

# **MATERIAL INSTRUCIONAL DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

## **RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR E O DIAGNÓSTICO DE IMAGEM PARA ALUNOS DO ENSINO MÉDIO**



**Rodrigo Zell de Sousa**

Orientador: Profº Dr. Nelson Studart

Santo André – SP - Brasil

Janeiro - 2020

## A Sequência Didática

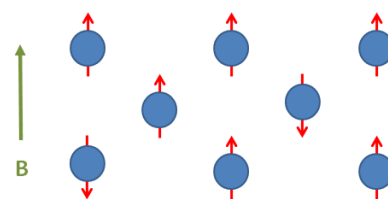
O texto consiste em uma sequência didática (SD) que aborda a física envolvida no processo de diagnóstico médico de imagem via ressonância magnética nuclear (RMN). O principal objetivo é levar para a sala de aula um assunto novo, diferente daqueles que constam da grade tradicional presente no currículo do Ensino Médio de hoje. As estratégias de ensino são simples e factíveis e os únicos recursos necessários são o acesso à internet e o projetor multimídia.

No que segue, apresenta-se um roteiro prático e objetivo para o professor que deseja aplicar o produto com a sua turma. Ele foi dividido em 3 partes:

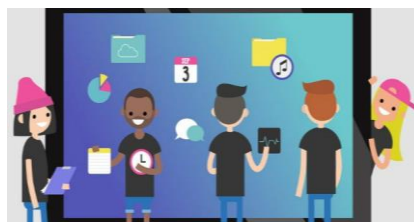
- I) Na primeira parte é feita a apresentação do material, com as principais ferramentas, e passos iniciais que o professor deve tomar para sua aplicação;



- II) Na segunda parte são colocados os principais tópicos de física que se fazem necessários para uma aplicação mais sólida e significativa do material;



- III) Por fim, uma proposta de aplicação do material (tal qual foi realizada) com considerações a respeito, e dicas para melhor aproveitamento;



um

Este material instrucional decorre da dissertação de mestrado submetida ao polo da UFABC do MNPEF. (ZELL, 2019)

# 1. APRESENTAÇÃO

## 1.1 Motivação

Todo o material foi pensado e planejado com uma preocupação muito forte sobre duas críticas ao ensino tradicional e expostas nos capítulos iniciais da dissertação de ZELL (2019): conteúdo engessado e metodologias tradicionais.

No que diz respeito ao conteúdo, o grande objetivo é extravasar os limites da física clássica, predominante nos livros didáticos e sistemas de ensino voltados para o Ensino Médio. Por isso foi selecionado um tema de física contemporânea: Ressonância Magnética Nuclear (RMN). Trata-se de um tópico que requer conceitos de mecânica quântica, como, por exemplo, o tratamento do spin de partículas.

Já a respeito da metodologia empregada, uma grande preocupação do trabalho foi a quebra com os meios tradicionais das aulas expositivas, em que o professor é o orador-comunicador e os alunos sentados (como mostra Fig. 1) são meros espectadores passivos no ensino.

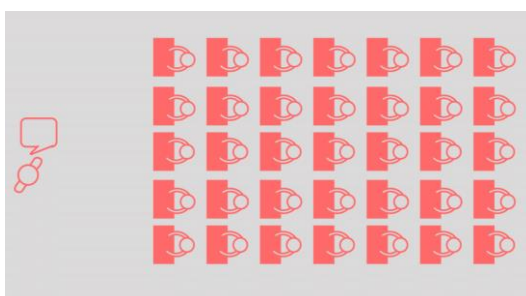


Fig. 1 – Sala de aula tradicional em fileiras

A ideia é que o professor incorpore em suas aulas tecnologias de ensino como projeção, vídeo e jogos, visando uma aprendizagem mais significativa dos alunos.

## 1.2 Público alvo

Sem dúvida o público alvo para aplicação desta SD são os alunos do Ensino Médio. Em particular, alunos das turmas de segundo ou terceiro ano, uma vez que, para o entendimento completo do fenômeno físico e do processo de captação de imagem, o aluno deve ter adquirido certas ferramentas básicas de matemática e física que normalmente são ensinadas ao longo do primeiro e segundo ano do Ensino Médio.

### 1.3 Ferramentas básicas

Para um bom aproveitamento da aplicação do material, é indicado que o professor tenha domínio de alguns recursos (alguns talvez menos comuns do que outros) que são sugeridos. São eles:

- Recursos de apresentação do Office (Powerpoint);
- Aplicativos de mensagens online (Whatsapp);
- Youtube (alguns vídeos são indicados para momentos fora da sala de aula);

Simuladores PhEt<sup>1</sup> (site com centenas de simuladores para atividades práticas muitas vezes de difícil reprodução em ambiente escolar);



- Jogos para verificação da plataforma Kahoot<sup>2</sup>;



É conveniente elencar alguns conceitos importantes de física e matemática do Ensino Médio que funcionam como organizadores prévios. O conhecimento desses conceitos não é imprescindível para aplicação do material, porém, quanto melhor trabalhados antes da aplicação da SD, maior será sua eficiência na sala. Os conceitos relevantes são:

- Velocidade angular e frequência de movimento circular;
- Ressonância (fenômeno apresentado no capítulo de física deste trabalho);
- Ondulatória (elementos de onda) e seus fenômenos como interferência e ressonância (supracitado);

---

<sup>1</sup> No APÊNDICE I encontra-se um tutorial a respeito dos simuladores utilizados.

<sup>2</sup> No APÊNDICE II encontra-se um tutorial a respeito dos jogos utilizados da plataforma.

- Noções básicas de modelos atômicos;
- Função exponencial e logaritmo (relação função – gráfico);

#### **1.4 Planejamento**

O professor pode organizar a aplicação da SD de acordo com seu planejamento escolar. Sugere-se que a duração de pelo menos 5 semanas é adequada. Ela pode ser realizada no período normal de aulas dos alunos ou então em contra turno.

É recomendada ao professor uma boa leitura de toda física presente neste trabalho, além é claro do relato da experiência descrita neste material, para que este sirva de base e referência.

A SD consiste de 5 unidades didáticas trabalhadas em encontros presenciais.

Durante sua realização ocorrerá a utilização de alguns simuladores do PhET (já que é muito difícil reproduzir experimentalmente os tópicos de física moderna abordados), e jogos em Kahoot.

Portanto, além da recomendação ao professor de aprender a lidar com essas ferramentas (melhor detalhadas nos anexos deste trabalho), é recomendado também que estas sejam previamente trabalhadas com os alunos. Com isso, além de colocar seus alunos em contato com novas formas de aprender, o professor não ocupará tempo de aula dentro da SD com explicações e orientações referentes às ferramentas.

Resumindo, sugere-se que o professor:

1. Dominar os conceitos da física envolvidos em toda SD;
2. Entender a construção e a aplicação da SD e como pode ser aplicada em sua escola e seu público;
3. Desenvolver habilidades com o uso das ferramentas utilizadas (das triviais às mais complexas), como o Powerpoint, Youtube, Kahoot, PhET, Whatsapp;
4. construa o calendário dos encontros presenciais

#### **1.5 Organização inicial**

Após ter feito um estudo prévio do conteúdo de física abordado na SD (capítulos 2 e 3 deste trabalho e referências relevantes), e depois de ter aprendido a lidar com as ferramentas utilizadas nos encontros (anexos I e II), o professor pode então combinar com a turma os encontros e a aplicação da SD. Toda SD deve ser aplicada com objetivos bem específicos e que estes sejam de conhecimento prévio do professor e

dos alunos. O professor deve separar parte de um encontro para esclarecer aspectos importantes na aplicação da SD: cooperação, competição, regras, recompensas, que são elementos-chave da gamificação (FARDO, 2013):

- que o trabalho todo será feito e avaliado em equipes, que possuirão nomes e líderes;
- as equipes terão tarefas orientadas para realizar (para as quais serão atribuídos pontos, tal qual num jogo);
- que o professor e a turma devem usar a criatividade para nomear, criar símbolos, gritos de guerra e o que mais for positivo para criar um ambiente de competição entre as equipes da sala;
- a organização de um grupo de whatsapp para comunicação com os líderes das equipes;
- o sistema de pontuação (proposta de pontuação presente na terceira parte deste produto);
- Demonstração aos alunos da plataforma Kahoot;

Apresentadas as regras, encontros, equipes e ferramentas, o ambiente então estará pronto para aplicar a SD. Para uma descrição mais detalhada da organização e aplicação da SD conferir capítulos 7, 8 e 9 de ZELL (2019).

## 2. CONCEITOS DE FÍSICA ABORDADOS NA SD



A física em que se baseia todo o trabalho está bem descrita e detalhada nos capítulos 3 e 4 de ZELL (2019), enquanto que a física e a matemática específicas para a compreensão da geração de imagens estão presentes no capítulo 5 de ZELL (2019). Esta seção é reservada para uma apresentação sucinta de

tais conteúdos. O professor que domine os assuntos abordados, pode usar esta seção como um roteiro de estudos para orientar o seu próprio aprendizado. e aproximação do conteúdo, algo que já foi altamente recomendado na primeira parte desse texto. Partindo de conceitos básicos da física clássica, temas da física quântica são considerados, como o spin e a ressonância magnética nuclear, para posteriormente chegar a parte mais significativa do trabalho, em que é explicitada, utilizando toda a teoria apresentada, a geração das imagens para o diagnóstico médico.

