

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF

RODRIGO ZELL DE SOUSA

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

Santo André, SP

2020

RODRIGO ZELL DE SOUSA

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

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do ABC no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Nelson Studart

Santo André – SP - Brasil

2020

Sousa, Rodrigo Zell

Ressonância Magnética Nuclear e diagnóstico de imagem para alunos do ensino médio /  
Rodrigo Zell de Sousa – Santo André: UFABC, 2019.

Orientador: Profº Dr. Nelson Studart

Dissertação (mestrado) – Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), 2020.  
UFABC – Universidade Federal do ABC (UFABC).

Referências Bibliográficas: P. 74-77.

Palavras Chave:

1. Ensino de Física. 2. Ressonância. 3. Ressonância Magnética Nuclear. 4. Diagnóstico de  
imagem. 5. Jogos em educação.

**Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, de acordo com as observações levantadas pela banca no dia da defesa, sob responsabilidade única do(a) autor(a) e com a anuência do(a) orientador(a).**

*Santo André, 18 de julho de 2020*

**Assinatura do(a) autor(a):**

*Rodrigo Zill de Sousa*

**Assinatura do(a) orientador(a):**

*Nelson Studart*



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**

**Fundação Universidade Federal do ABC**

Avenida dos Estados, 5001 – Bairro Santa Terezinha – Santo André – SP  
CEP 09210-580 - Fone: (11) 4996-0017

**FOLHA DE ASSINATURAS**

Assinaturas dos membros da Banca Examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato, RODRIGO ZELL DE SOUSA realizada em 28 de Fevereiro de 2020:

**Prof.(a) CARMEN PRADO**  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Prof.(a) GISELLE WATANABE**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

**Prof.(a) ANDRÉ VIEIRA**  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Prof.(a) MARCELO OLIVEIRA DA COSTA PIRES**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

**Prof.(a) NELSON STUDART FILHO**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - Presidente

\* Por ausência do membro titular, foi substituído pelo membro suplente descrito acima: nome completo, instituição e assinatura

## **Agradecimentos**

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Ficam aqui meus agradecimentos para meu Orientador e Professor Doutor Nelson Studart que desde o início do programa tem me norteado e auxiliado a tornar concreto um produto que realmente incrementou no conhecimento de muitos alunos e que poderá continuar acrescentando na vida de outros muitos. Aos professores José Kenichi Mizukoshi, Marcelo Oliveira da Costa Pires, Célio Adrega de Moura Junior, Graciella Watanabe, José Antonio Souza, Jean Jacques Bonvent, Laura Paulucci Marinho, Pedro Galli Mercadante responsáveis pelas disciplinas que ocorreram durante os anos letivos de 2017 e 2018, e que tanto potencializaram minha formação e ajudaram também na elaboração do produto. A Universidade Federal do ABC (UFABC) por sempre disponibilizar uma estrutura aquém da realidade nacional, onde nossa turma pode realizar todas as aulas teóricas e práticas com excelência.

Agradeço ainda todos os colegas de turma (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – turma 2017 – Polo UFABC), que sempre muito unidos, completaram esta grande jornada que foi o programa de mestrado.

A minha família, pela paciência com as inúmeras noites adentro de estudo e elaboração do produto, e por compreenderem minha ausência em tantos momentos importantes ao longo desses quase três anos.

Por fim, agradeço aos meus queridos alunos da 2ª série do Ensino Médio (atualmente formados, e turma qual, com muito orgulho, fui professor paraninfo na formatura) do Colégio Externato São José, da cidade de Atibaia (São Paulo). Obrigado por se envolverem com o produto e me ajudarem a enxergar que o processo de ensinar e aprender pode ser mais rico, envolvente e profundo do que simples livros e lousas.

*Pela disseminação da ciência aplicada ao cotidiano do  
aluno, do mais simples ao avançado, do mais corriqueiro  
ao extraordinário.*

## RESUMO

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

Rodrigo Zell de Sousa

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr. Nelson Studart

O currículo de física proposto para o Ensino Médio é amplo, porém, muitas vezes limitado a conceitos da física clássica e de difícil assimilação. Não é trivial para o aluno fazer a ligação entre o que ele vive no seu dia-a-dia (uma rotina rodeada de tecnologia dentro e fora de casa, nos meios de comunicação e de diversão), com os conteúdos que ele aprende nos livros e aulas tradicionais de física. Portanto, a proposta do produto atinge duas problemáticas: currículo e método. Tratando-se de currículo, o tema proposto está dentro dos conteúdos de física moderna e contemporânea, normalmente não trabalhados pelos professores, livros e sistemas didáticos de ensino médio: Ressonância Magnética Nuclear. Agora tratando-se de método, foram utilizadas algumas ferramentas e recursos não usuais das salas de aula tradicionais como, a sala de aula invertida e elementos de gamificação, como jogos, simuladores e dinâmicas. Muito importante salientar que toda a proposta do trabalho é norteada pela aprendizagem significativa, rompendo com a aprendizagem mecânica tradicional e seus mecanismos engessados e desgastados de ensino. Os resultados mostraram um ganho significativo no processo de ensino e aprendizagem dos alunos, desde o seu maior envolvimento nas atividades (quando comparado aos meios tradicionais), até seus trabalhos finais de conclusão, criativos e com bom embasamento teórico.

**Palavras-chave:** ensino de física, ressonância, ressonância magnética nuclear, diagnóstico de imagem, jogos em educação.



## ABSTRACT

### NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE AND IMAGE DIAGNOSIS FOR HIGH SCHOOL STUDENTS

Rodrigo Zell de Sousa

Supervisor: Prof<sup>o</sup> Dr. Nelson Studart

Currently, the proposed physics curriculum for high school is very broad, but often limited to concepts of classical physics and difficult to assimilate. It is not trivial for the student to make the connection between what he lives in his daily life (a routine surrounded by technology indoors and out, in the media and entertainment), with the content he learns in books. and traditional physics classes. Therefore, the product proposal addresses two issues: curriculum and method. In terms of curriculum, the proposed theme for the product is within topics of modern and contemporary physics not addressed by teachers, books and high school didactic systems: Nuclear Magnetic Resonance. Now when it comes to method, some unusual tools and resources of traditional classrooms were used, such as the inverted classroom and gamification elements, such as games, simulators and dynamics. Very important to point out that the whole proposal of the work is guided by meaningful learning, breaking with the traditional mechanical learning and its worn and worn teaching mechanisms. The results showed a significant gain in the teaching and learning process of students, from their greater involvement in activities (when compared to traditional means), until their conclusion works, creative and with a good theoretical foundation.

**Keywords:** physics teaching, resonance, nuclear magnetic resonance, imaging diagnosis, games in education.

## Lista de figuras

Figura 1 – Balanço oscilando entre as posições A e C

Figura 2 – Aumento temporal da amplitude de um movimento harmônico

Figura 3 – Cantora soprano quebrando taça de cristal por ressonância com ondas sonoras

Figura 4 – Movimento de precessão da partícula em torno do eixo z

Figura 5 – Diagrama mostrando o caminho do feixe pelo campo magnético e o desvio ocorrido devido ao momento de dipolo dos átomos de Ag

Figura 6 – Diagrama com a comparação dos resultados esperados pela física clássica e o resultado obtido

Figura 7 – Notas a Niels Bohr a respeito da quantização do momento de dipolo magnético

Figura 8 – movimento de precessão do próton em torno de um eixo

Figura 9 – Diagrama com os momentos magnéticos antes e depois da presença de um campo magnético externo

Figura 10 – Exemplo de equipamento (atual) de exame de ressonância magnética

Figura 11 – Diagrama explicativo do equipamento (atual) de ressonância magnética

Figura 12 – Diagrama com os planos de secção do corpo humano

Figura 13 – Exemplos de imagens geradas por RMN do crânio nos diferentes cortes de planos possíveis

Figura 14 – Médicos analisando cortes sucessivos de um crânio na direção axial

Figura 15 – Evolução da magnetização longitudinal com destaque para o tempo T1

Figura 16 – curva de decaimento da magnetização transversal

Figura 17 – Diagrama com sequência de imagens feitas em ponderação T1 com diversos TR e TE

Figura 18 – Diagrama proposto por Bishop e Verleger em seu trabalho a respeito da sala de aula invertida

Figura 19 – Foto de parêntese comumente encontrado em procedimentos de exames de ressonância magnética (a esquerda), e imagens produzidas em diferentes cortes

Figura 20 – Simulador do fenômeno de ressonância do PhET

Figura 21 – Exemplo de mapa conceitual inicial de ressonância entregue pelos alunos (e depois comentado e corrigido)

Figura 22 – Vídeo proposto para anteceder a unidade 2

Figura 23 – Meme acerca do tema spin

Figura 24 – Vídeo proposto para anteceder a unidade 4

Figura 25 – Slide da aula a respeito da Geração de Imagens

## **Lista de tabelas**

Tabela 1: tempos T1 e T2 para diferentes tecidos quando expostos a um campo magnético  $B_0$  de 1,5T

Tabela 2: Exemplos de TR e TE em milissegundos para T1 e T2

Tabela 3: Exemplo de planejamento de aplicação do produto

## Sumário

<b>Capítulo 1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 - Motivação.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 - Abordagens sobre o tema.....</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo 2 - TEORIAS DA APRENDIZAGEM ABORDADAS.....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo 3 - ALGUNS FENÔMENOS FÍSICOS E GRANDEZAS ENVOLVIDOS.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1 - Ressonância em física clássica.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2 - Spin.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 - A precessão do Spin em Campo B.....</b>	<b>20</b>
3.3.1 - Spin e campo B na mesma direção.....	20
3.3.2 - Spin em direção arbitrária ao campo B.....	23
<b>3.4 - Experimento de Stern-Gerlach.....</b>	<b>25</b>
<b>Capítulo 4 - RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR.....</b>	<b>31</b>
<b>Capítulo 5 - GERAÇÃO DE IMAGENS.....</b>	<b>36</b>
<b>Capítulo 6 - METODOLOGIA EMPREGADA E O PRODUTO EDUCACIONAL (UNIDADE DE ENSINO PARA O TEMA RMN) .....</b>	<b>45</b>
<b>Capítulo 7 - A APLICAÇÃO DO PRODUTO.....</b>	<b>52</b>
<b>Capítulo 8 - AVALIAÇÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>Capítulo 9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICE – MATERIAL INSTRUCIONAL.....</b>	<b>69</b>

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 – Introdução e Motivação

Seria de grande extensão e talvez até exaustivo enumerar todos os problemas que acerbam hoje a educação básica no Brasil, e que de certa forma, associados a problemas específicos do ensino de ciências, fazem com este que ocorra de forma muitas vezes ineficiente e pouco atrativa para alunos e professores.

Hoje, o ensino de ciências físicas e naturais no país carrega problemas e algumas carências que corroboram para a ineficiência acima citada. Para todo o debate acerca deste produto, valem citar a ausência da prática experimental<sup>1</sup>, a dependência excessiva do livro didático, um método quase sempre expositivo, e um currículo desatualizado e descontextualizado. Ainda neste sentido, e mais propriamente se tratando da rede pública, podemos citar a escassa disponibilidade e acesso a tecnologia na sala de aula e desvalorização da carreira docente (PEDRISA, 2001).

Alguns dos pontos acima citados não serão explorados a fundo, porém devemos nos atentar a dois pontos que podem fazer a diferença e que são foco do produto: o currículo desatualizado e descontextualizado, e a dependência excessiva do livro didático.

A respeito de currículo, façamos uma breve análise histórica. O ensino de física ganhou um grande fôlego e força no século XX com a corrida espacial e sucessivas tecnologias advindas do período de Guerra Fria. Na época, novas carreiras e profissões surgiram, e com essas, a sensação de que o estudo de física e ciências se fazia necessário para acompanhar e se posicionar neste novo mundo que estava nascendo.

No exterior surgiram alguns programas e reformas curriculares a fim de acompanhar este movimento de “renascimento” moderno da ciência. A principal motivação da iniciativa era a de agregar o ensino de física ao currículo da educação básica, porém,

---

<sup>1</sup> De acordo com o Censo Escolar da Educação Básica de 2010 (BRASIL, 2010), do Ministério da Educação (MEC), que considerou tanto a rede pública como a privada, em 2010, do montante de 38,6 milhões de estudantes de ensino fundamental e médio no Brasil, 70% deles (27 milhões de estudantes) frequentavam escolas sem laboratório de ciências.

importados para a nossa realidade, estes programas não obtiveram grande sucesso. Pode-se citar ao menos dois deles: o *Physical Science Study Committe (PSSC)*<sup>2</sup> e o *Projeto Harvard*<sup>3</sup>. Estas duas iniciativas tiveram grande dificuldade de implantação no Brasil, e de certa forma, incentivaram a produção nacional de materiais e tecnologias para a educação.

Além do *start* na reformulação dos currículos, no Brasil, ainda na década de 60, tivemos a Lei 4.024/61, que além de implantar o estudo das ciências desde o primeiro ano do curso ginásial, aumentou sua carga horária substancialmente. Caminhando na linha do tempo, encontra-se um período de regime militar onde as escolas perderam parcialmente seu papel de formar cidadãos para formar trabalhadores, forçando uma grande popularização de cursos técnicos públicos (onde se tinha uma prática experimental acima do encontrado na maioria das escolas). Já nas escolas da rede particular, uma continuidade no que diz respeito a preparar seus alunos para o curso superior.

Porém, mais a frente na linha do tempo, uma marca importante nesta caminhada e levantamento de dados é a Lei de Diretrizes e Bases da Educação nº 9394/96, a qual estabelece, no parágrafo 2º do seu artigo 1º, que a educação escolar deverá vincular-se ao mundo do trabalho e à prática social. O artigo 26º ainda estabelece que "os currículos do ensino fundamental e médio devem ter uma base nacional comum, a ser complementada pelos demais conteúdos curriculares especificados nesta Lei e em cada sistema de ensino". A formação básica do cidadão na escola fundamental exige o pleno domínio da leitura, da escrita e do cálculo, a compreensão do ambiente material e social, do sistema político, da tecnologia, das artes e dos valores em que se fundamenta a sociedade. O ensino médio tem a função de consolidação dos conhecimentos, preparação para o trabalho e cidadania para continuar aprendendo. Voltando a questão do currículo, e se tratando de física, hoje na prática vê-se uma proposta curricular grande e abrangente, que contempla todos os principais pilares da física clássica: mecânica, térmica, óptica, ondulatória, elétrica e magnetismo. Em

---

<sup>2</sup> O Physical Science Study Committee (em português Comitê de Estudo de Ciências Físicas) foi inaugurado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts em 1956 com o objetivo de avaliar a educação introdutória a física e formular e monitorar aprimorações. O projeto de ensino de física foi desenvolvido na década de 1950 pelo MIT e posteriormente trazido ao Brasil em 1962 por meio do IBCC-UNESCO com apoio do MEC.

<sup>3</sup> Projeto Física de Harvard ou Projeto Harvard foi um projeto nacional de desenvolvimento curricular para criar um programa educacional de ensino secundário de Física nos Estados Unidos.

muitos ambientes escolares da rede pública onde os alunos possuem realidades muito diferentes das raríssimas experiências cotidianas expostas nos livros, as aulas expositivas se esvaziam de significado. Em contrapartida na rede privada (principalmente nas instituições que adotam sistemas de ensino fechados), os alunos são sobrecarregados com uma carga horária pesada. Dentro dessa carga horária, as aulas expositivas exigem alunos passivos e que devem, em avaliações engessadas reproduzir o conhecimento sem necessariamente comprovar real aprendizado.

O produto então aborda em sua prática propor um conteúdo diferente (ausente nos programas curriculares atuais), e que se faça presente no dia-a-dia dos alunos, seja ele de qualquer classe ou ambiente escolar.

Na rede particular, que hoje está impregnada pelos sistemas didáticos e apostilados de ensino, existe uma tentativa de incorporar novos tópicos de física moderna e contemporânea, porém, estes estão limitados a marcos históricos (podemos citar radiação de corpo negro, efeito fotoelétrico, relatividade), muitas vezes desconexos e sem nenhuma abordagem matemática.

É compreensível que isso ocorra, tendo em vista que há algumas décadas o papel da escola particular no Brasil é o de preparar seus alunos para os exames de admissão das universidades, e estes exames não têm a prática de cobrar assuntos de física moderna e contemporânea em suas questões (ainda que aos poucos vem surgindo uma ou outra questão nas provas). E assim, quando o professor resolve quebrar com o planejamento pedagógico do material para incorporar esses assuntos nas aulas, tem de tomar muito cuidado para não prejudicar o andamento do conteúdo e assim não interferir no preparo dos alunos (cuidado que existiu de fato no preparo, planejamento e aplicação deste produto). A partir daí ficou então definido o tema do produto: ensinar um tópico de física moderna e contemporânea aos alunos do ensino médio.

O tema escolhido deveria contemplar alguma atividade do dia-a-dia dos alunos, e assim, o produto explora tópicos de mecânica quântica (Spin e Ressonância Magnética Nuclear) aplicados a área da medicina e exames de diagnóstico por imagem, os quais podem e já fazem parte da vida de muitos alunos e famílias.

Talvez neste ponto, o leitor se questione de que maneira será transferido um assunto tão acostumado com as salas de aula do nível superior para alunos do ensino médio. Observam-se a partir daqui as contribuições de Jerome Bruner que fazem presente neste produto educacional.

Em seu livro “O processo da educação”, Jerome Bruner apresenta uma teoria da aprendizagem fortemente influenciada pela teoria cognitiva (aqui vale lembrar que sua formação original é em psicologia, campo do conhecimento onde trabalhou e dedicou a maior parte de sua vida, porém, ganhou notoriedade na educação com a grande influência de seus trabalhos nas grandes reformas curriculares ocorridas na década de 60). Mais abrangente do que outras teorias, Bruner concede abertura para a influência do contexto e do social para o processo de desenvolvimento e formação do indivíduo (SILVA; GOMES, 2017).

Talvez o ponto máximo de sua obra seja a concepção de que é possível ensinar qualquer assunto, de uma maneira honesta, a qualquer indivíduo, em qualquer estágio de desenvolvimento, desde que se leve em consideração suas diversas etapas de desenvolvimento intelectual. Pois, para Bruner, o que é relevante em uma matéria de ensino é sua estrutura e o modo de representá-la para o aluno.

Sendo assim, sua teoria é muito bem aplicada dentro de um ambiente de aprendizagem por descoberta e se encaixando muito bem no ensino das ciências e matemática. Por isso, se vê seu aproveitamento nas reformas curriculares supracitadas, reformas essas que ocorreram durante um período de corrida aeroespacial num mundo polarizado pela Guerra Fria, onde o grande objetivo, no caso norte americano era fortalecer e aumentar de certa forma, o ensino de ciências e matemática.

Surge assim, uma nova possibilidade frente ao currículo linear e contínuo: o currículo espiral. Respeitando o ambiente e contexto do aluno, é possível apresentar um conceito de ciências para uma criança ainda muito nova e retomar este conceito em outros momentos a frente podendo sempre aprofundar um pouco mais para o aluno, mas sempre, desde o primeiro momento, de uma forma justa e honesta.

Hoje o mundo vive a era do “compartilhar”, do “live”, e a fim de incorporar no dia-a-dia do nosso aluno a busca pelo conhecimento e inspirá-los à investigação científica é necessário estar mais “próximo”, ainda que virtualmente. Atualmente é muito difícil prender a atenção dos jovens por muito tempo. Eles passam horas conectados ao Instagram e Facebook, mas não assistem vídeos escolares que durem alguns minutos. Com apenas um encontro semanal (como ocorre na maioria das escolas), é fácil perder um aluno em algum projeto (planejamento pedagógico) de médio prazo. O contato a distância pelas ferramentas de mídia social, mantém o aluno preso ao projeto e a sequência didática.



