

Ressonância Magnética

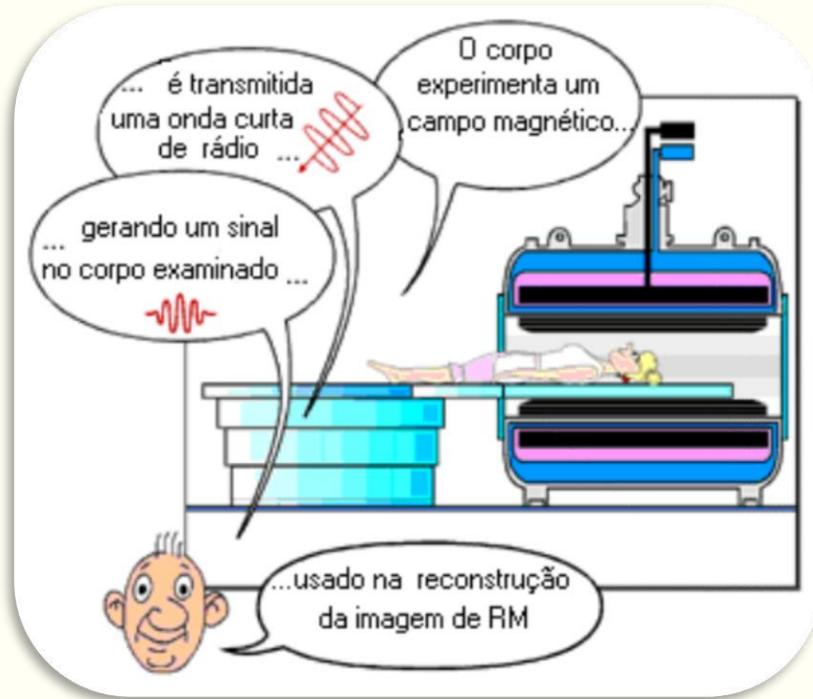
Prof. Luciano Santa Rita
tecnologo@lucianosantarita.pro.br
www.lucianosantarita.pro.br



Sumário

- Introdução e Histórico
- Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física)
- Estrutura do equipamento de RM
- Formação da imagem em RM e artefatos
- Segurança em RM e meios de contraste
- Ponderação da Imagem
- Exemplos de Protocolo para exame de RM
- Aplicações com RM (Angio-RM, RM das Mamas e Avanços em Neuroimagem)

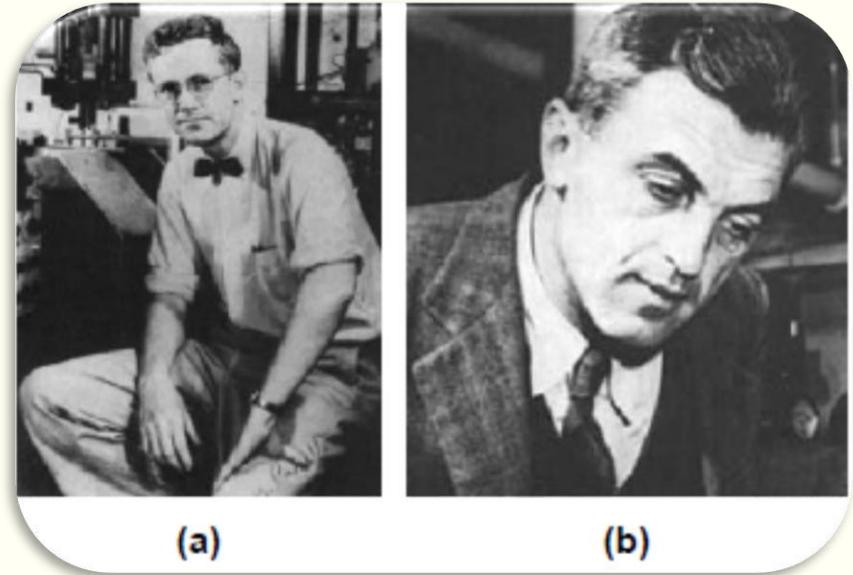
Resumo do estudo da Ressonância



- O exame de Ressonância Magnética Nuclear pode ser resumido através da seguinte sequência de procedimentos:
 - o paciente é submetido a um campo magnético intenso;
 - uma onda de radiofrequência incide no paciente;
 - a onda de radiofrequência é desligada;
 - o paciente emite um sinal que é usado para
 - a reconstrução da imagem.
- *O que acontece quando o paciente é colocado no campo magnético gerado pelo equipamento de Ressonância Magnética?*

Introdução e histórico

- Desde o início da década de 1920 já se realizavam estudos sobre a propriedade magnética dos núcleos atômicos.
- Os primeiros dados foram apresentados por Felix Bloch e Edward Purcell em 1946. Ambos trabalhavam separadamente nos Estados Unidos na realização de experimentos para verificar como os átomos, e em especial, os prótons presentes no núcleo, respondiam sob a ação de fortes campos magnéticos.
- Estas pesquisas deram origem ao espectrógrafo de ressonância magnética nuclear.



Purcell (a) e Bloch (b) ganharam juntos o prêmio Nobel em 1952.

Introdução e histórico

- A descoberta da ressonância magnética como um método de diagnóstico por imagem foi fruto das atividades de Raymond Damadian.
- No final os anos 60, trabalhando com ressonância magnética nuclear, Damadian verificou o fenômeno físico de núcleos atômicos emitindo ondas de rádio em frequências previsíveis quando sujeitos a forte campo magnético.
- Fazendo experimentos em ratos com câncer, Damadian verificou que sinais emitidos pelas células saudáveis eram diferentes dos sinais das células doentes.
- Esta diferença inspirou-o a inventar um equipamento e o método de ressonância magnética nuclear que fosse seguro e preciso para avaliar o corpo humano.
- Hoje em dia o método é conhecido como imagem por ressonância magnética (MRI ou IRM).

Introdução e histórico

- O primeiro ressonador magnético foi patenteado por Damadian em 1972 e usava hélio líquido para refrigerar os magnetos dispostos numa câmara cilíndrica.
- Em 1977 Damadian e sua equipe produziram com sucesso o primeiro equipamento de MRI do corpo humano, a partir de um protótipo chamado de "Indomitable" (persistente).
- No dia 3 de Julho de 1977 foi produzida a primeira imagem do corpo humano: o tórax do Dr. Lawrence Minkoff, um dos colaboradores de Damadian.



Damadian e sua equipe ao lado do primeiro MRI, o "Indomitable".

Introdução e histórico

- A imagem radiológica envolve a interação dos raios X com os elétrons que circundam os núcleos dos átomos, enquanto a imagem por ressonância magnética envolve a interação de *ondas de rádio* e *campos magnéticos* estáticos apenas com os núcleos dos átomos.
- No entanto, nem todos os *núcleos de átomos* respondem aos campos magnéticos. Apenas os núcleos dos elementos químicos que são constituídos por um número ímpar de prótons ou nêutrons servem para a ressonância magnética, por possuírem spin diferente de zero.
- Isto se deve ao fato que tanto os prótons quanto os elétrons possuem carga elétrica. Por estarem sempre girando (movimento conhecido pela palavra inglesa *spin*), essa carga elétrica cria um campo elétrico variável.
- E todo campo elétrico variável está associado um campo magnético também variável. Isso faz com que o próton tenha comportamento de um ímã.

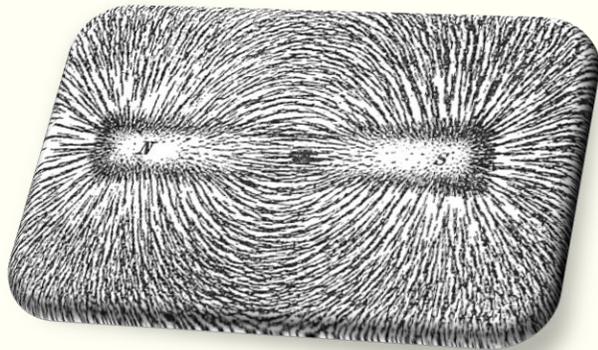
Introdução e histórico

- A tabela ao lado, relaciona os elementos químicos mais interessantes para a utilização na ressonância magnética.
- Embora outros tantos ainda possam ser influenciados por um campo magnético, as imagens de ressonância são produzidas a partir da interação do núcleo de hidrogênio.
- Este átomo foi escolhido pela sua abundância no corpo humano (na forma de água - H₂O)

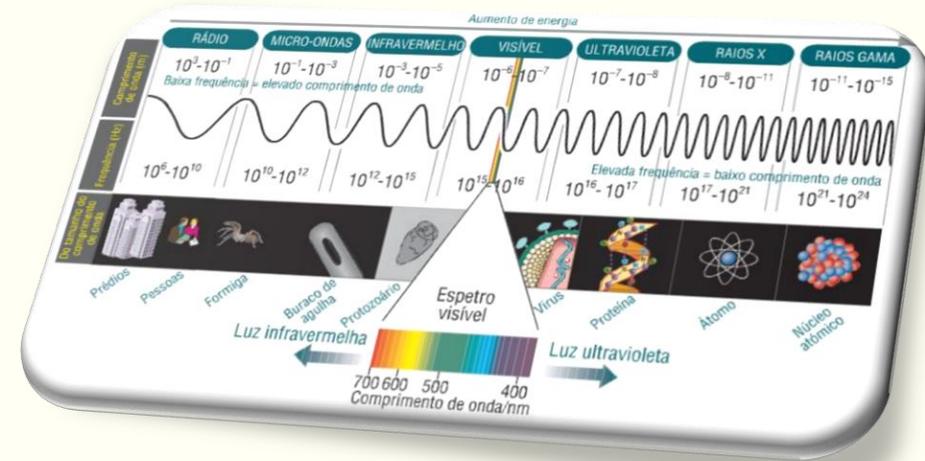
Núcleos adequados para Ressonância Magnética	
¹ ₁ H	Hidrogênio
¹³ ₆ C	Carbono
¹⁴ ₇ N	Nitrogênio
¹⁷ ₈ O	Oxigênio
¹⁹ ₉ F	Flúor
²³ ₁₁ Na	Sódio
³¹ ₁₅ P	Fósforo
³⁹ ₁₉ K	Potássio

Introdução e histórico

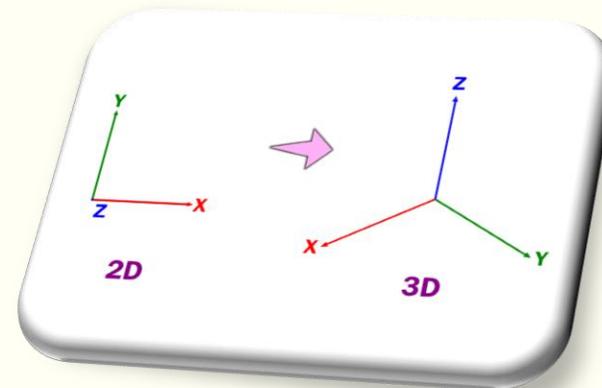
- *Campo Magnético ?*
- *Linhas de campo ou indução?*
- *Imãs e dipolos magnéticos?*
- *Espectro eletromagnético?*
- *Grandeza vetorial?*



<https://pt.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-field-current-carrying-wire/a/what-are-magnetic-fields>



<http://andre-godinho-cfq-8a.blogspot.com/2013/06/espectro-eletromagnetico.html>



<https://www.hardware.com.br/tutoriais/rudimentos-3d/>

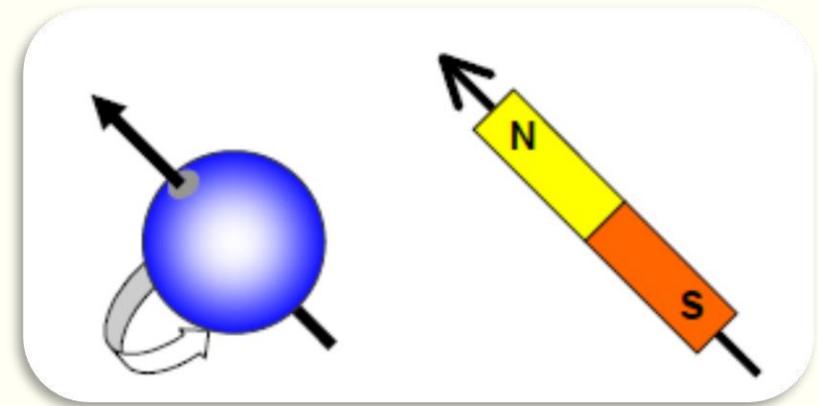
Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física)

- Conceito de magnetismo:
 - Na Física, magnetismo é conhecido como o fenômeno físico em que os materiais exercem forças, seja de atração ou repulsão, sobre outros materiais com os quais interagem.
 - Todos os materiais, alguns em maior grau e outros em menor recebem a influência de um campo magnético, os materiais **ferromagnéticos** são fortemente atraídos (ferro, cobalto e níquel), os **paramagnéticos** são fracamente atraídos ou não são atraídos (magnésio e alumínio) e os **diamagnéticos** que não são atraído e sim repelidos sob ação de um campo magnético (bismuto, cobre e prata).



Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física)

- As partículas elétricas, prótons e elétrons, possuem um movimento giratório em torno do próprio eixo (*Spin*). Ou seja, os prótons giram como se fossem planetas.
- Este movimento acaba por fazer com que os elétrons e prótons transformem-se em pequenos ímãs, conhecidos por dipolos.
- Como o campo magnético possui um ponto de início ou saída, polo norte, e um ponto de fim ou entrada, polo sul, ele é comumente representado por uma seta, dando a direção e o sentido do ímã.



Prótons giram como se fossem pequenos planetas e criam seu próprio campo magnético.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física)

- O segredo da imagem por ressonância magnética está no fato de um corpo magnetizado precessar ao redor de um forte campo magnético estático (sem alteração).
- Este fenômeno de *precessão* ocorre sempre que uma força externa age sobre um objeto em rotação.
- A velocidade desta precessão aumenta com o incremento da força do campo magnético. Assim, um próton sob a ação de um campo de 2 Tesla precessa mais rápido que o próton no campo de 1 Tesla.



Exemplos de movimentos de precessão realizado por 3 corpos: pião, Terra e próton.

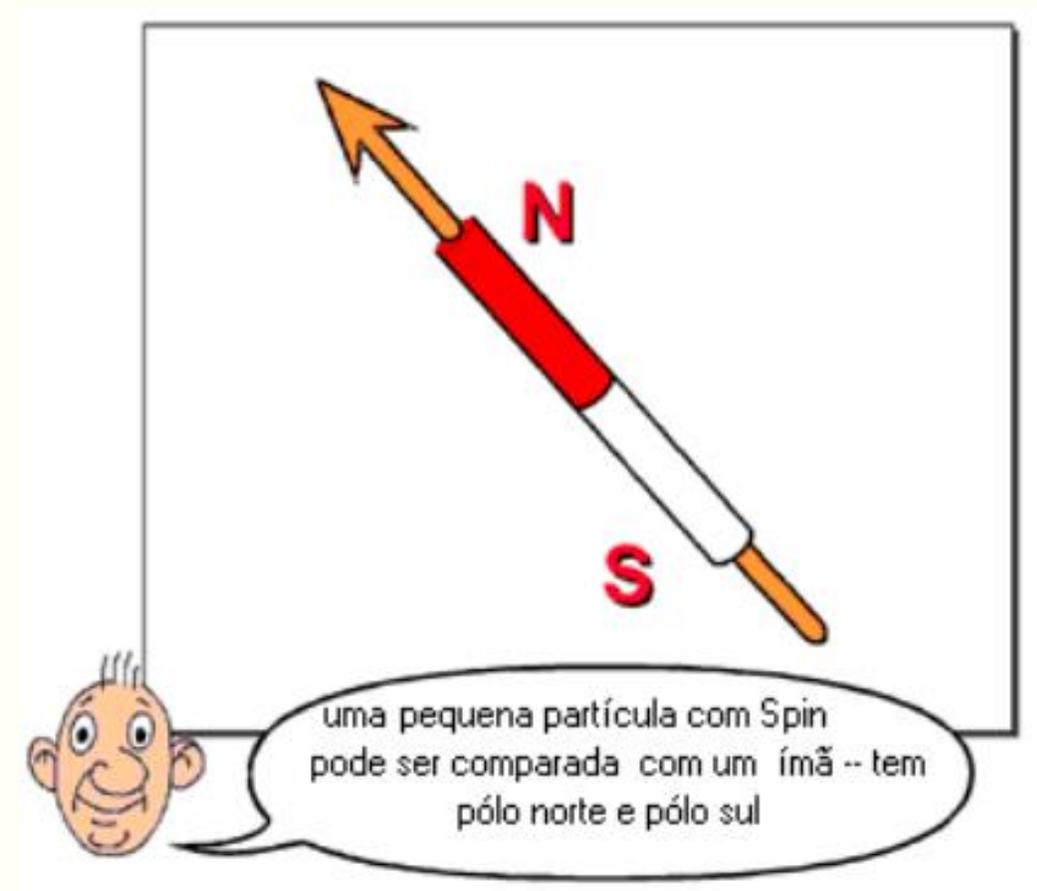
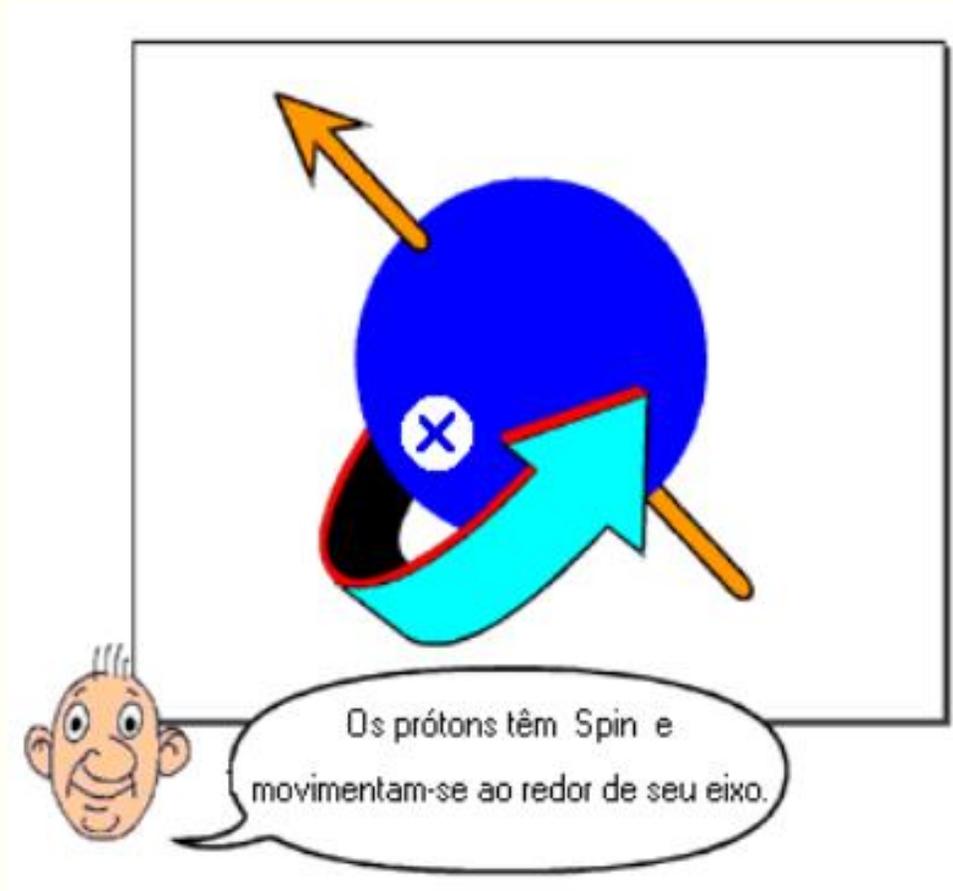
*Campo magnético da terra :
0,3 – 0,6 G (gauss)*

1T (tesla) = 1x10⁴G

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (Mas o que acontece quando cargas elétricas se movimentam?)

