devido à falta de homogeneidade do campo magnético local, além do efeito T2. Portanto, o sinal diminui com a constante T2*. A diferença entre T2 e T2* é que T2 é a relaxação spin-spin ideal causada por interações atômicas/moleculares, enquanto T2* é o T2 observado (ou seja, T2 afetado por falta de homogeneidades de campo locais).

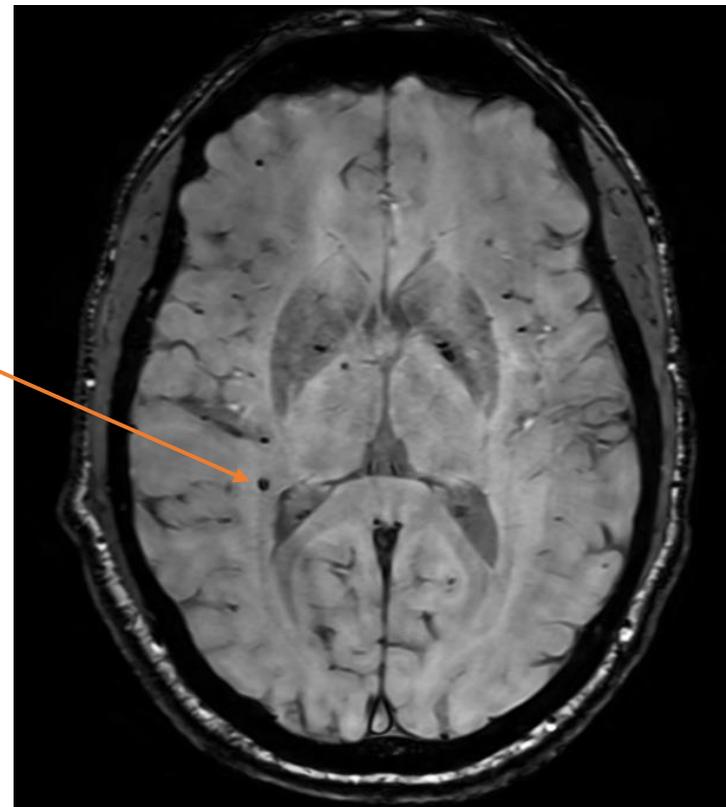


Este efeito permite uma **alta sensibilidade às não inhomogeneidades magnéticas locais**, normalmente em torno de produtos de degradação do sangue e calcificações que perturbam localmente o campo magnético.



Tempo de relaxamento T2*

T2* é sempre \leq T2!



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

► [Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

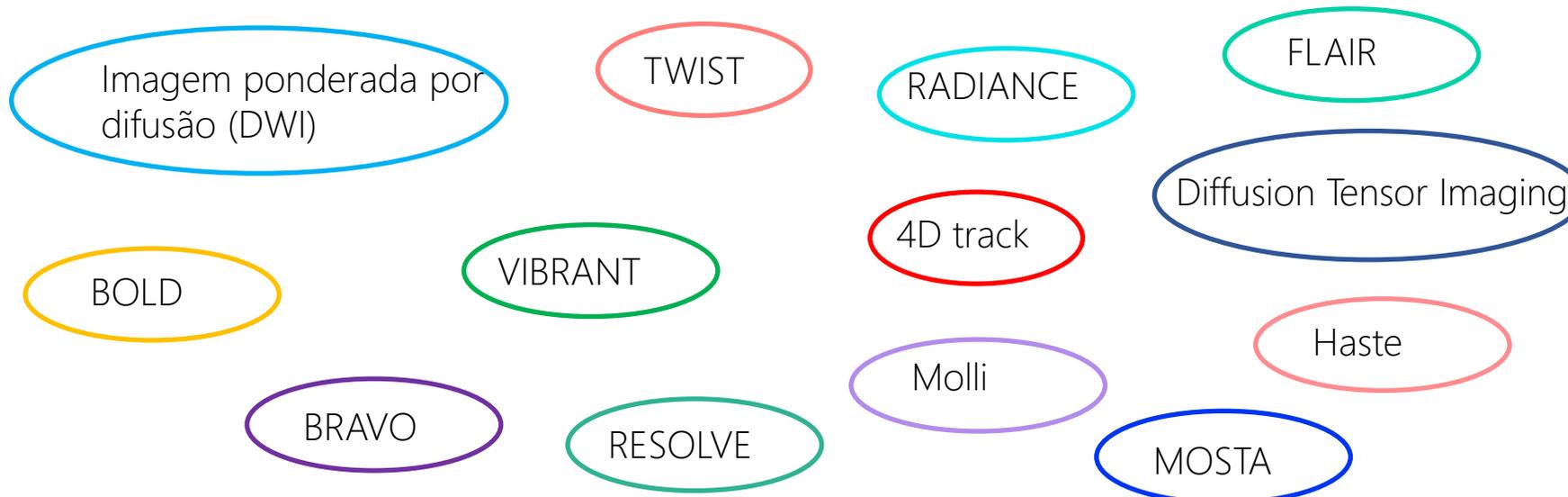
[Teste Seus Conhecimentos](#)



Outras Sequências: a "Selva" RM



Muitos tipos diferentes de sequências são usados para imagens de RM, com nomes diferentes de acordo com cada fornecedor. Quase todos derivam de sequências SE e GRE.



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

▶ [Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

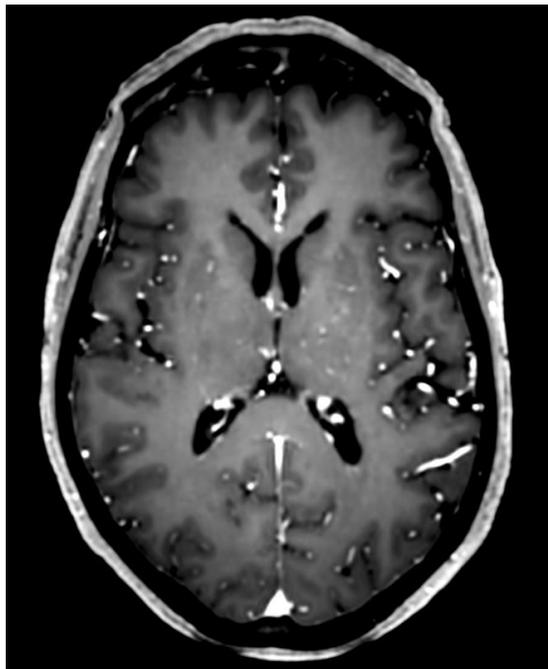
[Teste Seus Conhecimentos](#)



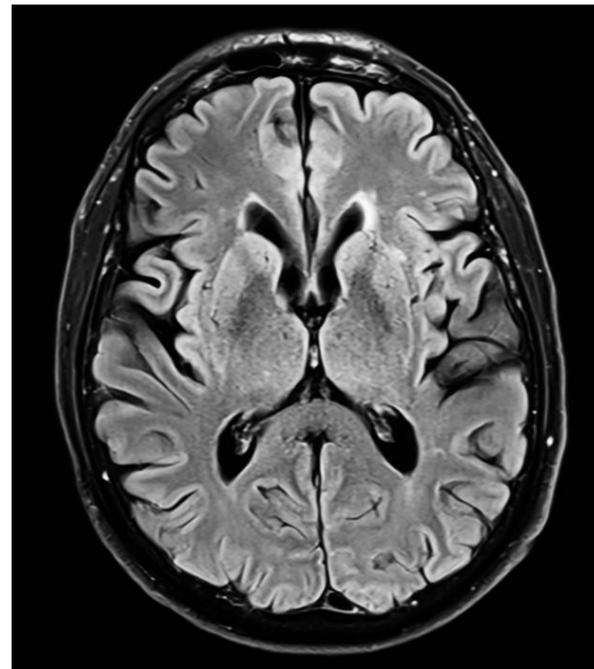
Recuperação da Inversão (IR)



Adicionar um pulso de preparação **antes** da aquisição do sinal pode aumentar o contraste do tecido ou remover o sinal de um tecido específico. A sequência IR usa um pulso de inversão (180°) antes da sequência para inverter toda a magnetização. As técnicas de IR são amplamente utilizadas em aplicações de neurorradiologia, de cabeça e pescoço e imagens cardíacas.