### 2.1 Ressonância

O fenômeno da ressonância ocorre quando uma força externa provoca oscilação em outro sistema oscilante. Este segundo sistema, recebendo energia continuamente, passa a oscilar com amplitude cada vez maior segundo frequências bem específicas. Reforçando o sistema nessas frequências específicas, mesmo forças pequenas (desde que periódicas) podem gerar uma grande amplitude resultante, pois o sistema estará sempre armazenando e recebendo nova energia.

Duas grandezas importantes envolvidas no entendimento da ressonância são: frequência e amplitude. A amplitude está associada à variação da posição de objetos e corpos quando estes oscilam numa trajetória fechada entre posições bem estabelecidas, como por exemplo num balanço.

Desconsiderando perdas por forças resistivas, partindo de uma posição inicial  $A$  fora da posição de equilíbrio e repouso (central no caso), o balanço passaria a executar um movimento harmônico em torno da posição inicial com uma amplitude bem definida nos dois sentidos numa determinada direção, como mostrado na Fig. 2.

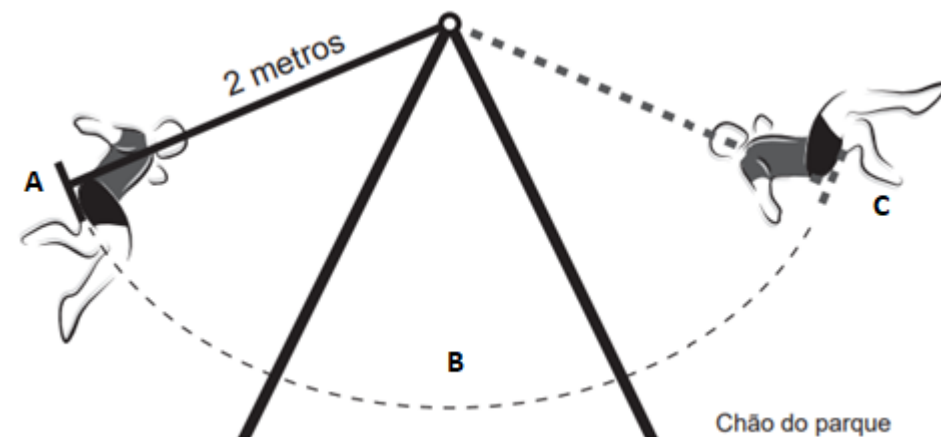


Fig. 2 – Balanço oscilando entre as posições A e C  
 Fonte: ENEM 2014 (Caderno azul, questão 148)

Agora, a quantidade de ciclos completos (ida e volta) num determinado espaço de tempo define a frequência do movimento. Quando este balanço recebe um impulso periódico por um agente externo, este passa a oscilar com uma amplitude cada vez maior. Este processo de aumento de amplitude mediante um reforço constante caracteriza o fenômeno da ressonância.

Partindo da 2ª Lei de Newton, utilizando a lei de Hooke e considerando a força exercida pelo agente externo, é fácil demonstrar (BARROS, 2007) que a amplitude do movimento ficará definida por

$$x_m = \frac{F_0/m}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (1)$$

Em que  $\omega_0$  é a frequência de ressonância e  $\omega$  a frequência imposta pelo agente externo. Quanto mais próximas estiverem essas frequências, maior será a amplitude resultante, caracterizando o processo ressonante.

## 2.2 Spin

Outra grandeza de suma importância para o entendimento da ressonância magnética nuclear é o spin das partículas. Grandeza de natureza quântica, a existência do spin pôde explicar sem ambiguidade o icônico experimento de Stern-Gerlach<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Para detalhes ver a seção 3.4 de ZELL (2019)



Apesar do termo em inglês estar associado a “giro”, é conhecido que partículas, como, por exemplo, elétrons e prótons, possuem um momento magnético intrínseco que independe de um movimento de rotação em torno do próprio eixo (como acreditava-se na proposta inicial).

O spin é uma característica intrínseca de uma partícula, como a massa e a carga, assumindo valores inteiros e fracionários dependendo da classe de partícula (por exemplo o valor para o próton, alvo da observação em ressonância magnética nuclear, possui o valor  $\frac{1}{2}$ ). Na física quântica, o spin é descrito por um operador de spin  $\hat{S}$  que possui característica semelhante ao operador de momento angular.

Sendo assim, observa-se experimentalmente que, ao fazer um feixe de átomos atravessar um campo magnético não uniforme e na direção perpendicular ao feixe de átomos, que o feixe era desviado em porções discretas contrariando o esperado resultado clássico que previa um espectro contínuo (para uma abordagem histórica ver GOMES, PIETROCOLA; 2011). Foi justamente o resultado discreto, como mostrado na Fig. 3, que apontou a existência do número quântico de spin.

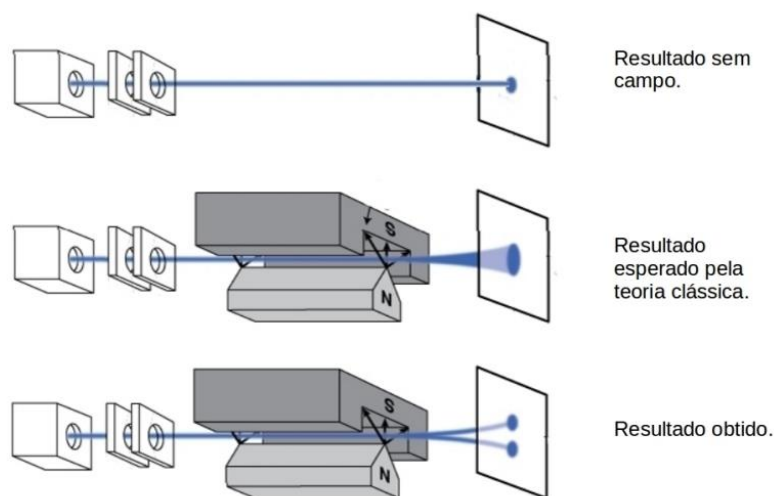


Fig. 3 – Comparação dos resultados esperados pela física clássica e o resultado obtido

### 2.3. Ressonância Magnética Nuclear

O fenômeno da Ressonância Magnética Nuclear (RMN) é a base para todo o processo do diagnóstico de imagem que usa essa técnica. O fenômeno pode ser descrito de forma simplificada. Quando se posiciona um próton na presença de um campo

magnético externo, este se alinha com o campo e com isso inicia um movimento de precessão, como visto na Fig. 4.

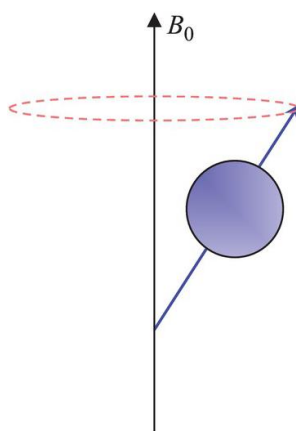


Fig. 4 – Diagrama esquemático do movimento de precessão do próton em torno do eixo do campo magnético

O próton poderá se alinhar a favor (paralelo) ou contra (antiparalelo) as linhas do campo, dependendo da sua energia (os mais energéticos se alinharão contra o campo<sup>4</sup>). Por exemplo para o hidrogênio, à temperatura ambiente e sob um campo de 1,5T, considera-se que a diferença entre spins paralelos e antiparalelos chega a algo em torno de 5 para 1 milhão. Aparentemente um valor pequeno, porém esses 5 para cada milhão serão suficientes para que, saindo de sua posição de equilíbrio, remetam energia que possa ser detectada.

Enquanto houver o campo magnético externo (B) agindo sobre as partículas, as mesmas vão continuar na condição de alinhamento, a menos que o campo cesse, ou que um segundo agente externo aja sobre o sistema.

O processo de ressonância magnética nuclear se inicia a partir deste ponto. A partir de uma fonte externa, energia pode ser fornecida (periodicamente) para os núcleos para que estes absorvam essa energia e entrem em ressonância, a fim de se alinharem ou desalinharem com o campo magnético externo. Neste momento pode-se afirmar que o processo é quântico, tendo em vista que a absorção de energia por parte do núcleo só ocorre em valores quantizados. Será comentado o caso do exame de diagnóstico de imagem por RMN, em que são utilizadas ondas de radiofrequência

---

<sup>4</sup> A quantidade e a relação entre partículas a favor ou contra as linhas de campo seguem uma distribuição de Boltzmann, descrita em ZELL (2019).

sintonizadas para valores bem específicos de frequência (comumente chamada de frequência de Larmor). A relação entre a frequência de Larmor e o campo magnético é dada por

$$\omega = \gamma \cdot B_0. \quad (2)$$

Em que  $\gamma$  é a constante giromagnética (cada elemento possui um valor diferente e pré-estabelecido), e  $B_0$  é o campo magnético externo. Para que os núcleos entrem em ressonância é necessário que sejam bombardeados com uma onda eletromagnética na faixa das ondas de rádio. Por exemplo, o hidrogênio possui uma constante giromagnética de  $42,5\text{MHz/T}$ . Isso significa, que se o equipamento de exame de diagnóstico por RMN estiver gerando um campo magnético de  $1,5\text{T}$ , a radiofrequência que irá interagir com os prótons de hidrogênio deve ter uma frequência de  $63,5\text{MHz}$ . Logo após os prótons adquirirem energia, eles assumem uma orientação contrária às linhas de campo magnético. No retorno à configuração original (que seria a favor das linhas de campo e com uma energia menor) essas partículas emitem a energia excedente na forma de radiação eletromagnética, atingindo uma posição mais estável de equilíbrio. É neste processo de retorno que se baseia o princípio de formação de imagens num exame via RMN a ser discutido na seção 2.4.