- O movimento de cargas elétricas gera uma corrente elétrica. Por outro lado, a corrente elétrica cria ao seu redor uma força magnética ou um campo magnético. Assim, sempre que haja uma corrente elétrica, haverá um campo magnético!

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (Mas o que acontece quando cargas elétricas se movimentam?)

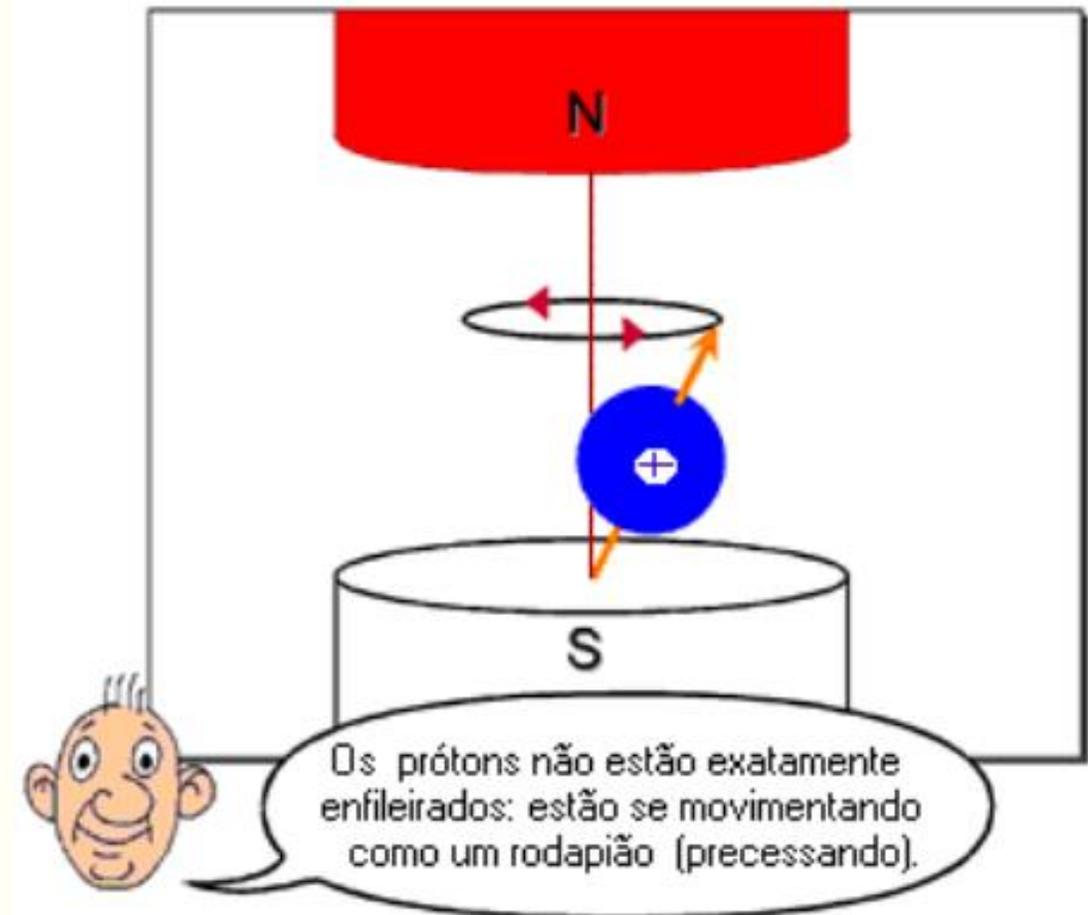
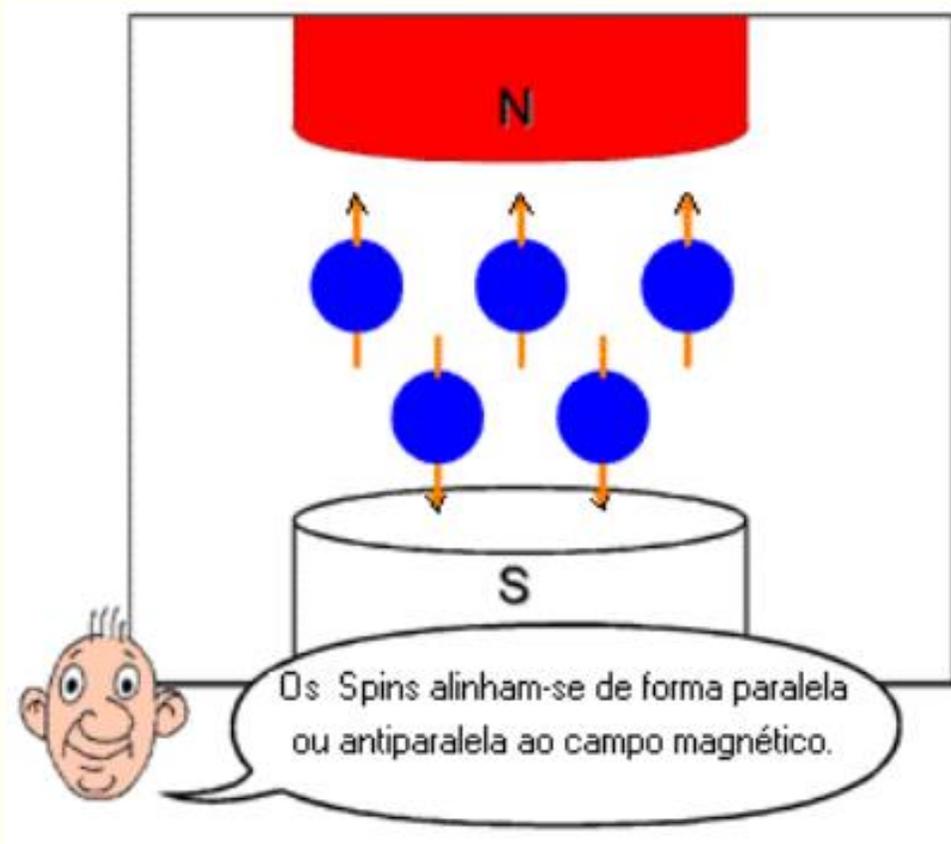


Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM

(O que acontece com os prótons se submetidos a um campo magnético externo?)

- Os prótons agem como pequenos ímãs - alinham-se espontaneamente ao longo das linhas de força do campo magnético externo
- Os prótons, no entanto, podem orientar seus momentos magnéticos em duas direções: em direção ao campo magnético externo (paralelamente) ou em direção contrária (antiparalelamente)
- A orientação paralela é a de menor energia potencial e, portanto, representa a situação mais estável. Na orientação antiparalela os prótons encontram-se num estado excitado possuindo uma maior energia potencial, superior à energia do estado paralelo.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (O que acontece com os prótons se submetidos a um campo magnético externo?)



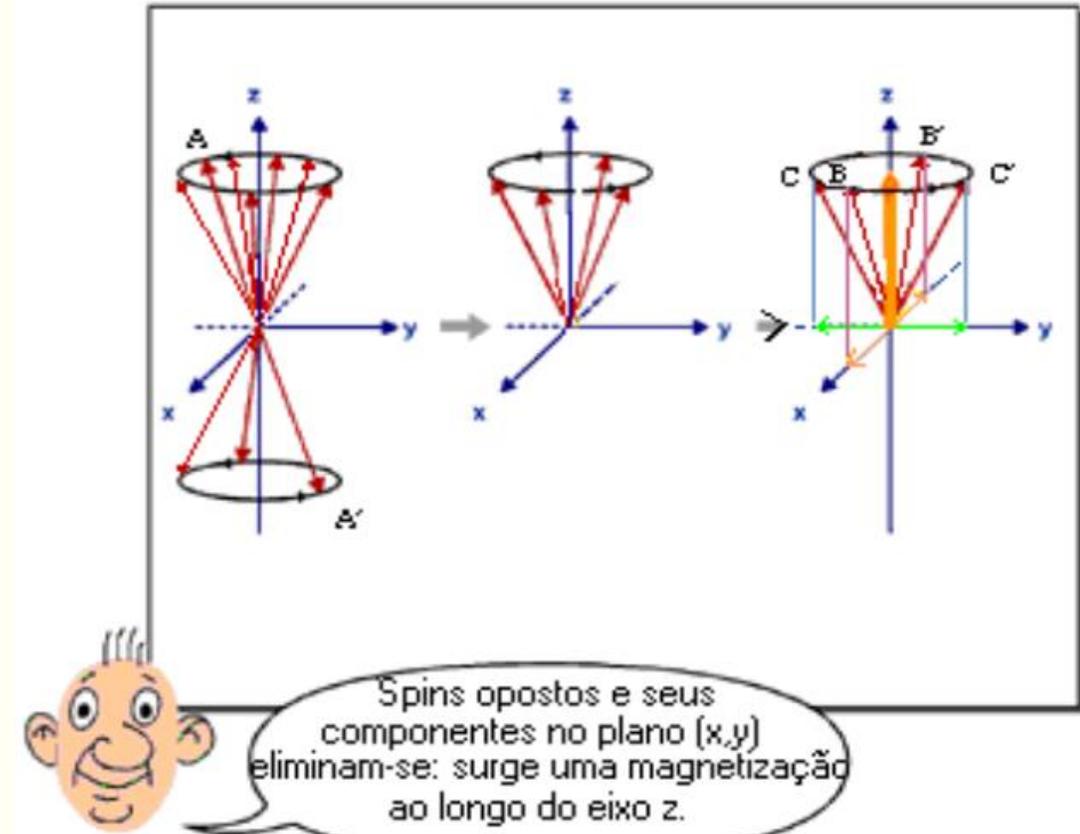
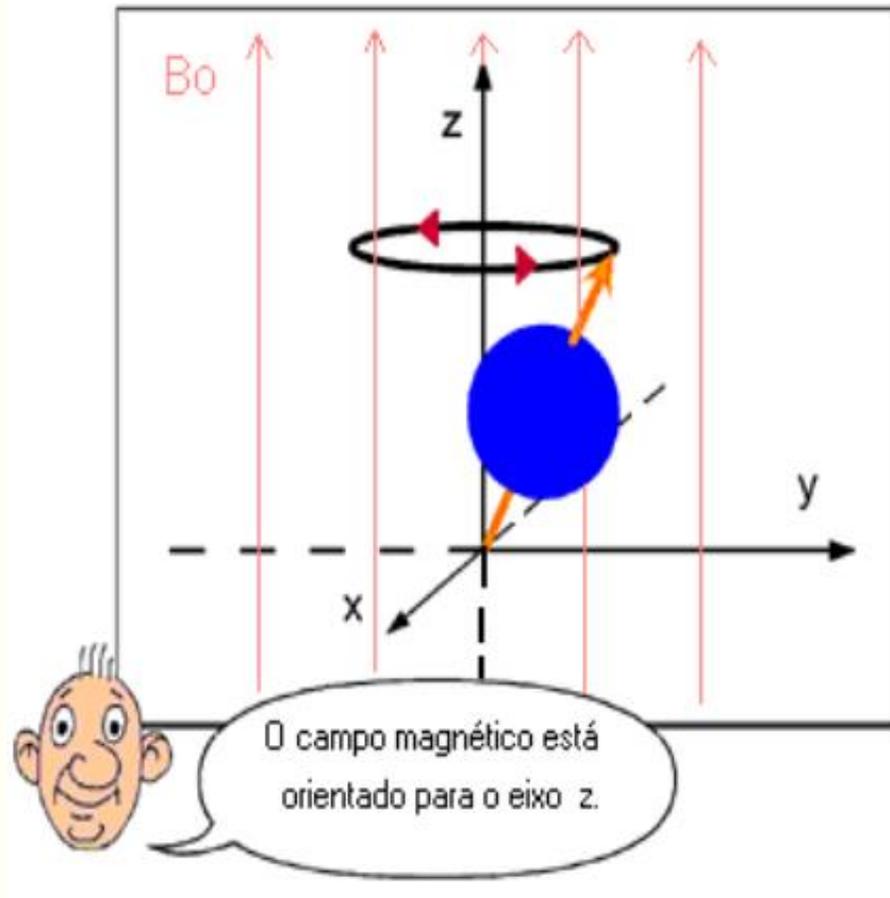
Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM

(O que acontece com os prótons se submetidos a um campo magnético externo?)

- Os prótons escolherão a orientação que exija menor energia potencial; assim uma maior quantidade de prótons ocupará o nível mais baixo de energia, isto é, terão seus momentos magnéticos orientados em direção ao campo magnético.
- Para 10^7 prótons antiparalelos, por exemplo, haverá $10^7 + 7$ prótons paralelos ao campo magnético e são justamente estes 7 prótons móveis que têm grande importância na técnica de Ressonância Magnética.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM

(Descrição do comportamento dos prótons submetidos a um campo magnético.)



Lembrar que na orientação paralela a mais prótons que na antiparalela (A e A')

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM

(Descrição do comportamento dos prótons submetidos a um campo magnético.)

- Colocando um paciente no campo magnético de uma unidade de Ressonância Magnética, o próprio paciente transforma-se num ímã, isto é, adquire um campo magnético próprio. Nele, os vetores dos prótons que não se cancelam entre si, somam-se. E por estar essa magnetização direcionada ao longo do campo magnético externo é denominada de magnetização longitudinal.
- Porém a força magnética paralela ao campo magnético externo não pode ser medida! Somente uma magnetização perpendicular à direção do campo magnético pode ser medida.
- Fazendo-se a excitação dos prótons, isto é, fornecendo energia ao movimento precessional dos prótons, a fim de que procedam à mudança da direção da magnetização gerada por meio de uma onda de radiofrequência.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física)

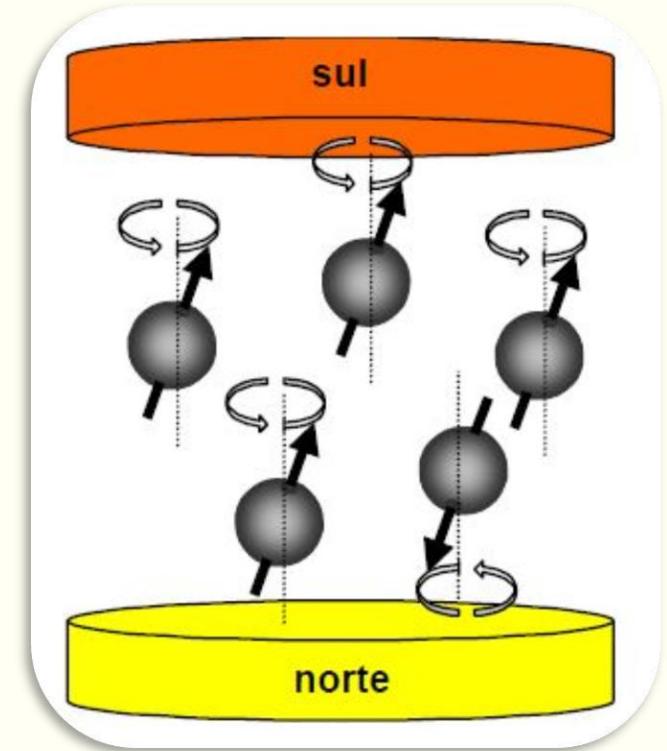
- A frequência de precessão está relacionada com a variação da intensidade do campo magnético aplicado por meio de uma constante chamada de *razão giromagnética*.
- A *equação de Larmor* estabelece a relação entre frequência de precessão e intensidade de campo magnético.
- Para o hidrogênio $\gamma = 42,5 \text{ MHz/T}$

$$\omega_0 = \gamma \cdot B$$

Frequência de precessão → ω_0

Razão giromagnética → γ

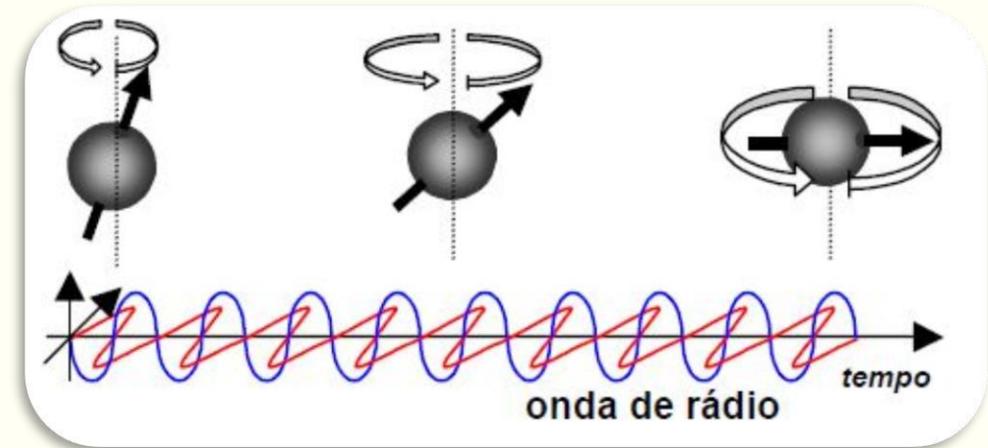
Intensidade de campo magnético em Tesla → B



Os prótons além do alinhamento, também precessam na presença de um campo magnético intenso.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – A emissão de ondas de rádio

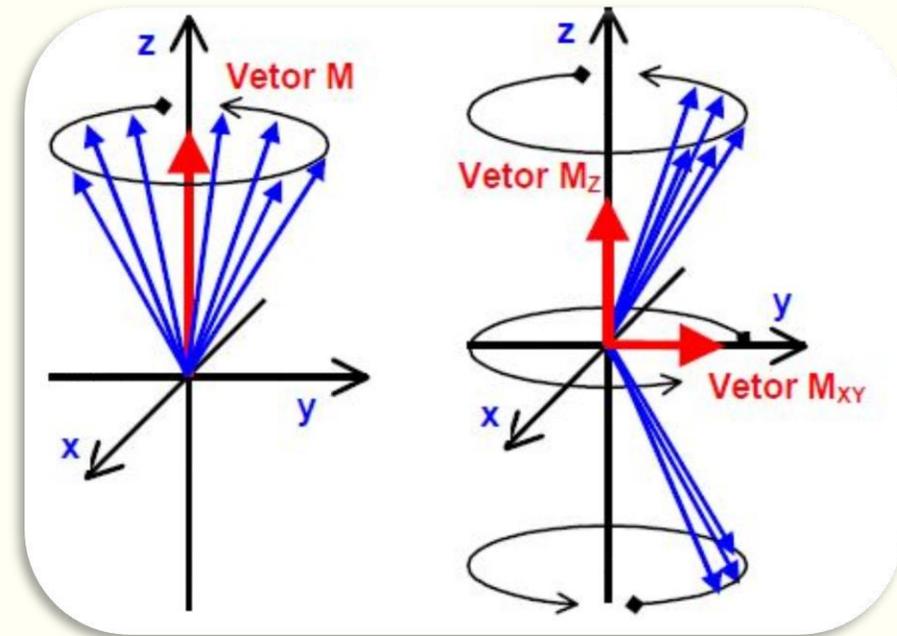
- A precessão dos prótons no paciente pode ser ainda mais alterada por ondas de rádio.
- A onda de rádio (ondas eletromagnéticas) causa aumento do ângulo de precessão do próton.
- São essas ondas, ou mais especificamente, seus campos magnéticos que estarão em *ressonância* com os prótons.
- Por ser esta ressonância causada por interações magnéticas, este tipo de exame é chamado de RESSONÂNCIA MAGNÉTICA.



