

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA EM REDE NACIONAL
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ARIMAEL ALVES SILVA

**UMA PROPOSTA DE UEPS SOBRE TÓPICOS DE FÍSICA RELACIONADOS A
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA PARA O ENSINO MÉDIO**

SÃO LUÍS – MA

2022

ARIMAEL ALVES SILVA

**UMA PROPOSTA DE UEPS SOBRE TÓPICOS DE FÍSICA RELACIONADOS A
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA PARA O ENSINO MÉDIO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho

SÃO LUÍS – MA

2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Silva, Arimaél Alves.

Uma proposta de UEPS sobre tópicos de física relacionados a ressonância magnética para o ensino médio / Arimaél Alves Silva. - 2022.

151 f.

Orientador(a): Edson Firmino Viana de Carvalho.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

1. Aprendizagem significativa. 2. Física moderna e contemporânea. 3. Ressonância magnética. I. Carvalho, Edson Firmino Viana de. II. Título.

ARIMAEEL ALVES SILVA

**UMA PROPOSTA DE UEPS SOBRE TÓPICOS DE FÍSICA RELACIONADOS A
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA PARA O ENSINO MÉDIO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Linha de Pesquisa: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho (Orientador)
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
Presidente

Prof. Dr. Jerias Alves Batista
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão
(Examinador Interno)

Prof. Dra. Ana Figueiredo Maia
Doutora em Física – Universidade Federal de Sergipe
(Examinadora Externa)

Dedico esta dissertação a todos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro a Deus, por todo equilíbrio, paz e oportunidades que tem me possibilitado.

Aos meus pais Erondina Alves e Pedro Silva, por terem me criado com muito amor, carinho e por ter me guiado a trilhar sempre o caminho do respeito e do que é justo.

A minha mãe velha Henriqueta, pelo entusiasmo, força de vontade e carinho.

Aos meus irmãos, Denise, Gerdiel, Cristina Denilson, Luiz, Djalma, Dilvanir, P Silva, Danilo, Gerdiene, Genário, Creonilde, Deco, Nilson, Creober, Maria, Roselane, Marionildo, Silana, por serem companheiros para todos os momentos, pelo suporte e contribuírem para minha formação.

A minha companheira Joelma, por todo amor, carinho e apoio durante o desenvolvimento deste projeto.

As minhas filhas Gabrielle E Arielle, por fazerem parte da minha vida.

A professora Dra. Regina Célia, pelos ensinamentos, incentivos e por colaborar para a minha formação.

Ao meu orientador, Professor Dr. Edson Firmino Viana de Carvalho, pelas orientações, aprendizados, incentivos, equilíbrio e conversas.

Aos Professores do PROFIS, por todo o conhecimento compartilhado durante as aulas e atividades do programa.

A todos os colegas de mestrado, pelas conversas, críticas e elogios, em especial aos colegas Gladiston, Rogério e Joerbed.

Aos alunos e servidores do CE Cidade de São Luís, pela participação e colaboração na realização deste trabalho.

A todos os meus amigos e parentes, pelo estímulo, em especial amiga Aline e ao primo João Carlos.

À CAPES pelo apoio financeiro, código 001, por meio da bolsa concedida.

RESUMO

A prática docente para ensino de Física nas escolas do ensino médio precisa buscar uma maior eficiência e isso pode ser alcançado através da aplicação de novas estratégias, tais como, introdução de novos conteúdos, melhoria na aplicação de práticas pedagógicas tradicionais e a implantação de práticas pedagógicas inovadoras. Além disso, o ensino de Física deve estar vinculado ao cotidiano do aluno e aos avanços da ciência e da tecnologia. O progresso tecnológico da humanidade perpassa pela Física, mais especificamente, pela Física Moderna e Contemporânea (FMC), o que aumenta a necessidade de um foco maior na aprendizagem desses conteúdos em sala de aula de forma que a exploração da FMC dentro do ensino médio possa ser mais bem disseminada nas escolas. A condução bem feita desses conteúdos permite ao aluno compreender o funcionamento, por exemplo, de aparelhos e dispositivos que permeiam o seu cotidiano. A medicina moderna é uma das áreas que é fortemente impulsionada pelos conceitos físicos, em especial a medicina de diagnóstico por imagem, portanto, o entendimento desses conceitos é algo de extrema relevância para a transposição didática de conteúdo dessa área. Neste trabalho, propomos uma opção dinâmica e interessante na forma de uma sequência didática para ensino de conteúdos relacionados a FMC, mas especificamente relacionados a ressonância magnética (RM), conteúdos que, ainda hoje, pouco se trabalha no ensino médio. Neste contexto, procurando contribuir para o desenvolvimento do ensino de conceitos físicos, foi desenvolvida uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre tópicos de Física relacionados a Ressonância Magnética aplicada à medicina de diagnóstico por imagem, pautada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Uma UEPS trata de uma sequência didática que é pautada no aluno e tem como ponto de partida mais importante os conhecimentos prévios dele, a partir dos quais novos conhecimentos serão ancorados às estruturas bem mais consolidadas no arcabouço cognitivo do indivíduo. A metodologia utilizada na construção desse produto educacional inicia como uma breve introdução acerca dos fundamentos básicos de elaboração dos mapas conceituais, utilizando alguns exemplos e definições. Após tal levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema proposto nesta UEPS e a fim de verificar a presença de subsunçores necessários para a ocorrência de aprendizagem significativa, utilizamos como instrumento diagnóstico um questionário pré-teste e um mapa conceitual. Como mecanismo de orientação do processo educacional, propomos uma avaliação da aprendizagem, na qual consideramos todas as atividades realizadas em relação a análises qualitativas e quantitativas. Assim, esta avaliação caracterizou-se por um processo somativo composto pelos seguintes elementos: elaboração dos mapas livre e conceitual; evolução do desempenho do aluno a partir da comparação entre estes mapas atribuindo uma nota para tal e a participação nas discussões propostas, além da análise da avaliação somativa individual (pós-teste). Durante o desenvolvimento da pesquisa os alunos relacionaram os conceitos novos com conceitos já aprendidos através da socialização com os colegas, na elaboração dos mapas conceituais e através da busca de solução para situações problemas propostos na UEPS. Diante da análise preliminar dos instrumentos de coletas de dados, os resultados obtidos mostram evolução do conhecimento entre os momentos que precedem a aplicação do material instrucional e os que o sucedem. Sendo assim aprendizagem significativa propõe a ampliação e a avaliação de saberes interrelacionados com outros já existentes adquiridos ao longo do processo, revelando indícios de aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Física moderna e contemporânea; Ressonância magnética; Aprendizagem significativa.

ABSTRACT

Teachers to seek an efficiency of practical secondary schools, an efficient application of secondary schools to optimize the application of new content in the traditional pedagogical practices and the application of new content, the introduction of new strategies in the application of pedagogical practices, introduction of new strategies and application of practices. In addition, the teaching of Physics must be linked to the student's daily life and to advances in science and technology. The technological progress of humanity permeates, more specifically, by Modern and Contemporary Physics (FMC), which increases the need for a focus on learning these contents in the classroom so that the exploration of FMC within the medium is better disseminated in Schools. A well-done driving allows the student to understand the contents, for example, of devices and devices that permeate their daily lives. Medicine is a position primarily driven by physical concepts, especially diagnostic imaging medicine, which comprises these concepts that are extremely important for this area. In this work, we propose a dynamic and interesting option in the form of a didactic sequence for the teaching of contents related to the FMC, but specifically related to the magnetic resonance (MR), contents that, even today, are not used in high school. In this context, to build a Teaching and Learning Sequence (TLS) was developed on topics related to Magnetic Resonance in the Significant Theory for Diagnostic Imaging, contributing to Ausubel's Theory of Meaningful Learning. A TLS is a didactic sequence that is anchored in the student and has as its most important starting point his previous knowledge, from the new knowledge will be anchored to the structures much more consolidated in the individual's cognitive framework. The methodology used in the construction of this educational product is a brief introduction of the basics of the construction of concept maps, using examples and definitions. Presence of a survey of students' knowledge on the topic proposed in this TLS and in order to verify the possibility of using meaningful learning as a diagnostic tool, a sub-conceptual map after tests. As a mechanism to guide the educational process, we propose an evaluation of learning and what is the evaluation of all the activities carried out in relation to it, we consider it qualitatively, and we measure it. Thus, this evaluation was characterized by a process composed of the following elements: elaboration of free and conceptual maps; In addition to the student's assessment from the comparison between these maps, assigning a note to the performance evolution in the individual assessment proposals (post-test). During the development of the student's research, the new concepts with the concepts already learned through the socialization of the researchers, in the elaboration of the conceptual maps, and through the proposal of solutions for problems in the TLS. In view of the analysis of the preliminary data collection instruments, the results obtained show the evolution of knowledge between the preliminary moments to an application of the instructional material and those that follow. Thus, learning is significant to perceived learning and the assessment of knowledge interrelated with others already acquired throughout the process, revealing signs of meaning.

Keywords: Physics and modern; MRI; Meaningful learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão esquemática proposta por Moreira do contínuo de AS e AM.	21
Figura 2 - Um esquema exemplificando a Teoria da Assimilação.....	23
Figura 3 - oscilador harmônico amortecido sujeito a uma força externa periódica.	33
Figura 4 - O próton de hidrogênio visto como uma pequena esfera carregada positivamente que possui um movimento de giro (spin) em torno do seu eixo e, por isso irá se comportando como um pequeno dipolo magnético com um momento magnético (μ) associado.	39
Figura 5 - Prótons de Hidrogênios ao acaso: vetor magnetização resultante é igual a zero ($MR = 0$).....	40
Figura 6 - Prótons de hidrogênio sob a ação do campo magnético externo. Os prótons se distribuem em dois níveis de energia, sendo que um número maior de prótons se alinha paralelamente.....	41
Figura 7 - Núcleo de hidrogênio realizando movimento de precessão.....	42
Figura 8 - Plano XY visto de cima.	43
Figura 9 - Espectro eletromagnético.....	44
Figura 10 - a) Spins precessando e alinhados paralelo e antiparalelo ao campo magnético externo aplicado (eixo z). b) Vetor magnetização resultante paralelamente M_P e anteparalelamente M_{AP} . c) Vetor magnetização resultante	45
Figura 11 - Plano XY visto de cima $M_{XY} = 0$	45
Figura 12 - Spins em fase e $M_{XY} \neq 0$	46
Figura 13 - Sinal induzido na bobina.	48
Figura 14 - Imagem turbo spin eco ponderada em T_2 , mostrando na imagem ampliada a resolução de contraste obtida devido às diferenças nos tempos T_2 entre os tecidos envolvidos	49
Figura 15 - Ressonância Magnética: Uma proposta de aprendizagem por meio de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.....	57
Figura 16 - Mapa Conceitual Inicial confeccionado pelo aluno A5 antes da instrução.	67
Figura 17 - Mapa conceitual confeccionado pelo aluno A10 depois da instrução.	68
Figura 18 - Quantidade percentual por categoria de conceitos	75
Figura 19 - Resultado para os tipos 4 e 5 antes e após o MI	81
Figura 20 - Resultado para os tipos 1 e 2 antes e após o MI	82

Figura 21 - Percentual de respostas dadas pelos alunos da primeira à nona questão do formulário de levantamento das opiniões dos estudantes..... 88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempos de relaxação T_1 e T_2 aproximados para diversos tecidos do corpo humano a $1,5 T$	50
Tabela 2 - Classificação dos mapas conceituais desenvolvidos pelos grupos de estudantes. ...	64
Tabela 3 - Classificação dos mapas de acordo com os critérios quantitativos (CQ).....	65
Tabela 4 - Número e percentual de Mapas desenvolvidos pelos estudantes antes e depois da instrução classificados quanto à hierarquia conceitual (HC).	66
Tabela 5 - Número (percentual) de mapas desenvolvidos pelos estudantes antes e depois da instrução classificados quanto à qualidade dos mapas (QM).	66
Tabela 6 - Conceitos presentes nos MCs relacionados às grandezas físicas.	70
Tabela 7 - Conceitos presentes nos MCs relacionados aos fenômenos naturais.	71
Tabela 8 - Conceitos presentes nos MCs relacionados aos Objetos.	73
Tabela 9 - Conceitos presentes nos mapas conceituais classificados como outros.	73
Tabela 10 - Número (percentual) de termos de acordo com cada categoria.	74
Tabela 11 - Análise das questões para os tipos 4 e 5.....	80
Tabela 12 - Análise das questões para os tipos 1 e 2.....	81
Tabela 13 - Análise do questionário antes do MI.....	82
Tabela 14 - Análise do questionário após o MI.....	83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Categorias de análise da hierarquia, diferenciação progressiva e reconciliação integradora.	61
Quadro 2 - Categorias de análise da qualidade do mapa conceitual.	62
Quadro 3 - Categorias empregadas para classificar os grupos de palavras contidas no MC's a suas definições.	69
Quadro 4 - Tipos de respostas.	77
Quadro 5 - Intervalo percentual para a análise dos conceitos.	78
Quadro 6 - Transcrições das respostas atribuída a 10 ^a questão do questionário de levantamento da opinião dos estudantes.	89

LISTA DE SIGLAS

AS	Aprendizagem Significativa
AM	Aprendizagem Mecânica
FMC	Física Moderna e Contemporânea
IRM	Imagem por Ressonância Magnética
MI	Material Instrucional
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
RM	Ressonância Magnética
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
UEPS	Unidades de Ensino Potencialmente Significativas
UFMA	Universidade Federal do Maranhão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS).....	18
2.1 Aprendizagem Mecânica.....	19
2.1.1 Tipos de aprendizagem significativa.....	21
2.1.2 Assimilação.....	22
2.1.2.1 Diferenciação progressiva, reconciliação integradora e organização sequencial.....	24
2.1.3 Material potencialmente significativo.....	26
2.1.4 Negociação de significado.....	26
2.2 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.....	28
2.3 Sugestões motivacionais para a aprendizagem.....	31
3 TÓPICO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: ressonância magnética nuclear.....	33
3.1 Ressonância magnética nuclear.....	37
4 O PRODUTO EDUCACIONAL.....	51
4.1 Referencial metodológico.....	51
4.2 O contexto do estudo.....	53
4.2.1 Os participantes da pesquisa.....	53
4.2.2 Os instrumentos de coleta de dados.....	53
4.2.2.1 Questionários pré-teste e pós-teste.....	53
4.2.3 Diário de bordo do professor.....	54
4.2.4 Questionário de levantamento da opinião dos estudantes.....	54
4.2.5 Mapa conceitual (MC).....	55
4.3 UEPS: Fundamentos físicos da ressonância magnética para o ensino médio.....	56
4.3.1 Etapa pré-UEPS.....	57
5 ANÁLISE DE DADOS.....	61
5.1 Análise qualitativa dos mapas conceituais.....	61
5.1.1 Análise dos conceitos presentes nos mapas conceituais.....	68
5.2 Análise dos questionários pré e pós teste.....	76
5.3 Diário de bordo do professor.....	86
5.4 Questionário de levantamento da opinião dos estudantes.....	88
6 CONCLUSÃO.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	94
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉVIO.....	97
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PÓS TESTE: PROVA SOMATIVA INDIVIDUAL	

APÊNDICE C: QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO DOS ESTUDANTES	104
APÊNDICE D: PRODUTO EDUCACIONAL.....	106

1 INTRODUÇÃO

A prática do ensino de Física nas escolas precisa buscar uma maior eficiência e isso pode ser alcançado através da aplicação de novas estratégias, tais como, introdução de novos conteúdos, melhorias na aplicação de práticas pedagógicas tradicionais e a implantação de práticas pedagógicas inovadoras. Além disso, o ensino deve sempre estar vinculado ao cotidiano dos estudantes, visto que eles estão constantemente sendo submetidos aos avanços da ciência e da tecnologia e que, na grande maioria das vezes, não são compreendidos, pois envolvem conceitos científicos desconhecidos para o grande público. Os professores precisam estar atentos ao meio social, ao uso de novas tecnologias e às mudanças de hábitos e costumes dos estudantes.

Os critérios que orientam a ação pedagógica deixam, portanto, de tomar como referência primeira “o que ensinar de Física”, passando a centrar-se sobre o “para que ensinar Física”, explicitando a preocupação em atribuir ao conhecimento um significado no momento mesmo de seu aprendizado. (BRASIL, 2000b, p. 61).

Assim, torna-se possível que as escolas, de forma mais eficiente, através da interdisciplinaridade e contextualização, desenvolvam uma cultura científica, na qual se possa popularizar a ciência, em que os estudantes ao conhecerem e praticarem conteúdos de Física possam, além de desenvolver o raciocínio lógico, fazer conexões de conteúdos estudados e a sua realidade e, assim, entender a realidade que os cerca e até opinar ou participar dos caminhos que a sociedade deve trilhar.

O processo de ensino e aprendizagem, na busca por mais eficiência, vem abandonando a repetição automatizada de processos em circunstância excessivamente fora da realidade ou descontextualizada e adquirindo entendimento de que é necessário dar a esse processo um significado, elucidando seu sentido e suas aplicações. Principalmente ao demonstrar que o conhecimento pode ser um utensílio adicional a sua maneira de refletir e atuar, na hora da aquisição de conhecimento, na escola de Ensino Médio. (BRASIL, 2000b).

Conforme os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNM) Brasil (2000a), o mundo moderno, progressivamente mais, necessita de tecnologias alicerçadas no emprego de radiações e nos desenvolvimentos da microtecnologia. Trazer esses conteúdos para serem abordados no ensino médio pode proporcionar ao aluno, por exemplo, a capacidade de analisar as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de radiação e suas interações com a matéria e entender as técnicas utilizados nos diagnósticos médicos, entre outras abordagens.

Dentro desse contexto, sabendo-se que atualmente a utilização de exames de imagens no diagnóstico de doenças tem aumentado bastante, com o agravante de algumas vezes

serem utilizados de forma indiscriminada, é necessário, por parte da população, um entendimento básico dos princípios físicos que são utilizados na construção de equipamentos para este uso, seus benefícios e malefícios, além dos sistemas e equipamentos de proteção. Tais conhecimentos devem ser trabalhados dentro do programa de Física do Ensino Médio.

A maneira como os conteúdos das disciplinas de ciências vem sendo ministrados no Ensino Médio ainda se encontra muito arraigado ao ensino-aprendizagem tradicional e memorística, o que é algo preocupante. Essa realidade se torna ainda mais inquietante quando se trata de Física, devido ao fato da fenomenologia estudada nessa disciplina estar bastante presente no cotidiano das pessoas e possuir inúmeras aplicações que deveriam possibilitar uma abordagem mais contextualizada, interessante e motivadora de seus aspectos em sala de aula.

Os principais avanços tecnológicos da humanidade perpassam pela Física, mais especificamente, pela Física Moderna e Contemporânea (FMC), o que aumenta a necessidade de um olhar mais cuidadoso para o ensino desses conteúdos em sala de aula. A exploração da FMC dentro do ensino médio precisa ser disseminada nas escolas. A condução bem feita desses conteúdos permite ao aluno compreender o funcionamento, por exemplo, de aparelhos e dispositivos que permeiam o seu cotidiano.

A medicina atual, por exemplo, é fortemente baseada em conceitos físicos, em especial a medicina de diagnóstico por imagem, e o entendimento dos alunos desses conceitos, que dão suporte ao funcionamento dela, torna-se necessário. Neste trabalho, é proposto uma opção dinâmica na forma de ministração de conteúdos relacionados a FMC, conteúdos que, ainda hoje, pouco se trabalha no Ensino Médio. Para tanto, estamos propondo uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre tópicos de Física relacionados a Ressonância Magnética (RM) aplicada à medicina de diagnóstico por imagem, pautada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

Uma UEPS é uma sequência didática pautada nos alunos e tem como ponto de partida mais importante os conhecimentos prévios deles, a partir dos quais novos conhecimentos serão ancorados às estruturas bem mais consolidadas seu arcabouço.

Neste contexto, procurando contribuir para o desenvolvimento do ensino de conceitos físicos, este trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma unidade de ensino potencialmente facilitadora da aprendizagem significativa de tópicos de FMC relacionado à Ressonância Magnética no Ensino Médio. Para tal estabelecemos as seguintes metas como objetivos específicos:

- Desenvolver uma UEPS sobre RM utilizando materiais que proporcionem uma aprendizagem significativa de modo a facilitar a aquisição de significados de conceitos de FMC/RM – Campo eletromagnético, ondas eletromagnéticas, comprimento de onda, frequência, espectro eletromagnético, spin e ressonância magnética;
- Avaliar a aprendizagem dos alunos a partir de questionários de pré-teste e pós-teste; diário de bordo do professor; mapa conceitual e questionário de levantamento de opinião dos estudantes;
- Validar a UEPS proposta através da observação de indícios de aprendizagem significativa.

A construção da proposta de ensino foi realizada seguindo o itinerário proposto por Moreira (1999), que para elaborar uma UEPS, conforme esse percurso no primeiro momento foi averiguado os conceitos já sabidos pelos alunos, para tanto foi utilizado mapa livre e questionário pré-teste. Após esse momento se abordou de forma geral e superficial o conteúdo a ser estudado através de situações problemas iniciais, em seguida os conceitos foram sendo trabalhados com uma abordagem mais específica, buscando a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

Nesta dissertação reservamos o capítulo 2 à fundamentação teórica sobre aprendizagem significativa segundo David Paul Ausubel, evidenciando os aspectos que regem uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, assim como as descrições dos passos sugeridos por Marco Antônio Moreira para a elaboração da sequência de ensino denominada de UEPS.

O capítulo 3 tratamos da modelagem sobre tópicos de física moderna e contemporânea relacionados a ressonância magnética. Já no capítulo 4 tratamos de nossa proposta instrucional compreendendo a abordagem metodológica escolhida, os instrumentos de coleta de dados, contexto e participantes da pesquisa e a descrição da UEPS.

No capítulo 5 fazemos a análise dos instrumentos de coleta de dados e no capítulo 6 consta nossas principais considerações com justificativas que balizam a afirmação de que há indícios de aprendizagem significativa a partir da UEPS proposta.

2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS)

O desenvolvimento dessa pesquisa fundamenta-se, principalmente, na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Paul Ausubel e suas implicações no processo ensino-aprendizagem em sala de aula.

A TAS, classificada como cognitiva e pertencente a corrente construtivista, concentra-se no estudo dos fatores que influenciam a aprendizagem e dos processos mentais que ocorrem na estrutura cognitiva do aprendiz, responsáveis pela atribuição de significados ao que é aprendido, tornando possível a compreensão, armazenamento e transformação das informações, organizando-as e agregando-as em determinadas áreas de conhecimento (MOREIRA, 2011a).

Segundo Ausubel *et al.*(1980), para que a aprendizagem significativa (AS) ocorra é necessário que uma nova informação se relacione substancialmente e não arbitrariamente com a estrutura cognitiva do aprendiz, sendo necessário também, que o mesmo se predisponha a aprender significativamente. Segundo, ainda, Ausubel (op.cit), o armazenamento de informações na mente humana é organizado, no qual informações específicas se ligam de forma conceitualmente hierárquica a informações mais gerais e abrangentes.

Para Ausubel (2003), a aprendizagem consiste na ampliação da estrutura cognitiva através da incorporação, da internalização e da acomodação de novas ideias. Na TAS, o fator mais importante para o sucesso do processo ensino-aprendizagem é o que o aprendiz já sabe, visto que, é quem dar significado a um novo conhecimento a ser aprendido. Para que a AS ocorra efetivamente, cada nova informação a ser assimilada necessita interagir com o conhecimento especificamente relevante preexistente na estrutura cognitiva do aprendiz. Esse conhecimento específico preexistente foi denominado por Ausubel de *subsumer*, traduzido para o português como “subsunçor” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

O subsunçor é uma estrutura específica por meio da qual uma nova informação pode se integrar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual que armazena experiências prévias do aprendiz. (SANTOS, 2008, p.54).

Para Moreira (2011b), o conhecimento prévio capaz servir de alicerce para os novos conteúdos pode ser descrito como uma ideia, um conceito, uma proposição e tudo que o aprendiz tenha aprendido. À medida que estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva, esse conhecimento serve como uma espécie de “âncora” para novos conceitos, e esses serão guardados, isto é, aprendidos significativamente. Durante a AS a

estrutura cognitiva estará dinamicamente em processo de reestruturação e, dependendo do número de vezes que um determinado subsunçor for utilizado, este pode ser modificado e ampliado, visto que, existem na estrutura cognitiva, subsunçores bem ordenados e amplos, assim como, elementares e restritos.

A aprendizagem também precisa ser substantiva, uma vez aprendido determinado conteúdo de forma significativa, o indivíduo conseguirá explicar com suas próprias palavras a informação que recebeu, expressando um conceito de diversas maneiras, em linguagens sinônimas que transmitam o mesmo significado. Nesse caso, a substantividade é a incorporação da substância do novo conhecimento, de novas ideias à estrutura cognitiva e não de palavras que as definam. A AS não depende exclusivamente de determinados signos em particular, assim, um mesmo conceito pode ser expresso de diversas maneiras, por diferentes signos, que se equivalem em significados.

Para Ausubel *et al.* (1980) a AS constitui o mecanismo humano para adquirir e reter uma grande quantidade de informações de um conjunto de conhecimentos, sendo o processo de AS o mais importante na aprendizagem escolar. Ainda, de acordo com Mendonça (2012, p.45) “A teoria da aprendizagem significativa é uma teoria com grande potencial para fundamentar a prática educativa, em sala de aula, e que privilegia a aquisição e a retenção do significado que é gerado na escola”.

Ausubel (op.cit) ainda menciona que um dos pré-requisitos para o sucesso da AS é a utilização de materiais potencialmente significativos, ou seja, materiais que facilitem a relação do material pedagógico com o conhecimento estruturado do aprendiz. Além disso, é necessário também que o aprendiz esteja predisposto a aprender significativamente, promovendo assim, a interação entre o conhecimento a ser aprendido e o conhecimento preexistente em sua estrutura cognitiva. Quando a AS não acontece, ocorre neste caso uma aprendizagem mecânica.

2.1 Aprendizagem Mecânica

Ausubel *et al.* (1980) acredita que AS se opõe à aprendizagem mecânica (AM), também chamada de aprendizagem automática, no que diz respeito à forma com que um novo conhecimento se relaciona com algum conhecimento prévio do aprendiz. Ausubel (op.cit), define a AM como aquela onde uma nova informação é armazenada de forma não substantiva e arbitrária, não interagindo com informações já preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz e contribuindo de forma insignificante para sua elaboração e diferenciação.

Aprendizagem automática, por sua vez, ocorre se a tarefa consistir de associações puramente arbitrárias, como na associação de pares, quebra cabeça, labirinto, ou

aprendizagem de série e quando falta ao aluno o conhecimento prévio relevante necessário para tornar a tarefa potencialmente significativa, e também [...] se o aluno adotar uma estratégia apenas para internalizá-la de uma forma arbitrária, literal [...]. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 23).

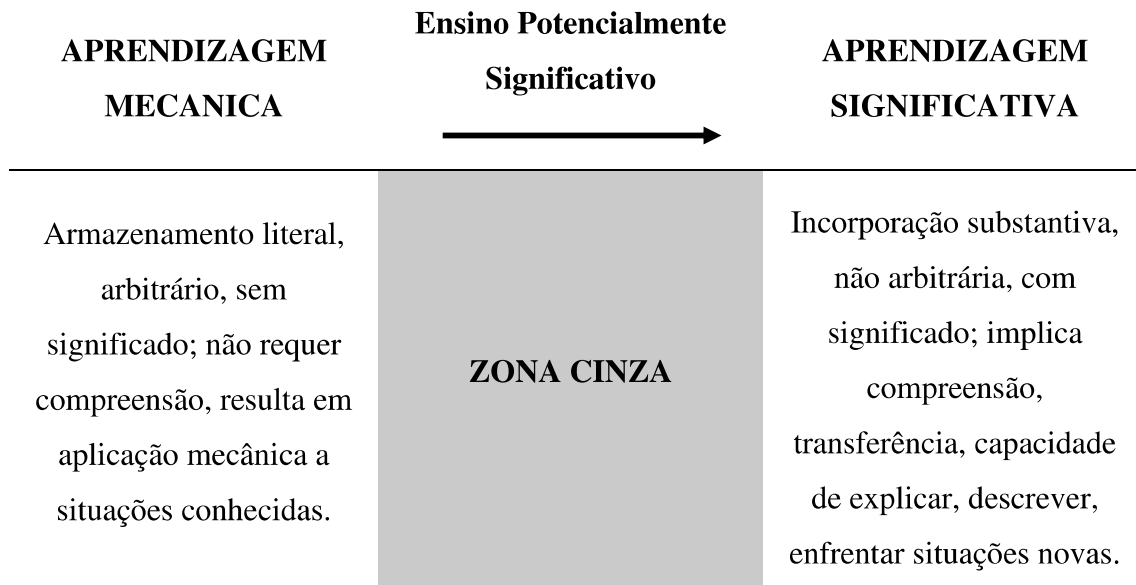
Em situações em que a estrutura cognitiva do aprendiz não possui subsunçores necessários para que ocorra a AS, neste caso, pode se recorrer pontualmente ao uso da AM. À medida que o aprendiz interage continuamente com o novo conhecimento, esse, aprendido mecanicamente, pode ir gradativamente sendo relacionado a novas ideias e reorganizado na estrutura cognitiva, tornando-se subsunçor para novos conhecimentos, e assim, a partir desse, o aprendiz continua aprendendo significativamente. Essa interação dinâmica caracteriza a não dicotomia entre a AS e a AM (LEMOS, 2011).

A aprendizagem mecânica, embora não seja dispensável, visto que, ela pode ser utilizada para gerar novos subsunçores, que serviram posteriormente para ancorar novos conhecimentos de forma significativa, deve ser utilizada de forma racional, uma vez que ela pode aprisionar o aprendiz, gerando neles uma impressão errônea de que, com a AM, é possível aprender uma quantidade relativamente maior de conteúdo, de forma rápida e eficiente. Contudo, esses conhecimentos serão esquecidos, pois não ocorre a assimilação e organização de novos conteúdos em sua estrutura cognitiva.

A AS e a AM não são aprendizagens opostas, sendo partes complementares de um mesmo processo. De acordo com Moreira (2011b), na prática, a aprendizagem não ocorre de forma totalmente mecânica ou totalmente significativa, entretanto, ela pode tender mais para uma delas. A Figura 1, mostra uma visão esquemática do contínuo da AM e AS, proposta por Moreira (2011b). Nela se observa que a passagem da AM para a AS não ocorre de forma automática, existindo uma zona intermediária entre elas (zona cinza), onde grande parte da aprendizagem ocorre.

A AS não é automática e sim progressiva, a construção de um subsunçor é um processo de captação, internalização, diferenciação e reconciliação de significados que não é imediato e depende do nível de estrutura cognitiva de cada aprendiz. A AS depende também do processo que envolve uma negociação de significados entre professor e aluno, e esse pode ser longo. É fantasioso achar que uma boa explicação, uma aula “bem dada” e um aluno “aplicado” sejam pré-requisitos satisfatórios para uma AS.

Figura 1 - Visão esquemática proposta por Moreira do contínuo de AS e AM.



Fonte: (MOREIRA, 2011b).

2.1.1 Tipos de aprendizagem significativa

Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p.39) classificaram a AS em representacional, de conceitos e proposicional. A aprendizagem representacional ocorre através da associação de um símbolo a um único evento ou objeto, sendo o tipo mais básico de AS e fundamental para que as outras duas formas de AS, mais complexas, ocorram. Segundo esses autores, a aprendizagem representacional é o “processo pelo qual novas palavras passam a representar para ele as ideias ou objetos correspondentes aos quais elas se referem”.

De acordo com Lopes,

[...] quando um estudante consegue atribuir significado à palavra elétron (um símbolo), que representa a partícula subatômica elétron (um objeto real), ao relacionar essa representação aos conhecimentos pré-existente em sua estrutura cognitiva poderá ocorrer a aprendizagem significativa representacional. Sempre que esse aluno se deparar novamente com a palavra elétron, haverá uma associação dessa palavra ao objeto real que corresponde à partícula subatômica e o aluno vislumbrará uma imagem do que sua estrutura cognitiva entende como elétron (LOPES, 2014, p. 25).

A aprendizagem de conceitos está associada à sua forma mais abstrata e genérica, sendo semelhante a aprendizagem representativa, porém, mais abrangente. Essa acontece quando se faz a combinação de símbolos particulares podendo formar sentenças e resultar na representação de um conceito. Para Lopes (2014, p. 25) “esse tipo de aprendizagem ocorre, por

exemplo, no momento em que o aprendiz consegue articular de modo não arbitrário os símbolos carga elétrica e variação do tempo para compreender o significado de corrente elétrica.”

A aprendizagem proposicional ocorre quando há uma compreensão das ideias contidas em uma proposição, que estão além dos significados isolados de cada uma das palavras ou conceitos com os quais a proposição foi composta. Sendo essa mais complexa que as demais formas de AS.

Na estrutura proposicional, as palavras relacionadas entre si formam um todo com significados e ideias únicas que é mais representativo do que simplesmente a soma delas. O mais importante nesse tipo de AS é desenvolver a capacidade de expressar verbalmente um novo significado, novas ideias, através da combinação de símbolos em forma de proposições verbais.

Lopes (2014, p. 26) exemplifica esse tipo de aprendizagem, relacionando, em uma proposição, os conceitos de corrente e de tensão elétrica, “a corrente elétrica é diretamente proporcional à diferença de potencial em um circuito elétrico fechado”.

Ainda, segundo Lopes (2014), para aprender preposicionalmente, o aprendiz deve desenvolver primeiramente sua estrutura de conhecimento através da aprendizagem representacional de palavras (elétron, carga elétrica, proporcional etc.) e construir em sua estrutura cognitiva conceitos (de corrente elétrica, diferença de potencial etc.), através da aprendizagem de conceitos.

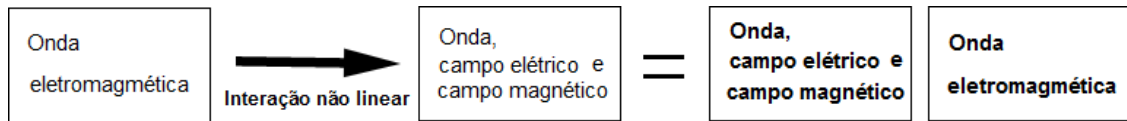
Um discente que aprendeu significativamente será capaz de relacionar símbolos (palavras) de modo a formar uma estrutura verbal que expressa à relação entre conceitos.

2.1.2 Assimilação

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) denominaram de assimilação o processo de aquisição, organização e retenção de uma nova informação na estrutura cognitiva do aprendiz. De acordo com esses autores, a AS ocorre quando uma nova informação (por exemplo, uma ideia, um conceito ou proposição), se relaciona a aspectos relevantes preexistentes da estrutura cognitiva do aprendiz, ou subsunçor, sendo que, tanto a nova informação como o subsunçor são reorganizados, (re)significados e mais arraigado no processo, podendo ser ampliados. Esses autores, afirmaram ainda, que grande parte da AS é basicamente a assimilação de uma nova informação (MOREIRA, 2011a).

A Figura 2 representa de forma simplificada o princípio da assimilação proposto por Ausubel *et al.* (1980).

Figura 2 - Um esquema exemplificando a Teoria da Assimilação



Fonte: (MOREIRA, 1999)

No exemplo da Figura 2, o conceito de onda eletromagnética pode ser aprendido por um aluno do terceiro ano do ensino médio que já tenha os conceitos de onda, campo elétrico e campo magnético bem definidos na sua mente. O novo conceito (onda eletromagnética), será assimilado pelos conceitos mais inclusivos (onda, campo elétrico e campo magnético) já adquiridos. Entretanto, não somente o conceito de onda eletromagnética adquirirá significado para o aprendiz, mas também os conceitos mais gerais de onda, de campo elétrico e de campo magnético que ele já tinha serão modificados e se tornarão mais inclusivos e amplificados.

O processo de assimilação facilita a retenção de novos conceitos, e esses, junto com o subsunçor, modificados por interagirem, permaneceriam separados na estrutura cognitiva do aprendiz por algum tempo. Depois da estabilização da assimilação, a estrutura cognitiva do aprendiz terá uma nova configuração.

Para Ausubel (2003) a assimilação pode ocorrer de três formas diferentes, são elas: aprendizagem subordinada (ou subordinativa), aprendizagem superordenada (ou sobreordenada) e aprendizagem combinatória.

Na aprendizagem subordinada, uma nova informação, ideia ou conceito só se torna significativa para o aprendiz quando essa interage com subsunçores mais gerais e inclusivos ou em maior nível hierárquico preexistente em sua estrutura cognitiva. Existe, portanto, uma relação de subordinação entre a nova informação com a essa estrutura.

O contrário ocorre no caso da aprendizagem supeordenada, em que uma nova informação, ideia ou conceito mais geral e inclusivo torna-se significativa ao interagir com um subsunçor mais específico. Ocorre, portanto, uma relação de sobreordenação entre a nova informação e a estrutura cognitiva do aprendiz.

Já na aprendizagem combinatória, diferentemente das formas citadas anteriormente, uma nova informação está no mesmo nível hierárquico da estrutura cognitiva do aprendiz. Assim, uma nova informação, ideia ou conceito possui características fundamentais em comum com as aquelas preexistentes.