#### **2.4. Geração de imagens**

As primeiras imagens de RMN para fins de diagnóstico médico só surgiram aproximadamente três décadas após a descoberta do fenômeno por Purcell e Bloch. Entre sua descoberta e a aplicação médica houve a contribuição de muitos cientistas e sua utilização ocorreu fortemente nos campos da indústria e laboratórios (a fim de melhorar a identificação de elementos e composição de substâncias). Mas foi somente na década de 80, com o grande avanço do processamento de dados dos computadores e da melhoria na geração de campos magnéticos intensos que foi possível utilizar a RMN para diagnóstico de imagem em medicina.

Com pouco mais de 30 anos de utilização, o diagnóstico de imagem usando a técnica de RMN é relativamente recente comparado a outros procedimentos. Nesse período o equipamento evoluiu (veja a Fig. 5) mas o conceito por trás do exame continua o mesmo: provocar emissão de energia por prótons que retornam de estados mais energéticos.

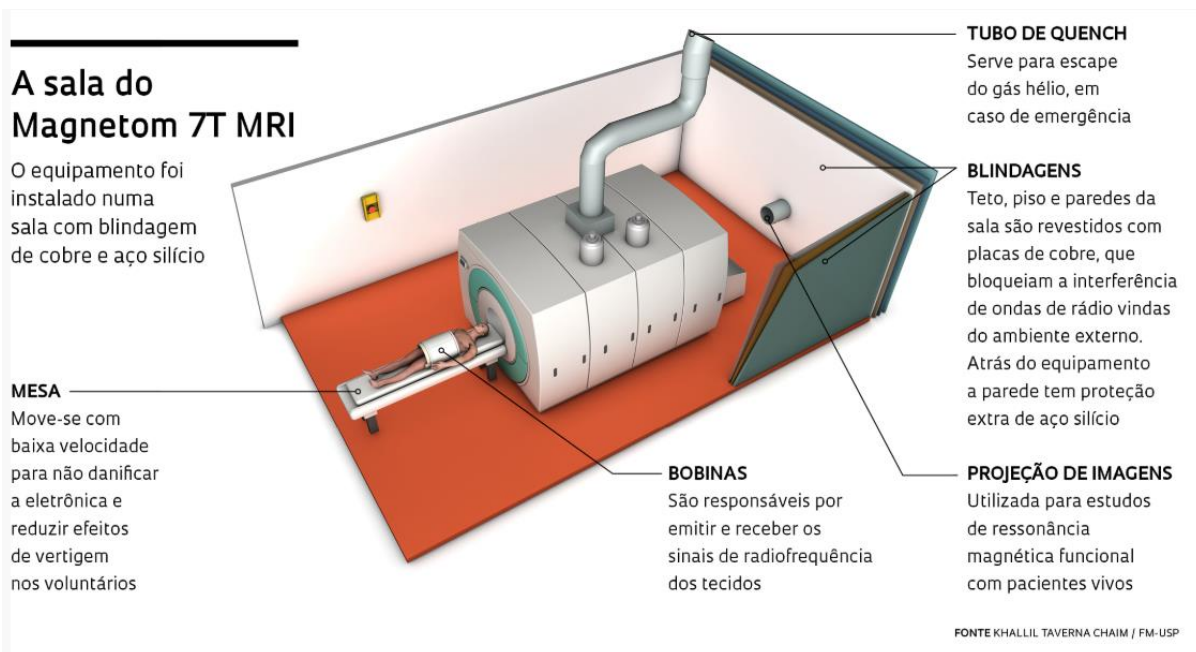


Fig. 5 – Diagrama explicativo do equipamento (atual) de ressonância magnética  
fonte: MARQUES (2015)

Uma vez que os prótons de hidrogênio estão devidamente alinhados com o intenso campo magnético externo gerado pela bobina, o paciente fica então exposto a um bombardeio direcionado e controlado de ondas eletromagnéticas de frequência próxima a das ondas em operação nas rádios FM. Como supracitado, para o hidrogênio, trabalhando com um campo de  $1,5T$  a frequência da onda ressonadora deve ser de  $63,5\text{ MHz}$ . Uma pequena porção dos prótons passarão por esta experiência de ressonar e mudar seu estado energético (alinhamento), mas que já serão suficientes, ao retornar para o estado inicial, de emitir uma radiação específica que será detectada por bobinas instaladas no equipamento. São justamente todas as características dessa magnetização e desmagnetização, alinhamento e desalinhamento, tempo transcorrido e frequência emitida pela radiação captada que servirão de dados para a geração de imagens da região examinada. Além do conceito físico fundamental e dos diferentes tipos de imagens que se pode obter, é importante descrever de que maneira as imagens são obtidas e processadas. Há maneiras distintas de observar a RMN e gerar imagens. Essas observações dependem dos tempos de relaxação T1 e T2 associados às magnetizações longitudinal e transversal dos prótons de hidrogênio. Quando o paciente é submetido ao campo magnético  $B_0$

(ao longo eixo central do corpo) surge uma magnetização longitudinal por conta de todos os prótons alinhados a  $B_0$ . A partir do momento em que os prótons são excitados pelos pulsos de radiofrequência (RF), eles absorvem energia e começam a mudar o sentido de precessão (de paralelo para antiparalelo). No momento em que os pulsos cessam, os prótons excitados tendem a retornar à posição de equilíbrio (magnetização longitudinal). O tempo associado à redução da magnetização transversal é conhecido por T2, enquanto que o tempo que leva para o retorno da magnetização longitudinal é conhecido por T1. O tempo de relaxação T1 também é conhecido por tempo de relaxação spin-rede, pois a energia absorvida pelo próton é transferida à vizinhança na rede cristalina. Por este motivo, a composição e estrutura do tecido alvo são um fator determinante para T1. O retorno da magnetização longitudinal pode ser relacionado com o tempo por meio da função

$$M_z = M_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_1}}). \quad (3)$$

Em que  $M_z$  é a magnetização na direção z do eixo central do corpo,  $M_0$  é a magnetização longitudinal inicial. O tempo de relaxação T1 é o tempo em que a magnetização atinge 63% do seu valor inicial. A Fig. 6 mostra o comportamento da magnetização longitudinal em função do tempo.

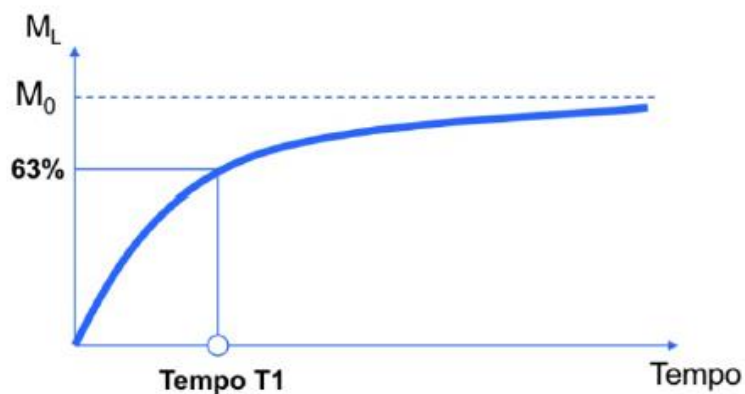


Fig. 6 – Evolução da magnetização longitudinal com destaque para o tempo T1

fonte: MAZZOLA (2009)

O tempo de relaxação T2 também é conhecido por tempo de relaxação spin-spin e é aproximadamente 2 a 10 vezes maior que T1. Pode ser relacionado ao decaimento da magnetização transversal com o tempo por meio da função

$$M_{xy} = M_0 \cdot e^{\frac{-t}{T_2}} . \quad (4)$$

Em que  $M_{xy}$  é a magnetização transversal ao eixo z (ou seja, no plano xy) e  $M_0$  é a magnetização longitudinal inicial. O tempo de relaxação T2 é tomado como o tempo transcorrido para a magnetização transversal atingir 37% do seu valor inicial. A Fig. 7 mostra o comportamento da magnetização transversal em função do tempo.