À medida que a onda de rádio interage com a partícula (maior tempo), essa aumenta sua velocidade de precessão, o que implica na inclinação, cada vez maior, do eixo de rotação.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – A emissão de ondas de rádio

- Esta ressonância magnética não ocorre apenas com um único próton, mas com um grande número deles.
- Assim, cada próton contribui com seu dipolo para gerar um vetor de magnetização resultante, *conhecido como M* , que irá indicar o comportamento médio de todos os prótons de uma determinada região do corpo.
- Este vetor magnetização será o responsável pela geração da imagem, no momento em que ele recebe a energia proveniente da onda eletromagnética gerada pela bobina.

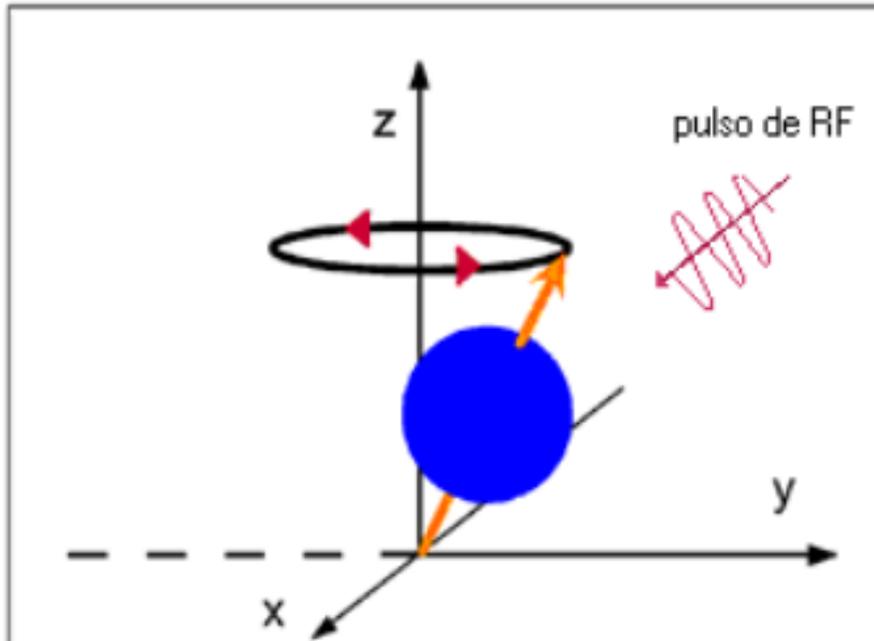


Um conjunto de prótons, representados pelos vetores de magnetização, alteram sua precessão ao receberem a energia de uma onda eletromagnética. A componente longitudinal (eixo z) diminui seu valor e aparece uma componente transversal (eixo y).

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM

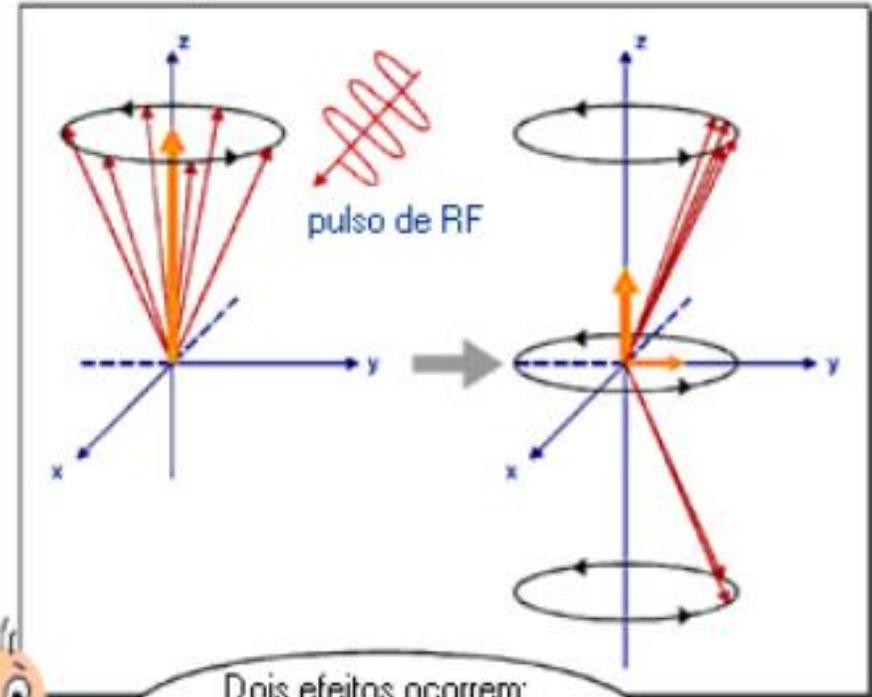
O que acontece com os prótons expostos a estes pulsos de radiofrequência?)

O campo magnético está orientado para o eixo z



O que acontece quando um pulso de RF é emitido?

Quando um pulso curto de RF é emitido ...



Dois efeitos ocorrem: magnetização longitudinal e magnetização transversal.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Conceito de ressonância

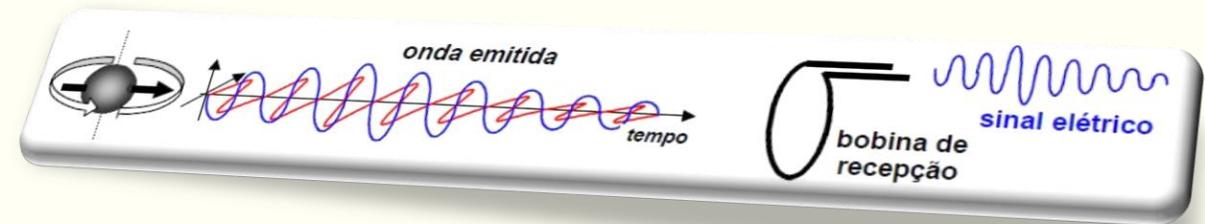
- A escolha da radiofrequência a ser utilizada para afetar a precessão dos prótons depende da velocidade de precessão em que o próton já esteja girando para que o valor escolhido seja o adequado para entrar em ressonância com os prótons.
- Assim, o princípio de ressonância explica por que utilizamos ondas de radiofrequência aplicadas em pulsos para imagens por ressonância magnética.
- As ondas de rádio, que se encontram na faixa de 1 a 100 MHz, estão em ressonância com os prótons em precessão.



Quando empurramos o balanço no momento de máxima altura, entramos em ressonância com ele.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Recebimento do sinal de ressonância

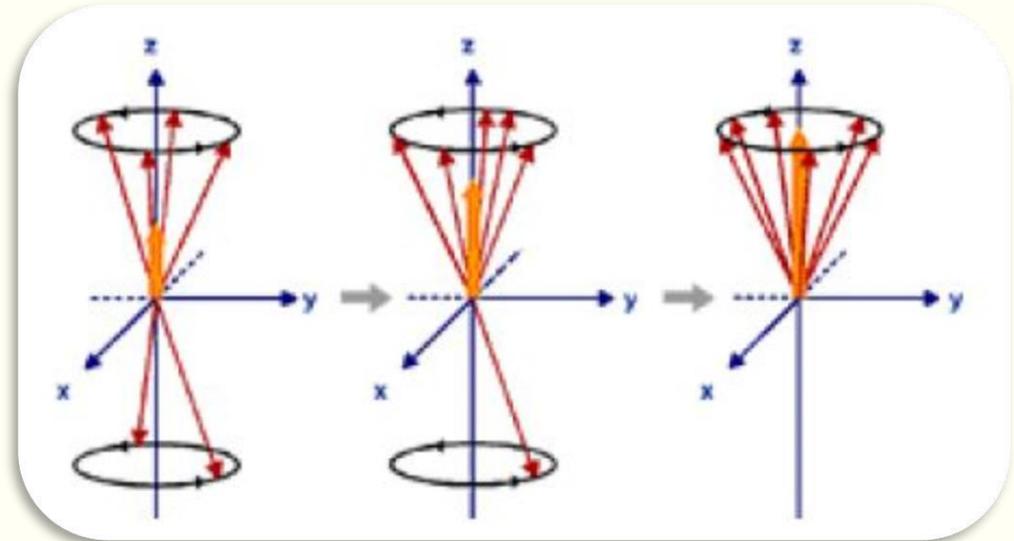
- O próton é um pequeno magneto que ao girar, emite ou cria ondas eletromagnéticas.
- Estas ondas emitidas de prótons dentro do tecido humano são captadas por uma bobina receptora durante a fase de recepção do processo de ressonância magnética.
- Este sinal elétrico obtido na bobina receptora é enviado a um computador que utilizará técnicas matemáticas semelhantes a da TC para reconstruir a imagem do paciente.



Geração do sinal de ressonância magnética

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Relaxamento

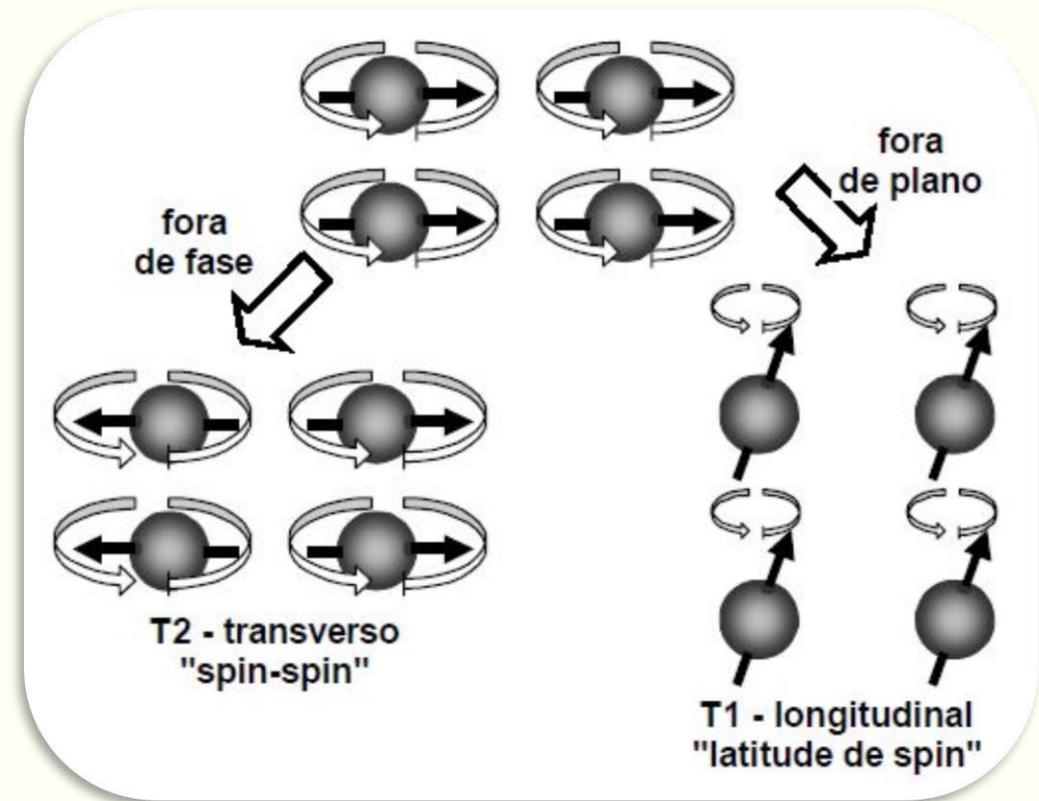
- Quando o pulso de ressonância que foi enviado ao próton cessa, todos os prótons estão em precessão juntos e em fase.
- Assim que o pulso de radiofrequência é desligado, os prótons começam a retornar a uma configuração mais aleatória em um processo chamado de *relaxamento*.
- Como o termo indica, os prótons tendem a procurar um estado de menor energia, um estado mais relaxado.
- À medida que as partículas relaxam, o sinal de ressonância enviado pelos prótons em precessão diminui.



Cessado o pulso de RF, os prótons tendem a voltar ao seu estado natural, aumentando a componente longitudinal e eliminando a componente transversal.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Relaxamento

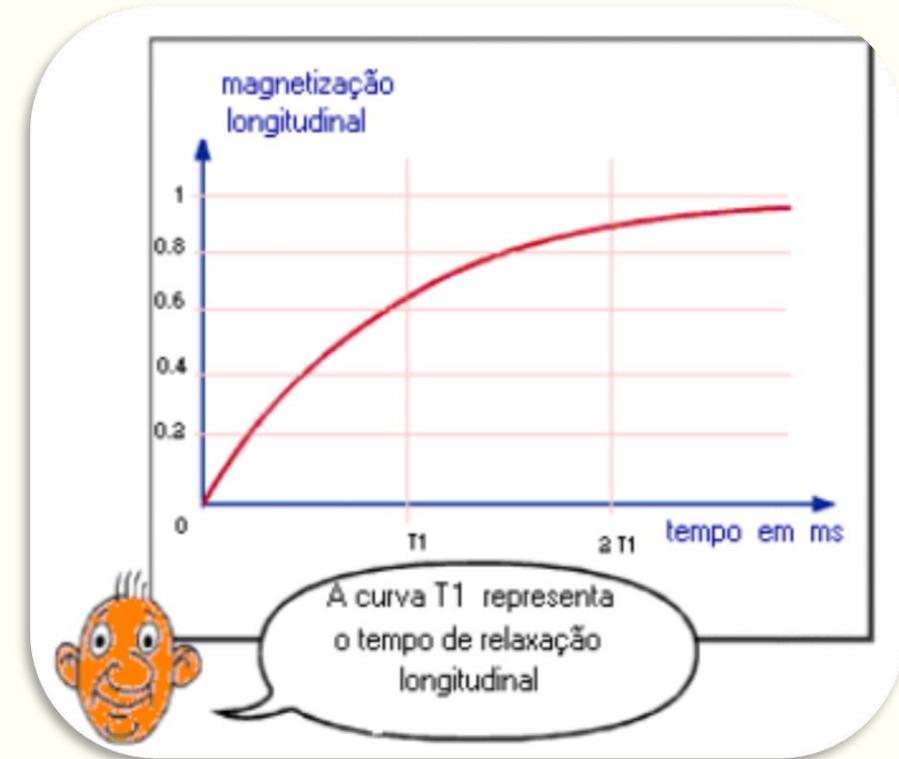
- A velocidade de relaxamento fornece-nos informação sobre o tecido normal e sobre processos patológicos nos tecidos.
- Assim, podemos dizer que é o tempo de relaxamento o responsável pela imagem que visualizamos do paciente.
- O relaxamento é dividido em dois tipos, denominados *relaxamento T1* e *relaxamento T2*.
- A letra significa tempo, pois é o tempo de duração ou de alteração do vetor MZ e MXY que é calculado em cada um dos relaxamentos.



Relaxamento T1 e T2.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Relaxamento T1

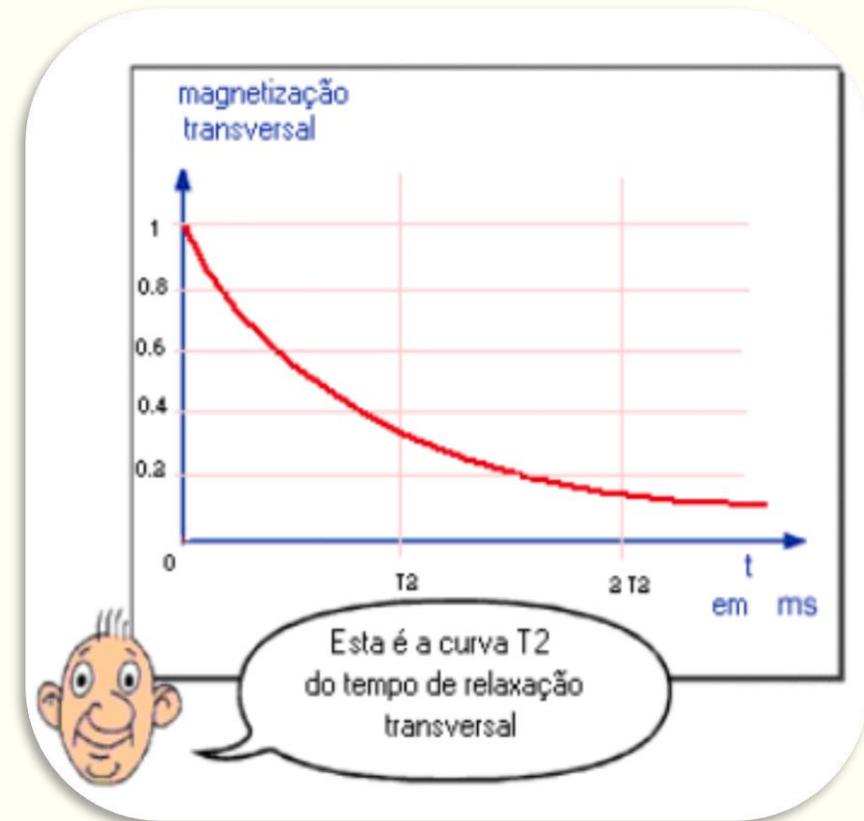
- Esta categoria de relaxamento ocorre quando as rotações começam a precessão em ângulos cada vez menores, isto é, de uma precessão quase horizontal ou transversa a uma mais vertical.
- Uma vez que o pulso de radiofrequência é desligado, os prótons retornam do estado de maior energia (excitado) para seu estado fundamental, de menor energia. O tempo necessário para que a magnetização longitudinal recupere seu valor inicial é descrito através do tempo de relaxação longitudinal, chamado de T1.



Relaxamento T1 (longitudinal ou latitude de spin).

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Relaxamento T1

- Quando as rotações começam a precessão fora de fase entre si, o resultado é denominado relaxamento tipo transversal ou spin-spin.
- Após o pulso de radiofrequência ser desligado, os prótons deixam de se movimentar de forma sincrônica, mantendo a coerência de fase. De forma análoga à magnetização longitudinal, podemos representar num gráfico a relação da magnetização transversal em função do tempo e obteremos uma curva decrescente chamada de curva T2.



Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM

(O que significa ter um longo ou curto tempo de relaxação? Que tipo de tecido apresenta um tempo maior ou menor de relaxação?)

- A água e os tecidos com alta concentração de líquidos possuem um longo T1 e T2.
- Neste sentido é interessante lembrar que tecidos patológicos possuem, geralmente, uma alta concentração de água em relação aos tecidos normais vizinhos; desta forma, tecidos patológicos poderão ser facilmente diferenciados por possuírem tempos de relaxação T1 e T2 relativamente mais longos que os dos tecidos sadios.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM

(Quais os parâmetros que influenciam T1 ?)

- O tempo de relaxação longitudinal - T1 depende da composição e estrutura do tecido alvo e de sua proximidade com outros tecidos. T1 tem a ver com a transferência de energia térmica dos prótons excitados ao seu redor - seu meio.
- Se este meio é um líquido puro, ou simplesmente água, a transferência de energia será dificultada devido à alta velocidade de movimentação das pequenas moléculas de água.
- Os prótons requerem um tempo maior para conseguir transferir sua energia ao meio e retornar ao seu estado de equilíbrio.
- A magnetização longitudinal precisará, então, de um tempo mais longo para recuperar seu valor inicial e isto significa que líquidos puros e água possuem tempos de relaxação longitudinal T1 longos.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM

(Quais os parâmetros que influenciam T2 ?)