Antes de adentrar na estrutura, formato e aplicação do produto, faz-se necessário retomar alguns conceitos da mecânica clássica (ressonância) e aprofundar em conceitos da física moderna (Spin e RMN). Como citado anteriormente, o exame de diagnóstico de imagem por ressonância magnética nuclear é um procedimento relativamente novo (usado em larga escala apenas nas últimas duas décadas). Concilia a ressonância de partículas através de magnetismo e eletromagnetismo, para gerar imagens do corpo de maneira não-invasiva e sem a utilização de radiação ionizante.

Para poder ter um conhecimento completo de todas as propriedades físicas presentes no fenômeno da Ressonância Magnética Nuclear, é preciso entender alguns pilares centrais para depois juntar os conceitos. Portanto, será apresentado o mais importante dentro dos conceitos de *ressonância, atomística e partículas elementares, números quânticos e Spin, e finalmente ressonância magnética nuclear*. Em posse destes conceitos, será feita a organização destes para que o professor (e posteriormente o aluno na aplicação) entenda por completo o processo de funcionamento do exame de diagnóstico, principalmente na parte onde é descrita a geração das imagens.

## 1.2 – Abordagens sobre o tema

Escolhido o tema, tem início uma longa e extensa investigação e levantamento de material que discutisse ou comentasse a respeito do fenômeno de RMN, especialmente voltado para o ensino de jovens. O encontrado foi justamente dentro do esperado: escassez de bons materiais que traduzissem, para um jovem ainda da educação básica, um fenômeno tão interessante, baseado em conceitos e grandezas quânticas<sup>4</sup> e presente no dia-a-dia de quase todos (hoje já não há família ou conhecido que não tenha se submetido a um exame de diagnóstico de imagem por RMN).

A partir daí ficou claro que grande parte do trabalho dentro do desenvolvimento do produto seria gerar um conteúdo que entendesse os conceitos físicos envolvidos presentes em textos acadêmicos e livros (em sua maioria de ensino superior), e que ao mesmo tempo falasse na língua do jovem público alvo. Portanto, caberá aqui citar alguns desses trabalhos acadêmicos e literatura que contribuíram para toda pesquisa e preparo do conteúdo.

O próprio conceito de *spin* é pouco abordado dentro dos livros didáticos do ensino médio. Quando trabalhado, aparece nas aulas de química do Ensino Médio, e quase sempre de forma equivocada. Ainda é transmitido aos alunos a ideia de que o termo *spin* está associado ao *giro em torno do próprio eixo* que a partícula realiza. Porém, se levado em conta este conceito para formar sua definição, surgem barreiras da mecânica clássica e extrapolações erradas terão que ser tomadas como por exemplo velocidades tangenciais superiores a velocidade da luz.

Um ótimo exemplo de como trabalhar um conceito quântico, demonstrando a inadequação de conceitos clássicos para tal, é feito no início de um famoso livro de Mecânica Quântica<sup>5</sup>. Logo na primeira página deste livro didático, muito utilizado entre estudantes de graduação e pós-graduação das áreas afins da física, o autor “adverte que, ao invés de seguir uma abordagem histórica, prefere iniciar a apresentação da mecânica quântica por um exemplo que ilustra, talvez mais do que qualquer outro, a inadequação dos conceitos clássicos. Ele pretende submeter o leitor a um tratamento de choque, para que este perceba, desde o início, o que significa a maneira quântica de pensar” (PIETROCOLA; GOMES, 2011). No livro, o exemplo escolhido para

---

<sup>4</sup> Mais adiante no texto serão trabalhados tais conceitos como por exemplo o Spin de partículas e a própria ressonância magnética nuclear.

<sup>5</sup> SAKURAI, J.J. *Modern Quantum Mechanics*, 1994

realizar o suposto *tratamento de choque* é justamente o experimento de Stern – Gerlach<sup>6</sup> (experimento será posteriormente trabalhado na física teórica deste trabalho) que, para o autor: “(...) *ilustra de maneira dramática a necessidade de abandono radical dos conceitos da mecânica clássica.*” (PIETROCOLA; GOMES,2011).

Surge aí então um grande problema na elaboração do produto, ainda pensando no conteúdo: como traduzir a física teórica para alunos do ensino médio, tomando os devidos cuidados com a abordagem matemática que o assunto demanda nos livros de ensino superior, e mantendo-se interessante e atrativo para o aluno? Como não cometer nenhum “crime” com o conhecimento científico no momento da transposição didática? Talvez a resposta para essas perguntas sejam o próprio resultado e produto final.

Com um bom material a respeito do Spin de partículas em mãos (ainda que em nível superior), fazia-se agora necessário um material que desse forte auxílio no entendimento e criação de material escolar a respeito da RMN.

A princípio dois materiais foram imprescindíveis: o artigo da revista brasileira de física médica – “*Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional*” (MAZZOLA, 2009) e o capítulo 4 do livro de Mecânica Quântica do autor David J. Griffiths (2e; 2011).

Sem dúvida os capítulos 3 e 4 (fenômenos físicos e grandezas envolvidos; e ressonância magnética nuclear) deste trabalho foram os mais dificultosos no que diz respeito desde o aprendizado (inclusive por parte do proponente do produto), na transferência didática que consistiu a elaboração do texto de apoio e produto e por fim na própria aplicação do produto, já que esses dois assuntos consistem em duas unidades inteiras da sequência didática proposta.

Além de dar um bom suporte no estudo da ressonância magnética nuclear, o artigo acima também ajudou muito na elaboração do capítulo a respeito da geração de imagens. Para que o produto ficasse completo, foi planejado e proposto que o aluno aprendesse conceitos novos de física e entendesse como ocorre a aplicação de tais

---

<sup>6</sup> O experimento de SG consiste em fazer um feixe de átomos (originalmente átomos de prata) passar por um campo magnético não-homogêneo produzido por um ímã, e analisar a deposição desses átomos em uma placa coletora na saída do ímã. Curiosamente, observa-se que aproximadamente metade dos átomos deposita-se numa extremidade da placa e a outra metade na posição simetricamente oposta, não se registrando praticamente nenhum átomo em qualquer posição intermediária. Do ponto de vista da física clássica, esta divisão do feixe em *duas componentes* é bastante estranha e difícil de explicar (PIETROCOLA; GOMES, 2011)

conceitos em alguma atividade prática. Neste caso, a aula a respeito da geração de imagens faz a ilustração desta aplicação de conceito.

## Capítulo 2

### Teorias da aprendizagem abordadas

Para este trabalho podemos citar dois grandes nomes no campo das teorias da aprendizagem e debates em educação: David Ausubel com sua teoria da aprendizagem significativa, e Jerome Bruner com seus estudos em psicologia cognitiva e suas contribuições com os estudos envoltos aos processos em educação. Com maior presença e relevância para todo o planejamento do produto, a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel faz-se necessária não somente neste produto, mas em muitos processos escolares que fazem parte da construção do conhecimento. Em todos os momentos onde o aluno adquire novos conceitos e ideias e vai se formando enquanto ser adulto e pensante.

David Paul Ausubel (1918-2008) foi um psicólogo norte americano que iniciou seus trabalhos motivado por uma grande insatisfação com os estudos que recebera quando criança.

*“Escandalizou-se com um palavrão que eu, patife de seis anos, empreguei certo dia. Com sabão de lixívia lavou-me a boca. Submeti-me. Fiquei de pé num canto o dia inteiro, para servir de escarmento a uma classe de cinquenta meninos assustados (...)”. Para ele, “A escola é um cárcere para meninos. O crime de todos é a pouca idade e por isso os carcereiros lhes dão castigos.”*

Sua maior crítica e grande parte dos ataques realizados por seus trabalhos dizem respeito a aprendizagem mecânica. Por aprendizagem podemos entender como as principais formas: a psicomotora (associada aos movimentos e que requer treino), afetiva (que está ligadas as características internas do indivíduo) e a cognitiva (que armazena de forma organizada as informações adquiridas), talvez a cognitiva seja a mais importante e relevante. O cerne central desta aprendizagem é o de promover

uma organização e integração da informação na estrutura cognitiva<sup>7</sup> do jovem educando. Primeiramente o ensino tradicional e suas principais características:

- ✓ O professor é apenas um comunicador de informações;
- ✓ O aprendizado é cobrado em avaliações fechadas;
- ✓ O aluno assume um papel totalmente receptivo e passivo;
- ✓ Ambiente escolar disciplinado ao extremo;
- ✓ Alguns modelos tradicionais são consagrados e repetidamente copiados (tratando-se de avaliações e aulas expositivas);
- ✓ O aluno é submetido a um processo exaustivo de memorização. Ou seja, alunos com boa memória e boa capacidade de armazenamento de informações (apenas) acabam obtendo sucesso;
- ✓ A grande maioria dos problemas possuem solução única;
- ✓ Raríssimos debates e discussões são promovidos entre professores e alunos;

Muitos professores identificam seu ambiente de trabalho com um ou mais itens da lista acima. Quando todos esses apontamentos estão juntos é que o professor se dá conta do quão amarrado e impelido ao ensino tradicional se faz o seu dia-a-dia.

Falando em aprendizagem, a este modelo de ensino tradicional se aplica a aprendizagem mecânica, onde conceitos são encaixados no programa de aulas sem necessariamente ter ligação ou associação a conhecimentos prévios. Existe um enorme desconexo entre a nova informação (obtida quase sempre em aulas expositivas) e a informação prévia (já trabalhada no aluno).

Em contrapartida, a aprendizagem significativa implica justamente na necessidade de transmitir-se uma nova informação com um significado ligado a uma informação prévia do aluno. A ideia é que os novos conhecimentos, além de agregar a estrutura cognitiva do aluno, ainda reforcem ou renovem os conhecimentos antigos de forma não arbitrária e não literal.

*“É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos,*

---

<sup>7</sup> Estrutura cognitiva pode ser entendido como o conteúdo total e organizado de ideias de um dado indivíduo; ou ainda nesse contexto de aprendizado, a organização de ideias dentro de um determinado campo do conhecimento.

*e que essa interação é não-litera e não-arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva.”<sup>8</sup>*

Estas informações e conhecimentos prévios são definidos por Ausubel como conceitos subsunçores. Estes são os conceitos mais relevantes, não fixos e âncoras da aprendizagem significativa, que quando ocorre de fato, gera um crescimento e desenvolvimento do conceito subsunçor.

Mas como ocorre a aprendizagem significativa? Primeiramente tem-se os organizadores prévios. Neste produto, encaixam-se como organizadores prévios os conceitos de física teórica trabalhados no início da sequência didática como por exemplo os conceitos de ressonância e de Spin. Além disso, é necessário que o aluno esteja motivado e seja ativo no processo, aliado a um material didático e de apoio de qualidade. Em mãos desses pontos iniciais surgem algumas possibilidades.

Classifica-se a aprendizagem nova e significativa observando sua relação com os conceitos subsunçores. Quando esta ocorre sobre um conceito novo que está contido em um subsunçor, é então chamada de *subordinada*, onde o aluno cria uma diferenciação progressiva com os novos conceitos adquiridos. Caso o conceito novo contenha o subsunçor, este então recebe o nome de *supra-ordenada*, e assim, os novos conceitos vão organizando os prévios, forçando o que se chama de reconciliação integrativa (ocorre uma forte reorganização da estrutura cognitiva já existente). Agora se o novo conceito se relaciona com o subsunçor, porém sem nenhuma relação de subordinação ou supra-ordenação, esta então é uma aprendizagem *combinatória*.

Não é difícil notar que além do papel ativo do aluno, do material de qualidade, e do planejamento bem feito dos conteúdos de forma a facilitar a aprendizagem significativa em suas diferentes formas, é imprescindível um personagem centralizador muito importante em todo o processo: o professor. O professor deve

---

<sup>8</sup> Marco Antonio Moreira em aula inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT, 23 de abril de 2010. Aceito para publicação, Currículum, La Laguna, Espanha, 2012.

atuar como um grande organizador dos conhecimentos prévios do aluno a fim de ajudar na construção das pontes cognitivas. Nesta ordem, ele deve: mostrar ao aluno os princípios e conhecimentos unificadores e inclusivos, identificar os conceitos subsunçores, fazer um diagnóstico dos conhecimentos prévios da turma e orientar os alunos na organização de suas estruturas cognitivas:

*“Se tivermos que reduzir toda a psicologia educacional a um só princípio, diria que o fator isolado mais importante, influenciando a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe. Determine isso, e ensine-o de acordo.”*

(Ausubel, 1978)

Com os mecanismos de aprendizagem significativa de Ausubel, desenvolve-se o produto educacional e a proposta de uma sequência didática que aborda tópicos de mecânica quântica, ainda que para alunos do ensino médio.



## Capítulo 3

### Alguns fenômenos físicos e grandezas envolvidos

Neste capítulo serão trabalhados alguns conceitos de física clássica e física moderna e contemporânea essenciais para a futura explanação acerca do fenômeno da RMN. São eles, frequência e ressonância, Spin de partículas e seu comportamento em campos magnéticos, e o Experimento de Stern-Gerlach.

#### 3.1 – Frequência e ressonância na física clássica

Pela definição: ressonância é o fenômeno em que 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.

Para entender esta definição são necessárias explicações quanto a algumas grandezas físicas envolvidas: amplitude e frequência.

Amplitude de uma oscilação é o que diz respeito ao “tamanho” desta oscilação. Um movimento oscilatório possui uma trajetória determinada, e a variação máxima na posição do oscilador, a partir de uma posição de equilíbrio, é chamada de amplitude do movimento.

Frequência é definida como a razão entre o número de oscilações (ou ciclos) por unidade de tempo. A unidade mais utilizada (e que será utilizada durante o trabalho) é o Hertz (Hz). Definindo, uma frequência de  $1 \text{ Hz} = 1 \frac{\text{ciclo}}{\text{s}}$ .

Por exemplo, para facilitar, é suposto um sistema ideal, sem perdas por atrito ou resistência do ar. Em termos de mecânica isso é muito difícil para experimentos cotidianos, mas, matematicamente, é prático idealizar a situação para poder excluir (por ora) o conceito de amortecimento. Uma velha brincadeira de infância pode ilustrar de maneira fácil este conceito de reforço no sistema oscilante: o balanço (Fig. 1).

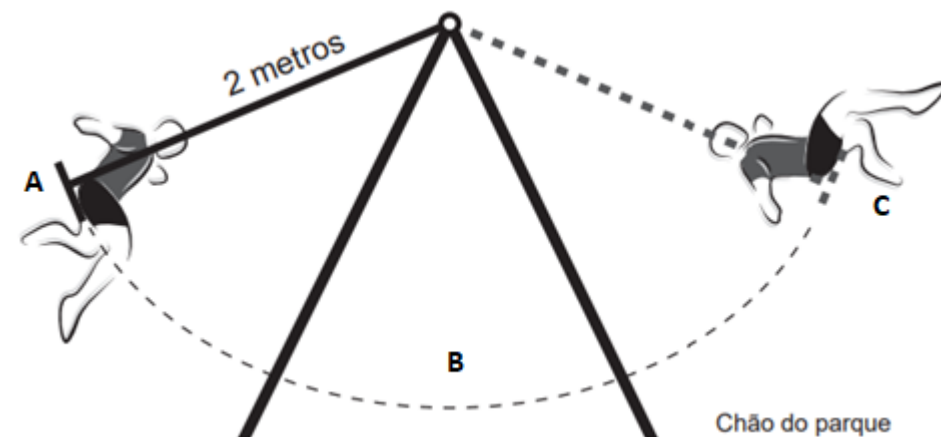


Fig. 1 – Balanço oscilando entre as posições A e C  
Fonte: ENEM 2014 (Caderno azul, questão 148).

A Fig. 1 mostra um balanço oscilando entre as posições máximas A e C, passando pelo central B. Sabemos que, desprezando as resistências e perdas, este movimento se comporta como um movimento harmônico simples (MHS) e que tem uma grande característica: na posição máxima em  $x$  (amplitude máxima do movimento), ou seja em A ou C, a velocidade do corpo é nula.

Desde criança (e sem ter conhecimentos de aulas de física), todos sabem que para um melhor aproveitamento da força aplicada, o ideal é empurrar a pessoa quando ela se encontra na posição de máxima amplitude. Se novamente desprezarmos as resistências, a cada ida e volta do movimento (primeiramente sem empurrão), pelo princípio de conservação de energia, o balanço sempre retornará a mesma altura.

Portanto, se um segundo personagem (uma pessoa por exemplo), se posicionar em A e realizar um empurrão exatamente no momento em que o balanço atinge velocidade nula, este estará fornecendo energia (realizando trabalho) ao sistema, e o balanço, ao retornar ao ponto A, atingirá uma altura maior do que antes. Realizando mais um impulso, o balanço executa o movimento e retorna a A numa altura ainda maior e assim sucessivamente.

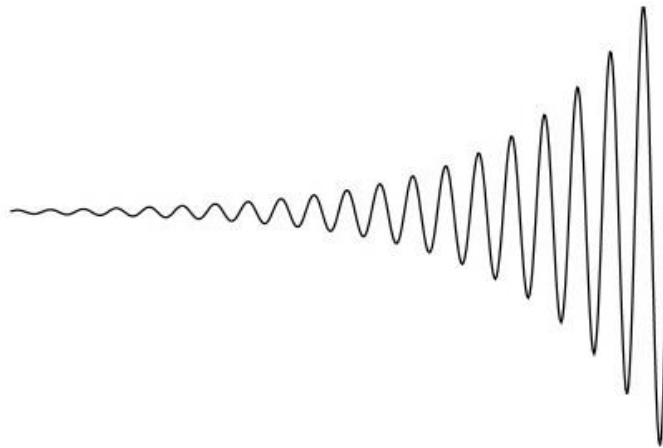


Fig. 2 – Aumento temporal da amplitude de um movimento harmônico  
 fonte: <https://en.wikipedia.org/wiki/Resonance>

A Fig. 2 traz um gráfico de amplitude em função do tempo. É visível o aumento da amplitude no eixo vertical com a evolução temporal. Este ganho de amplitude, mediante um reforço (aplicação de força) periódico e constante é exatamente o que caracteriza o fenômeno da ressonância. Dentro do objetivo deste trabalho, é interessante destacar que se trata de uma oscilação forçada e sem amortecimento. As oscilações forçadas são aquelas que recebem estímulo de um agente externo (tal qual o exemplo do balanço da Fig. 1), e sem amortecimento para desprezar qualquer forma de atrito, resistência, e assim dissipação de energia.

Analisando desta maneira, não é exagero pensar que tal ressonância levaria a uma amplitude infinita, uma vez que a energia do sistema só aumenta a cada novo período completo. É possível demonstrar isso matematicamente. Considerando a 2ª lei de Newton, a Lei de Hooke e a força externa de um agente externo (BARROS, 2007),

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx + F_0 \cdot \cos\omega t. \quad (1)$$

Em que  $\omega$  é a frequência angular imposta pelo agente externo. Para oscilações naturais livres do oscilador considera-se,

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad (2)$$

Note que frequência angular<sup>9</sup> é a frequência em Hertz multiplicada por  $2\pi$ . Dividindo a Eq. (2) por  $m$ ,

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m}\cos\omega t \quad (3)$$

Como solução estacionária temos o sistema oscilando junto com a frequência da força externa aplicada,

$$x = x_m\cos\omega t \quad (4)$$

Substituindo a Eq. (4) na Eq. (3) e aplicando as derivadas obtém-se

$$-\omega^2 \cdot x_m\cos\omega t + \frac{k}{m}x_m\cos\omega t = \frac{F_0}{m}\cos\omega t, \quad (5)$$

chega-se a seguinte expressão

$$x_m = \frac{F_0/m}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (6)$$

Nota-se pela Eq. (6) que, quando a frequência  $\omega$  imposta pela força externa atinge o valor da frequência livre de oscilação do sistema ( $\omega_0$ ), a amplitude do movimento tende ao infinito. Numa situação real de oscilação, onde forças resistivas e o amortecimento são considerados, a amplitude não parte para valores infinitos, mas pode crescer até valores onde o próprio sistema entra em colapso.