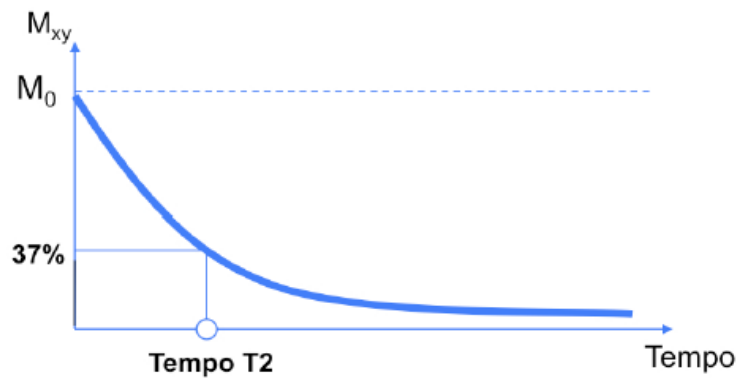


Fig. 7 – curva de decaimento da magnetização transversal  
fonte: MAZZOLA (2009)

Na tabela 1, temos alguns exemplos de T1 e T2 para diferentes tecidos expostos a um  $B_0 = 1,5T$ .

Tabela 1: tempos T1 e T2 para diferentes tecidos quando expostos a um campo magnético

$B_0$  de 1,5T

Fonte: MAZZOLA (2009)

| <b>Tecido</b>                      | <b>T1 (ms)</b> | <b>T2 (ms)</b> |
|------------------------------------|----------------|----------------|
| Substância Branca                  | 790            | 90             |
| Substância Cinzenta                | 920            | 100            |
| Líquido Cefalorraquidiano (Líquor) | 4000           | 2000           |
| Sangue (Arterial)                  | 1200           | 50             |
| Parênquima Hepático                | 490            | 40             |
| Miocárdio                          | 870            | 60             |
| Músculo                            | 870            | 50             |
| Lipídios (Gordura)                 | 250            | 80             |

### 3. A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

#### Unidade 1 – Descobrimo o exame de ressonância magnética e retomando a física clássica

A primeira unidade deve ser iniciada com uma breve discussão (o formato de Brainstorm se aplica muito bem) acerca de uma pergunta muito simples: “se você precisasse explicar a uma pessoa (de qualquer idade) o que sabe, como ocorre e do que trata um exame de ressonância magnética, como o faria?”. Na aplicação do produto, a imensa maioria dos alunos já tinha tido contato com alguém bem próximo (familiares ou amigos) que tinham realizado o exame, quando não eles mesmos (principalmente para diagnóstico de lesões e fraturas). Apesar disso, a mesma maioria não fazia ideia do que se tratava o exame. Muito comum entre os alunos é associar o exame via RMN com os exames via Raio X (talvez o mais comum no dia a dia dos hospitais). É interessante neste momento anotar as principais ideias surgidas (ainda que erradas). Este é um momento de verificação dos pré-requisitos, e é a partir deles que deverá ocorrer a construção das novas ideias e do conhecimento esperado para a SD.

Para complementar a discussão inicial, a exposição de algumas imagens associadas a exames de diagnóstico de imagem por RMN (desde a máquina até as imagens geradas) pode ajudar a elucidar do que se trata a SD.

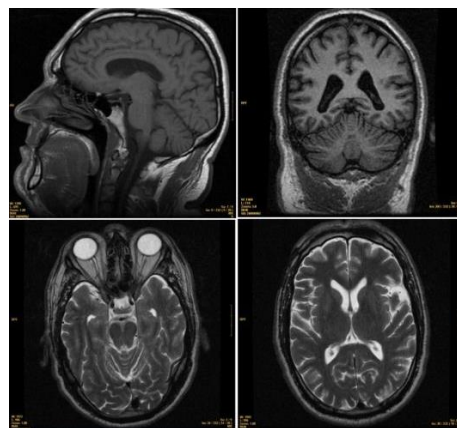


Fig. 8 – Foto de aparelho comumente encontrado em procedimentos de exames de ressonância magnética (a esquerda), e imagens produzidas em diferentes cortes

Após esse momento inicial, deve ser apresentada aos alunos a sequência de aulas de que eles terão pela frente, esclarecendo o objetivo principal da SD: ao seu término,



espera-se que os alunos tenham um conhecimento científico maior, para que possam então responder à questão inicial sem devaneios metafísicos nem chutes aleatórios. Após a discussão inicial o professor deve conduzir a apresentação a respeito do fenômeno da ressonância. Essa parte da unidade não demanda um tempo extenso, tendo em vista que o que será exposto não é muito diferente do conteúdo de ressonância que os alunos são supostos possuir dentro das aulas de ondulatória do cronograma normal do currículo. No Apêndice III são encontrados os links para os modelos de apresentações, e na apresentação referente à unidade 1, existem links prontos para o simulador PhET (de ressonância) e alguns vídeos do Youtube. Ao fim da unidade o professor tem um game pronto na plataforma Kahoot (link no apêndice) para jogar com as equipes a respeito da aula (ressonância). Após o término da unidade 1, deve ser enviado aos representantes as orientações referentes às atividades remotas. Os alunos devem entregar no próximo encontro um mapa conceitual a respeito do fenômeno da ressonância e assistir ao vídeo do Youtube (MARQUES, 2015) a respeito do elétron<sup>5</sup>.

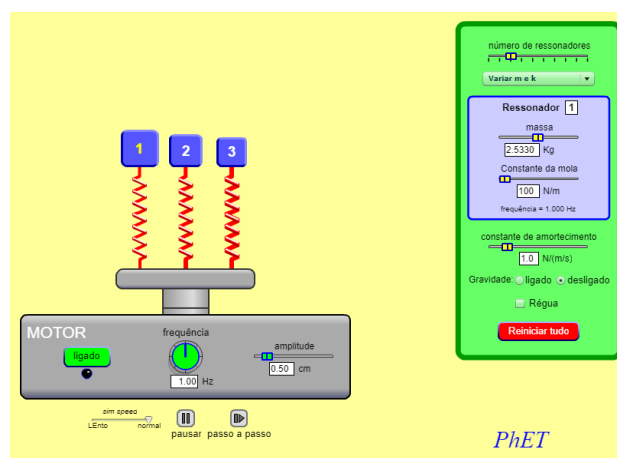


Fig. 9 – Simulador do fenômeno de ressonância do PhET

## Unidade 2 – Descobrimo o Spin

A unidade 2 deve ser iniciada, para efeito de verificação, com a aplicação do game em Kahoot a respeito do spin (link no Apêndice III)

Os alunos que realmente assistiram ao vídeo proposto para casa (após o término da primeira unidade), terão maior sucesso no game. Sugere-se ao professor que, logo

<sup>5</sup> Link e nome especificados no Apêndice III.

após o término do jogo, faça uma breve discussão com os alunos comentando as questões (principalmente aquelas onde houver maior incidência de erros). Esta unidade é reservada para a introdução do spin. Este é o maior desafio de toda a sequência, visto que se trata de um assunto que foge completamente da base oferecida pela física da educação básica. Além do mais, há diversas referências em que o conceito de rotação é associado ao spin, algo que definitivamente não é correto como mostrado detalhadamente em ZELL (2019). Não é raro encontrar alguns memes<sup>6</sup> que dialogam justamente com esta questão: associar o termo em inglês spin, que significa giro, com uma suposta rotação da partícula. A Fig. 10 ilustra uma tentativa de explicação que traz essa confusão à tona: “Explicando o spin do elétron: imagine uma bola rotacionando, exceto que não se trata de uma bola e não está rotacionando”.

Electron spin explained: imagine a ball that's rotating, except it's not a ball and it's not rotating

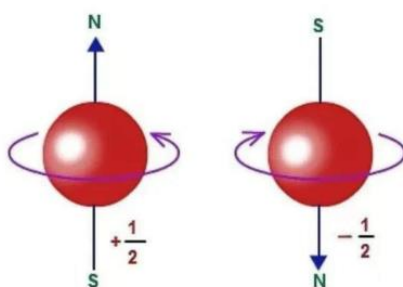


Fig. 10 – Meme acerca do tema spin

Outro importante objetivo (concomitante à exposição e explanação do spin) desta unidade é apresentar aos alunos um conceito de quântica num momento em que se depara cada vez mais com o uso abusivo do termo “quântico” pelas ruas. Termo inclusive cada vez mais empregado de maneira absolutamente errada e equivocada (“terapia quântica”, “treinamento quântico”, etc.). Tramitava um projeto de lei<sup>7</sup> em estudo para proibir o uso do termo “quântica” e/ou “quântico” fora do contexto correto.

<sup>6</sup> A expressão meme de Internet é usada para descrever um conceito de imagem, vídeos, GIFs e/ou relacionados ao humor, que se espalha via Internet. (fonte: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Meme\\_\(Internet\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Meme_(Internet))> acessado em: 05 de dezembro de 2019).

<sup>7</sup>Para saber mais a respeito:

<https://www12.senado.leg.br/ecidadania/visualizacaoideia?id=123420>

A apresentação referente a esta unidade possui atalhos (links também disponíveis no apêndice) para simuladores PhET e vídeos de apoio do Youtube. Após o término da unidade, recomenda-se ao professor, solicitar o mapa conceitual e a atividade extraclasse de pesquisa acerca de ressonância magnética nuclear com as 3 perguntas norteadoras. Eles podem fazer uso do celular salvando links, fazendo download de artigos e matérias e sempre compartilhando tudo com os colegas da equipe.

As perguntas são:

- ✓ Quais são os princípios e fenômenos físicos mais importantes presentes no processo de ressonância magnética nuclear?
- ✓ Quais foram os principais fatores e evidências que permitiram tal descoberta?
- ✓ De que maneira esse fenômeno foi e pode ser empregado na medicina no que diz respeito ao diagnóstico de imagem?