- A relaxação transversal é produto da heterogeneidade presente no campo magnético externo e interno.
- As moléculas de água se movimentam rapidamente em meios líquidos e, assim, seus campos magnéticos mudam também rapidamente, não deixando se estabelecer uma grande diferença entre os campos magnéticos de um ponto para outro.
- Não havendo grande diferença na intensidade do campo magnético no meio, os prótons ficarão precessando juntos durante um tempo maior, em fase, o que fará com que o tempo de relaxação transversal T2 seja também maior.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Densidade de Spin

- Um sinal mais forte será recebido se a quantidade de núcleos hidrogênio presente em um determinado volume de tecido for maior.
- Entretanto, esta quantidade, denominada densidade de prótons ou densidade spin, tem influência limitada na imagem por ressonância magnética se comparada a forma como os núcleos que compõem diferentes tecidos no corpo respondem em diferentes velocidades de relaxamento, T1 e T2.
- Mas influi no sinal do equipamento de RM quando ajustado para obter uma imagem ponderada em T1 ou em T2.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Gradiente de campo magnético

- Quando um paciente é colocado na unidade de Ressonância Magnética ele experimenta um campo magnético que além de intenso é bastante homogêneo. Todos os prótons no corpo do paciente terão, então, a mesma frequência de Larmor e poderão ser perturbados pelos mesmos pulsos de radiofrequência.
- Os sinais emitidos por estes prótons, e registrados para a reconstrução da imagem, não poderão contribuir para especificar a localização exata dos tecidos estudados no organismo.
- Para selecionar uma determinada fatia tomográfica no paciente, um campo magnético gradiente (varia sua intensidade de forma linear em cada ponto) é superposto ao campo magnético externo.
- Este campo gradiente é produzido em bobinas especiais chamadas de bobinas gradiente e altera a intensidade do campo magnético originário ao longo do paciente.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Gradiente de campo magnético

- O uso de *gradientes* em RM é semelhante em vários aspectos ao uso de colimadores de raios X em tomografia computadorizada, em que é usada informação de cortes específicos de tecido irradiado para reconstruir a imagem tomográfica.
- Para entender melhor o método de reconstrução de imagem usado em RM, é necessário compreender o conceito de gradiente, ou uma *alteração da intensidade do campo magnético* através de uma determinada região ou "corte" de tecido corporal.
- O gradiente é *usado para obter informações de regiões ou cortes específicos* do tecido corporal.
- O conhecimento da localização exata da origem de sinais de RM recebidos do paciente permite que o computador reconstrua a imagem.

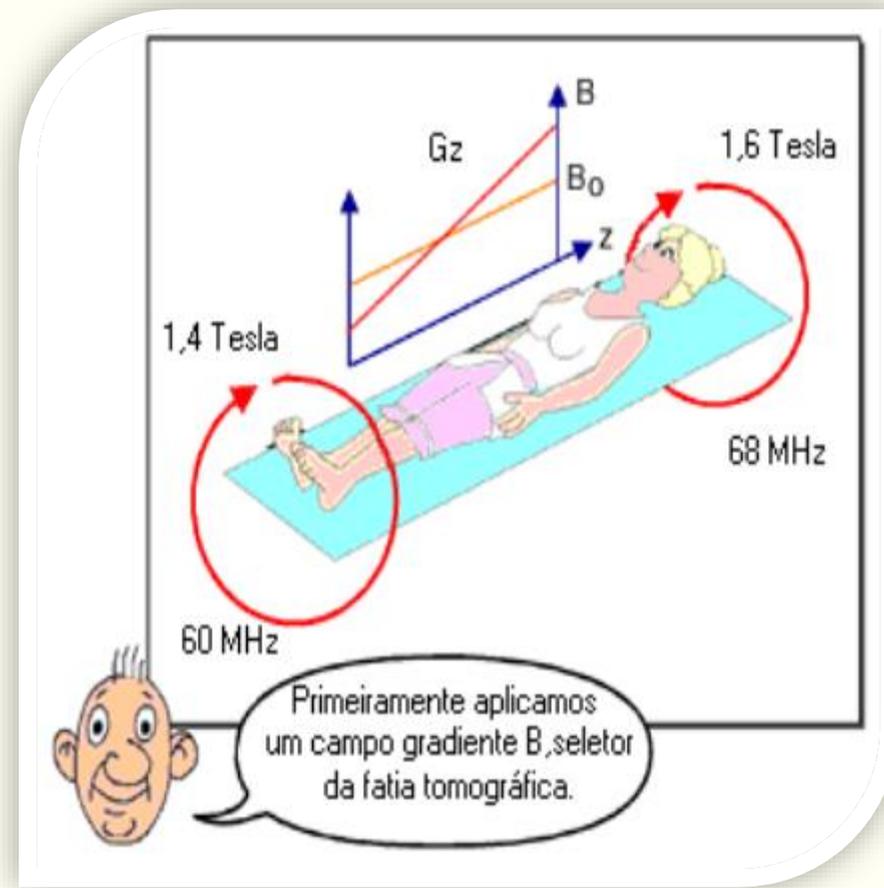
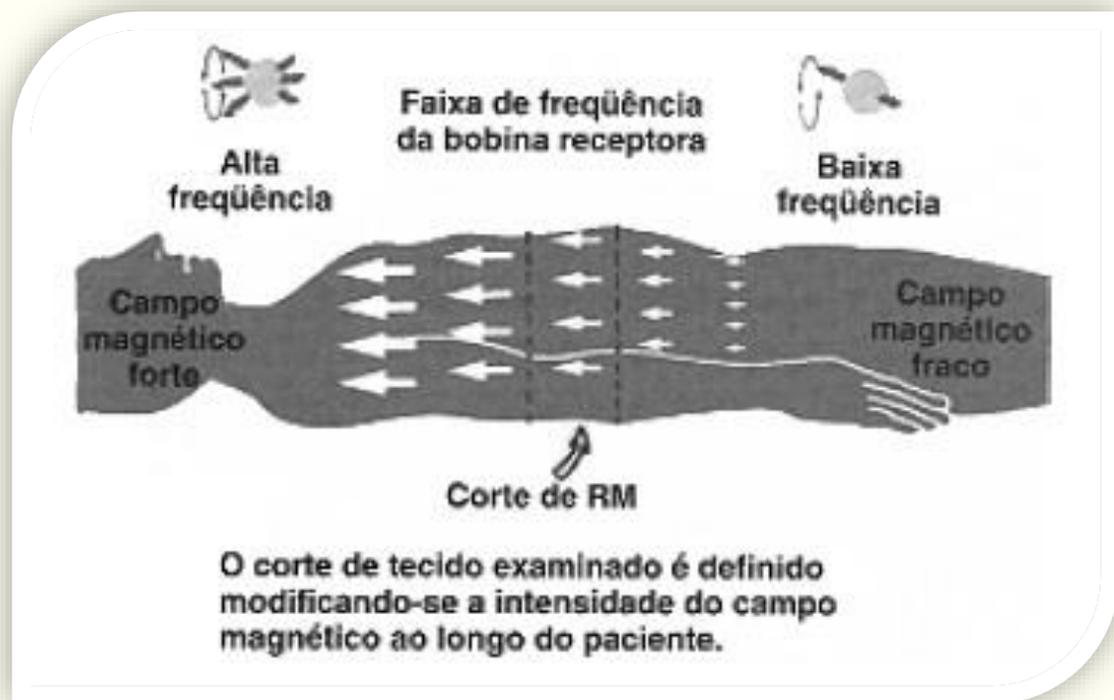
Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Gradiente de campo magnético

- A intensidade do campo magnético *determina* a velocidade de precessão dos núcleos.
- A velocidade de precessão *determina* o valor exato da radiofrequência que estará em ressonância com o núcleo.
- O sistema de RM *envia e recebe ondas de rádio* dos núcleos apenas quando aqueles núcleos estão em precessão com frequências iguais à das ondas de rádio, isto é, em frequência de ressonância.
- Assim, um sistema de RM *altera o gradiente ou a intensidade do campo magnético* através de determinada região ou corte do tecido corporal, de forma que o sistema receberá apenas o sinal de ressonância magnética dos núcleos em precessão dentro daquela região ou corte.
- O computador decodifica esta e outras informações, como densidade spin e relaxamento T1 e T2, podendo portanto, reconstruir a imagem.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Gradiente de campo magnético

- Os gradientes são *produzidos* por bobinas de gradiente localizadas dentro do orifício do magneto do sistema principal.
- Os gradientes são *muito mais fracos* que o campo magnético estático produzido pelo magneto do sistema de ressonância magnética principal.
- O gradiente *aumenta* a intensidade do campo magnético estático sobre algumas regiões do paciente e *diminui* a intensidade do campo estático sobre outras regiões.
- Como a *intensidade do campo magnético determina a frequência de precessão* dos prótons, esta por sua vez, determina a frequência do sinal de RM produzido naquela região.
- Assim, os gradientes fazem com que diferentes regiões do paciente produzam sinais de RM em frequências ligeiramente diferentes.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Gradiente de campo magnético



Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Gradiente de campo magnético

- Na figura do slide anterior, por exemplo, a intensidade do campo magnético gradiente G_z cresce ao longo do paciente, tendo valores de 1,4 Tesla nos pés e atingindo o valor de 1,6 Tesla na cabeça.
- Os prótons das diferentes fatias transversais, submetidos a este campo magnético resultante, experimentarão intensidades distintas e terão frequências de precessão bem definidas: de 60MHz nos pés e de 68 MHz na cabeça.
- Desta forma, com uma mesma frequência poderemos excitar seletivamente prótons que se encontram na mesma fatia e assim, selecionando o pulso de radiofrequência, será possível determinar a posição exata do corte ou a fatia tomográfica que queremos examinar.

Princípio de funcionamento de ressonância magnética - RM (abordagem física) – Gradiente de campo magnético

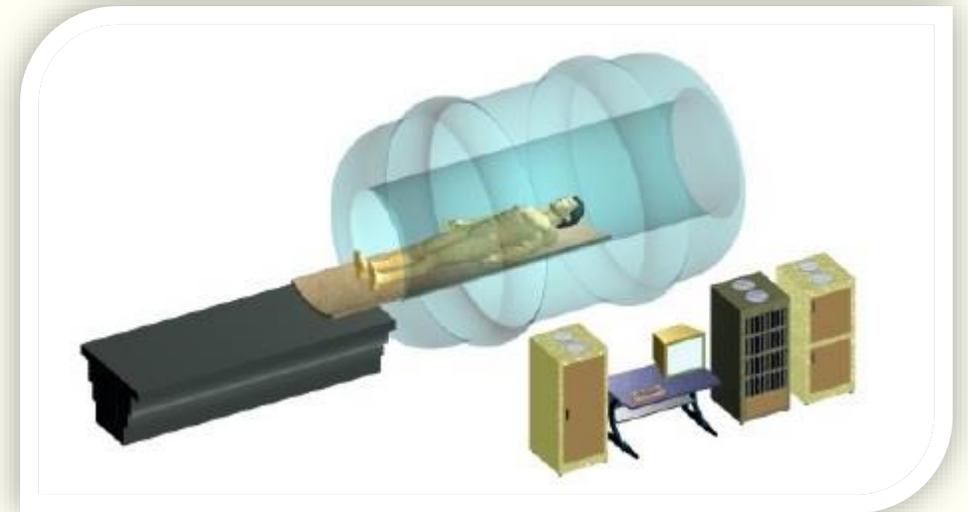
- Com a escolha de uma determinada frequência selecionamos a posição e espessura da fatia tomográfica a ser examinada. Mas como identificar o ponto na fatia, de onde foi emitido o sinal, que vai contribuir para a formação da imagem?
- Para discriminar estas frequências aplicamos um segundo campo gradiente G_y . A aplicação deste campo gradiente G_y obriga os prótons, localizados em cada uma determinada posição, a emitirem seus sinais com a mesma frequência.
- Verifica-se, portanto, uma discriminação das frequências em função da posição dos prótons; por este motivo o segundo campo magnético gradiente aplicado também é chamado de campo decodificador de frequência.
- Mas ainda não podemos identificar o local exato de onde o sinal partiu; teoricamente poderíamos introduzir um terceiro campo gradiente. Este problema pode ser solucionado se aplicarmos um campo gradiente G_x .

Estrutura do equipamento de ressonância magnética

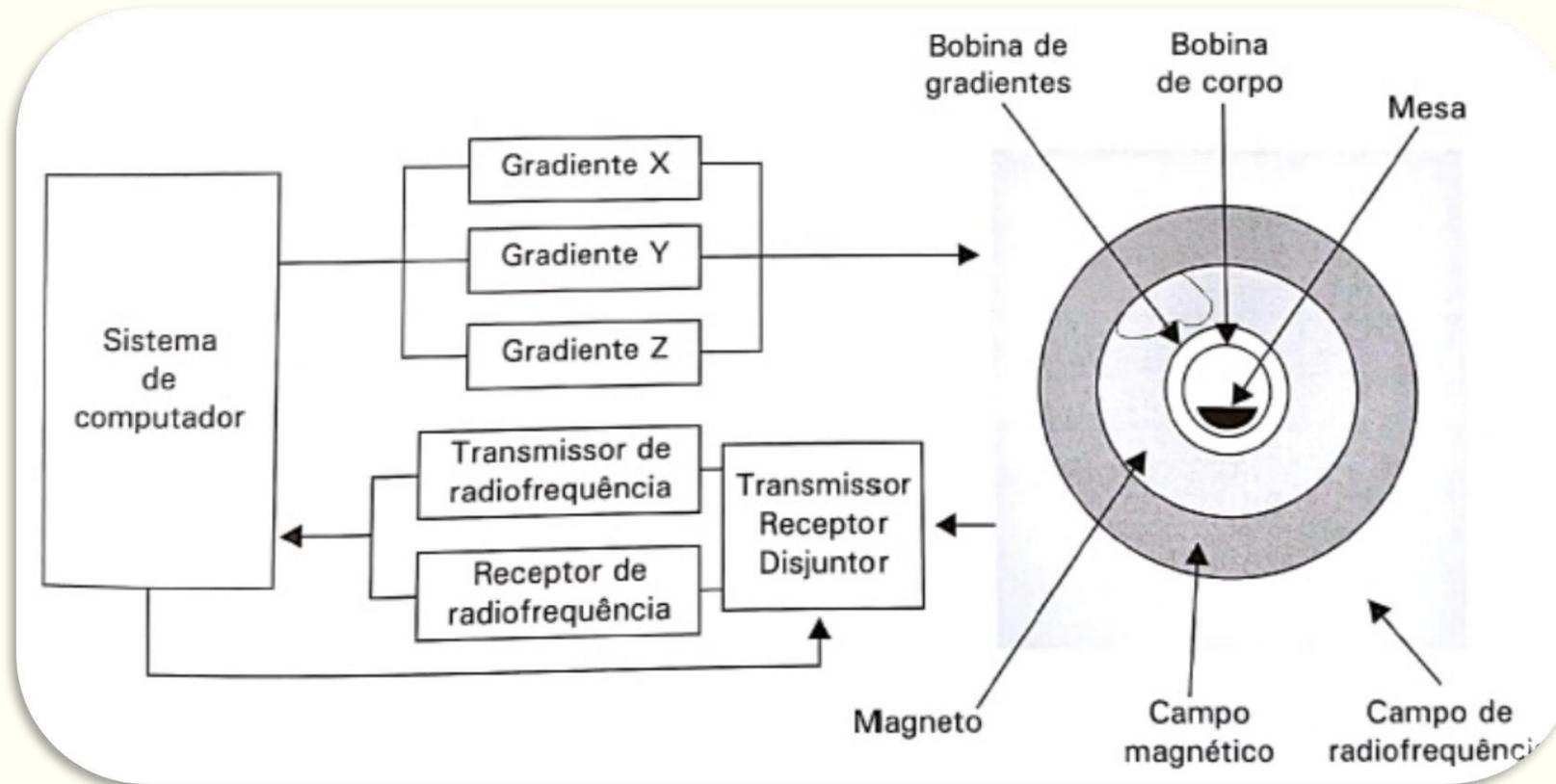
- A primeira vista, o aparelho de ressonância magnética é muito semelhante a um aparelho de tomografia computadorizada. A sala, os vários monitores, a mesa motorizada, o portal. Porém as semelhanças não passam do aspecto físico. Por trás daquele enorme portal, existe um sistema completamente diferente do TC.
- Em primeiro lugar, vale lembrar que a *RM não utiliza qualquer tipo de radiação ionizante*, o que quer dizer, que o exame de ressonância magnética não acarreta nenhum efeito radioinduzido ao paciente ou ao operador.
- Em segundo lugar, *não há partes móveis dentro do portal*, ou seja, não existem componentes que giram ao redor do paciente.
- E por fim, a *imagem é obtida através de uma sequência de ações onde o corpo humano participa ativamente*, ao contrário da forma passiva de atenuação dos raios X.

Estrutura do equipamento de ressonância magnética

- Um sistema de RM possui os seguintes componentes fundamentais para o seu funcionamento:
 - ❖ magneto,
 - ❖ Bobinas (gradiente e radiofrequência),
 - ❖ Sistemas controladores de envio e recebimento de RF e gradiente do campo magnético,
 - ❖ Estação de trabalho e mesa de exame.



Estrutura do equipamento de ressonância magnética



Componentes básicos de um sistema de ressonância magnética

Estrutura do equipamento de ressonância magnética - Magneto

- O componente mais visível e provavelmente mais discutido do sistema de RM é o *magneto*. O magneto produz o potente campo magnético estático (intensidade constante) ao redor do qual os prótons estão em precessão. Atualmente, há três tipos de magnetos no sistema de RM. Os magnetos dos equipamentos de RM são classificados em:
 - ❖ Resistivos (campos magnéticos $< 0,5T$);
 - ❖ Permanentes (campos magnéticos $< 0,5T$);
 - ❖ Supercondutores (campos magnéticos de até $3T$ ou mais, para uso em seres humanos).



Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Magneto resistivo e permanente

- No *magneto resistivo* um campo magnético pode ser criado passando-se uma corrente elétrica através de uma bobina de fios. Magnetos resistivos exigem grandes quantidades de energia elétrica, a fim de fornecer as altas correntes necessárias para a produção de campos magnéticos de grande intensidade.
- Além disso, as elevadas correntes elétricas produzem calor, que deve ser dissipado com um sistema eficiente de resfriamento. O calor é produzido pela resistência do próprio fio através do efeito Joule. Sistemas resistivos típicos produzem campos magnéticos $< 0,5$ tesla, acima disso são muito caros.
- Utilizados em aparelhos abertos de RM.
- Os *magnetos permanentes* são constituídos por grandes blocos de material ferromagnético, que conservam o magnetismo após serem expostos a outro campo magnético. O material mais comumente utilizado é o ALNICO (alumínio, níquel e cobalto). Não há necessidade de unidade resfriadora e menor consumo de energia elétrica em relação ao anterior.
- Outra característica é que o campo magnético está sempre presente e tem a grande desvantagem de ser muito pesado (varias toneladas) associado ao campo que é capaz de produzir $< 0,5T$.
- Tem sua utilidade onde há necessidade de campos com pouca intensidade como em aparelhos abertos destinados a extremidades.

Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Magneto supercondutor

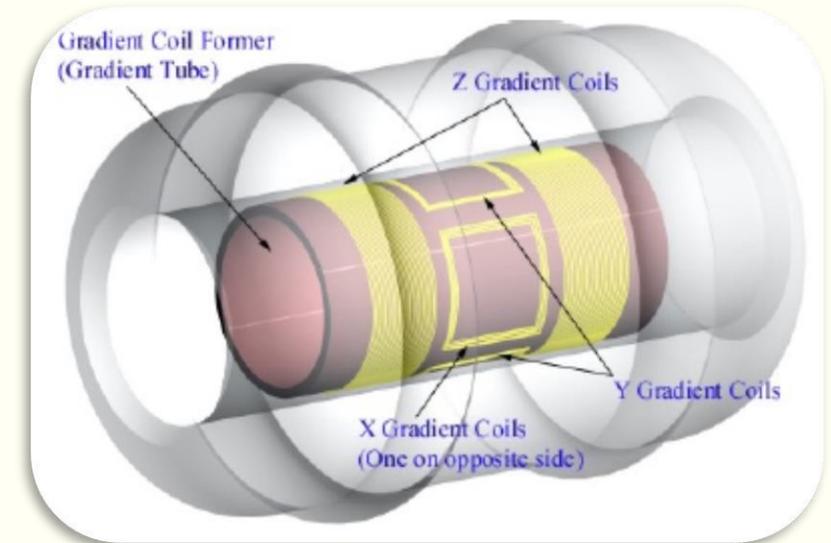
- O *magneto supercondutor* também utiliza o princípio do eletromagneto. Além disso, utiliza uma propriedade que é apresentada por alguns materiais em temperaturas extremamente baixas, a característica da supercondutividade, condução da corrente elétrica sem resistência e nem perdas. Quando isso ocorre, correntes elétricas muito grandes podem ser mantidas com pouco dispêndio de energia elétrica e custo baixo.
- Por outro lado, o custo do sistema de refrigeração para manter o supercondutor em temperaturas muito baixas é alto. Os materiais utilizados na refrigeração, chamados de criogênicos, são o nitrogênio líquido (-196°C) e o hélio líquido (-268°C). A vantagem deste tipo de tecnologia, apesar do alto custo inicial, é a capacidade de se atingir campos magnéticos de 3 Teslas ou mais.



http://www3.gehealthcare.co.jp/ja-jp/products_and_service/imaging/magnetic_resonance_imaging/discovery_mr750_3-0t

Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Bobinas de gradiente

- A presença de um gradiente magnético ao longo do corpo do paciente causa a precessão dos prótons em velocidades ligeiramente diferentes, em diferentes localizações do paciente, permitindo que o computador determine a localização no paciente da qual se originou o sinal de RM recebido. Esta informação é, fundamental para a reconstrução de imagens do paciente.
 - **Gradiente x** – Altera o campo magnético e seleciona cortes sagitais;
 - **Gradiente y** – Altera o campo magnético e seleciona cortes coronais;
 - **Gradiente z** – Altera o campo magnético e seleciona cortes axiais.
 - Obs.: Os cortes oblíquos são selecionados por associação de dois gradientes.



Bobinas de gradiente desenhadas como são construídas no ressonador.

Mediante o ajuste eletrônico da quantidade de corrente nestes três grupos de bobinas é possível obter um gradiente em qualquer direção, obtendo assim imagens em qualquer orientação dentro do paciente.

Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Bobinas de Radiofrequência

- Um terceiro componente fundamental do sistema de RM são as bobinas de radiofrequência (RF) ou bobinas de "emissão e recepção".
- Estas bobinas de RF atuam como antenas para produzir e detectar as ondas de rádio que são denominadas de "sinal de ressonância magnética".
- Uma bobina de RF típica está encerrada no portal do magneto (bobina de corpo) e , assim, não é especificamente visível.
- Estas bobinas de RF encobertas, algumas vezes denominadas de bobinas corporais, circundam completamente o paciente, incluindo a mesa sobre a qual ele está deitado.

Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Bobinas de Radiofrequência (classificação)

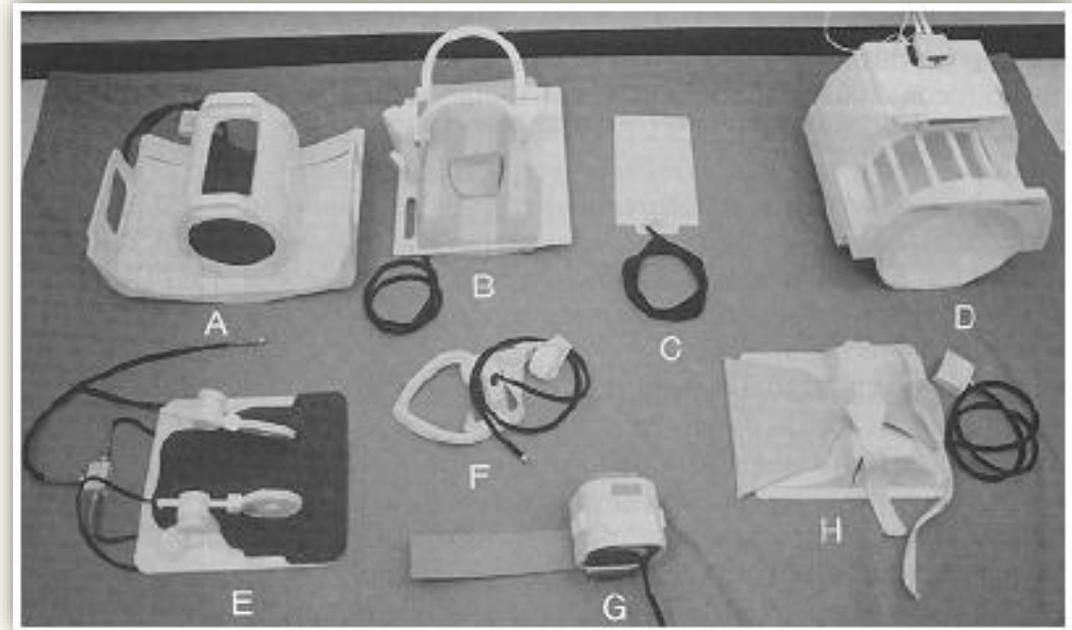
- Os desenhos das bobinas de RF variam desde esta grande bobina corporal embutida no próprio portal até *bobinas de volume* integral circunferenciais menores e separadas, que também circundam a parte examinada.
- Algumas *bobinas de superfície*, como a bobina para ombro, são colocadas sobre a área a ser examinada. Geralmente, este tipo de bobina é usado para visualização de estruturas mais superficiais.
- Outro tipo de bobina de RF usado frequentemente é a *bobina de arranjo de fase* (phased array). Estas consistem em múltiplas bobinas e receptores agrupados juntos.
- Cada bobina é independente da outra e tem seu próprio receptor que permite grande campo de cobertura de visão para uso no estudo da coluna vertebral..

Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Bobinas de Radiofrequência (classificação)

- **Bobinas de volume:** Bobina *transceptora* (transmite e recebe sinal de RF), utilizada para aquisição de imagens que necessitam que toda a anatomia daquele segmento de volume do corpo seja abrangido. Utilizada para aquisição de imagens de cabeça, extremidades ou de todo o corpo.
- **Bobinas de superfície:** Bobinas planas de recepção, posicionadas em contato com área de interesse. Utilizadas para melhorar a relação sinal ruído (RSR) das imagens adquiridas de estruturas próximas a superfície do paciente.
- **Bobina de arranjo de fase:** São bobinas transceptoras (transmissão e recepção sinal de RF) construídas com múltiplos receptores de sinais que aumenta a qualidade da imagem, uma vez que os sinais individuais são combinados para gerar uma imagem com melhor RSR e maior cobertura.
 - *Boninas de quadratura: duas ou mais bobinas de superfície conjugadas para obter imagens de uma mesma região com melhor RSR em relação as bobinas de superfície comuns.*

Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Bobinas de Radiofrequência

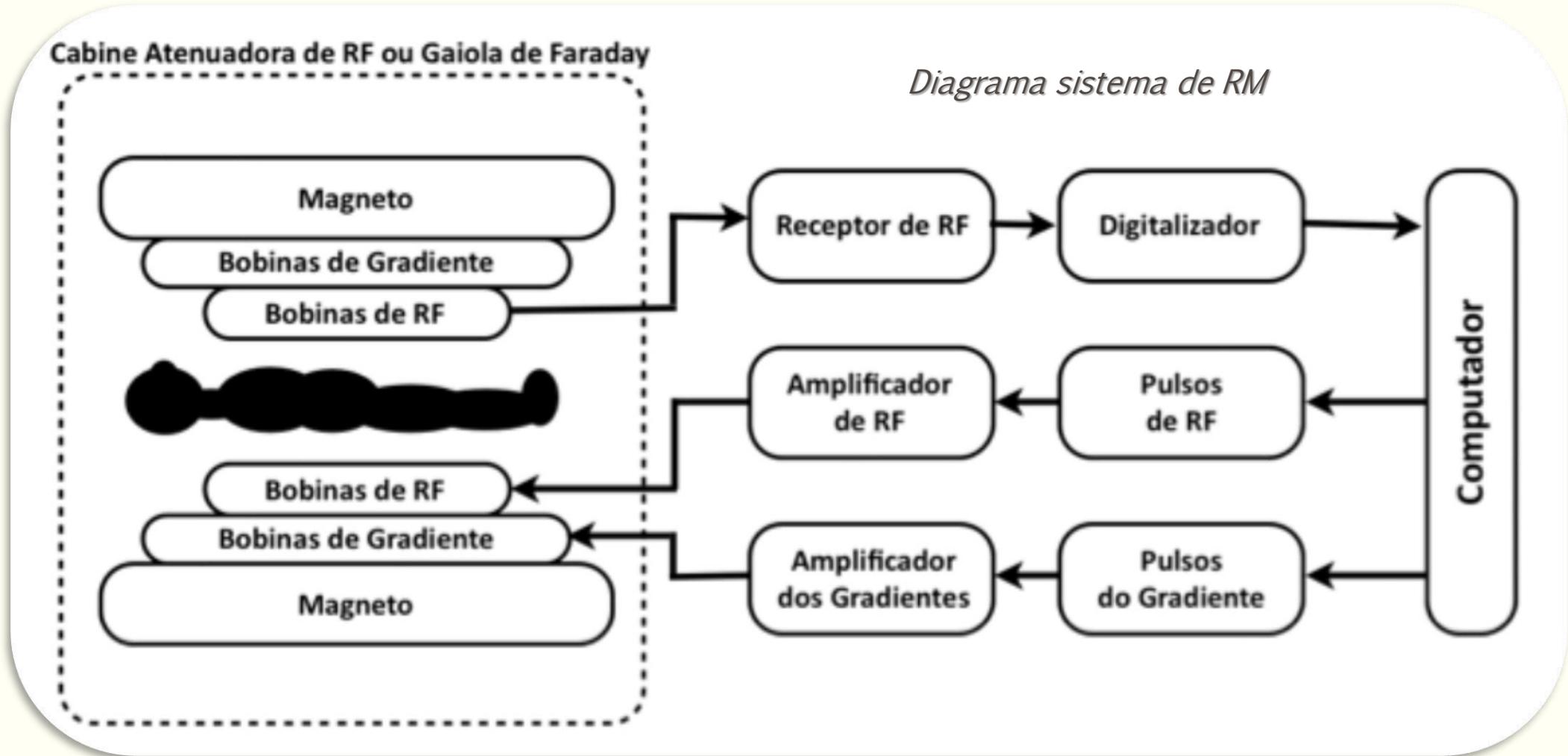
- Algumas bobinas de volume integral circunferenciais e bobinas de superfície:
 - a) bobina para membro;
 - b) bobina para pescoço;
 - c) bobina de superfície plana;
 - d) bobina para cabeça;
 - e) bobina para ATM (lateral);
 - f) bobina para ombro;
 - g) bobina para punho;
 - h) bobina para coluna.



Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Sistemas controladores

- Os *sistemas controladores de envio e recebimento de RF* enviam os pulsos de onda de rádio para o paciente e recebe os sinais de ressonância magnética do paciente, através das bobinas de RF descritas anteriormente.
- O receptor de RF também contém amplificadores que aumentam a intensidade de sinais de radiofrequência relativamente fracos recebidos do paciente dentro do magneto.
- Os *sistemas controladores de gradiente do campo magnético* controlam três conjuntos de bobinas independentes e não refrigeradas pelo sistema de criogenia (hélio) que irão produzir uma pequena variação no campo magnético o mais linear possível numa dada direção (x, y ou z).
- Três direções de aplicação dos gradientes são necessárias para codificar a origem espacial do sinal (localização) e assim formar imagens bidimensionais (2D) e tridimensionais (3D).

Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Sistemas controladores



Estrutura do equipamento de ressonância magnética – Estação de trabalho e mesa de exame

- **Estação de trabalho** - Constitui-se como a interface entre o operador e restante do sistema de RM. Permite múltiplas tarefas que vão desde a prescrição dos protocolos até o controle da impressão das imagens geradas ou envio para rede lógica para arquivamento ou distribuição para o laudo a ser realizado pelos radiologistas.
- **Mesa de exame** - Local para o adequado posicionamento do paciente para realização do exame de RM.

<http://rle.dainf.ct.utfpr.edu.br/hipermidia/index.php/ressonancia-magnetica/sistemas-de-imagem-por-rm>



Mesa de exame

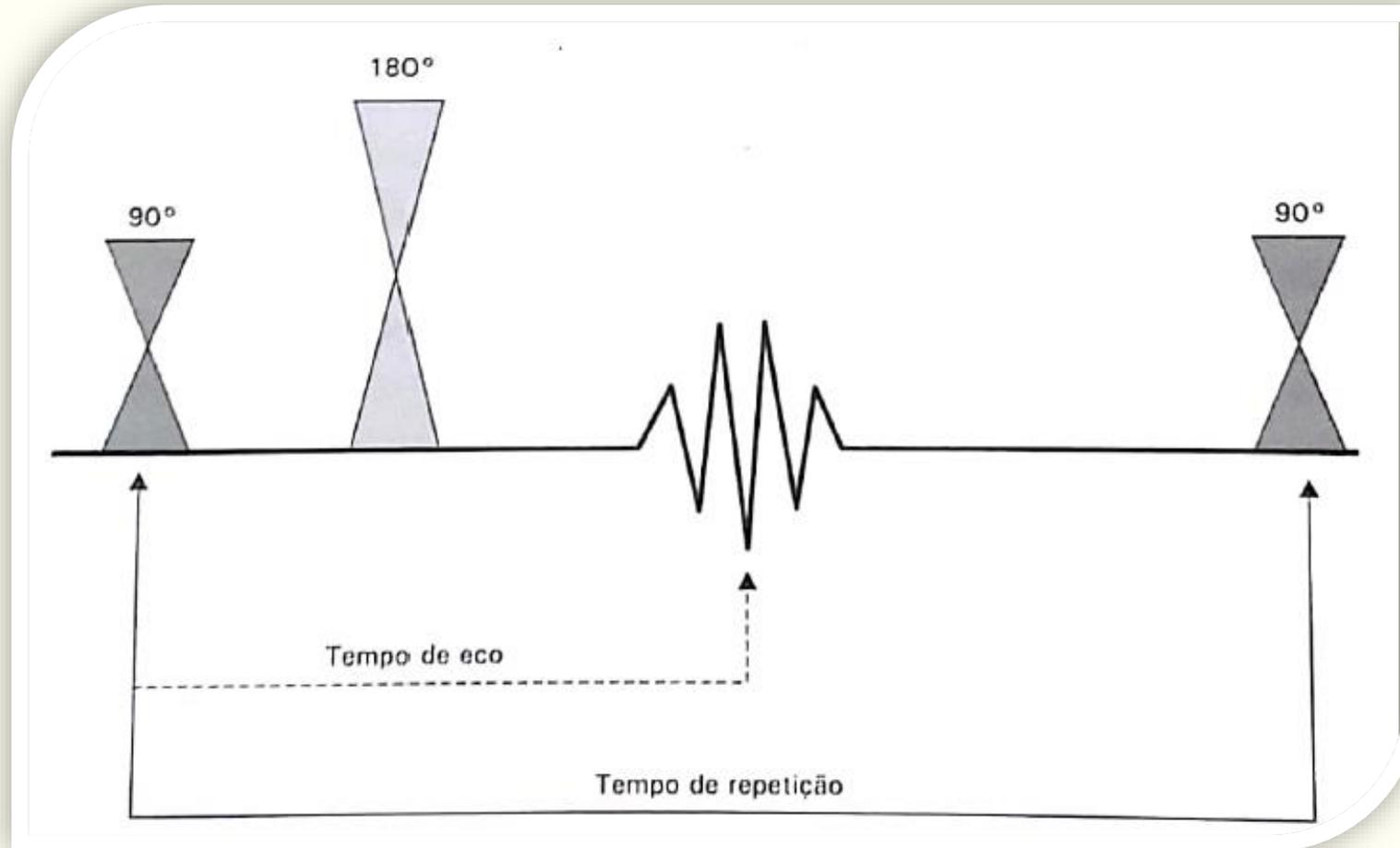
Resumo básico da sequência de procedimentos necessários a realização de um exame de RM

Etapa	Componente	Resultado
1. Aplicar campo magnético	Magneto	Prótons alinham-se e precessão.
2. Selecionar corte aplicando um gradiente no campo magnético	Bobinas de gradiente	Núcleos realizam precessão em frequência particular.
3. Aplicar pulsos de RF	Bobina ou antena de emissão de RF	Núcleos na área do corte entram em precessão em fase e em ângulo maior.
4. Receber sinal de RF	Bobina ou antena de recepção de RF	Sinal elétrico é recebido dos núcleos e enviado ao computador.
5. Converter sinal de RF em imagem	Computador	A imagem é construída na tela.

Formação da imagem em RM e artefatos

- O sistema de geração da imagem de RM emprega muitos fatores técnicos que devem ser considerados, compreendidos e algumas vezes modificados no painel de controle durante um exame. Muitos equipamentos permitem que estes fatores sejam programados em um protocolo semelhante à programação do protocolo de Tomografia Computadorizada.
- Através da aplicação de pulsos de radiofrequência de 90° para a precessão dos prótons em fase no plano transversal e do pulso de 180° para recuperação da magnetização longitudinal, gerando o processo de relaxamento T1 e T2 dos prótons, bem como o uso de gradientes no campo magnético é possível ter a informação das estruturas anatômicas estudadas.
- Os parâmetros de sequência dos pulsos de radiofrequência são designados para suprimir artefatos e otimizar a qualidade de diagnóstico da anatomia e patologia específicas.