Sequência GRE em 3D ponderada em T1 preparada em IR: o pulso de inversão aumenta o contraste da matéria branca/matéria cinzenta (esta imagem é adquirida após a injeção de agente de contraste).



IR com atenuação de líquido (FLAIR): O pulso de inversão é usado para remover o sinal do líquido cefalorraquidiano. O sinal hiperintenso nas lesões da matéria branca é mais visível.



STIR: O pulso de inversão remove o sinal de gordura. O sinal hiperintenso devido a líquidos ou edema é mais visível.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

- ▶ [Outras Sequências: A Selva RM](#)
 - ▶ Recuperação da Inversão (IR)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)

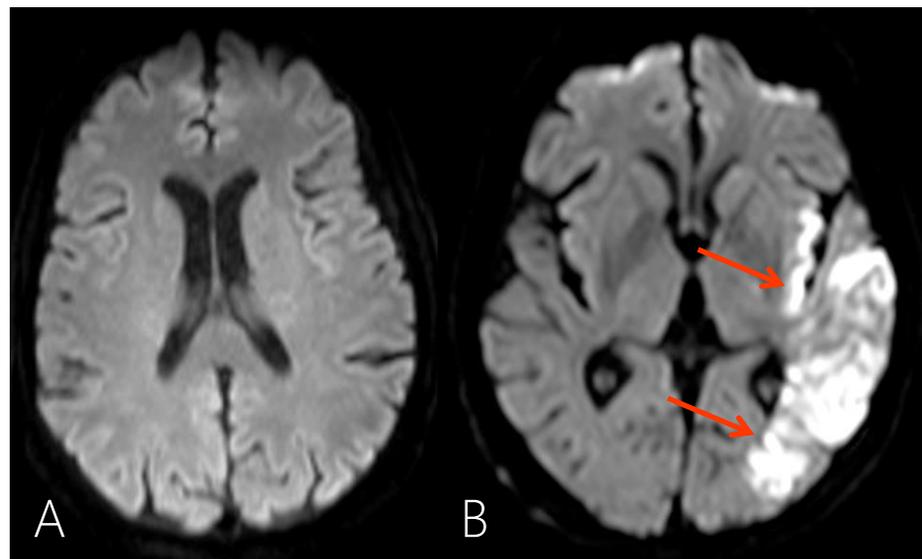
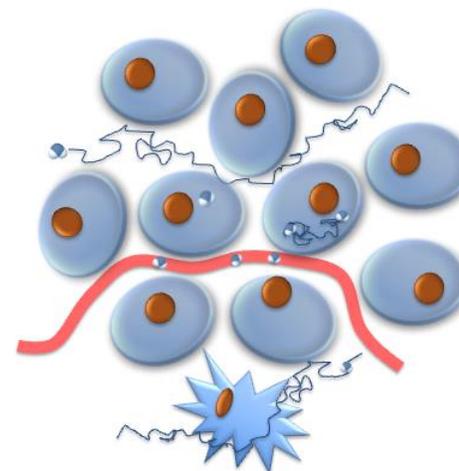
Imagem ponderada por difusão (DWI)

A difusão é definida como o transporte de matéria resultante da migração de **átomos devido a movimentos aleatórios** causados por diferenças de temperatura ou concentração.

A RM pode ser sensível à difusão das moléculas de água, que depende do ambiente (água intracelular, extracelular, intravascular). O sinal de RM pode, portanto, refletir a integridade da membrana celular ou a densidade celular.



Um dos sucessos da RM é a capacidade de detectar edema celular nos estágios iniciais de um AVC, antes de que qualquer outro tipo de modalidade de imagem possa mostrar o AVC.



\leq Imagens ponderadas em difusão (b1000) em cérebro normal (A) e em paciente com **AVC no território da artéria cerebral média** (B).

In stroke, due to hypoperfusion, there is failure of the sodium/potassium pumps of cell membranes in the affected areas. This creates an influx of intracellular water, thus decreasing diffusion movement ("restricted diffusion"). On MRI, there is an increased signal on the DWI image.



Tumores hiper celulares também apresentam difusão restrita porque o livre movimento das moléculas de água é dificultado por células densamente compactadas.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

► [Outras Sequências: A Selva RM](#)

► Imagem ponderada por difusão (DWI)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)

Imagem por Tensor de Difusão (DTI)

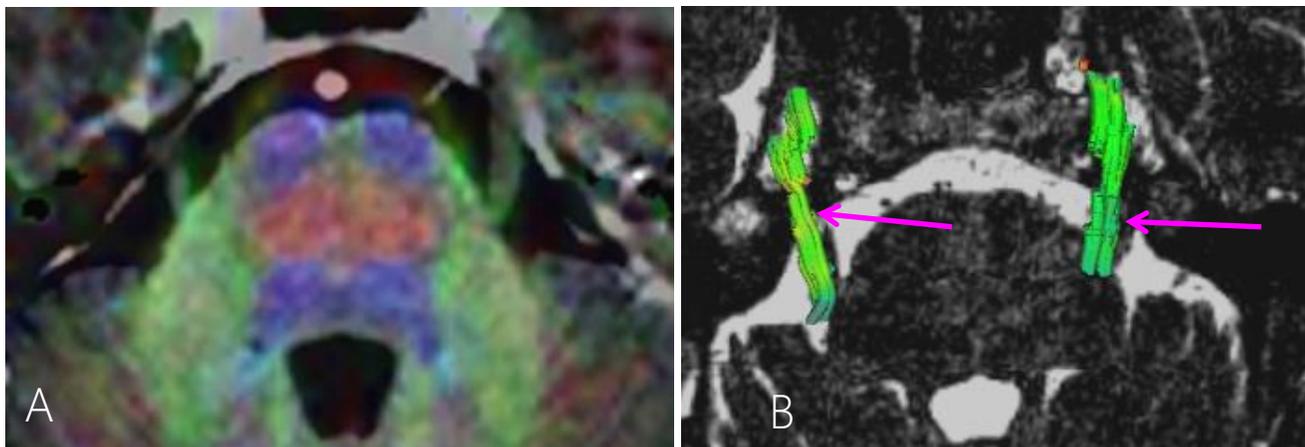


Os tecidos biológicos são altamente **anisotrópicos** => ou seja, a taxa de difusão NÃO é a mesma em todas as direções.

A difusão da água no cérebro é **restringida pelas fibras**. O sinal da RM é sensível à **direção preferencial do movimento** das moléculas de água. Isto pode ser usado para "rastrear" fibras e representar tratos de substância branca. A orientação anatômica dos axônios e fibras é codificada com cores nas imagens DTI, cada cor correspondendo a uma direção específica das fibras:

- **Vermelho** => orientação transversal
- **Verde** => ântero-posterior ou pósterio-anterior
- **Azul** => orientação craniocaudal

Os tratos de fibras são então reconstruídos dependendo da questão clínica usando um software específico. Podem ser obtidas medidas quantitativas, por exemplo, medindo a **anisotropia fracionada (FA)** que reflete a densidade da fibra, a mielinização e o diâmetro axonal.