### **Unidade 3 – Entendendo o fenômeno da ressonância magnética nuclear**

A terceira unidade inicia com um momento de discussão com os alunos acerca das dúvidas que eles encontraram na pesquisa dirigida em casa. A apresentação da unidade 3 foi pensada para explicar o fenômeno que guia todo o processo: a ressonância magnética nuclear. De suma importância, ela une elementos das duas primeiras unidades. Após a discussão inicial, e parte expositiva, realiza-se o procedimento de verificação. É sugerido ao professor que faça uso de uma ferramenta muito interessante: o Google Forms<sup>8</sup> (o link é disponibilizado para todos no Apêndice III). O formulário sugerido possui 8 perguntas. Os alunos podem responder no próprio momento de aula fazendo uso de seus celulares, o que torna a atividade prática, rápida e tão eficaz quanto o caderno e tinta, mas com uma grande vantagem: a própria plataforma do Google compila as respostas para o professor (inclusive, devido à facilidade, sugere-se ao professor que crie o seu próprio formulário). De posse deste resultado imediato, fica muito prático para o professor analisar as estatísticas das repostas e assim ter um feedback instantâneo do nível de aprendizado que a turma teve a respeito daquele assunto.

---

<sup>8</sup> O Google Forms é um aplicativo de administração de pesquisas.

Após o término da unidade 3, é pedida a elaboração de mais um mapa conceitual (a respeito de RMN) e enviado o link do vídeo para a atividade extraclasse. O vídeo se trata do trecho de um vídeo da Discovery (link disponível no Apêndice III) com o assunto que estará presente na unidade 4 (Fig. 11).



Fig. 11 – Vídeo proposto para anteceder a unidade 4

#### **Unidade 4 – Usando a RMN para diagnóstico por imagem**

A unidade 4 inicia com um game de verificação do Kahoot a respeito do fenômeno de RMN (discutido na unidade 3 e presente no vídeo previsto como atividade extraclasse). No Apêndice III é encontrado o link para a apresentação que discute como é feita a utilização do fenômeno de RMN para geração de imagens em medicina. Além da retomada do fenômeno de RMN, é muito interessante explorar os gráficos das funções exponenciais (presentes na Seção 2.4 deste manual e na apresentação) que ilustram de forma clara a matemática envolvida nas magnetizações transversal e longitudinal dos prótons de hidrogênio. É muito importante que os alunos enxerguem a física sempre acompanhada da matemática envolvida. Muitas vezes, é somente com a matemática que alguns fenômenos conseguem ganhar aceitação por parte dos alunos.

Entre as unidades 4 e 5 é sugerido que os grupos se encontrem. O objetivo destes encontros é discutir a respeito de tudo que foi visto e falado nas 4 primeiras unidades (sugere-se que os alunos trabalhem na forma de brainstorm), sendo feito um resumo (na forma de tópicos) com as principais palavras e frases de impacto da reunião do grupo.

## **Unidade 5 – Avaliando a aprendizagem**

A avaliação foi pensada num formato bem diferente. Os alunos devem realizar parte da atividade individualmente e depois encerrar com suas respectivas equipes. Fechando com a pergunta inicial do trabalho, os alunos são imersos na seguinte situação hipotética: criar um folder que explique da forma mais simples, eficaz e “cientificamente correta” do que se trata e como ocorre um exame de diagnóstico por imagem por ressonância magnética nuclear. Cada integrante do grupo deve elaborar, em 15 minutos, uma breve explicação (escrita ou ilustrada), de como funciona o equipamento e o processo de formação de imagem de um exame de ressonância magnética, porém com um detalhe muito interessante: cada integrante deve preparar uma explicação para um público. Como a recomendação é de que as equipes tenham 4 alunos, sugere-se os seguintes públicos: uma criança de 8 anos de idade, um jovem do ensino médio, um adulto com um pouco de instrução (ensino superior completo por exemplo) e um idoso sem instrução de ensino superior.

Passados os 15 minutos, os integrantes se reúnem e dispõem de 25 minutos para juntar as diferentes explicações e montar um folder informativo universal a respeito do exame de ressonância magnética, que poderia ser deixado por exemplo na recepção de um local de exame e ser lido, interpretado e compreendido por um variado público (desde crianças até um idoso).

O professor então recolhe os trabalhos e assim se encerra a SD. Num outro momento é interessante apresentar os resultados às equipes (pontuação e classificação) e também expor os trabalhos (folders) na escola, na forma de um stand acompanhado de imagens e mais informações interessantes, para que toda a comunidade escolar tenha acesso.

#### 4. A APLICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Com um relato da aplicação da SD, é possível que o professor leitor possa analisar a possibilidade e viabilidade da aplicação da SD na instituição onde trabalha. Na sua aplicação a sequência foi desenvolvida em cinco aulas correspondentes às unidades didáticas. Ressalta-se que a sequência das unidades foi pensada na construção do conhecimento e dos pré-requisitos de cada conteúdo. Por exemplo, seria muito difícil trabalhar com os alunos o fenômeno da ressonância magnética nuclear, sem antes verificar o conceito de ressonância.

Portanto, sugere-se que a sequência dos conteúdos seja mantida, ainda que a quantidade de aulas seja avaliada de acordo com a demanda do público para a qual se aplica a SD. A primeira unidade rendeu um bom movimento na aula e promoveu os alunos como protagonistas, com o brainstorm colaborativo acerca do assunto: *exame de diagnóstico por imagem através da ressonância magnética nuclear*. Com figuras e pequenos relatos dos alunos, foi criada um ambiente diferente do usual na sala de aula. Sem balbúrdia e sem alunos passivos.

Antes do início da segunda unidade os alunos assistiram fora da sala de aula um vídeo que introduz o universo do estudo de grandezas quânticas de partículas. Iniciada a segunda unidade, o processo de verificação foi muito bem realizado com os alunos e a apresentação do assunto “*quântica*” despertou a atenção de todos. A quântica é uma área da física que vem sendo explorada comercialmente pela indústria e de maneira totalmente equivocada. A abordagem do conceito de spin com os alunos, e a discussão em sala de o quanto a ciência pode ser mal apresentada ao público por alguns segmentos publicitários e da mídia, ajudaram a conquistar ainda mais a atenção de todos.

Trabalhados alguns conceitos clássicos e quânticos necessários, a terceira unidade chegou para juntar as ideias e mostrar para os alunos do que trata o fenômeno de RMN. Antes do início da terceira unidade, os alunos realizam (numa atividade extraclasse) uma pesquisa direcionada acerca da RMN (explicitada na seção anterior). Buscando motivar a sala como um todo, nesta atividade os pontos seriam obtidos de acordo com a média geral da sala obtida na atividade. Portanto, todos estavam preocupados com o rendimento coletivo, deixando de lado por alguns instantes a competição entre as equipes. A comunicação foi restringida para não termos cola generalizada, porém, talvez pela ferramenta diferenciada, os alunos

acabaram se ajudando de uma forma positiva, muitas vezes fornecendo a resposta aos colegas, mas acompanhada de explicações.

A quarta unidade trouxe matemática para a SD. A matemática envolvida nos conceitos de spin e RMN está muito longe dos alunos e pouquíssimos demonstraram interesse em pedir materiais adicionais e sugestões de estudos. Portanto, foi preferido incluir neste manual a matemática envolvida na magnetização longitudinal e transversal dos prótons de hidrogênio. As funções e gráficos associados são exponenciais, funções recorrentes em vestibulares e exames como o ENEM. Portanto, muitos alunos gostaram de fazer a utilização de um conhecimento advindo das aulas de matemática, aplicado diretamente em algo novo trabalhado nas aulas de física.

Por fim, a criação do folder deixou alguns alunos acanhados na etapa individual. Acabaram levando um material muito ruim para a parte do trabalho em grupos, porém, como os grupos eram de 4 ou 5 pessoas, as pequenas falhas individuais não contribuíram para uma má qualidade no resultado final.

Antes de expor os folders na escola, ainda foram realizadas algumas correções conceituais (um grupo por exemplo, ainda insistia na rotação do próton para definir seu spin, outro grupo associou à geração da imagem a uma radiação incidente tal qual a gerada no exame de raios-x), mas nenhuma avaliação creio eu é bem sucedida se não existirem erros a corrigir e pequenas falhas por ajustar.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como em toda nova experiência (no caso desta SD romper com a sala de aula tradicional e trabalhar com todas as atividades propostas), alguns entraves e problemas podem surgir. O desenvolvimento das atividades em sala correu sem interrupções nem problemas. Porém, um grande problema encontrado foi o acesso a tecnologia. Mesmo trabalhando num colégio particular, onde todos os alunos dispunham de celulares (todos smartphones com acesso a internet), alguns ainda usavam como argumento problemas técnicos com a internet ou com o celular (por não ter realizado alguma atividade).