Com a continuação do processo de assimilação, ocorre o esquecimento. Essa segunda etapa, denominada de assimilação obliteradora, não significa que o subsunçor volta ao

seu estado original, e sim que o conceito subsunçor que fica retido na estrutura cognitiva é o que sofreu modificações através da interação.

De acordo com Benaquio:

[...] como a mente tende a reter conceitos mais gerais e estáveis do que ideias novas, a mesma torna as novas informações cada vez menos separadas dos subsunçores, até o ponto onde apenas a nova informação modificada prevalece na estrutura cognitiva, caracterizando um segundo momento do processo de assimilação chamado, assimilação obliteradora (BENAQUIO, 2016, p.10).

Conforme já notabilizado, na direção da AS, tanto os saberes já armazenados, como os novos, alteram-se em função deste intercâmbio, ou melhor, obtém novos significados e diferenciam-se progressivamente. A diferenciação progressiva precisa ser observada durante a programação do conteúdo, pois, segundo Moreira e Masini (2005, p.29), é mais simples para o aluno “captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido, do que chegar ao todo a partir de suas partes diferenciadas”.

2.1.2.1 Diferenciação progressiva, reconciliação integradora e organização sequencial

Na TAS, do ponto de vista instrucional, a maneira e a sequência com que os conceitos devem ser trabalhados em sala de aula, segundo Ausubel (2003), são orientados por dois processos. Ele chamou de diferenciação progressiva o processo quando novas informações são aprendidas alterando o subsunçor correspondente, e de reconciliação integradora (ou integrativa), quando novas informações, ao interagir com o subsunçor correspondente, causam uma reorganização e alteração deles.

Quando se programa a matéria de acordo com o princípio de diferenciação progressiva, apresentam-se, em primeiro lugar, as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina e, depois, estas são progressivamente diferenciadas em termos de pormenor e de especificidade. Esta ordem de apresentação corresponde, presumivelmente, à sequência natural de aquisição de consciência cognitiva e de sofisticação, quando os seres humanos estão expostos de forma espontânea, quer a uma área de conhecimentos completamente desconhecida, quer a um ramo desconhecido de um conjunto de conhecimentos familiar. (AUSUBEL, 2003, p. 166).

Segundo Moreira (2011b), a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora são promovidas através de situações de aprendizagens que envolvem atividades colaborativas, presenciais ou virtuais, em pequenos grupos, visto que essas atividades fomentam a negociação de significados, sendo o professor o mediador.

Instrucionalmente, a aprendizagem subordinada é considerada como diferenciação progressiva. Nessa, as ideias, conceitos ou preposições mais gerais e inclusivos são primeiramente expostos ao aprendiz, sendo que os específicos introduzidos progressivamente. Assim, à medida que a interação entre o conhecimento preexistente e o novo ocorre, os

subsunçores vão sendo incrementados e se diferenciando. Moreira exemplifica tal situação como sendo a seguinte

Imagine-se o conceito de “conservação”; sua aquisição diferenciada em ciências é progressiva: à medida que o aprendiz vai aprendendo significativamente o que é conservação da energia, conservação da carga elétrica, conservação da quantidade de movimento, o subsunçor “conservação” vai se tornando cada vez mais elaborado, mais diferenciado, mais capaz de servir de âncora para a atribuição de significados a novos conhecimentos. Este processo característico da dinâmica da estrutura cognitiva chama-se diferenciação progressiva (MOREIRA, 2012, p.6).

Quando um material instrucional é potencialmente significativo e se utiliza de conceitos mais específicos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz, para que novos conceitos mais abrangentes e inclusivos sejam incluídos pelo mesmo, ocorrendo uma aprendizagem superordenada, esse contribui para a realização da reconciliação integradora.

Na reconciliação integradora, os subsunçores ficam mais elaborados e fazem relações conceituais para integrar os significados na estrutura cognitiva do aprendiz.

Para Ausubel,

Quando se apreendem conceitos ou proposições através de novos processos de aprendizagem de subsunção, subordinante ou combinatória, podem desenvolver-se significados novos e diferenciados e é possível que se possam resolver os significados conflituosos através de um processo de reconciliação integradora (AUSUBEL, 2003, p.106).

Esses dois processos ocorrem simultaneamente. Portanto, o material a ser apresentado ao aprendiz deve ser elaborado de tal forma que sejam exploradas as relações entre ideias, apontar semelhanças e diferenças entre conceitos relacionados. Em geral, o material deve, frequentemente, retomar os conceitos mais gerais já explorados, com o objetivo de eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados e fazer superordenações do novo conhecimento (PERREIRA, 2016).

Ausubel (2003) em sua TAS, recomenda o uso da organização sequencial que existe nos conteúdos de ensino, aproveitando a sua dependência natural e hierárquica, pois ajudará na organização hierárquica de subsunçores na estrutura cognitiva do aprendiz facilitando a AS. Esse princípio reforça a importância do domínio do conhecimento prévio na AS, antes de seguir para a aquisição de novos conhecimentos, pois promove a consolidação dos conteúdos. Ausubel (op.cit.) denominou esse princípio de Consolidação.

A consolidação tem a ver com o domínio de conhecimentos prévios antes da introdução de novos conhecimentos. É uma consequência imediata da teoria: se o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aquisição significativa de novos conhecimentos, nada mais natural que insistir no domínio do conhecimento prévio antes de apresentar novos conhecimentos (MOREIRA, 2011b, p.47).

2.1.3 Material potencialmente significativo

Os princípios pragamáticos que devem fundamentar a elaboração de recursos pedagógicos que visam a AS se baseiam nos princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora.

Materiais Potencialmente Significativos (MPS) são usados para ajudar o aprendiz a assimilar e organizar novos conteúdos em sua estrutura cognitiva, servindo de ponte entre conhecimentos prévios e aqueles que ele deve adquirir para que ocorra AS. Eles devem ser claros, o grau de dificuldade dos conhecimentos deve possuir uma sequência lógica, e ter coerência na sugestão das atividades. MPS devem levar o aprendiz a uma interação dinâmica com o conhecimento prévio, avançando no saber cognitivo.

Ausubel, Novak e Hanesian (1980) visando preparar a estrutura cognitiva do aprendiz, quando da ausência de subsunçores relevantes para a AS de um determinado conteúdo, propôs o uso de materiais introdutórios, ao qual ele denominou de organizadores prévios. Esses são preparados com um nível mais elevado de abstração e generalidade, e como o próprio nome diz, são apresentados antes dos conteúdos que se deseja originalmente ser aprendidos. Moreira define um organizador prévio como sendo um,

“recurso instrucional que pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação- problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação ou uma aula que precede um conjunto de outras aulas” (MOREIRA, 2011b, p. 30).

Partindo do princípio que o aprendiz já possui subsunçores necessários para que ocorra a AS de novas informações, então será preciso MPS que apresentem essas informações de forma não arbitrária e não literal, preparados compativelmente com a estrutura cognitiva do aprendiz.

Ausubel (2003) chama a atenção para o fato que não basta somente que um material potencialmente significativo seja utilizado. A disposição do aprendiz em aprender a nova informação significativamente é fator importante para a promoção da AS. Um aprendiz interessado em apenas memorizar um conteúdo, pouco vai importar se o material é potencialmente significativo ou não. Já para um aprendiz disposto a aprender significativamente, um material não potencialmente significativo não promoverá efetivamente a AS.

2.1.4 Negociação de significado

As atividades propostas no material de ensino devem propiciar a negociação de significados entre professor e aprendiz. Os significados contidos nesses materiais, aceitos no contexto da matéria de ensino, são expostos ao aprendiz, e esses devem devolver ao professor os significados captados.

O compartilhamento de significados é de grande importância para que ocorra a AS e é de responsabilidade do professor e do aprendiz, sendo esse último que vai decidir se aprende significativamente determinado conteúdo. O aprendiz deve manifestar disposição para relacionar, de forma não arbitrária e não literal, os significados captados à sua estrutura cognitiva.

A negociação é necessária, por exemplo, quando o significado atribuído pelo aprendiz para um determinado conceito não foi o pretendido pelo professor. Nesse caso, a negociação é continuada até que o objetivo seja alcançado.

“Para facilitar a ocorrência da AS, o professor deve discutir com seus alunos os questionamentos, os exercícios, a resolução de situações-problema, as discriminações, as diferenciações e as integrações entre os conceitos apresentados” (PEREIRA, 2016, p.9).

Frequentemente, no contexto escolar atual, as avaliações têm como objetivo identificar se o aprendiz sabe ou não resolver determinado item. Esse tipo de avaliação é comportamental e normalmente não promove a AS, pois não prioriza a compreensão de significado.

A AS requer outro olhar. Nesse caso, se deve avaliar a compreensão, a captação de significados, capacidade de resolver situações problemas e de transferência do conhecimento. Ausubel (2003) acreditava que a melhor maneira de evitar a simulação da AS é propor ao aprendiz uma situação nova, não familiar e que seja diferente daquela encontrada no material instrucional. Ele argumenta que com o passar do tempo os alunos desenvolvem técnicas para provas e aprendem maneira de resolver problemas típicos.

No processo de avaliação da AS é importante que o aluno refaça mais de uma vez, se for o caso, as tarefas, e que externalize os significados que está captando, explicando e justificando suas respostas, pois a recursividade da avaliação favorece o processo de aprendizagem.

Portanto, a avaliação da aprendizagem significativa deve ser predominantemente formativa e recursiva. É necessário buscar evidências de aprendizagem significativa, ao invés de querer determinar se ocorreu ou não. É importante a recursividade, ou seja, permitir que o aprendiz refaça, mais uma vez se for o caso, as tarefas de aprendizagem (MOREIRA, 2011b, p.52).

Segundo Moreira (2011b), a avaliação da AS deve ser predominantemente formativa e recursiva, e que é necessário buscar evidência que a mesma ocorreu e não determinar se ocorreu ou não.

2.2 Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

Moreira (1999) desenvolveu uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) constituída a partir de uma "sequência de ensino". O marco teórico para essa sequência denominada de UEPS está ancorado à elementos da teoria da aprendizagem significativa de D. Ausubel (1968, 2000), na teoria interacionista social de Lev Vygotsky (1987), na teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1990), na teoria dos modelos mentais de Philip Johnson-Laird (1983), nas teorias de educação de Joseph D. Novak (1977) e de D.B. Gowin (1981).

Essas UEPS são compostas por ferramentas estruturadas para promover efetivamente a AS, sendo o ensino o meio e a aprendizagem o fim. Para tanto, o material instrucional baseados nessas sequências tem que ser potencialmente significativo, levando em consideração a diferenciação progressiva, ou seja, a hierarquização dos conceitos para facilitar a estruturação e a retenção, e a reconciliação integradora, relações entre conhecimentos em graus crescentes de complexidade.

Moreira (ibid.) se baseou em alguns princípios norteadores para a elaboração de uma UEPS, um resumo deles é apresentado a seguir.

- o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel);
- pensamentos, sentimentos e ações estão integrados no ser que aprende; essa integração é positiva, construtiva, quando a aprendizagem é significativa (Novak);
- é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin);
- organizadores prévios mostram a relacionabilidade entre novos conhecimentos e conhecimentos prévios;
- são as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para a aprendizagem significativa;
- situações-problema podem funcionar como organizadores prévios;
- as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade (Vergnaud);
- frente a uma nova situação, o primeiro passo para resolvê-la é construir, na memória de trabalho, um modelo mental funcional, que é um análogo estrutural dessa situação (Johnson-Laird);
- a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel);
- a avaliação da aprendizagem significativa deve ser feita em termos de buscas de evidências; a aprendizagem significativa é progressiva;
- o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de

parte do aluno (Vergnaud; Gowin);

- a interação social e a linguagem são fundamentais para a captação de significados (Vygotsky; Gowin);
- um episódio de ensino envolve uma relação triádica entre aluno, docente e materiais educativos, cujo objetivo é levar o aluno a captar e compartilhar significados que são aceitos no contexto da matéria de ensino (Gowin);
- essa relação poderá ser quadrática na medida em que o computador não for usado apenas como material educativo; a aprendizagem deve ser significativa e crítica, não mecânica (Moreira);
- a aprendizagem significativa crítica é estimulada pela busca de respostas (questionamento) ao invés da memorização de respostas conhecidas, pelo uso da diversidade de materiais e estratégias instrucionais, pelo abandono da narrativa em favor de um ensino centrado no aluno (Moreira). (MOREIRA, 2011d, p. 2).

Com base nesses princípios, Moreira (ibid.) propõe os seguintes passos sequenciais para a concepção de uma UEPS, ficando a cargo do professor promover a melhor maneira de segui-los:

1. Definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais, tais como aceitos (sic) no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico.
2. Criar/propor situação (ções) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta.
3. Propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem (sic) o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar. Estas situações-problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo. Tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio. São as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente. Modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios). Estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo.
4. Uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos. A estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo.
5. Em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém, em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação. As situações problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade. Dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora. Após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir (sic) socialmente, negociando

significados, tendo o professor como mediador. Esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de um mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente.

6. Concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva, retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém, de (sic) uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa. Isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual (sic), etc. O importante não é a estratégia em si, mas, o modo de trabalhar o conteúdo da unidade. Após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores. Essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente.

7. A avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado. Além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência. Tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino. A avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa.

8. A UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

Além desses oito passos sequenciais, Moreira (ibid.) apresentou ainda três aspectos transversais fundamentais que uma UEPS deve contemplar:

- em todos os passos, os materiais e as estratégias de ensino devem ser diversificados, o questionamento deve ser privilegiado em relação às respostas prontas e o diálogo e a crítica devem ser estimulados;
- como tarefa de aprendizagem, em atividades desenvolvidas ao longo da UEPS, pode-se pedir aos alunos que proponham, eles mesmos, situações problema relativas ao tópico em questão;
- embora a UEPS deva privilegiar as atividades colaborativas, a mesma pode também prever momentos de atividades individuais.

Silva (2016) destaca que quando um professor planeja e aplica uma UEPS, deve levar em consideração não somente a sequência lógica de conteúdo a ser apresentada, como também a metodologia de desenvolvimento, garantindo aos aprendizes atividades colaborativas capazes de promover um maior intercâmbio e diálogo entre eles, e entre eles e o professor.

2.3 Sugestões motivacionais para a aprendizagem

As orientações a respeito da construção do material potencialmente significativo, o MI no nosso caso, não apresentam sugestões claras para propiciar a segunda condição para ocorrer a AS, independente de quão potencialmente significativa é a nova informação, se a finalidade do aluno for apenas a de memorizá-la de maneira arbitrária e literal, a aprendizagem só poderá ser mecânica (MOREIRA, 2011d).

Porém, o estudante pode ser motivado a participar das aulas e a respeito de como melhorar o empenho do aluno a aprender. Bzuneck e Guimarães (2010) propõem algumas sugestões prática de estratégias para os professores interessados em possibilitar, estimular ou manter a motivação dos alunos durante desenvolvimento das aulas. O professor deve se orientar quanto a

[...] fornecer atividades que tenham certo grau de desafio, onde a dificuldade faça fronteira com a capacidade atual do aluno; e adoção de embelezamentos para as atividades, mesmo que essas apresentem desafios, pois nem todos os desafios são inerentemente interessantes. (SANTOS, 2020, p.51).

Em uma das abordagens, o empenho do aluno em participar de uma atividade de aprendizagem depende, além das expectativas pessoais de êxito, de que veja o significado pessoal e acredite na sua importância ou no valor da tarefa. Para isso os autores fizeram as seguintes recomendações: o conteúdo estudado deve estar correlacionado com a sua vida, seu mundo, suas inquietações e interesses subjetivos; demonstrar que os conhecimentos ou as habilidades que agora devam ser dominadas são pré-requisitos para novos conhecimentos que virão (BZUNECK; GUIMARÃES, 2010).

O tédio e a indiferença dos alunos não serão fundamentalmente superados apenas com manifestação da relevância das aprendizagens. Para a motivação, as próprias atividades precisam ser instigantes e com características de desafios. Eles orientam que o uso de problemas extraescolares ajuda na motivação do estudante e que os desafios devem fazer fronteira com a capacidade atual do aluno levando em consideração seu grau de desenvolvimento cognitivo, ou seja, o desafio deve ser superado mediante o empenho do aluno. Caso esse desafio seja demasiadamente complexo ocasionará fracasso, frustração e irritação do aluno, desmotivando o mesmo e caso as tarefas sejam fáceis acarretará tédio. Corroborando com essa sugestão, Moreira (2011b) sugere que o conteúdo seja proposto por meio de situações-problema num nível crescente de dificuldades.

A outra sugestão é a utilização de embelezamentos motivacionais que são, essencialmente, recomendados para provocar o entusiasmo pelas atividades de aprendizagem

e, mais, para quebrar a mesmice, para atenuar o caráter de obrigatoriedade dos trabalhos, para combater o tédio e para corrigir a aridez de certos conteúdos.

[...]13 tipos de embelezamentos: manipulação de objetos e movimento físico; conflito cognitivo; introdução de novidades; relação com comestíveis; interação com amigos no grupo; autor explícito, nas narrativas escritas; jogos; escolha de conteúdos atraentes para aquela classe; relacionamento com a vida, animal ou vegetal; fantasia; humor; e apresentação de casos ilustrativos (BZUNECK, 2010, p.23-24).

Por fim, a sugestão (feedback) aponta como o professor deve reagir com relação às tarefas realizadas pelos alunos, ou seja, como deve ser o comportamento e a resposta do professor às demandas do aluno que podem afetar tanto no processo de aprendizagem como na sua motivação. Para Bzuneck e Guimarães (2010), o feedback dado pelo professor representa uma das mais importantes interações professor- aluno, pois a forma como o professor lida com o erro ou o acerto pode suscitar motivação positiva ou negativa ao aluno. Caso esse tenha errado é importantíssimo que ele saiba o que errou (para que não o incorpore como se fosse verdade), porque errou e o que é preciso para superar. Sendo chamado de feedback corretivo. É necessário ainda ser muito acautelado para não desmotivar o aluno. Se o professor constatar que o motivo do erro na tarefa foi gerado pela ausência de empenho do aluno, poderão acontecer duas situações: o aluno aceita sua falta de esforço, poderá se sentir culpado, e assim se empenhar mais na próxima atividade; caso o aluno tenha a consciência que se empenhou ao máximo que pôde e concluir, eventualmente, que não tem capacidade. Logo, os erros podem ser benéficos para uma melhor aprendizagem e os fracassos podem servir para o sucesso, dependendo de como forem tratados os feedbacks.

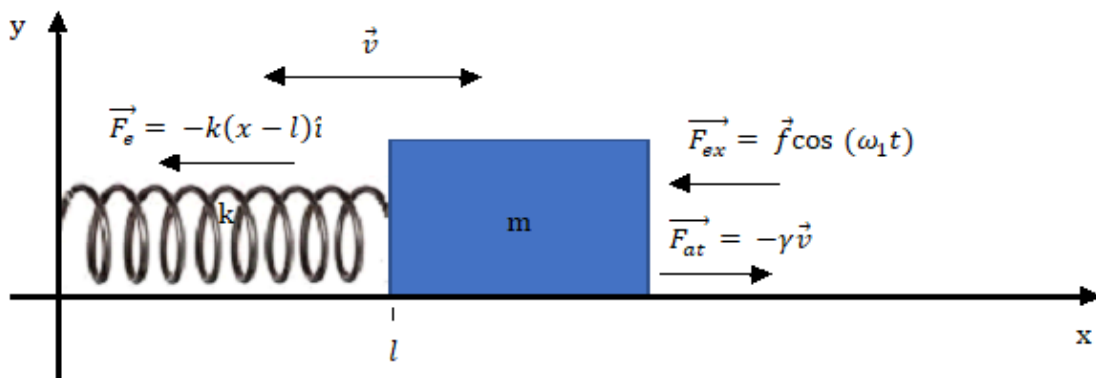
O feedback positivo deve ser dado sempre que o aluno tiver atingido os objetivos de aprendizagem, ou quando mostrar que está no caminho adequado. O elogio deve ser feito ao esforço, ao capricho, à persistência e ao comportamento do aluno durante a realização das atividades, em tom natural, fazendo parecer como sincero, deve ser individual e jamais comparando o desempenho do aluno aos outros colegas.

3 TÓPICO DE FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: ressonância magnética nuclear

A ressonância como um fenômeno da Física surge em várias situações do cotidiano. Em uma situação ideal, toda vez que um conjunto de elementos interligados estiver oscilando com uma frequência natural que é a frequência com a qual o aparelho vibraria livremente, ele pode ganhar energia de outro sistema, para tanto existe algumas condições: que os sistemas estejam vibrando com a mesma frequência; que esses conjuntos não vibrem fora de fase. Quando isso ocorre dizemos que os sistemas são ressonantes e essa forma de transferência de energia é designada de ressonância.

Um modelo mais realista desse fenômeno está representado na ilustração da Figura 3. Nesta ilustração temos um sistema “bloco mola” que descreve um oscilador harmônico submetido a uma força externa periódica no decorrer do tempo. As oscilações ocorrem na direção do eixo x . As forças que atuam nesse sistema são: força restauradora \vec{F}_e , força de atrito \vec{F}_{at} , força externa periódica \vec{F}_{ex} . O l marca a posição de equilíbrio.

Figura 3 - oscilador harmônico amortecido sujeito a uma força externa periódica.



No esquema montado na Figura 3 um bloco de massa m preso a uma das extremidades de uma mola de constante elástica k , esta por sua vez é uma grandeza física escalar que depende do material e da forma, e ela é uma medida da rigidez, ou seja, indica a força necessária para fazer uma determinada “mola” sofrer uma deformação. Nesta situação o sistema vibra na direção x , portanto, nessa direção o sistema sofre a ação de três forças que são: força restauradora descrita pela lei de Hooke, força de atrito (dissipativa) e a força externa periódica no tempo com uma frequência angular ω_1 . A força resultante sobre esse sistema é então definida como

$$\vec{F}_r = \vec{F}_e + \vec{F}_{at} + \vec{F}_{ex} = -k(x-l)\hat{i} - \gamma\vec{v} + \vec{f}\cos(\omega_1 t). \quad (1)$$

Utilizando a segunda lei de Newton, em módulo, a equação (1), torna-se

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -k(x - l) - \gamma \frac{dx}{dt} + f \cos(\omega_1 t), \quad (2)$$

isto é,

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}(x - l) - \frac{\gamma}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{f}{m} \cos(\omega_1 t), \quad (3)$$

que é a equação de movimento para o sistema proposto. Fazendo $X = x - l$, teremos

$$\frac{dX}{dt} = \frac{dx}{dt} \quad (4)$$

e

$$\frac{d^2X}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (5)$$

Da mesma forma, para o caso do oscilador harmônico simples, definimos ω como frequência angular natural do sistema, dada pela expressão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016a):

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6)$$

e

$$2b = \frac{\gamma}{m}, \quad (7)$$

além de considerar que

$$F = \frac{f}{m}. \quad (8)$$

Substituindo as equações (6) a (8) em (5), a equação de movimento é reescrita como

$$\frac{d^2X}{dt^2} + 2b \frac{dX}{dt} + \omega^2 X = F \cos(\omega_1 t) \quad (9)$$

A solução particular para equação (a) é encontrada utilizando o método dos coeficientes a determinar. Então a solução particular (MACHADO, 2012) é:

$$X_p(t) = A \cos(\omega_1 t) + B \sin(\omega_1 t). \quad (10)$$

Calculando as derivadas da equação (10), tem-se que

$$\frac{dX}{dt} = -A \omega_1 \text{sen}(\omega_1 t) + B \omega_1 \text{cos}(\omega_1 t) \quad (11)$$

e

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -A \omega_1^2 \text{cos}(\omega_1 t) - B \omega_1^2 \text{sen}(\omega_1 t) \quad (12)$$

Assim, podemos reescrever a equação (9) como sendo

$$\begin{aligned} [A(\omega^2 - \omega_1^2) + 2bB\omega_1] \text{cos}(\omega_1 t) \\ + [B(\omega^2 - \omega_1^2) - 2bA\omega_1] \text{sen}(\omega_1 t) = F \text{con}(\omega_1 t) \end{aligned} \quad (13)$$

Igualando os coeficientes, temos que

$$A(\omega^2 - \omega_1^2) + 2bB\omega_1 = F \quad (14)$$

e

$$B(\omega^2 - \omega_1^2) - 2bA\omega_1 = 0. \quad (15)$$

Evidenciando A na equação (14), ou seja,

$$A = \frac{B(\omega^2 - \omega_1^2)}{2b\omega_1} \quad (16)$$

e B na equação (15), tal que

$$B = \frac{2b\omega_1 F}{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}. \quad (17)$$

Então,

$$A = \frac{(\omega^2 - \omega_1^2)F}{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}. \quad (18)$$

Substituindo as equações (17) e (18) na solução particular, equação (10), tem-se que

$$X_p(t) = \frac{F}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} [\text{cos}\theta \text{cos}(\omega_1 t) + \text{sen}\theta \text{sen}(\omega_1 t)], \quad (19)$$

em que

$$\text{cos}\theta = \frac{(\omega^2 - \omega_1^2)}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} \quad (20)$$

e

$$\text{sen}\theta = \frac{2b\omega_1}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} \quad (21)$$

Se fizermos uso da propriedade trigonométrica $\cos(a - b) = \cos a \cos b + \text{sen } a \text{ sen } b$, a solução particular dada pela equação (19) torna-se

$$X_p(t) = \frac{F}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} \cos(\omega_1 t - \theta) \quad (22)$$

A solução geral é a soma da solução partícula equação (22) e da solução homogênea da equação (9), esta última solução neste momento não nos interessa, pois ela trata do oscilador harmônico amortecido já que seus efeitos perduram por pequenos intervalos de tempo. A outra solução, a particular nos interessa já que ela representa o termo oscilante com uma frequência angular igual a da força externa aplicada, porém com diferença de fase θ (Machado, 2012).

Ao considerarmos que ω , F e b sejam constantes para um determinado sistema, a amplitude do deslocamento $X_p(t)$ que é função da frequência angular ω_1 da força externa ondulante dada por

$$A'(\omega_1) = \frac{F}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} \quad (23)$$

Derivando a equação (23) em relação a ω_1 e igualando a zero para se obter os pontos críticos, isto é,

$$\frac{dA'}{d\omega_1} = - \frac{2F\omega_1[2b^2 - (\omega^2 - \omega_1^2)]}{[(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2]^{\frac{3}{2}}} = 0 \quad (24)$$

ou

$$2F\omega_1[2b^2 - (\omega^2 - \omega_1^2)] = 0, \quad (25)$$

o que resulta em duas soluções, uma para $\omega_1 = 0$, que seria um oscilador amortecido, e a outra é

$$2b^2 - (\omega^2 - \omega_1^2) = 0 \quad (26)$$

com

$$\omega_1 = \sqrt{\omega^2 - 2b^2}. \quad (27)$$

A equação (27) nos fornece a informação que há valores reais para $\omega^2 \geq 2b^2$ e a amplitude de vibração é máxima para esses valores. Para $\omega < \sqrt{2}b$, o amortecimento é forte o suficiente para impedir o aparecimento da ressonância. A frequência descrita na equação (27) para valores reais é definida como frequência de ressonância do sistema, tal que

$$\omega_R = \sqrt{\omega^2 - 2b^2}. \quad (28)$$

Quando um sistema, por exemplo o da Figura 1, é submetido a uma força externa periódica com uma frequência ω_1 igual ou semelhante a ω_R , a amplitude desse movimento é capaz de se modificar para valores elevadíssimos conforme o valor de b , que corresponde a força dissipativa. Para pequenos valores de b , a frequência de ressonância tende a ser igual a frequência angular natural de vibração do sistema. Caso $b = 0$, então não existe força dissipativa, logo o sistema não é amortecido. Tal sistema é denominado de Oscilado Harmônico Simples (OHS), cuja sua frequência de ressonância é

$$\omega_R = \omega, \quad (29)$$

em que a frequência angular natural do sistema ω é igual a frequência angular de ressonância. Então para um “modelo ideal” se uma força externa oscilante com uma frequência igual à da equação (30) for aplicada a esse sistema, ocorrerá o fenômeno de ressonância, que se caracterizará por um aumento na amplitude de oscilação do sistema, mesmo que a força aplicada seja de um pequeno valor. Logo, a energia adquirida pelo sistema oscilante é máxima. Por essa razão a frequência natural recebe o nome de frequência de ressonância do sistema (SERWAY; JEWETT, 2011).

3.1 Ressonância magnética nuclear

A **ressonância magnética nuclear (RMN)** tem seu início datado por volta de 1937 quando o físico austro-norte-americano Isidor I. Rabi (1898-1988), trabalhando nos Estados Unidos da América, descobriu um fenômeno importante, em que denominou de ressonância magnética nuclear. Naquela época já era conhecido que os prótons contidos nos núcleos atômicos tinham um movimento em torno do próprio eixo, denominado de “spin”, assim como os prótons, partículas nucleares dotadas de cargas elétricas positivas, e os elétrons, partículas de cargas elétricas negativas que se movem em órbitas ao redor do núcleo atômico. Isidor Rabi descobriu também que submetendo uma substância, como por exemplo o hidrogênio, a um forte campo magnético externo, os dipolos magnéticos atômicos tendiam a se alinhar com a direção desse campo (precessão) e podiam absorver energia rádio magnética externa proporcional à

intensidade do campo magnético, o que ele denominou de fenômeno de ressonância (PHILIPS, 2007).

Rabi observou, também, que quando cessado o campo magnético aplicado, os dipolos retornavam ao seu movimento aleatório e durante esse relaxamento devolviam a energia absorvida na forma de ondas eletromagnéticas cuja frequência era típica de cada átomo. Ao analisar o espectro dessas frequências, Rabi era capaz de medir a quantidade de cada átomo na amostra criando um novo método de análise molecular que foi chamado de espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN) (PHILIPS, 2007).

O método utiliza a emissão de sinais de rádio de baixa intensidade quando átomos sofrem a ação de um campo magnético muito forte. Esta importante técnica RMN é atribuída, em 1946, de forma independente, aos físicos Felix Bloch (1905-1983), e Edward Mills Purcell (1912-1997), os quais receberam o Prêmio Nobel de Física, em 1952, pela descoberta (BATHISTA; COLNAGO, 2004)

Entre os anos de 1950 e 1970, a RMN se desenvolveu bastante e começou a ser utilizada para análise de espectroscopia de moléculas. Em 2003, por desenvolverem os exames de RMN, que possibilitaram visualizar tecidos moles do corpo humano, Sir Peter Mansfield (1933-2017) e o Paul Lauterbur (1929-2007) dividiram o prêmio Nobel de Medicina (MAZZOLA, 2009).

A RMN é a interação do campo magnético de alta intensidade produzido por um aparelho com prótons atômicos do material submetido a esse campo. Durante essa ação, os prótons em precessão com uma frequência natural da mesma ordem das ondas de rádio, permitem o envio de pulsos de radiofrequências, que serão absorvidos e logo em seguida, reenviados de forma modificada com informações que serão captadas, decodificadas e transformadas em dados e imagem.

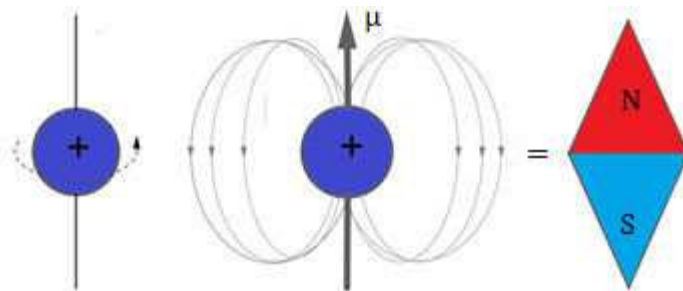
Assim, as particularidades da RMN têm princípio na relação entre partículas nucleares carregadas com o campo magnético externo. Sendo mais específico, é o fenômeno em que prótons, contendo momento angular e conseqüentemente momento magnético, executam movimento de precessão como se fosse um pião (fazendo uma analogia, clássica) girando sob ação do campo gravitacional da terra, quando submetidos a um campo magnético (MAZZOLA, 2009).

O corpo humano é composto de tecidos, os quais são formados por átomos e destes os mais comuns são: hidrogênio, oxigênio, carbono, fósforo, cálcio, flúor, sódio, potássio e nitrogênio. O hidrogênio, por ser o mais abundante nos tecidos que formam o corpo humano,

por possuir momento magnético e conseqüentemente maior sensibilidade à RMN e por se diferenciar muito no tecido normal e no tecido patológico, é o escolhido para ser usado na formação da imagem por ressonância magnética nuclear. Além disso, é o elemento mais simples da natureza, possuindo um único próton, partícula carregada que possui um momento angular e por conseguintes propriedades magnéticas, o que reitera tal escolha. (OLIVEIRA; BORDUQUI, 2012).

Assim, fazendo uma analogia clássica apenas para ilustrar e objetivando explicar mesmo que de forma superficial o comportamento dos prótons, supondo que o spin represente o movimento de rotação do próton em torno de seu próprio eixo, Figura 4, da mesma forma como se fosse uma minúscula esfera. Logo essa partícula nuclear carregada apresenta propriedades magnéticas, pois carga elétrica em movimento produz campo magnético, uma região sob influência magnética em torno de um polo magnético (extremidade de um ímã) ou de uma partícula carregada em movimento.

Figura 4 - O próton de hidrogênio visto como uma pequena esfera carregada positivamente que possui um movimento de giro (spin) em torno do seu eixo e, por isso irá se comportando como um pequeno dipolo magnético com um momento magnético (μ) associado.



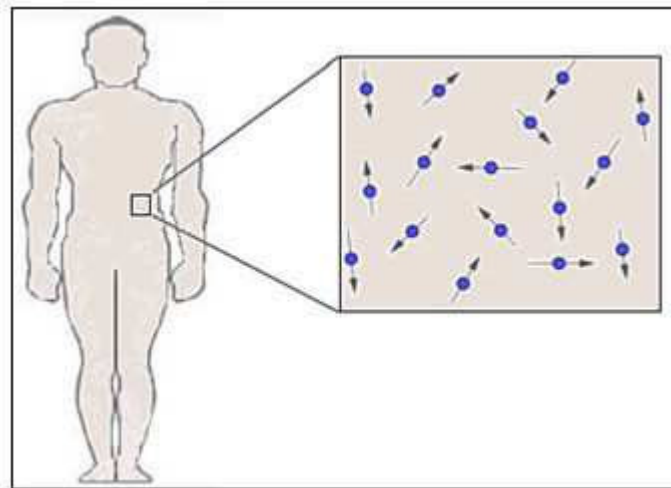
Fonte: Elaborado pelo autor

As partículas que não são formadas por subestruturas são denominadas de partículas elementares e as partículas atômicas podem ser caracterizadas por um código matemático chamado de números quânticos. O spin pode ser entendido como um número quântico das partículas elementares e como propriedade vinculada ao movimento de rotação intrínseco da partícula que, portanto, desta forma mede o momento angular.

As partículas podem ter spin inteiro, semi-inteiro e até mesmo nulo. No caso do próton, o spin é semi-inteiro e igual a $\frac{1}{2}$, que pode ser positivo, ou seja, $+\frac{1}{2}$ (spin *up*) movimento de giro em um determinado sentido ou pode ser negativo $-\frac{1}{2}$ (spin *down*) movimento de giro no sentido contrário, fazendo uma analogia clássica.

O corpo humano é composto por um grande número de átomos de hidrogênio, cerca de 10% do peso total do corpo, com seus momentos magnéticos μ dispostos em todas as direções e sentidos, de tal maneira que o vetor magnetização resultante, que nada mais é do que a soma vetorial de todos os momentos magnéticos individuais, de um volume desse tecido é nulo (Figura 5). Isso levando em consideração a temperatura do corpo em torno de $36,5^\circ\text{C}$ e o campo magnético terrestre de 3×10^{-5} tesla.

Figura 5 - Prótons de Hidrogênios ao acaso: vetor magnetização resultante é igual a zero ($M_R = 0$).



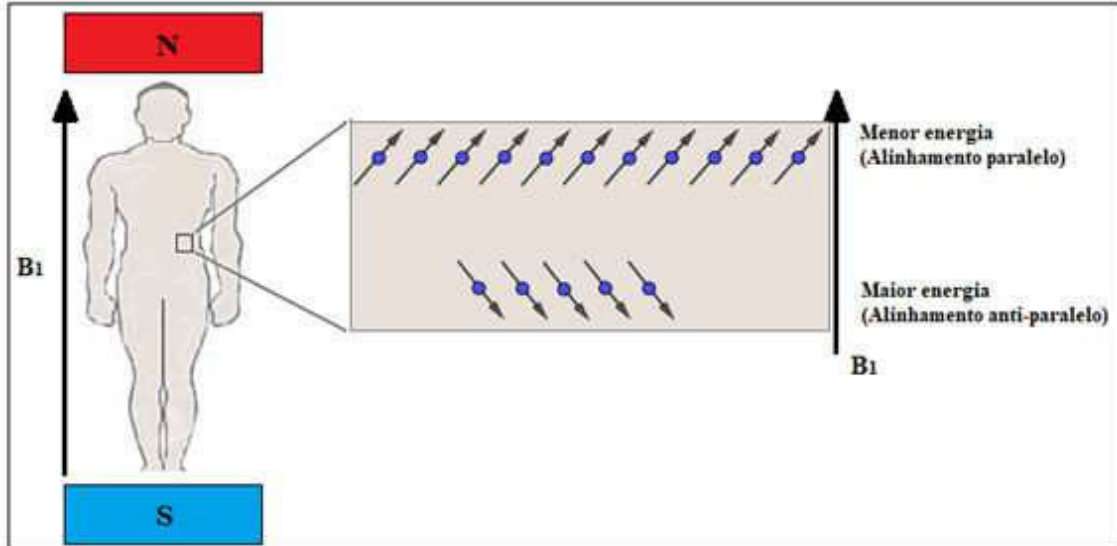
Fonte: Elaborado pelo autor

Os núcleos tendem a se alinhar na mesma direção do campo nos sentidos paralelo e antiparalelo quando submetido a um forte campo magnético estático B_1 , conforme mostra a Figura 4. Então, quando os núcleos são postos na presença de um campo magnético de alta intensidade, eles se desdobram em $2s + 1$ níveis de energia diferentes para os prótons $s = \frac{1}{2}$. A energia do dipolo é definida como $E = -\mu B_1 \cos\theta$. Quando μ está no mesmo sentido de B_1 , $\theta = 0^\circ$ e a energia é a menor possível $E_1 = -\mu B_1$. Para $\theta = 180^\circ$, μ está no sentido contrário B_1 , a energia é a maior possível, $E_2 = \mu B_1$. Então a diferença entre esses dois estados adjacentes de energia é dada pela expressão.

$$\Delta E = \mu B_1 - (-\mu B_1) = 2\mu B_1, \quad (30)$$

em que ΔE é a diferença de energia entre os estados, μ é o momento magnético e B_1 o campo magnético externo.