Imagens DTI com fibras sobrepostas de cor por orientação no nível médio-pontino (A). Tratos reconstruídos dos **nervos trigêmeos** em orientação por código de cor (B)..

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

▶ [Outras Sequências: A Selva RM](#)

▶ Imagem por Tensor de Difusão (DTI)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

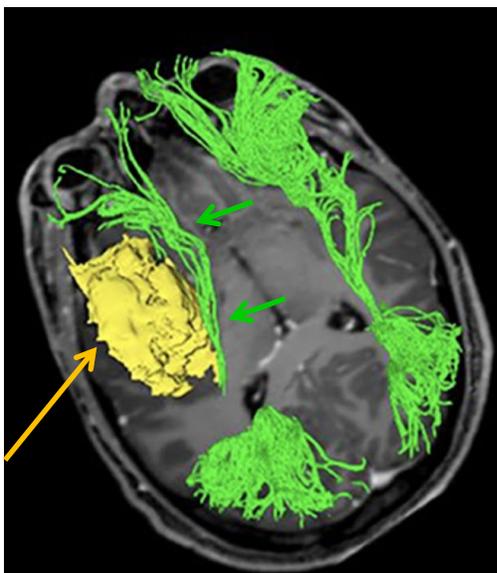
[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)

Diffusion Tensor Imaging (DTI)

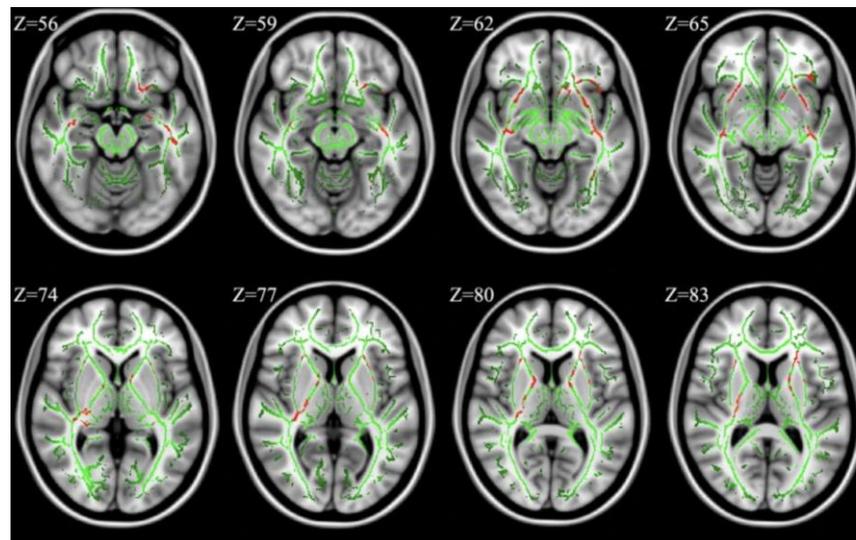


Além de mostrar a representação 3D dos tratos de fibras, o DTI pode detectar alterações microestruturais na ausência de alterações morfológicas. Pode revelar conectividade alterada da substância branca e permite a avaliação quantitativa da integridade de diferentes circuitos cerebrais em uma variedade de condições, incluindo tumores, doenças desmielinizantes, traumas, doença de Parkinson, síndromes dolorosas, depressão e transtornos de ansiedade e muito mais.



Exemplo de glioma de baixo grau (LGG) temporoinssular esquerdo e envolvimento do trato de fibras. Reconstrução 3D do tumor, que envolve o fascículo longitudinal fronto-occipital.

Reproduzido de: Ius T et al. Risk Assessment by Pre-surgical Tractography in Left Hemisphere Low-Grade Gliomas. *Front Neurol*. 2021 Feb 15;12:648432. doi: 10.3389/fneur.2021.648432.



Imagens ilustrando anormalidades na matéria branca em adolescentes com distúrbio de ansiedade generalizado (DAG). Voxels estão sobrepostos sobre o esqueleto de matéria branca (verde). As regiões com redução significativa de FA em comparação com as de adolescentes sem DAG estão representadas em vermelho.

Reproduzido de: Liao, M. et al. White matter abnormalities in adolescents with generalized anxiety disorder: a diffusion tensor imaging study. *BMC Psychiatry* 14, 41 (2014). <https://doi.org/10.1186/1471-244X-14-41>

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

▶ [Outras Sequências: A Selva RM](#)

▶ Imagem por Tensor de Difusão (DTI)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)

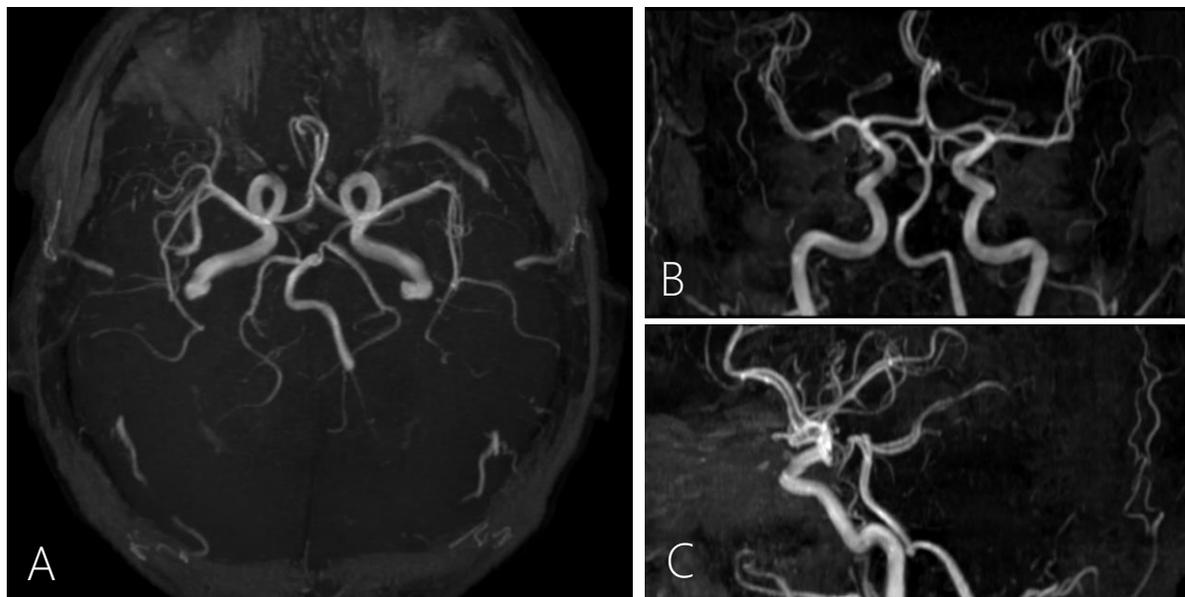
Angiografia *Time of Flight* (TOF) por RM (MRA)



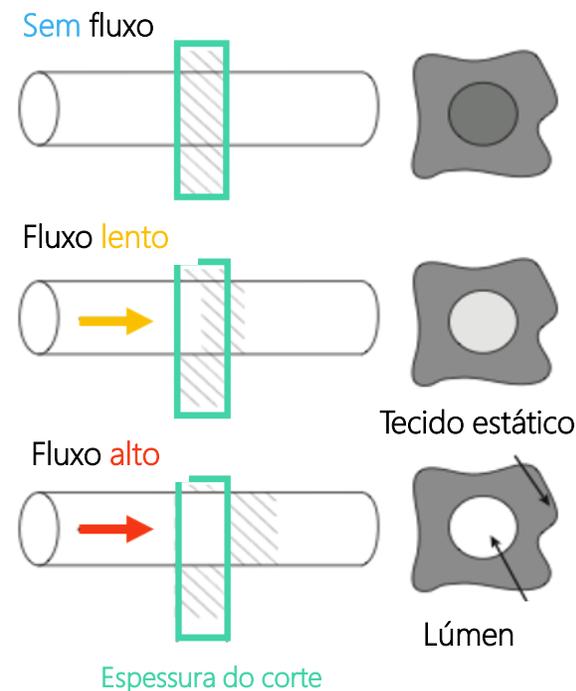
A sequência *Time of Flight* (TOF) na MRA permite a visualização do fluxo sanguíneo nos vasos, fornecendo assim imagens angiográficas **sem** a necessidade de injeção de agentes de contraste. A sequência TOF é baseada no princípio do **realce relacionado ao fluxo** (ou seja, o sangue tem uma magnetização inicial elevada, em oposição a tecidos estacionários, que são magneticamente saturados por múltiplos pulsos de RF repetitivos). Na sequência TOF, o sinal de entrada de sangue parece muito brilhante (veja abaixo). O realce máximo do fluxo ocorre quando o vaso é perpendicular ao plano de imagem.