Fig. 12 – Foto das equipes de alunos jogando na plataforma Kahoot

A “parte intermediária” da SD, ou seja, as unidades 2 e 3, em que são apresentados os conceitos verdadeiramente novos aos alunos, foram mais difíceis. O tema escolhido não é trivial nem para alunos da graduação. O desafio de transpor um conteúdo tão profundo em matemática, de uma maneira lúdica e motivadora para o público da educação básica foi grande, e com certeza, poderia ter sido ainda melhor. Os resultados apareceram nos pontos conquistados pelos alunos nas atividades (mapas conceituais e jogos em Kahoot) referentes a essas unidades (tabela 2). Após a aplicação da SD, dois pontos devem ser comentados que talvez possam ter contribuído para a aprendizagem mais efetiva. O primeiro trata da metodologia. As unidades que contaram com conteúdo de quântica deveriam estar mais recheadas ferramentas de tecnologia em educação (como os simuladores e jogos utilizados) para talvez ficar ainda mais lúdico para os alunos. Poderiam ter sido criados mais símbolos e representações, tornando os conteúdos de física ainda mais palpáveis.



Tabela 2: Modelo de pontuação (resultado final dos grupos ao término da aplicação):

| Grupos     | Kahoot (ressonância) | Mapa Conceitual (Ressonância) | Kahoot (elétron e o spin) | Spin (o que você entendeu?) | Mapa Conceitual (Spin) | Kahoot (RMN na medicina) | Mapa Conceitual (RMN) | Mapa Conceitual (diagnóstico de imagem) | Dinâmica de grupo final (folder) |
|------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|---|----------------------------------|
| Granny     | 47                   | 100                           | 45                        | 80                          | 100                    | 55                       | 80                    | 80                                      | 250                              |
| Durateston | 23                   | 100                           | 72                        | 90                          | 100                    | 62                       | 90                    | 90                                      | 200                              |
| Eclipse    | 35                   | 100                           | 35                        | 50                          | 100                    | 38                       | 100                   | 100                                     | 300                              |
| Eureka     | 27                   | 100                           | 42                        | 90                          | 100                    | 50                       | 100                   | 100                                     | 300                              |
| Foragidos  | 32                   | 80                            | 36                        | 80                          | 100                    | 45                       | 80                    | 80                                      | 200                              |
| Joaninha   | 44                   | 100                           | 26                        | 100                         | 100                    | 30                       | 100                   | 100                                     | 250                              |
| Sei lá     | 37                   | 90                            | 18                        | 90                          | 100                    | 35                       | 80                    | 80                                      | 300                              |
| Xuxuzin    | 46                   | 100                           | 18                        | 50                          | 100                    | 22                       | 100                   | 100                                     | 300                              |
| PocoPhone  | 48                   | 100                           | 30                        | 60                          | 100                    | 28                       | 100                   | 100                                     | 250                              |
| Zordin     | 27                   | 100                           | 26                        | 80                          | 100                    | 48                       | 100                   | 100                                     | 250                              |


Além da baixa pontuação, foi observado também um leve desinteresse pela aula por parte de alguns grupos (ainda que estes grupos normalmente já não se interessavam de fato pelas aulas de física). Neste ponto observei um certo “fracasso” em não conseguir prender a atenção destes alunos usando a SD.

Um segundo ponto está relacionado a questão da autonomia do aluno. O conteúdo de aula (falando em Spin e RMN) e os vídeos que antecederam as aulas chegaram muito prontos aos alunos e não gerou um resultado verificador tão bom quanto os conteúdos em que eles tiveram que pesquisar e discutir em grupo como por exemplo a geração de imagens. Fato observado: as atividades que deveriam ser realizadas de forma mais autônoma geraram melhores resultados nas pontuações das atividades verificadoras.

Já a avaliação final (a criação do folder – exemplo na Fig. 13) teve um resultado dentro do esperado, uma vez que muitos dos alunos que visitaram o stand exposto na escola com os trabalhos, eram perguntados (pelo próprio professor e colegas de outras salas) a respeito do quanto aprenderam com o material e as respostas eram sempre coerentes.

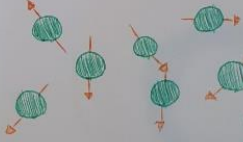
\* A Medula no hosp. tal possui um grande cabo em volta do qual a fêmur e este tubo tem a função de abastecer o líquido do sistema. É uma propriedade que todos os prótons tem, como a massa.

\* Cada próton possui uma frequência distinta e demoram mais ou menos tanto para entrar quanto para sair da ressonância (que ocorre a partir, entretanto, o tubo) e juntamente esta diferença faz com que a medição de ressonância, com um material tecnológico muito avançado com imagens indet. tem a diferença ta tecidos do corpo humano

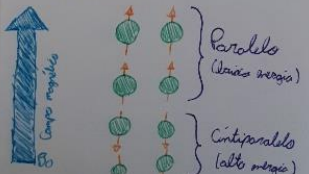


\* Através da ressonância podemos observar o comportamento dos átomos de hidrogênio no nosso corpo que são muito abundantes.

\* Cada átomo possui um momento dipolo que podem estar em infinitas direções diferentes



\* Alinha-se os prótons e desalinha-se os dipolos paralelos, assim eles entram em ressonância



Paralelos (baixa energia)

Antiparalelos (alta energia)

Fig. 13 - folhetos coletivos (para expor na recepção do local de exame)

Apesar de alguns trabalhos necessitarem de ajustes antes de serem expostos, pode-se concluir que boa parte deles atingiram o objetivo principal: informar, de uma maneira honesta, os principais pontos da física teórica que permeiam a realização de um exame de diagnóstico de imagem por ressonância magnética nuclear.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, Vicente Pereira de. Osciladores forçados: harmônico e paramétrico. Rev. Bras. Ensino Fís., v. 29, n. 4, p. 549-554, 2007.

FARDO, Marcelo Luis. A gamificação como estratégia pedagógica: estudo de elementos dos games aplicados em processos de ensino e aprendizagem. Marcelo Luis Fardo. 2013.

GOMES, Gerson G.; PIETROCOLA, Maurício. O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história. Rev. Bras. Ensino Fís., v. 33, n. 2, p. 1-11, June 2011.

MARQUES, Fabricio. A morte explica a vida. Revista FAPESP. Edição 229, Março de 2015.

MAZZOLA, Alessandro A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. Revista Brasileira de Física Médica (artigo de revisão). 2009;3(1):117-29.

Experimento de Stern-Gerlach:

<[https://pt.wikipedia.org/wiki/Experimento\\_de\\_Stern-Gerlach](https://pt.wikipedia.org/wiki/Experimento_de_Stern-Gerlach)> acessado em: 05 Nov 2018.

MARQUES, Gil da Costa: Física Universitária: Univesp. Tema 09 - Fenômenos Quânticos Microscópicos. Aula 04: Experimento de Stern-Gerlach. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=hnuC29\\_n0z0](https://www.youtube.com/watch?v=hnuC29_n0z0)> acessado em: 10 Dez 2018.

## **APÊNDICE I**

### **A respeito dos simuladores PhET utilizados**

O simulador PhET (PhET Interactive Simulations) é um programa desenvolvido para aprimorar o ensino por meio de simulações dentro de matemática e ciências da natureza (matemática, física, química, biologia e ciências). As simulações são ferramentas interativas, em que se realizam experimentos simples de situações cotidianas e que ajudam na compreensão dos alunos na hora de relacionar certos fenômenos estudados em livros com a vida real.

As simulações tornam visível aquilo que não poderia ser notado a olho nu, através do uso de gráficos e controles intuitivos como clicar e arrastar. Enquanto o usuário manipula essas ferramentas, ele obtém, imediatamente, respostas como ilustrações representando causa e efeito, assim como inúmeras outras representações. Para o professor, torna-se uma ferramenta muito útil no ensino dessas disciplinas tendo em vista que muitas escolas (a grande maioria) não possui um bom laboratório ou então tem recursos escassos para a aquisição de kits experimentais.

No caso da física, hoje o site conta com quase cem simuladores divididos em categorias como por exemplo trabalho e energia, luz e radiação, ou ainda (como foi muito útil neste trabalho) “fenômenos quânticos”.

Nesta SD a proposta de utilização usou 3 simuladores: fenômeno de ressonância, experimento de Stern-Gerlach e o simulador de imageamento por ressonância magnética.

Este primeiro simulador traz um sistema massa-mola acoplado a uma fonte de oscilações. A Fig. I.1 mostra que tanto na fonte quanto no painel ao lado o professor pode alterar o valor das massas, da constante da mola utilizada e ainda inserir ou não uma constante de amortecimento. Na fonte, pode-se controlar a frequência e amplitude do movimento.