A Fig. 3, retirada de uma famosa cena da série de filmes *Harry Potter*<sup>10</sup> ilustra um exemplo desta situação de colapso do sistema. Nesta emblemática situação, uma taça de cristal é quebrada apenas com o grito e as respectivas ondas sonoras emitidas por um soprano. Mesmo fora do filme fantasioso essa situação é possível e ocorre porque, o soprano consegue emitir uma onda sonora com a mesma frequência natural de oscilação da taça. A taça então começa a oscilar e se deformar num processo de

---

<sup>9</sup> Medida escalar da velocidade de rotação, muitas vezes expressa em radiano por segundo.

<sup>10</sup> Harry Potter é uma série de sete romances de fantasia escrita pela autora britânica J. K. Rowling.

ressonância até que, devido a sua baixa maleabilidade, se estilhaça num efeito interessante.



Fig. 3 – Cantora soprano quebrando taça de cristal por ressonância com ondas sonoras  
fonte: cena do filme: Harry Potter e o Enigma do Príncipe

### 3.2 – Spin

Em 1925, Uhlenbeck e Goudsmit postularam a existência de uma nova propriedade intrínseca das partículas<sup>11</sup>. Essa grandeza se comportava como um momento angular e foi posteriormente denominada *spin* de Pauli, no entanto, a imagem de uma esfera giratória não é totalmente precisa e satisfatória. Essa nova propriedade precisa ser vista como uma propriedade intrínseca, que é específica de um dado tipo de partícula. O spin é uma quantidade, tal qual massa e/ou carga de uma partícula, podendo assumir valores numéricos inteiros ou semi-inteiros, dependendo da partícula em estudo. Suas características assemelham-se às de um momento angular: de fato, o operador spin  $\hat{S}$  é um operador de momento angular.

É interessante que se façam algumas afirmações a respeito desta grandeza puramente quântica para um melhor entendimento:

---

<sup>11</sup> A ideia inicial seria que o elétron executa rotação (*spin*) em torno de seu próprio eixo. Lorentz mostrou que, mesmo que se o elétron fosse considerado uma esfera em rotação, sua velocidade (tangencial de rotação) teria que ser superior à velocidade da luz, o que sabemos não ser possível.

- O operador spin  $\mathbb{S}$  é um momento angular. Isso significa que ele deve satisfazer a relação

$$[\mathbb{S}_i, \mathbb{S}_j] = i\hbar \mathbb{S}_k \epsilon_{ijk}; \quad (7)$$

- O operador spin atua em um novo espaço, dito “espaço de estado de spin”  $\mathcal{E}_s$ , em que  $\mathbb{S}^2$  e  $\mathbb{S}_z$  são os operadores usados na descrição das quantidades de interesse. O espaço de estado de spin é constituído por vetores  $|s, m\rangle$ , que sofrem a ação desses operadores da seguinte forma,

$$\mathbb{S}^2 |s, m\rangle = s(s + 1)\hbar^2 |s, m\rangle, \quad (8)$$

$$\mathbb{S}_z |s, m\rangle = m\hbar |s, m\rangle; \quad (9)$$

O espaço de estado de spin é sempre de dimensão finita,  $2s + 1$ , e todos os estados de spin são autovetores de  $\mathbb{S}^2$  com o mesmo autovalor,  $s(s + 1)\hbar^2$ .

- O elétron (assim como os prótons e nêutrons), é uma partícula de spin  $\frac{1}{2}$  ( $s = 1/2$ ) e seu **momento magnético intrínseco** é dado por

$$\mathbb{M}_S = \frac{2\mu_B}{\hbar} \mathbb{S}, \quad (10)$$

em que  $\mu_B$  representa o magnéton de Bohr,  $q\hbar/2m_e$ .

Para entender o fenômeno da ressonância magnética nuclear, será dada atenção para as partículas de spin  $\frac{1}{2}$  (caso do próton, alvo da ressonância magnética nuclear). Átomos ou partículas que possuem spin meio, isto é,  $s = 1/2$ , terão então o número quântico  $m$  apenas com dois possíveis valores:  $\pm \frac{1}{2}$ . Sendo assim

$$\mathbb{S}_z : \left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle = -\frac{\hbar}{2} \left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle \quad (11)$$

$$\mathbb{S}_z: \left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle = \frac{\hbar}{2} \left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle \quad (12)$$

Devido à complexidade desta linguagem, pode-se tratar os dois estados possíveis por **up** ou **down**. Os nomes são referência ao alinhamento a favor ou contra um campo magnético externo. A partícula que esteja no estado  $\left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle$ , estará alinhada ao campo, enquanto a partícula que esteja no estado  $\left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle$  estará contra alinhada ao campo. Simplificando,

$$\left| \frac{1}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle = |\uparrow\rangle = |+\rangle, \quad (13)$$

$$\left| \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle = |\downarrow\rangle = |-\rangle. \quad (14)$$

Utilizando as afirmações a respeito dos operadores  $\mathbb{S}$  e a notação das Eq. (13) e Eq. (14), chega-se a

$$\mathbb{S}^2|\pm\rangle = \frac{3}{4}\hbar^2|\pm\rangle, \quad (15)$$

$$\mathbb{S}_z|\pm\rangle = \pm\frac{\hbar}{2}|\pm\rangle, \quad (16)$$

$$\mathbb{S}_+|+\rangle = 0; \mathbb{S}_-|-\rangle = 0, \quad (17)$$

$$\mathbb{S}_+|-\rangle = \hbar|+\rangle; \mathbb{S}_-|+\rangle = \hbar|-\rangle. \quad (18)$$

Uma experiência crucial dentro desta temática foi o experimento de Stern-Gerlach (1922), que comprovou a quantização direcional do átomo (seu momento angular). O modelo de Bohr-Sommerfeld propunha a quantização da energia e do momento angular do elétron no átomo de hidrogênio, mas apenas a quantização da energia havia sido comprovada experimentalmente por meio das séries de emissão (Balmer e Lyman).

### 3.3 – A precessão do spin em um campo magnético

Agora é necessário observar e pontuar de que maneira o spin de uma partícula se comporta mediante um campo magnético externo. A ocorrência do fenômeno de ressonância magnética nuclear só é possível graças um movimento de precessão que a partícula realiza em torno de um eixo. Primeiramente (secção 3.3.1) será analisado o que ocorre quando o spin está alinhado na mesma direção do campo magnético ( $B$ ), e posteriormente (secção 3.3.2) quando o spin está alinhado em uma direção aleatória  $n$  em relação a  $B$ .

#### 3.3.1 Spin e $B$ na mesma direção

Sabe-se que um objeto carregado girando em torno de um eixo se comporta como um dipolo magnético, e sua energia potencial associada ao torque será dada por

$$H = -\mu \cdot B. \quad (19)$$

Em que  $\mu$  é o vetor de momento de dipolo magnético e  $B$  é o vetor de campo magnético. Essa expressão nos mostra os seguintes resultados:

1. Se  $\mu$  e  $B$  têm a mesma direção e o mesmo sentido, a energia  $E$  é mínima (esse é o motivo pelo qual a agulha de uma bússola se alinha ao campo magnético);
2. Se  $\mu$  e  $B$  têm a mesma direção e sentidos opostos, então  $E$  é máxima;

O vetor momento de dipolo  $\mu$  é dado pela Eq. (20)

$$\mu = \gamma \cdot S. \quad (20)$$

Em que  $\gamma$  é a *razão giromagnética* classicamente dada por  $\frac{q}{2m}$ , porém para o elétron pode-se considerar o dobro desse valor:  $\frac{-e}{m}$ . Já  $S$  é o momento angular de spin. Substituindo a Eq. (20) na Eq. (19) chega-se a

$$H = -\gamma \cdot B \cdot S, \quad (21)$$



Tomando os resultados da secção anterior, e considerando apenas um campo magnético  $B$  vertical na direcção do eixo  $z$  (tal que  $B = B_0 k$ ), pode-se escrever

$$H = -\frac{\gamma B_0 \hbar}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (22)$$

Em que  $\gamma \cdot B_0$  será dado por  $\omega_0$ , definido como a frequência angular. Assim a Eq. (22) torna-se

$$H = -\frac{\omega_0 \hbar}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (23)$$

E finalmente para spin **up** tem-se que

$$H|+\rangle = \omega_0 S_z |+\rangle, \quad (24)$$

$$E_+ = \frac{\hbar \omega_0}{2}. \quad (25)$$

De maneira análoga para o spin **down**

$$H|-\rangle = \omega_0 S_z |-\rangle, \quad (26)$$

$$E_- = -\frac{\hbar \omega_0}{2}, \quad (27)$$

Portanto, a frequência angular do sistema (associada à energia) é dada por

$$E_+ - E_- = \hbar \omega_0. \quad (28)$$

Vale pontuar que, para este sistema, a solução da equação de Schroedinger para os seus estados é dada por:

$$|\varphi(t)\rangle = \sum_n c_n e^{\frac{-iE_n t}{\hbar}} |E_n\rangle. \quad (29)$$

Então, se observarmos o que ocorre com as partículas que iniciam com spin **up**

$$|\varphi(0)\rangle = |+\rangle, \quad (30)$$

$$|\varphi(t)\rangle = e^{\frac{-i\omega_0 t}{2}} |+\rangle. \quad (31)$$

Nota-se que a única diferença entre as Eq. (30) e Eq. (31) é o termo  $e^{\frac{-i\omega_0 t}{2}}$ , o qual não afeta na medida do sistema. E a probabilidade de encontrar uma partícula nessa condição será

$$P = |\langle + | \varphi(t) \rangle|^2. \quad (32)$$

E assim substituindo a Eq. (31) na Eq. (32)

$$P = \left| \langle + | e^{\frac{-i\omega_0 t}{2}} |+\rangle \right|^2. \quad (33)$$

E finalmente

$$P = 1. \quad (34)$$

Como inicialmente, foi considerado o spin na mesma direção z do campo magnético, era de se esperar o resultado obtido na Eq. (34), ou seja, probabilidade máxima de 100%.

### 3.3.2 Spin em uma direção arbitrária em relação a B

Agora serão consideradas partículas com spin em  $n$  direções aleatórias e diferentes da orientação do campo magnético (que será mantido no eixo vertical z). Assim, observando ainda as partículas de spin  $\mathbf{up}$ , os seus estados iniciais serão dados por

$$|\varphi(0)\rangle = |+\rangle_n = \cos\frac{\theta}{2} |+\rangle + \text{sen}\frac{\theta}{2} e^{i\phi} |-\rangle. \quad (35)$$

Matricialmente, e considerando a evolução temporal do sistema observado anteriormente na Eq. (31) se tem

$$|\varphi(t)\rangle = \begin{pmatrix} e^{-\frac{i\omega_0 t}{2}} \cos\frac{\theta}{2} \\ e^{-\frac{i\omega_0 t}{2}} e^{i\phi} \text{sen}\frac{\theta}{2} \end{pmatrix}. \quad (36)$$

Ou ainda

$$|\varphi(t)\rangle = e^{-\frac{i\omega_0 t}{2}} \begin{pmatrix} \cos\frac{\theta}{2} \\ e^{i(\phi+\omega_0 t)} \text{sen}\frac{\theta}{2} \end{pmatrix}. \quad (37)$$

Sendo assim, utilizando a Eq. (32), a probabilidade de encontrar uma partícula neste estado será dada por

$$P = \left| (1 \ 0) e^{-\frac{i\omega_0 t}{2}} \begin{pmatrix} \cos\frac{\theta}{2} \\ e^{i(\phi+\omega_0 t)} \text{sen}\frac{\theta}{2} \end{pmatrix} \right|^2. \quad (38)$$

Melhorando, chega-se a

$$P = \left| e^{-\frac{i\omega_0 t}{2}} \cos\frac{\theta}{2} \right|^2. \quad (39)$$

E finalmente,

$$P = \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (40)$$

O resultado obtido na Eq. (40) é independente do tempo. Se for trabalhado apenas o eixo  $x$ , obtêm-se a seguinte probabilidade de encontrar a partícula

$$P_{+x} = |\langle + | \varphi(t) \rangle_x|^2. \quad (41)$$

Substituindo na Eq. (41)

$$P_{+x} = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} e^{-\frac{i\omega_0 t}{2}} \begin{pmatrix} \cos\frac{\theta}{2} \\ e^{i(\phi+\omega_0 t)} \sin\frac{\theta}{2} \end{pmatrix} \right|^2. \quad (42)$$

Pode-se desenvolver o produto

$$P_{+x} = \frac{1}{2} \left| \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right) + \cos\frac{\theta}{2} \sin\frac{\theta}{2} (e^{i(\phi+\omega_0 t)} + e^{-i(\phi+\omega_0 t)}) + \sin^2\frac{\theta}{2} \right|. \quad (43)$$

E simplificando

$$P_{+x} = \frac{1}{2} [1 + \sin\theta \cos(\phi + \omega_0 t)]. \quad (44)$$

O resultado para o eixo  $y$ , também ortogonal a  $z$  será análogo, e assim, para  $S$  teremos os seguintes valores esperados

$$\langle S_z \rangle = \frac{\hbar}{2} \cos\theta, \quad (45)$$

$$\langle S_x \rangle = \frac{\hbar}{2} \sin\theta \cos(\phi + \omega_0 t), \quad (46)$$

$$\langle S_y \rangle = \frac{\hbar}{2} \sin\theta \sin(\phi + \omega_0 t). \quad (47)$$

Nota-se que  $\langle S_z \rangle$  é independente do tempo, porém  $\langle S_x \rangle$  e  $\langle S_y \rangle$  dependem do tempo (por  $\omega_0 t$ ) e geram um movimento de rotação nessas direções. Esse movimento, fixo em  $z$  e rotacionando nas direções  $x$  e  $y$  é o que caracteriza a precessão da partícula (Fig. 4). A frequência com que este movimento ocorre é chamada de *frequência de Larmor*  $\omega_0$  (já que ocorre sob a precessão de Larmor).

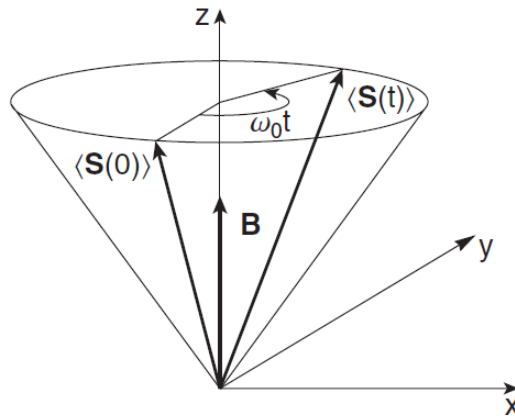


Fig. 4 – Movimento de precessão da partícula em torno do eixo z

### 3.4 - Experimento de Stern – Gerlach

O experimento de Stern-Gerlach (SG) verificou a existência e a quantização do spin. Ele foi realizado em 1922 pelos físicos alemães Otto Stern e Walther Gerlach (na época, Stern era assistente de Max Born<sup>12</sup> na Universidade de Frankfurt). O grande trunfo de tal experimento foi comprovar que o momento angular intrínseco de um átomo era quantizado, e com tal, demonstrar que o momento angular intrínseco da partícula é consistido de valores discretos e bem definidos, sendo assim, um fenômeno quântico.

É importante ressaltar que o momento de dipolo magnético intrínseco de uma partícula está diretamente relacionado com seu spin, de forma que, para partículas de spin  $\frac{1}{2}$ , temos apenas 2 possibilidades de configuração do spin, como discutido na seção anterior: tem-se o spin “up”, denotado por  $|+\rangle$  ou  $|\uparrow\rangle$  ou o spin “down”, denotado por  $|-\rangle$  ou  $|\downarrow\rangle$ . Dessa forma, o momento intrínseco estará **alinhado** ao campo magnético, ou **contra alinhado** ao mesmo.

O experimento de Stern-Gerlach trabalha em torno dessa particularidade: tomando átomos de prata (Ag), que são neutros eletricamente (de forma a não sofrerem a ação da força de Lorentz, que seria radicalmente maior do que a repulsão gerada pelo alinhamento dos spins), assim como nêutrons, e que possuem spin  $\frac{1}{2}$ , eles geraram

<sup>12</sup> Max Born (11 de dezembro de 1882 - 5 de janeiro de 1970) foi um físico e matemático alemão que foi fundamental para o desenvolvimento da mecânica quântica. Born ganhou o Prêmio Nobel de Física de 1954 por sua "pesquisa fundamental em mecânica quântica, especialmente na interpretação estatística da função de onda".

um campo magnético não uniforme numa direção, de acordo com o esquema da Fig. 5.

Faz-se incidir o feixe de átomos de prata vaporizados e acelerados neste campo magnético transversal criado por dois ímãs não planos (para criar um campo não homogêneo). Utilizou-se prata por um motivo muito simples: os seus elétrons externos possuem momento angular orbital nulo ( $l = 0$ ).

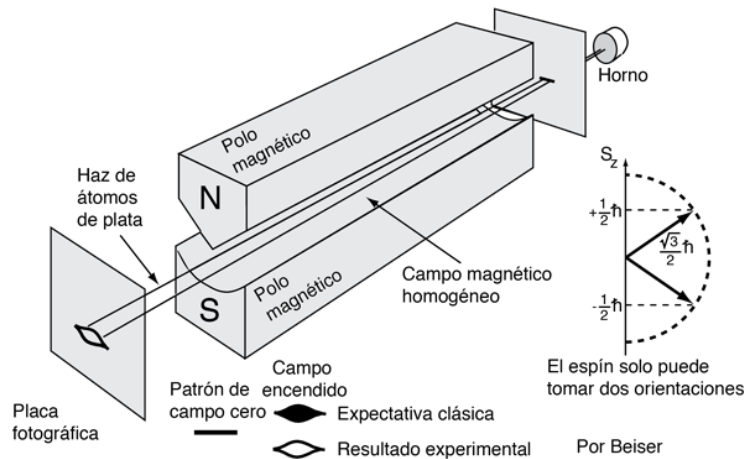


Fig. 5 – Diagrama mostrando o caminho do feixe pelo campo magnético e o desvio ocorrido devido ao momento de dipolo dos átomos de Ag

A física clássica (que só observava o momento angular orbital) esperava por um registro disperso no anteparo, ou seja, com átomos atingindo uma região do anteparo desviados de maneira contínua entre dois extremos. Porém, o que se constatou foi diferente: os átomos só atingiram duas regiões do anteparo, sendo uma acima e outra abaixo (vide Fig. 6).

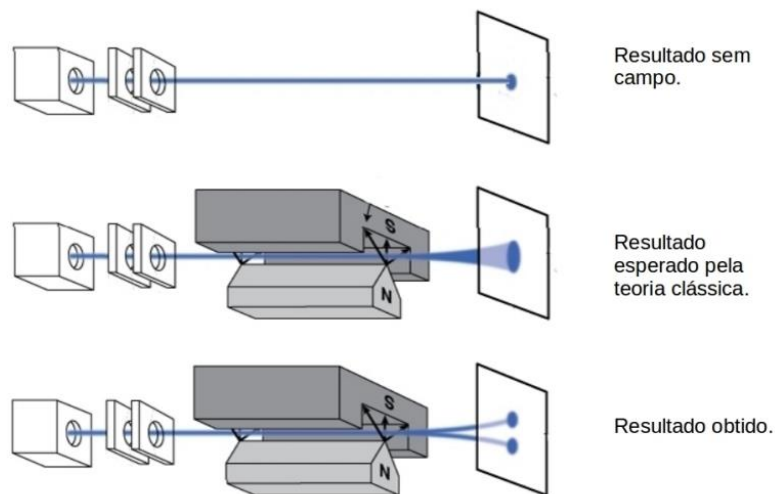


Fig. 6 – Diagrama com a comparação dos resultados esperados pela física clássica e o resultado obtido

Pode-se explicar quanticamente com a ideia de spin, o que acontece no experimento (note que o campo magnético ( $B$ ) o qual as partículas atravessam está na direção  $z$ , ortogonal a trajetória original das partículas): a porção de átomos que possui a componente  $z$  do momento magnético alinhada na direção do campo, isto é,  $m = \frac{\hbar}{2}$ , será “desviada” na direção do campo e irão, portanto, para “cima”. Agora, átomos de componente  $m = -\frac{\hbar}{2}$  serão repelidos, movendo-se ligeiramente para “baixo” (ainda em relação ao eixo  $z$ ). Portanto, surge na chapa dois pontos distintos, simétricos em relação ao ponto onde os átomos de prata originalmente cairiam se não houvesse campo. E esse é o resultado experimental obtido que comprova a quantização do Spin.