TOF é uma das técnicas mais úteis para **MRA neurovascular e periférica sem contraste** => Veja o capítulo do e-book sobre imagens vasculares.



Imagens TOF: Projeção de Intensidade Máxima (MIP) do polígono de Willis: vistas axial (A), coronal (B) e sagital (C).



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

▶ [Outras Sequências: A Selva RM](#)

▶ [Angiografia *Time of Flight*](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



RM Funcional (RMf)

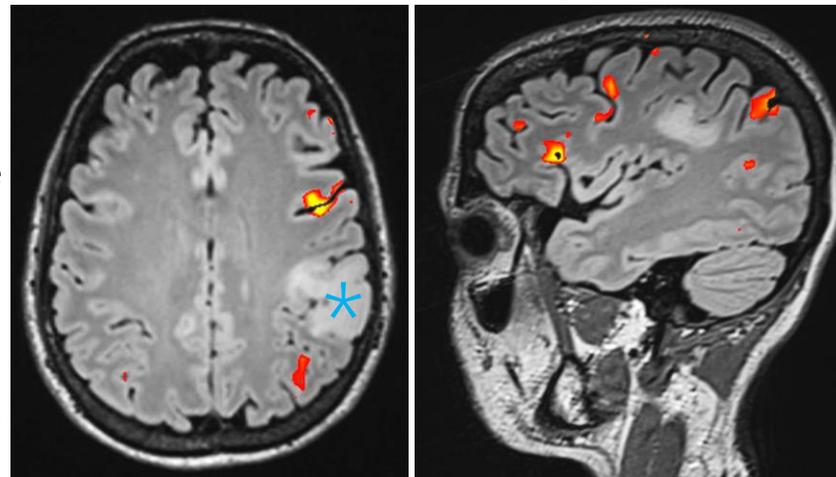


A imagem dependente do nível de oxigenação sanguínea (BOLD) é a modalidade funcional padrão de RM, que fornece informações sobre áreas cerebrais que são ativadas durante a execução de determinadas tarefas. Por exemplo, é possível identificar as áreas da linguagem no cérebro. Isto é muito útil para determinar se uma área foi impactada por cirurgia ou se uma lesão está localizada na vizinhança imediata de uma área que precisa ser ressecada.

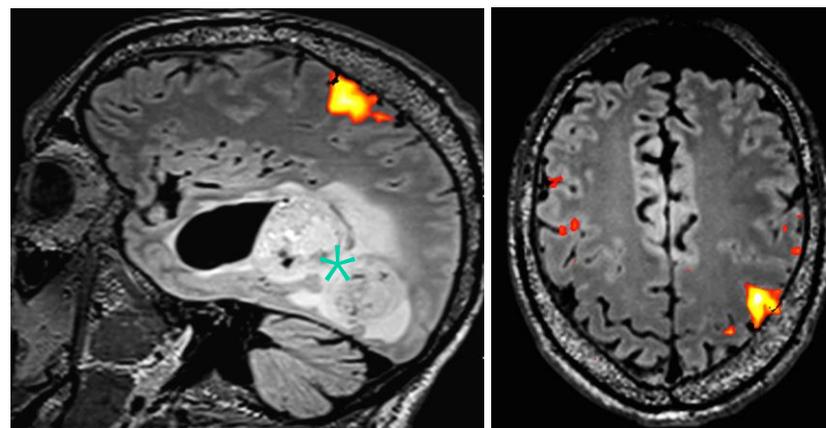
A imagem BOLD baseia-se no princípio de que se uma tarefa leva a um aumento na atividade de uma região específica do cérebro. Há uma queda inicial na hemoglobina oxigenada e um aumento no CO₂ e na hemoglobina desoxigenada. Após um atraso de alguns segundos, o aumento do fluxo sanguíneo cerebral (FSC) fornece um excedente de hemoglobina oxigenada, que "lava" a desoxi-hemoglobina.

As hemoglobinas oxigenada e desoxigenada diferem significativamente no que diz respeito às suas propriedades paramagnéticas.

Sequências T2* são usadas para detectar essas diferenças, que estão na faixa de 1-5%.



Exemplo de mapas BOLD RMf obtidos de um paciente com glioma de alto grau e tarefa de geração silenciosa de palavras produzindo ativação do córtex pré-frontal esquerdo e da área de Broca. Cortesia de José Manuel Baiao Boto, Division of Neuroradiology, Geneva University Hospitals.



Exemplo de mapas BOLD RMf obtidos de um paciente com glioma de alto grau em teste de finger tapping do lado direito. O córtex sensorio-motor contralateral (esquerdo) é mais fortemente ativado. Cortesia de José Manuel Baiao Boto, Division of Neuroradiology, Geneva University Hospitals.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

▶ [Outras Sequências: A Selva RM](#)
▶ RM Funcional (RMf)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

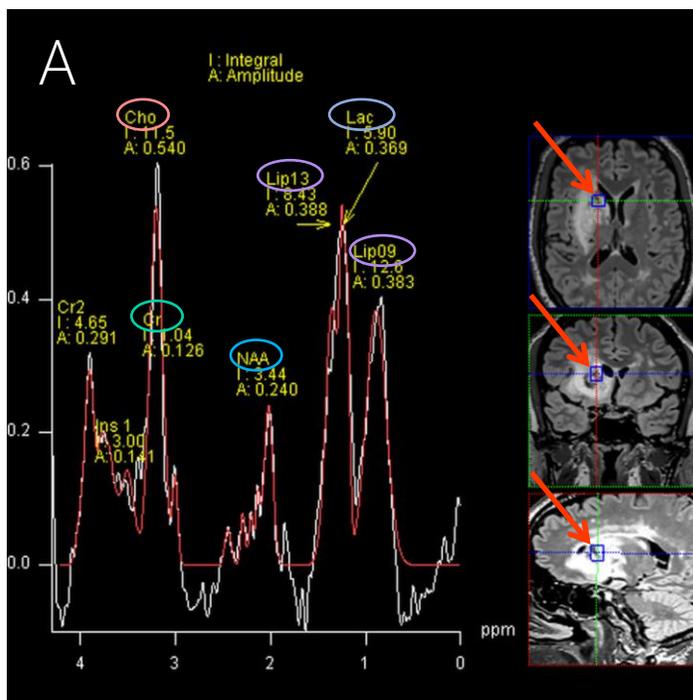
[Teste Seus Conhecimentos](#)

Espectroscopia por RM (ERM)