Formação da imagem em RM e artefatos



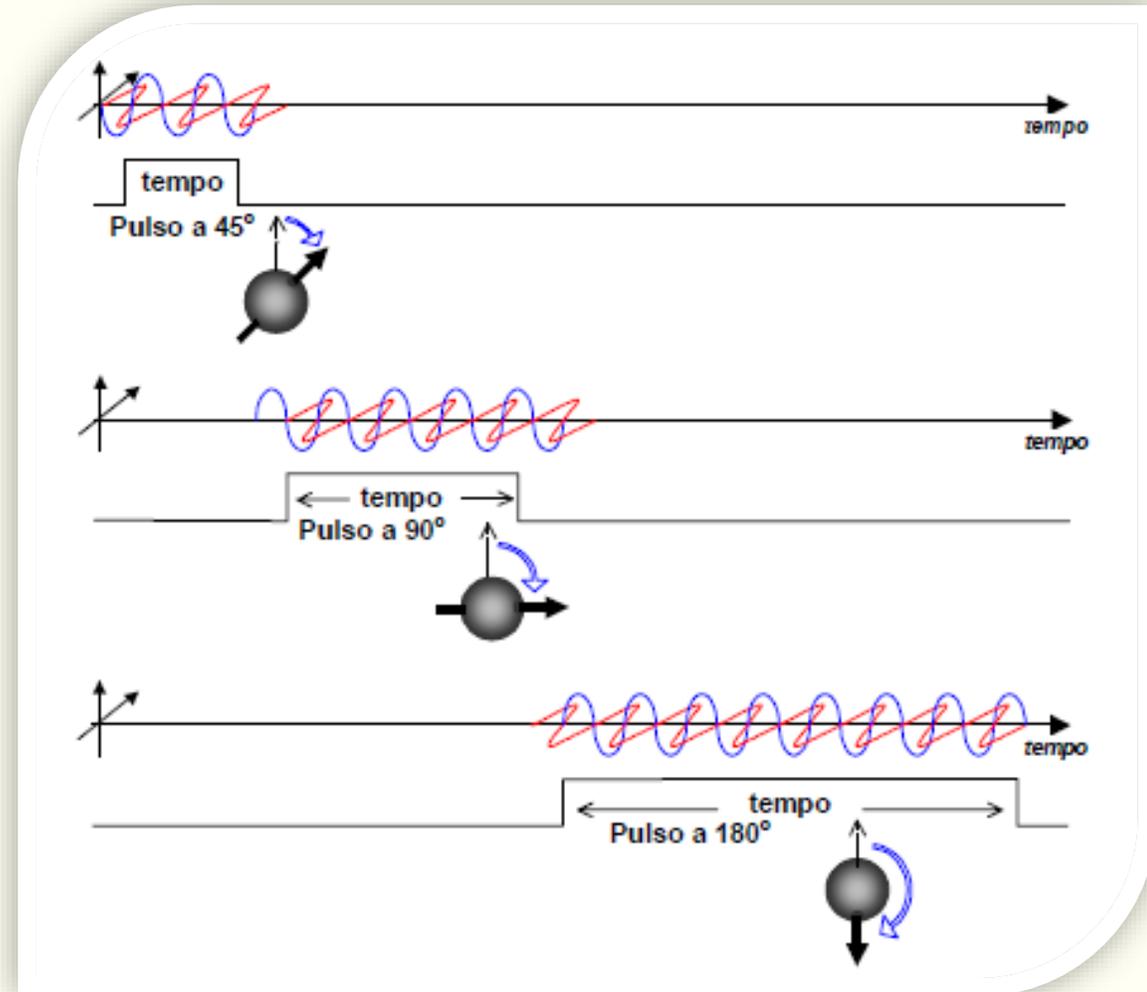
Representação de TE (tempo de eco medido entre o pulso de 90° e o pico máximo de sinal induzido na bobina) e TR (tempo de repetição medido entre dois pulsos de 90°)

Formação da imagem em RM e artefatos

- Embora os relaxamentos T1 e T2 ocorram simultaneamente, são independentes entre si e normalmente os tempos de T1 (ms) são superior ou igual aos tempos de relaxamento T2 (ms) para qualquer tecido. Geralmente são escolhidas sequências de pulso para acentuar a diferença entre os tempos de relaxamento de diferentes tecidos. O contraste entre os tecidos é atingido na imagem de RM final por acentuação destas diferenças.
- A imagem produzida por um sistema de RM é criticamente influenciada pela sequência exata de pulsos de radiofrequência usados, bem como pelo momento em que o sinal emitido pelos núcleos é amostrado ou recebido. Como a duração do pulso de radiofrequência que é enviado ao paciente determina o ângulo de precessão do núcleo, o comprimento do pulso frequentemente é especificado em termos de ângulo que produzirá. A figura a seguir ilustra pulsos a 45°, 90° e 180°.

Formação da imagem em RM e artefatos

- Tipos de sequências de pulsos.
- Quanto maior o tempo de duração do sinal, mais energia é transmitida ao próton e maior o ângulo de precessão.



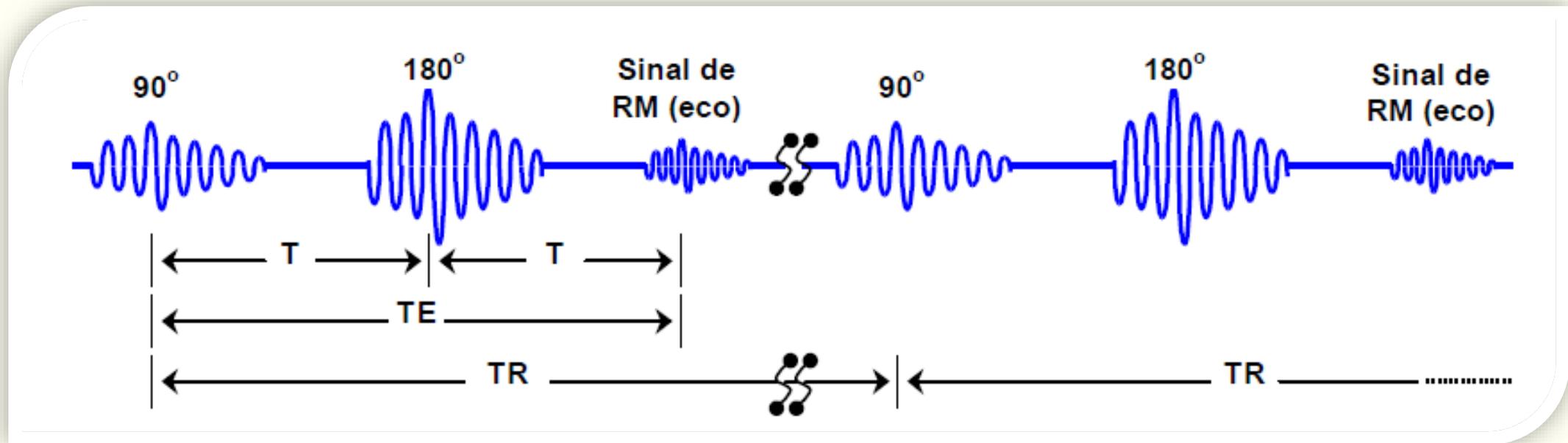
Formação da imagem em RM

- Uma sequência de pulso típica é representada em diagrama no slide 57.
- A sequência contém dois pulsos, um de 90° e outro de 180° .
- As ondas de radiofrequência são enviadas ao paciente durante cada pulso.
- A sequência é repetida após decorrido um tempo **TR (tempo de repetição)**.
- Os valores de TR típicos usados são também em milissegundos (ms).
- A sequência de pulso altera o ângulo de precessão dos prótons e causa uma onda de radiofrequência denominada "eco" a ser emitida do paciente.
- Em técnicas de RM, a bobina receptora capta um eco do sinal, e não o sinal inicial, o que é denominado decaimento de indução livre (DIL).
- O eco é interceptado pelas bobinas receptoras do sistema de RM e é usado para construir uma imagem do paciente.
- O eco ocorre em um tempo **TE (tempo para eco)** após o pulso inicial da sequência. Valores de TE típicos usados no exame são também da ordem de ms.
- Tanto TR quanto TE são variáveis técnicas, selecionadas pelo operador do sistema de RM para otimizar a aparência de uma imagem e para permitir a aquisição de informações ponderadas nas velocidades de relaxamento T1 ou T2.

Formação da imagem em RM

- A aquisição de uma imagem requer que os gradientes sejam ativados e desativados em momentos apropriados durante uma sequência de pulso.
- *Os gradientes são usados para variar a fase e a frequência da precessão de prótons de todo o paciente, de forma que a origem do sinal de RM (eco) pode ser atribuída a localizações apropriadas dentro da imagem.*
- O diagrama de cronometragem da sequência de pulso completa para uma sequência de *pulso spin-eco* é mostrada no próximo slide.
- Uma sequência de pulso spin-eco é comumente usada em situações clínicas e é apenas uma das técnicas disponíveis para a imagem.
- *O gradiente-eco e a inversão-recuperação são outros dois tipos de sequências de pulso.*

Formação da imagem em RM



Sequencia de pulso Spin-Eco

Formação da imagem em RM – Sequência Spin-Eco

- O gradiente selecionado do corte, corte G, é ativado enquanto pulsos são enviados ao paciente.
- O gradiente de codificação da frequência, frequência G, é ativado apenas enquanto o sinal de eco é recebido.
- O gradiente de codificação da fase, fase G, é ativado entre os pulsos.
- Todo o processo é repetido com diferentes valores de gradiente de codificação de fase (indicado pelas linhas pontilhadas para fase G na figura).
- As três direções do gradiente - corte, fase e frequência - correspondem aos três eixos do paciente - x, y e z.

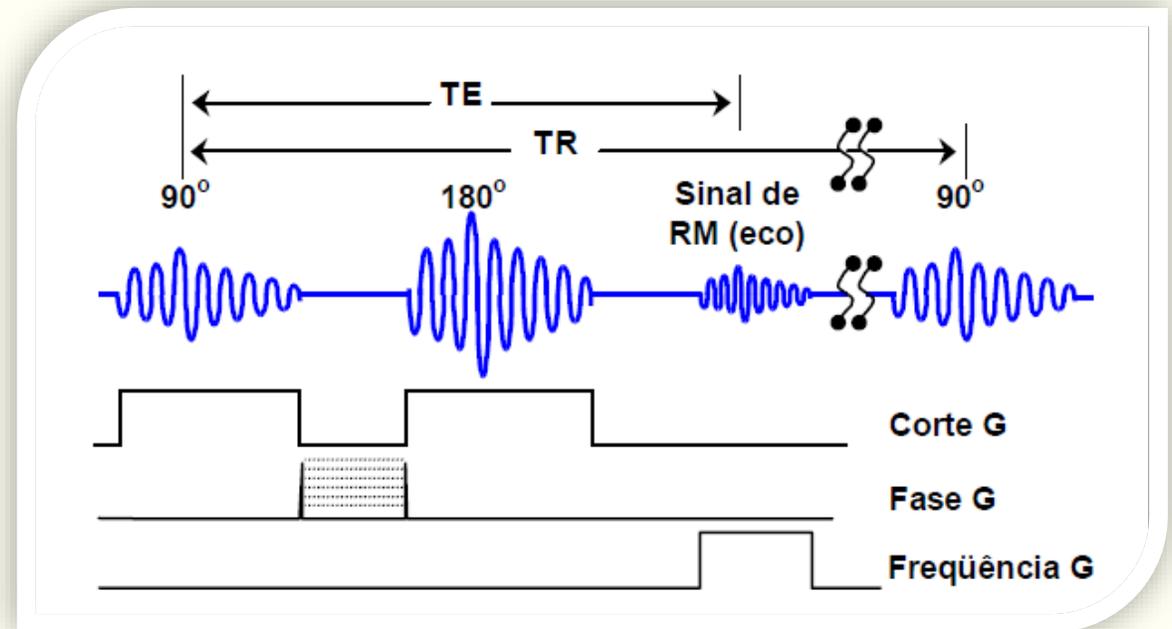


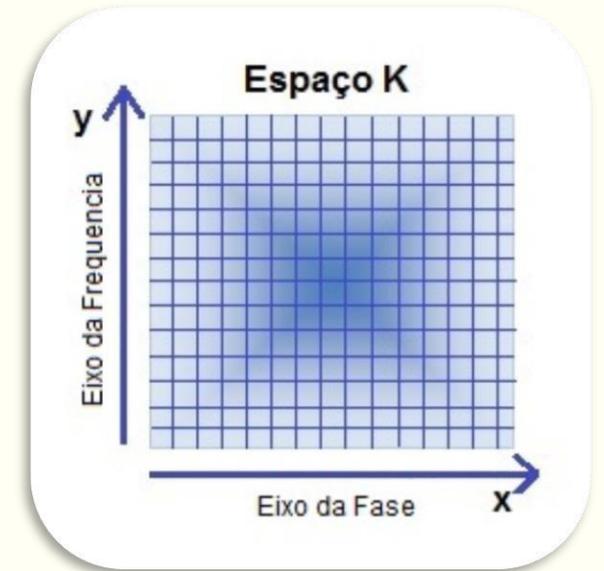
Diagrama de tempo da aquisição da imagem mostrando a sequência spin-eco juntamente com os gradientes de campo.

Formação da imagem em RM – Espaço K

- Para seleção de um ponto ou um corte em uma imagem de RM são necessários: gradiente de seleção de corte (eixo Z); gradiente de codificação de fase (eixo X) e gradiente de codificação de frequência (eixo y).
- Como os gradientes de codificação de frequência e fase atuam em diferentes direções e correspondem, respectivamente, aos eixos de coordenadas X e Y, é assim formada uma matriz – conhecida por **Espaço K**.
- O **Espaço K** é um conceito abstrato, onde cada linha desta matriz é preenchida por um eco adquirido na sequência de pulsos.
- A periferia do Espaço K será preenchida pelo sinal de menor amplitude, relacionadas com a resolução espacial da imagem. O espaço mais central do Espaço K irá conter o sinal de maior amplitude e maior contraste.

Formação da imagem em RM – Espaço K

- Cada vez que o gradiente de codificação de fase varia a sua amplitude, ocorre uma mudança de linha no Espaço K, passando ao preenchimento da linha seguinte. No caso de se tratar de uma matriz de 256 x 256, existem 256 ativações de amplitudes diferentes deste gradiente. Assim, cada linha do Espaço K será preenchido por um eco codificado por uma amplitude diferente do gradiente de fase.
- É importante salientar que quanto maior o número de linhas do Espaço K, maior a quantidade de sinal recolhido. No entanto, maior será o tempo necessário para adquirir as imagens.



Esquema representativo do espaço K

Formação da imagem em RM – Imagens Ponderadas

■ T1:

- ❖ A fim de maximizar a diferença de sinal baseada em tempos de relaxamento T1, o TR na sequência de pulso é encurtado. Uma sequência de TR e TE curtos produz uma imagem ponderada em T1 (Ex.: TR de 350-800 ms e TE de 30 ms ou menor).
- ❖ Isso permite que estruturas com tempos de relaxamento T1 curtos sejam brilhantes (gordura, líquidos proteinogênicos, sangue subagudo) e estruturas com T1 longo sejam escuras (neoplasia, edema, inflamação, líquido puro, LCE).
- ❖ Um aspecto a ser lembrado com imagem ponderada em T1 é que como o TR está encurtado, a razão entre sinal e ruído diminui.

■ T2:

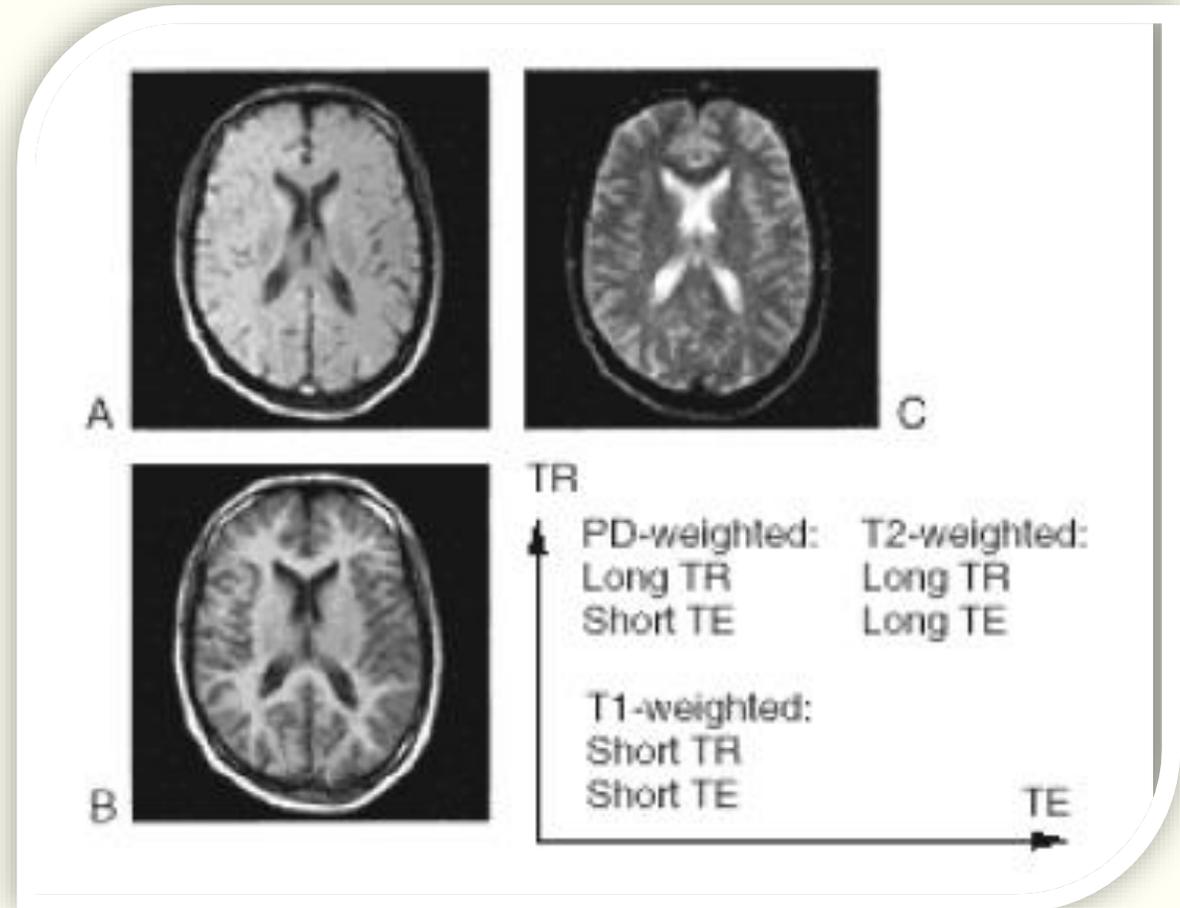
- ❖ A imagem emprega uma sequência de pulsos de TR longo e TE curto (Ex.: TR = 2.000 ms; TE = 60 a 80 ms).
- ❖ Quando o TE é aumentado, o contraste T2 aumenta; entretanto, a razão sinal/ruído geral diminui.
- ❖ As estruturas na imagem ponderada em T2 mostrarão inversão do contraste em relação às estruturas na imagem ponderada em T1.
- ❖ As estruturas com T2 longo apresentam-se brilhantes (neoplasia, edema, inflamação, líquido puro, LCE).
- ❖ As estruturas com T2 curto apresentam-se escuras (estruturas com ferro - os produtos de decomposição do sangue).

Formação da imagem em RM – Imagens Ponderadas

- As imagens ponderadas em T1 mostram de forma ideal a anatomia de partes moles e gordura (p. ex., para confirmar uma massa que contém gordura).
- As Imagens ponderadas em T2 mostram, idealmente, líquidos e patologias (p. ex., tumores, inflamação, trauma).
- Na prática, as imagens ponderadas em T1 e T2 fornecem informações complementares, de forma que ambas são importantes para caracterizar a patologia.
- **Por exemplo**, gordura aparece brilhante (alta intensidade de sinal) nas imagens ponderadas em T1 e relativamente escura (baixa intensidade de sinal) nas imagens ponderadas em T2, água e líquidos aparecem relativamente escuros em imagens ponderadas em T1 e brilhantes nas imagens ponderadas em T2.