Pode-se fazer uma analogia do aparato experimental de Stern-Gerlach a um filtro, onde a trajetória das partículas depende única e exclusivamente de seu spin. Então, tal qual num polarizador, pode-se incrementar o experimento adicionando novos “filtros”. Se for considerada apenas uma parte das partículas que passaram pelo primeiro campo (por exemplo apenas as partículas de Spin **up**  $|+\rangle$ ), pode-se colocar um segundo campo magnético com determinada orientação para então “filtrar” ou não a passagem desses dipolos, e ainda, é possível calcular a probabilidade de encontrar esses dipolos num detector (considerando que entre os filtros as partículas não evoluem no tempo, caso contrário poderia se perder a validade do experimento).

A probabilidade de encontrar partículas spin **up**, que tenham passado por dois filtros sucessivos vai depender do ângulo de inclinação que o campo magnético do segundo filtro tem em relação ao campo do primeiro.

A relação (desenvolvido na seção anterior e concluído na Eq. (40)) que segue é dada por

$$P\left(\frac{F_2}{F_1}\right) = \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (48)$$

Em que  $F_2$  é a probabilidade de passar pelo filtro 2 desde que tenha passado pelo filtro 1 ( $F_1$ ), e  $\theta$  é o ângulo entre as orientações dos campos magnéticos dos filtros 1 e 2.

Nota-se que, se  $\theta = 0$ , a probabilidade é igual a 1 (100%), ou seja, os dois campos estão alinhados e as partículas atravessam ambos. Agora, caso  $\theta = \pi$ , os campos estarão em oposição e as partículas **up** atravessam o primeiro, mas não o segundo, já que a probabilidade será igual a zero.

O mais interessante surge quando colocamos um terceiro filtro ( $F_3$ ) após o segundo e calcula-se a probabilidade de que as partículas **up** atravessem os três filtros. Se  $F_3$  formar um ângulo  $\emptyset$  com o eixo z considerado, então a probabilidade de que as partículas que passaram por  $F_2$  passem por  $F_3$  será dada por

$$P\left(\frac{F_3}{F_2}\right) = \cos^2\left(\frac{\emptyset}{2} - \frac{\theta}{2}\right). \quad (49)$$

Esta expressão mostra que, quando os campos de  $F_2$  e  $F_3$  estão alinhados,  $\emptyset = \theta$ , a probabilidade de as partículas atravessarem será máxima ( $P = 1$ ). Agora, tendo uma defasagem de um ângulo  $\pi$  entre os sentidos dos filtros, então a probabilidade torna-se nula ( $P = 0$ ). Porém, analisando os três filtros pela matemática (estudo das probabilidades), segue que

$$P\left(\frac{F_3}{F_1}\right) = P\left(\frac{F_2}{F_1}\right) \cdot P\left(\frac{F_3}{F_2}\right). \quad (50)$$

E assim,



$$P\left(\frac{F_3}{F_1}\right) = \cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \cdot \cos^2\left(\frac{\phi}{2} - \frac{\theta}{2}\right). \quad (51)$$

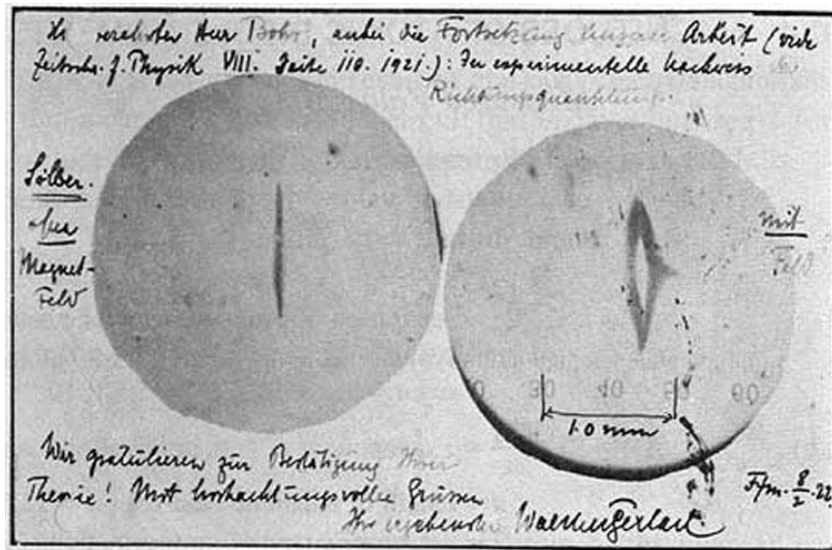
Este resultado é muito curioso e deve ser analisado com calma. Seja suposta a seguinte situação:  $\theta = \frac{\pi}{2}$  (ou seja, ortogonal a trajetória das partículas) e  $\phi = \pi$  (na direção de z porém orientado para “baixo”). As partículas **up** atravessariam o primeiro filtro, mas seriam barradas no segundo. Se tirarmos o segundo filtro mantendo apenas o primeiro e o terceiro, aconteceria algo parecido, as partículas atravessariam o primeiro e seriam barradas no terceiro.

Agora fazendo os cálculos com os ângulos supostos acima, e, usando os três filtros teremos

$$P\left(\frac{F_3}{F_1}\right) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4} = 0,25. \quad (52)$$

O segundo filtro faz com que a orientação dos spins se altere e assim o detector após o terceiro filtro consegue registrar a incidência de partículas. Conclusão: em quântica, a realização de uma medida altera o estado do sistema. Por esse, dentre tantos outros motivos, não podemos buscar analogias clássicas dentro do estudo de spin de partículas.

Após a realização do experimento, Stern e Gerlach enviaram felicitações a Niels Bohr com as notas da Fig. 7.



Gerlach's postcard, dated 8 February 1922, to Niels Bohr. It shows a photograph of the beam splitting, with the message, in translation: "Attached [is] the experimental proof of directional quantization. We congratulate [you] on the confirmation of your theory." (Physics Today December 2003)

Fig. 7 – Notas a Niels Bohr a respeito da quantização do momento de dipolo magnético (GOMES; PIETROCOLA, 2011)

Os próprios autores revelaram que a imagem foi obtida após 8 horas de exposição e uma ampliação de vinte vezes:

*“Este foi o melhor resultado obtido. Dois outros ensaios deram essencialmente a mesma figura, só que não com a completa simetria. Deve-se dizer que o ajuste preciso do caminho ótico com diafragmas tão pequenos é muito difícil, e que a obtenção de um belo depósito simétrico como da figura necessita um pouco de sorte; um desajuste do diafragma de apenas alguns poucos centésimos de milímetro basta para fazer fracassar a experiência” (Stern-Gerlach, 1922a, pg. 351).*

## Capítulo 4

### Ressonância Magnética Nuclear

O primeiro registro da possibilidade de fazer uma partícula ressonar por conta da existência de seu momento magnético ocorreu em 1937, realizado pelo físico austro-norte-americano Isidor Isaac Rabi<sup>13</sup> (1898-1988). Resumidamente ele provocou desvio na trajetória de um feixe molecular por conta de um campo fraco, porém, que fez com que as partículas ressonassem. Inseriu um loop de fio dentro do campo magnético, esse fio por sua vez estava ligado a um circuito oscilante (no qual a frequência poderia ser alterada). Então, quando o feixe de átomos passa pelo campo magnético, eles são influenciados apenas na condição de que “precessem no tempo com a corrente elétrica no circuito oscilante”. Entrando em ressonância, essas partículas adquiriram uma energia diferente da inicial e acabam por desviar sua trajetória

O núcleo desses átomos realiza o chamado “salto quântico”, quando ocorre esse salto o detector registra uma ressonância mínima, é determinada então a posição de frequência desse registro com o medidor de frequência de rádio, assim Rabi “estabeleceu relações de rádio com as partículas mais sutis da matéria, com o mundo do elétron e do núcleo atômico.”

Porém, foi apenas com outros dois grandes nomes que a Ressonância Magnética Nuclear (RMN) ganhou forma e tornou-se alvo de grande interesse por conta da comunidade científica: Edward Mills Purcell e Felix Bloch. Ambos trabalharam concomitantemente e de forma independente, realizando grandes contribuições para a física da RMN. Os anúncios foram realizados em 1946 pelas equipes de ambos os cientistas, mas com abordagens ligeiramente diferentes. Purcell utilizou uma técnica na qual media a *frequência de Larmor* (trabalhado mais adiante), com a qual era possível especificar de maneira mais precisa o momento magnético dos núcleos. Já a equipe de Bloch, apesar de trabalhar de maneira muito similar, identificou sinais induzidos em uma bobina (detector) próxima.

---

<sup>13</sup> Seus trabalhos lhe renderam um Nobel de física em 1944.

Edward Mills Purcell (1912-1997) foi agraciado com o prêmio Nobel de 1952 pela descoberta da ressonância magnética nuclear em líquidos e sólidos<sup>14</sup>.

Além de contribuir drasticamente no estudo da estrutura química e propriedades dos materiais, e descobrir a física por detrás de uns avanços mais importantes da medicina do século XX, Purcell também teve larga contribuição com a astronomia, permitindo através de mais uma de suas descobertas, a obtenção das primeiras imagens dos *braços espirais* de nossa galáxia Via Láctea. Vale lembrar também que Purcell está na capa de um livro que faz parte de uma coleção de grande valor acadêmico: *Curso de Física de Berkeley*. Ele foi autor do livro de *Eletricidade e Magnetismo*, e tornou-se referência na área.

Felix Bloch (1905-1983) nasceu na Suíça, em família de origem judia, o que o fez em determinado momento de sua vida emigrar para os Estados Unidos onde se naturalizou. Foi acolhido primeiramente pela Universidade de Stanford e posteriormente pela Universidade da Califórnia (Berkeley). Felix Bloch teve uma carreira internacional brilhante, e durante sua trajetória trabalhou ao lado de Wolfgang Pauli, Hans Kramers, Niels Bohr e Enrico Fermi. Mas foi pelo desenvolvimento de novas formas e métodos para trabalhar com medidas de precisão em magnetismo nuclear, que em 1952 Bloch recebeu seu Prêmio Nobel. Ele foi o primeiro diretor-geral do laboratório CERN (entre 1954 e 1955), e fez contribuições teóricas fundamentais para a compreensão do comportamento de elétrons em redes cristalinas e ferromagnetismo.

Retornando a física, foi visto durante o capítulo anterior, que partículas, como os prótons no núcleo de um átomo por exemplo, possuem um momento angular orbital e um momento magnético intrínseco (spin). Quando se coloca um próton na presença de um campo magnético externo, este tenta se alinhar na direção do campo e com isso inicia um movimento de precessão como o da Fig. 8.

---

<sup>14</sup> Além da aplicação na medicina e diagnóstico de imagem (alvo do produto), devemos ressaltar que a RMN também é muito útil para estudar a estrutura molecular de materiais homogêneos e heterogêneos (misturas), principalmente com a resposta obtida na ressonância dos átomos de carbono e hidrogênio, abundantes na matéria orgânica.

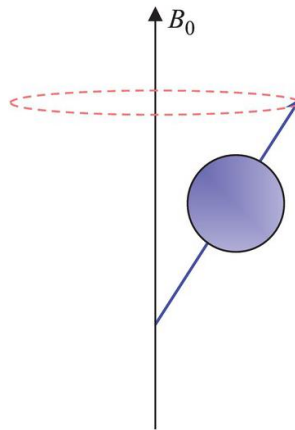


Fig. 8 - Movimento de precessão do próton em torno de um eixo

Este movimento se assemelha a um pião<sup>15</sup> de brinquedo. Nota-se que o alinhamento do próton com o campo externo pode se dar de duas diferentes maneiras: a favor ou contra as linhas de campo. Esse alinhamento a favor ou contra determina qual a energia daquele próton, isso porque prótons com maior energia se alinham contra o sentido do campo, enquanto aqueles com menor energia se alinham a favor (Fig. 9). A quantidade e a relação entre partículas a favor ou contra as linhas de campo acompanha uma distribuição de Boltzmann dada por

$$\frac{N_{\uparrow}}{N_{\downarrow}} = e^{\frac{-\Delta E}{k.T}} \quad (53)$$

Em que  $N_{\uparrow}$  e  $N_{\downarrow}$  denota o número de partículas a favor e contra o sentido do campo. Por exemplo para o hidrogênio, à temperatura ambiente e sob um campo de 1,5T, podemos considerar que a razão entre spins paralelos e antiparalelos gira em torno de 5 para 1 milhão. Aparentemente um valor pequeno, porém esses 5 para cada milhão serão suficientes para serem detectados no processo de ressonância. 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.

---

<sup>15</sup> Clássico brinquedo de madeira que inicia um movimento de rotação em torno do próprio eixo e com a perda de velocidade passa a precessionar.

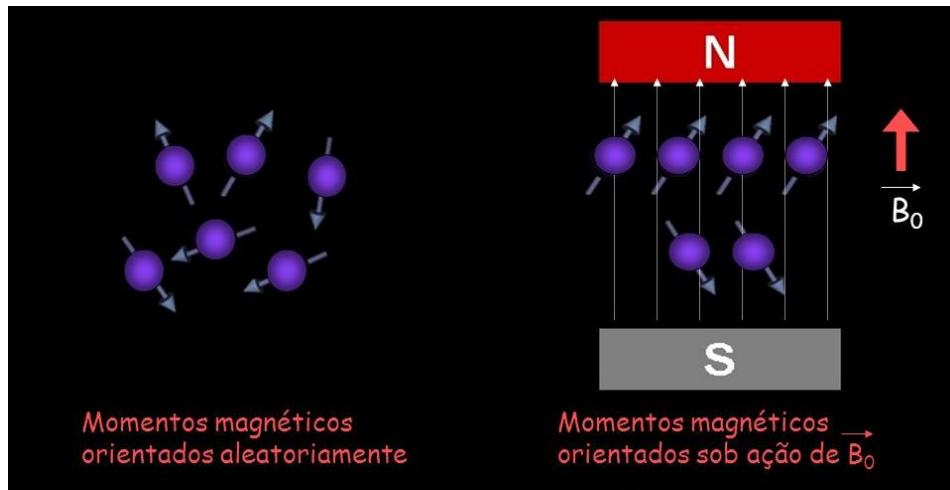


Fig. 9 – Diagrama com os momentos magnéticos antes e depois da presença de um campo magnético externo

O processo de ressonância magnética nuclear se inicia a partir deste ponto. A partir de uma fonte externa, é fornecido (periodicamente) energia aos prótons para que estes absorvam essa energia e entrem em ressonância, a fim de se desalinharem com o campo magnético externo. Neste momento afirma-se que o processo é quântico, tendo em vista que a absorção de energia por parte do próton só ocorre em valores discretos. No caso do exame de diagnóstico de imagem por RMN, são utilizadas ondas de radiofrequência sintonizadas para valores bem específicos de frequência (comumente chamamos de frequência de Larmor) definidos pela Eq. (54).

$$\omega = \gamma \cdot B_0. \quad (54)$$

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 prótons 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  $\gamma$  de  $42,5MHz/T$ . Isso significa, que se o equipamento de exame de diagnóstico por RMN estiver gerando um campo magnético de  $1,5T$ , a radiofrequência que irá interagir com os prótons de hidrogênio deve ter uma frequência  $\omega$  de  $63,5MHz$  (frequência próxima as que operam as estações de rádio FM).

Logo após os prótons absorverem esta energia, eles assumem uma orientação contrária as linhas de campo magnético. No retorno a 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 de equilíbrio.

O aproveitamento efetivo do fenômeno físico de RMN para a medicina, só ocorreu muito tempo depois de sua descoberta, melhor dizendo, aproximadamente trinta anos. Isso porque tanto a tecnologia necessária para a geração de um campo magnético externo intenso (por meio de correntes em supercondutores), quanto o processamento do sinal (feito por microprocessadores), a fim de torna-lo uma imagem que pudesse ser utilizada como diagnóstico de imagem, só se tornaram acessíveis e praticáveis na década de 80.

## Capítulo 5

### Geração de imagens

Para entender a geração de imagens de diagnóstico através do processo de ressonância magnética nuclear (RMN), é importante compreender alguns aspectos acerca do procedimento, tais como: porque utiliza-se como referência o átomo de hidrogênio, de que maneira um sinal é emitido e captado para ser transformado em informação útil para um computador, a matemática envolvida nos processos de emissão e captação de sinal, e claro, não menos importante, os cuidados que devem ser tomados no procedimento, considerando a física por trás de todo exame.

Primeiramente um alinhamento temporal. Purcell e Bloch foram agraciados com o Prêmio Nobel pelas suas pesquisas com RMN em 1952. Passados alguns anos, foi demonstrado que a frequência precisa, com a qual o fenômeno ocorre, é uma função do meio químico específico no qual o núcleo reside (chemical shift). Fazendo proveito disso então, durante as décadas de 50 e 60, a RMN teve sua aplicação direcionada a pesquisas em química e física (laboratórios e industrial), principalmente para investigação a nível molecular das estruturas e propriedades químicas dos materiais. Somente em 1967, Jasper Johns obteve sinais de RMN a partir de tecidos biológicos vivos. Em 1973, Paul Lanterbur fez algumas alterações nos espectrômetros e, assim, obteve as primeiras imagens de um objeto não homogêneo, sendo assim, as primeiras demonstrações de imagens por RMN. Ainda na década de 70 começaram a surgir as primeiras imagens de membros, tórax e posteriormente cabeça de seres humanos. Mas somente no início da década de 80 começaram a surgir os verdadeiros primeiros exames de ressonância magnética com fins médicos. Esse hiato entre a descoberta e sua aplicação na medicina se deve ao fato de que todo o processo de realização do exame carecia de algumas evoluções tecnológicas transversais para funcionar como conhecemos hoje. Como, por exemplo, geração de campos magnéticos intensos, ou então, computadores com grande poder de processamento de dados. Trata-se de uma tecnologia de diagnóstico de imagem relativamente recente (pouco mais de 30 anos desde os primeiros exames), comparado por exemplo a exames de raios-X. O equipamento evoluiu (Fig. 10), o custo diminuiu, mas a ideia central ainda é a mesma: provocar emissão de energia por prótons que estão retornando ao alinhamento (a favor) das linhas de um campo magnético externo. Esse retorno ocorre após



absorverem energia de forma discreta e serem levados a um contra alinhamento provocado por ondas de radiofrequência bem específicas. Esse sinal emitido se deve a essa energia anteriormente absorvida pelo processo de ressonância.