Figura 6 - Prótons de hidrogênio sob a ação do campo magnético externo. Os prótons se distribuem em dois níveis de energia, sendo que um número maior de prótons se alinha paralelamente



Fonte: Elaborado pelo autor

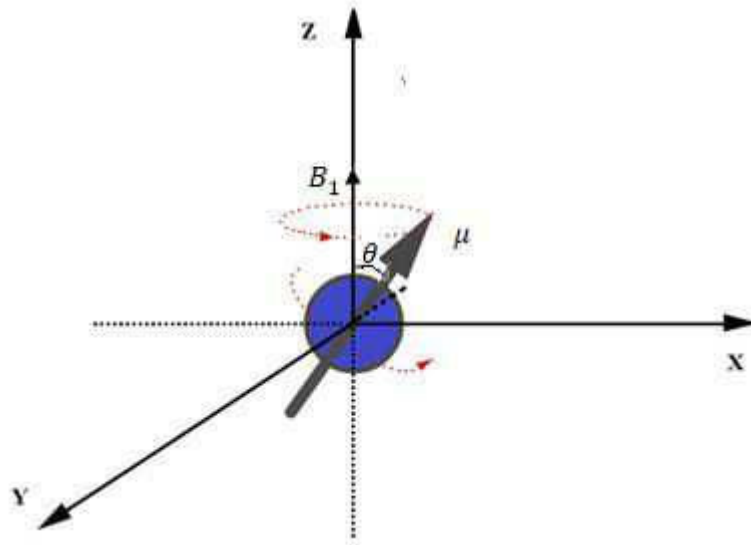
Essas duas orientações, paralela e antiparalela, caracterizam os dois níveis de energia que o núcleo de hidrogênio apresenta, o de menor energia, alinhamento paralelo, e de maior energia, alinhamento antiparalelo. Estes níveis são ordenados conforme a distribuição de Boltzmann, dada pela expressão

$$\frac{N_P}{N_{AP}} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}, \quad (31)$$

em que N_P é o número de spins paralelamente alinhados, N_{AP} é o número de spins alinhados de forma antiparalela, ΔE é energia entre os níveis, K é a constante de Boltzmann e T é a temperatura dada na escala Kelvin.

Na busca pelo alinhamento com o campo magnético externo B_1 e por executar o movimento associado ao spin, os núcleos acabam realizando um movimento resultante denominado de precessão, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 - Núcleo de hidrogênio realizando movimento de precessão.



Fonte: Elaborado pelo autor

Quando uma espira é percorrida por uma corrente elétrica é submetida a um campo magnético B_1 ela fica sujeita a um torque τ igual a:

$$\tau = \mu \times B_1 = \mu B_1 \text{sen}\theta. \quad (32)$$

Sabe-se também que o torque é igual a variação do momento angular, logo

$$\tau = \frac{dL}{dt}. \quad (33)$$

De acordo com a Figura 7, dL pode ser escrito como

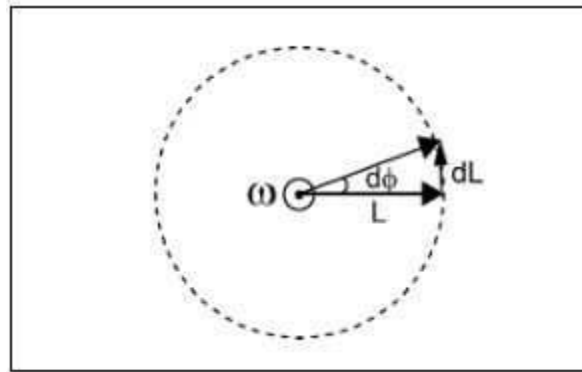
$$dL = Ld\phi. \quad (34)$$

tal que a equação (33) possa ser reescrita como

$$\tau = L \frac{d\phi}{dt} = L\omega. \quad (35)$$

com $\omega = d\phi/dt$.

Figura 8 - Plano XY visto de cima.



Fonte: Elaborado pelo autor

Igualando as equações (32) e (35) e considerando $\theta = 90^\circ$, teremos

$$L\omega = \mu B_1. \quad (36)$$

Fazendo $\mu = \gamma L$, obteremos que

$$\omega = \gamma B_1, \quad (37)$$

em que ω é denominada de frequência de Larmor ou frequência de precessão, γ é a razão giromagnética e B_1 é o campo magnético externo e uniforme. Esta equação é denominada de Equação de Larmor em homenagem ao físico inglês Joseph Larmor (1857 - 1942) e mostra que a frequência de precessão é diretamente proporcional ao campo magnético, ou seja, indica que para qualquer alteração no campo B_1 ocorrerá consequentemente uma modificação na frequência de Larmor que é, também, de fundamental importância para o entendimento do fenômeno da ressonância magnética.

Então, para o átomo de hidrogênio em que a razão giromagnética é 42 MHz/T, teremos para um campo magnético externo de 1,5 T de intensidade com a frequência de Larmor igual a 63,9 MHz ($63,9 \times 10^6 \text{ Hz}$). Portanto, esse valor está dentro do intervalo de frequência de uma onda de rádio ou radiofrequência RF, que é um tipo de onda eletromagnética.

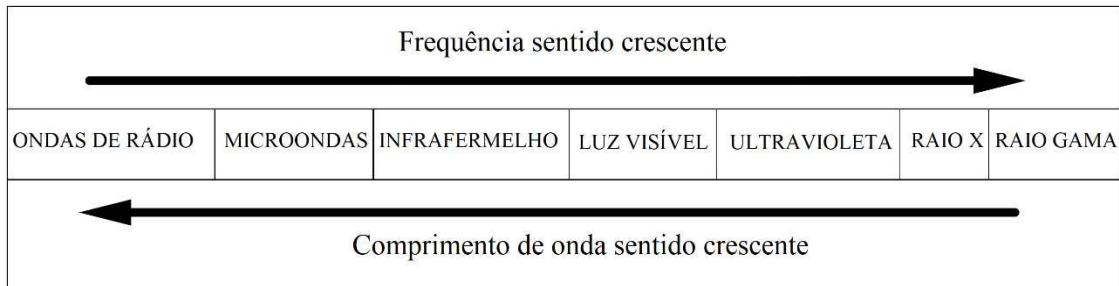
Ondas Eletromagnéticas (OE's) são formadas pelas combinações de campo elétrico e campo magnético oscilantes, em que a variação do campo elétrico induz o surgimento do campo magnético e a pulsação do campo magnético produz o campo elétrico. Esses efeitos estão previstos na lei de Faraday com contrapartida do físico e matemático britânico James Clerk Maxwell (1831 – 1879), na lei de Ampère-Maxwell, reconhecidas como duas das quatro equações de Maxwell (TIPLER; MOSCA, 2006).

Nas ondas eletromagnéticas os campos elétrico e magnético são perpendiculares entre si, o que significa que as OE's são ondas transversais, ou seja, podem ser polarizadas; os campos elétrico e magnético se retroalimentam e possuem uma velocidade limite denominada

de velocidade da luz, que no vácuo é igual a $300.000,00 \text{ m/s}$ (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016b).

O conjunto formado por todas as ondas eletromagnéticas conhecidas é denominado de espectro eletromagnético, que de forma esquemática é mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Espectro eletromagnético



Fonte: Elaborado pelo autor

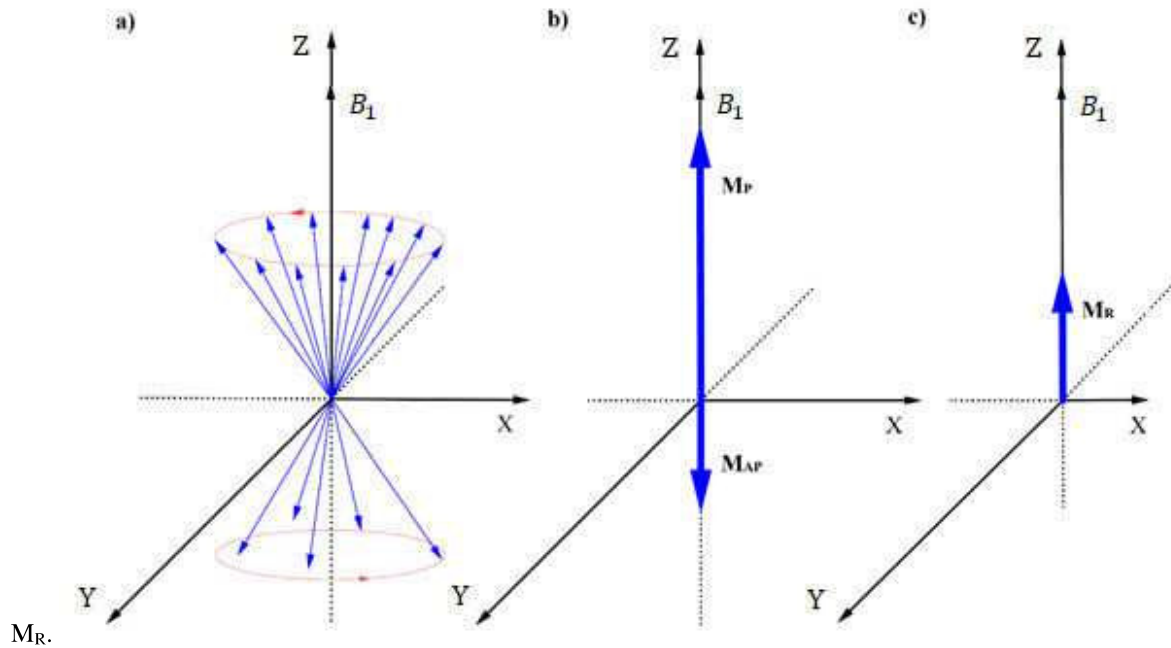
As ondas eletromagnéticas possuem diversas aplicações tecnológicas no nosso cotidiano baseado, em princípio, na interação delas com os corpos, como nos raios-X, ou no transporte de energia ou, informação, como em transmissões via satélite. Essas aplicações estão distribuídas por todo o espectro eletromagnético, desde as frequências mais elevadas, que equivalem aos menores comprimentos de onda, até as frequências mais baixas, com os maiores comprimentos de onda.

As ondas de rádio, que são objetos de nosso interesse, são OE's de baixa frequência e conseqüentemente baixa energia, portanto, não ionizantes, uma vez que não provocam riscos à saúde. Muito utilizadas nas comunicações, essas ondas, possuem uma faixa de frequências em Hertz na ordem de 10^4 a 10^8 (HEWITT, 2015), e, portanto, por possuir frequência nessa ordem é fundamental para a ocorrência da RMN.

Já as radiações ditas ionizantes, por exemplo o raio X, são OE's de alta energia e dependendo das condições de uso podem causar lesões nas células ou até mesmo a morte dela. Esse tipo de radiação ao incidir no material orgânico desfaz a ligação molecular gerando radicais livres, conjunto de átomos que possuem elétrons desemparelhados, que se conectam as estruturas biológicas provocando estragos irreversíveis.

Quando uma amostra do tecido está sujeita ao campo magnético externo B_1 , o efeito sobre os spins dos prótons de hidrogênios irá provocar uma magnetização resultante que possuirá componentes horizontais ao longo do campo magnético (veja ilustração da Figura 10). Considerando que uma amostra possua 17 núcleos de hidrogênios e que o campo magnético esteja aplicado ao longo do eixo Z.

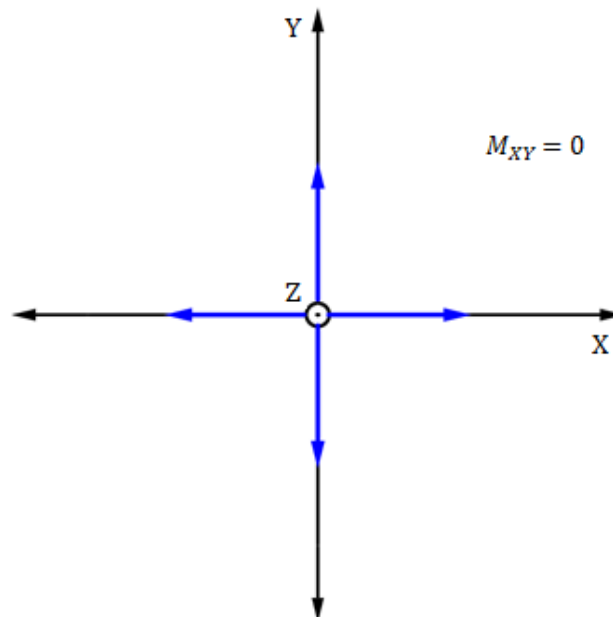
Figura 10 - a) Spins precessando e alinhados paralelo e antiparalelo ao campo magnético externo aplicado (eixo z). b) Vetor magnetização resultante paralelamente M_P e anteparalelamente M_{AP} . c) Vetor magnetização resultante



Fonte: Elaborado pelo autor

Apesar de todos os momentos magnéticos possuírem individualmente a mesma frequência eles não apresentam coerência de fase, ou seja, eles estão em posições distintas. Portanto, não dispõem de componentes de magnetização no plano XY como mostra a Figura 11.

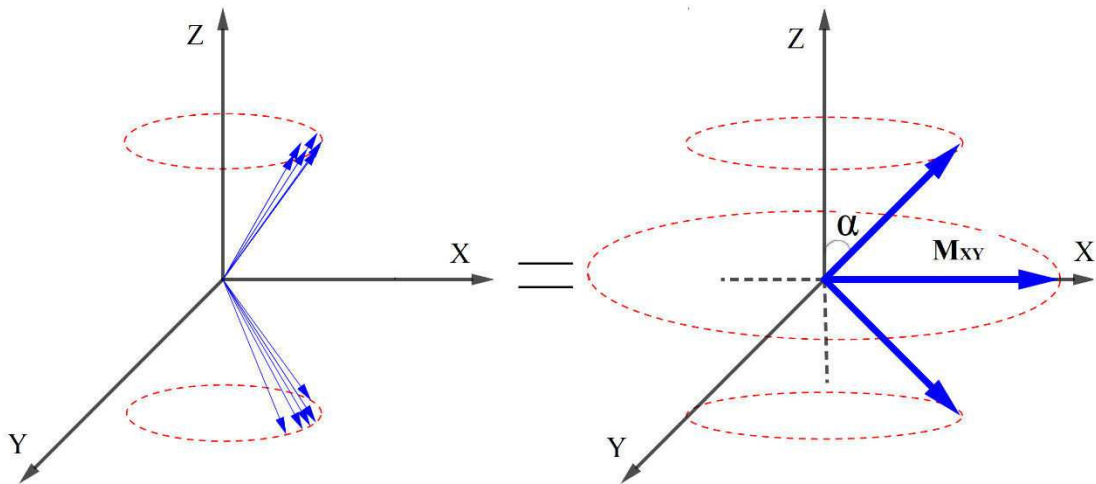
Figura 11 - Plano XY visto de cima $M_{XY} = 0$.



Fonte: Elaborado pelo autor

Isso significa que nesse plano não há variação do fluxo magnético, logo para se ter uma corrente induzida em uma bobina posicionada perpendicularmente ao plano transversal (XY) se faz necessário inclinar o vetor magnetização ao longo do eixo longitudinal (Z), e também, que todos os spins se movam na mesma posição para se ter o máximo de sinal induzido na bobina, conforme ilustra a Figura 12.

Figura 12 - Spins em fase e $M_{XY} \neq 0$



Fonte: Elaborado pelo autor

Para provocar esses efeitos na amostra lança-se mão de um segundo campo magnético B_2 (pulso de radiofrequência), que deve ser perpendicular a B_1 e deve estar em fase com a frequência de precessão. Com isso, o vetor magnetização que tinha movimento de precessão somente no eixo Z, também irá apresentar precessão no eixo X.

Assim, quando se emite um pulso de radiofrequência com energia igual ao gradiente de energia entre os estados de maior e menor energia, os núcleos de energia mais baixa ao absorver a energia desse fóton, partícula constituinte da luz que conduz a energia contida nas OE's, por ressonância, "saltam" para o estado de energia mais elevado até que o número spins com alinhamento paralelo se iguale ao de spins com alinhamento antiparalelo. Quando isso ocorre se pode dizer que sistema está em RMN.

Para ocorrer RMN, a energia do fóton ($E = hf$), em que h é a constante de Planck e f é a frequência da OE's, tem que se igualar à diferença de energia entre o estado de maior e menor energia, tal que

$$E = hf = 2\mu B_1. \quad (38)$$

Aplicando a definição de dipolo magnético teremos que a equação (38) pode ser reescrita como

$$hf = 2\gamma LB_1, \quad (39)$$

tal que o momento angular L só pode apontar em certas direções em relação ao eixo Z .

Para o momento angular temos que o número quântico magnético orbital m_l atribui valores permitidos para L_z , conforme a relação

$$L_z = m_l \hbar. \quad (40)$$

De forma semelhante, o momento angular de spin S é quantizado e especificado pelo seu número quântico magnético de spin m_s , que pode ser $\pm 1/2$. Por analogia, com o momento angular orbital, tem-se que

$$S_z = m_s \hbar = \pm \frac{1}{2} \hbar. \quad (41)$$

Já que os dois são momentos angulares, pode-se trocar L_z por S_z , substituindo-se a equação (43) na equação (41), em que $\hbar = h/2\pi$ e $f = \omega/2\pi$, tal que

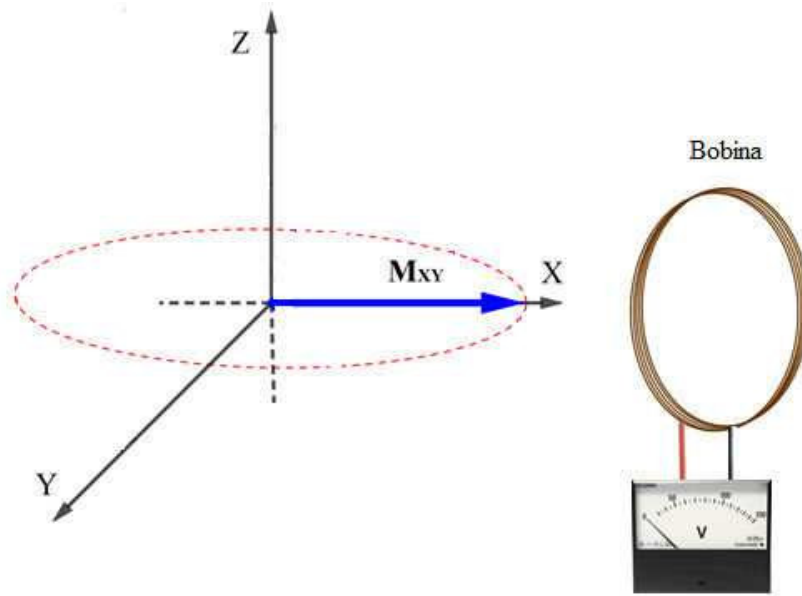
$$\omega = \gamma B_1, \quad (42)$$

que é a equação de Larmor. Portanto, para ocorrer o fenômeno da RMN é preciso que a frequência dos pulsos de campo magnético B_2 (ondas de rádio) tenham que ser igual à frequência de precessão dos núcleos de hidrogênio, que é a mesma frequência relacionada a diferença de energia entre os estados de maior e menor energia ($f = \Delta E/h$).

A aplicação do campo magnético B_2 tem basicamente duas funções, uma delas é o fornecimento de energia, cujo vetor magnetização é deslocado totalmente ou em partes para o plano transversal (XY), e a outra é ocasionar provisoriamente que os prótons parecessem em fase no plano XY.

Com a utilização do pulso B_2 , o vetor magnetização é deslocado para o plano XY e uma bobina, devidamente ali colocada, detectará esse movimento, pois uma voltagem induzida aparecerá nessas espiras, conforme a lei de Faraday (Figura 13). Essa tensão será convertida em um sinal de RMN.

Figura 13 - Sinal induzido na bobina.



Fonte: Elaborado pelo autor

Quando finalizado o pulso B_2 , o vetor magnetização retorna a sua configuração inicial de equilíbrio (plano longitudinal) e isso se dá devido as interações entre spin – rede (sua vizinhança) e spin-spin, pois os movimentos de precessão e o deslocamento no plano transversal são amortecidos devido as perdas de energias ocasionadas por essas interações. Esses dois processos de relaxação, spin-rede e spin-spin, são descritos pelos parâmetros T_1 e T_2 .

A especificação que representa o tempo que o vetor magnetização leva para retornar ao plano longitudinal devido à interação spin-rede é denominada de T_1 , que é uma constante tocante que depende do tecido da amostra dada pela abaixo

$$M_Z = M_R \left(1 - e^{-t/T_1}\right), \quad (43)$$

em que M_Z é o vetor de magnetização em relação ao tempo t e M_R é a magnetização inicial, ou seja, antes da aplicação do campo B_2 . Então, dependendo do tipo de tecido, ou seja do parâmetro T_1 , tem-se uma magnetização longitudinal mais rápida para pequenos valores de T_1 ou mais lenta para T_1 mais elevados.

Se considerarmos $t = T_1$, encontraremos que

$$M_Z = M_R \left(1 - e^{-T_1/T_1}\right) = M_R(1 - 0,37) \Rightarrow M_Z = 0,63M_R. \quad (44)$$

Então, para a magnetização ao longo do eixo Z, obter 63% do seu valor original é preciso um tempo T_1 .

Já o parâmetro que simboliza a diminuição temporal da magnetização transversal e que é influenciado pela interação spin-spin é denominado de T_2 , que é uma constante

característica do tecido. Durante a relaxação transversal, os momentos magnéticos perdem coerência de fase e começam o movimento de precessão com frequências discretamente diferentes, logo quando dois spins estão próximos, o campo magnético de um influencia o comportamento do campo magnético do outro ocasionando variações no campo magnético local, provocando mudanças de velocidade de precessão e, conseqüentemente defasagem. A relaxação transversal possui uma expressão parecida com a longitudinal e é dada por

$$M_{XY} = M_R e^{-t/T_2}, \quad (45)$$

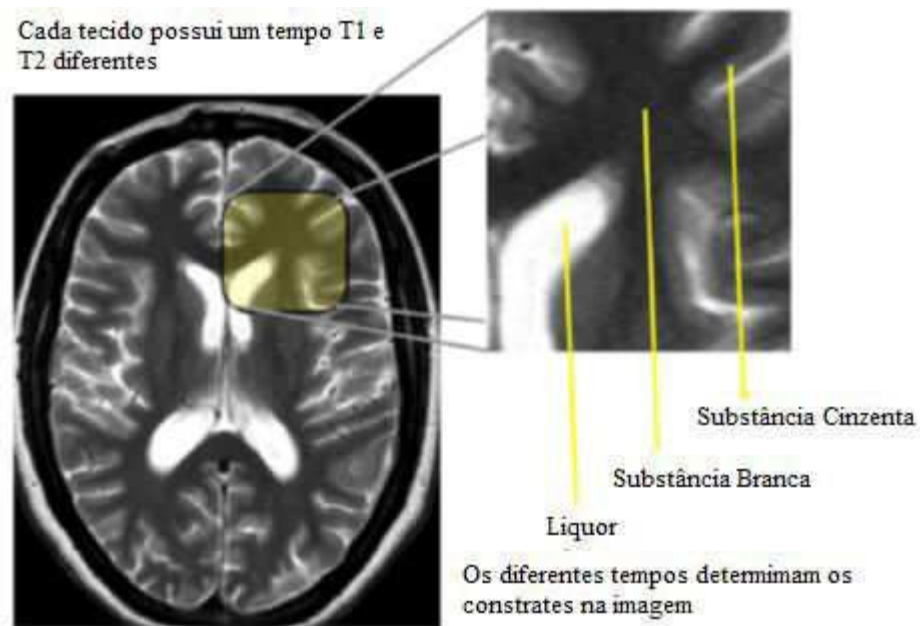
em que M_{XY} é a magnetização transversal em relação t , M_R magnetização inicial e T_2 é uma constante que especifica a queda da magnetização transversal por conta da defasagem dos spins. Esta expressão indica que para valores de T_2 maiores, a relaxação transversal é mais lenta e para valores de T_2 menores a relaxação é mais rápida.

Da equação (45), fazendo $t = T_2$, tem-se que

$$M_{XY} = 0,37M_R. \quad (46)$$

Portanto, T_2 é o tempo necessário para que a magnetização no plano transversal atinja 37% do seu valor inicial. Assim, através da decodificação dos parâmetros T_1 e T_2 e da diferença entre esses tempos de relaxação, pode-se produzir contraste na imagem entre os tecidos que compõem a amostra (veja Figura 14)

Figura 14 - Imagem turbo spin eco ponderada em T_2 , mostrando na imagem ampliada a resolução de contraste obtida devido às diferenças nos tempos T_2 entre os tecidos envolvidos



Fonte: (MAZZOLA, 2009, P.122).

Para um campo magnético de 1,5 T, os parâmetros de tempo T_1 e T_2 para diversos tecidos estão representados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tempos de relaxação T_1 e T_2 aproximados para diversos tecidos do corpo humano a 1,5 T.

Tecido	T_1 (ms)	T_2 (ms)
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

Fonte: (MAZZOLA, 2009, P.121).

De uma maneira mais sintética, a obtenção da imagem por RMN é concebida pela seguinte fases: o paciente ou amostra é posicionado na parte interna do aparelho de RMN, ou seja, no interior do magneto; os prótons de hidrogênio desse paciente buscam o alinhamento na direção do campo magnético gerado pelo magneto, produzindo dessa forma uma vetor magnetização; gradientes de campo magnético são aplicados para a identificação da posição espacial dos sinais que serão obtidos; pulsos de RF são gerados e os núcleos atômicos adquirem energia; em seguida, começa a surgir relaxação T_1 e T_2 ; os prótons induzem o sinal de RM nas bobinas receptoras; o sinal de RM é processado através da transformada de Fourier e a imagem é formada ponto a ponto numa matriz (MAGALHAES, 1999).

4 O PRODUTO EDUCACIONAL

Este capítulo descreve como será realizada a investigação, esclarecendo a abordagem metodológica escolhida, assim como o contexto do estudo e os participantes da pesquisa. Descreve, também, a aplicação da UEPS, os instrumentos de coleta de dados e as técnicas utilizadas para analisar os dados coletados.

4.1 Referencial metodológico

No momento que se trata da pesquisa no campo da educação, sobretudo sobre a aprendizagem significativa, tem-se que levar em consideração que existem várias evidências qualitativas que precisam ser utilizadas no procedimento investigativo, sendo essencial observar e registrar os eventos, entender os dados à luz da teoria, princípios e conceitos da aprendizagem significativa. Nesse aspecto, para avaliar a construção de significados de um ser social, é necessário dar importância às suas ações e interações no contexto social da sala de aula e na escola, e para tal tarefa, a metodologia de pesquisa qualitativa descritiva se torna mais apropriada (LÜDKE; ANDRÉ, 2013).

Quando o enfoque da pesquisa é qualitativo, o pesquisador trata de interpretar os significados que os sujeitos atribuem às suas ações na convivência em sociedade, incluindo a sua própria participação enquanto investigador, o que não o impede de coletar e transformar dados.

O pesquisador qualitativo também transforma dados e eventualmente faz uso de sumários, classificações e tabelas, mas a estatística que usa é predominantemente descritiva. Ele não está preocupado em fazer inferências estatísticas, seu enfoque é descritivo e interpretativo ao invés de explanatório ou preditivo (MOREIRA, 2011a, p. 50).

Segundo Yin (2016), a pesquisa qualitativa que investiga o ensino escolar deve ser entendida como uma ação de aprender, visto que, acontece ao longo do que se passa na sala de aula. Desta forma, ela se encontra associada a um ambiente mais amplo, isto é, a escola.

Nesse contexto, os fatos examinados pela presente investigação são os casos, os acontecimentos, as situações que ocorreram no contexto de aprendizagem materializados nos registros, anotações em caderno de observações, na elaboração de mapas conceituais, em respostas a testes, entre outras ferramentas existentes.

Na tentativa de melhorar a compreensão da abordagem qualitativa podemos contrapor-la a abordagem quantitativa, pois

A pesquisa quantitativa está baseada em uma filosofia positivista que supõe a existência de fatos sociais com uma realidade objetiva independente das crenças dos indivíduos, enquanto que a qualitativa tem raízes em um paradigma segundo o qual a

realidade é socialmente construída [...] A pesquisa quantitativa procura explicar as causas de mudanças em fatos sociais, primordialmente através de medição objetiva e análise quantitativa, enquanto a qualitativa se preocupa mais com a compreensão do fenômeno social, segundo a perspectiva dos atores, através de participação na vida desses atores [...] A pesquisa quantitativa tipicamente emprega delineamentos experimentais ou correlacionais para reduzir erros, vieses e outros ruídos que impedem a clara percepção dos fatos sociais, enquanto o protótipo do estudo qualitativo é a etnografia [...] o pesquisador quantitativo ideal é desprendido para evitar viés, enquanto o pesquisador qualitativo fica ‘imerso’ no fenômeno de interesse (FIRESTONE, 1987, p.16-17).

Por conseguinte, esta pesquisa de mestrado tem como foco principal a elaboração de um material potencialmente significativo para estudos de conteúdos de Física em sala de aula, assim como a investigação da aprendizagem dos estudantes durante e após a aplicação desse material. Através da interação do professor com os sujeitos da pesquisa será utilizado o enfoque qualitativo, uma vez que o interesse é a busca de evidências de ocorrência da aprendizagem significativa dos estudantes sobre conceitos de Física relacionados à Ressonância Magnética.

Além da pesquisa qualitativa, fez-se necessária a pesquisa bibliográfica que está presente desde a preparação do projeto e continuará até o término deste trabalho, tendo como objetivo a reiteração da fundamentação teórica bem como o respaldo científico aos dados práticos pesquisados como uma forma de enriquecer e consolidar o trabalho.

A pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Embora em quase todos os estudos seja exigido algum tipo de trabalho desta natureza, há pesquisas desenvolvidas exclusivamente a partir de fontes bibliográficas (GIL, 2008, p.50).

O tipo de delineamento utilizado em nossa pesquisa foi quase experimental, que tem a forma:

$$O_1 X O_2 \quad (47)$$

em que O_1 é um grupo ou a amostra submetida ao pré-teste, X é o tratamento que o grupo vai ser submetido e O_2 é o grupo depois do tratamento e submetido ao pós-teste.

Neste delineamento, trabalha-se com um grupo, e os sujeitos da pesquisa são os componentes desse grupo, ou seja, os alunos. Aplica-se o pré-teste O_1 , logo após se submete essa turma ao tratamento X , que no caso desta pesquisa é uma sequência didática denominada de UEPS, em seguida, aplica-se o pós-teste O_2 . Assim sendo, O_1 e O_2 representam que o mesmo grupo foi analisado antes e depois do emprego do material instrucional (MI). O pré e o pós testes podem ser iguais e as diferenças entre os resultados encontrados antes e depois da aplicação do MI pode fornecer evidências exitosas ou não sobre do tratamento X (CAMPBELL e STANLEY, 1979).

4.2 O contexto do estudo

A implementação do trabalho em sala de aula tem por base o desenvolvimento, aplicação e avaliação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) sobre tópicos de Física Moderna e Contemporânea (campo magnético, ondas eletromagnéticas, espectro eletromagnético, spin e ressonância) relacionados à RM para alunos da terceira série do ensino médio.

A escola escolhida para a aplicação da proposta foi o Centro de Ensino “Cidade de São Luís”, localizado na cidade de São Luís – MA, por atuar profissionalmente nela. A escola pertencente a Unidade Regional de Educação São Luís (URE S. Luís) e, por conseguinte à Rede Estadual de Ensino do Estado do Maranhão. Atualmente, a escola possui um total de cento e três (103) professores, todos efetivos. Eles atendem um total de um mil quinhentos e cinquenta e seis (1556) estudantes, sendo um mil cento e noventa e sete (1197) matriculados no ensino médio regular, trezentos e vinte quatro (324) matriculados no EJA médio, e trinta e cinco (35) no EJA fundamental. Esses estudantes estão distribuídos em trinta e oito (38) turmas e um total de seiscentos e sessenta e sete (677) estudantes no turno matutino, sete (7) turmas e um total de trezentos e setenta e dois (372) estudantes no turno vespertino e quatorze (14) turmas e um total de quinhentos e sete (7) estudantes no turno noturno. Para atender a toda esta demanda, a escola possui uma infraestrutura de vinte quatro (24) salas de aulas todas climatizadas, um (01) laboratório de informática (desativado), um (01) laboratório de ciência, uma (01) biblioteca, uma (01) sala de vídeo com tv e Datashow, um (01) auditório, uma (01) cantina e uma (01) quadra de esporte.

4.2.1 Os participantes da pesquisa

O trabalho foi aplicado em duas turmas do turno matutino denominadas de 3° A e 3° B, num total de oitenta (80) alunos da terceira série do ensino médio do CEM “Cidade de São Luís” durante o terceiro e o quarto bimestres de 2020.

4.2.2 Os instrumentos de coleta de dados

4.2.2.1 Questionários pré-teste e pós-teste

Com o objetivo de identificar os conceitos relevantes já armazenados na estrutura cognitivas dos alunos, elaboramos um questionário denominado pré-teste (apêndice A). Este questionário contém 23 itens sobre conteúdos de Física Básica relacionados à Ressonância Magnética, o referido instrumento de coleta de dados não tem a finalidade de atribuir uma nota

ao estudante, mas sim que, o mesmo através das respostas apresentadas, pudesse externalizar os seus conhecimentos prévios.

O pós-teste irá corresponder a avaliação somativa individual proposta por Moreira (2011b) após o sexto passo (aula expositiva dialogada integradora) da UEPS. Esse instrumento é composto pelas últimas sete questões do pré-teste, em que o alunado tem a oportunidade de expressar seus conhecimentos, evidenciando os conceitos e os significados assimilados durante a aplicação do MI.

4.2.3 Diário de bordo do professor

Para acompanhamento do desenvolvimento da prática pedagógica proposta adotamos também como instrumento de coleta de dados o diário de bordo do professor para registrar as reflexões do professor durante a aplicação do MI dando ênfase as causas e efeitos que influenciaram o desenvolvimento do trabalho e, se for o caso, para possíveis correções futuras do processo.

Cañete (2010) enfatiza que esse tipo de escrita está dentro de um grupo de documentos cujo objetivo é notabilizar a prática pedagógica transpassando a escrita administrativa do diário de classe e do planejamento, e organiza as reflexões pessoais sobre as iniciativas do trabalho e dá ao professor uma perspectiva das atividades desenvolvidas possibilitando o (re)pensar e o (re)fazer pedagógico.

A análise desse instrumento será feita conforme as considerações do professor/mestrando aos demonstrar suas observações no que se referem às reações dos estudantes bem como suas opiniões, sugestões e críticas.

4.2.4 Questionário de levantamento da opinião dos estudantes

O questionário de levantamento da opinião dos estudantes foi utilizado também como instrumento de coleta de dados com o propósito de averiguar a opinião dos alunos sobre o material instrucional e as atividades nele contidas, este contém dez questões, sendo oito objetivas e duas abertas. As indagações rezam sobre os seguintes aspectos:

- Conhecimento prévio do assunto;
- Resolução de exercícios;
- Entendimento dos conceitos,
- Atenção à aula;
- Responder as perguntas dirigidas à turma.

Logo após, os estudantes avaliaram através de conceitos as ferramentas utilizadas durante a aplicação do MI através das seguintes situações:

- Utilização de situação problema e exemplos;
- Utilização de experimentos;
- Simulação computacional;
- Vídeos;
- Lista de exercícios;
- Formatação do material.

As questões foram classificadas por uma escala graduada com os seguintes conceitos: muito ruim; ruim; regular; bom; muito bom. Para finalizar, foram feitas duas questões abertas nas quais foi colhida a opinião do estudante, que teve a total liberdade para colocar os pontos positivos, negativos e sugestões para possíveis melhorias, finalizando assim o questionário.