Formação da imagem em RM – Imagens Ponderadas

- *Diferentes técnicas aplicadas ao mesmo corte (durante a fase de exame):*
 - A. *densidade protônica;*
 - B. *ponderação T1;*
 - C. *ponderação T2.*



Ponderação da imagem

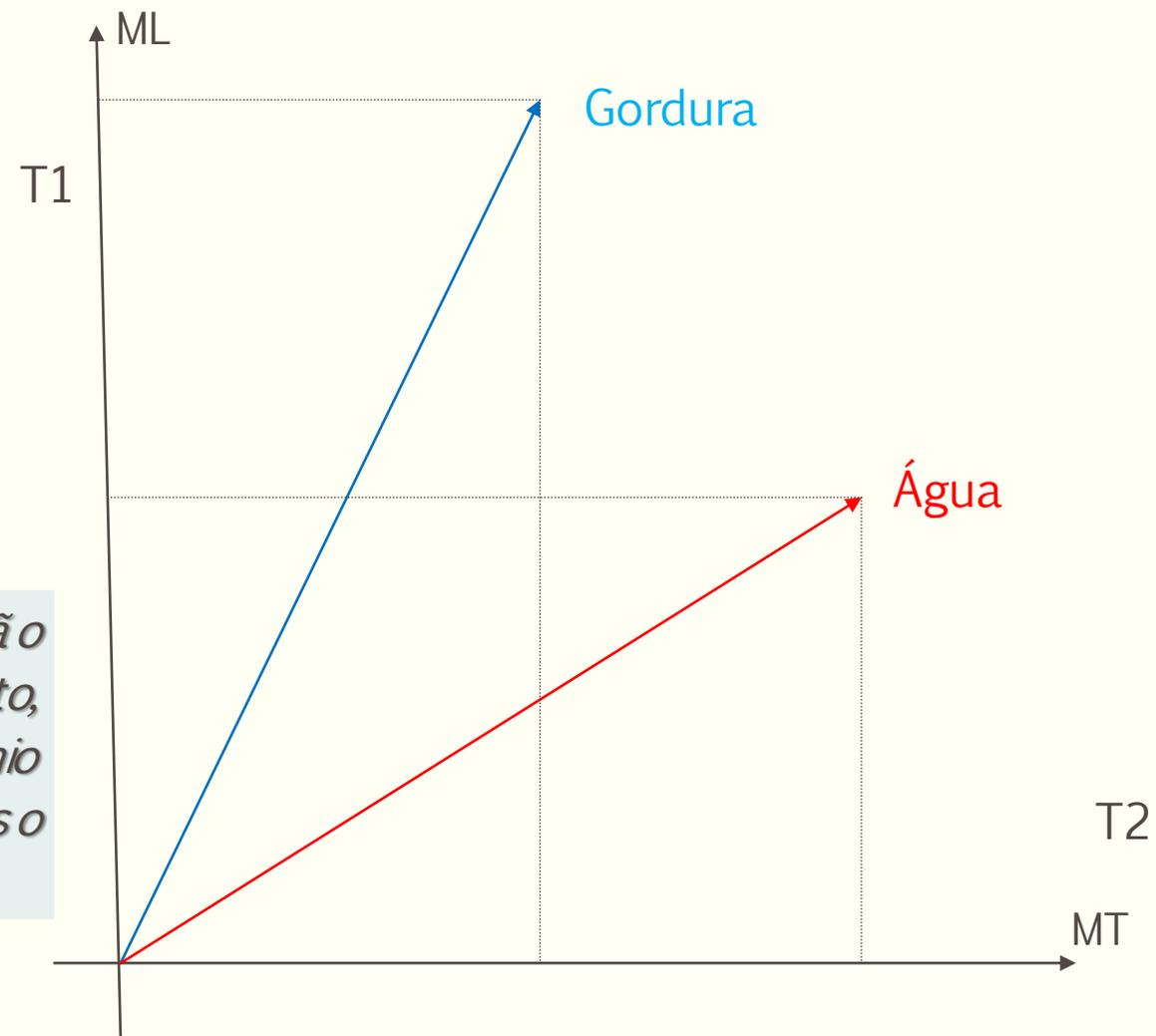
- Para demonstrar um contraste por T1, por T2 ou por DP são escolhidos parâmetros específicos de tempo (TR e TE) para uma determinada sequência de pulsos. A seleção desses parâmetros de maneira apropriada pondera uma imagem, de modo que um dos mecanismos de relaxação realiza um contraste que predomina sobre os demais.

Ponderação	TR	TE	Sinal alto	Sinal baixo
T1	Curto	Curto	Gordura	H2O
T2	Alto	Alto	H2O	Gordura
DP	Alto	Curto	H2O	-

Ponderação da imagem

- A figura ao lado mostra a diferente velocidade na recuperação da magnetização longitudinal de um tecido adiposo comparado com a água e também, a diferente velocidade do declínio na magnetização transversa.

Representação da recuperação da magnetização longitudinal, T1 (tecido adiposo com sinal alto, água com sinal baixo) e representação do declínio da magnetização transversa, T2 (tecido adiposo com sinal baixo, água com sinal alto)



Segurança em RM e meios de contraste

- Os *meios de contraste* (MC) usados na radiologia por diferentes vias, tem por função aumentar a definição das imagens tanto quanto da utilização de radiação ionizante assim como coma utilização de campos magnéticos nos exames por ressonância, pois produzem alteração de contraste, possibilitando uma maior precisão nos exames de diagnóstico por imagem realizados.
- Na ressonância magnética os meios de contraste utilizados são a base de gadolínio, metal paramagnético* pesado tóxico para o organismo humano e assim sua administração como MC só é possível pela associação de substâncias conhecidas como quelantes, que evitam sua fixação orgânica e facilitam sua eliminação principalmente por vias renais.
- *Paramagnetismo* consiste na tendência que os dipolos magnéticos atômicos têm de se alinharem paralelamente com um campo magnético externo.

Segurança em RM e meios de contraste

- O gadolínio é rapidamente eliminado em pacientes com função renal normal, entretanto em pacientes com insuficiência renal o tempo de permanência do contraste é prolongado (34 a 53 horas) e possíveis efeitos colaterais podem ocorrer.
- Pacientes com histórico de reações adversas a MC iodados a frequência de reações é de 2,3 a 3,7 vezes maior do que em pacientes sem histórico de reações a MC iodados.
- Pacientes com asma e histórico de alergias apresentam, risco maior de desenvolver reações adversas.
- A frequência de reações ao MC com gadolínio após injeção de 0,1 ou 0,2 mmol/kg é normalmente limitado a 2,4%.

Segurança em RM e meios de contraste

- Fatores de risco a MC com gadolínio
 - ❖ Hipersensibilidade a MC iodado
 - ❖ Alergia
 - ❖ Hipertireoidismo
 - ❖ Desidratação
 - ❖ Insuficiência cardiovascular grave
 - ❖ Insuficiência pulmonar e asma
 - ❖ Insuficiência renal
 - ❖ Nefropatia em pacientes diabéticos
 - ❖ Doença autoimune
 - ❖ Idade avançada
 - ❖ Ansiedade
- Recomendações e indicações para uso de MC com gadolínio
 - ❖ Tumores
 - ❖ Metástases
 - ❖ Processos inflamatórios/infecciosos
 - ❖ Análises vasculares
 - ❖ Placas de esclerose ativas
 - ❖ Áreas de infarto
 - ❖ Áreas de fibrose no pós-operatório
 - ❖ Estudos funcionais e de perfusão nos diversos órgãos

Segurança em RM e meios de contraste

- Classificação dos efeitos colaterais e das reações segundo o grau de gravidade

Efeitos colaterais	Reações leves	Reações moderadas	Reações graves
• Náuseas	• Prurido	• Dispneia	• Insuficiência respiratória grave
• Vômitos	• Rash cutâneo	• Broncospasmo	• Perda de consciência
• Alterações no paladar	• Urticária	• Edema laríngeo leve	• Convulsão
• Sudorese	• Tosse	• Taquicardia sintomática	• Arritmia
• Calor	• Congestão nasal	• Bradicardia sintomática	• Angioedema progressivo
• Rubor	• Espirro	• Hipotensão	• Parada cardiorrespiratória
• Ansiedade	• Edema palpebral leve	• Hipertensão	
	• Edema facial leve		

Segurança em RM e meios de contraste

- A Ressonância Magnética (RM) mesmo não utilizando radiação ionizante no seu processo de aquisição de imagem, tem seus *riscos e efeitos* associados. Estes são diferentes e independentes do tipo campo eletromagnético. Em RM existem: o campo magnético estático; os gradientes de campo ou campos magnéticos variáveis no tempo e os campos de radiofrequência (RF).
- Assim abordaremos os questionamentos sobre *segurança* em RM baseados na proposta de 10 passos para a segurança em RM adotados pela ATARP.

ATARP – Associação portuguesa de técnicos de Radiologia, Radioterapia e Medicina Nuclear. Os técnicos em Portugal são formados nas Escolas Superiores de Tecnologia em saúde.

- *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 pacientes/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.

Segurança em RM e meios de contraste

1. Construção de blindagem e proteção da sala de exames
 - A blindagem em RM é um componente fundamental para o bom funcionamento e proteção. As principais funções são: atenuar os sinais de RF externos, prevenir a possível interferência do campo magnético com equipamentos próximos e prevenir interferências magnéticas que grandes objetos metálicos 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. 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. 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.

Segurança em RM e meios de contraste

2. O American College of Radiology (ACR) estabelece quatro zonas de segurança em RM, cada uma com as suas restrições:
- I. Zona I:* área livre (externa) acessada pelo público em geral. 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 de interface entre a zona 1 e a zona 3, onde todos que se dirigem à unidade devem ser devidamente 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 pacientes e outro pessoal devida e previamente rastreados. É uma área onde poderá já existir potencial interferência por parte do aparelho de RM (sala de comando e laudo);
 - IV. Zona IV:* área onde se situa o equipamento de RM, que deverá ser claramente marcada com painéis ilustrativos, onde todos tem de ter supervisão constante. Riscos relacionados com a estimulação, aquecimento induzido pela radiofrequência (RF), efeito míssil, entre outros efeitos e riscos estão presentes.

Segurança em RM e meios de contraste

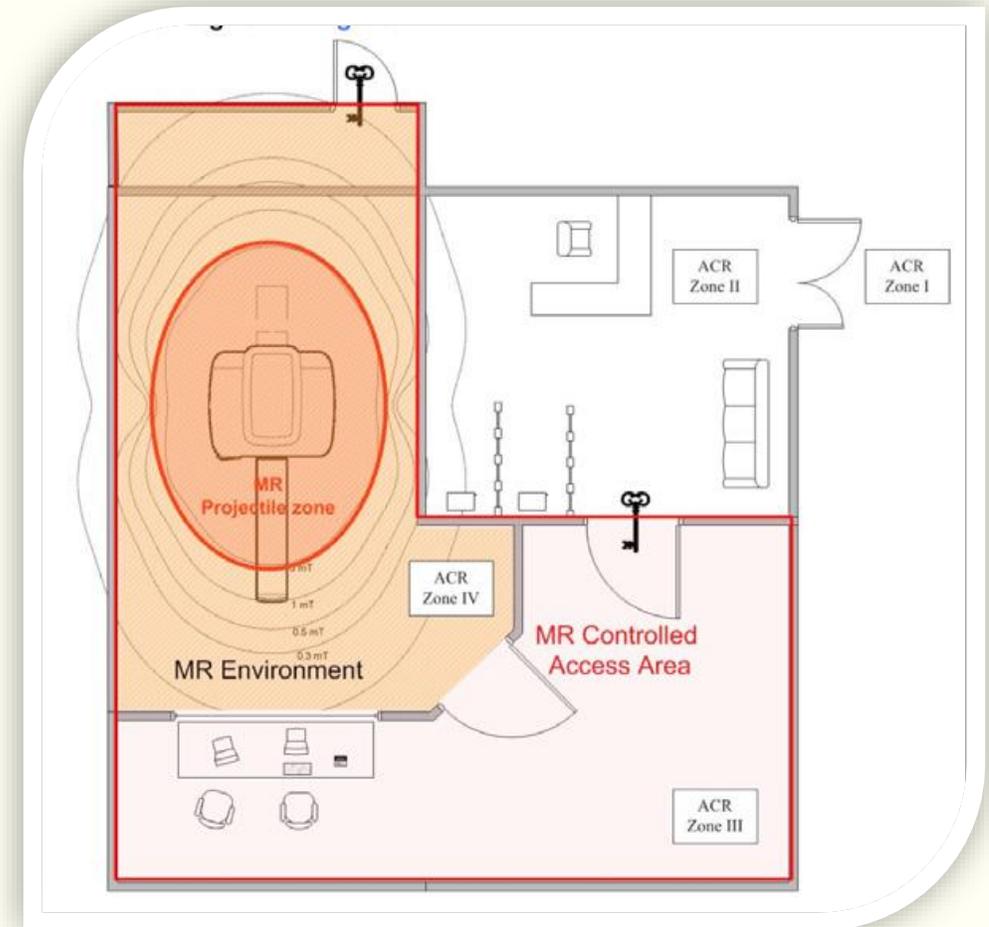
- O American College of Radiology (ACR) estabelece quatro zonas de segurança em RM, cada uma com as suas restrições:

I. Zona I

II. Zona II

III. Zona III

IV. Zona IV



Segurança em RM e meios de contraste

3. *Preparação e triagem dos pacientes /Questionários de segurança;*

- ❖ Saber se o paciente já realizou alguma RM prévia;
- ❖ Saber quais os antecedentes cirúrgicos (tipo, data...);
- ❖ Saber se o paciente tem claustrofobia e reações prévias ao produto de contraste;
- ❖ Saber se o paciente possui corpos estranhos, projéteis, estilhaços em alguma parte do corpo e tatuagens;
- ❖ Conhecer outros problemas de saúde relacionados com o paciente (diabetes, hipertensão arterial, entre outras) e alergias a algo;
- ❖ Nas pacientes do sexo feminino e em idade fértil é importante saber se a doente está grávida ou suspeita.

4. *Riscos e Efeitos do campo magnético estático (B0)*

- ❖ 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.
 - **Biológicos:** tonturas vertigens, náuseas, gosto metálico, distúrbio de atenção, concentração ...
 - **Mecânicos:** atração (efeito míssil), deflexão, torque (torção), mau funcionamento...

<https://atarp.pt/>

Segurança em RM e meios de contraste

5. *Riscos e Efeitos dos gradientes de campo*

- ❖ Durante um exame de RM, os gradientes são ligados e desligados e induzem correntes elétricas nos tecidos dos pacientes. 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.

6. *Riscos e Efeitos dos campos de radiofrequência (RF)*

- ❖ As 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.
- ❖ 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.
- ❖ Contatos com cabos de bobinas de RF podem gerar queimaduras.

Segurança em RM e meios de contraste

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. Significa a deposição da energia da RF no corpo dos pacientes. É medido em watts por quilograma (W/kg). O SAR descreve o potencial aquecimento dos tecidos do paciente. É um valor model dependent, sendo crucial a inserção do peso e altura dos doentes previamente à execução do exame.
- ❖ Outro aspecto é o fato da importância do operador ser o responsável de manter os níveis de SAR no nível mais baixo quanto possível.
- ❖ 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

8. *Uso de produtos de contraste em RM*

- ❖ 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.
- ❖ Não devem ser usados em pacientes grávidas, pois os ions 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.

Segurança em RM e meios de contraste

9. Enquadramento Legal e Normativo (Legislação)

- ❖ ANVISA ????
- ❖ American College of Radiology (ACR), The Emergency Care Research Institute (ECRI), Institute for Magnetic Resonance Safety, Education, and Research (IMRSER) e o Food and Drug Administration (FDA) estabelecem requisitos de segurança para um ambiente de imagens por ressonância magnética.
- ❖ A Comunidade Europeia (CE) estabeleceu em 2013 a diretiva 2013/35/CE que aborda "...desenvolvimento ou manutenção, no setor da Saúde, de equipamentos de ressonância magnética destinados aos pacientes, ou a práticas de investigação relacionadas com esses equipamentos."

10. Dispositivos médicos implantáveis e RM

- ❖ Pacientes com dispositivos médicos implantáveis (DMI) requerem, por vezes, cuidados redobrados quanto à execução da RM. Os DMI podem ser classificados como seguros (MR Safe), condicionais (MR Conditional) e inseguros ou proibidos (MR Unsafe).
- ❖ Existem símbolos internacionais próprios para esta categorização. A seguir os critérios de condicionalidade dos implantes.



Segurança em RM e meios de contraste

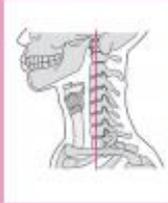
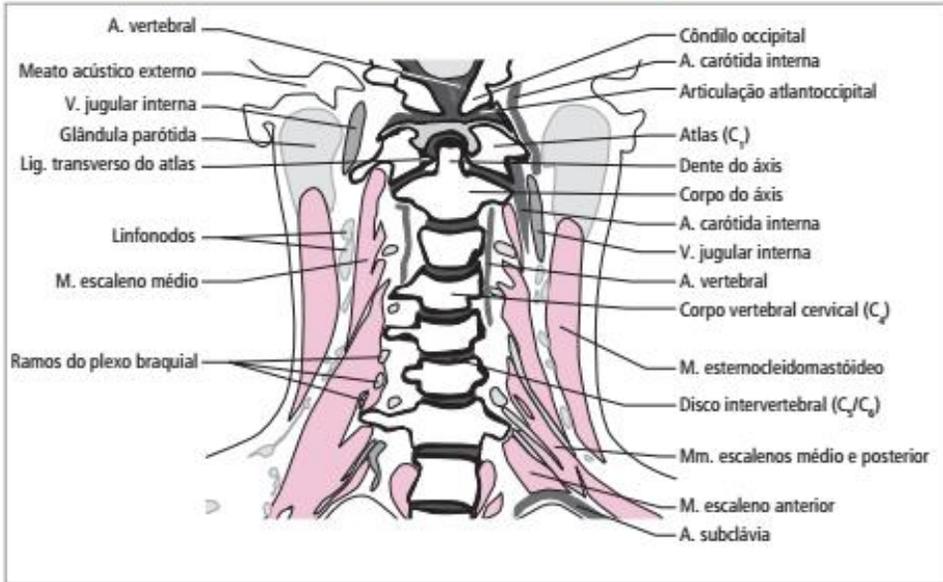
- Se o implante não tiver partes metálicas visíveis por radiografia tende a ser considerado seguro, mas se o implante tiver metal em sua composição será proibido até a sua confirmação.
- Objetos que embora interajam com o campo magnético, são altamente aderidos ao tecido implantado e não apresentam risco ao paciente. Ex. Válvulas cardíacas.
Obs. stents devem aguardar pelo menos 6 semanas após a cirurgia .
- Dispositivos de imobilização com partes metálicas, sua mobilização ou remoção condicionada a critério médico.
- Realização de RM em portadores de marca-passo deve ser questionada ao médico.
- Dispositivos programado por onda de rádio e sensíveis ao campo de RF ou objetos metálicos de grande porte não devem ser submetidos ao campo magnético. Ex. maca, cilindro de oxigênio, cadeira de rodas...