Fig. 10 – Exemplo de equipamento (atual) de exame de ressonância magnética

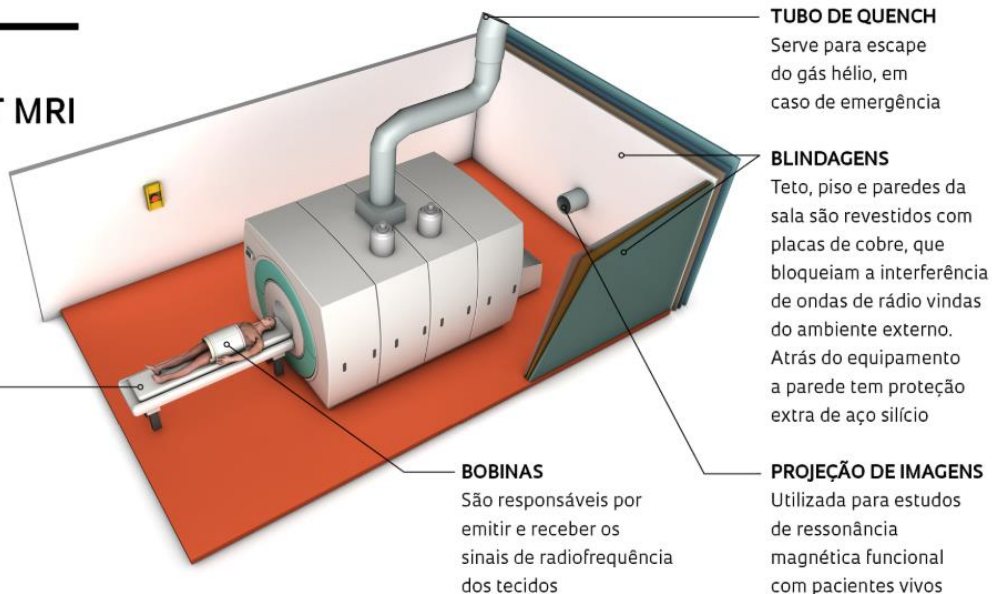
O equipamento (como o observado na Fig. 10) consiste de uma grande bobina circular por onde atravessa uma corrente elétrica num material supercondutor (geralmente o material é envolto por hélio líquido sob temperaturas baixíssimas, em torno de 5 a 10K). Um equipamento convencional (como o da Fig. 10) pode conter quilômetros de fios enrolado na forma de bobina, a fim de criar em seu interior campos magnéticos muito intensos. Para efeito de comparação, o campo magnético terrestre pode variar de 30 a 60  $\mu T$ , e nos exames de diagnóstico de imagem tem se utilizado campos da ordem de 1,5T (alguns laboratórios de pesquisa contem com equipamentos que possam gerar campos magnéticos de até 7 Tesla, como mostrado na Fig. 11). Assim que o paciente entra na região interna da bobina empurrado pela prancha, o mesmo fica exposto a um campo magnético intenso.

## A sala do Magnetom 7T MRI

O equipamento foi instalado numa sala com blindagem de cobre e aço silício

### MESA

Move-se com baixa velocidade para não danificar a eletrônica e reduzir efeitos de vertigem nos voluntários



### TUBO DE QUENCH

Serve para escape do gás hélio, em caso de emergência

### BLINDAGENS

Teto, piso e paredes da sala são revestidos com placas de cobre, que bloqueiam a interferência de ondas de rádio vindas do ambiente externo. Atrás do equipamento a parede tem proteção extra de aço silício

### BOBINAS

São responsáveis por emitir e receber os sinais de radiofrequência dos tecidos

### PROJEÇÃO DE IMAGENS

Utilizada para estudos de ressonância magnética funcional com pacientes vivos

FONTE KHALLIL TAVERNA CHAIM / FM-USP

Fig. 11 – Diagrama explicativo do equipamento (atual) de ressonância magnética  
fonte: MARQUES (2015)

Existem algumas características acerca do elemento hidrogênio que fez com que a medicina o escolhesse como personagem principal do procedimento. São três os principais motivos: em primeiro lugar o hidrogênio é o elemento mais abundante de nosso corpo (quase 10% da nossa massa corporal). Em segundo, o hidrogênio tem respostas bem diferentes (no que diz respeito a RMN) dependendo do local onde ele se encontra (tecido normal ou patológico), melhorando a resposta na imagem gerada. E por fim, o próton do átomo de hidrogênio possui um alto valor de momento magnético, e assim, responde com maior sensibilidade ao processo de RMN.

Todos os prótons dos núcleos de hidrogênio expostos ao campo magnético adquirem uma orientação paralela (na mesma direção e sentido), ou antiparalela (mesma direção e sentido oposto) em relação ao campo magnético externo da bobina ( $B_0$ ). Como exposto no capítulo anterior, esse alinhamento na verdade é dado por um movimento de precessão em torno de um eixo, e é esse eixo que está a favor ou contra as linhas de  $B_0$  dependendo da energia do próton.

Logo após, é emitida uma radiação eletromagnética de comprimento de ondas de rádio, ajustada em uma frequência específica (para um campo de 1,5T a frequência deve ser de 63,5 MHz no caso do hidrogênio). Parte da sua energia é absorvida pelos prótons que entram em ressonância. No momento em que ressonam, esses prótons

mudam seu alinhamento com o campo, passando de um estado menos energético (paralelos) para um mais energético (antiparalelos). Lembrando que são aqueles poucos prótons por milhão que passarão por esta experiência, mas que suficientes (imaginando uma região do corpo) para a geração do sinal. Para que ocorra a ressonância, é necessário que sejam fornecidos pulsos periódicos desta radiofrequência. Quando estes pulsos cessarem, é natural (como em tantos outros campos da física) que os prótons queiram voltar a sua situação de equilíbrio. Neste momento é que os prótons irão liberar energia na forma de radiação eletromagnética que será captada.

Da mesma maneira que o equipamento conta com antenas emissoras de radiofrequência, ele também possui bobinas que captam o sinal emitido pelos prótons que retornam ao equilíbrio, e são três essas bobinas. Por esse motivo que é possível, mesmo sem que o paciente mude de posição, a obtenção de imagens em até 3 planos diferentes: axial (transversal), sagital e coronal (ilustrado na Fig. 12).

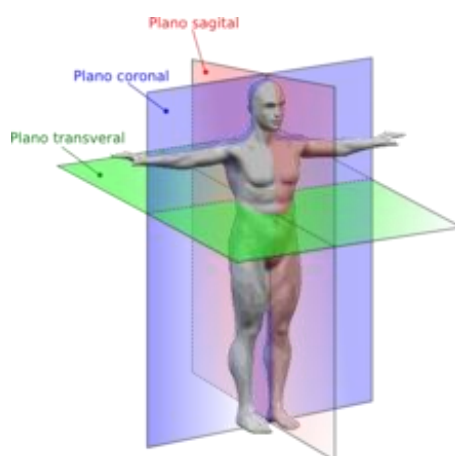


Fig. 12 – Diagrama com os planos de secção do corpo humano

É importante salientar neste momento que a sala onde ocorre o procedimento deve ser isolada (tal qual uma gaiola de Faraday) para que não ocorram interferências eletromagnéticas externas, uma vez que as antenas e bobinas trabalham com radiofrequência da ordem de rádios FM.

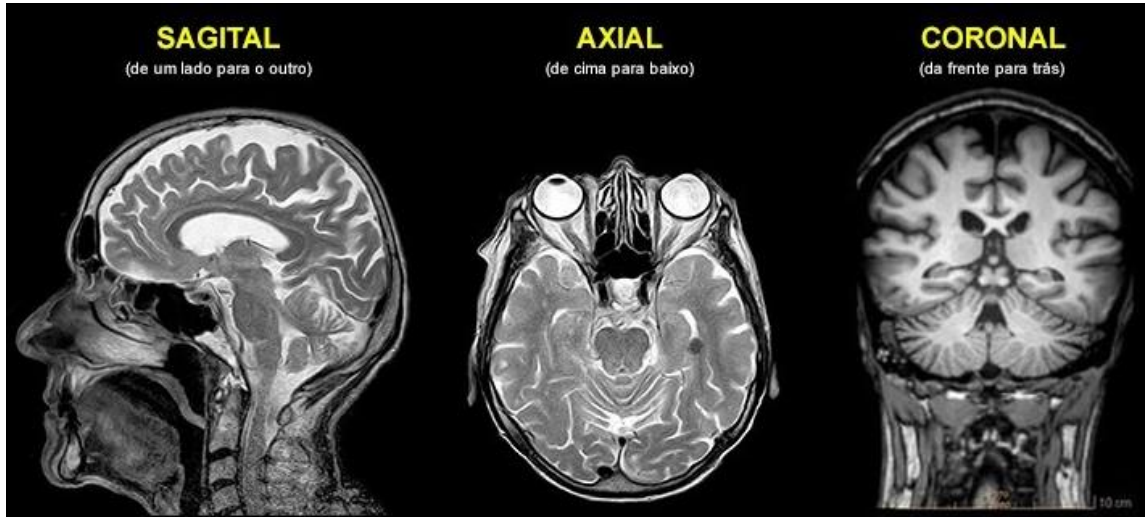


Fig. 13 – Exemplos de imagens geradas por RMN do crânio nos diferentes cortes de planos possíveis

Com os três planos possíveis e com múltiplos e sucessivos cortes (cada corte é uma camada fina como visto na Fig. 14) é possível ter conhecimento completo de um tecido ou órgão que possa estar com qualquer patologia. Cada corte é uma lâmina fina da região observada, e as lâminas são cortes que correm numa determinada direção (depende do plano captado).



Fig. 14 – Médicos analisando cortes sucessivos de um crânio na direção axial

Além do conceito físico fundamental e dos diferentes tipos de imagens que podemos obter, é importante descrever de que maneira as imagens são obtidas e processadas.

Existem maneiras distintas de observar a RMN e gerar imagens. Essas observações dependem dos tempos de relaxação T1 e T2 associados as 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 que os prótons são excitados pelos pulsos de radiofrequência (RF), eles absorvem energia e começam a mudar a direção 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) e para isso emitem radiação eletromagnética a fim de emitir a energia anteriormente absorvida. O tempo associado a 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 a 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

$$M_z = M_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_1}}). \quad (55)$$

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. 15 mostra o comportamento da magnetização longitudinal em função do tempo.

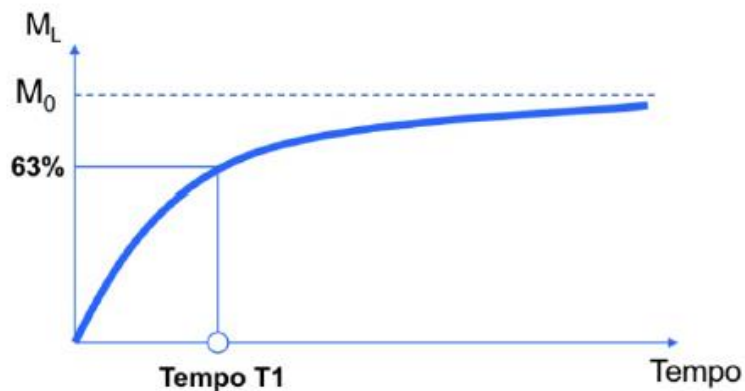


Fig. 15 – Evolução da magnetização longitudinal com destaque para o tempo T1  
 fonte: MAZZOLA (2009)

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

$$M_{xy} = M_0 \cdot e^{\frac{-t}{T_2}} . \quad (56)$$

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. 16 mostra o comportamento da magnetização transversal em função do tempo.

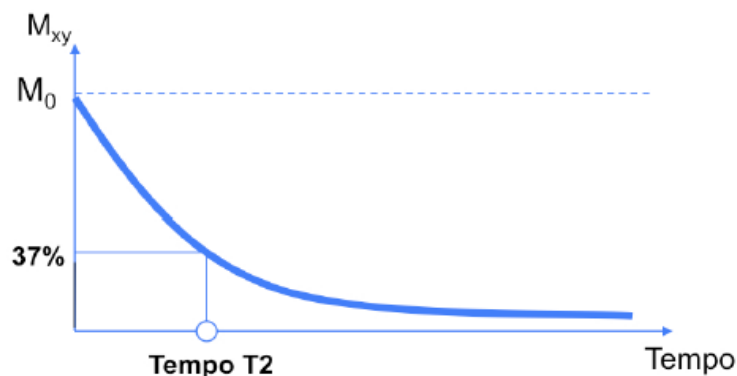


Fig. 16 – curva de decaimento da magnetização transversal  
 fonte: MAZZOLA (2009)

Na tabela 1, temos alguns exemplos de tempos 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

Além de T1 e T2 é importante falar a respeito da sequência de pulso spin eco (ou eco de spins). Existem dois parâmetros associados a repetição dos pulsos de rádio frequência (RF), que são eles o tempo de eco (TE) e o tempo de repetição (TR). A sequência de pulso spin eco se caracteriza pela aplicação de dois pulsos: um pulso inicial de  $90^\circ$ , seguido de um pulso de  $180^\circ$ . O intervalo de tempo  $t$  entre a aplicação destes dois pulsos irá determinar o surgimento do eco em  $2t$ . O tempo de eco (TE) será o intervalo de tempo entre a aplicação do pulso inicial e o pico do eco. Porém, enquanto o TE determina o quanto de relaxação no plano longitudinal estará presente no eco, o TR estabelece o quanto de magnetização longitudinal se recuperou entre sucessivos pulsos.

A ponderação de imagens por T1 e T2 está intimamente ligada aos TR e TE. Por exemplo, na ponderação por T1, o contraste entre tecidos é otimizado quando se utilizam TE e TR curtos. Já para a ponderação T2 deve-se trabalhar com TR e TE mais longos (a tabela 2 traz alguns exemplos).

Tabela 2: Exemplos de TR e TE em milissegundos para T1 e T2  
fonte: MAZZOLA (2009)

Ponderação	TR (ms)	TE (ms)
<b>T1</b>	Curto (<500)	Curto (5 - 25)
<b>T2</b>	Longo (>1500)	Longo (>90)
<b>DP</b>	Longo (>1500)	Curto (5 - 25)

As variações em TR e TE, dependendo da ponderação geram os contrastes ideais para a formação de imagens. A Fig. 17 mostra um exemplo de ponderação em T1 onde foram feitos diversos TE e TR.

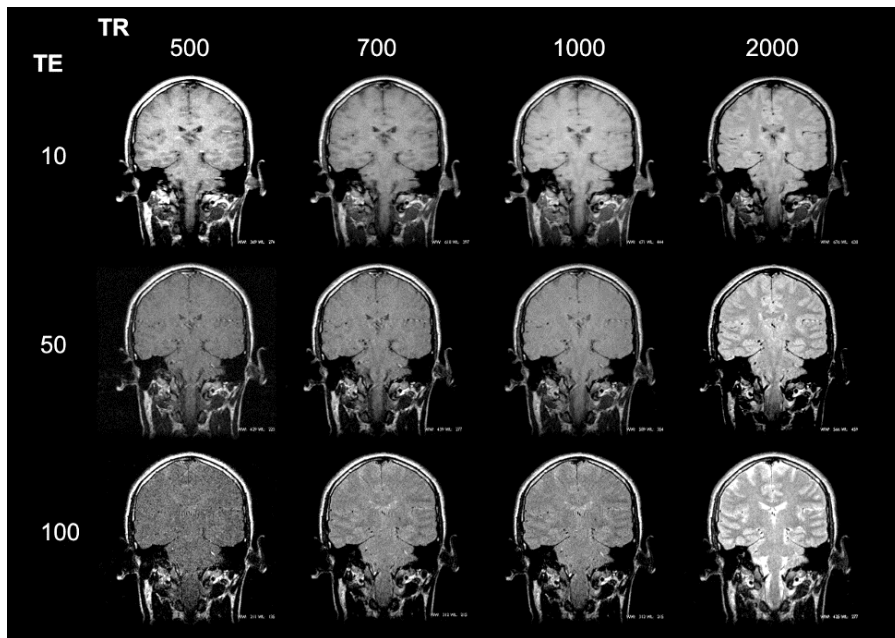


Fig. 17 – Diagrama com seqüência de imagens feitas em ponderação T1 com diversos TR e TE



## Capítulo 6

### Metodologia empregada e o produto educacional (unidade de ensino para o tema RMN)

*“(...) conjunto ordenado de atividades estruturadas para a consecução de um objetivo educacional em relação a um conteúdo concreto.”*

ZABALA, Antoni.

O termo, sequência didática, é empregado para designar uma série de passos e etapas bem específicos para uma determinada finalidade dentro de um processo educacional. Dentro da proposta, tanto professor quanto alunos estão cientes dos objetivos, dos processos e da forma como ocorrerão as avaliações, fazendo da sequência didática (SD) um instrumento que organiza muito bem uma proposta educacional diferente, que fuja dos padrões tradicionais da sala de aula encontrados hoje, norteados muitas vezes por apostilas e livros fechados no que diz respeito a técnicas de ensino.

Geralmente, encontramos algumas etapas em sequências didáticas: a apresentação do projeto, produção inicial (estudo prévio do conhecimento), as atividades e módulos (elaborados e propostos pelo professor), e a produção final (onde espera-se uma relativa evolução e melhoria comparadas aos resultados observados com a produção inicial).

Antes da aplicação de uma sequência didática é muito importante que o agente aplicador (quase sempre o professor da disciplina) tenha conhecimento do conteúdo que será abordado e trabalhado, e também um bom conhecimento da turma para a qual será aplicada a sequência, uma vez que todo o seu planejamento (ações e profundidade do conteúdo abordado) deve ser modelado e ajustado e acordo com o público e turma que ocorrerá a aplicação.

*As sequências e as outras formas de planificação constituem (...) o produto de uma restauração de um conteúdo temático já organizado na memória do agente produtor na forma de macro-estruturas. Ora, a forma assumida por essa reorganização é claramente motivada pelas representações que esse agente tem das propriedades dos destinatários de seu texto, assim como do efeito que neles deseja produzir.*

(Bronckart, 1999; p. 233-234)

As atividades prévias são uma excelente ferramenta para auxiliar no processo de conhecimento da turma (no produto as atividades prévias foram trabalhadas no formato da sala de aula invertida, sempre com atividades propostas em contra turno e anterior as aulas). Já para conhecimento do conteúdo abordado, no caso toda teoria abordada pela SD, correu nos últimos capítulos com a física trabalhada, fornecendo uma boa base.

A SD se trata de 5 unidades de ensino, interligadas por 4 atividades remotas. Apesar da sequência não fazer uso efetivo da gamificação, a utilização de alguns elementos presentes neste tipo de processo tornou as atividades mais atrativas e interessantes para os alunos. Os principais elementos utilizados foram bônus, resolução de quiz, formação de equipes e etapas com pontuação bem específicas (nos capítulos 7 e 8 está colocado de forma detalhada como todos esses elementos foram empregados). Dentro das atividades que rendiam pontos, ocorreu a elaboração de mapas conceituais utilizando aplicativos e o próprio computador pessoal dos alunos, além de atividades em grupo (na maior parte resolução de problemas abertos e fechados), que ocorreram durante o período de aulas com supervisão do professor.

Para fazer ligação entre as aulas presenciais (muitas vezes com espaço de uma semana entre uma e outra), e explorar da melhor maneira possível o tempo disponível (que geralmente é muito curto para os professores de física), o produto ainda explora alguns pontos da metodologia da sala de aula invertida. Os principais pontos explorados dentro da inversão foram vídeos curtos e introdutórios, e pesquisas direcionadas (com perguntas norteadoras que serão pontuadas no capítulo 8).