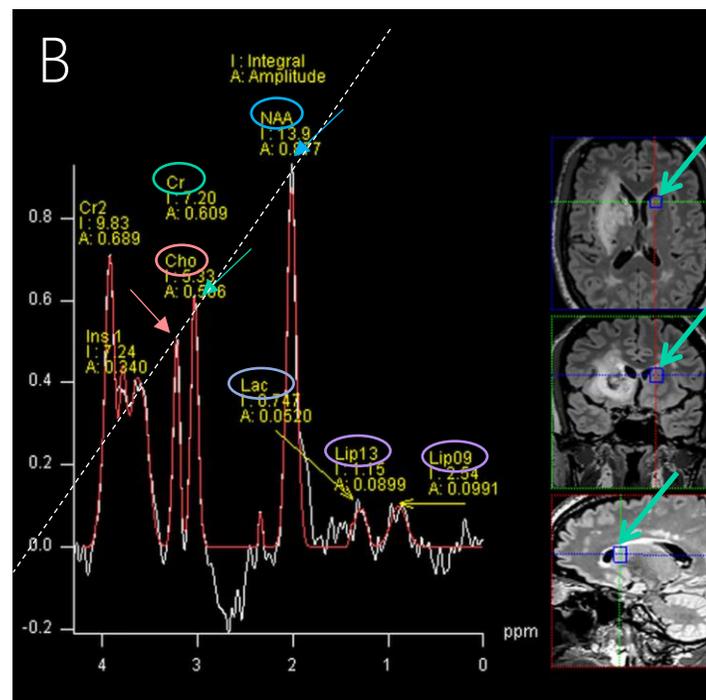


A espectroscopia por RM (ERM) é um método para medir a composição química do tecido. Ela permite a medição de metabólitos **in vivo em regiões específicas do cérebro**, como N-acetil aspartato (NAA), Colina (Cho), Creatina (Cr), e outros. A ERM utiliza o fato de que a frequência de ressonância do próton é ligeiramente diferente para cada metabólito em comparação com a água.

A ERM é **usada principalmente no cérebro**, mas não se restringe a essa área. Avanços foram feitos para aumentar a resolução espacial e até criar mapas de metabólitos do cérebro. As indicações mais comuns da ERM incluem imagens de gliomas, alterações pós-irradiação, isquemia, substância branca e doenças mitocondriais. A ERM aumenta a especificidade e se correlaciona com o grau histológico de um tumor.



ERM obtida em um paciente com glioma de **alto grau em gânglios basais direitos** (A) mostrando alterações metabólicas. Conforme o grau do tumor aumenta, NAA e Cho diminuem, enquanto lipídios (Lip) e lactato aumentam. **Metabólitos normais na ERM nos gânglios basais esquerdos** (B). As medições à esquerda são usadas como controle. Observe que os picos normais de Cho, Cr e NAA estão em uma linha que tem um ângulo de 45° com o eixo x (ângulo de Hunter). Cortesia: José Manuel Baiao Boto, Division of Neuroradiology, Geneva University Hospitals.



Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

▶ [Outras Sequências: A Selva RM](#)

▶ [Espectroscopia por RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

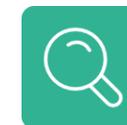
[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

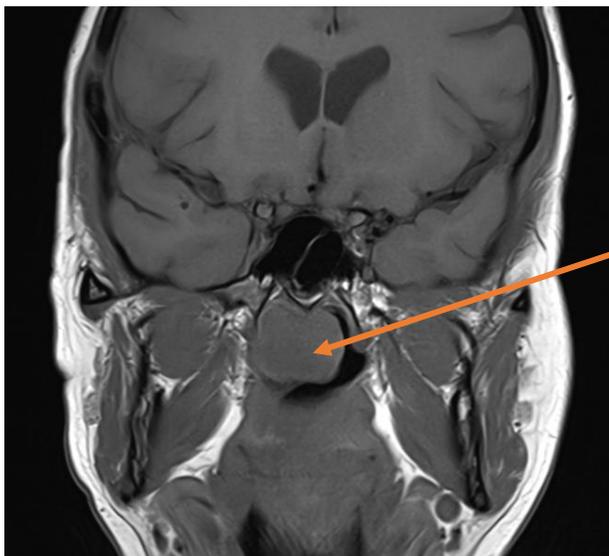
[Teste Seus Conhecimentos](#)

Agentes de Contraste na RM

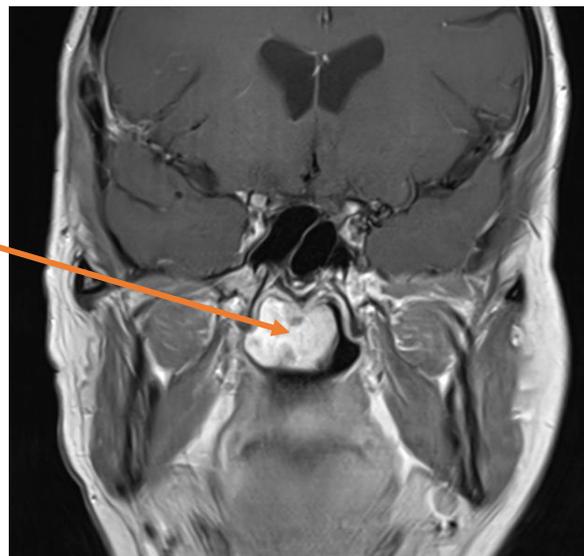


Os agentes de contraste (AC) usados em RM são baseados principalmente em quelatos de gadolínio. O gadolínio é paramagnético e tem a propriedade de reduzir a relaxamento T1 dos tecidos circundantes, tornando-os hiperintensos nas imagens ponderadas em T1. Em altas concentrações, o AC à base de gadolínio também encurta o tempo de relaxamento T2. Normalmente permanece extracelular nos sistemas de circulação e de microcirculação e é excretado pelos rins.

T1 SE



Realce de sinal na
lesão após injeção de
contraste



T1 SE com Gd



Segurança: Fibrose Sistêmica Nefrogênica (FSN) Em 2006, os agentes de contraste à base de Gd foram reconhecidos como potenciais desencadeadores de uma doença inflamatória e fibrótica tardia de partes moles em pacientes com comprometimento grave da função renal: fibrose sistêmica nefrogênica (FSN). Embora a FSN **seja rara**, continua a ser **obrigatório rastrear os pacientes quanto à disfunção** renal antes da administração do quelato de Gd e avaliar o risco e os benefícios antes da injeção do AC. => Veja o capítulo do livro sobre meios de contraste.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)[Princípio da RM](#)[Sequência Spin Eco](#)[Sequência
Gradiente Eco](#)[Outras Sequências:
A Selva RM](#)[▶ Agentes de Contraste](#)[Artefatos na RM](#)[Vantagens
e Desvantagens](#)[Mensagens Finais](#)[Referências](#)[Teste Seus Conhecimentos](#)



Agentes de Contraste na RM



Acúmulo de gadolínio (Gd) no sistema nervoso central

O acúmulo de Gd no sistema nervoso central (SNC), basicamente nos gânglios basais, foi relatado em pacientes com administrações múltiplas de quelatos de Gd (2014).

A reação de transmetalção é um possível mecanismo pelo qual o íon Gd é extraído do quelato por outro cátion. Foi demonstrado que os quelatos de Gd com configuração linear apresentam maior risco de se acumular no SNC do que os quelatos macrocíclicos => [ver capítulo do e-book sobre meios de contraste](#)

Esta é a razão pela qual a Agência Europeia de Medicamentos recomendou suspender ou limitar o uso de **agentes de contraste lineares** à base de Gd disponíveis comercialmente.

Embora a acumulação de Gd esteja agora bem descrita, **não há evidências de efeitos clínicos a curto ou longo prazo**. O **princípio da precaução deve ser aplicado** reduzindo-se a quantidade e a frequência da injeção de Gd sempre que possível.