4.2.5 Mapa conceitual (MC)

De forma genérica, os mapas conceituais ou mapas de conceitos são diagramas que mostram relações entre os conceitos ou entre palavras que são usadas para representar tais conceitos. No MC as ideias mais gerais e mais abrangentes ficam no topo e os conceitos mais específicos e menos inclusivos devem ser colocados de forma subsequente. Estes vão se agregando aos demais até completar o diagrama de acordo com o princípio da diferenciação progressiva. Os mapas conceituais são instrumentos centrados no aluno e não no professor (NOVAK; GOWIN, 1984).

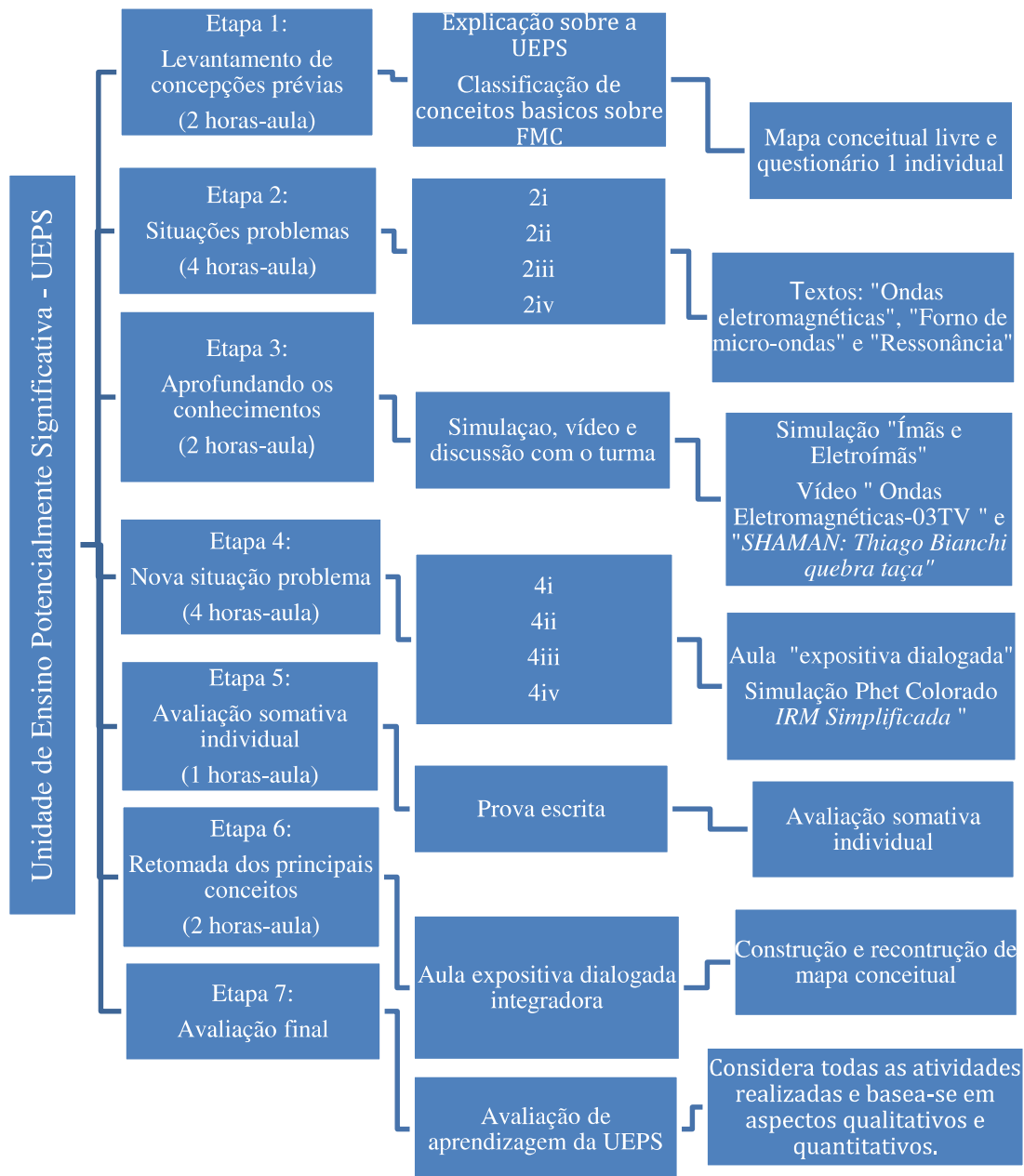
Para Mendonça (2012) os mapas conceituais podem ser utilizados como instrumentos de coleta de dados para investigar a estrutura cognitiva do estudante e possíveis alterações, ao longo da instrução. Portanto, é viável descobrir evidências de aprendizagem significativa analisando os mapas conceituais produzidos pelos alunos antes e depois da aplicação do MI.

A elaboração de um mapa conceitual necessita de um entendimento a respeito das ideias trazidas pelos conceitos. Dessa forma, caso não ocorra entendimento, a quantidade das proposições válidas e dos conceitos importantes no MC será pequena, entretanto, caso ocorra um acréscimo da quantidade dos conceitos fundamentais e do número de proposições válidas do primeiro para o segundo mapa, pode-se ter um indicador de aumento no entendimento das ideias trazidas pelos conceitos e, por conseguinte, um indício de ocorrência de aprendizagem significativa (MENDONÇA, 2012).

4.3 UEPS: Fundamentos físicos da ressonância magnética para o ensino médio

Esta UEPS foi elaborada para apresentar os fundamentos Físicos da Ressonância Magnética para duas turmas do terceiro ano do Ensino Médio regular do Centro de Ensino Cidade de São Luís ao longo de 15 aulas de 50 minutos. A Figura 15 mostra o fluxograma da UEPS proposta neste trabalho.

Figura 15 - Ressonância Magnética: Uma proposta de aprendizagem por meio de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa.



4.3.1 Etapa pré-UEPS

Na primeira etapa da UEPS foi feita uma breve introdução acerca dos fundamentos básicos de elaboração dos mapas conceituais para os alunos, utilizando alguns exemplos e definições. Para tanto, foi explorado o artigo “Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa” do professor Marco Antônio Moreira, na qual exemplifica e sugere alguns passos para a construção de um MC. Para essa etapa foi necessário 1 (uma) hora/aula.

A UEPS sobre tópicos de Física relacionados à Ressonância Magnética foi dividida em 8 etapas conforme a seguinte sequência:

- **Situação Inicial**

Com o objetivo de realizar um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema proposto nesta UEPS, e assim verificar a presença de subsunçores necessários para a ocorrência de aprendizagem significativa serão aplicados dois instrumentos: um questionário individual/pré-teste (apêndice A) e a produção de um mapa conceitual com uso de fichas com palavras-chaves relacionadas à Física Moderna e Contemporânea (FMC), (campo elétrico, campo magnético, spin, onda, partícula, fóton, frequência, comprimento de onda, radiação eletromagnética). Nessa construção do MC os alunos puderam associar livremente tais palavras, seguindo seus próprios critérios. Esta atividade foi realizada em grupos de no máximo quatro alunos e ao final desta etapa, cada grupo entregou o seu mapa conceitual ao Professor/Pesquisador. O período dessa etapa foi de 2 (duas) horas/aula.

- **Situações problemas iniciais**

Neste momento os alunos foram divididos em grupos, preferencialmente os mesmos grupos da etapa anterior, e eles tiveram que responder as seguintes questões:

- i) Por que alguns materiais, por exemplo, o ferro, quando colocados próximo de um ímã sofrem força de atração, enquanto outros materiais não?
- ii) Como explicar que um(a) cantor(a) lírico consegue quebrar uma taça de vidro usando apenas a voz?
- iii) Como explicar o funcionamento de forno de micro-ondas?
- iv) Como é feito o exame de ressonância magnética? Para que serve?

Após responderem essas questões, os grupos compartilharam suas respostas a partir de apresentação oral, a fim de que todos pudessem, sob a supervisão do professor, discutir as respostas dadas a cada questão. Em seguida, os alunos realizaram a leitura dos textos.

Em grupo, os alunos destacaram as palavras não compreendidas e, elaboraram e responderam seis questões dos referidos textos. Essas questões e suas respectivas respostas foram apresentadas ao grande grupo. Esta etapa necessitou de quatro horas/aula.

- **Aprofundando os conhecimentos**

Nesta etapa utilizamos uma simulação computacional encontrada no simulador PhET da Universidade do Colorado sobre campo eletromagnético. A simulação escolhida foi

“Ímãs e Eletroímã”¹. Também foram exibidos dois vídeos: “Ondas Eletromagnéticas-03TV”², cuja duração é de 8 minutos e 52 segundos; “SHAMAN: Thiago Bianchi quebra taça”³ de 2 minutos e 12 segundos de duração. Após assistir cada vídeo instrucional, o professor juntamente com os alunos estruturou os novos conteúdos buscando uma correlação com os conceitos das etapas anteriores permitindo assim que os alunos revisitassem as respostas apresentadas para que possa reformulá-las ou até mesmo consolidá-las. Na sequência os alunos apresentaram ao professor um resumo acerca de tudo que já foi discutido sobre o tema até o presente momento. Essa etapa está compreendida em duas horas/aula.

- **Nova situação problema**

Os alunos em grupo apresentaram explicações para as seguintes situações problemas:

- i) Quais são os principais conceitos físicos relacionados à ressonância magnética e descreva cada um deles?
- ii) O que acontece com os prótons, por exemplo, do átomo de hidrogênio quando submetidos a um campo magnético externo muito intenso?
- iii) Como ocorre a formação de imagem por ressonância magnética?
- iv) Quais os cuidados ao se fazer um exame médico por ressonância magnética?

Para dar conta dessas novas situações problema, visando dar suporte aos alunos para resolvê-las, o professor apresentou por meio de slides (apresentação em PowerPoint) todo o formalismo matemático apropriado, uma simulação computacional do site Phet Colorado sobre Imagem por Ressonância Magnética (MRI) Simplificada⁴. Posteriormente foi proposto pelo professor, que em grupo, os alunos elaborassem um mapa conceitual sobre os princípios físicos da RM considerando os conceitos fundamentais e suas aplicações. Esta etapa foi desenvolvida em quatro hora/aulas.

- **Avaliação somativa individual**

Baseado nos conteúdos desenvolvidos nesta UEPS, os alunos foram submetidos a uma avaliação denominada de questionário-2/pós-teste (apêndice B) contendo questões objetivas, tal atividade foi agendada com antecedência e feita de forma individual. A atividade foi desenvolvida em uma hora/aula.

¹ https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/magnets-and-electromagnets

² <https://www.youtube.com/watch?v=zFkaGmFZups&t=14s>

³ https://www.youtube.com/watch?v=P_GkI-Szwos

⁴ A IRM destacada é encontrada no site https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/mri

- **Aula expositiva dialogada integradora**

O professor, juntamente com os alunos, retomou todos os conceitos trabalhados desde a elaboração do mapa livre até a construção dos mapas conceituais pelos alunos a partir de um novo mapa a ser elaborado em conjunto professor-alunos. Esta etapa se caracteriza pela oportunidade de se discutir e rever todos estes conceitos e de ressaltar a evolução de todo o processo ao longo da UEPS. Neste momento o professor pode evidenciar a importância da RM e a diversidade de aplicações modernas que esta importante técnica permite. Esta etapa teve duração de duas horas/aula.

- **Avaliação da aprendizagem na UEPS**

Para a avaliação foi levada em consideração todas as atividades realizadas destacando os aspectos qualitativos e quantitativos, isto é, a elaboração dos mapas livre e conceitual; evolução do desempenho do aluno a partir da comparação entre estes mapas atribuindo uma nota para tal; entrega do resumo dos textos produzido em grupo na etapa 3; a participação nos debates e discussões propostas, além da avaliação somativa individual (pós-teste), totalizando, assim, 10 pontos.

- **Avaliação da própria UEPS**

Esta será realizada a partir da aplicação de uma pesquisa de opinião com os alunos sobre a UEPS, destacando a sua percepção sobre a sequência e a sua construção para a aprendizagem (duração de uma hora/aula). O professor de posse da avaliação dos alunos e dos resultados apresentados avaliará a UEPS, sem prejuízos da avaliação paralela que se faz ao longo de todo o processo, visando reformular algumas atividades sempre que necessário. Dentre outros aspectos, destaca-se nesta avaliação: a evolução do aprendizado dos alunos; o nível de envolvimento da turma e gestão de sala. As atividades desenvolvidas na UEPS contemplam o total de quinze horas/aula.

5 ANÁLISE DE DADOS

Este capítulo detalha como foi feita a análise dos resultados trazidos pelos instrumentos de coleta de dados e as técnicas utilizadas para avaliar esses resultados coletados, além de mostrar a sistematização desses resultados.

5.1 Análise qualitativa dos mapas conceituais

A análise qualitativa dos dados fornecidos pelos mapas de conceitos elaborados pelos alunos, antes e depois da aplicação do material instrucional (MI), foram avaliados segundo os parâmetros e técnicas de classificação estabelecidos por Mendonça (2012) em seu trabalho intitulado “**o uso do mapa conceitual progressivo como recurso facilitador da aprendizagem significativa em Ciências Naturais e Biologia**”. Os critérios de análise deste trabalho foram fundamentados no grau de hierarquia de diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

Nesse estudo, Mendonça (2012) estabeleceu que o objetivo maior seria analisar a influência que os mapas conceituais exercem em seus propósitos finais, que é o de promover a AS. Para tanto foram desenvolvidos cinco estudos na área das ciências naturais com conteúdo de diferentes tópicos e com ênfase nos conhecimentos específicos da Biologia, aplicados aos alunos do ensino fundamental I e II e licenciados em ciências biológicas em três instituições diferentes, localizadas no estado de Pernambuco.

Esses critérios de classificação com referência à nível de hierarquia de conceito foram fundamentados em conformidade com as proposições sobre avaliação de Novak (2000) e com a TAS de Ausubel (2002), destacando desta última, o princípio da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora. Tais critérios estão expostos no Quadro 1.

Quadro 1 - Categorias de análise da hierarquia, diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

Categorias	Características	Informações relevantes
Alta (A) Possui conceitos relevantes para compreensão do tema.	Contém informações conceituais relevantes; está bem hierarquizado, com o conceito incluso no topo, em seguida os intermediários e posteriormente os mais específicos e os exemplos.	Palavras de ligação adequadas; com ligações cruzadas; ausência de repetição de conceitos e informações supérfluas; proposições corretas, presença ou não de exemplos.

Média (M) Indica pouca compreensão do tema.	Apresenta alguns conceitos centrais do tema, mas com uma hierarquia apreciável.	As palavras de ligação e os conceitos não estão claros. Pode realizar ligações cruzadas ou não. Muitas informações detalhistas e a repetição de conceitos.
Baixa (B) Indica ausência de compreensão do tema.	Apresenta um ou dois conceitos centrais do tema; muito pobre em conceitos sobre o conteúdo trabalhado.	Possui hierarquia básica, demonstrando ou não sequências lineares e conhecimentos muito simples. Faltam relações cruzadas, com palavras de ligação; são muito simples.
Nula (N) Indica completa ausência de compreensão do tema	Não apresenta os conceitos centrais do tema; muito pobre em conceitos sobre o conteúdo trabalhado.	Não há uma hierarquia básica, demonstra sequências lineares e conhecimentos simples.

Fonte: Mendonça (p. 100, 2012)

No entanto, para realizar a análise da qualidade dos mapas, Mendonça (2012) adotou uma classificação utilizando três categorias: mapa bom, mapa regular e mapa deficitário. As caracterizações desses parâmetros estão configuradas no Quadro 2.

Quadro 2 - Categorias de análise da qualidade do mapa conceitual.

Categorias	Características	Informações relevantes
MC Bom (MB) Indica maior compreensão do tema.	Contém informações conceituais relevantes, está bem hierarquizado, com o conceito inclusor no topo, em seguida os intermediários e posteriormente os mais específicos.	Palavras de ligação adequadas; com ligações cruzadas; ausência de repetição de conceitos e informações supérfluas; proposições corretas.
MC Regular (MR)	Apresenta alguns conceitos centrais do tema,	As palavras de ligação e os conceitos não estão claros.

Indica pouca compreensão do tema.	mas com uma hierarquia apreciável.	Pode realizar ligações cruzadas ou não. Muitas informações detalhistas e a repetição de conceitos.
MC Deficiente (MD) Indica ausência de compreensão do tema.	Não apresenta os conceitos centrais do tema, muito pobre em conceitos sobre o conteúdo trabalhado.	Hierarquia básica, demonstrando sequências lineares e conhecimentos muito simples. Faltam relações cruzadas, com palavras de ligação; são muito simples.

Fonte - Mendonça (p. 101, 2012)

Os critérios qualitativos utilizados para classificar os mapas de conceitos produzidos pelos grupos de alunos e suas perspectivas definições são:

- **Conceitos** – são palavras colocadas nos mapas encontradas dentro de um retângulo ou círculo;
- **Conceitos Válidos** – são termos que se relacionam direta ou indiretamente ao conteúdo em estudo. Verbos não são aceitos como conceitos válidos bem como frases que não possuem clareza semântica;
- **Proposições** – são as relações estabelecidas graficamente através de uma linha entre dois ou mais conceitos, que podem ter ou não palavras de ligação;
- **Proposições Inválidas** – são as “linhas” com ou sem vocábulos de ligação que não apresentam sentido na relação entre os conceitos;
- **Relações Cruzadas** – são proposições que atravessam níveis hierárquicos, realizando uma ligação direta entre os lados;
- **Exemplos** – são modelos que ajudam a indicar uma aplicação direta do tópico/conceito.

Conforme os parâmetros de análise e classificação dos mapas conceituais desenvolvidos por Mendonça (2012) visualizados nos Quadro 1 e 2 e nos critérios e definições expostos, os MCs produzidos pelos alunos antes e depois do MI foram analisados e classificados e os resultados encontram dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos mapas conceituais desenvolvidos pelos grupos de estudantes.

Alunos	Mapas	HC	Critérios quantitativos						
			TC	CV	TP	PV	RCZ	EX	QM
A1	Antes	B	08	06	05	01	00	00	MD
	Depois	M	16	16	15	12	00	06	MB
A2	Antes	B	07	07	08	02	00	00	MD
	Depois	M	11	10	14	06	00	00	MR
A3	Antes	B	10	10	12	06	00	00	MD
	Depois	M	12	12	19	03	00	00	MR
A4	Antes	B	11	07	11	05	00	00	MD
	Depois	M	11	11	12	09	00	03	MR
A5	Antes	B	10	9	15	02	01	00	MR
	Depois	M	10	10	17	09	01	00	MB
A6	Antes	N	08	08	10	01	00	00	MD
	Depois	A	14	13	23	09	01	00	MB
A7	Antes	M	13	6	12	04	00	01	MR
	Depois	M	09	09	08	07	00	01	MR
A8	Antes	B	08	08	07	04	00	01	MR
	Depois	M	13	13	15	12	00	00	MR
A9	Antes	M	09	07	12	01	00	00	MD
	Depois	M	13	11	12	11	00	00	MR
A10	Antes	B	06	04	05	02	00	00	MD
	Depois	M	14	14	18	17	00	00	MB
A11	Antes	B	07	06	05	01	00	00	MD
	Depois	A	13	13	14	13	01	04	MB
A12	Antes	B	07	06	08	02	00	00	MD
	Depois	M	13	13	12	07	00	00	MR

Legenda: **HC** = Hierarquia Conceitual; **TC** = Total de Conceitos; **CV** = Conceitos Válidos; **TP** = Total de Proposições; **PV** = Proposições Válidas; **RCZ** = Relações Cruzadas; **EX** = Exemplos; **A** = Alta; **M** = Média; **B** = Baixa; **N** = Nula; **QM** = Qualidade do Mapa; **MB** = Mapa Bom; **MR** = Mapa Regular; **MD** = Mapa Deficiente.

Com os dados evidenciados na Tabela 2, fez-se uma análise dos mapas confeccionados pelos alunos com referência aos critérios quantitativos, à hierarquia conceitual e à qualidade dos mapas. A Tabela 3 apresenta o total de dados, os percentuais e a diferença de

percentagem dos valores numéricos, mostrados na Tabela 2 em relação aos critérios quantitativos.

Tabela 3 - Classificação dos mapas de acordo com os critérios quantitativos (CQ).

Critérios quantitativos	Conceitos, proposições, palavras cruzadas, exemplos.					
	TC (%)	CV (%)	TP (%)	PV (%)	RCZ (%)	EX (%)
Mapas antes	104	84	110	31	01	02
Mapas depois	149	145	179	115	03	14
Diferença (%)	45 (43,3)	61 (72,6)	69 (62,7)	84 (271)	02 (200)	12 (600)

Legenda: **TC** = Total de Conceitos; **CV** = Conceitos Válidos; **TP** = Total de Proposições; **PV** = Proposições Válidas; **RCZ** = Relações Cruzadas; **EX** = Exemplo.

Com referência ao total de conceitos (TC) apresentados pelos estudantes depois da utilização da sequência de ensino, verificamos um aumento 43,3%, e de 72,6% em relação aos conceitos válidos (CV), conforme mostra a Tabela 3. Esses resultados mostram que o MI pode ter guiado os alunos não só na elevação dos conceitos pré-existentes na sua estrutura cognitiva, como também a elencarem tais conceitos da maneira apropriada.

Entretanto, apropriar-se apenas dos conceitos não é suficiente, é necessário conectá-los entre si. E nesse sentido, verifica-se um ganho considerável no total de proposições (TP), principalmente de proposições válidas (PV). Isto é, nos mapas que antes apresentavam 31 PV de um universo de 110 proposições (TP), agora apresentam 115 proposições classificadas como válidas de um total de 179 proposições (TP). Esse aumento significativo nos mapas finais em relação aos iniciais, cerca de 62,7%, indica que houve aquisição na capacidade de associação de conceitos pelos alunos. Além disso, ao analisar o número de PV, constata-se que houve uma ampliação ainda maior alcançando um percentual de 271 %. Esse incremento maior no número de proposições válidas, em relação ao total de proposições, sinaliza que o material instrucional contribuiu positivamente no desenvolvimento da habilidade de relacionar conceitos com palavras de ligação adequada e com mais exatidão, fazendo com que esse conhecimento fosse apresentado de forma cientificamente mais adequada, o que pode ser um indício da AS.

Quanto às relações cruzadas (RCZ), temos um crescimento significativo de 200% em referência ao mapa anterior. Apesar disso, essa medida torna-se pouca expressiva, pois o número de RCZ nos mapas anteriores era apenas 1. No entanto, o aparecimento de RCZ em um mapa de conceitos pode configurar evidências da reconciliação integrativa. Na última coluna

da Tabela 3 temos os exemplos (EX), que antes eram 2 e que após o MI passaram para 14, apresentando em termos percentuais, um aumento de 600%.

Os dados apresentados nos MCs foram analisados também, conforme a **hierarquia conceitual**. Neste caso, contabilizou-se a quantidade de mapas com hierarquia nula, baixa, média e alta, antes e depois da UEPS. Tais resultados estão presentes na Tabela 4.

Tabela 4 - Número e percentual de Mapas desenvolvidos pelos estudantes antes e depois da instrução classificados quanto à hierarquia conceitual (HC).

Hierarquia Conceitual	Nula (%)	Baixa (%)	Média (%)	Alta (%)	Total (%)
Mapas antes	1 (8,3)	9 (75)	2 (16,7)	-	12 (100)
Mapas depois	-	-	10 (83,3)	2 (16,7)	12 (100)

As informações presentes na Tabela 4 mostram de forma genérica uma redução do número de MCs com hierarquia conceitual (HC) nula e baixa, assim com um aumento relevante na quantidade de MCs com HC média e alta. Estes resultados são tidos como importantes, na medida que o melhoramento na estrutura do MC e na HC são indicativos da ocorrência de diferenciação progressiva dos conceitos pelos sujeitos da pesquisa. Desta forma, esses dados sinalizam a existência da AS.

Em uma análise mais específica dos dados evidenciados nas Tabela 2 e 4 apenas dois alunos, A7 e A9, não apresentaram evolução na HC permanecendo com HC média, enquanto todos os outros apresentaram ampliação na hierarquia conceitual após a instrução com destaque para os alunos A6 e A11, que saíram da HC nula e baixa para alta. Já os outros tiveram melhora em um nível na HC, por exemplo, o estudante A1 de HC baixa para média.

Tabela 5 - Número (percentual) de mapas desenvolvidos pelos estudantes antes e depois da instrução classificados quanto à qualidade dos mapas (QM).

Qualidade dos Mapas	MD (%)	MR (%)	MB (%)	Total (%)
Antes	9 (75)	3 (25)	-	12 (100)
Depois	-	7 (58,3)	5 (41,7)	12 (100)

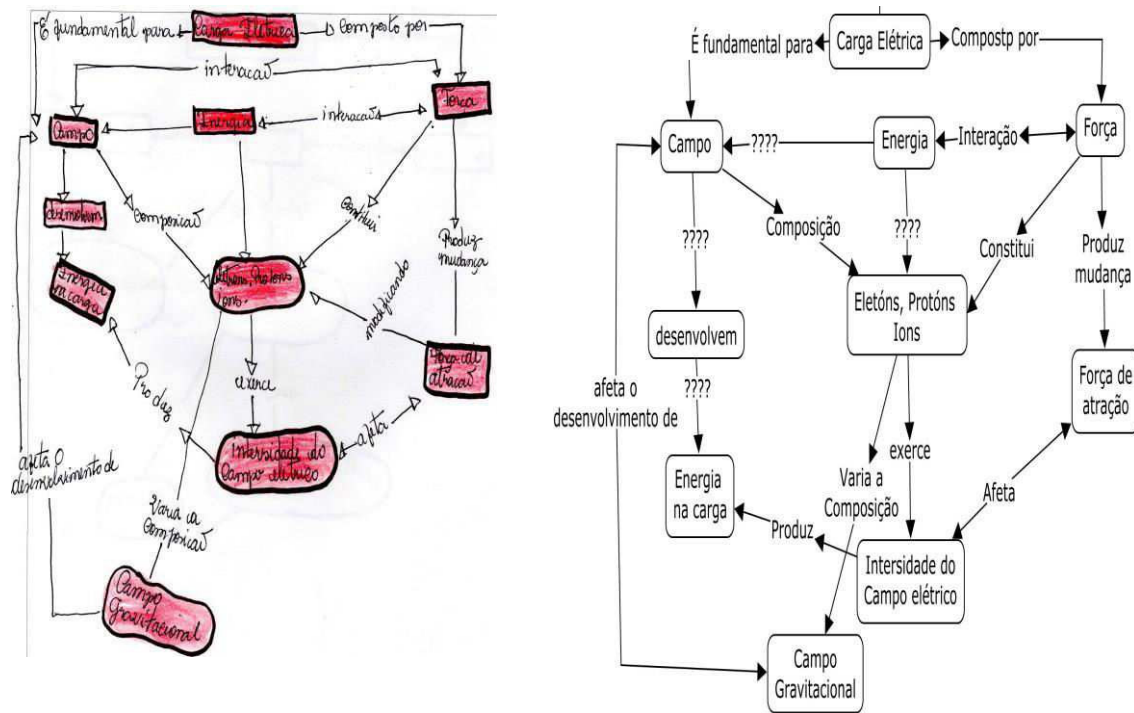
Legenda: MD = Mapa Deficitário; MR = Mapa Regular e MB = Mapa Bom.

Na Tabela 5 temos os MCs produzidos antes da matéria de ensino (ME) e percebe-se que, em grande parte, como deficitários MD. Entretanto, os MCs construídos depois da aplicação do ME diminuíram essa quantidade para 0, o que significa que 9 MCs, antes deficitários, elevaram a sua qualidade, por conseguinte, registra-se ainda um significativo incremento na quantidade dos MCs qualificados como regular MR, de 3 para 7, e o aparecimento de MCs categorizado como bom MB, de 0 para 5, isso depois da aplicação sequêcia de ensino.

Com o objetivo de elucidar a forma como foi desenvolvida a categorização dos MCs analisados neste trabalho, foram considerados dois mapas conceituais construídos pelos estudantes antes e depois da utilização da ME.

A Figura 16 exibe o MC inicial confeccionado pelo aluno A5, o qual apresenta hierarquia conceitual baixa (B), o que implica em poucos conceitos essenciais para o estudo, pois há pouca hierarquização e ausência de palavras de ligação. Consta-se também, entre outras coisas, que ele não privilegia a diferenciação progressiva, ou seja, ele não transita dos conceitos mais abrangentes encerrando com os mais restritos.

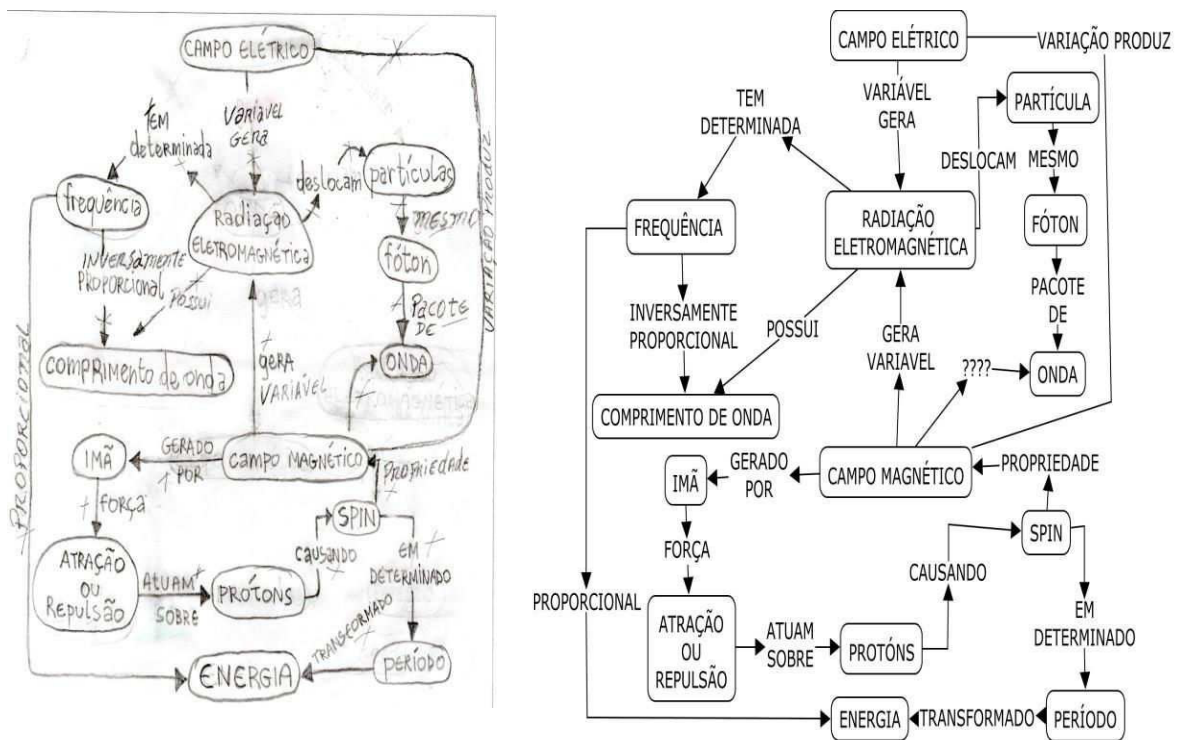
Figura 16 - Mapa Conceitual Inicial confeccionado pelo aluno A5 antes da instrução.



Na Figura 16 se constata, com referência a qualidade do MC, que este foi classificado como regular (MR), já que apresenta alguns conceitos importantes e as palavras de ligações não serem elucidativas, pois sinalizam pouco entendimento dos temas. A fim de mostrar um pouco mais sobre esses aspectos, o estudante apresenta 10 conceitos, dos quais 9 são válidos, apresenta 15 proposições, das quais 2 válidas, apresenta 1 ligação cruzada e não tem exemplos.

Na sequência analisamos um MC após a aplicação da ME ao destacar o trabalho desenvolvido pelo estudante A10 (Figura 17).

Figura 17 - Mapa conceitual confeccionado pelo aluno A10 depois da instrução.



Na Figura 17, verifica-se que o aluno posiciona o conceito de “campo elétrico” na parte superior e que a variação dele produz o “campo magnético”, e este gera uma “onda eletromagnética” que está ligada diretamente ao “comprimento de onda”, a “frequência” e a “partícula”, esta por sua vez ao “fóton” e conseqüentemente à “onda”, (...). O MC em questão possui 14 conceitos, todos relacionados ao tema (fundamentos físicos da ressonância magnética), portanto, todos válidos (TC = CV= 14). Observa-se ainda que do número total de proposições, apenas uma foi considerada inválida, não por apresentar falta de sentido, mas por não ter uma palavra de ligação (TP=18, PV =17); por não possui ligação cruzada e não ter exemplos. Este MC mostrou uma hierarquia conceitual apreciável (M) e foi qualificado como mapa bom (MB) segundo os critérios adotados por Mendonça (12) ilustrados nas Tabela 2 e 3.

5.1.1 Análise dos conceitos presentes nos mapas conceituais

Segundo Mendonça (2012), os conceitos contidos nos MCs produzidos pelos estudantes são indicadores que a inclusão desse instrumento colaborou na assimilação de significados. Vale ressaltar que é preciso analisar a categorização desses conceitos, sua evolução e suas relações. Portanto, se os novos conceitos apresentarem relação com o tópico proposto no estudo e, se mostrarem qualitativamente mais apropriados com

referência aos conceitos contidos nos mapas anteriores, é possível adotar essas decorrências como indicativos de ampliação da estrutura cognitiva do aprendiz, por conseguinte, facilitar absorção de significados.

Sob outra perspectiva, se o mapa inicial aponta os conceitos mais relevantes em relação ao tópico específico em estudo ou mostra que não houve evolução conceitual entre os MCs anteposto e posposto à utilização do ME, isso sinaliza que esse ME não trouxe ganhos conceituais para esses estudantes.

Os conceitos encontrados nos mapas conceituais foram agrupados e categorizados seguindo Libardi (2014), em que as palavras encontradas nos MCs foram divididas por grupos e cada um desses grupos de conceitos tinham características parecidas de significados. Estes conceitos foram classificados em grandeza física, fenômeno da natureza, objetos, relação matemática e outros. As categorizações desses grupos com suas definições estão delineadas no Quadro 3.

Quadro 3 - Categorias empregadas para classificar os grupos de palavras contidas no MC's a suas definições.

Categorias	Definição	Exemplos
Grandezas Físicas	Nesta categoria estão inseridos os conceitos que se enquadram como grandezas físicas, ou seja, tudo aquilo que é suscetível de avaliação, sendo esta realizada com instrumentos e expressa em padrões previamente definidos e aceitos pela comunidade científica (STEFFENS, VEIT E SILVEIRA, 2008)	Energia, frequência, entidade do campo magnético e comprimento de onda.
Fenômenos Naturais	Nesta categoria foram inseridos os conceitos que envolvem fenômenos Físicos. Fenômeno Físico é todo fato ou transformação que ocorre com os corpos, não alterando sua natureza. (ibid.)	Campo elétrico, ondas eletromagnéticas, spins e ressonância.
Objetos	Palavras que se referem às coisas que podem ser vistas e tocadas como irmã, ferro, pedra, aparelho, entre outras	Imã, voltímetro e rádio
Relações Matemáticas	Equações ou relações matemáticas que foram inseridas nos MC's.	$V = \lambda f$ $E = hf$
Outros	Nesta categoria foram inseridas as palavras sem uma definição específica e que não se enquadraram nas outras categorias. Algumas não possuem	Agrupamento, alta, ausente, problemas e soluções

sentido fora de um contexto, como por exemplo: ausente, alta, maior, normal e acidente. Opiniões que os estudantes emitiram.
--

Fonte: Libardi (2014, 49).

Os mapas conceituais confeccionados pelos alunos antes e depois da aplicação da Sequência de Ensino (SE) tiveram um número total de 253 conceitos, destes 149 aparecem no mapa final e 104 no mapa inicial. Diante das categorizações e definições exibidas no Quadro 3 foi feita a classificação dessas palavras contidas nos MCs, conforme a sua categoria e quantidades encontradas antes e depois da SE, e esses resultados estão expostos na Tabela 6 a 10. A Tabela 6 mostra as grandezas físicas, a Tabela 7 exhibe os conceitos relacionados aos fenômenos da natureza, a Tabela 8 traz as palavras que se referem a objetos, a Tabela 9 retrata a quantidades de relações matemáticas e a Tabela 10 expõem palavras categorizadas como outros.

As informações apresentadas na Tabela 6 mostram um aumento significativo nos números de conceitos considerados como grandezas físicas nos mapas finais em comparação aos mapas iniciais, sendo de 32 para 55 conceitos. Em 8 situações os conceitos aparecem pela primeira vez nos mapas depois das instruções dadas, em referência aos mapas anteriores, evidenciando o surgimento de novas palavras, e em 5 casos os conceitos aparecem no mapa antes das instruções e não aparecem no mapa depois das instruções, indicando que houve uma reconciliação integradora. Tudo isso indica que houve ampliação, consolidação e aquisição de novos conceitos, denotando um sinal que a SE provocou nesses estudantes um aumento na sua estrutura cognitiva.

Tabela 6 - Conceitos presentes nos MCs relacionados às grandezas físicas.