Para dar significado ao processo de inversão da aula, e tornar este um momento proveitoso, o aluno deve ter um papel ativo no processo de ensino aprendizagem, acompanhando as atividades dentro e fora da sala de aula. Dentro da sala como participante presente das dinâmicas de grupo e atividades propostas, e fora dela com a utilização de tecnologias e mídias para acesso aos vídeos e leituras propostos (Bishop e Verleger, 2013). Nas palavras dos autores (tradução livre):

*“(...) podemos definir sala de aula invertida como uma técnica de aprendizagem que consiste em duas partes: atividades em grupo dentro da sala de aula, e instrução individual com uso de tecnologias fora da sala (...)”*

*(Bishop e Verleger; The Flipped Classroom: a survey of the research; 2013; pág. 5)*

Esta definição fica melhor elucidada com o diagrama proposto abaixo:

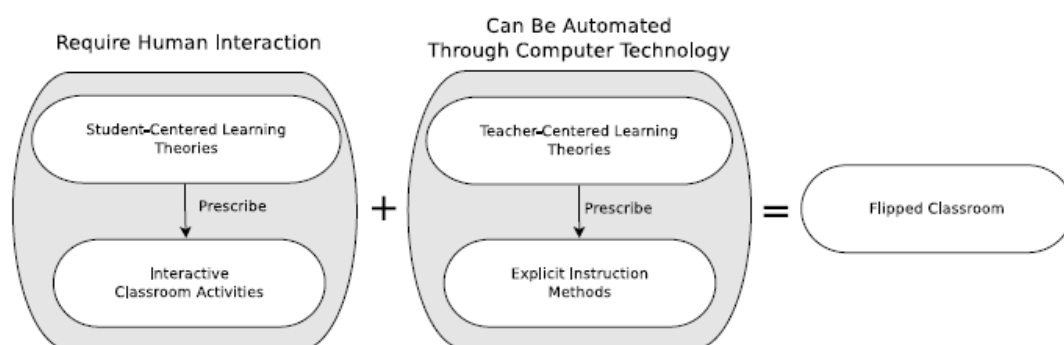


Fig. 18 –

Diagrama proposto por Bishop e Verleger em seu trabalho a respeito da sala de aula invertida

fonte: Bishop e Verleger (2013)

No diagrama, indicado pela soma das duas caixas, fica claro a ideia norteadora dos autores: a sala de aula invertida é uma combinação de duas vias, uma centrada no aluno e outra no professor. Na primeira caixa, está indicado o papel do aluno: ativo no processo, participando das propostas interativas de atividades em sala de aula.

Enquanto que na outra caixa, temos o professor, que deve fazer todas as instruções necessárias com o máximo de clareza e objetividade para o estudo fora da sala de aula.

Um grande ícone da utilização de ferramentas tecnológicas para inversão da sala de aula é sem dúvida o canal de vídeos *Khan Academy*<sup>16</sup>. Sal Khan (Salman Khan), formado pela Massachusetts Institute of Technology (MIT) e com MBA pela escola de negócios de Harvard, ajudava a distância um primo a estudar matemática quando teve a brilhante ideia de utilizar ferramentas simples de desenho e geração de escrita e imagem para computadores. Os resumos simples e extremamente didáticos rapidamente obtiveram grande aceitação na web, chamando atenção inclusive de empresas como a Microsoft e o Google. Os vídeos da Khan Academy são muito utilizados para a prática da sala de aula invertida pois podem ajudar na introdução de muitos assuntos em matemática e física, podendo o professor continuar a aprofundar o debate em sala de aula.

Toda a comunicação com os alunos, proposta de trabalho prévio à distância, e atividades de verificação foram pensados a partir de algumas perguntas encontradas no próprio website de Jon Bergaman (“Ten questions you should ask before you flip your classroom – dez perguntas que você deve fazer antes de inverter sua sala de aula” - tradução livre):

1. O que você vai inverter? (Uma lição, um capítulo ou uma sala de aula?)
2. Quem fará os seus vídeos? (serão prontos, irá criar ou uma combinação?)
3. Se você irá criar os seus vídeos, como trabalhará? Aqui não temos uma resposta correta. O mais correto é cada um trabalhar com a ferramenta que melhor se adequar. O que devemos é sempre nos encorajar para utilizar ferramentas mais completas e complexas, que muitas vezes não são as opções mais baratas.
4. Uma vez que você criou o vídeo, onde ele será publicado e disponibilizado aos alunos? (Pastas virtuais, servidores de vídeos?)

---

<sup>16</sup> Khan Academy é uma organização sem fins lucrativos fundada por Salman Khan.[1] Com a missão de proporcionar uma educação gratuita e de alta qualidade para todos, em qualquer lugar,[2] oferece uma coleção grátis de vídeos de matemática, medicina e saúde, economia e finanças, física, química, biologia, ciência da computação, entre outras matérias ([https://en.wikipedia.org/wiki/Khan\\_Academy](https://en.wikipedia.org/wiki/Khan_Academy)) acessado em: 13/11/2019.

5. Como será feita a verificação de que seus alunos realmente estarão assistindo seus vídeos e acompanhando as postagens?
6. Como será feita a comunicação com os seus alunos a respeito do material disponibilizado?
7. Como você explicará aos seus alunos a maneira correta de acessar, assistir e interagir com o material que será disponibilizado?
8. Como você convencerá seus alunos que a experiência da sala de aula invertida pode mudar para melhor a relação deles com a escola e o aprendizado?
9. Como comunicar aos pais dos seus alunos que a utilização da sala de aula invertida só trará benefícios para o aprendizado do aluno?
10. De que maneira você aproveitará o tempo livre em sala de aula, reorganizando-o e sendo mais eficiente?

Todo projeto deve ter algumas etapas bem claras para ser bem sucedido. E cabe aqui notar que o objetivo da inversão da aula é otimizar o tempo gasto com as aulas expositivas. Porém, surge um novo “bom problema” citado no tópico 10: o que fazer com o tempo que irá surgir. O professor deve pensar e planejar bem a sua aula, que depois de anos irá mudar sua dinâmica. Sobrará mais tempo para novas possibilidades, tempo este que não pode ser desperdiçado.

O produto educacional consiste de uma sequência didática (SD) planejada com 5 unidades de ensino. De certa forma, o programa não afeta de maneira impactante o planejamento original da escola ou do material adotado pela escola. Ele pode ser aplicado em qualquer série do ensino médio, tendo em vista que os pré-requisitos básicos para o entendimento completo do conteúdo já são trabalhados em boa parte das escolas no ano final do ensino fundamental. Se ainda não for o caso, a primeira unidade do produto trabalha e retoma alguns conceitos, posicionando o aluno no assunto da física que é proposto.

A SD está disponível online para qualquer professor que queira realizar sua aplicação. No apêndice dentro do material instrucional, o professor encontra links para acesso a pastas compartilhadas publicamente em nuvem onde poderá acessar as apresentações, e também todos os links para os vídeos e jogos utilizados.

O material de apoio a SD é composto por:

- ✓ 4 apresentações em powerpoint prontas para aplicação (com proposta de simuladores do Phet e jogos no Kahoot);

- ✓ 4 jogos prontos para aplicação (com livre acesso via plataforma Kahoot!);

No início do trabalho é feita a seguinte pergunta a todos os alunos: “se você precisasse explicar a uma pessoa (de qualquer idade e grau de instrução) o que sabe, como ocorre e do que se trata um exame de ressonância magnética, como o faria?”. A partir daí, todo o trabalho foi elaborado pensando em como transferir para os alunos do ensino médio um conteúdo fora do tradicional (que envolvesse conceitos da física quântica), e ao mesmo tempo, que estivesse presente no dia a dia dos alunos (já que o custo dos procedimentos de diagnóstico de imagem por RMN tem reduzido bastante nas últimas décadas, e os médicos assim têm solicitado com cada vez mais frequência).

Motivados pela busca dessa resposta, os alunos são apresentados inicialmente a conteúdos clássicos da física e aos poucos as aulas vão trazendo outros tópicos importantes e que serão reunidos ao final, como é o caso do spin das partículas, ressonância magnética nuclear e conseqüentemente como ocorre a geração de imagens para diagnóstico em medicina.

Vale pontuar, que toda a sequência foi planejada para que os alunos trabalhem em grupos (equipes) valorizando a todo momento o trabalho coletivo e colaborativo. Mais adiante serão fornecidos detalhes de como pode ser feita a organização, mas neste ponto já vale ressaltar que as equipes têm entre 4 e 5 alunos, dentre eles um representante, o qual faz a comunicação direta com o professor, recebendo orientações e reportando atividades.

Os assuntos estão divididos entre as unidades da seguinte maneira:

1. Ressonância: inicialmente uma apresentação clássica do conceito de ressonância com a citação de alguns exemplos em mecânica (principalmente);
  - Atividade remota: vídeo acervo Univesp (elétron e seus números quânticos);
2. Spin: na segunda unidade os alunos têm contato com esta grandeza quântica muitas vezes exposta de maneira incorreta nos livros e cadernos de química do ensino médio;
  - Atividade remota: pesquisa direcionada por perguntas;
3. Ressonância Magnética Nuclear: no terceiro encontro, reunindo os conceitos das duas primeiras aulas, os alunos têm contato com o conceito de ressonância

magnética nuclear, tema principal de todo o trabalho. Para tal, é feita uma abordagem do experimento de Stern-Gerlach;

- Atividade remota: vídeo a respeito do diagnóstico de imagem via RMN (trecho de programa da Discovery Channel);

4. Geração de imagem: a última unidade traz uma abordagem matemática a respeito da maneira como os detectores do equipamento captam os sinais antes e depois do processo da ressonância magnética, e ainda de que maneira se faz uso desse sinal captado para gerar imagens;

- Atividade remota: Brainstorm em grupo e remoto (utilizando redes sociais e administrado pelo representante da equipe);

5. Na última unidade ocorre a avaliação final (parte individual, parte em grupo) onde os alunos conseguirão ao final da aula responder com mais profundidade e com embasamento teórico e científico a pergunta inicial do trabalho.

Nos próximos capítulos está descrito de que forma pode-se fazer a aplicação da SD. Além disso, ainda será descrito a maneira como as atividades prévias foram propostas e verificadas, trazendo eficiência para as aulas expositivas.

## Capítulo 7

### A aplicação do produto

O produto foi aplicado a alunos da segunda série do ensino médio (2º EM). A opção por essa série se deve ao fato de que, ao final do segundo ano, em boa parte das escolas, já foram trabalhados conceitos físicos e matemáticos importantes para um entendimento completo do assunto, tais como ondulatória, magnetismo, e em matemática, as funções exponencial e logarítmica.

De início, a turma foi dividida em equipes de 4 a 5 alunos. É muito importante que os alunos tenham ciência de que as equipes deverão ser fixas durante toda SD, e que o sucesso e objetivo só serão alcançados caso o trabalho em equipe, colaborativo e harmonioso seja posto em prática. Cada equipe contará com um representante. O papel do representante não é o mais importante para o sucesso das atividades, mas ele é fundamental para toda a comunicação entre professores e alunos. O representante é responsável para relatar à ambas as partes (professor e equipe) tudo o que ocorre durante a SD, tais como, receber os recados e orientações do professor para a turma, e também transmitir ao professor as atividades que forem sendo realizadas. Durante a realização da SD, sugere ser criado um grupo de whatsapp (ferramenta de uso universal, prática e simples) com o professor e os representantes, por onde ocorrerá toda a comunicação.

Além do representante, todas as equipes devem ter um nome (também fixo) para que o professor realize a comunicação de uma maneira indireta, porém objetiva. Relatar os pontos obtidos nas missões (tarefas e atividades realizadas), fortalecendo a esfera de jogo e competição. Para cada etapa (supracitadas missões), concluída com êxito ou não, serão atribuídos pontos que devem ser contabilizados e somados ao final de todo o processo.

São as etapas:

- ✓ Atividades em geral (mapas conceituais): 100 pontos (cada);
- ✓ Jogos em Kahoot: somatório dos pontos dividido por 100.
- ✓ Dinâmica final: 300 pontos;

Ao término do processo, a maior nota obtida pela turma será considerada nota 10, e as demais notas serão normatizadas.



Entende-se por atividades em geral:

- ✓ No início de cada aula deverá ser entregue pela equipe um mapa conceitual (serão 4 mapas) a respeito do que foi trabalhado na aula anterior (com exceção da aula 5 onde ocorre a avaliação);
- ✓ Jogos de verificação no Kahoot;
- ✓ Atividade final (aula 5) – dinâmica de grupo (resolução de problemas – estudo de caso);

Abaixo segue uma proposta de organização, que inclusive foi o plano seguido em sua aplicação:

Tabela 3: exemplo de planejamento de aplicação do produto

<b>Momento</b>	<b>Modalidade</b>	<b>Atividade</b>	<b>Tema</b>
		Aula expositiva PPT	
Unidade 1	Presencial	Simulador Phet Game Kahoot	Ressonância
Pré – unidade 2	Remoto	Vídeo	Introdução física quântica
Unidade	Presencial	Game Kahoot Aula expositiva PPT	Verificação vídeo quântica Spin
Pré – unidade 3	Remoto	Pesquisa orientada	Fundamentos da RMN
Unidade 3	Presencial	Aula expositiva PPT Simulador Phet	RMN
Pré – unidade 4	Remoto	Vídeo	Diagnóstico de imagem por RMN
Unidade 4	Presencial	Game Kahoot Aula expositiva PPT	Verificação pesquisa RMN Geração de imagens
Unidade 5	Presencial	Google Forms Atividade Avaliativa	Verificação RMN Dinâmica Final

Ao utilizar as apresentações em powerpoint<sup>17</sup>, o professor conduz as explicações e discute com os alunos (que já tiveram contato com o assunto em casa, à exceção da primeira aula) a física teórica tão importante para o completo entendimento de

<sup>17</sup> Links para utilização (e download) das apresentações no apêndice do material instrucional.

qualquer assunto. Dentro das apresentações, o professor ainda deve separar um certo tempo para a utilização de simuladores do Phet<sup>18</sup>.

As apresentações em slides disponíveis para utilização são:

- ✓ Ressonância
- ✓ Spin
- ✓ Ressonância Magnética Nuclear (RMN)
- ✓ Gerações de imagens (diagnóstico de imagem)

Cada unidade foi pensada numa sequência lógica de compreensão dos conteúdos a fim de que ao término do processo (unidade 5), o aluno tenha um domínio necessário dos assuntos para poder dialogar ou transmitir conhecimento, no que diz respeito a física envolvida no processo de geração de imagens para diagnóstico médico via ressonância magnética nuclear.

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

A primeira unidade pode ser iniciada com uma breve discussão (o formato de Brainstorm se aplica muito bem) acerca da pergunta: *“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?”*. Para complementar essa 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.

---

<sup>18</sup> Fundado em 2002 pelo Prêmio Nobel Carl Wieman, o projeto PhET Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder cria simulações interativas gratuitas de matemática e ciências.

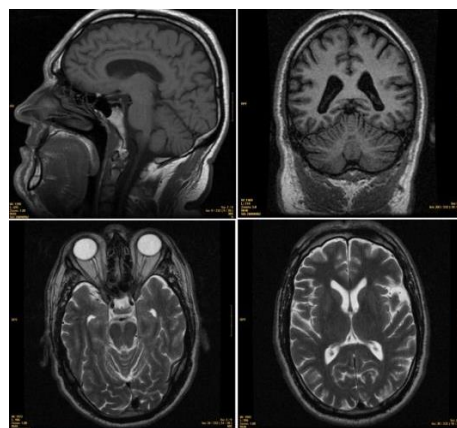


Fig. 19 – Foto de aparelho comumente encontrado em procedimentos de exames de ressonância magnética (a esquerda), e imagens produzidas em diferentes cortes

A partir das ideias surgidas (é conveniente anotá-las para comparação com a avaliação final), é 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 escolar maior, para que possam então responder à questão inicial com mais embasamento na física teórica.

Após a discussão inicial, o professor pode 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. Nos apêndices do material instrucional 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).

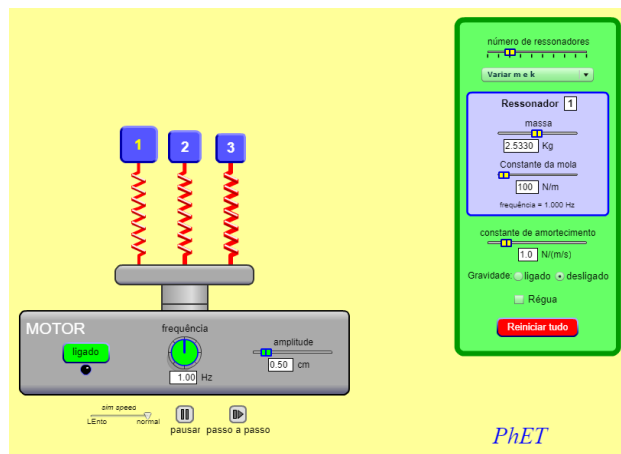


Fig. 20 – Simulador do fenômeno de ressonância do PhET

## Pré-unidade 2: Inserindo o aluno em grandezas quânticas

Pelo grupo criado no Whatsapp para comunicação entre professor e representantes das equipes, deve ser combinado prazo para entrega do mapa conceitual (como exemplo da Fig. 21) referente a primeira unidade, e também deve ser enviado aos alunos o link do vídeo introdutório que precede a segunda unidade.



Fig. 21 – Exemplo de mapa conceitual inicial de ressonância entregue pelos alunos (e depois comentado e corrigido)

Os alunos devem assistir ao vídeo do Youtube (MARQUES, 2015) a respeito do elétron<sup>19</sup>. O vídeo faz parte do acervo da Univesp e foi criado e pensado originalmente para os alunos do curso de licenciatura em Ciências, falando a respeito de todas as características fundamentais das partículas, no caso do elétron.



Licenciatura em Ciências: O Elétron

Fig. 22 – Vídeo proposto para anteceder a unidade 2

O trecho reservado possui uma linguagem clara e lúdica, podendo ser bem interpretado pelos alunos do ensino médio. Tendo uma duração razoável (13 minutos aproximadamente), torna-se algo que os alunos realmente assistem. O professor pode sugerir uma frase para que os grupos discutam entre si e venham para a aula já com uma bagagem de informações sobre o assunto.

## Unidade 2 – Descobrimo o Spin

A unidade 2 pode ser iniciada, para efeito de verificação, com a aplicação do game em Kahoot a respeito do spin<sup>20</sup>. É esperado, que os alunos que realmente assistiram ao vídeo proposto para casa (após o término da primeira unidade), obtenham maior sucesso no game. Sugere-se ao professor que, logo após o término do jogo, faça uma breve discussão com os alunos comentando as questões (principalmente aquelas

<sup>19</sup> Link e nome especificados nos apêndices do material instrucional.

<sup>20</sup> <https://create.kahoot.it/share/eletron-e-o-spin/5d58fec0-2948-4a8a-8e72-6d4023f5fe84>

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>21</sup> que dialogam justamente com esta questão: associar o termo em inglês spin, que significa giro, com uma suposta rotação da partícula. A Fig. 23 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

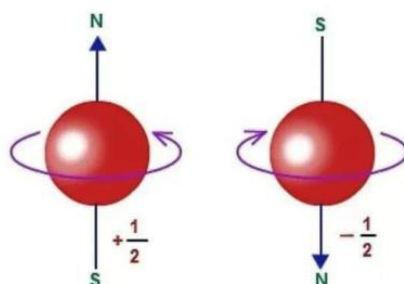


Fig. 23 – Meme acerca do tema spin

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>22</sup> em estudo para proibir o uso do termo “quântica” e/ou “quântico” fora do contexto correto. 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

<sup>21</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>22</sup> Para saber mais a respeito:

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

extraclasse de pesquisa acerca de ressonância magnética nuclear com as 3 perguntas norteadoras.

### **Pré-unidade 3: Ressonância Magnética Nuclear**

Esta é a etapa mais aberta aos alunos e a mais próxima do ensino tradicional. Os alunos devem ser orientados pelo professor a realizarem uma pesquisa com 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>23</sup>. O formulário sugerido<sup>24</sup> 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 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.

---

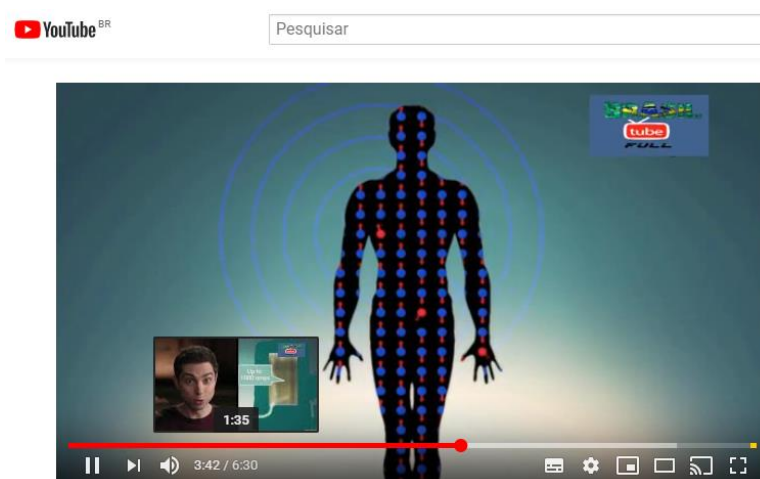
<sup>23</sup> O Google Forms é um aplicativo de administração de pesquisas.