Kanda T, Ishii K, Kawaguchi H, et al. High signal intensity in the dentate nucleus and globus pallidus on unenhanced T1-weighted MR images: relationship with increasing cumulative dose of a gadolinium-based contrast material. Radiology 2014; 270:834-841. (Landmark first report of Gd accumulation in the brain).

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

▶ [Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

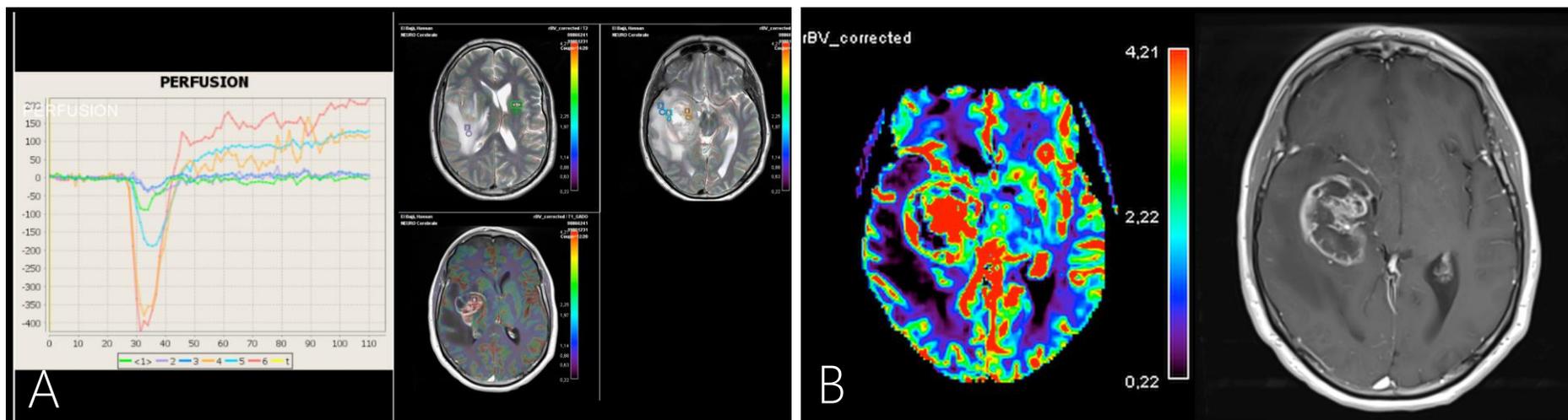
[Teste Seus Conhecimentos](#)

Imagem Ponderada por Perfusão (PWI)



PWI abrange diferentes técnicas de RM utilizadas para avaliar a **perfusão dos tecidos pelo sangue**. Para avaliar a perfusão, podem ser utilizadas técnicas com e sem contraste (p. ex., arterial spin labeling, ASL).

PWI por **contraste de suscetibilidade dinâmica (DSC)** depende da perda de sinal induzida por um bolus de agente de contraste à base de Gd em **seqüências ponderadas em T2***. Os parâmetros calculados incluem uma **curva de intensidade de sinal vs tempo (TIC)** a partir da qual o **volume sanguíneo cerebral (VSC** = volume de sangue em uma determinada quantidade de tecido cerebral em ml de sangue/100g de tecido cerebral), **fluxo sanguíneo cerebral (FSC** = VSC por unidade de tempo, em ml de sangue/100g de tecido cerebral/minuto) e outros parâmetros são calculados. Esses parâmetros são então usados para criar mapas coloridos de regiões de interesse. Devido à dificuldade de calcular com precisão o VSC e o FSC, na maioria das vezes são calculados o VSC/FSC em relação a um controle interno, por exemplo, a substância branca normal contralateral relativa (VSCr e FSCr). VSCr e FSCr não possuem unidades, pois correspondem a proporções.



Perfusão DSC ponderada em T2* em paciente com glioblastoma. A. TIC obtidas em diferentes regiões de interesse. B. Mapa colorido de VSCr e imagem axial ponderada em T1 com contraste correspondente mostrando aumento da perfusão tumoral. Cortesia de José Manuel Baiao Boto, Division of Neuroradiology, Geneva University Hospitals.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Seqüência Spin Eco](#)

[Seqüência Gradiente Eco](#)

[Outras Seqüências: A Selva RM](#)

- ▶ [Agentes de Contraste](#)
 - ▶ Imagem Ponderada por Perfusão (PWI)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

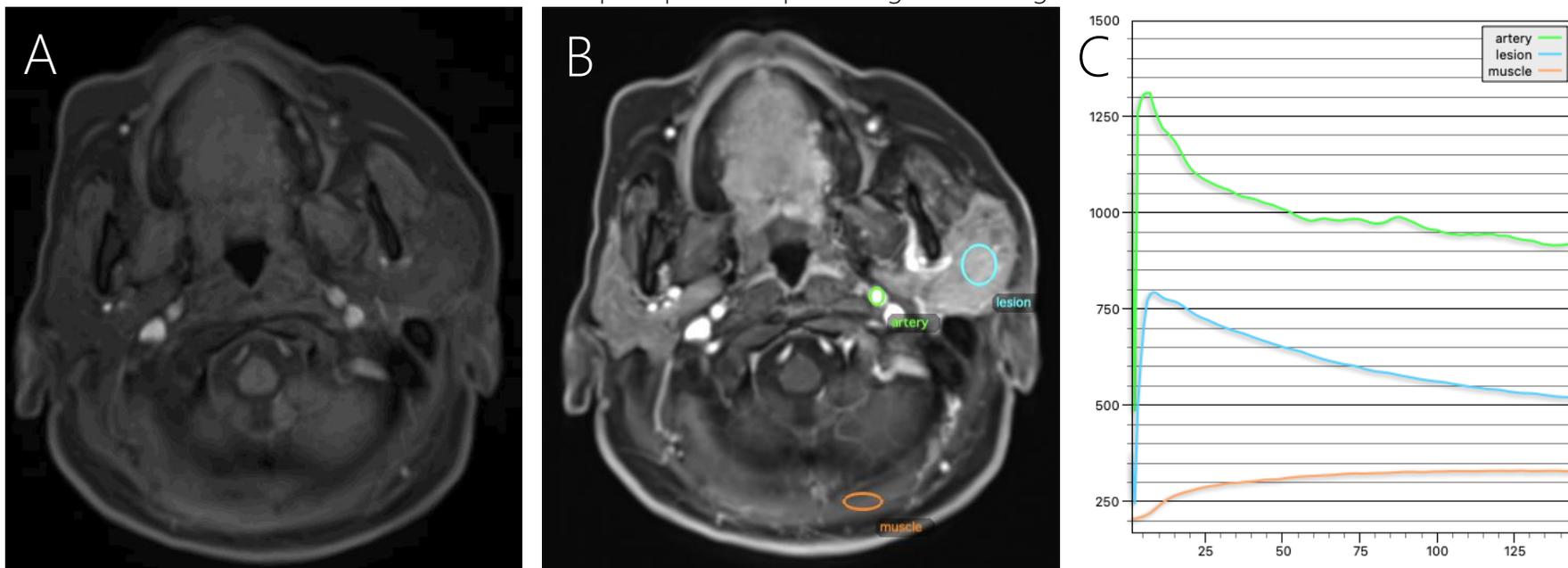
[Teste Seus Conhecimentos](#)

Imagem Ponderada por Perfusão (PWI)



A PWI com contraste dinâmico na RM é uma das técnicas de PWI mais importantes. Os parâmetros de perfusão são calculados com base nos **efeitos de encurtamento de T1** devido ao bolus de agente de contraste à base de Gd que passa através do tecido. São calculados os seguintes parâmetros: TIC, k-trans (= constante de transferência de volume do plasma sanguíneo para o espaço extravascular-extracelular), fração do volume do espaço extravascular-extracelular e outros. Os TIC são muito úteis para a caracterização de certos tumores. Por exemplo, certos tipos de TIC podem ser encontrados apenas em tumores malignos, enquanto outros tipos de TIC apenas em lesões benignas.