Conceitos	Antes	Depois
Campo	1	1
Campo elétrico	4	7
Campo eletromagnético	0	5
Campo gravitacional	1	0
Campo magnético	5	9
Carga	3	2
Comprimento de onda	4	4
Diferença de fase	0	1
Elétrica	1	0
Energia	3	3

Força	1	0
Força de atração	1	0
Frequência	5	11
Índice de refração	0	1
Intensidade do campo Elétrico	2	0
Momento angular	0	2
Momento magnético	0	1
Período	3	4
Pulso de radiofrequência	0	1
Radiofrequência	0	2
Radiofrequência modificada	0	1
Total	32	55

Já na Tabela 7 registra-se o crescimento nos números de conceitos relacionados aos fenômenos naturais e esse incremento foi de 38 para 62 conceitos, sendo que 12 destes conceitos aparecem apenas nos mapas iniciais e 15 surgem pela primeira vez no mapa final.

Tabela 7 - Conceitos presentes nos MCs relacionados aos fenômenos naturais.

Conceitos	Antes	Depois
Átomo	0	1
Atração	1	0
Atração ou repulsão	0	2
Difração	0	1
Direção	1	0
Efeito fotoelétrico	1	0
Elétrons	2	0
Emissão de elétrons	1	0
Eólica	1	1
Espectro eletromagnético	1	2
Fonte de oscilação	0	1
Fóton	2	11
Infravermelho	1	0
Interferência	0	1

Íons	1	0
Luz	0	2
Micro-ondas	0	4
Movimento de giro	0	1
Onda	7	3
Onda partícula	0	1
Ondas de radio	1	3
Ondas eletromagnéticas	3	3
Oscilações	0	1
Polos	1	0
Próton de hidrogênio	0	1
Prótons	2	4
Radiação	1	0
Radiação Eletromagnética	2	4
Raio gama	1	0
Raios-X	0	4
Ressonância	0	4
Ressonância magnética	0	6
Som	2	0
Spin	1	8
Térmica	1	0
Ultravioleta	0	1
Total	38	62

Além disso, foi observado, mais especificamente, o aparecimento e o aumento de conceitos relacionados a ressonância magnética que foram trabalhados na proposta de ensino nos MCs finais. Isso sinaliza uma possível contribuição do material de ensino, o que possibilitou o surgimento desses conceitos após a instrução. Neste aspecto, ressalta-se que os mesmos não estavam dentro do conjunto de conhecimentos esfericamente relevantes para estudo da RM, portanto, não servindo de subsunçores, pelo menos nesses momentos iniciais.

Os conceitos categorizados como objetos mostrados na tabela 4.7, foram retirados dos Mc's elaborados pelos alunos. Tais conceitos surgem majoritariamente nos mapas iniciais, no entanto, observa-se que depois os números deles caem consideravelmente nos mapas finais

indicando que muitos não tinham conexões com o tópico específico do estudo, e baseado nisso, os alunos não empregaram mais tais conceitos.

Tabela 8 - Conceitos presentes nos MCs relacionados aos Objetos.

Conceitos	Antes	Depois
Objetos	7	3
Total	10	

Na sequência analisamos os conceitos (Tabela 9). Esses conceitos colocados no MCs confeccionados pelos estudantes antes e depois das instruções, e que foram categorizados como “outros”, observa-se também um crescimento. Este aumento é quase duas vezes maior que nos mapas iniciais e são evidenciados, entre outras coisas, vocábulos associados ao conteúdo abordado, por exemplo, “Bobina”, “Imã” e “Magnéton”, que apareceram e engrandeceram os MCs após a utilização do ME. Apesar disso, encontramos também palavras que precisam de uma circunstância apropriada para se tornarem um conceito válido no contexto deste estudo.

Tabela 9 - Conceitos presentes nos mapas conceituais classificados como outros.

Conceitos	Antes	Depois
Absoluta	0	1
Água	1	0
Ar	1	0
Artificial	1	0
BLOCK e Purcel	0	1
Bobina	0	1
Bússola	1	0
Canais	0	1
Comunicação	0	1
Eixo	0	3
Exame no corpo humano	0	1
Experimento de radiação	0	1
Hídrica	1	0
Hidrogênio	0	2
Imã	1	1
Imagem	0	2

Internet	0	1
IRM	0	1
Magnéton	0	1
Matéria	3	0
Mecânica	5	0
Meio material	4	0
Natureza	6	0
Relativa	0	1
Sensibilidade	0	1
Tecido humano	0	2
Tecnologia	0	1
Terra	2	0
Transporte de informação	0	1
Vácuo	4	1
Vetor	1	0
TOTAL	31	25

Ainda em relação ao número de conceitos, a Tabela 10 traz os números e as porcentagens das categorias de conceitos encontrados nos mapas desenvolvidos pelos alunos antes e depois da instrução. Para melhor entendimento, os percentuais encontrados foram calculados sobre o total de conceitos que apareceram nos mapas antes (104), e sobre os conceitos contidos nos mapas depois (149).

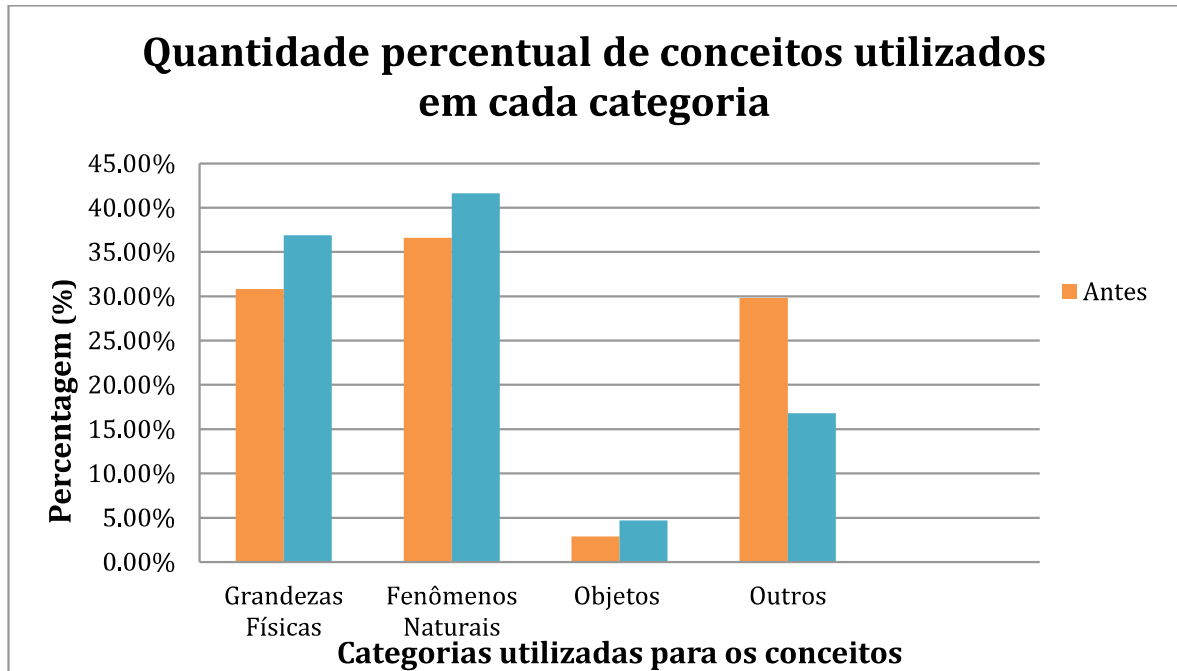
Tabela 10 - Número (percentual) de termos de acordo com cada categoria.

Conceitos	Antes (%)	Depois (%)
Grandezas Físicas	32 (30,8)	55 (36,9)
Fenômenos Naturais	38 (36,5)	62 (41,6)
Objetos	3 (2,9)	7 (4,7)
Outros	31 (29,8)	25 (16,8)
Total	104 (100)	149 (100)
Total geral	253	

A Figura 18 a comparação, em porcentagem, dos dados apresentados nas Tabela 6 a 10. De forma geral, a maioria das categorias de conceitos tiveram elevação em seus

percentuais, por exemplo, **grandeza física** passou de 30,8% para 36,9%, evidenciando um incremento nesse grupo de conceitos. Já nos conceitos classificados como outros se observa uma redução de 29,8% para 16,8%, sinalizando melhoria na classificação dos conceitos utilizados pelos alunos.

Figura 18 - Quantidade percentual por categoria de conceitos



Os estudantes, durante o desenvolvimento dos mapas conceituais, mostraram entusiasmo para relacionar os conceitos indicando uma intencionalidade de aprender. O fato de muitos deles ainda não terem trabalhado com esse instrumento pode justificar algumas das dificuldades encontradas na hora da inclusão de novos conceitos e hierarquização desses conceitos, e isso influenciou na qualidade dos mapas, já que muitos alunos falaram que era a primeira vez que estavam fazendo um MC.

Contudo, foi verificado nos MCs, comparando antes e depois, um crescimento na hierarquia conceitual, notoriamente um aumento substancial no número de conceitos válidos e o emprego de palavras apropriadas conectando tais conceitos, fazendo ampliar a quantidade de proposições válidas e o aparecimento de ligações cruzadas. Tudo isso refletido em uma melhor qualidade do mapa final em relação ao inicial, indicando uma possível ampliação na capacidade desses alunos de relacionar conceitos elucidados pelo material de estudo dentro da sua estrutura cognitiva. Entretanto, na busca por novos sinais de aprendizagem significativa, foram analisados outros instrumentos de coleta de informações.

5.2 Análise dos questionários pré e pós teste

Os itens apresentados nos questionários 1 e 2, pré e pós testes, foram pensados com o propósito de averiguar a existência, a consolidação e a expansão de saberes que atendam a expectativa desta pesquisa. Para analisar as respostas a essas questões apresentadas antes e após a aplicação do MI foi utilizado a proposta apresentada por Stange *et al.* (2014), conforme os Quadro 4 e 5. O Quadro 4 traz uma base para análise dos itens em cinco tipos, sendo as respostas obtidas após a aplicação dos questionários – quando o aluno demonstra conhecer todos os conceitos a resposta é 5; caso apresente a maioria dos conceitos a resposta é 4; se apresentar pouco conceitos, porém, ainda assim demonstrar ter conhecimento, a resposta é 3; agora se apresentar pouco conceitos ou mínima noção sobre o conteúdo a resposta é 2; e se não demonstrar nenhum dos conceitos necessários, não possuir noções mínimas sobre o conteúdo a resposta é 1.

Os conceitos investigados estão relacionados aos fundamentos físicos da ressonância magnética. Esse instrumento se torna importante, visto que pressupõem na sua elaboração o que se deseja da resposta e quais os conhecimentos anteriores que se quer averiguar.

Quadro 4 - Tipos de respostas.

Questões	Objetivos	Respostas (base para a análise)		Resposta dos alunos		
		Ideal	Conceitos necessários	Tipos de respostas	Quantitativo por tipo	% por tipo
1				5- Apresenta todos os conceitos, conhece o conteúdo.		
				4- Apresenta a maioria dos conceitos, demonstra conhecer o conteúdo		
				3- Apresenta poucos conceitos, mas ainda assim demonstra ter conhecimento sobre o conteúdo		
				2- Apresenta poucos conceitos, demonstra ter poucas noções sobre o conteúdo		
				1- Não apresenta nenhum dos conceitos necessários, não possui noções mínimas sobre o conteúdo.		
				Totais		
				Conceitos		

Fonte: Stange, C. E. B. *et al*, p. 28, 2014.

O Quadro 5 diz respeito a categorização de conceitos por espaçamento percentual separando-os pelas categorias 4 e 5 ou 1 e 2.

Quadro 5 - Intervalo percentual para a análise dos conceitos.

Soma dos % por tipos de conceitos 4 e 5	
Conceitos	Intervalos %
Totalmente satisfatório	90 - 100
Satisfatório para totalmente satisfatório	80 - 89
Satisfatório	70 - 79
Satisfatório para regular	61 - 69
Regular	49 - 60
insatisfatório para regular	37 - 48
Insatisfatório	25 - 36
Totalmente insatisfatório para insatisfatório	13 - 24
Totalmente insatisfatório	0 - 12
Regular – quando as somas dos % referentes a 4+5 e a 1+2 forem iguais ou quando o maior percentual for referente ao conceito 3	
Soma dos % por tipos de conceitos 1 e 2	
Conceitos	Intervalos (%)
Totalmente insatisfatório	90 - 100
Insatisfatório para totalmente insatisfatório	80 - 89
Insatisfatório	70 - 79
Insatisfatório para regular	61 - 69
Regular	49 - 60
Regular para satisfatório	37 - 48
Satisfatório	25 - 36
Satisfatório para totalmente satisfatório	13 - 24
Totalmente satisfatório	0 - 12

Fonte: Stange, C. E. B. *et al*, p. 28, 2014.

Os dados apresentados Quadro 5 são mostrados em termos percentuais e trazem as análises das perguntas contidas no questionário para duas situações, uma delas antes da aplicação do MI (pré-teste), tendo o propósito de averiguar a existência de conceitos prévios

(subsunsor), e a outra depois da instrução tendo por finalidade identificar se houve a captação de outros conteúdos. Nos dois momentos foram analisadas 7 (sete) questões sobre tópicos de Física relacionados a ressonância magnética, respondidas por 12 (doze) alunos do 3º ano do ensino média da rede pública do estado do Maranhão.

Ao observar o Quadro 5, constata-se que a análise das questões foi feita com adequação para as alternativas considerando os tipos apresentados. As conformidades para os tipos sugeridos foram definidas de acordo com a dificuldade das respostas de cada questão, como pode-se constatar nos exemplos abaixo:

1º Exemplo:

7ª). Um forno de micro-ondas é projetado para, mediante um processo da Física, transferir energia para os alimentos que necessitamos aquecer ou cozer. O fenômeno que melhor explica esse fato é:

- a) O efeito joule. [1]
- b) A condução térmica. [2]
- c) A radiação térmica. [2]
- d) A ressonância. [5]**
- e) Não sei. [1]

2º Exemplo:

8ª) Analise as afirmativas abaixo sobre magnetismo e partículas.

I O corpo humano quando submetido a um forte campo magnético estático B_1 os prótons dos átomos de hidrogênio tendem a se alinharem na mesma direção do campo nos sentidos paralelo e antiparalelo.

II - O spin pode ser entendido como um número quântico das partículas elementares e partículas que possuem spin apresentam propriedades magnéticas.

III Todas as partículas possuem spins diferente de zero.

IV O movimento de portadores de carga através em torno do seu próprio eixo (rotação) não origina um campo magnético.

Assinale a alternativa correta.

- a) **Apenas I e II são verdadeiras. [5]**
- b) **Apenas II é IV verdadeira. [3]**
- c) **Apenas III e IV são verdadeiras. [1]**
- d) **Apenas, I e III são verdadeiras. [2]**
- e) **Apenas I, II e IV são verdadeiras. [4]**

Na tabela 4.10, que mostra o percentual de conceitos tipos 4 e 5, indica que os alunos apresentaram a maioria ou todos os conceitos abordados, enquanto na tabela 4.11 que apresenta o percentual dos conceitos tipos 1 e 2, sinaliza que poucos ou nenhum dos conceitos foram apropriados pelos alunos, com a finalidade de se identificar indícios da evolução conceitual entre os dois momentos antes e depois da utilização do MI.

Tabela 11 - Análise das questões para os tipos 4 e 5.

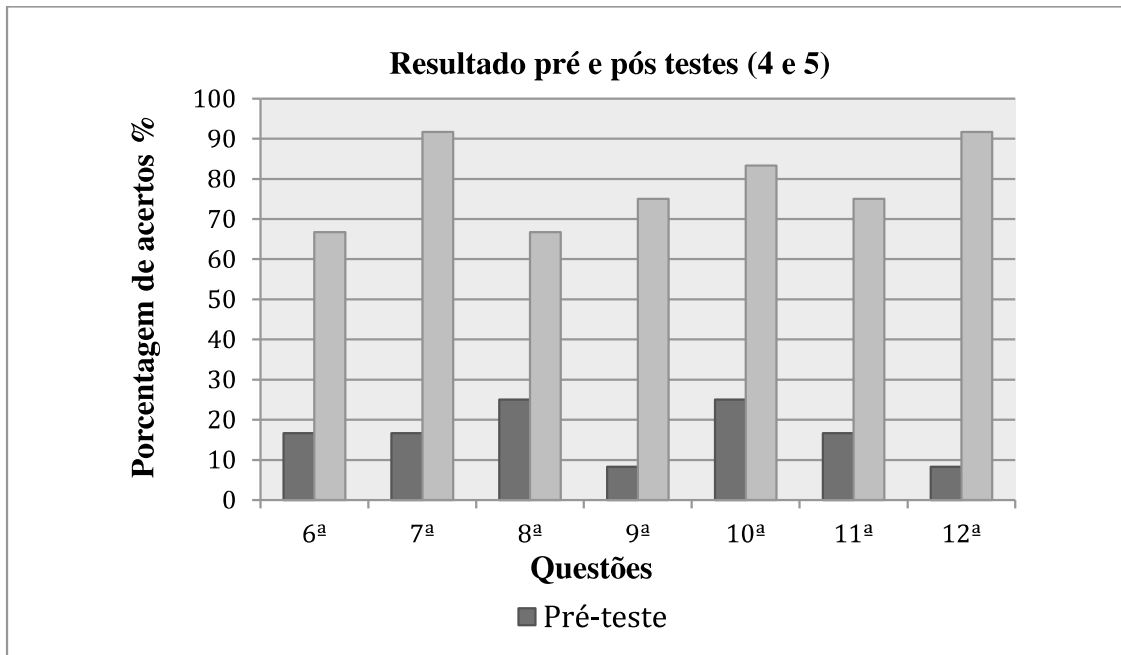
Questões	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª
Pre teste							
(antes do MI)	16,7	16,7	25,0	8,3	25	16,3	8,3
(%)							
Pós teste							
(depois do MI)	66,7	91,7	66,7	75	83,30	75,0	91,7
(%)							

Fonte: Autoria própria

A Tabela 11 mostra uma evolução percentual nos números de acertos de todas as proposições do questionário. Esse resultado também está estampado no gráfico da Figura 19 e

mostra impressões de ampliação e acomodação de conceitos primordiais para formação, consolidação de saberes e aprendizagem de novos conhecimentos conectados, já armazenados na mente do aprendiz. A apresentação desses dados indica o crescimento conceitual entre os momentos que precedem a aplicação do material instrucional e os que o sucedem. Tudo isso nos faz enxergar indicativos de aprendizagem significativa.

Figura 19 - Resultado para os tipos 4 e 5 antes e após o MI



A implicação da análise das respostas dos questionários que busca identificar a evolução conceitual dos estudantes para os tipos 1 e 2 estão representados na Tabela 12. Para as categorias de respostas, considerou-se que antes da intervenção didática os alunos tinham pouco ou nenhum conceito vinculado em sua estrutura cognitiva.

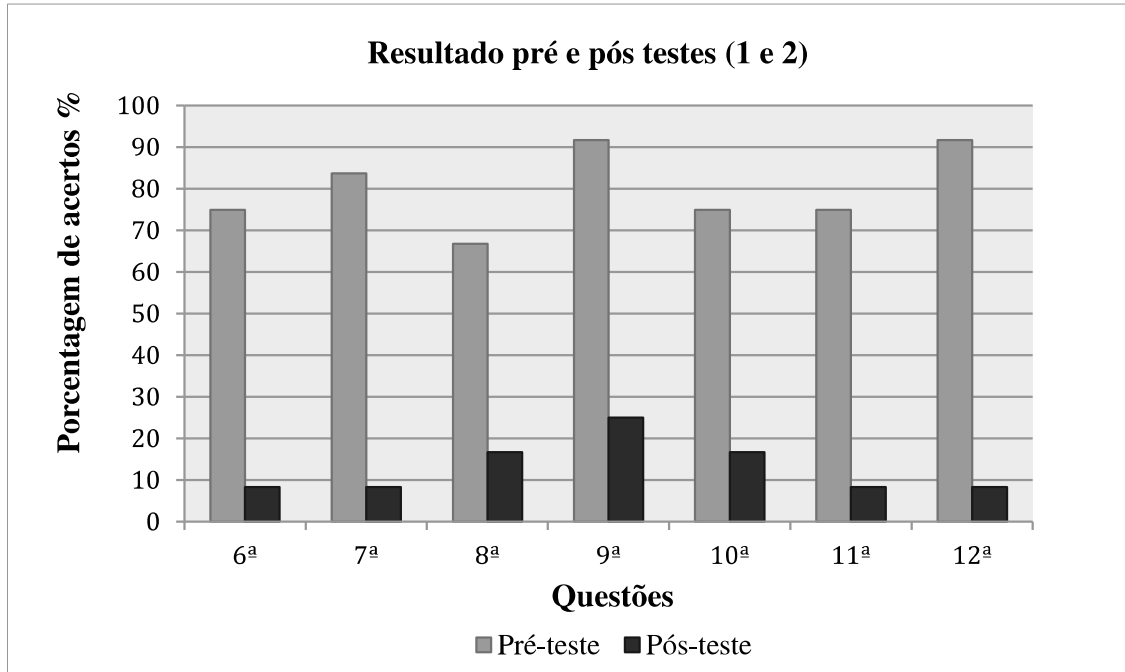
Tabela 12 - Análise das questões para os tipos 1 e 2

Questões	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª
Pre teste (antes do MI) (%)	75,0	83,7	66,7	91,7	75,0	75,0	91,7
Pós teste (depois do MI) (%)	8,3	8,3	16,7	25,0	16,7	8,3	8,3

Fonte: Autoria própria

Esse resultado também está representado graficamente na Figura 20, na qual mostra claramente um impacto positivo no percentual de alunos que antes do MI apresentavam poucos ou nenhum conceito, ou seja, todos tiveram uma acentuada diminuição dos tipos 1 e 2.

Figura 20 - Resultado para os tipos 1 e 2 antes e após o MI



Os resultados evidenciados, neste instrumento de coleta de dados, apresentaram aumento na apropriação de conceitos abordados no questionário, o que nos leva a apontar que a sequência de ensino foi exitosa com relação aos desígnios a que se propôs, ou seja, esses resultados indicam AS.

Segundo o proposto no Quadro 5, a classificação por tipos de conceitos conforme o intervalo percentual, o efeito do pré-teste tem os conceitos apresentados na Tabela 13 e 14.

Tabela 13 - Análise do questionário antes do MI

Questões	Tipos 4 e 5 (%)	Conceito	Tipos 1 e 2 (%)	Conceito	Conceito final
6ª	16,7	Totalmente insatisfatório para insatisfatório	75,0	Insatisfatório	Insatisfatório
7ª	16,7	Totalmente insatisfatório para insatisfatório	83,7	Insatisfatório para totalmente insatisfatório	Totalmente Insatisfatório

8^a	25,0	Insatisfatório	66,7	Insatisfatório para regular	Insatisfatório para regular
9^a	8,3	Totalmente insatisfatório	91,7	Totalmente insatisfatório	Totalmente insatisfatório
10^a	25,0	Insatisfatório	75,0	Insatisfatório	Insatisfatório
11^a	16,3	Totalmente insatisfatório para insatisfatório	75,0	Insatisfatório	Insatisfatório
12^a	8,3	Totalmente insatisfatório	91,7	Totalmente insatisfatório	Totalmente insatisfatório

Tabela 14 - Análise do questionário após o MI

Questões	Tipos 4 e 5 (%)	Conceito	Tipos 1 e 2 (%)	Conceito	Conceito final
6^a	66,7	Satisfatório para regular	8,3	Totalmente satisfatório	Satisfatório
7^a	91,7	Totalmente satisfatório	8,3	Totalmente satisfatório	Totalmente satisfatório
8^a	66,7	Satisfatório para regular	16,7	Satisfatório para totalmente satisfatório	Satisfatório
9^a	75,0	Satisfatório	25,0	Satisfatório	Satisfatório
10^a	83,3	Satisfatório para totalmente satisfatório	16,7	Satisfatório para totalmente satisfatório	Satisfatório para totalmente satisfatório
11^a	75,0	Satisfatório	8,3	Totalmente satisfatório	Satisfatório para totalmente satisfatório
12^a	91,7	Totalmente satisfatório	8,3	Totalmente satisfatório	Totalmente satisfatório

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 14 e 15 podemos observar que a pela avaliação é positiva, pois passa dos níveis totalmente insatisfatório, insatisfatório para

totalmente insatisfatório, insatisfatório, insatisfatório para regular e regular no pré-teste para regular, regular para satisfatório ou satisfatório para regular, satisfatório, satisfatório para totalmente satisfatório.

A análise detalhada das questões de número 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 destacando o propósito de cada tópico investigado e a maneira que esse conteúdo foi desenvolvido durante o transcorrer da aplicação do material instrucional e a influência desse MI através da comparação dos resultados encontrados no pre e pós testes está descrita da seguinte forma:

- 6ª questão – aborda o conceito de ressonância associado a frequência e amplitude e faz uma relação entre causa e efeito desse fenômeno de forma introdutória com o propósito de identificar indícios de proficiência do aluno no que se refere a esses saberes, bem como, verificar se esses conceitos estão relacionados de forma apropriada, daí a importância da inserção desse item neste trabalho. No que diz respeito aos resultados encontrados com a análise dos dados, foi constatado, nesta questão, um aumento na qualificação conceitual de “insatisfatório” para “satisfatório”, observado depois da utilização do MI, sendo assim, para os tipos 4 e 5 foram registrados, 16,7% das respostas antes do MI e 66,7% após, para os tipos 1 e 2 foram 75,0% antes e 8,3 depois aplicação do MI;
- 7ª questão – tem o propósito de mostrar uma aplicação tecnológica da ressonância em um eletrodoméstico denominado de micro-ondas frequentemente encontrado nas casas dos brasileiros. A análise dos resultados revela uma evolução do conceito inicial de “totalmente insatisfatório” para o conceito final “totalmente satisfatório”, exibindo para os tipos 4 e 5, que antes do MI era de 16,7% e após MI evoluiu para 91,7%, e com relação aos tipos 1 e 2 tiveram 83,7% antes e 8,3 após a instrução;
- 8ª questão – aborda as concepções sobre campo magnético, partículas e spin. Ao ler a questão o estudante vai julgar as proposições ali apresentadas como verdadeiras ou falsas. Enquanto isso, para responder esse item com exatidão é imprescindível que ele tenha um entendimento prévio sobre o comportamento de partículas carregadas quando submetidas a um campo magnético, se faz necessário também o seu entendimento sobre a relação entre carga elétrica e campo magnético. Quanto aos resultados evidenciados da análise desta questão foi verificado uma ampliação na classificação desses conceitos de “insatisfatório para regular” antes da aplicação do MI, para “satisfatório” após a inserção do

MI, no qual o percentual de acerto para os tipos 4 e 5 passou de 25,0% para 66,7%, isso depois da instrução dada, observou-se também que os tipos 1 e 2 migraram de 66,7% para 16,7%, isso depois da adoção do MI;

- 9ª questão – trazer novamente concepções sobre fenômeno da ressonância em que os alunos precisam dominar as causas, as consequências e os tipos de vibrações. Ela tem como o propósito verificar os entendimentos dos alunos a respeito das ligações entre a ressonância e os conceitos de frequência, amplitude e energia. Em se tratando dos resultados encontrados durante a análise deste item, foi averiguado um incremento na qualificação desses conceitos de “totalmente insatisfatório” antes do emprego do MI, para “satisfatório” após a inserção do MI, sendo que o número percentual atribuído aos tipos 4 e 5 mudou de 8,3% para 75,0%, isso depois do MI e para os tipos 1 e 2 migraram de 91,7% para 25,0%, depois a sequência de ensino;
- 10ª questão – apresentar a ressonância magnética e fazer uma abordagem sobre sua utilização no diagnóstico por imagem, bem como também, diferenciar sua utilização em relação ao risco à saúde em comparação as outras técnicas utilizadas para esse fim. Essa questão aborda de forma direta ou indireta, saberes sobre ressonância magnética nuclear, ondas eletromagnéticas, campo magnético, frequência, radiação ionizante e trata também da conexão entre esses conhecimentos. Em relação à análise dos resultados encontrados para esta questão nos momentos que precedem e sucedem à aplicação do material de ensino, foi observado uma melhora conceitual significativa de “insatisfatório” para “Satisfatório e depois para totalmente satisfatório”, anotou-se para os tipos 4 e 5, antes do MI 25,0% e após a inserção MI 75,0% e com referência aos tipos 1 e 2 tiveram 83,7% antes e 16,7% após a instrução dada;
- 11ª questão – assim como a questão anterior, mostra ressonância magnética, sob um outro olhar, enfatizando os fundamentos físicos para o entendimento de tal técnica. Os conhecimentos que os alunos precisam, e que esta questão mostra, são de ressonância magnética, ondas de rádio, radiações eletromagnéticas e a interação das ondas eletromagnéticas com a matéria. Em se tratando dos resultados encontrados durante a análise desta questão foi constatado uma ampliação na classificação conceitual de “Insatisfatório” antes do uso do MI, para “Satisfatório para totalmente satisfatório” após a adoção do MI, onde o

número percentual atribuído para os tipos 4 e 5 mudou de 16,3% para 75,0%, após MI e para os tipos 1 e 2 mudaram de 75,0% para 8,3%, após a utilização do material de ensino;

- 12^a questão – mostra a importância das ondas de rádio para a ressonância magnética nuclear. Os conceitos abordados nesta questão são os de frequência, frequência de Larmor, comprimento de onda, campo magnético e radiação ionizantes e as relações desses conceitos do fenômeno da ressonância. A análise dos resultados apresentada depois da utilização do material de ensino, evidência um ganho considerável na classificação conceitual de “totalmente insatisfatório” para “totalmente satisfatório”, sendo para os tipos 4 e 5, no momento que precede o uso MI, de 8,3% e após MI de 91,7% e com referência aos tipos 1 e 2 passaram de 91,7% antes e 8,3% após a instrução.

5.3 Diário de bordo do professor

Ao anunciar a proposta de trabalhar alguns conteúdos de Física recorrendo ao uso de vídeo, simulações computacionais e mapas conceituais organizados numa sequência didática, muitos estudantes demonstraram interesse em participar dessa proposta didática, principalmente pela expectativa de vivenciar algo novo em relação a sua vivência em sala de aula. Portanto, um dos pontos positivos deste trabalho foi a oportunidade real que tiveram de participar das aulas, socializando e evidenciando o que sabe e não somente sendo exposto pelo que ainda não aprendeu. Tudo isso trouxe um ambiente agradável para o trabalho.

Para uma perspectiva mais ampla, a aplicação do material instrucional nos proporcionou destacar alguns pontos relevantes, sendo eles a elaboração dos mapas conceituais, a adoção de situações problemas, a utilização de simulações computacionais e a exibição de vídeos.

A inserção de mapa conceitual foi confortavelmente aceita pelos estudantes, visto que, uma boa parte deles já conhecia tal ferramenta. Entretanto, alguns alunos manifestaram dificuldades para elaborar os mapas, principalmente o mapa inicial. Esses obstáculos foram potencializados pelo distanciamento social que restringiu a execução deste trabalho exclusivamente para forma remota, limitando a interação entre aluno-aluno e aluno-professor, visto que, muitos estudantes possuíam restrições aos recursos tecnológicos apropriados de acessibilidade aos trabalhos. Por conta dessa dificuldade de acesso, o número de participantes foi reduzido, e conseqüentemente os mapas e outras etapas, deste trabalho, que estavam previstos para serem desenvolvidas em grupos foram elaboradas individualmente pelos alunos.

Por outro lado, na elaboração do mapa conceitual final sobre conceitos Físicos relacionados a Ressonância Magnética, os estudantes já estavam mais à vontade para desenvolver tal tarefa, mesmo assim ocorreram casos de pedidos de um pouco mais de tempo para a entrega desta atividade, o que indicou que a elaboração dessa etapa requer relações entre saberes mais consolidados e esse tempo adicional se fez necessário - na perspectiva de que o aluno adquira maior segurança com a construção do mapa conceitual se faz necessária a incorporação dessa importante técnica por outros professores de outras matérias.

Em se tratando das questões problemas incluídos no material de ensino, os estudantes demonstraram no primeiro momento uma reocupação, pois achavam que não conseguiriam respondê-las e depois desse início, já na fase de apresentação das respostas atribuídas as essas questões produzidas por eles, percebeu-se um certo entusiasmo por parte deles, por exemplo, no relato de um deles ao mencionar que “dessa forma, eu aprendi mais.”

Os alunos foram informados que as soluções dadas as situações problemas no primeiro momento não influenciaria na sua nota, mesmo assim, alguns trataram logo de fazer a correção diretamente na primeira resposta ignorando os espaços reservados para essas correções posteriores - essa situação me fez refazer tal observação.

Nos vídeos e simulações apresentadas, os estudantes demonstraram uma certa animação, esta, creditada à parte dada a novidade, já que o novo, o diferente atrai muita atenção deles; dada também a qualidade dos materiais apresentados e por fim, a possibilidade de confirmar ou não as respostas dadas a partir dos diálogos e percepções trazidas por essas ferramentas. Ademais, entenderam que a resposta errada não é mais um instrumento de punição e sim, um mecanismo que serve para reflexões e correções.

Ao agendar a avaliação somativa individual ou pós teste com os alunos, percebemos que receberam a informação com naturalidade sem fazer perguntas, do tipo, como seriam as questões da prova? Perguntas estas tão recorrentes no período das avaliações. Esse comportamento deles me deixou surpreso, visto que, é perceptível uma certa angústia e insegurança perante a aproximação do período de realizações das avaliações, o que justifica tais indagações referente às mesmas, fato este não observado no momento. Tal ocorrido me levou a inferir que o número de encontros/aulas utilizadas para discutir sobre ressonância magnética e os vários itinerários percorridos sobre o conteúdo proposto deram aos estudantes subsídios para enfrentar essa etapa sem maiores sobressaltos.

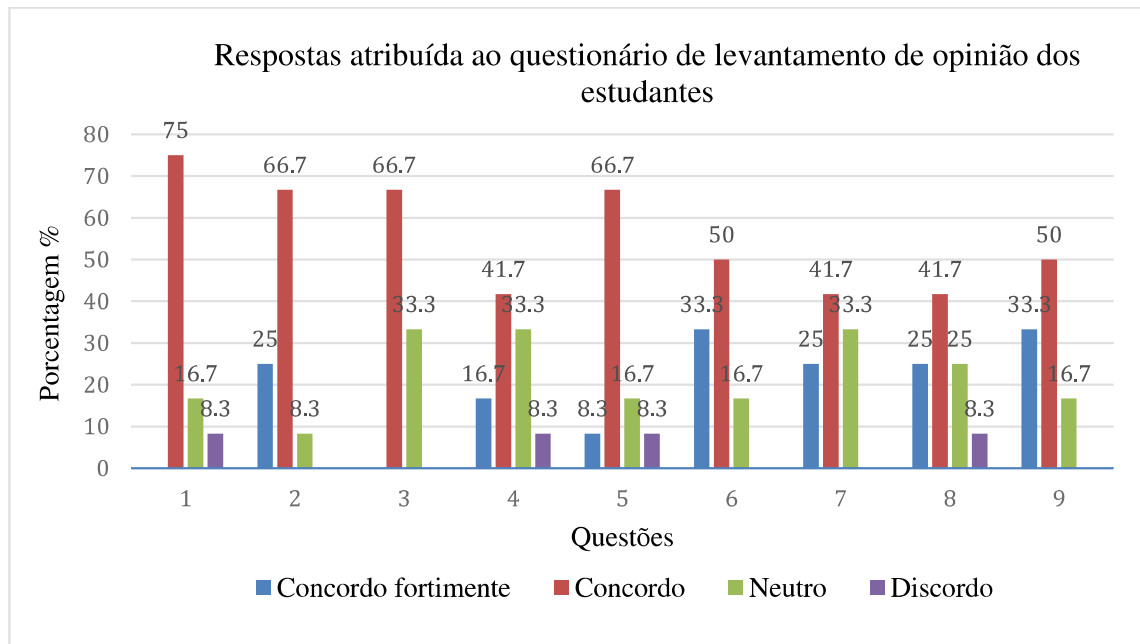
Diante das anotações e reflexões mostradas neste instrumento de coleta de dados, destacamos como aspectos relevantes a participação dos alunos no desenvolvimento das etapas

propostas no material instrucional, a utilização de situações problemas, vídeos e simulações computacionais que além da possível promoção do conhecimento com base na interação com seus saberes anteriores, também exibiram aptidão de produzir e estimular os estudantes.

5.4 Questionário de levantamento da opinião dos estudantes

A UEPS proposta foi submetida a uma avaliação realizada pelos estudantes através de aplicação de questionário. Este questionário avaliativo, encontra-se no apêndice C e teve como propósito, obter informações sobre diferentes aspectos e momentos da Sequência de Ensino, além de obter informações sobre a percepção que estes estudantes tiveram a respeito deste trabalho como, por exemplo, críticas e sugestões. O referido questionário tem 10 itens e destes, 9 são de múltiplas escolhas e 1 questão discursiva. O conjunto das respostas atribuídas às nove primeiras questões deste formulário estão expressas em termos percentuais no gráfico da Figura 21, em que as respostas possíveis estão niveladas conforme a **escala de Likert** (concordo fortemente, concordo, neutro, discordo e discordo fortemente).

Figura 21 - Percentual de respostas dadas pelos alunos da primeira à nona questão do formulário de levantamento das opiniões dos estudantes.