<sup>24</sup> <https://forms.gle/1fEn1j5nQEntJUSa7>

Após o término da unidade 3, é pedida a elaboração de mais um mapa conceitual (a respeito de RMN).

#### **Pré-unidade 4: Geração de imagem – o diagnóstico de imagem por RMN**

O professor pode encaminhar o link de acesso ao vídeo (disponível nos apêndices do material instrucional) para os alunos pelo grupo de WhatsApp (com antecedência a unidade 4). O vídeo é um trecho de uma produção da Discovery Channel<sup>25</sup> da série “curiosidades”, e faz parte de um episódio que discute o diagnóstico de imagem por procedimentos não invasivos. São pouco mais de 6 minutos em uma linguagem muito jovem e prática de ser entendida. O vídeo conta com animações, ilustrações e muitas curiosidades a respeito do exame. O vídeo complementa o que foi trabalhado na unidade 3, contextualizando a RMN, e já introduz um pouco da física teórica que estará presente na unidade 4, quando é discutido a geração de imagens fazendo uso da ressonância magnética nuclear.



Aparelho de Ressonância Magnética como Funciona ?

Fig. 24 – Vídeo proposto para anteceder a unidade 4

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

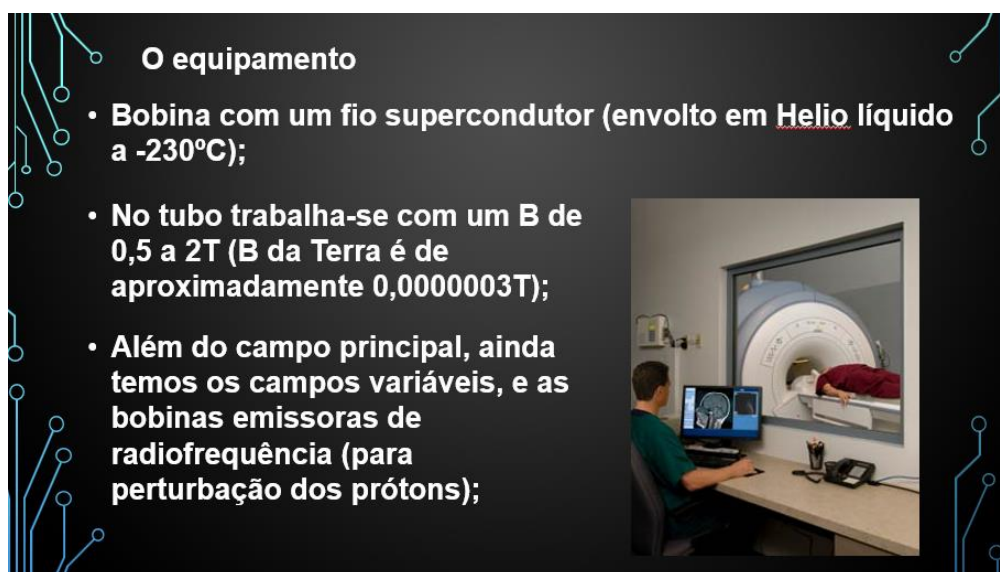
No início da unidade deve ser proposto à turma um jogo da plataforma Kahoot<sup>26</sup> a respeito do conteúdo do vídeo. Realizado o processo de verificação com o jogo, o

<sup>25</sup> O Discovery Channel é um canal de televisão por assinatura distribuído pela Discovery Inc. destinado a apresentação de documentários, séries e programas educativos sobre ciência, tecnologia, história, meio ambiente e geografia (fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Discovery\\_Channel](https://pt.wikipedia.org/wiki/Discovery_Channel). <acesso em: 30/05/2019>)

<sup>26</sup> <https://create.kahoot.it/share/ressonancia-magnetica/0ea302af-f090-4f8b-ab48-d048a42e05e9>



professor pode fazer uso da apresentação de powerpoint disponibilizada (Fig. 25) para auxiliar na parte expositiva da unidade.



O equipamento

- Bobina com um fio supercondutor (envolto em Helio líquido a  $-230^{\circ}\text{C}$ );
- No tubo trabalha-se com um B de 0,5 a 2T (B da Terra é de aproximadamente  $0,0000003\text{T}$ );
- Além do campo principal, ainda temos os campos variáveis, e as bobinas emisoras de radiofrequência (para perturbação dos prótons);

A imagem à direita do slide mostra um técnico operando um equipamento de ressonância magnética em um ambiente clínico, com um paciente posicionado no interior do tubo do equipamento.

Fig. 25 – Slide da aula a respeito da Geração de Imagens

A segunda parte da unidade, está mais voltada para a matemática envolvida no processo de geração de imagens. Ou seja, de que maneira e faz uso do equipamento e do fenômeno da ressonância magnética nuclear para gerar diferentes tipos de imagens no diagnóstico de alguma patologia.

### **Pré - unidade 5 – Brainstorm – organizando as ideias dos quatro encontros**

Entre as unidades 4 e 5, o professor deve sugerir aos alunos que, além do mapa conceitual a respeito de Geração de Imagens (que é cobrado sempre na aula posterior), se encontrem presencial ou virtualmente para comentar tudo que foi trabalhado nos quatro primeiros encontros. A unidade 5 é reservada para a avaliação final da SD, avaliação esta que foge dos padrões tradicionais, e que deve ser trabalhada em grupo.

Uma forma de verificar se realmente aconteceu o encontro e a discussão é pedir ao representante de cada equipe que faça um relato com os 4 tópicos (frases) que mais apareceram durante o bate papo do grupo. Ou seja, os quatro pontos mais marcantes para o grupo a respeito das aulas anteriores.

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

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: 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.

## Capítulo 8

### Avaliação

Após a avaliação final, pode-se afirmar que o conhecimento dos alunos e sua capacidade em dialogar sobre o assunto melhoraram. De início, consideravam-se os seguintes objetivos principais com a proposta desta SD:

- 1) trazer para a sala de aula um assunto recorrente no universo dos alunos;
- 2) mostrar aos alunos a física presente na medicina, dentro do processo de diagnóstico de imagem via RMN;
- 3) introduzir aos alunos do ensino médio um tema presente apenas nos currículos superiores (física quântica);
- 4) desenvolver o trabalho em equipe com elementos dos jogos;
- 5) extrapolar as paredes da escola com atividades remotas interessantes e modernas;
- 6) fazer uso das ferramentas tecnológicas (plataformas de jogo e comunicação);

Fazendo uma análise individual destes objetivos podemos observar alguns pontos de maior e outros de menor sucesso. No caso do tópico 1, quando perguntado aos alunos a respeito do contato que tiveram com exame de RMN, a grande maioria já o havia feito ou acompanhado algum familiar na realização.

Também foi obtido sucesso com o segundo tópico, uma vez que os alunos acompanharam as três primeiras aulas e puderam entender o quanto a física teórica, ainda que em diferentes momentos, foi fundamental e necessária para criar o procedimento (dentro da medicina) de diagnóstico de imagem. Talvez o tópico 3 foi o que apresentou maior dificuldade. Diversos fatores acabam dificultando para o professor do ensino médio, tão habituado a um currículo engessado desde muito tempo antes da sua própria formação. No momento onde foi necessário romper com o currículo e introduzir a grandeza quântica *spin*, além de trazer algo totalmente novo para os alunos nas aulas de física, ainda é preciso lidar com alguns “vícios” mal introduzidos por professores de química e física dos anos anteriores. Talvez algumas sutis alterações na unidade 2 poderiam surtir um efeito maior nos alunos, e facilitar o trabalho nas unidades seguintes.

Hoje em dia, os jovens vivem em mundo cada vez mais individualizado e fechado. Isso se reflete na vida adulta, onde existem pessoas com uma enorme dificuldade

para trabalhar em projetos juntos em equipe, conflitando com outros profissionais e quase sempre se frustrando. Por isso foi fundamental inserir como um objetivo da SD o tópico 4. Foi visto durante a SD alguns alunos exercendo muito bem o papel de líder (representantes das equipes). Alguns alunos, que nas aulas tradicionais se mantinham quietos e em posição defensiva mudaram radicalmente de postura com o Kahoot e sua dinâmica de disputa, e também alunos que não conseguiram trabalhar em equipe ou liderar a equipe. Ainda que foi necessário em alguns momentos intervir e mediar situações de conflito.

Talvez de todos os tópicos, os que mais surpreenderam foram o 5 e o 6. Foram propostos vídeos modernos e curtos (como é recomendado de se lidar com a geração de hoje), foram elaboradas aulas curtas, com poucos slides e muita informação, foi utilizado o whatsapp como forma de comunicação (ferramenta universal hoje em dia), e mesmo assim, para alguns alunos pareceu pouco conteúdo. Talvez, o pensamento final, avaliando os objetivos destes dois últimos tópicos seja: mesmo utilizando ferramentas modernas, que podem ser utilizadas remotamente e na palma da mão, mídias novas e atualizadas, temas atuais, ainda assim seja difícil prender a atenção do aluno, como alguém pode pensar que com apenas livros e cadernos conseguiremos surtir algum efeito nas aulas de física?

## Capítulo 9

### Considerações finais

Em todo projeto, de todas as esferas da sociedade, têm-se bem estabelecidas algumas etapas, sendo as principais: iniciação, planejamento, execução, monitoramento e finalização. Uma análise de cada etapa servirá como uma ótima análise geral e ampla de todo o produto educacional.

A fase da iniciação é muito importante para todos os alunos e acompanha o primeiro semestre do programa de mestrado. A troca de ideias com os novos colegas e professores, vai fomentando o eixo temático principal do que se espera produzir enquanto produto educacional. Em algumas poucas reuniões com o orientador, foram alinhadas as ideias e o tema principal, título da dissertação: ressonância magnética nuclear e diagnóstico de imagem para alunos do ensino médio.

Após essa etapa, chega-se a uma etapa importante, mas que durante o desenvolvimento de todo o produto passou por alterações: o planejamento. É de suma importância que o produto tenha um planejamento quanto a sua elaboração e aplicação, mas foi muito difícil cumprir com as datas uma vez que a qualidade demanda tempo, e o tempo durante todo o programa sempre foi o maior inimigo. De certa forma, elaborar um bom planejamento para a sequência didática desenvolvida no produto educacional, aprimorou de certa forma a visão sobre o planejamento das aulas do dia-a-dia. É tão natural seguir o planejamento proposto pelos sistemas didáticos que não se enxergam novas possibilidades dentro do horário de aulas. Desde então, tenho trocado alguns momentos das aulas por jogos, construção de mapas e até mesmo os simuladores, que de cara tinha um certo receio de prejudicar o andamento do conteúdo, mas hoje vejo que na verdade eles enriquecem e fortalecem o aprendizado, podendo deixar por conta do aluno alguns tópicos mais superficiais e menos relevantes para conteúdos posteriores.

A execução do produto foi a parte mais tranquila e gratificante. Acompanhar o andamento do planejado, perceber alunos envolvidos e aprendendo durante a sequência das aulas deu uma motivação ainda maior para continuidade do projeto e a caminhada rumo as últimas etapas.

Monitoramento do projeto na posição de professor/orientador não foi diferente daquilo que já trabalhamos mesmo com atividades mais próximas do ensino tradicional. Agora

dentro do processo de finalização temos a avaliação do produto. Acredito hoje que muitos pontos poderiam ter sido melhor explorados, como por exemplo os elementos de gamificação. Depois de feita a aplicação e avaliação percebi que poderia ter criado uma esfera mais forte no quesito “game” e criado um universo mais imerso nesse sentido.

Tendo em vista o envolvimento das turmas, pode-se dizer que o tema foi bem aceito pelos alunos, e a ligação transversal com a medicina despertou o interesse de muitos, sendo um ponto muito positivo. Mas, como todo conteúdo de física de ensino médio, foi dificultoso trabalhar a matemática com os alunos, ainda que o único tópico onde explorei a matemática foi nos tempos de relaxação do Spin, fazendo uma ligação com as funções exponencial e logarítmica. Fica aqui um questionamento quanto a aplicabilidade do produto, com essa matemática, para alunos de 2EM da rede pública onde essas funções normalmente são pouco exploradas.

Esses apontamentos e questionamentos talvez só possam ser respondidos e atendidos com novos produtos (e sequências) que pretendo criar no futuro, e compartilhando com colegas para que apliquem em outras realidades, públicos e perfis de alunos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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.

BRONCKART, Jean-Paul. Atividades de linguagem, textos e discursos: por um interacionismo sócio-discursivo / Jean Paul Bronckart; trad. Anna Rachel Machado, Péricles Cunha. São Paulo: EDUC, 1999.

SILVA, A. Henrique; GOMES, Luciano Carvalhais. A teoria de aprendizagem de Bruner e o ensino de ciências. Arquivos do MUDI, v 21, n 03, p. 13-25, 2017.

KAPP, Karl. The Gamification of Learning and Instruction: Game-based Methods and Strategies for Training and Education. Pfeiffer, 2012.

FARDO, Marcelo Luis. A gamificação como estratégia pedagógica: estudo de elementos dos games aplicados em processos de ensino e aprendizagem. Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Educação, 2013.

ZICHERMANN, Gabe; CUNNINGHAM, Christopher. Gamification by Design: Implementing Game Mechanics in Web and Mobile Apps. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc. 2011.

BISHOP, J. L.; VERLEGER, M. A. The Flipped Classroom: A Survey of the Research. In: ASEE ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION, 120., 2013, Atlanta. Anais... local: Washington DC, American Society for Engineering Education, 2013. p. 1-18. Disponível em: <<http://www.studiesuccessho.nl/wp-content/uploads/2014/04/flipped-classroom-artikel.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2019.

REBELO, Marina de Sá: Imagens por Ressonância Magnética. Laboratório de informática biomédica. Incor – HC – FMUSP, 2018. Disponível em: <[http://www.incor.usp.br/spdweb/cursos/downloads/MRI\\_Fisica\\_2007.pdf](http://www.incor.usp.br/spdweb/cursos/downloads/MRI_Fisica_2007.pdf)> acessado em: 15 Dez 2018.

GOTTLIEB, Michael A.; PFEIFFER, Rudolf: The Feynman Lectures on Physics Vol. III Ch, 5: Spin One. Disponível em: <[http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III\\_05.html](http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_05.html)> acessado em: 30 Out 2018.

GOTTLIEB, Michael A.; PFEIFFER, Rudolf: The Feynman Lectures on Physics Vol. III Ch, 6: Spin One-Half. Disponível em: <[http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III\\_06.html](http://www.feynmanlectures.caltech.edu/III_06.html)> acessado em: 30 Out 2018.



## **APÊNDICE**

### **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

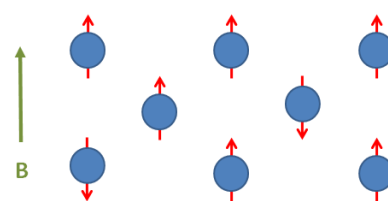
O texto consiste em uma sequência didática (SD) que aborda a física envolvida no processo de diagnóstico médico de imagem via ressonância magnética nuclear (RMN). O principal objetivo é levar para a sala de aula um assunto novo, diferente daqueles que constam da grade tradicional presente no currículo 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:

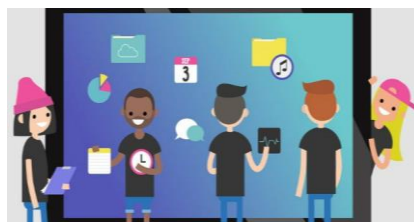
- I) Na primeira parte é feita a apresentação do material, com as principais ferramentas, e passos iniciais que o professor deve tomar para sua aplicação;



- 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.

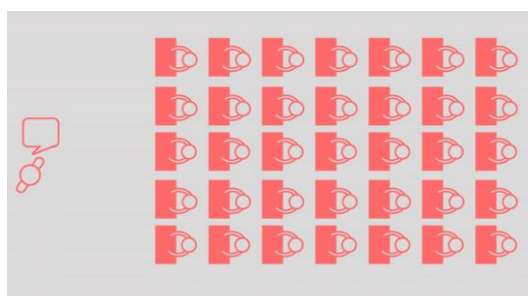


Fig. 1 – Sala de aula tradicional em fileiras

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>27</sup> (site com centenas de simuladores para atividades práticas muitas vezes de difícil reprodução em ambiente escolar);



- Jogos para verificação da plataforma Kahoot<sup>28</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>27</sup> No APÊNDICE I encontra-se um tutorial a respeito dos simuladores utilizados.

<sup>28</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.

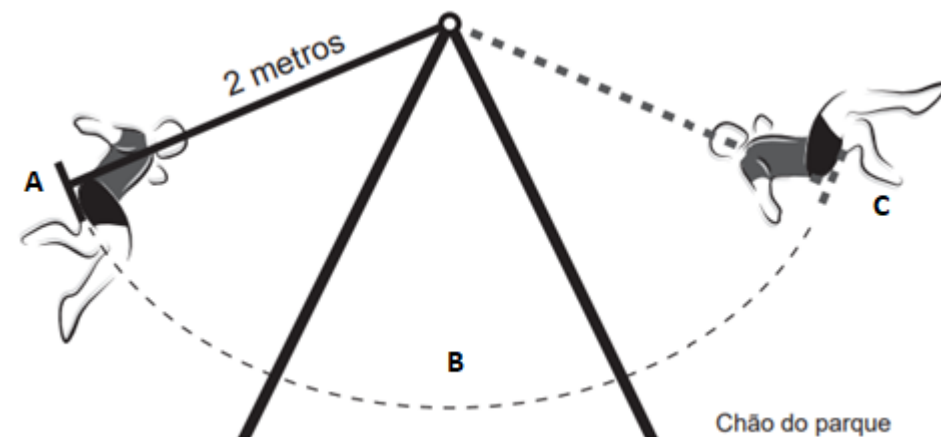


Fig. 2 – Balanço oscilando entre as posições A e C  
 Fonte: ENEM 2014 (Caderno azul, questão 148)

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>29</sup>.

<sup>29</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.

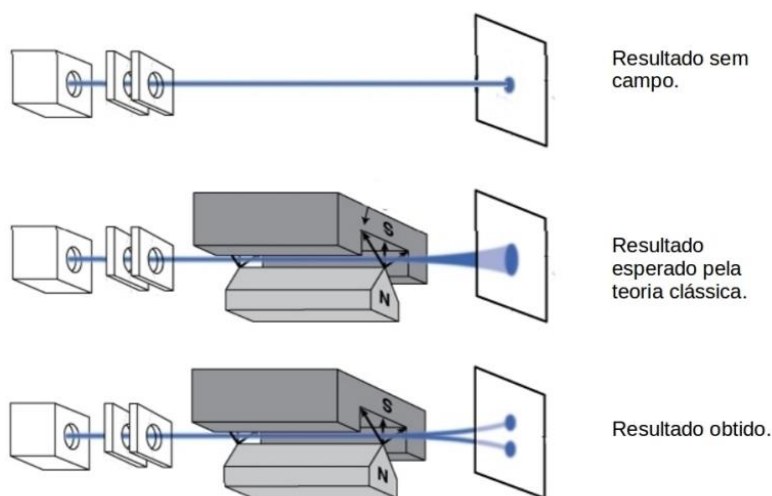


Fig. 3 – Comparação dos resultados esperados pela física clássica e o resultado obtido

### 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.

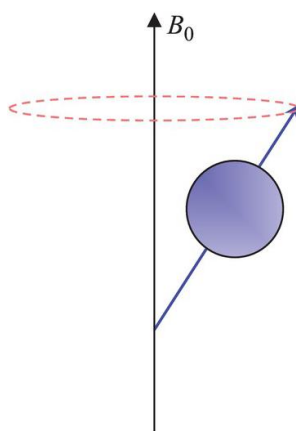


Fig. 4 – Diagrama esquemático do movimento de precessão do próton em torno do eixo do campo magnético

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>30</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 alto 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>30</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.