A PWI com contraste dinâmico na RM é usada principalmente para imagens oncológicas.



PWI ponderada em T1 com contraste dinâmico em um paciente com tumor difusamente infiltrativo da parótida esquerda. A. Time-resolved dynamic sequence. B. Regiões de interesse para medição (**artéria carótida**, **tumor de parótida**, **músculo**). C. TIC nas diferentes regiões de interesse mostradas em B. As cores TIC correspondem às regiões indicadas em B.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

- ▶ [Agentes de Contraste](#)
 - ▶ Imagem Ponderada por Perfusão (PWI)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Artefatos na RM



O processo de aquisição de imagem pode ser responsável por diferentes artefatos na imagem. Alguns podem ser facilmente resolvidos e outros não. A otimização da sequência de RM requer a compreensão de inúmeros parâmetros, capacidade essa essencial para a obtenção de imagens para a melhor mitigação de artefatos.

O reconhecimento desses artefatos nas imagens é uma parte importante da experiência do radiologista!

A origem dos artefatos pode ser separada em três categorias:

- Técnica:
 - Tipo de sequência
 - Parâmetros
- Paciente:
 - Movimento (incontrolável),
 - Respiração, fluxo sanguíneo,
 - Implantes, tatuagem, piercing, ...
- Equipamento:
 - Bobinas receptora, de RF, de gradiente,
 - Gaiola de Faraday

Podem ser corrigidos

Podem ser mitigados com técnicas específicas

Devem ser reparadas

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

▶ [Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

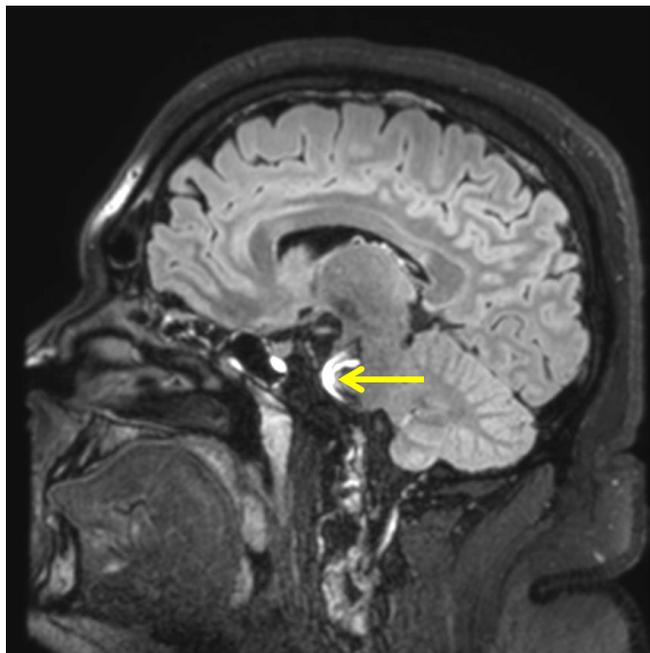
[Teste Seus Conhecimentos](#)



Artefatos: Exemplos

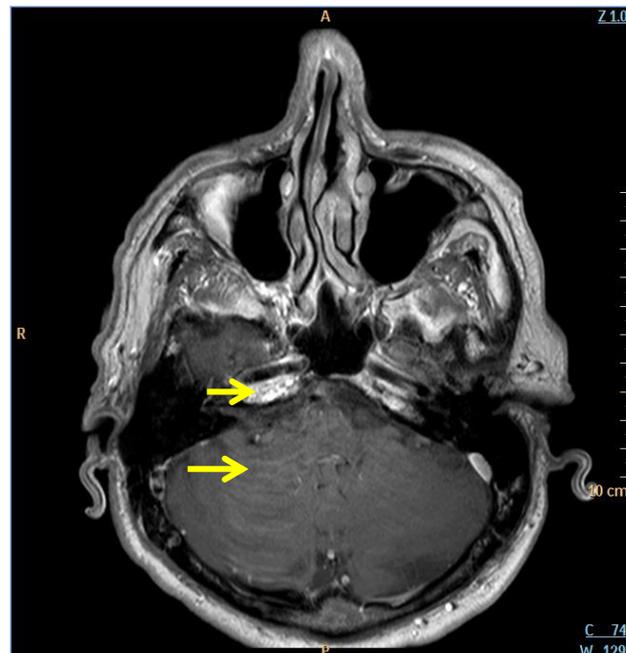


Artefato devido à técnica: parâmetros errados da sequência.



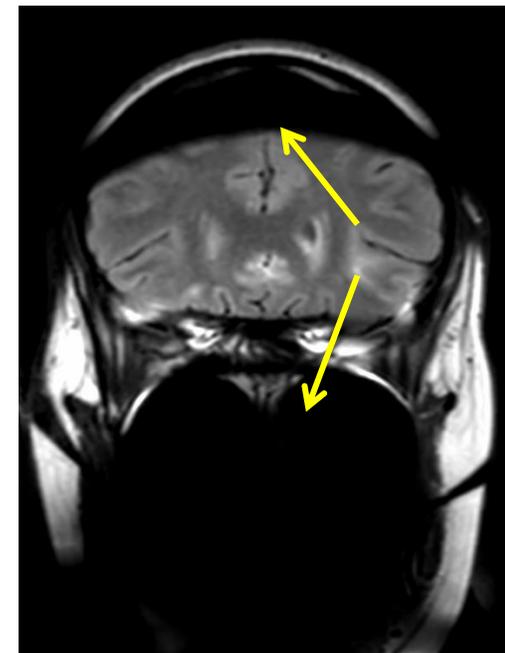
Artefato de "dobra de imagem": o nariz (fora do campo de visão) é projetado no centro da imagem!

Artefato devido ao paciente: fluxo sanguíneo nas artérias.



Artefato de fluxo: o sinal do sangue que flui nas artérias é propagado na direção da codificação de fase.

Artefato devido ao paciente: presença de aparelho ortodôntico.



Artefato de suscetibilidade: perda de sinal devido à presença de metal na boca (aparelho ortodôntico), perturbação do campo magnético se estende em grande parte para fora da boca.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

▶ [Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Vantagens e Desvantagens da RM



- Modalidade não ionizante adequada para exames de acompanhamento
- Excelente contraste de partes moles (ligamentos, tendões, músculos, substância cinzenta e substância branca cerebral...)
- Diferentes tipos de imagens de contraste disponíveis (sensíveis a líquidos, com supressão de gordura,...)
- Boa resolução de imagem, imagens 2D em qualquer orientação e imagens 3D possíveis
- Imagens anatômicas, mas também funcionais (difusão, perfusão, RMf, ERM...)