O gráfico da Figura 21 mostra uma boa aceitação, pelos alunos, da sequência das estratégias de ensino aplicada, e isso fica mais evidente quando se observa as respostas categorizadas em concordo fortemente e concordo, que em todos os itens somam percentuais que variam de 58,4% na 4ª questão a 91,7% na 2ª questão. Além disso, a de se observar também que a resposta denominada “neutro” indica que o aluno não consegue dizer se concorda ou discorda daquela proposição trazida pela questão, e essa alternativa de resposta aparece em todas as questões – isso pode indicar que o aluno não entendeu tal proposição ou pode também

sinalizar uma fragilidade na utilização das ferramentas e dos métodos empregados durante execução dos trabalhos para poder fazer essa análise.

A 10ª questão, entretanto, foi uma proposta livre de resposta permitindo ao aluno a escolha de respondê-la ou não. Diante desta possibilidade, alguns alunos optaram em não responder, os que responderam manifestaram satisfação com o trabalho desenvolvido através de comentários elogiosos e deram sugestões para possíveis melhorias, conforme mostra o Quadro 6.

Quadro 6 - Transcrições das respostas atribuída a 10ª questão do questionário de levantamento da opinião dos estudantes.

Respostas	
Aluno 1	<p>2. Durante esse ano todo eu aprendi com bastante prazer, você como professor fez um excelente trabalho!</p>
Aluno 2	<p>• Fazer alguns experimentos com os alunos para ficar mais dinâmico</p>
Aluno 3	<p>10. Entendimento sempre das aulas são de sempre im prática mas a presença é um sistema muito (mais colocação e participação) nas presenças...</p>
Aluno 4	<p>não as aulas são Tudo muito bom</p>
Aluno 5	

não tenho que reclamar e nem
 uma sugestão, pois meu
 ensino é espetacular, supera
 todas as expectativas!

Aluno 6

O professor de física principal
 abordava os assuntos de um
 determinado conteúdo (~~com~~)
 de forma concisa
 e simples

Aluno 7

As aulas online de física contribuiu
 muito para o meu aprendizado.
 Não deixei a despesa!!

Aluno 8

Mu gostei muito das suas aulas.
 vc explica muito Bem
 vc é um ótimo profe
 ssor, continue assim.
 vou sentir saudades de
 vc, fi em Deus.
 família meus.

Aluno 9

Nenhuma crítica, até porque
 evolui muito com essas
 aulas até mais do que
 pensari!

A partir das considerações apresentadas no Quadro 6, verifica-se que a maioria dos alunos que respondeu o último item deste formulário manifestaram satisfação através de elogios de forma direta ou indireta em relação ao trabalho desenvolvido e apenas dois estudantes externalizaram sugestões para possíveis melhorias. Uma das sugestões e/ou crítica considerada construtiva foi o pedido da introdução de experimentos para dinamizar as aulas, e a outra foi em relação às aulas remotas, em que foi sugerido um possível rendimento maior caso nos encontros tivessem sido presenciais. Portanto, levando em consideração que os alunos não necessitavam se identificar e julgando suas respostas e declarações confiáveis, conclui-se desta maneira que esta UEPS teve uma considerável aceitação, por partes dos discentes.

6 CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um produto educacional baseado numa unidade de ensino potencialmente significativa, que é uma sequência didática fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa, sobre tópicos de FMC relacionado à ressonância magnética para o ensino médio. Essa proposta foi desenvolvida em colaboração com duas turmas do terceiro ano de uma escola pública da rede de ensino estadual do Maranhão.

Como instrumento de avaliação da UEPS proposta, escolheu-se um formato que fosse predominantemente formativo e recursivo com a finalidade de buscar registros que evidenciassem indícios de aprendizagem significativa. Esses registros foram obtidos através da análise de questionários de pré-teste e pós-teste, diário de bordo do professor, mapa conceitual e questionário de levantamento de opinião dos estudantes.

A análise dos Mapas Conceituais (MCs), feita utilizando os critérios de Mendonça (2012) referidas na seção 5.1 desta obra, mostrou um crescimento significativo nos percentuais dos critérios quantitativos nos MCs após a utilização do material de ensino em comparação aos MCs iniciais, refletindo em uma ampliação expressiva no número da hierarquia conceitual e das proposições válidas.

O aumento no número de mapas desenvolvidos pelos estudantes depois, em relação à quantidade de MCs antes da instrução, classificados quanto à Qualidade dos Mapas (QMs) exibidos na Tabela 5, indica uma diferença considerável na QMs finais, o que retrata um efeito positivo da utilização do material instrucional no aperfeiçoamento da qualidade dos mapas produzidos pelos estudantes depois instrução.

Os resultados apresentados nos pós testes ou na avaliação individual, seção 5.2, leva-nos a concluir que ocorreram fortes indícios de aquisição e associação de conceitos no campo conceitual da ressonância magnética, reafirmando o observado na análise dos MCs indicando que a proposta desta UEPS foi exitosa.

Do mesmo modo foi constatado o aparecimento e o aumento de conceitos relacionados a ressonância magnética trabalhados na proposta de ensino nos MCs finais, o que sinaliza uma possível contribuição do material de ensino, pois possibilitou o surgimento desses conceitos após a instrução. Observou-se também uma redução dos conceitos-palavras com pouca ou nenhuma ligação com o conjunto de conceitos relacionados a ressonância magnética. Atribuímos a tal diminuição e esse acréscimo, respectivamente, uma plausível diferenciação progressiva e reconciliação integradora ocasionada pelo material instrucional.

Ao refletir sobre as observações do professor/mestrando através da análise do diário de bordo, ficou evidenciado que as simulações computacionais, os vídeos e as situações problemas deixaram os alunos mais estimulados e interessados pelos temas abordados no material de ensino cujas anotações exibiram, mesmo no ensino de forma remota, que o uso do material instrucional ocasionou maior participação nas discussões de conceitos durante as aulas. Todos esses apontamentos estão em consonância com as respostas atribuídas pelos alunos ao “questionário de levantamento da opinião dos estudantes”.

Diante de tudo que foi exposto ao longo deste trabalho, como a elaboração, aplicação, análise e avaliação desta proposta de UEPS sobre Tópicos de Física Relacionadas a Ressonância Magnética, conclui-se que ela pode ser empregada para promover uma aprendizagem significativa de conceitos levantados neste instrumento.

Durante a implementação da UEPS e subsequentemente a análise dos elementos dela extraídos, puderam ser feitas as incorporações de algumas sugestões para alcançar, quem sabe, resultados mais vantajosos. Essas recomendações são: A incorporação de experimentos de laboratório; a antecipação do uso dos mapas conceituais em conteúdos anteriores; a aplicação da UEPS; e a inclusão de questões resolvidas com níveis crescentes de dificuldades para conteúdos mais complexos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. tradução de Eva Nick. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva**. tradução de Lígia Teopisto. Rio de Janeiro: Platano, 2003.

BATHISTA, A. L. B. B. S; COLNAGO, L. A. **Elementos Históricos de Ressonância Magnética Nuclear**, São Carlos: 2004. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ea000238.pdf>. Acesso em: 10/04/2019

BENAQUIO, W. C. **Elaboração e Aplicação de um Material Instrucional Baseado na Aprendizagem Significativa Sobre o Efeito Fotoelétrico para Alunos do Ensino Médio**. 2016. 163f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória /ES, 2016.

Brasil. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, 2000a. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf> . Acesso em 10 jul. 2022.

Brasil. Ministério da Educação. **PCN+ Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, 2000b. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em 12 jul. 2022

BZUNECK, J.A.; GUIMARÃES, S.E.D. **Motivação para Aprender: aplicações no contexto educativo**. 2. ed. Petrópolis/RJ: Vozes, 2010.

CAMPBELL, D.T.; STANLEY, J.C. **Delineamentos experimentais e quase experimentais de pesquisa**. Tradução de R.A.T. Di Dio. São Paulo: EPU-EDUSP, 1979

CAÑETE, L. S. C. **O diário de bordo como instrumento de reflexão crítica da prática do professor**. 2010. 151 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

FIRESTONE, W.A. Meaning in method: the rethoric of quantitative and qualitative research. **Educational Researcher**, 16(7): 16-21. 1957. Disponível em: <https://doi.org/10.3102/0013189X016007016>. Acesso em: 02/ 09/2017.

GARCIA, Eduardo Alfonso Cadavid. **Biofísica**. São Paulo, SP: Sarvier, 1998.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HALLIDAY, David; RESNICK, F.; WALKER, J. **Fundamentos de física: Eletromagnetismo**. 10. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009a. V3.

HALLIDAY, David; RESNICK, F.; WALKER, J. **Fundamentos de física: Óptica e Física Moderna**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016b. V4.

HALLIDAY, David; RESNICK, F.; WALKER, J. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016a. V2.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

LEMOS, L. S. **Aprendizagem Significativa: Estratégias Facilitadoras e Avaliação. Aprendizagem Significativa em Revista**, v.1, nº 1, abril. 2011. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID3/v1_n1_a2011.pdf. Acesso em: 02/08/2017.

LOPES, R. R. S. **Conceitos de Eletricidade e Suas Aplicações Tecnológicas: Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa**. 2014. 183f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória /ES, 2014.

LÜDKE, M; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2. Ed. EPU, 2013.

MAZZOLA, A. A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, v. 3, n. 1, 117-129, out. 2015.

MENDONÇA, C. A. S. **O uso do mapa conceitual progressivo como recurso facilitador da aprendizagem significativa em ciências naturais e biologia**. 2012. 349 f. Tese (Programa internacional de doctorado Enseñanza de las ciencias) – Departamento de Didácticas Específicas, Universidad de Burgos, Burgos, 2012.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2005.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 2011. b

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: LF Editorial, 2011 c

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1(n.2), p. 43-63. 2011 f.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: um conceito subjacente**. Porto Alegre: 2011d. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>. Acesso em: 06/08/2016.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas-UEPS**. 2011a. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>. Acesso em 15/10/2018

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. Revisado em 2012. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso em: 28/10/2016.

MOREIRA, M. A. **Pesquisa em Ensino: aspectos metodológicos**. 2003. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/pesquisaemensino.pdf>. Acesso em: 14/08/2017.

NOVAK, J.D; GOWIN, D.B. Aprender a aprender. tradução de Carla Valadares. N.Y.: Cornell University Press, 1984

OLIVEIRA, Genilson A. de; BORDUQUI, Thiago. **Física da Ressonância Magnética**. Universidade Católica de Brasília, 2012.

PEREIRA, V. O. **Elaboração e Avaliação de um Material Instrucional Baseado na Teoria da Aprendizagem Significativa para o Ensino das Leis de Newton e de Tópicos de Cinemática no Ensino Médio**. 2016. 162f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória /ES, 2016.

SANTOS, Júlio César Furtado dos. **Aprendizagem Significativa: modalidades de aprendizagem e o papel do professor**. Porto Alegre: Mediação, 2008.

SERWAY, R. A.; JEWETT Jr, J. W. **Física para cientistas e engenheiros: oscilações, ondas e termodinâmica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. V2.

SILVA, F. P. **O Fenômeno das marés: Gravitação e Astronomia numa Proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o Ensino Médio**. 2016. 51f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Espírito Santo – Vitória /ES, 2016.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade e magnetismo**. Trad. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. V2.

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO PRÉVIO

QUESTIONÁRIO 1 (pré-teste) - SOBRE ALGUNS CONCEITOS DE FÍSICA

Este questionário tem por objetivo obter informações sobre seu conhecimento prévio de alguns conceitos de Eletromagnetismo, Física Moderna e Física Contemporânea.

Instruções:

1. Esse questionário visa medir a proximidade do teu conhecimento em relação ao conhecimento científico e não se você “sabe ou não sabe”.
2. Em cada questão são mostradas algumas proposições.
3. Escolha apenas uma alternativa, a que julgar mais adequada.
4. Procure não “chutar”.
5. Se você não souber responder, marque a opção não sei.

1^a) Onda, ou pulso de onda, é qualquer perturbação que se propaga através de um meio e, durante a propagação, transmite energia aos pontos do meio.

- a) Concordo fortemente
- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

2^a) Dobrando-se ao mesmo tempo o número de espiras e o comprimento de uma bobina solenoide, mantém-se inalterado o valor do campo magnético no centro da mesma.

- a) Concordo fortemente
- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

3^a) Ondas eletromagnéticas podem ser geradas por um circuito elétrico no qual a corrente elétrica varia com o tempo.

- a) Concordo fortemente
- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

4^a) Algumas ondas de parte do espectro eletromagnético, e suas respectivas frequências, em hertz, estão representadas a seguir:

Raios gama – 10^{22}

Raios X – 10^{19}

Ultravioleta – 10^{16}

Infravermelho – 10^{13}

Micro-ondas – 10^{10}

Ondas de rádio – 10^8

A fonte que produz radiação eletromagnética com menor comprimento de onda é uma estação de rádio AM/FM.

- a) Concordo fortemente

- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

5ª) Quando um elétron é retirado da eletrosfera do átomo, a vacância (“buraco”) originada é imediatamente preenchida por um outro elétron de orbitais superiores. Esse elétron, ao passar de um estado menos ligado para um outro mais ligado (mais próximo do núcleo), libera o excesso de energia emitindo, radiação eletromagnética, cujo energia é igual à diferença entre a energia dos estados inicial e final.

Esse processo é chamado de produção de radiação característica.

- a) Concordo fortemente
- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

6ª) Marque a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. Ressonância é um fenômeno físico que ocorre quando uma força variável é aplicada sobre um sistema com igual ou muito próxima da frequência natural desse sistema. A ressonância ocasiona um de oscilação.

- a) energia, decréscimo na frequência
- b) frequência, decréscimo na intensidade
- c) energia, aumento no comprimento de onda
- d) frequência, aumento na amplitude
- e) Não sei

7ª). Um forno de micro-ondas é projetado para, mediante um processo da Física, transferir energia para os alimentos que necessitamos aquecer ou cozer. O fenômeno que melhor explica esse fato é:

- a) o efeito joule
- b) a condução térmica
- c) a radiação térmica
- d) a ressonância
- e) Não sei

8ª) Analise as afirmativas abaixo sobre magnetismo e partículas.

- I O corpo humano quando submetido a um forte campo magnético estático B_1 os prótons dos átomos de hidrogênio tendem a se alinharem na mesma direção do campo nos sentidos paralelo e antiparalelo.

- II - O spin pode ser entendido como um número quântico das partículas elementares e partículas que possuem spin apresentam propriedades magnéticas.
- III Todas as partículas possuem spins diferente de zero.
- IV O movimento de portadores de carga através em torno do seu próprio eixo (rotação) não origina um campo magnético.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas I e II são verdadeiras
- b) Apenas II é IV verdadeira.
- c) Apenas III e IV são verdadeiras.
- d) Apenas, I e III são verdadeiras.
- e) Apenas I, II e IV são verdadeiras.

9ª) Sobre a ressonância, é INCORRETO, afirmar que:

- a) Ocorre quando dois corpos vibram com a mesma frequência;
- b) Causa elevação da energia das moléculas que constituem os corpos submetidos a esse fenômeno;
- c) Causa diminuição na amplitude das oscilações dos corpos;
- d) Pode ocorrer com ondas mecânicas e com ondas eletromagnéticas.
- e) Não sei

10ª) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. A Ressonância Magnética, também chamada de Ressonância Magnética Nuclear, é uma importante técnica desenvolvida pela Física e muito utilizada em exame médico diferente da Radiologia e da Tomografia Computadorizada, pois não utiliza radiação ionizante (Raio X) e, sim, campo magnético e ondas eletromagnéticas com que permite a formação da imagem no aparelho.

- a) forte, frequência de rádio
- b) forte, frequência de micro-ondas
- c) fraco, frequência de infravermelho
- d) fraco, frequência de ultravioleta
- e) Não sei

11ª) A ressonância magnética é uma modalidade de diagnóstico por imagem que apresenta vantagens em relação a outras técnicas de exames. Com relação aos princípios físicos e tecnológicos aplicados à ressonância magnética, é CORRETO afirmar que:

- a) o exame de ressonância magnética é obtido por meio da interação de átomos de hidrogênio dos tecidos com ondas de radiação gama que são emitidas pelo equipamento.
- b) um dos motivos pelos quais o hidrogênio é o elemento mais utilizado para gerar imagens em ressonância magnética é a sua abundância no corpo humano.
- c) a ressonância magnética permite a obtenção de imagens em um único plano anatômico, diferentemente de outras técnicas de diagnóstico por imagem.
- d) o exame de ressonância magnética não oferece nenhum risco aos pacientes. Por isso, mesmo pacientes que apresentam marcapassos, clipe de aneurisma e implantes otológicos não removíveis podem realizar o exame com segurança.
- e) apesar da ressonância magnética oferecer uma excelente definição de tecidos ósseos, a técnica não é indicada para a avaliação de tecidos moles.

12^a) As ondas de ondas de rádios são radiações eletromagnéticas utilizadas na Ressonância Magnética Nuclear. Assinale alternativa que expressa corretamente justificativa para a adoção de tal onda.

- a) Por possuir faixa frequência na mesma ordem da frequência de precessão dos núcleos de hidrogênio quando submetidos a um forte campo magnético.
- b) Entre as ondas eletromagnética a onda de rádio possui maior energia.
- c) Por ser considerada uma radiação ionizante.
- d) Por apresenta uma frequência muito maior que a frequência de Lamor.
- e) Entre as ondas eletromagnética a onda de rádio possui menor comprimento de onda, sendo assim condição fundamental para ocorrer tal fenômeno.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PÓS TESTE: PROVA SOMATIVA INDIVIDUAL

Nome da Escola: _____

Turma: _____ Turno: _____

Aluno (a): _____ Nº _____

Professor(a): _____

QUESTIONÁRIO 2- SOBRE ALGUNS CONCEITOS DE FÍSICA RELACIONADOS A RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

6ª) Marque a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. Ressonância é um fenômeno físico que ocorre quando uma força variável é aplicada sobre um sistema com igual ou muito próxima da frequência natural desse sistema. A ressonância ocasiona um de oscilação.

- a) energia, decréscimo na frequência
- b) frequência, decréscimo na intensidade
- c) energia, aumento no comprimento de onda
- d) frequência, aumento na amplitude
- e) Não sei

7ª). Um forno de micro-ondas é projetado para, mediante um processo da Física, transferir energia para os alimentos que necessitamos aquecer ou cozer. O fenômeno que melhor explica esse fato é:

- a) o efeito joule
- b) a condução térmica
- c) a radiação térmica
- d) a ressonância
- e) Não sei

8ª) Analise as afirmativas abaixo sobre magnetismo e partículas.

- I O corpo humano quando submetido a um forte campo magnético estático B_1 os prótons dos átomos de hidrogênio tendem a se alinharem na mesma direção do campo nos sentidos paralelo e antiparalelo.
- II - O spin pode ser entendido como um número quântico das partículas elementares e partículas que possuem spin apresentam propriedades magnéticas.
- III Todas as partículas possuem spins diferente de zero.

IV O movimento de portadores de carga através em torno do seu próprio eixo (rotação) não origina um campo magnético.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas I e II são verdadeiras
- b) Apenas II é IV verdadeira.
- c) Apenas III e IV são verdadeiras.
- d) Apenas, I e III são verdadeiras.
- e) Apenas I, II e IV são verdadeiras.

9ª) Sobre a ressonância, é INCORRETO, afirmar que:

- a) Ocorre quando dois corpos vibram com a mesma frequência;
- b) Causa elevação da energia das moléculas que constituem os corpos submetidos a esse fenômeno;
- c) Causa diminuição na amplitude das oscilações dos corpos;
- d) Pode ocorrer com ondas mecânicas e com ondas eletromagnéticas.
- e) Não sei

10ª) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. A Ressonância Magnética, também chamada de Ressonância Magnética Nuclear, é uma importante técnica desenvolvida pela Física e muito utilizada em exame médico diferente da Radiologia e da Tomografia Computadorizada, pois não utiliza radiação ionizante (Raio X) e, sim, campo magnético e ondas eletromagnéticas com que permite a formação da imagem no aparelho.

- a) forte, frequência de rádio
- b) forte, frequência de micro-ondas
- c) fraco, frequência de infravermelho
- d) fraco, frequência de ultravioleta
- e) Não sei

11ª) A ressonância magnética é uma modalidade de diagnóstico por imagem que apresenta vantagens em relação a outras técnicas de exames. Com relação aos princípios físicos e tecnológicos aplicados à ressonância magnética, é CORRETO afirmar que:

- a) o exame de ressonância magnética é obtido por meio da interação de átomos de hidrogênio dos tecidos com ondas de radiação gama que são emitidas pelo equipamento.
- b) um dos motivos pelos quais o hidrogênio é o elemento mais utilizado para gerar imagens em ressonância magnética é a sua abundância no corpo humano.

- c) a ressonância magnética permite a obtenção de imagens em um único plano anatômico, diferentemente de outras técnicas de diagnóstico por imagem.
- d) o exame de ressonância magnética não oferece nenhum risco aos pacientes. Por isso, mesmo pacientes que apresentam marcapassos, clipe de aneurisma e implantes otológicos não removíveis podem realizar o exame com segurança.
- e) apesar da ressonância magnética oferecer uma excelente definição de tecidos ósseos, a técnica não é indicada para a avaliação de tecidos moles.

12ª) As ondas de ondas de rádios são radiações eletromagnéticas utilizadas na Ressonância Magnética Nuclear. Assinale alternativa que expressa corretamente justificativa para a adoção de tal onda.

- a) Por possuir faixa frequência na mesma ordem da frequência de precessão dos núcleos de hidrogênio quando submetidos a um forte campo magnético.
- b) Entre as ondas eletromagnética a onda de rádio possui maior energia.
- c) Por ser considerada uma radiação ionizante.
- d) Por apresenta uma frequência muito maior que a frequência de Larmor.
- e) Entre as ondas eletromagnética a onda de rádio possui menor comprimento de onda, sendo assim condição fundamental para ocorrer tal fenômeno.

APÊNDICE C: QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO DOS ESTUDANTES

Presado(a) aluno(a):

Peço que responda este formulário com franqueza, pois desta forma você contribuirá para a qualidade do meu trabalho. Caso queira fazer alguma observação em relação a alguma resposta ou questão não tem problema, se preciso utilize o verso da folha. Não é necessário se identificar e não valerá nota. **MUITO OBRIGADO.**

1ª) O material disponibilizado pelo professor possuía metodologia/recursos adequados que me facilitaram o entendimento do conteúdo.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo
- c) Neutro
- d) Discordo
- e) Discordo fortemente

2ª) As imagens presentes no material entregue durante o curso e a forma como os conteúdos foram apresentados nesse material me auxiliaram assimilar melhor os conceitos abordados.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo
- c) Neutro
- d) Discordo
- e) Discordo fortemente

3ª) As situações problemas disponibilizadas no material de ensino e as discussões em torno delas contribuíram para melhor entendimento do conteúdo.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo
- c) Neutro
- d) Discordo
- e) Discordo fortemente

4ª) Os textos trabalhados na sequência de ensino contribuíram para o entendimento dos conceitos abordados.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo
- c) Neutro
- d) Discordo
- e) Discordo fortemente

5ª) A forma como o trabalho foi sendo desenvolvido resgatando os conceitos já trabalhados e abrindo espaços para novos conceitos e discursões ajudaram-me a compreender melhor os conteúdos das aulas.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo
- c) Neutro
- d) Discordo

e) Discordo fortemente

6 ^a) A utilização de vídeos me ajudou a imaginar os conceitos abordados assim como no melhor entendimento.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo
- c) Neutro
- d) Discordo
- e) Discordo fortemente

7 ^a) A utilização das simulações computacionais ajudou-me a compreender melhor os conteúdos das aulas.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo
- c) Neutro
- d) Discordo
- e) Discordo fortemente

8 ^a) A elaboração dos mapas conceituais me ajudou no entendimento de conceitos novos assim como contribuiu para eu relacionar esses conceitos com outros já estudados em aulas e momentos anteriores.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo
- c) Neutro
- d) Discordo
- e) Discordo fortemente

9 ^a) Durante esse processo eu me sentir mais envolvido a participar das aulas/ atividades.

- a) Concordo fortemente.
- b) Concordo
- c) Neutro
- d) Discordo
- e) Discordo fortemente

10 ^a) Se você quiser fazer algumas sugestões, críticas, observações e etc. Este espaço tem esse propósito.

APÊNDICE D: PRODUTO EDUCACIONAL

Presado(a) aluno(a):

Peço que responda este formulário com franqueza, pois desta forma você contribuirá para a qualidade do meu trabalho. Caso queira fazer alguma observação em relação a alguma resposta ou questão não tem problema, se preciso utilize o verso da folha. Não é necessário se identificar e não valerá nota. **MUITO OBRIGADO.**

1^a) O material disponibilizado pelo professor possuía metodologia/recursos adequados que me facilitaram o entendimento do conteúdo.

- f) Concordo fortemente.
- g) Concordo
- h) Neutro
- i) Discordo
- j) Discordo fortemente

2^a) As imagens presentes no material entregue durante o curso e a forma como os conteúdos foram apresentados nesse material me auxiliaram assimilar melhor os conceitos abordados.

- f) Concordo fortemente.
- g) Concordo
- h) Neutro
- i) Discordo
- j) Discordo fortemente

3^a) As situações problemas disponibilizadas no material de ensino e as discussões em torno delas contribuíram para melhor entendimento do conteúdo.

- f) Concordo fortemente.
- g) Concordo
- h) Neutro
- i) Discordo
- j) Discordo fortemente

4^a) Os textos trabalhados na sequência de ensino contribuíram para o entendimento dos conceitos abordados.

- f) Concordo fortemente.
- g) Concordo
- h) Neutro
- i) Discordo
- j) Discordo fortemente

5^a) A forma como o trabalho foi sendo desenvolvido resgatando os conceitos já trabalhados e abrindo espaços para novos conceitos e discursões ajudaram-me a compreender melhor os conteúdos das aulas.

- f) Concordo fortemente.
- g) Concordo
- h) Neutro
- i) Discordo

j) Discordo fortemente

6^a) A utilização de vídeos me ajudou a imaginar os conceitos abordados assim como no melhor entendimento.

f) Concordo fortemente.

g) Concordo

h) Neutro

i) Discordo

j) Discordo fortemente

7^a) A utilização das simulações computacionais ajudou-me a compreender melhor os conteúdos das aulas.

f) Concordo fortemente.

g) Concordo

h) Neutro

i) Discordo

j) Discordo fortemente

8^a) A elaboração dos mapas conceituais me ajudou no entendimento de conceitos novos assim como contribuiu para eu relacionar esses conceitos com outros já estudados em aulas e momentos anteriores.

f) Concordo fortemente.

g) Concordo

h) Neutro

i) Discordo

j) Discordo fortemente

9^a) Durante esse processo eu me sentir mais envolvido a participar das aulas/ atividades.

f) Concordo fortemente.

g) Concordo

h) Neutro

i) Discordo

j) Discordo fortemente

10^a) Se você quiser fazer algumas sugestões, críticas, observações e etc. Este espaço tem esse propósito.

RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

UMA PROPOSTA DIDÁTICA PARA AULAS DE FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

**Arimael Silva
Edson Carvalho**

Sobre os autores



Arimael Alves possui graduação em Física Licenciatura pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e é Mestrando em Ensino de Física pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Atualmente é professor da rede estadual - Secretaria de Estado de Educação do Estado do Maranhão (SEDUC-MA) e realiza pesquisas em tecnologias aplicadas à sala de aula.

Edson Carvalho possui graduação em Física Licenciatura pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e em Engenharia Industrial Elétrica pelo Centro Federal Tecnológico do Maranhão atual Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Mestrado em Física da Matéria Condensada pela UFMA e Doutorado em Física Atômica e Molecular pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Atualmente é professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional da UFMA e coordenador do Curso de Licenciatura em Física na modalidade a distância da UFMA.



© Arimael Alves e Edson Carvalho – 2022.

O material apresentado neste documento pode ser reproduzido livremente desde que citada a fonte. As imagens apresentadas são de propriedade dos respectivos autores e utilizadas para fins didáticos. Por favor, contate os autores caso constate que houve violação de seus direitos autorais. Este documento é veiculado gratuitamente, sem nenhum tipo de retorno comercial a nenhum dos autores, e visa apenas a divulgação do conhecimento científico.

Apresentação

O processo de ensino e aprendizagem, na busca por mais eficiência, vem abandonando a repetição automatizada de processos em circunstância excessivamente fora da realidade ou descontextualizada e adquirindo entendimento de que é necessário dar a esse processo um significado, elucidando seu sentido e suas aplicações. Principalmente ao demonstrar que o conhecimento pode ser um utensílio adicional a sua maneira de refletir e atuar, na hora da aquisição de conhecimento.

Dentro desse contexto, elaboramos um material instrucional como uma proposta didática para se ensinar os princípios físicos sobre a obtenção de imagens no diagnóstico de doenças por ressonância magnética, conteúdo este que pode ser trabalhado em Física nos anos finais do Ensino Médio como tópico de Física Moderna e Contemporânea.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR COMO FUNDAMENTAÇÃO FÍSICA	3
2.1.	Ressonância magnética nuclear	6
3.	UESP SOBRE TÓPICOS DE FÍSICA RELACIONADOS A RESSONÂNCIA MAGNÉTICA.....	18
3.1.	Etapa pré UESP (preparação).....	18
3.2.	Situação inicial	19
3.3.	Situações problemas iniciais	19
3.4.	Aprofundando os conhecimentos	24
3.5.	Novas situações problemas	25
3.6.	Avaliação somativa individual.....	29
3.7.	Aula expositiva dialogada integradora	29
3.8.	Avaliação da aprendizagem na UEPS.....	29
	APÊNDICE A – Questionário 1: Tópicos de Física	32
	APÊNDICE B – Questionário 2 (Pós teste): Prova somativa individual.....	36

1. INTRODUÇÃO

A prática do ensino de Física nas escolas precisa buscar uma maior eficiência e isso pode ser alcançado através da aplicação de novas estratégias, tais como, introdução de novos conteúdos, melhorias na aplicação de práticas pedagógicas tradicionais e a implantação de práticas pedagógicas inovadoras. Além disso, o ensino deve sempre estar vinculado ao cotidiano dos estudantes, visto que eles estão constantemente sendo submetidos aos avanços da ciência e da tecnologia e que, na grande maioria das vezes, não são compreendidos, pois envolvem conceitos científicos desconhecidos para o grande público. Os professores precisam estar atentos ao meio social, ao uso de novas tecnologias e às mudanças de hábitos e costumes dos estudantes.

Os critérios que orientam a ação pedagógica deixam, portanto, de tomar como referência primeira “o que ensinar de Física”, passando a centrar-se sobre o “para que ensinar Física”, explicitando a preocupação em atribuir ao conhecimento um significado no momento mesmo de seu aprendizado (BRASIL, 2000b, p. 61).

Assim, torna-se possível que as escolas, de forma mais eficiente, através da interdisciplinaridade e contextualização, desenvolvam uma cultura científica, na qual se possa popularizar a ciência, em que os estudantes ao conhecerem e praticarem conteúdos de Física possam, além de desenvolver o raciocínio lógico, fazer conexões de conteúdos estudados e a sua realidade e, assim, entender a realidade que os cerca e até opinar ou participar dos caminhos que a sociedade deve trilhar.

O processo de ensino e aprendizagem, na busca por mais eficiência, vem abandonando a repetição automatizada de processos em circunstância excessivamente fora da realidade ou descontextualizada e adquirindo entendimento de que é necessário dar a esse processo um significado, elucidando seu sentido e suas aplicações. Principalmente ao demonstrar que o conhecimento pode ser um utensílio adicional a sua maneira de refletir e atuar, na hora da aquisição de conhecimento, na escola de Ensino Médio. (BRASIL, 2000b).

Conforme os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNM) Brasil (2000a), o mundo moderno, progressivamente mais, necessita de tecnologias alicerçadas no emprego de radiações e nos desenvolvimentos da microtecnologia. Trazer esses conteúdos para serem abordados no ensino médio pode proporcionar ao aluno, por exemplo, a capacidade de analisar as vantagens e desvantagens dos diferentes tipos de radiação e suas interações com a matéria e entender as técnicas utilizados nos diagnósticos médicos, entre outras abordagens.

A maneira como os conteúdos das disciplinas de ciências vem sendo ministrados no Ensino Médio ainda se encontra muito arraigado ao ensino-aprendizagem tradicional e memorística, o que é algo preocupante. Essa realidade se torna ainda mais inquietante quando se trata de Física, devido ao fato da fenomenologia estudada nessa disciplina estar bastante presente no cotidiano das pessoas e possuir inúmeras aplicações que deveriam possibilitar uma abordagem mais contextualizada, interessante e motivadora de seus aspectos em sala de aula.

Os principais avanços tecnológicos da humanidade perpassam pela Física, mais especificamente, pela Física Moderna e Contemporânea (FMC), o que aumenta a necessidade de um olhar mais cuidadoso para o ensino desses conteúdos em sala de aula. A exploração da FMC dentro do ensino médio precisa ser disseminada nas escolas. A condução bem feita desses conteúdos permite ao aluno compreender o funcionamento, por exemplo, de aparelhos e dispositivos que permeiam o seu cotidiano.

A medicina atual, por exemplo, é fortemente baseada em conceitos físicos, em especial a medicina de diagnóstico por imagem, e o entendimento dos alunos desses conceitos, que dão suporte ao funcionamento dela, torna-se necessário. Neste material estamos propondo uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre tópicos de Física relacionados a Ressonância Magnética (RM) aplicada à medicina de diagnóstico por imagem, pautada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

2. RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR COMO FUNDAMENTAÇÃO FÍSICA

A ressonância como um fenômeno da Física surge em várias situações do cotidiano. Em uma situação ideal, toda vez que um conjunto de elementos interligados estiver oscilando com uma frequência natural que é a frequência com a qual o aparelho vibraria livremente, ele pode ganhar energia de outro sistema, para tanto existe algumas condições uma delas é que os sistemas estejam vibrando com a mesma frequência e outra é que esses conjuntos não vibrem fora de fase. Quando isso ocorre dizemos que os sistemas são ressonantes e essa forma de transferência de energia é designada de ressonância.

Um modelo mais realista desse fenômeno está representado na ilustração da Figura 1. Nesta ilustração caracteriza um sistema “bloco mola” que descreve um oscilador harmônico amortecido submetido a uma força externa periódica no decorrer do tempo.

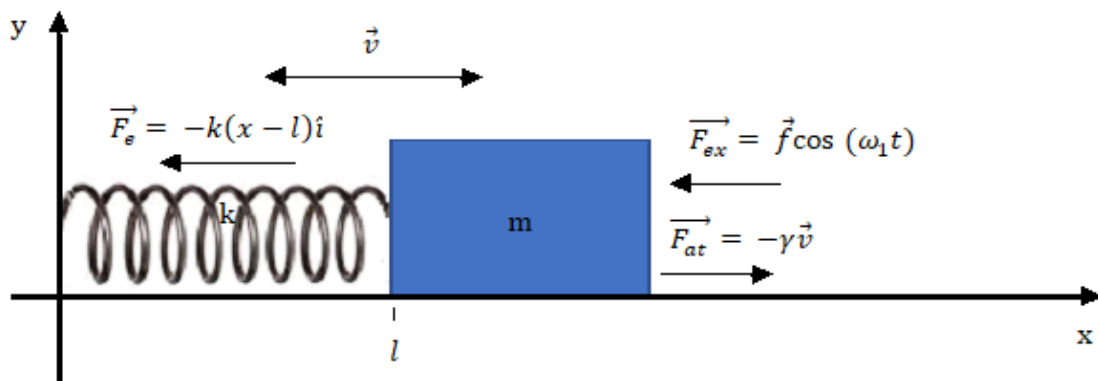


Figura 1: Oscilador Harmônico amortecido sujeito a uma força externa periódica. As oscilações ocorrem na direção do eixo x. As forças que atuam nesse sistema são: força restauradora \vec{F}_e , força de atrito \vec{F}_{at} , força externa periódica \vec{F}_{ex} . O l é a posição de equilíbrio.