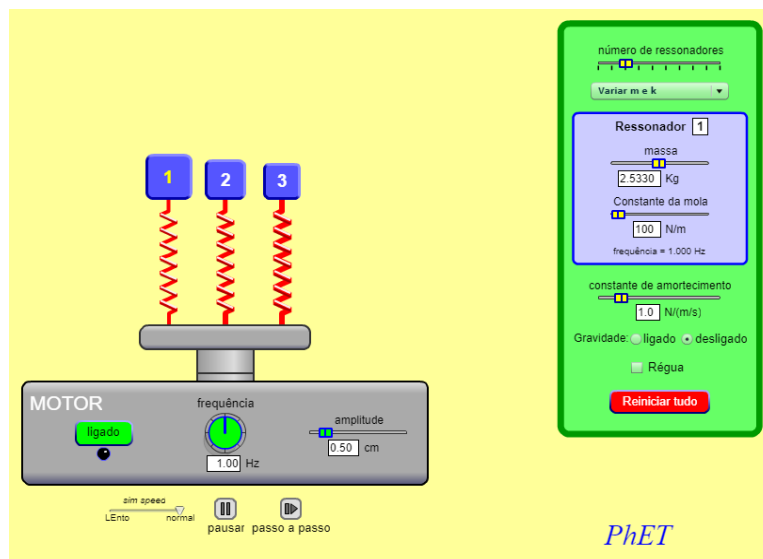


Fig. 1 – simulador do fenômeno de ressonância do PhET (<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/resonance>)

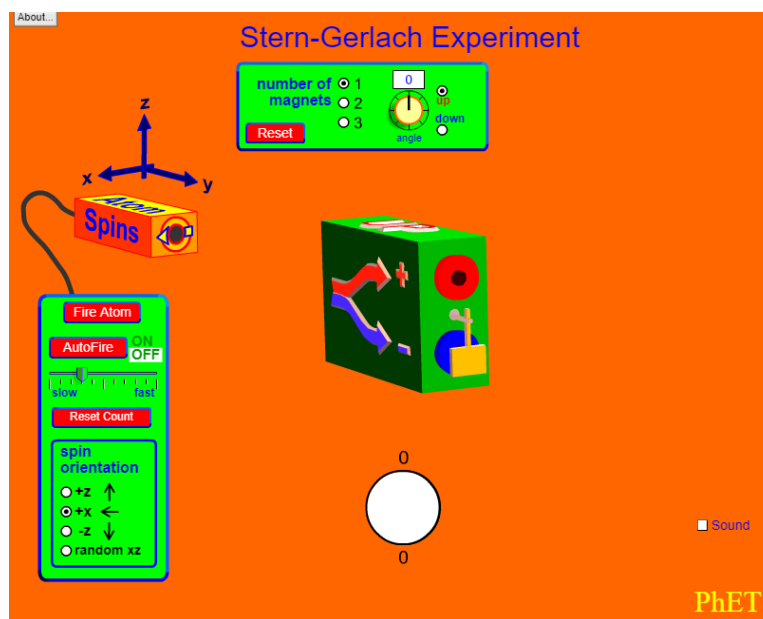


Fig. 1.2 – simulador do experimento de Stern-Gerlach do PhET (<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/stern-gerlach>)

O segundo simulador (Fig. 1.2) foi sobre o experimento de Stern-Gerlach. Este experimento foi fundamental para a determinação da grandeza quântica de partículas spin, que não possui representatividade clássica. A grandeza é associada ao momento angular intrínseco da partícula, e por ser quantizada, espera-se sempre valores determinados (“up” e “down”). No experimento, o professor pode controlar o

“disparador” de átomos no que diz respeito a quantidade, velocidade e orientação do spin. E também pode controlar a quantidade de magnetos (e suas orientações) no caminho dessas partículas.

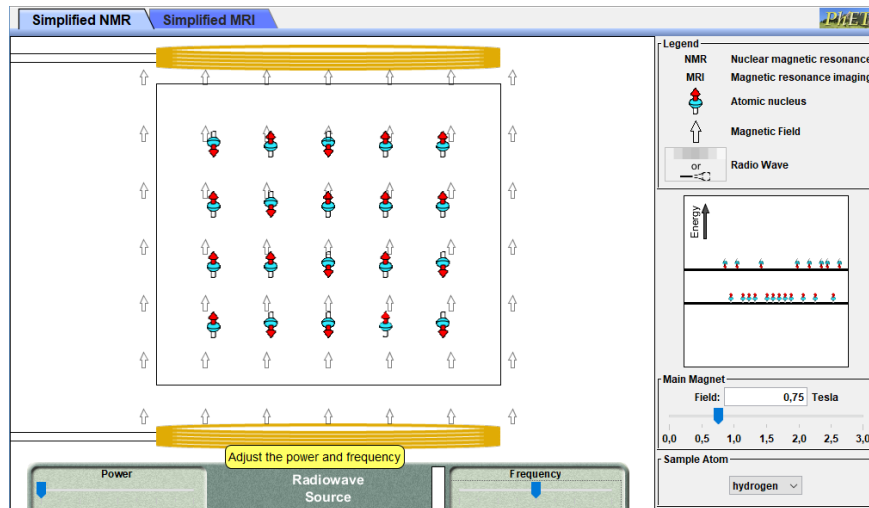


Fig. I.3 – Simulador de Ressonância Magnética Nuclear e Imageamento por Ressonância Magnética do PhET (simulação simplificada apenas com a ressonância magnética dos núcleos)

(<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/mri>)

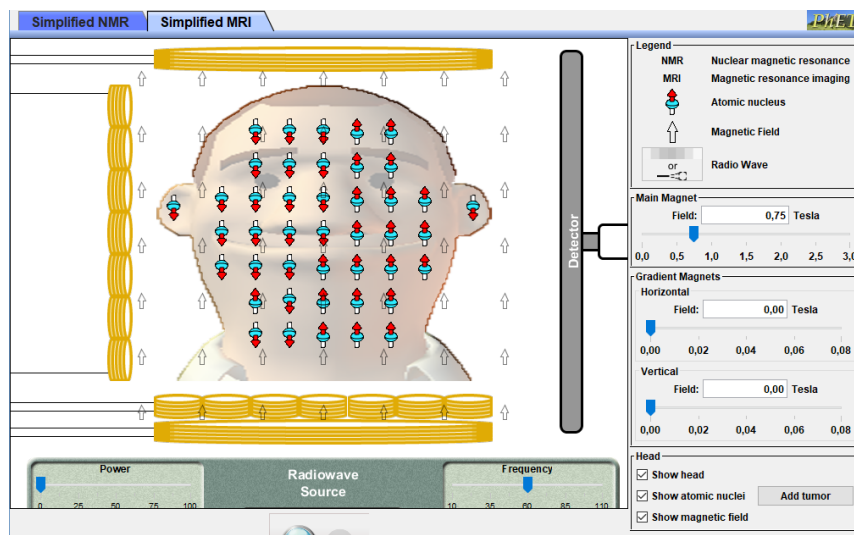


Fig. I.4 – simulador de Ressonância Magnética Nuclear e Imageamento por Ressonância Magnética do PhET (simulação com imageamento de crânio, e os gradientes transversais)

(<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/mri>)

O último simulador utilizado (Fig. 1.3 e Fig. 1.4), torna possível para o professor mostrar aos alunos como ocorre a ressonância magnética nuclear e ainda de que maneira é possível gerar imagem por ressonância magnética da cabeça de uma pessoa. No simulador da Fig. 1.3, o professor controla o campo magnético principal, as características da onda eletromagnética (de radiofrequência) e o núcleo observado. A direita, um diagrama que mostra a relação entre as orientações dos núcleos, a onda de radiofrequência utilizada e o campo magnético principal orientador.

Já na Fig. 1.4, pode-se simular (também de uma maneira simples) o imageamento de um crânio via ressonância magnética nuclear e a perturbação dos núcleos orientados por ondas de radiofrequência emitidas de forma transversal. No simulador o professor pode fazer controle de todas as características do simulador da Fig. 1.3, acrescentar um “tumor” e seus núcleos, e ainda ter o controle dos gradientes horizontal e vertical. Brincando com estes controladores, e trabalhando com a frequência correta, pode-se fazer com que os núcleos tenham suas magnetizações alteradas, emitindo frequência, que é captada pelo detector.

## APÊNDICE II

### A respeito dos games em Kahoot utilizados

Para verificação de atividades remotas ou de sala de aula, a ferramenta de jogo online Kahoot se faz um excelente artifício e muito atrativo, uma vez que junta elementos que prendem a atenção dos alunos: o jogo consiste de perguntas e respostas previamente selecionadas e elaboradas, possui um intervalo de tempo curto para as respostas (com contador), trazendo dinâmica e disputa entre as equipes no momento de jogo, e ainda faz uso dos celulares dos próprios alunos, desmistificando o papel único de vilão que muitos professores o fazem em sala de aula.

É interessante que o professor invista um pouco de tempo conhecendo o jogo e sua dinâmica antes de propor aos alunos. Ele é bastante simples e intuitivo (vide página inicial na Fig. II.1). Primeiramente você deve acessar a página e criar um usuário.