Exemplo de Protocolo– Pescoço e coluna Cervical (Parótida)

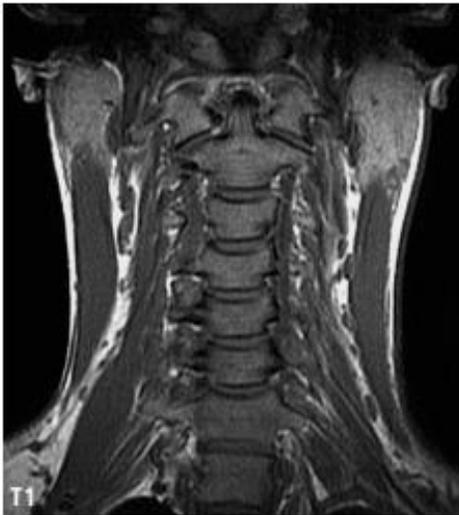
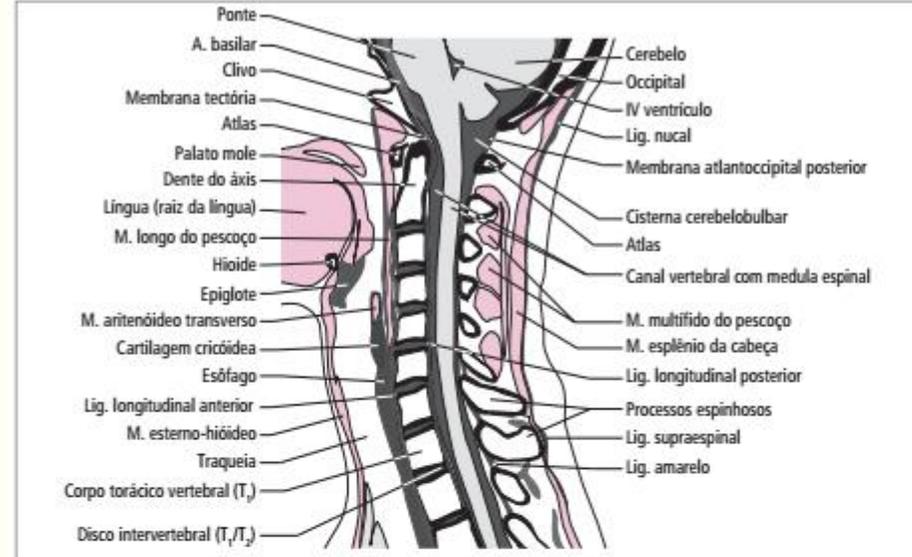
- A rotina de exames não segue um protocolo fixo; daí a dificuldade de se abordar em um tópico protocolos básicos em função do tipo de equipamento, fabricante, estado do paciente, necessidade do serviço e outros.
- A seguir exemplos do Manual de técnica em Ressonância Magnética, baseado em equipamento GE de 1,5T
- Protocolo mínimo
 - ❖ Sagital T1
 - ❖ Axial T1
 - ❖ Axial T2
 - ❖ Sagital T2
 - ❖ Axial GRE
- Protocolo Opcional
 - ❖ TSE T1 axial
 - ❖ TSE T2 axial
 - ❖ TSE T2 FS axial
 - ❖ TSE T2 coronal
 - ❖ TSE T1 FS axial
 - ❖ TSE T1 FS axial e coronal após gadolínio
- Observações
 - ❖ Posição: head first (decúbito dorsal)
 - ❖ Com uso de contraste , sequências de T1 repetidas com saturação de gordura
 - ❖ Cortes realizados da região orofaringe até nível do disco de T2 da torácica

GRE – gradiente eco
TSE – Turbo spin eco
FSE – spin-eco rápida

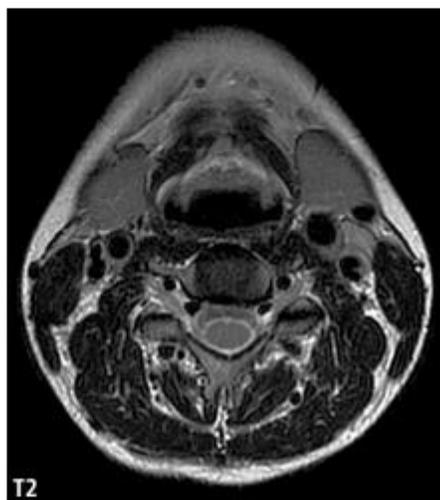
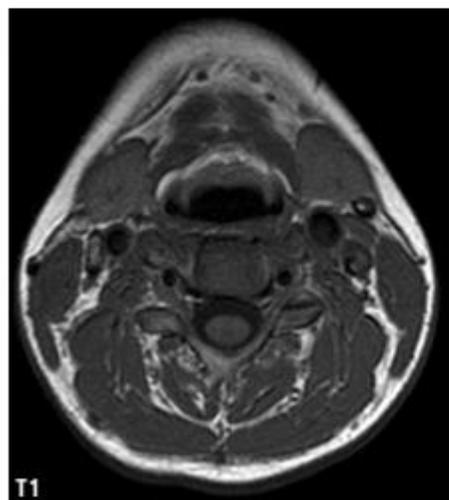
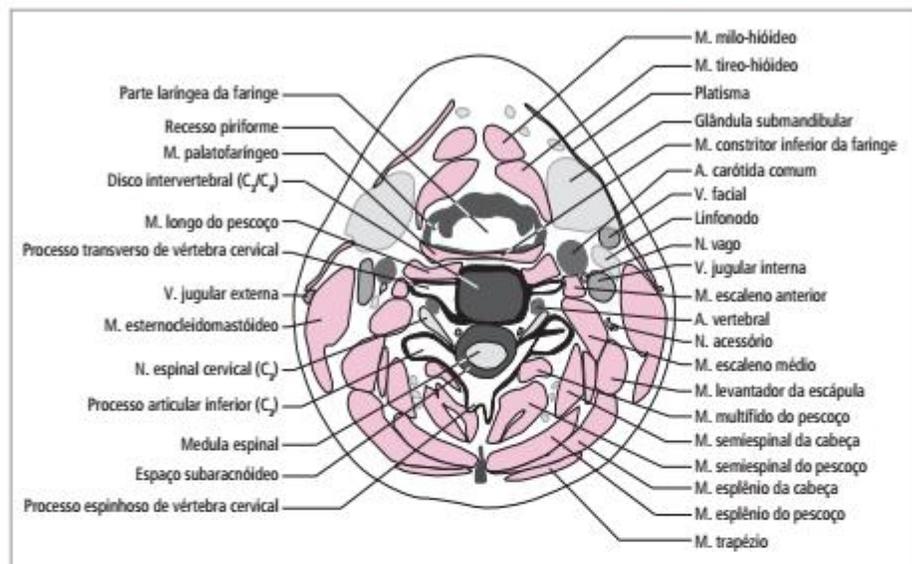
Coluna cervical, coronal



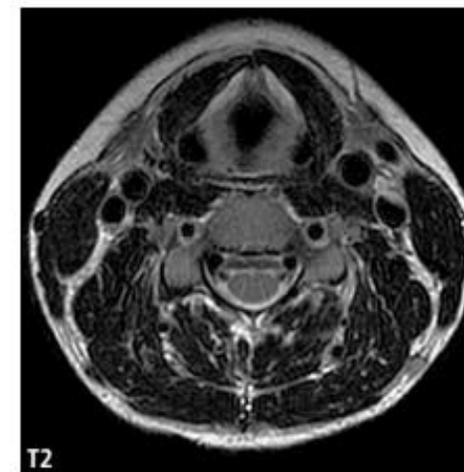
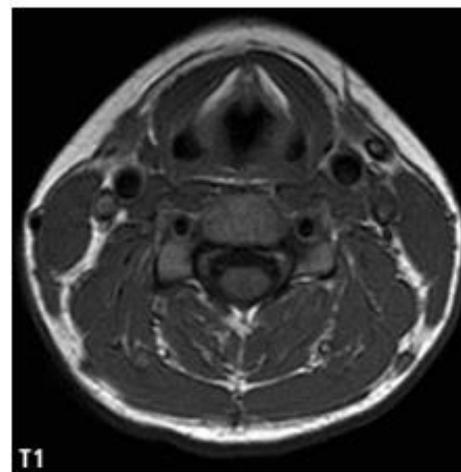
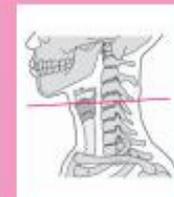
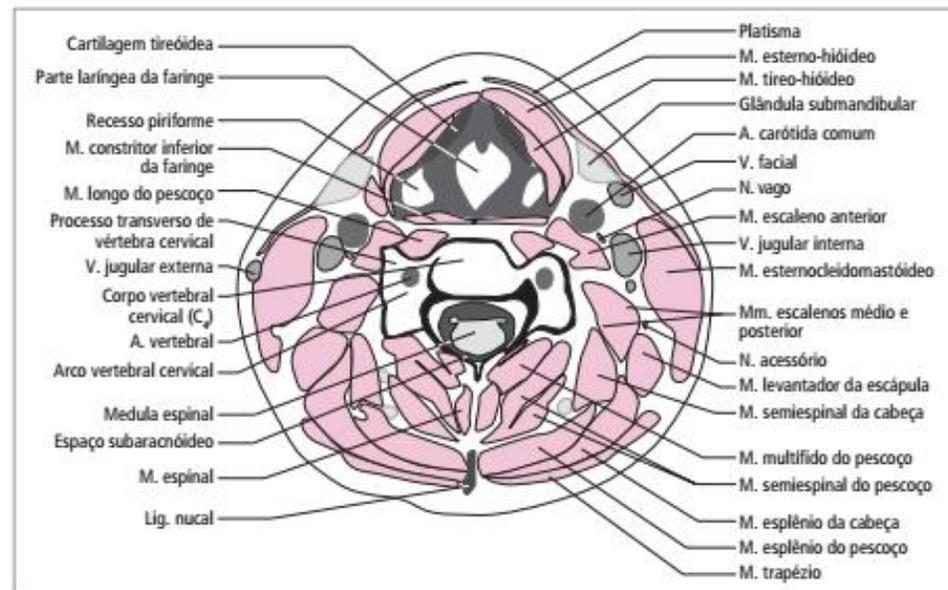
Coluna cervical, sagital



Coluna cervical, axial



Coluna cervical, axial



Exemplo de Protocolo: Crânio (Encéfalo)

▪ Protocolo mínimo

- ❖ SE T1 axial
- ❖ TSE T2 axial e COR
- ❖ FLAIR axial
- ❖ Difusão axial
- ❖ GRE T2 axial
- ❖ Após contraste: SE T1 axial (caso haja lesão, fazer nos 3 planos)

SE – spin eco

TSE – turbo spin eco

FLAIR – inversão-recuperação com atenuação líquida

Difusão - RM com difusão possibilita medir a mobilidade da água no interior dos tecidos

GRE – gradiente ecoC

▪ Observações:

- ❖ Para protocolos específicos de neuroimagem, como abuso de drogas ilícitas, doenças de Alzheimer, autismo, crise convulsiva, demência, depressão, esquizofrenia, hidrocefalia, doença de Parkinson, entre outros, basta acrescentar outras sequências ao protocolo geral

▪ Indicações:

- ❖ Anatomia da orofaringe, apnéia do sono (SAHOS), Ronco

Exemplo de Protocolo: Membro inferior

▪ Protocolo mínimo - Quadril

- ❖ TSE T1 AX comparativo
- ❖ TSE T2 FS COR comparativo
- ❖ TSE T1 COR só do quadril D ou E
- ❖ TSE DP FS ou GRE T2 SAG só no quadril D ou E

▪ Indicações:

- ❖ Bursite, dor osteonecrose, tendinopatia, trauma.

▪ Protocolo mínimo – Joelho

- ❖ Axial TSE T2 FSE SAT
- ❖ Sagital T1 SE alta resolução
- ❖ Sagital DP FSE FAT SAT
- ❖ Sagital duplo Eco SE
- ❖ Coronal DP FSE FAT SAT
- ❖ FOV 17 x 17 cm
- ❖ Axial - 24 cortes
- ❖ Sagital e coronal – 24 cortes

▪ Indicações:

- ❖ Artrose, lesões condriais, Osteonecrose, traumas..

FS – saturação de gordura (FAT SAT)

DP – Densidade de prótons

SAT – Saturação

FOV – campo de visão

Exemplo de Protocolo: Membro Superior

▪ Protocolo mínimo - Ombro

- ❖ Axial T2 FSE FAT SAT
- ❖ Coronal T2 FSE FAT SAT
- ❖ Coronal DP/T2 FSE
- ❖ Sagital T2 FSE
- ❖ FOV 17 x 17 cm
- ❖ 16 cortes finos

▪ Indicações:

- ❖ Bursite, instabilidade acrômio-clavicular, lesões ligamentares, luxação gleno-umeral...

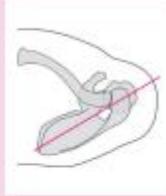
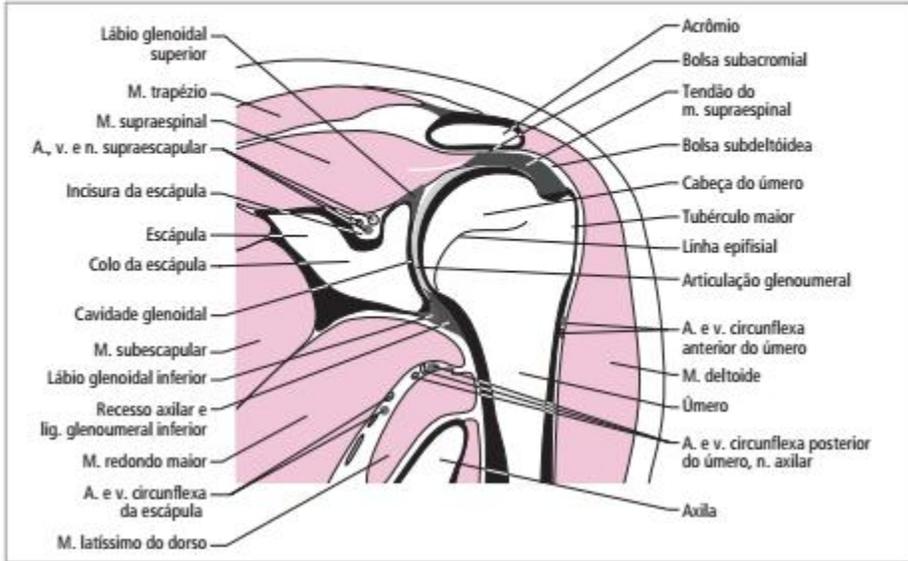
▪ Protocolo mínimo - Cotovelo

- ❖ Coronal T1
- ❖ Axial T1
- ❖ Sagital T1
- ❖ Axial DP FAT SAT
- ❖ Coronal DP FAT SAT
- ❖ FOV 17 x 17cm
- ❖ Cortes finos

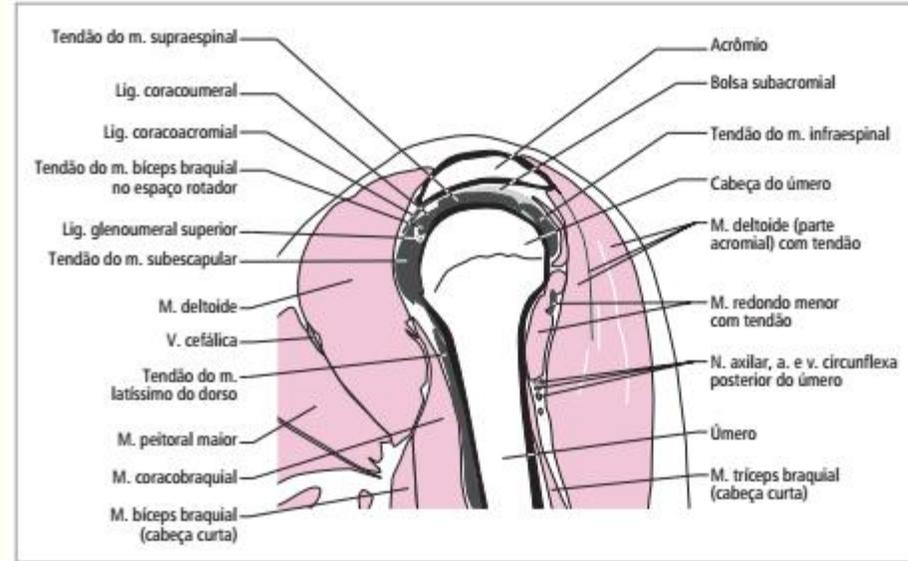
▪ Indicações:

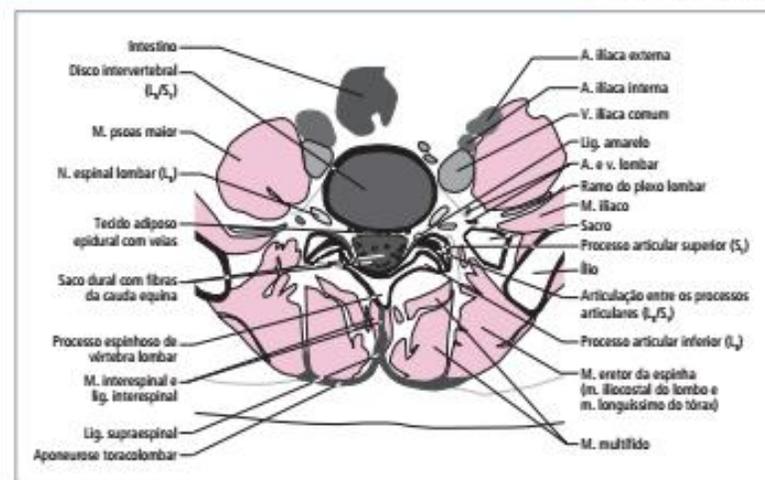
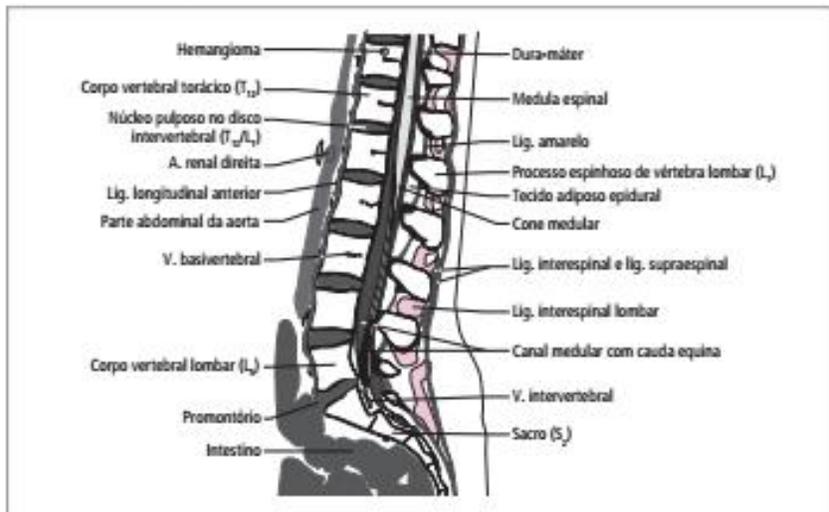
- ❖ Trauma, luxação, Bursite, artrose, Tendinopatia ...

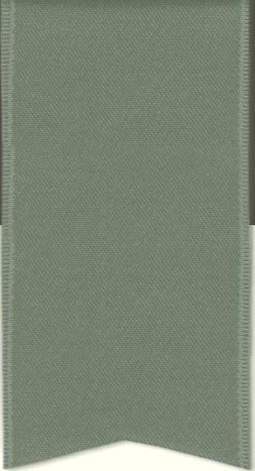
Ombro, coronal



Ombro, sagital







Ressonância Magnética

*Prof. Luciano Santa Rita
tecnologo@lucianosantarita.pro.br
www.lucianosantarita.pro.br
lucianosantarita@outlook.com*



Ressonância Magnética

Prof. Luciano Santa Rita

tecnologo@lucianosantarita.pro.br

www.lucianosantarita.pro.br

lucianosantarita@outlook.com