No esquema montado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.2.1** um bloco de massa m preso a uma das extremidades de uma mola de constante elástica k , esta por sua vez é uma grandeza física escalar que depende do material e da forma, e ela é uma medida da rigidez, ou seja, indica a força necessária para fazer uma determinada “mola” sofrer uma deformação. Nesta situação o sistema vibra na direção x , portanto, nessa direção o sistema sofre a ação de três forças que são: força restauradora descrita pela lei de Hooke, força de atrito (dissipativa) e a força externa periódica no tempo com uma frequência angular ω_1 . A força resultante sobre esse sistema é então definida como

$$\vec{F}_r = \vec{F}_e + \vec{F}_{at} + \vec{F}_{ex} = -k(x-l)\hat{i} - \gamma\vec{v} + \vec{f}\cos(\omega_1 t). \quad (1)$$

Utilizando a segunda lei de Newton, em módulo, a equação (1), torna-se

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -k(x-l) - \gamma \frac{dx}{dt} + f \cos(\omega_1 t), \quad (2)$$

isto é,

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{k}{m}(x-l) - \frac{\gamma}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{f}{m} \cos(\omega_1 t), \quad (3)$$

que é a equação de movimento para o sistema proposto. Fazendo $X = x - l$, teremos

$$\frac{dX}{dt} = \frac{dx}{dt} \tag{4}$$

e

$$\frac{d^2X}{dt^2} = \frac{d^2x}{dt^2}. \tag{5}$$

Da mesma forma, para o caso do oscilador harmônico simples, definimos ω como frequência angular natural do sistema, dada pela expressão (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016a):

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{6}$$

e

$$2b = \frac{\gamma}{m}, \tag{7}$$

além de considerar que

$$F = \frac{f}{m}. \tag{8}$$

Substituindo as equações (6) a (8) em (5), a equação de movimento é reescrita como

$$\frac{d^2X}{dt^2} + 2b \frac{dX}{dt} + \omega^2 X = F \cos(\omega_1 t) \tag{9}$$

A solução particular para equação (a) é encontrada utilizando o método dos coeficientes a determinar. Então a solução particular (MACHADO, 2012) é:

$$X_p(t) = A \cos(\omega_1 t) + B \sin(\omega_1 t). \tag{10}$$

Calculando as derivadas da equação (10), tem-se que

$$\frac{dX}{dt} = -A \omega_1 \sin(\omega_1 t) + B \omega_1 \cos(\omega_1 t) \tag{11}$$

e

$$\frac{d^2X}{dt^2} = -A \omega_1^2 \cos(\omega_1 t) - B \omega_1^2 \sin(\omega_1 t) \tag{12}$$

Assim, podemos reescrever a equação (9) como sendo

$$[A(\omega^2 - \omega_1^2) + 2bB\omega_1] \cos(\omega_1 t) + [B(\omega^2 - \omega_1^2) - 2bA\omega_1] \sin(\omega_1 t) = F \cos(\omega_1 t) \tag{13}$$

Igualando os coeficientes, temos que

$$A(\omega^2 - \omega_1^2) + 2bB\omega_1 = F \tag{14}$$

e

$$B(\omega^2 - \omega_1^2) - 2bA\omega_1 = 0. \tag{15}$$

Evidenciando A na equação (14), ou seja,

$$A = \frac{B(\omega^2 - \omega_1^2)}{2b\omega_1} \tag{16}$$

e B na equação (15), tal que

$$B = \frac{2b\omega_1 F}{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}. \tag{17}$$

Então,

$$A = \frac{(\omega^2 - \omega_1^2)F}{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2} \quad (18)$$

Substituindo as equações (17) e (18) na solução particular, equação (10), tem-se que

$$X_p(t) = \frac{F}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} [\cos\theta \cos(\omega_1 t) + \text{sen}\theta \text{sen}(\omega_1 t)], \quad (19)$$

em que

$$\cos\theta = \frac{(\omega^2 - \omega_1^2)}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} \quad (20)$$

e

$$\text{sen}\theta = \frac{2b\omega_1}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} \quad (21)$$

Se fizermos uso da propriedade trigonométrica $\cos(a - b) = \cos a \cos b + \text{sen } a \text{ sen } b$, a solução particular dada pela equação (19) torna-se

$$X_p(t) = \frac{F}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} \cos(\omega_1 t - \theta) \quad (22)$$

A solução geral é a soma da solução particular equação (22) e da solução homogênea da equação (9), esta última solução neste momento não nos interessa, pois ela trata do oscilador harmônico amortecido já que seus efeitos perduram por pequenos intervalos de tempo. A outra solução, a particular nos interessa já que ela representa o termo oscilante com uma frequência angular igual a da força externa aplicada, porém com diferença de fase θ (Machado, 2012).

Ao considerarmos que ω , F e b sejam constantes para um determinado sistema, a amplitude do deslocamento $X_p(t)$ que é função da frequência angular ω_1 da força externa ondulante dada por

$$A'(\omega_1) = \frac{F}{\sqrt{(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2}} \quad (23)$$

Derivando a equação (23) em relação a ω_1 e igualando a zero para se obter os pontos críticos, isto é,

$$\frac{dA'}{d\omega_1} = - \frac{2F\omega_1[2b^2 - (\omega^2 - \omega_1^2)]}{[(\omega^2 - \omega_1^2)^2 + 4b^2\omega_1^2]^{\frac{3}{2}}} = 0 \quad (24)$$

ou

$$2F\omega_1[2b^2 - (\omega^2 - \omega_1^2)] = 0, \quad (25)$$

o que resulta em duas soluções, uma para $\omega_1 = 0$, que seria um oscilador amortecido, e a outra é

$$2b^2 - (\omega^2 - \omega_1^2) = 0 \quad (26)$$

com

$$\omega_1 = \sqrt{\omega^2 - 2b^2}. \quad (27)$$

A equação (27) nos fornece a informação que há valores reais para $\omega^2 \geq 2b^2$ e a amplitude de vibração é máxima para esses valores. Para $\omega < \sqrt{2}b$, o amortecimento é forte o suficiente para impedir o aparecimento da ressonância. A frequência descrita na

equação (27) para valores reais é definida como frequência de ressonância do sistema, tal que

$$\omega_R = \sqrt{\omega^2 - 2b^2}. \quad (28)$$

Quando um sistema, por exemplo o da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, é submetido a uma força externa periódica com uma frequência ω_1 igual ou semelhante a ω_R , a amplitude desse movimento é capaz de se modificar para valores elevadíssimos conforme o valor de b , que corresponde a força dissipativa. Para pequenos valores de b , a frequência de ressonância tende a ser igual a frequência angular natural de vibração do sistema. Caso $b = 0$, então não existe força dissipativa, logo o sistema não é amortecido. Tal sistema é denominado de Oscilado Harmônico Simples (OHS), cuja sua frequência de ressonância é

$$\omega_R = \omega, \quad (29)$$

em que a frequência angular natural do sistema ω é igual a frequência angular de ressonância. Então para um “modelo ideal” se uma força externa oscilante com uma frequência igual à da equação (30) for aplicada a esse sistema, ocorrerá o fenômeno de ressonância, que se caracterizará por um aumento na amplitude de oscilação do sistema, mesmo que a força aplicada seja de um pequeno valor. Logo, a energia adquirida pelo sistema oscilante é máxima. Por essa razão a frequência natural recebe o nome de frequência de ressonância do sistema (SERWAY; JEWETT, 2011).

2.1. Ressonância magnética nuclear

A **ressonância magnética nuclear (RMN)** tem seu início datado por volta de 1937 quando o físico austro-norte-americano Isidor I. Rabi (1898-1988), trabalhando nos Estados Unidos da América, descobriu um fenômeno importante, em que denominou de ressonância magnética nuclear. Naquela época já era conhecido que os prótons contidos nos núcleos atômicos tinham um movimento em torno do próprio eixo, denominado de “spin”, assim como os prótons, partículas nucleares dotadas de cargas elétricas positivas, e os elétrons, partículas de cargas elétricas negativas que se movem em órbitas ao redor do núcleo atômico. Isidor Rabi descobriu também que submetendo uma substância, como por exemplo o hidrogênio, a um forte campo magnético externo, os dipolos magnéticos atômicos tendiam a se alinhar com a direção desse campo (precessão) e podiam absorver energia rádio magnética externa proporcional à intensidade do campo magnético, o que ele denominou de fenômeno de ressonância (PHILIPS, 2007).

Rabi observou, também, que quando cessado o campo magnético aplicado, os dipolos retornavam ao seu movimento aleatório e durante esse relaxamento devolviam a energia absorvida na forma de ondas eletromagnéticas cuja frequência era típica de cada átomo. Ao analisar o espectro dessas frequências, Rabi era capaz de medir a quantidade de cada átomo na amostra criando um novo método de análise molecular que foi chamado de espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN) (PHILIPS, 2007).

O método utiliza a emissão de sinais de rádio de baixa intensidade quando átomos sofrem a ação de um campo magnético muito forte. Esta importante técnica RMN é atribuída, em 1946, de forma independente, aos físicos Felix Bloch (1905-1983), e

Edward Mills Purcell (1912-1997), os quais receberam o Prêmio Nobel de Física, em 1952, pela descoberta (BATHISTA; COLNAGO, 2004)

Entre os anos de 1950 e 1970, a RMN se desenvolveu bastante e começou a ser utilizada para análise de espectroscopia de moléculas. Em 2003, por desenvolverem os exames de RMN, que possibilitaram visualizar tecidos moles do corpo humano, Sir Peter Mansfield (1933-2017) e o Paul Lauterbur (1929-2007) dividiram o prêmio Nobel de Medicina (MAZZOLA, 2009).

A RMN é a interação do campo magnético de alta intensidade produzido por um aparelho com prótons atômicos do material submetido a esse campo. Durante essa ação, os prótons em precessão com uma frequência natural da mesma ordem das ondas de rádio, permitem o envio de pulsos de radiofrequências, que serão absorvidos e logo em seguida, reenviados de forma modificada com informações que serão captadas, decodificadas e transformadas em dados e imagem.

Assim, as particularidades da RMN têm princípio na relação entre partículas nucleares carregadas com o campo magnético externo. Sendo mais específico, é o fenômeno em que prótons, contendo momento angular e conseqüentemente momento magnético, executam movimento de precessão como se fosse um pião (fazendo uma analogia, clássica) girando sob ação do campo gravitacional da terra, quando submetidos a um campo magnético (MAZZOLA, 2009).

O corpo humano é composto de tecidos, os quais são formados por átomos e destes os mais comuns são: hidrogênio, oxigênio, carbono, fósforo, cálcio, flúor, sódio, potássio e nitrogênio. O hidrogênio, por ser o mais abundante nos tecidos que formam o corpo humano, por possuir momento magnético e conseqüentemente maior sensibilidade à RMN e por se diferenciar muito no tecido normal e no tecido patológico, é o escolhido para ser usado na formação da imagem por ressonância magnética nuclear. Além disso, é o elemento mais simples da natureza, possuindo um único próton, partícula carregada que possui um momento angular e por conseqüentes propriedades magnéticas, o que reitera tal escolha. (OLIVEIRA; BORDUQUI, 2012).

Assim, fazendo uma analogia clássica apenas para ilustrar e objetivando explicar mesmo que de forma superficial o comportamento dos prótons, supondo que o spin represente o movimento de rotação do próton em torno de seu próprio eixo, Figura 2, da mesma forma como se fosse uma minúscula esfera. Logo essa partícula nuclear carregada apresenta propriedades magnéticas, pois carga elétrica em movimento produz campo magnético, uma região sob influência magnética em torno de um polo magnético (extremidade de um ímã) ou de uma partícula carregada em movimento.

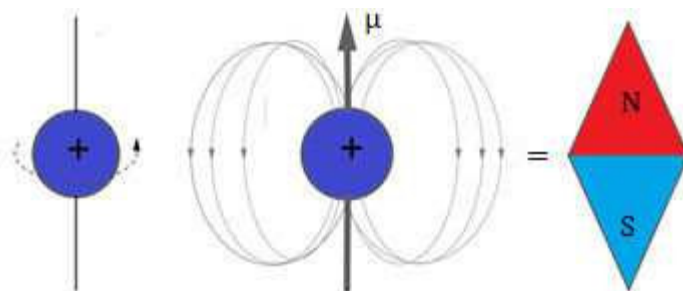


Figura 2 - O próton de hidrogênio visto como uma pequena esfera carregada positivamente que possui um movimento de giro (spin) em torno do seu eixo e, por isso irá se comportando como um pequeno dipolo magnético com um momento magnético (μ) associado.

As partículas que não são formadas por subestruturas são denominadas de partículas elementares e as partículas atômicas podem ser caracterizadas por um código matemático chamado de números quânticos. O spin pode ser entendido como um número quântico das partículas elementares e como propriedade vinculada ao movimento de rotação intrínseco da partícula que, portanto, desta forma mede o momento angular.

As partículas podem ter spin inteiro, semi-inteiro e até mesmo nulo. No caso do próton, o spin é semi-inteiro e igual a $1/2$, que pode ser positivo, ou seja, $+1/2$ (spin *up*) movimento de giro em um determinado sentido ou pode ser negativo $-1/2$ (spin *down*) movimento de giro no sentido contrário, fazendo uma analogia clássica.

O corpo humano é composto por um grande número de átomos de hidrogênio, cerca de 10% do peso total do corpo, com seus momentos magnéticos μ dispostos em todas as direções e sentidos, de tal maneira que o vetor magnetização resultante, que nada mais é do que a soma vetorial de todos os momentos magnéticos individuais, de um volume desse tecido é nulo (Figura 3). Isso levando em consideração a temperatura do corpo em torno de $36,5^{\circ}\text{C}$ e o campo magnético terrestre de 3×10^{-5} tesla.

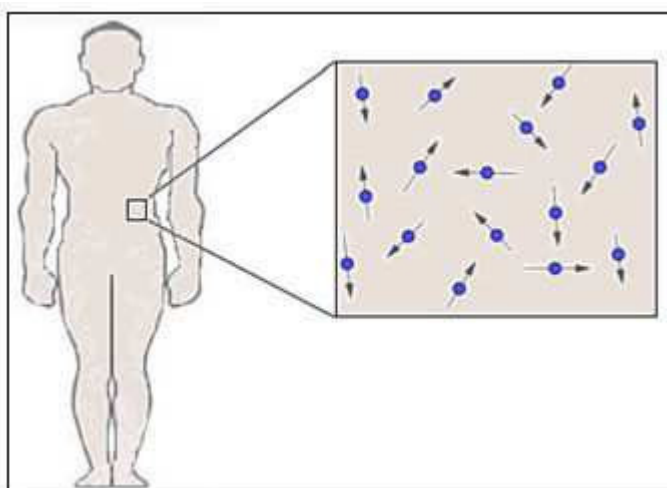


Figura 3 - Prótons de Hidrogênios ao acaso: vetor magnetização resultante é igual a zero ($M_R = 0$).

Os núcleos tendem a se alinhar na mesma direção do campo nos sentidos paralelo e antiparalelo quando submetido a um forte campo magnético estático B_1 , conforme mostra a Figura 2. Então, quando os núcleos são postos na presença de um campo magnético de alta intensidade, eles se desdobram em $2s + 1$ níveis de energia

diferentes para os prótons $s = \frac{1}{2}$. A energia do dipolo é definida como $E = -\mu B_1 \cos\theta$. Quando μ está no mesmo sentido de B_1 , $\theta = 0^\circ$ e a energia é a menor possível $E_1 = -\mu B_1$. Para $\theta = 180^\circ$, μ está no sentido contrário B_1 , a energia é a maior possível, $E_2 = \mu B_1$. Então a diferença entre esses dois estados adjacentes de energia é dada pela expressão.

$$\Delta E = \mu B_1 - (-\mu B_1) = 2\mu B_1, \quad (30)$$

em que ΔE é a diferença de energia entre os estados, μ é o momento magnético e B_1 o campo magnético externo.

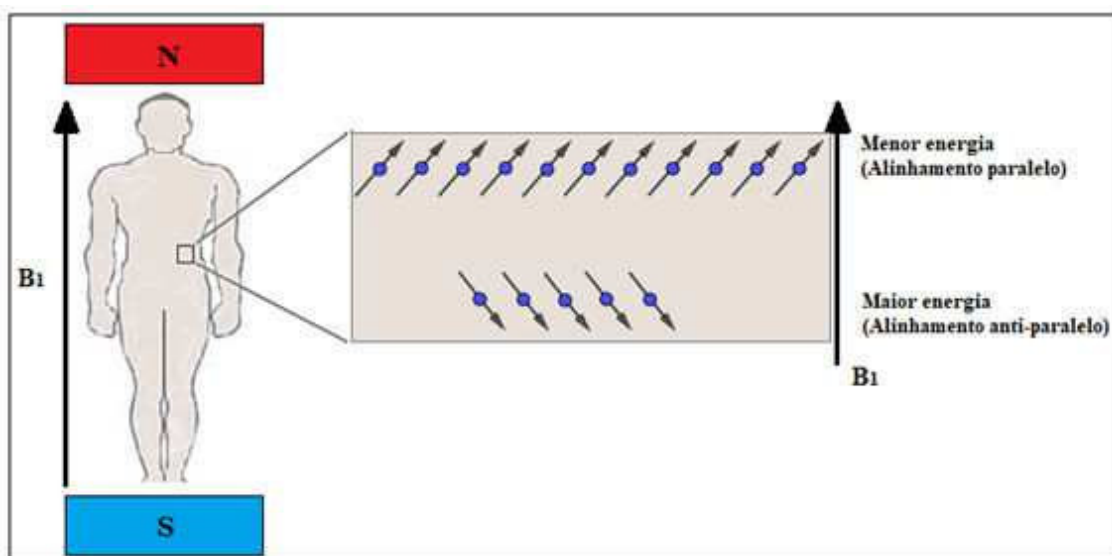


Figura 4 - Prótons de hidrogênio sob a ação do campo magnético externo. Os prótons se distribuem em dois níveis de energia, sendo que um número maior de prótons se alinha paralelamente

Essas duas orientações, paralela e antiparalela, caracterizam os dois níveis de energia que o núcleo de hidrogênio apresenta, o de menor energia, alinhamento paralelo, e de maior energia, alinhamento antiparalelo. Estes níveis são ordenados conforme a distribuição de Boltzmann, dada pela expressão

$$\frac{N_P}{N_{AP}} = e^{-\frac{\Delta E}{KT}}, \quad (31)$$

em que N_P é o número de spins paralelamente alinhados, N_{AP} é o número de spins alinhados de forma antiparalela, ΔE é energia entre os níveis, K é a constante de Boltzmann e T é a temperatura dada na escala Kelvin.

Na busca pelo alinhamento com o campo magnético externo B_1 e por executar o movimento associado ao spin, os núcleos acabam realizando um movimento resultante denominado de precessão, conforme mostra a Figura 5.

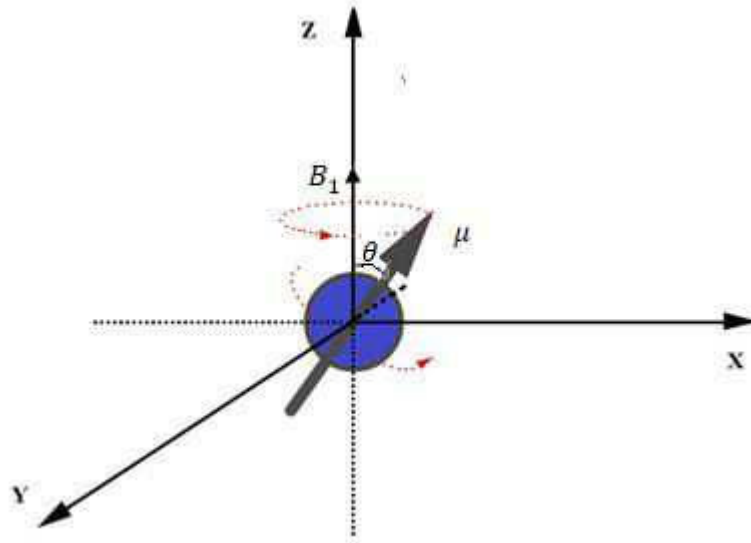


Figura 5 - Núcleo de hidrogênio realizando movimento de precessão.

Quando uma espira é percorrida por uma corrente elétrica é submetida a um campo magnético B_1 ela fica sujeita a um torque τ igual a:

$$\tau = \mu \times B_1 = \mu B_1 \sin \theta. \quad (32)$$

Sabe-se também que o torque é igual a variação do momento angular, logo

$$\tau = \frac{dL}{dt}. \quad (33)$$

De acordo com a Figura 5, dL pode ser escrito como

$$dL = L d\phi. \quad (34)$$

tal que a equação (33) possa ser reescrita como

$$\tau = L \frac{d\phi}{dt} = L\omega. \quad (35)$$

com $\omega = d\phi/dt$.

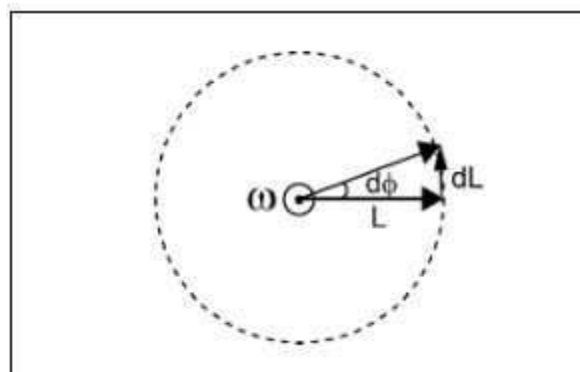


Figura 6 - Plano XY visto de cima.

Igualando as equações (32) e (35) e considerando $\theta = 90^\circ$, teremos

$$L\omega = \mu B_1. \quad (36)$$

Fazendo $\mu = \gamma L$, obteremos que

$$\omega = \gamma B_1, \quad (37)$$

em que ω é denominada de frequência de Larmor ou frequência de precessão, γ é a razão giromagnética e B_1 é o campo magnético externo e uniforme. Esta equação é denominada de Equação de Larmor em homenagem ao físico inglês Joseph Larmor (1857 - 1942) e mostra que a frequência de precessão é diretamente proporcional ao campo magnético, ou seja, indica que para qualquer alteração no campo B_1 ocorrerá conseqüentemente uma modificação na frequência de Larmor que é, também, de fundamental importância para o entendimento do fenômeno da ressonância magnética.

Então, para o átomo de hidrogênio em que a razão giromagnética é 42 MHz/T, teremos para um campo magnético externo de 1,5 T de intensidade com a frequência de Larmor igual a 63,9 MHz ($63,9 \times 10^6 Hz$). Portanto, esse valor está dentro do intervalo de frequência de uma onda de rádio ou radiofrequência RF, que é um tipo de onda eletromagnética.

Ondas Eletromagnéticas (OE's) são formadas pelas combinações de campo elétrico e campo magnético oscilantes, em que a variação do campo elétrico induz o surgimento do campo magnético e a pulsação do campo magnético produz o campo elétrico. Esses efeitos estão previstos na lei de Faraday com contrapartida do físico e matemático britânico James Clerk Maxwell (1831 - 1879), na lei de Ampère-Maxwell, reconhecidas como duas das quatro equações de Maxwell (TIPLER; MOSCA, 2006).

Nas ondas eletromagnéticas os campos elétrico e magnético são perpendiculares entre si, o que significa que as OE's são ondas transversais, ou seja, podem ser polarizadas; os campos elétrico e magnético se retroalimentam e possuem uma velocidade limite denominada de velocidade da luz, que no vácuo é igual a 300.000,00 m/s (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016b).

O conjunto formado por todas as ondas eletromagnéticas conhecidas é denominado de espectro eletromagnético, que de forma esquemática é mostrado na Figura 7.

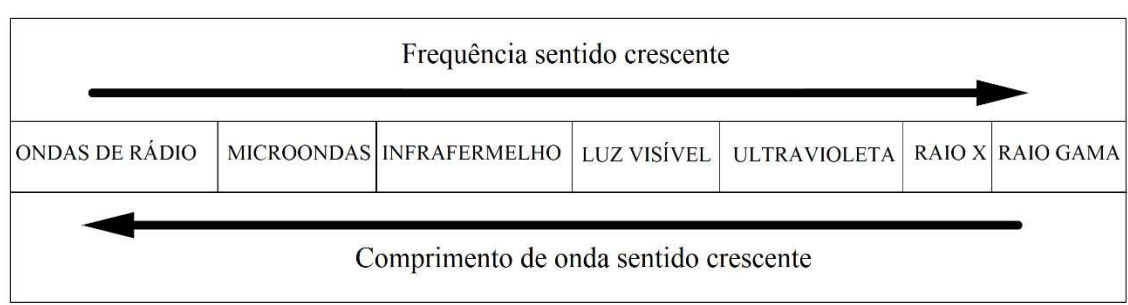


Figura 7 - Espectro eletromagnético

As ondas eletromagnéticas possuem diversas aplicações tecnológicas no nosso cotidiano baseado, em princípio, na interação delas com os corpos, como nos raios-X, ou no transporte de energia ou, informação, como em transmissões via satélite. Essas aplicações estão distribuídas por todo o espectro eletromagnético, desde as frequências mais elevadas, que equivalem aos menores comprimentos de onda, até as frequências mais baixas, com os maiores comprimentos de onda.

As ondas de rádio, que são objetos de nosso interesse, são OE's de baixa frequência e conseqüentemente baixa energia, portanto, não ionizantes, uma vez que não provocam riscos à saúde. Muito utilizadas nas comunicações, essas ondas, possuem uma faixa de frequências em Hertz na ordem de 10^4 a 10^8 (HEWITT, 2015), e, portanto, por possuir frequência nessa ordem é fundamental para a ocorrência da RMN.

Já as radiações ditas ionizantes, por exemplo o raio X, são OE's de alta energia e dependendo das condições de uso podem causar lesões nas células ou até mesmo a morte dela. Esse tipo de radiação ao incidir no material orgânico desfaz a ligação molecular gerando radicais livres, conjunto de átomos que possuem elétrons desemparelhados, que se conectam as estruturas biológicas provocando estragos irreversíveis.

Quando uma amostra do tecido está sujeita ao campo magnético externo B_1 , o efeito sobre os spins dos prótons de hidrogênios irá provocar uma magnetização resultante que possuirá componentes horizontais ao longo do campo magnético (veja ilustração da Figura 8). Considerando que uma amostra possua 17 nucleos de hidrogênios e que o campo magnético esteja aplicado ao longo do eixo Z.

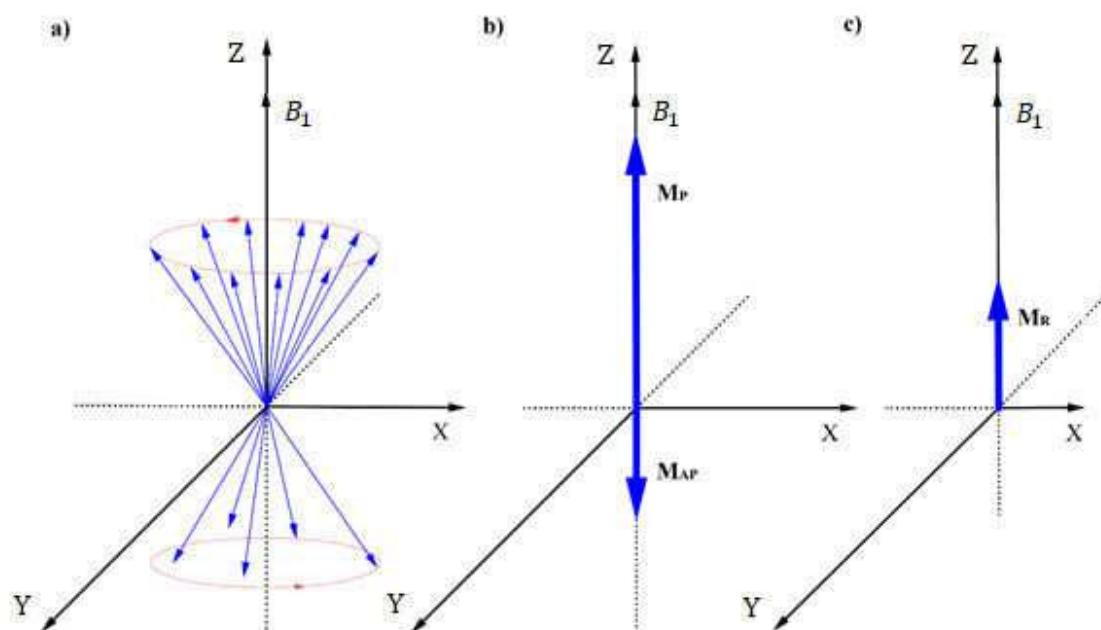


Figura 8 - a) Spins precessando e alinhados paralelo e antiparalelo ao campo magnético externo aplicado (eixo z). b) Vetor magnetização resultante paralelamente M_P e anteparalelamente M_{AP} . c) Vetor magnetização resultante M_R .

Apesar de todos os momentos magnéticos possuírem individualmente a mesma frequência eles não apresentam coerência de fase, ou seja, eles estão em posições distintas. Portanto, não dispõem de componentes de magnetização no plano XY como mostra a Figura 9.

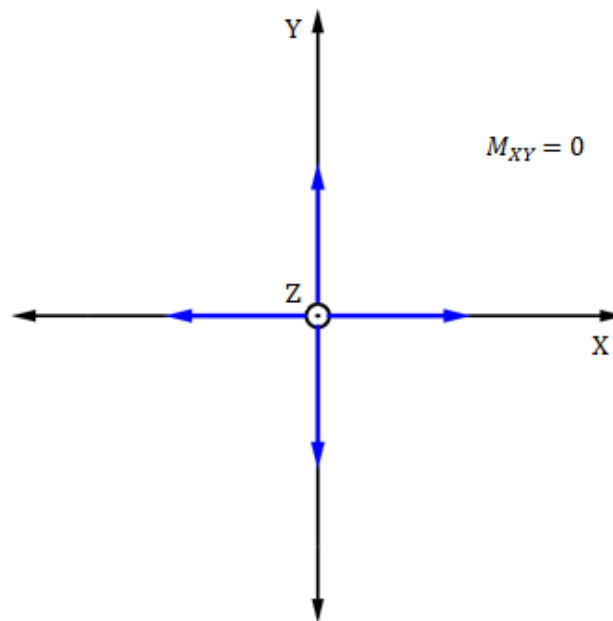


Figura 9 - Plano XY visto de cima $M_{XY} = 0$.

Isso significa que nesse plano não há variação do fluxo magnético, logo para se ter uma corrente induzida em uma bobina posicionada perpendicularmente ao plano transversal (XY) se faz necessário inclinar o vetor magnetização ao longo do eixo longitudinal (Z), e, que todos os spins se movam na mesma posição para se ter o máximo de sinal induzido na bobina, conforme ilustra a Figura 10.

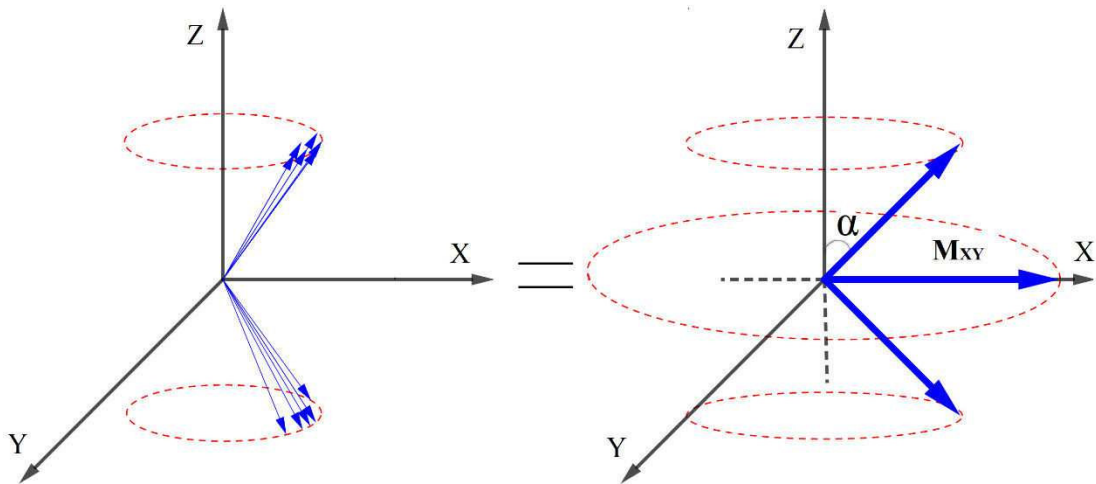


Figura 10 - Spins em fase e $M_{XY} \neq 0$

Para provocar esses efeitos na amostra lança-se mão de um segundo campo magnético B_2 (pulso de radiofrequência), que deve ser perpendicular a B_1 e deve estar em fase com a frequência de precessão. Com isso, o vetor magnetização que tinha movimento de precessão somente no eixo Z, também irá apresentar precessão no eixo X.

Assim, quando se emite um pulso de radiofrequência com energia igual ao gradiente de energia entre os estados de maior e menor energia, os núcleos de energia mais baixa ao absorver a energia desse fóton, partícula constituinte da luz que conduz a energia contida nas OEs, por ressonância, “saltam” para o estado de energia mais elevado

até que o número spins com alinhamento paralelo se iguale ao de spins com alinhamento antiparalelo. Quando isso ocorre se pode dizer que sistema está em RMN.

Para ocorrer RMN, a energia do fóton ($E = hf$), em que h é a constante de Planck e f é a frequência da OE's, tem que se igualar à diferença de energia entre o estado de maior e menor energia, tal que

$$E = hf = 2\mu B_1. \quad (38)$$

Aplicando a definição de dipolo magnético teremos que a equação (38) pode ser reescrita como

$$hf = 2\gamma L B_1, \quad (39)$$

tal que o momento angular L só pode apontar em certas direções em relação ao eixo Z .

Para o momento angular temos que o número quântico magnético orbital m_l atribui valores permitidos para L_z , conforme a relação

$$L_z = m_l \hbar. \quad (40)$$

De forma semelhante, o momento angular de spin S é quantizado e especificado pelo seu número quântico magnético de spin m_s , que pode ser $\pm 1/2$. Por analogia, com o momento angular orbital, tem-se que

$$S_z = m_s \hbar = \pm \frac{1}{2} \hbar. \quad (41)$$

Já que os dois são momentos angulares, pode-se trocar L_z por S_z , substituindo-se a equação (43) na equação (41), em que $\hbar = h/2\pi$ e $f = \omega/2\pi$, tal que

$$\omega = \gamma B_1, \quad (42)$$

que é a equação de Larmor. Portanto, para ocorrer o fenômeno da RMN é preciso que a frequência dos pulsos de campo magnético B_2 (ondas de rádio) tenham que ser igual à frequência de precessão dos núcleos de hidrogênio, que é a mesma frequência relacionada a diferença de energia entre os estados de maior e menor energia ($f = \Delta E/h$).

A aplicação do campo magnético B_2 tem basicamente duas funções, uma delas é o fornecimento de energia, cujo vetor magnetização é deslocado totalmente ou em partes para o plano transversal (XY), e a outra é ocasionar provisoriamente que os prótons parecessem em fase no plano XY.

Com a utilização do pulso B_2 , o vetor magnetização é deslocado para o plano XY e uma bobina, devidamente ali colocada, detectará esse movimento, pois uma voltagem induzida aparecerá nessas espiras, conforme a lei de Faraday (Figura 11). Essa tensão será convertida em um sinal de RMN.

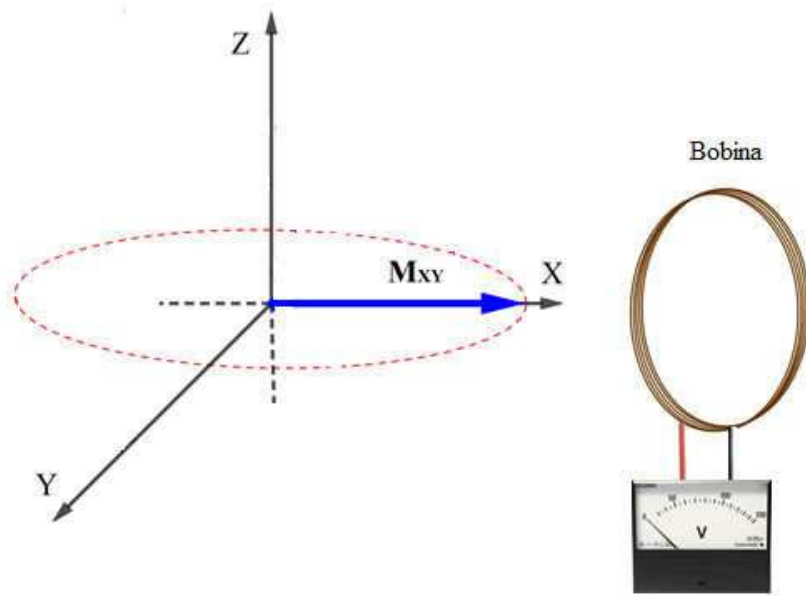


Figura 11 - Sinal induzido na bobina.

Quando finalizado o pulso B_2 , o vetor magnetização retorna a sua configuração inicial de equilíbrio (plano longitudinal) e isso se dá devido as interações entre spin – rede (sua vizinhança) e spin-spin, pois os movimentos de precessão e o deslocamento no plano transversal são amortecidos devido as perdas de energias ocasionadas por essas interações. Esses dois processos de relaxação, spin-rede e spin-spin, são descritos pelos parâmetros T_1 e T_2 .

A especificação que representa o tempo que o vetor magnetização leva para retornar ao plano longitudinal devido à interação spin-rede é denominada de T_1 , que é uma constante tocante que depende do tecido da amostra dada pela abaixo

$$M_Z = M_R \left(1 - e^{-t/T_1}\right), \tag{43}$$

em que M_Z é o vetor de magnetização em relação ao tempo t e M_R é a magnetização inicial, ou seja, antes da aplicação do campo B_2 . Então, dependendo do tipo de tecido, ou seja do parâmetro T_1 , tem-se uma magnetização longitudinal mais rápida para pequenos valores de T_1 ou mais lenta para T_1 mais elevados.

Se considerarmos $t = T_1$, encontraremos que

$$M_Z = M_R \left(1 - e^{-T_1/T_1}\right) = M_R(1 - 0,37) \Rightarrow M_Z = 0,63M_R. \tag{44}$$

Então, para a magnetização ao longo do eixo Z , obter 63% do seu valor original é preciso um tempo T_1 .

Já o parâmetro que simboliza a diminuição temporal da magnetização transversal e que é influenciado pela interação spin-spin é denominado de T_2 , que é uma constante característica do tecido. Durante a relaxação transversal, os momentos magnéticos perdem coerência de fase e começam o movimento de precessão com frequências discretamente diferentes, logo quando dois spins estão próximos, o campo magnético de um influencia o comportamento do campo magnético do outro ocasionando variações no campo magnético local, provocando mudanças de velocidade de precessão

e, conseqüentemente defasagem. A relaxação transversal possui uma expressão parecida com a longitudinal e é dada por

$$M_{XY} = M_R e^{-t/T_2}, \quad (45)$$

em que M_{XY} é a magnetização transversal em relação t , M_R magnetização inicial e T_2 é uma constante que especifica a queda da magnetização transversal por conta da defasagem dos spins. Esta expressão indica que para valores de T_2 maiores, a relaxação transversal é mais lenta e para valores de T_2 menores a relaxação é mais rápida.