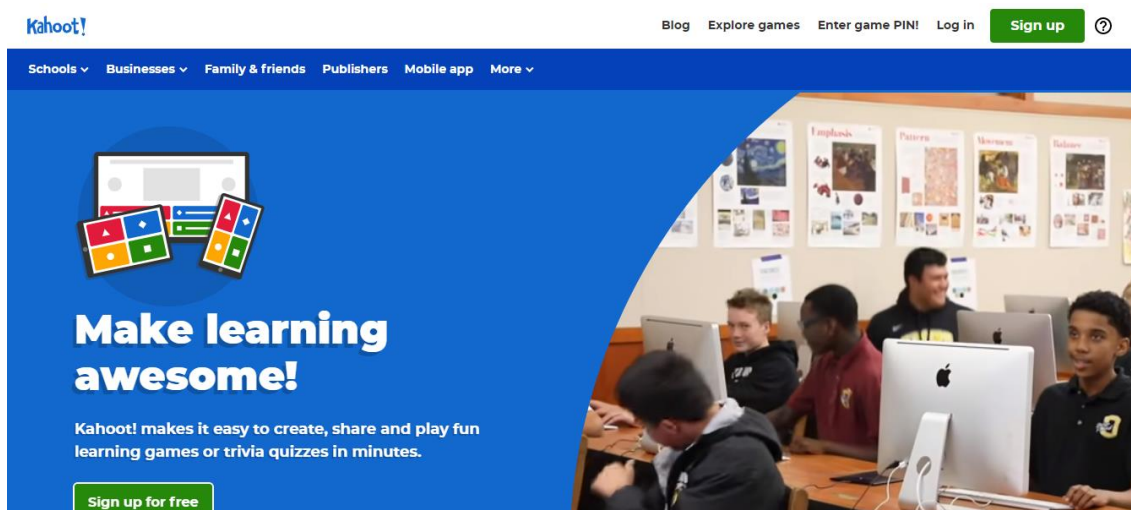


Fig. II.1 – página inicial do site kahoot.com (kahoot.com)

Crie um usuário e acesse alguns jogos prontos para entender a dinâmica do jogo. O site possui milhares de jogos prontos, e o site fará sugestões de jogo para o usuário de acordo com as escolhas feitas no cadastro do perfil (por exemplo: ciências, matemática, tecnologia).

Para iniciar um jogo, um servidor (no caso da aplicação do produto o servidor centralizador é o professor e seu computador) abre o ambiente virtual (site do Kahoot com o seu perfil “logado”), onde os alunos têm acesso a um código que é fornecido pelo Kahoot (após a escolha do jogo pelo professor, o código é projetado na tela para



os alunos digitarem em seus celulares). Dentro do ambiente virtual (site do Kahoot), cada grupo conecta seu celular com o código fornecido, identificando-se com o nome da equipe, e assim aguardam os demais até que todos estejam online. Uma vez que todos estejam conectados, o professor inicia as rodadas de perguntas pelo computador onde abriu o ambiente virtual. Na tela (ou lousa) são projetadas perguntas com respostas associadas a comandos de resposta (diferentes cores no caso de questões com alternativas por exemplo). No celular da equipe conectada ao jogo, aparecem apenas as cores das respostas e nada mais. O grupo deve então discutir a questão e apertar a cor referente ao que acreditam ser a resposta certa. Ao fim do tempo, é projetada a resposta correta. Interessante é que ao fim de cada rodada (pergunta e resposta) o Kahoot fornece um placar parcial com a pontuação de cada equipe, o que gera uma atmosfera de bastante competitividade entre as equipes. Ganham mais pontos as respostas corretas e em menor tempo.

Não é necessário para uso dos jogos, aprender a criar jogos. Mas fica aqui uma recomendação muito interessante. Com o tempo, torna-se uma tarefa rápida e que auxilia em atividades de revisão, verificação e fixação de conteúdo em sala de aula. Um jogo criado pelo próprio professor pode ser moldado de acordo com a turma na qual será aplicado. Sabe-se que muitas vezes diferentes turmas respondem de maneira variada a um mesmo conteúdo e uma mesma prática.

Na sala de aula, é necessário ao menos um computador ligado a um projetor (ou uma TV) e com conexão a internet. Neste computador o professor acessa o site (e seu jogo) e conduzirá a atividade. É criado um ambiente virtual onde os alunos sentados em suas carteiras com seus celulares irão acompanhar as perguntas e respostas. Antes da primeira pergunta, o jogo fornece um PIN code (código PIN) para que os alunos o digitem nos seus celulares e entrem de fato no ambiente virtual.

É indicado que a princípio (inclusive para os jogos elaborados neste produto), o professor selecione o método clássico, e, escolher o jogo de usuários independentes (ainda que uma equipe inteira jogará por um único celular).

Os alunos por sua vez devem acessar pelo navegador do celular a página [kahoot.it](http://kahoot.it). Essa página já direciona direto para um local onde o aluno digita o PIN code (código pin) fornecido no projetor pelo computador logado no jogo. Pronto, após inserir o PIN code os alunos colocam o nome da equipe e aguardam os demais para a disputa.



*Fig. II.2 – celulares e tablets conectados ao jogo (perguntas e respostas na tela projetada e nos equipamentos apenas a cor da respectiva resposta)*

Conforme as perguntas vão surgindo na tela do projetor, os alunos têm um pequeno espaço de tempo (pré-programado pelo professor) para ler, interpretar, discutir e responder. As respostas (sejam alternativas ou então questões do tipo verdadeiro ou falso) aparecem no projetor associadas a cores, e no celular dos jogadores apenas os botões com as respectivas cores.

Jogos utilizados na SD:

- Ressonância: <https://create.kahoot.it/share/ressonancia/19947c6e-e985-4ad5-8ffd-42a260d04e84>
- Elétron e o Spin: <https://create.kahoot.it/share/eletron-e-o-spin/5d58fec0-2948-4a8a-8e72-6d4023f5fe84>
- Ressonância Magnética Nuclear: <https://create.kahoot.it/share/ressonancia-magnetica/0ea302af-f090-4f8b-ab48-d048a42e05e9>

## APÊNDICE III

### A respeito do material expositivo utilizado

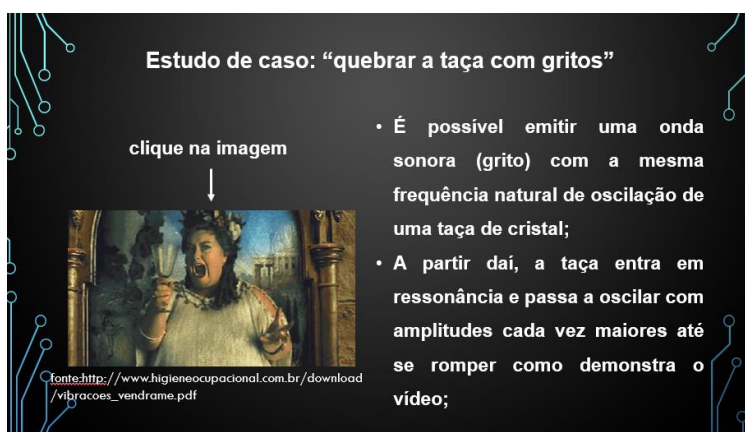
Além de todas as ferramentas (simuladores, jogos em Kahoot) que foram citadas ao longo do material, para a aplicação da SD foram utilizadas apresentações em powerpoint pelo professor. As apresentações estão disponíveis para download no link abaixo, porém fica livre ao professor preparar um material de apoio as aulas expositivas que esteja de acordo com o público para o qual a SD será aplicada.

Link para download das apresentações: <https://bit.ly/36arr13>

Link para acesso ao formulário Google: <https://forms.gle/1fEn1j5nQEntJUSa7>

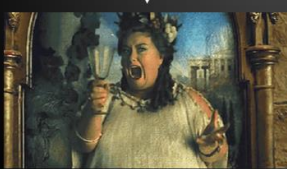
Dentro de cada unidade abaixo citada, encontra-se o “print” de um dos slides além dos links para os vídeos de Youtube. Os links para acesso aos simuladores PhET e para os jogos Kahoot já estão disponibilizados nos Apêndices I e II.

Unidade 1 – Descobrimo o exame de ressonância magnética e retomando a física clássica



Estudo de caso: “quebrar a taça com gritos”

clique na imagem



fonte: [http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes\\_vendrame.pdf](http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrame.pdf)

- É possível emitir uma onda sonora (grito) com a mesma frequência natural de oscilação de uma taça de cristal;
- A partir daí, a taça entra em ressonância e passa a oscilar com amplitudes cada vez maiores até se romper como demonstra o vídeo;

Ressonância com a taça: [https://www.youtube.com/watch?v=qy1c5\\_vYTVo](https://www.youtube.com/watch?v=qy1c5_vYTVo)

## Unidade 2 – Descobrimdo o Spin

- Com um campo magnético externo podemos orientar os spins e magnetizar o meio

Alinhamento paralelo

Alinhamento anti-paralelo

Menor estado de energia

Maior estado de energia

$B_0$

Fonte: <http://rle.dainf.ct.ufrpr.edu.br/hipermidia/index.php/ressonancia-magnetica/principios-fisicos-resso/spin-e-o-momento-magnetico>

Experimento de S-G: <https://www.youtube.com/watch?v=3SrIZmwuthk>

## Unidade 3 – Entendendo o fenômeno da ressonância magnética nuclear

- O número de prótons que ocupa o estado de menor energia e que cria uma magnetização na amostra é da ordem de 0,3 a 5 por milhão (mas já é suficiente!)
- Esta magnetização (chamada de efetiva) é que vai servir de base para todo o processo de ressonância magnética;

$\uparrow M_0$

$B_0$

## Unidade 4 – Usando a RMN para diagnóstico por imagem

- Relaxação Spin-rede: T1 (relaxação longitudinal)
- A energia é liberada (energia igual ao valor da diferença entre os estados);
- Essa energia é liberada na rede que cerca o próton na forma de energia térmica;
- O número de prótons em ambos os estados retorna ao mesmo;

Magnetização Longitudinal

$M_z = M_0(1 - \exp(-t/T_1))$

63%

$T_1$

Tempo (mSeg)