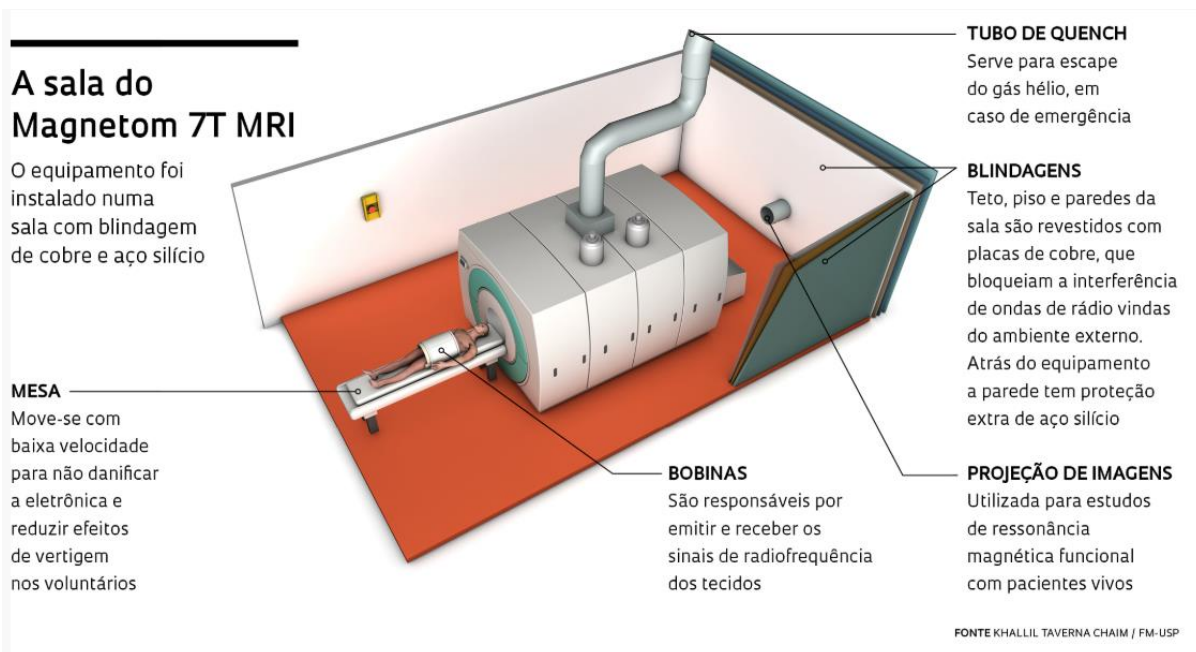


Fig. 5 – Diagrama explicativo do equipamento (atual) de ressonância magnética  
fonte: MARQUES (2015)

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.

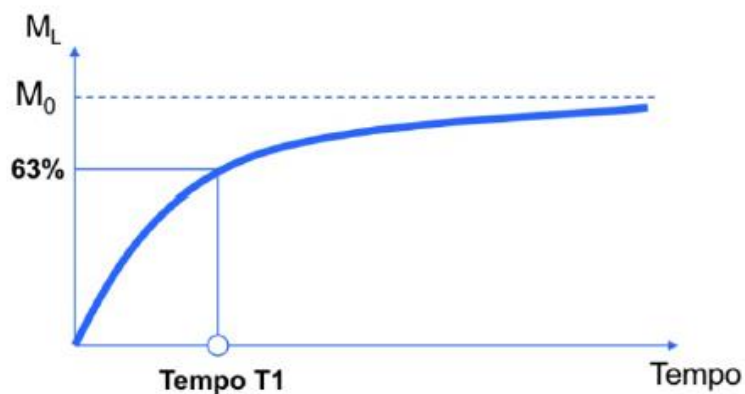


Fig. 6 – Evolução da magnetização longitudinal com destaque para o tempo T1

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.

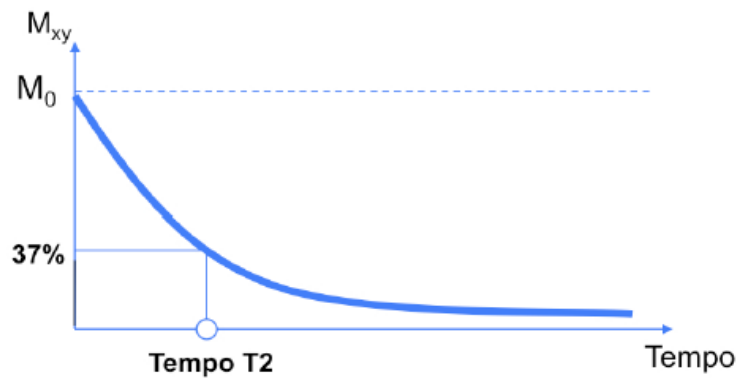


Fig. 7 – curva de decaimento da magnetização transversal  
fonte: MAZZOLA (2009)

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.

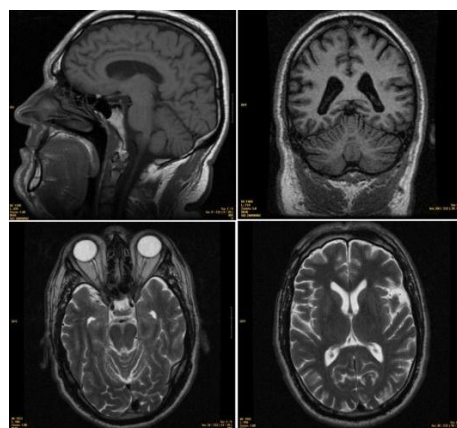


Fig. 8 – Foto de aparelho comumente encontrado em procedimentos de exames de ressonância magnética (a esquerda), e imagens produzidas em diferentes cortes

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>31</sup>.

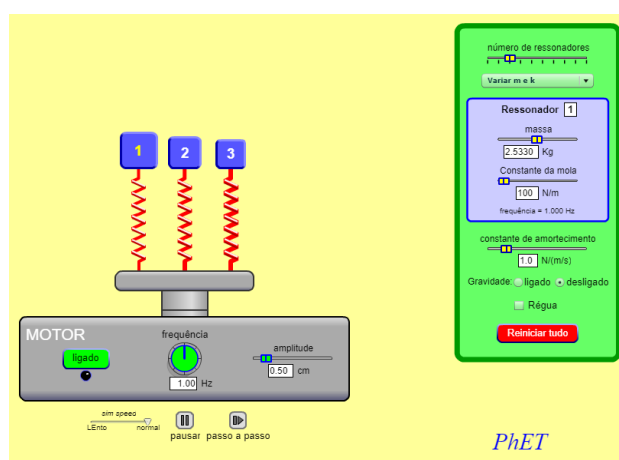


Fig. 9 – Simulador do fenômeno de ressonância do PhET

## 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>31</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>32</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

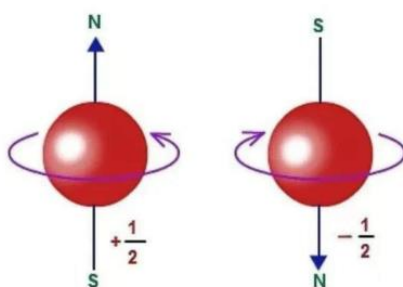


Fig. 10 – Meme acerca do tema spin

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>33</sup> em estudo para proibir o uso do termo “quântica” e/ou “quântico” fora do contexto correto.

<sup>32</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>33</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>34</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>34</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.

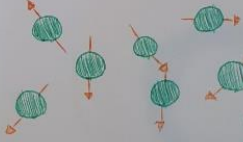
\* A Medula no hosp. tal possui um grande cabo enrolado em volta do eixo a 90 graus e este tubo tem a função de abastecer o líquido do sistema. É uma propriedade que todos os prótons tem, como a água.

\* Cada próton possui uma frequência distinta e demoram mais ou menos tanto para entrar quanto para sair da ressonância (que obriga o próton a entrar e a sair) e juntamente esta diferença faz com que a medição de ressonância, com um material tecnológico muito avançado com imagens indetectáveis e diferentes 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

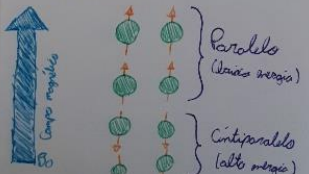


Fig. 13 - folhetos coletivos (para expor na recepção do local de exame)

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.

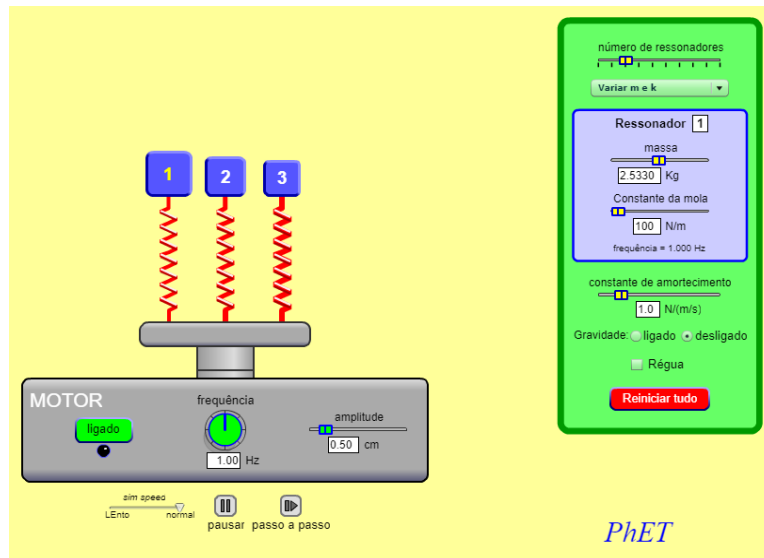


Fig. 1 – simulador do fenômeno de ressonância do PhET  
 (<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/resonance>)

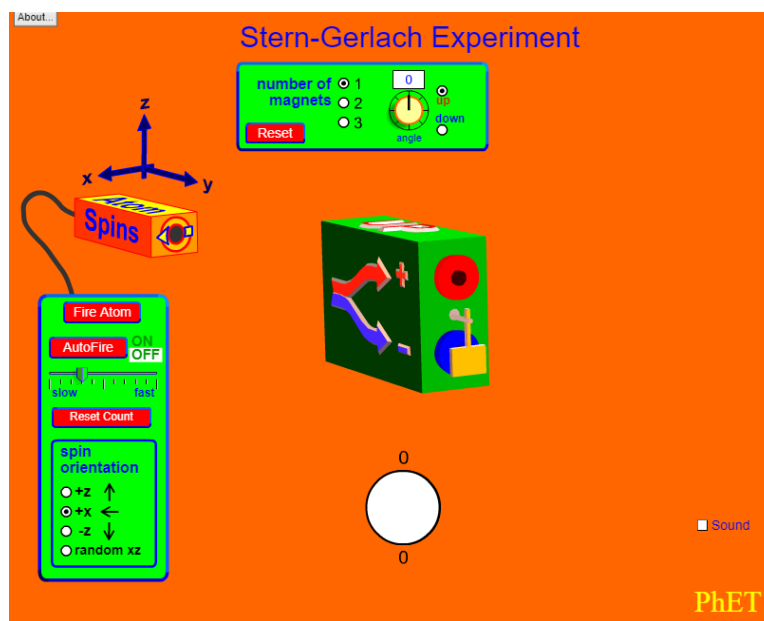


Fig. 1.2 – simulador do experimento de Stern-Gerlach do PhET  
 (<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/stern-gerlach>)

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.

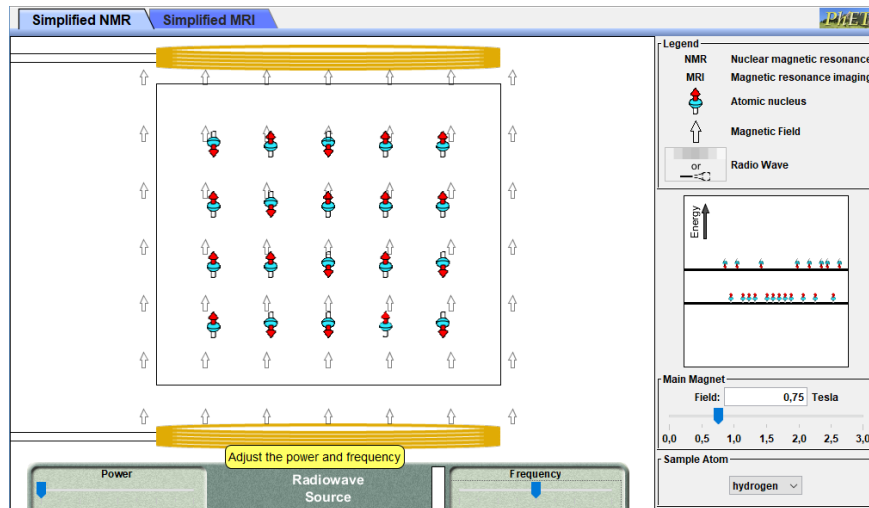


Fig. I.3 – Simulador de Ressonância Magnética Nuclear e Imageamento por Ressonância Magnética do PhET (simulação simplificada apenas com a ressonância magnética dos núcleos)  
(<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/mri>)

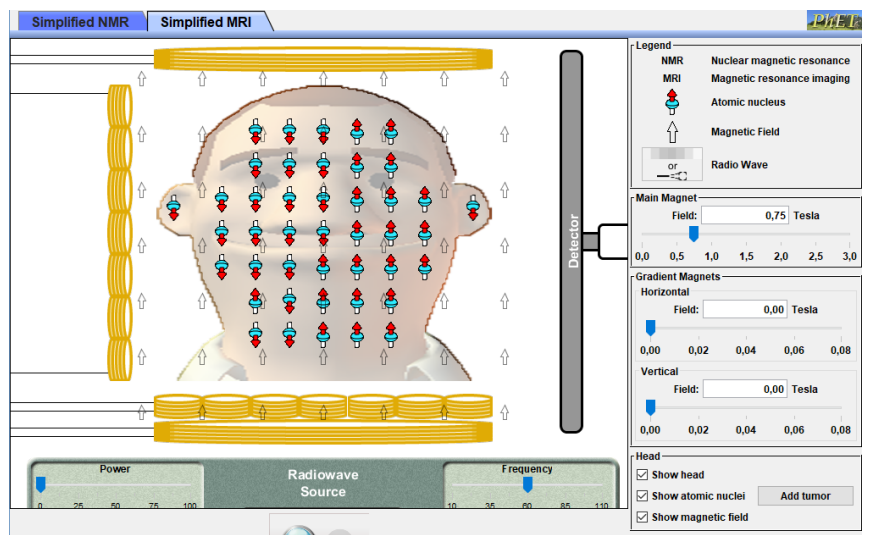


Fig. I.4 – simulador de Ressonância Magnética Nuclear e Imageamento por Ressonância Magnética do PhET (simulação com imageamento de crânio, e os gradientes transversais)  
(<https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/mri>)

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. À 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.

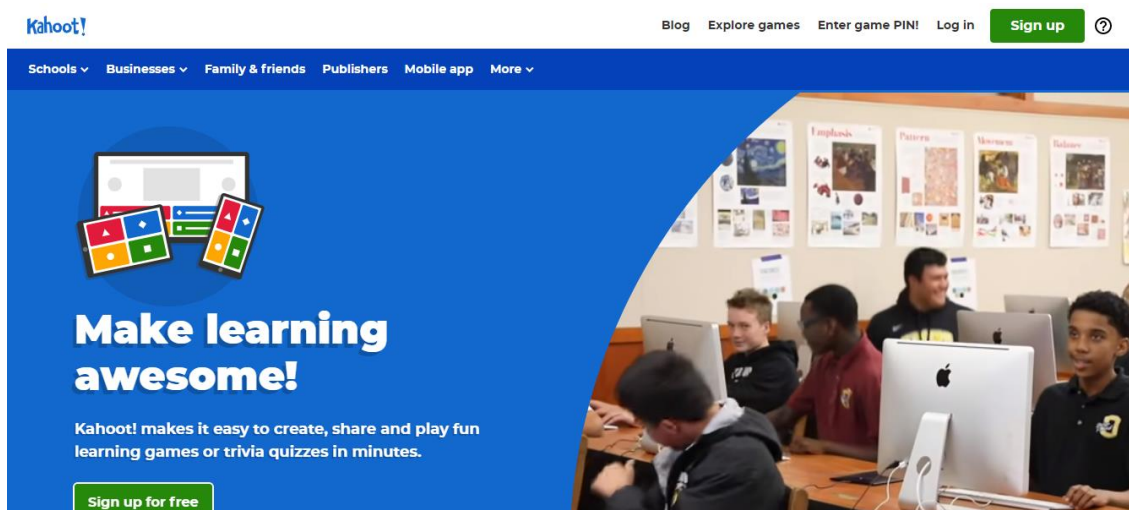


Fig. II.1 – página inicial do site kahoot.com (kahoot.com)

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. 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

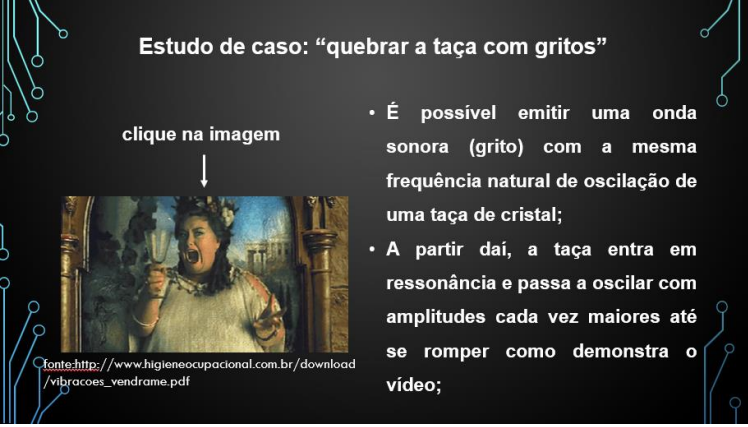
Além de todas as ferramentas (simuladores, jogos em Kahoot) que foram citadas ao longo do material, para a aplicação da SD foram utilizadas apresentações em powerpoint pelo professor. As apresentações estão disponíveis para download no link abaixo, porém fica livre ao professor preparar um material de 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

↓



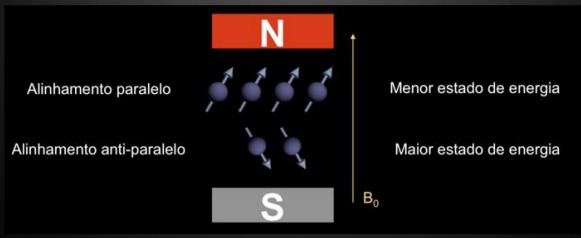
fonte: [http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes\\_vendrame.pdf](http://www.higieneocupacional.com.br/download/vibracoes_vendrame.pdf)

- 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

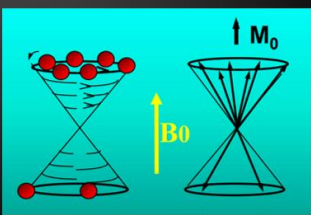
$B_0$

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;

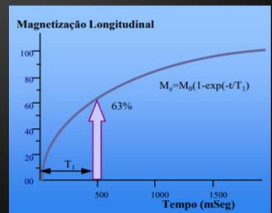


$\uparrow M_0$

$B_0$

## 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)