- Nem todos os implantes são permitidos no campo magnético
- Não adequado para pacientes claustrofóbicos (túnel maior disponível atualmente)
- Exames barulhentos e geralmente longos
- Mais caro que TC ou radiografia
- Requer bom conhecimento da técnica (otimização de sequência e mitigação de artefatos)

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

▶ [Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Mensagens Finais



- A RM é uma modalidade de imagem não ionizante e não invasiva.
- Proporciona excelente contraste de partes moles e oferece informações anatômicas e funcionais únicas.
- Há algumas restrições ou contraindicações para pacientes com materiais ou dispositivos implantados.
- O magneto principal é usado para magnetizar os tecidos.
- A radiofrequência é aplicada para retirar a magnetização dos estados de equilíbrio.
- Gradientes são adicionados para codificar a origem espacial do sinal.
- Finalmente, o sinal adquirido requer uma transformada de Fourier para obter a imagem final.
- As imagens podem ser sensíveis ao relaxamento T1 e T2 dos tecidos ajustando adequadamente TE e TR da sequência.
- Dois tipos principais de sequências são as sequências spin eco e gradiente eco.
- Agentes de contraste podem ser usados para melhorar a visualização da patologia; eles são principalmente à base de gadolínio.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência
Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências:
A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens
e Desvantagens](#)

▶ [Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Referências



Excelentes sites para entender a técnica de ressonância magnética e todas as questões relacionadas :

- <https://www.imaaios.com/en/e-mri>
- <https://mriquestions.com/index.html>

MRI safety :

A Practical Guide to MR Imaging Safety: What Radiologists Need to Know

Leo L. Tsai, Aaron K. Grant, Koenraad J. Mortele, Justin W. Kung, and Martin P. Smith

RadioGraphics 2015 35:6, 1722-1737

MRI physics :

Plewes, D.B. and Kucharczyk, W. (2012), Physics of MRI: A primer. J. Magn. Reson. Imaging, 35: 1038-

1054. <https://doi.org/10.1002/jmri.23642>

Sequences:

Jung, B.A. and Weigel, M. (2013), Spin echo magnetic resonance imaging. J. Magn. Reson. Imaging, 37: 805-

817. <https://doi.org/10.1002/jmri.24068>

MR Pulse Sequences: What Every Radiologist Wants to Know but Is Afraid to Ask

Richard Bitar, General Leung, Richard Perng, Sameh Tadros, Alan R. Moody, Josee Sarrazin, Caitlin McGregor, Monique

Christakis, Sean Symons, Andrew Nelson, and Timothy P. Roberts

RadioGraphics 2006 26:2, 513-537

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência
Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências:
A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens
e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

▶ [Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)



Teste Seus Conhecimentos



Quais das seguintes afirmações são corretas?

1- Alguns objetos serão atraídos por uma força incontrolável para o interior do scanner de RM devido ao campo magnético principal; estes são:

- a) Objetos ferromagnéticos (ferro, níquel, cobalto e suas ligas)
- b) Objetos metálicos (todos que são eletricamente condutores)
- c) All medical implants without exception

2- Qual elemento do sistema de RM permite codificar a origem espacial do sinal emitido:

- a) Magneto principal
- b) Radiofrequência
- c) Gradients x,y,z

3- A magnetização dos tecidos ocorre quando:

- a) A sequência de RM está começando
- b) O sujeito recebe a onda de radiofrequência
- c) O sujeito está deitado na mesa dentro do túnel do scanner

4- O tempo de eco TE é o tempo entre:

- a) O pulso de excitação de RF e o pulso de refasamento de RF na sequência spin eco
- b) O pulso de excitação de RF e a emissão de eco na sequência gradiente eco
- c) Dois pulsos consecutivos de excitação de RF

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

▶ [Teste Seus Conhecimentos](#)



Teste Seus Conhecimentos



Quais das seguintes afirmações são corretas?

=> **RESPOSTAS**

1- 1- Alguns objetos serão atraídos por uma força incontrolável para o interior do scanner de RM devido ao campo magnético princíp:

- a) **Objetos ferromagnéticos (ferro, níquel, cobalto e suas ligas)**
- b) Objetos metálicos (todos que são eletricamente condutores)
- c) All medical implants without exception

2- Qual elemento do sistema de RM permite codificar a origem espacial do sinal emitido:

- a) Magneto principal
- b) Radiofrequência
- c) **Gradients x,y,z**

3- A magnetização dos tecidos ocorre quando:

- a) A sequência de RM está começando
- b) O sujeito recebe a onda de radiofrequência
- c) **O sujeito está deitado na mesa dentro do túnel do scanner**

4- O tempo de eco TE é o tempo entre:

- a) O pulso de excitação de RF e o pulso de refasamento de RF na sequência spin eco
- b) **O pulso de excitação de RF e a emissão de eco na sequência gradiente eco**
- c) Dois pulsos consecutivos de excitação de RF

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

▶ [Teste Seus Conhecimentos](#)



Teste Seus Conhecimentos



- 5- O tempo de repetição TR é o tempo entre:
- O pulso de excitação de RF e o pulso de refasamento de RF na sequência spin eco
 - O pulso de excitação de RF e a emissão de eco na sequência gradiente eco
 - Dois pulsos consecutivos de excitação de RF
- 6- O contraste ponderado em T1 é obtido com
- Um TE curto e um TR curto
 - Um TE longo e um TR curto
 - Um TE longo e um TR longo
- 7- Para uma imagem ponderada em T2, um TR longo é usado para que a magnetização volte ao seu estado inicial em equilíbrio entre cada pulso de RF sucessivo. Como deve ser o TE?
- TE curto
 - TE longo
 - TE deve ser igual a $TR/2$
- 8- Qual frase está correta:
- Um exame de RM é barato e rápido
 - Um exame de RM é longo e mais caro que a TC
 - Um exame de RM é muito silencioso
- 9- Com uma RM posso obter:
- Excelente contraste de tecidos moles, mas nenhuma outra informação
 - Imagens anatômicas, informações sobre difusão de água, parâmetros relacionados à ativação cerebral para tarefas motoras
 - Excelente contraste ósseo e má discriminação de tecidos moles

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

▶ [Teste Seus Conhecimentos](#)



Teste Seus Conhecimentos



=> RESPOSTAS

5- O tempo de repetição TR é o tempo entre:

- a) O pulso de excitação de RF e o pulso de refasamento de RF na sequência spin eco
- b) O pulso de excitação de RF e a emissão de eco na sequência gradiente eco
- c) **Dois pulsos consecutivos de excitação de RF**

6- O contraste ponderado em T1 é obtido com

- a) **Um TE curto e um TR curto**
- b) Um TE longo e um TR curto
- c) Um TE longo e um TR longo

7- Para uma imagem ponderada em T2, um TR longo é usado para que a magnetização volte ao seu estado inicial em equilíbrio entre cada pulso de RF sucessivo. Como deve ser o TE?

- a) TE curto
- b) **TE longo**
- c) TE deve ser igual a TR/2

8- Qual frase está correta:

- a) Um exame de RM é barato e rápido
- b) **Um exame de RM é longo e mais caro que a TC**
- c) Um exame de RM é muito silencioso

9- Com uma RM posso obter:

- a) Excelente contraste de tecidos moles, mas nenhuma outra informação
- b) **Imagens anatômicas, informações sobre difusão de água, parâmetros relacionados à ativação cerebral para tarefas motoras**
- c) Excelente contraste ósseo e má discriminação de tecidos moles

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências: A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

▶ [**Teste Seus Conhecimentos**](#)



Todo o material utilizado (incluindo propriedade intelectual e elementos de ilustração) é originário dos autores, ou os autores receberam autorização para utilizar o material por lei aplicável ou obtiveram uma licença transferível do detentor dos direitos autorais.

Conteúdo

[Sistema da RM](#)

[Princípio da RM](#)

[Sequência Spin Eco](#)

[Sequência
Gradiente Eco](#)

[Outras Sequências:
A Selva RM](#)

[Agentes de Contraste](#)

[Artefatos na RM](#)

[Vantagens
e Desvantagens](#)

[Mensagens Finais](#)

[Referências](#)

[Teste Seus Conhecimentos](#)