Da equação (45), fazendo $t = T_2$, tem-se que

$$M_{XY} = 0,37M_R. \quad (46)$$

Portanto, T_2 é o tempo necessário para que a magnetização no plano transversal atinja 37% do seu valor inicial. Assim, através da decodificação dos parâmetros T_1 e T_2 e da diferença entre esses tempos de relaxação, pode-se produzir contraste na imagem entre os tecidos que compõem a amostra (veja Figura 12)

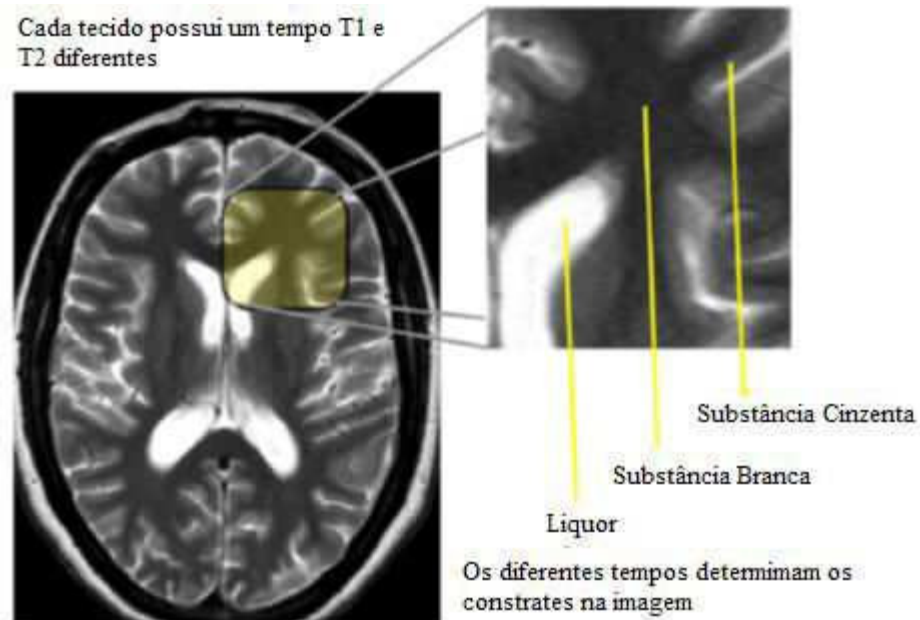


Figura 12 - Imagem turbo spin eco ponderada em T_2 , mostrando na imagem ampliada a resolução de contraste obtida devido às diferenças nos tempos T_2 entre os tecidos envolvidos. Fonte: (MAZZOLA, 2009, P.122).

Para um campo magnético de 1,5 T, os parâmetros de tempo T_1 e T_2 para diversos tecidos estão representados na Tabela 1.

Tecido	T_1 (ms)	T_2 (ms)
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

Tabela 1 - Tempos de relaxação T_1 e T_2 aproximados para diversos tecidos do corpo humano a 1,5 T. Fonte: (MAZZOLA, 2009, P.121).

De uma maneira mais sintética, a obtenção da imagem por RMN é concebida pela seguinte fases: o paciente ou amostra é posicionado na parte interna do aparelho de RMN, ou seja, no interior do magneto; os prótons de hidrogênio desse paciente buscam o alinhamento na direção do campo magnético gerado pelo magneto, produzindo dessa forma uma vetor magnetização; gradientes de campo magnético são aplicados para a identificação da posição espacial dos sinais que serão obtidos; pulsos de RF são gerados e os núcleos atômicos adquirem energia; em seguida, começa a surgir relaxação T_1 e T_2 ; os prótons induzem o sinal de RM nas bobinas receptoras; o sinal de RM é processado através da transformada de Fourier e a imagem é formada ponto a ponto numa matriz (MAGALHAES, 1999).

3. UESP SOBRE TÓPICOS DE FÍSICA RELACIONADOS A RESSONÂNCIA MAGNÉTICA

Moreira (1999) desenvolveu uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) constituída a partir de uma "sequência de ensino". O marco teórico para essa sequência denominada de UEPS está ancorado à elementos da teoria da aprendizagem significativa de D. Asubel (1968, 2000), na teoria interacionista social de Lev Vygotsky (1987), na teoria dos campos conceituais de Gérard Vergnaud (1990), na teoria dos modelos mentais de Philip Johnson-Laird (1983), nas teorias de educação de Joseph D. Novak (1977) e de D.B. Gowin (1981).

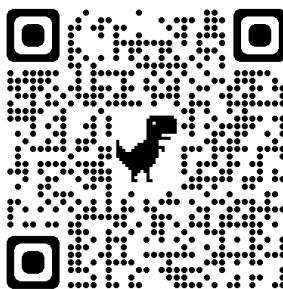
Essas UEPS são compostas por ferramentas estruturadas para promover efetivamente a aprendizagem significativa, sendo o ensino o meio e a aprendizagem o fim. Para tanto, o material instrucional baseados nessas sequências tem que ser potencialmente significativo, levando em consideração a diferenciação progressiva, ou seja, a hierarquização dos conceitos para facilitar a estruturação e a retenção, e a reconciliação integradora, relações entre conhecimentos em graus crescentes de complexidade.

Esta unidade de ensino que especificaremos nesta seção foi idealizada para ser desenvolvida em oito etapas, sendo sete em sala de aula com os alunos e um de preparação, em que cada uma dessas etapas pode variar de uma até quatro horas aula. A seguir detalharemos nossa proposta.

3.1. Etapa pré UESP (preparação)

Nessa etapa será feita uma breve introdução acerca dos fundamentos básicos de elaboração dos mapas conceituais para os alunos, utilizando alguns exemplos e definições. Para tanto, será explorado o artigo "Mapas Conceituais (MC) e Aprendizagem Significativa" do professor Marco Antônio Moreira, na qual exemplifica e sugere alguns passos para a construção de MC. Logo abaixo, estão disponíveis os links e os QR Code's associados a esse artigo assim como uma sequência de slides como sugestão de aula. Para esta etapa será necessária 1 (uma) hora/aula.

- Mapas Conceituais (MC) e Aprendizagem Significativa:



- Sugestão de aula introdutória sobre MC e fundamentos básicos de elaboração do MC:



Com os estudantes tendo noção do que é um MC, pra que serve e como é confeccionado, após isso se inicia a próxima etapa. A UEPS sobre tópicos de Física relacionados à Ressonância Magnética será dividida em 8 etapas que obedecerão a seguinte sequência:

3.2. Situação inicial

Com o objetivo de realizar um levantamento dos conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema proposto nesta UEPS, e assim verificar a presença de subsunções necessários para a ocorrência de aprendizagem significativa serão aplicados dois instrumentos: um deles o Questionário-1 individual / pré-teste (apêndice A) e o outro a produção de um mapa conceitual com uso de fichas com palavras-chaves relacionadas à Física Moderna e Contemporânea (FMC), (campo elétrico, campo magnético, spin, onda, partícula, fóton, frequência, comprimento de onda, radiação eletromagnética). Nessa construção do MC os alunos poderão associar livremente tais palavras, seguindo seus próprios critérios. Esta atividade será realizada em grupos de no máximo quatro alunos e ao final desta etapa, cada grupo entregará o seu mapa conceitual ao Professor/Pesquisador. O período previsto para essa etapa será de 2 (duas) horas/aula.

3.3. Situações problemas iniciais

Neste momento os alunos serão divididos em grupos, preferencialmente os mesmos grupos da etapa anterior, e eles irão responder as seguintes questões:

- i) Como explicar que um(a) cantor(a) lírico consegue quebrar uma taça de vidro usando apenas a voz?
- ii) Como explicar o funcionamento de forno de micro-ondas?
- iii) Como é feito o exame de ressonância magnética? Para que serve?

Atividade para ser disponibilizada para os alunos

Nome da Escola: _____

Turma: _____ Turno: _____

Alunos (as): _____

Professor (a): _____

Atividade de Física - Situações problemas iniciais

1ª- Como explicar que um(a) cantor(a) lírico consiga quebra uma taça de vidro?

Se necessário reveja sua resposta (após a autorização do professor):

2ª- Como explicar o funcionamento de forno de micro-ondas?

Se necessário reveja sua resposta (após a autorização do professor):

3ª- Como é feito o exame de ressonância magnética? Para que serve?

Se necessário reveja sua resposta (após a autorização do professor):

Após responderem essas questões, os grupos vão compartilhar suas respostas a partir de apresentação oral, a fim de que todos possam, sob a supervisão do professor, discutir as respostas dadas a cada questão. Em seguida, os alunos realizarão a leitura dos textos.

Texto para ser disponibilizado para os alunos

Ondas Eletromagnéticas, Forno de micro-ondas e Ressonância

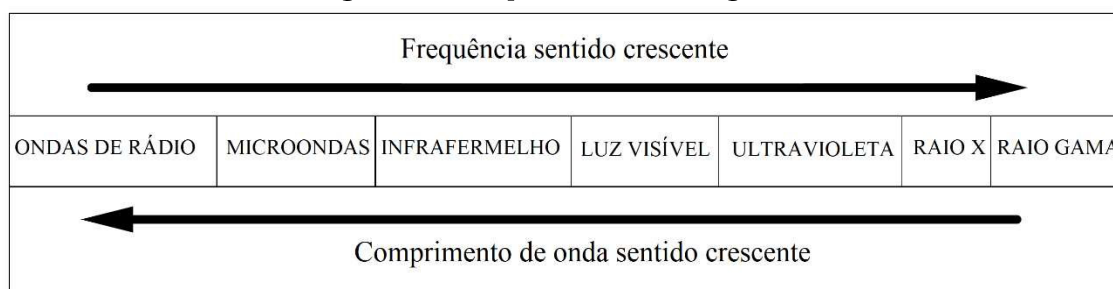
Ondas Eletromagnéticas

Ondas Eletromagnéticas (OE's) são formadas pelas combinações de campo elétrico e campo magnético oscilantes, em que a variação do campo elétrico induz o surgimento do campo magnético e a pulsação do campo magnético produz o campo elétrico. Esses efeitos estão previstos na lei de Faraday com contrapartida do físico e matemático britânico James Clerk Maxwell (1831 – 1879), na lei de Ampère-Maxwell, reconhecidas como duas das quatro equações de Maxwell (TIPLER; MOSCA, 2006).

As principais características das ondas eletromagnéticas são que os campos elétrico e magnético são perpendiculares entre si e também em relação a direção de velocidade propagação isso significa que as OE's são ondas transversais, ou seja, podem ser polarizadas; os campos elétrico e magnético se retroalimentam e elas possuem uma velocidade limite denominada de velocidade da luz no vácuo igual a 300.000,00 m/s (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016b).

O conjunto formado por todas as ondas eletromagnéticas conhecidas, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, ordenadas pela frequência ou pelo comprimento de onda é denominado de espectro eletromagnético.

Figura 13 – Espectro eletromagnético



Fonte: Elaborado pelo autor

Essa entidade Física (OE) tem várias aplicabilidades tecnológicas no nosso cotidiano baseado, em princípio, na interação delas com os corpos, como nos raios-X, ou no transporte de energia ou, informação, como em transmissões via satélite. Essas aplicações estão distribuídas por tudo o espectro eletromagnético, desde as frequências mais elevadas, que equivalem aos menores comprimentos de onda, até as frequências mais baixas, com os maiores comprimentos de onda.

As ondas de rádio, que são objetos de nosso interesse, são OE's de baixa frequência e conseqüentemente baixa energia, portanto, não ionizantes, uma vez que não provocam riscos à saúde, muito utilizadas nas comunicações, essas ondas, possuem uma faixa de frequências em Hertz na ordem de 10^4 a 10^8 (HEWITT, 2015).

Já as radiações ditas ionizantes, por exemplo o raio X, são OE's de alta energia e dependendo das condições de uso podem causar lesões nas células ou até mesmo a morte da mesma. Esse tipo de radiação ao incidir no material orgânico ela desfaz ligação molecular gerando radicais livres, conjunto de átomos que possuem elétrons desemparelhados, que se conectam as estruturas biológicas provocando estragos irreversíveis.

Forno de micro-ondas

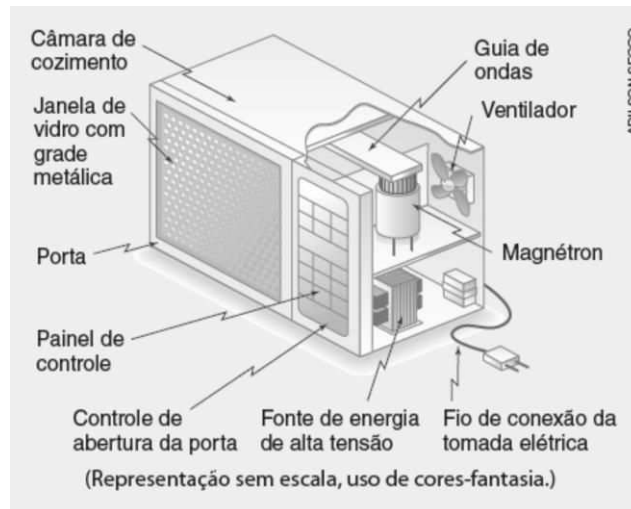
Uma tecnologia disponível hoje em muitas casas foi uma descoberta quase acidental de um pesquisador que trabalhava com um magnétron, um dispositivo eletrônico que gera micro-ondas a partir de energia elétrica: uma barra de chocolate, esquecida sobre uma bancada, derreteu quase imediatamente quando exposta à radiação das micro-ondas.

As micro-ondas já eram utilizadas na Segunda Guerra Mundial em radares, usados para detectar frotas inimigas invasoras, pelo fato de refletirem facilmente em superfícies metálicas.

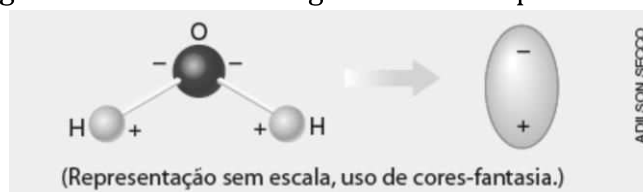
Em um forno de micro-ondas, a radiação produzida pelo magnétron é direcionada para uma guia de ondas que as remete para a câmara de cozimento. A câmara de cozimento possui paredes metálicas que refletem as micro-ondas continuamente, de maneira que estas permanecem no interior da câmara até serem absorvidas pelo alimento em preparação.



A porta de vidro do forno é permeada por uma grade metálica que age também como refletor das micro-ondas. A reflexão é tão boa que, se não houver nada para absorver as micro-ondas, elas podem retornar para o magnétron e causar um superaquecimento.

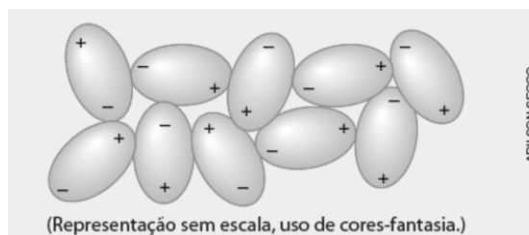


Para entender como um forno de micro-ondas pode cozinhar ou descongelar um alimento, devemos lembrar que a molécula de água é polarizada, ou seja, possui uma região eletrizada negativamente e outra região eletrizada positivamente.



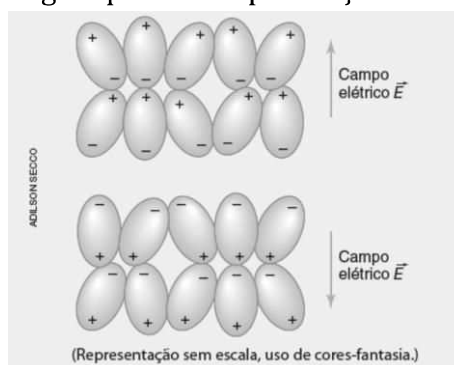
No gelo, as moléculas de água estão arranjadas em um padrão bastante organizado, com orientação e posições fixas. Mas, na água líquida, elas estão orientadas em um padrão aleatório, regido apenas pela tendência da molécula de água de formar pontes de

hidrogênio. O diagrama a seguir mostra a disposição aleatória das moléculas de água líquida.



Se a água for colocada na presença de um campo elétrico intenso, suas moléculas tendem a girar e se alinhar com o campo. Isso ocorre porque, na situação em que o arranjo molecular é aleatório, as moléculas de água possuem uma certa energia potencial eletrostática, e a tendência natural, quando na presença do campo elétrico, é buscar uma situação de energia potencial mínima.

Esse alinhamento das moléculas também pode ser entendido a partir da força elétrica que atua em cada região da molécula: na região positivamente eletrizada, a força elétrica age no mesmo sentido do campo elétrico e na região negativamente eletrizada a força elétrica age em sentido oposto ao do campo elétrico. O esquema a seguir mostra a orientação das moléculas de água quando na presença de um campo elétrico.



Quando gira devido à presença do campo elétrico, a molécula de água atrita com outras e converte parte de sua energia potencial eletrostática em energia térmica, ou seja, na presença de um campo elétrico, as moléculas de água passam a apresentar um “grau de agitação” maior. Em outras palavras, a temperatura da água aumenta.

Na câmara de cozimento de um forno de micro-ondas, a flutuação do campo elétrico é adequada para o aquecimento da água. Esse tipo de forno utiliza micro-ondas com frequência de 2,45 GHz ou $2,45 \cdot 10^9$ Hz para alterar a orientação das moléculas de água bilhões de vezes a cada segundo. Essa foi a frequência escolhida porque ela não é usada em comunicações e também porque dá às moléculas de água o tempo necessário para completar uma rotação antes de inverter novamente sua orientação.

Isso explica por que apenas os alimentos contendo água, açúcares ou gorduras — ou outras moléculas polares se aquecem no interior do forno; as moléculas polares absorvem a energia das micro-ondas e a convertem em energia térmica. Porcelana, vidro comum e plásticos não contêm moléculas de água na sua estrutura e, por esse motivo, mesmo com o forno em funcionamento, não se aquecem pelo processo descrito. Os recipientes, contendo alimentos, se aquecem pelo processo de condução por estarem em

contato direto com o alimento quente. Já os recipientes metálicos não devem ser usados porque podem refletir as micro-ondas.

Ressonância

A ressonância como um fenômeno da Física surge em várias situações. Em uma situação ideal, toda vez que um conjunto de elementos interligados estiver oscilando com uma frequência natural que é a frequência com a qual o aparelho vibraria livremente, ele pode ganhar energia de outro sistema, para tanto os sistemas precisam estar vibrando com a mesma frequência ou com frequências muito parecidas. Quando isso ocorre dizemos que os sistemas são ressonantes e essa forma de transferência de energia é designada de ressonância.

Você já deve ter ouvido falar que cantores líricos conseguem quebrar uma taça de cristal usando apenas o som emitido por sua voz. Será que isso é possível?

Como já sabemos, o som é uma onda mecânica que se propaga em meios materiais, essa onda produz vibrações no meio em que se propaga. Toda e qualquer onda sonora é capaz de produzir vibrações que estimulam oscilações em corpos situados nas proximidades das fontes. Quando a frequência de oscilação da fonte coincide com a frequência de oscilação natural do corpo, a amplitude de oscilação desse corpo atinge valores elevados, pois a fonte progressivamente cede energia ao corpo. Esse fenômeno é conhecido como ressonância.

Quando a frequência da voz de uma cantora lírica atinge a mesma frequência de vibração das moléculas de uma taça de cristal, a quantidade de energia das moléculas se eleva gradativamente e a taça se quebra.

Em 1940, uma ponte sobre o rio Tocama, nos Estados Unidos, ruiu quando uma ventania imprimiu sobre ela impulsos periódicos com frequência igual à frequência natural de vibração da ponte.

Em um violão, o ar contido dentro da caixa de madeira, chamada de caixa de ressonância, vibra com a mesma intensidade do som produzido pela corda, intensificando o som.

Em grupo os alunos destacarão as palavras não compreendidas e, elaborarão e responderão seis questões dos referidos textos. Essas questões e suas respectivas respostas serão apresentadas ao grande grupo, esta etapa necessita quatro horas/aula.

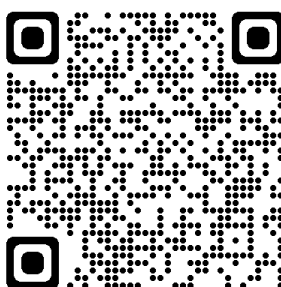
3.4. Aprofundando os conhecimentos

Nesta etapa será utilizada uma simulação computacional encontrada no site PhET da Universidade do Colorado sobre campo eletromagnético. A simulação escolhida foi “Ímãs e Eletroímã”. Também serão exibidos dois vídeos: “Ondas Eletromagnéticas-03TV”, cuja duração é de 8 minutos e 52 segundos; “SHAMAN: Thiago Bianchi quebra taça” de 2 minutos e 12 segundos de duração. Logo abaixo, estão disponíveis os links e os QR Code’s associados a simulação e aos vídeos propostas nesta fase.

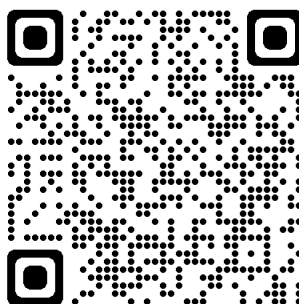
- PhET Simulation - Ímãs e Eletroímã:



- Ondas Eletromagnéticas-03TV:



- SHAMAN: Thiago Bianchi quebra taça:



Após assistir cada vídeo instrucional, o professor juntamente com os alunos estruturará os novos conteúdos buscando uma correlação com os conceitos da etapa anterior permitindo aos alunos revisitarem as respostas apresentadas as questões para que possam reformulá-las ou até mesmo consolidá-las. Esta etapa está compreendida em duas horas/aula.

3.5. Novas situações problemas

Os alunos em grupo apresentarão explicações/ respostas para as seguintes situações problemas:

- Quais são os principais conceitos físicos relacionados à ressonância magnética e descreva cada um deles?
- O que acontece com os prótons, por exemplo, do átomo de hidrogênio quando submetidos a um campo magnético externo muito intenso?
- Como ocorre a formação de imagem por ressonância magnética?
- Quais os cuidados ao se fazer um exame médico por ressonância magnética?



Atividade para ser disponibilizada para os alunos

Nome da Escola: _____

Turma: _____ Turno: _____

Alunos (as): _____

Professor (a): _____

Atividade 2 - Novas situações problemas

1ª- Quais são os principais conceitos físicos relacionados à ressonância magnética e descreva cada um deles?

2ª- O que acontece com os prótons, por exemplo, do átomo de hidrogênio quando submetidos a um campo magnético externo muito intenso?

3ª- Como ocorre a formação de imagem por ressonância magnética?

4ª- Quais os cuidados ao se fazer um exame médico por ressonância magnética?

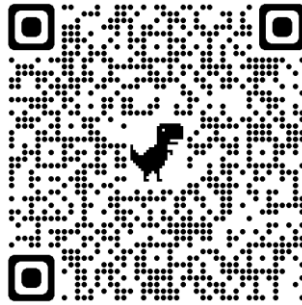


Para dar conta dessas novas situações-problema, visando dar suporte aos alunos para resolvê-las, o professor disponibilizará o material de apoio denominado Ressonância Magnética Nuclear Fundamentação Física, e também apresentará uma aula dialogada por meio de slides (apresentação em PowerPoint) com todo formalismo matemático apropriado, uma simulação computacional do site Phet Colorado sobre Imagem por Ressonância Magnética (MRI) Simplificada.

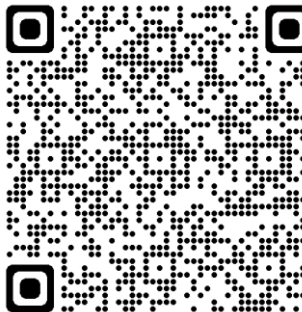


Logo abaixo, estão disponíveis os links e os QR Code's associados a sugestão de slides para aula sobre fundamentos físicos da RMN e também a simulação computacional do Phet Colorado "MRI Simplificada".

- Sugestão de slides para aula sobre RMN Fundamentação Física:



- Phet Simulation – MRI Simplificada:



Posteriormente a esse momento será proposto pelo professor, que em grupo, os alunos elaborem e exponham um mapa conceitual sobre os conteúdos vistos ao longo da sequência, Princípios Físicos da Ressonância Magnética, considerando os conceitos fundamentais e suas aplicações.

Atividade para ser disponibilizada para os alunos

Nome da Escola: _____

Turma: _____ Turno: _____

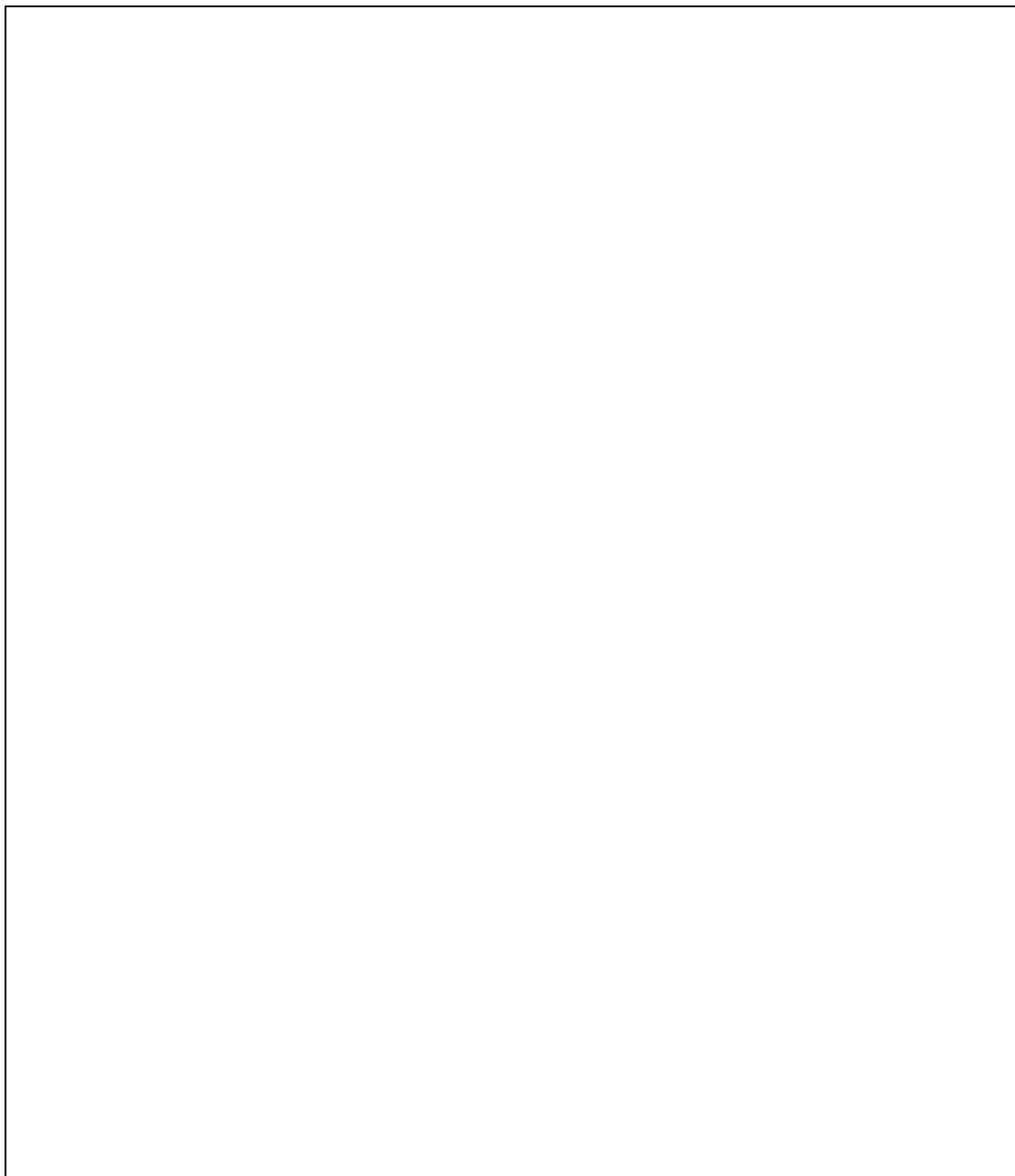
Aluno (a): _____ Nº _____

Professor(a): _____

Atividade de Física – Mapa Conceitual 2

Obs1 :Nessa construção do Mapa conceitual vocês poderão associar livremente tais palavras seguindo seus próprios critérios e incluir outras palavras/conceitos.

1ª- Elabore um mapa conceitual sobre Princípios Físicos da Ressonância Magnética considerando os conceitos fundamentais e suas aplicações.



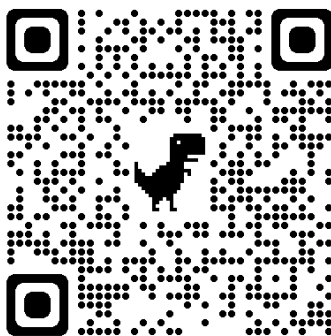
Esse mapa conceitual será entregue ao professor para avaliação. Toda esta etapa será desenvolvida em quatro horas/aulas.

Ao final desta etapa os alunos serão lembrados sobre a avaliação somativa individual (prova), que será realizada na próxima etapa e orientados a reverem os conceitos trabalhados, pois serão cobrados nessa avaliação.

- Saiba um pouco sobre o exame de ressonância magnética nuclear

Acesse o link ou o QR Code, associado abaixo:

- Manual de Processos de trabalho da imagiologia serviço de ressonância magnética (recurso eletrônico). Universidade estadual de campinas. Hospital de clinicas da UNICAMP:



3.6. Avaliação somativa individual

Baseado nos conteúdos desenvolvidos nesta UEPS, os alunos serão submetidos a uma avaliação denominada de questionário-2/ pós-teste (apêndice B), possui as mesmas questões do questionário-1(pré teste), tal atividade será marcada com antecedência e feita de forma individual. A atividade será desenvolvida em uma hora/aula.

3.7. Aula expositiva dialogada integradora

O professor, juntamente com os alunos, retomará todos os conceitos trabalhados desde a elaboração do mapa livre até a construção dos mapas conceituais pelos alunos, a partir de um novo mapa a ser elaborado em conjunto professor-alunos. Esta etapa se caracteriza pela oportunidade de se discutir e rever todos estes conceitos e de ressaltar a evolução de todo o processo ao longo da UEPS. O professor evidenciará a importância da RM e a diversidade de aplicações modernas que esta importante técnica permite. Este passo terá duração de duas horas/aula.

3.8. Avaliação da aprendizagem na UEPS

A avaliação considerará todas as atividades realizadas e se fundamentará em aspectos qualitativos e quantitativos. Assim, será um processo somativo composto pelos seguintes elementos: elaboração dos mapas livre e conceitual; evolução do desempenho do aluno a partir da comparação entre estes mapas atribuindo uma nota para tal; a participação nos debates e discussões propostas, além da avaliação somativa individual (pós-teste), totalizando assim 10 pontos.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. tradução de Eva Nick. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de Conhecimentos**: Uma perspectiva cognitiva. tradução de Lígia Teopisto. Rio de Janeiro: Platano, 2003.

BATHISTA, A. L. B. B. S; COLNAGO, L. A. **Elementos Históricos de Ressonância Magnética Nuclear**, São Carlos: 2004. Disponível em:

GARCIA, Eduardo Alfonso Cadavid. **Biofísica**. São Paulo, SP: Sarvier, 1998.

HALLIDAY, David; RESNICK, F.; WALKER, J. **Fundamentos de física**: Eletromagnetismo. 10. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009a. V3.

HALLIDAY, David; RESNICK, F.; WALKER, J. **Fundamentos de física**: Óptica e Física Moderna. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016b. V4.

HALLIDAY, David; RESNICK, F.; WALKER, J. **Fundamentos de física**: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016a. V2.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MAZZOLA, A. A. Ressonância magnética: princípios de formação da imagem e aplicações em imagem funcional. **Revista Brasileira de Física Médica**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 117-129, 2015. DOI: 10.29384/rbfm.2009.v3.n1.p117-129. Disponível em: <https://www.rbfm.org.br/rbfm/article/view/51>. Acesso em: 8 jul. 2021.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem significativa**: A teoria de David Ausubel. São Paulo: Centauro, 2005.

MOREIRA, M. A. Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1(n.2), p. 43-63. 2011 f.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa**: um conceito subjacente. Porto Alegre: 2011d. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>. Acesso em: 06/08/2016.

MOREIRA, M. A. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas-UEPS**. 2011a. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>. Acesso em 15/10/2018

MOREIRA, M. A. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. Revisado em 2012. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf>. Acesso em: 28/10/2016.

OLIVEIRA, Genilson A. de; BORDUQUI, Thiago. **Física da Ressonância Magnética**. Universidade Católica de Brasília, 2012.

SERWAY, R. A.; JEWETT Jr, J. W. **Física para cientistas e engenheiros: oscilações, ondas e termodinâmica**. 8. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. V2.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros: Eletricidade e magnetismo**. Trad. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. V2.

MAGALHÃES, A.C.A. **Ressonância magnética do sistema nervoso central**. São Paulo: Atheneu, 1999. p.1-26
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. HOSPITAL DE CLINICAS DA UNICAMP, **Manual de Processos de trabalho da imagiologia serviço de ressonância magnética** (recurso eletrônico). 2ed. Campinas, SP. Hospital de clinicas da UNICAMP, 2011. 41p. Disponível em: <https://intranet.hc.unicamp.br/manuais/ressonancia.pdf> . Acesso em: 28/06/2021.

QUESTIONÁRIO 1 (pré-teste) - SOBRE ALGUNS CONCEITOS DE FÍSICA

Este questionário tem por objetivo obter informações sobre seu conhecimento prévio de alguns conceitos de Eletromagnetismo, Física Moderna e Física Contemporânea.

Instruções:

1. Esse questionário visa medir a proximidade do teu conhecimento em relação ao conhecimento científico e não se você “sabe ou não sabe”.
2. Em cada questão são mostradas algumas proposições.
3. Escolha apenas uma alternativa, a que julgar mais adequada.
4. Procure não “chutar”.
5. Se você não souber responder, marque a opção não sei.

1^a) Onda, ou pulso de onda, é qualquer perturbação que se propaga através de um meio e, durante a propagação, transmite energia aos pontos do meio.

- a) Concordo fortemente
- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

2^a) Dobrando-se ao mesmo tempo o número de espiras e o comprimento de uma bobina solenoide, mantém-se inalterado o valor do campo magnético no centro da mesma.

- a) Concordo fortemente
- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

3^a) Ondas eletromagnéticas podem ser geradas por um circuito elétrico no qual a corrente elétrica varia com o tempo.

- a) Concordo fortemente
- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

4^a) Algumas ondas de parte do espectro eletromagnético, e suas respectivas frequências, em hertz, estão representadas a seguir:

Raios gama – 10^{22}

Raios X – 10^{19}

Ultravioleta – 10^{16}

Infravermelho – 10^{13}

Micro-ondas – 10^{10}

Ondas de rádio – 10^8

A fonte que produz radiação eletromagnética com menor comprimento de onda é uma estação de rádio AM/FM.

- a) Concordo fortemente
- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

5ª) Quando um elétron é retirado da eletrosfera do átomo, a vacância (“buraco”) originada é imediatamente preenchida por um outro elétron de orbitais superiores. Esse elétron, ao passar de um estado menos ligado para um outro mais ligado (mais próximo do núcleo), libera o excesso de energia emitindo, radiação eletromagnética, cujo energia é igual à diferença entre a energia dos estados inicial e final.

Esse processo é chamado de produção de radiação característica.

- a) Concordo fortemente
- b) Concordo
- c) Discordo
- d) Discordo fortemente
- e) Não sei

6ª) Marque a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. Ressonância é um fenômeno físico que ocorre quando uma força variável é aplicada sobre um sistema com igual ou muito próxima da frequência natural desse sistema. A ressonância ocasiona um de oscilação.

- a) energia, decréscimo na frequência
- b) frequência, decréscimo na intensidade
- c) energia, aumento no comprimento de onda
- d) frequência, aumento na amplitude
- e) Não sei

7ª). Um forno de micro-ondas é projetado para, mediante um processo da Física, transferir energia para os alimentos que precisamos aquecer ou cozer. O fenômeno que melhor explica esse fato é:

- a) o efeito joule
- b) a condução térmica
- c) a radiação térmica
- d) a ressonância
- e) Não sei

8ª) Analise as afirmativas abaixo sobre magnetismo e partículas.

- I O corpo humano quando submetido a um forte campo magnético estático B_1 os prótons dos átomos de hidrogênio tendem a se alinharem na mesma direção do campo nos sentidos paralelo e antiparalelo.
- II - O spin pode ser entendido como um número quântico das partículas elementares e partículas que possuem spin apresentam propriedades magnéticas.
- III Todas as partículas possuem spins diferente de zero.

IV O movimento de portadores de carga através em torno do seu próprio eixo (rotação) não origina um campo magnético.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas I e II são verdadeiras
- b) Apenas II é IV verdadeira.
- c) Apenas III e IV são verdadeiras.
- d) Apenas, I e III são verdadeiras.
- e) Apenas I, II e IV são verdadeiras.

9ª) Sobre a ressonância, é INCORRETO, afirmar que:

- a) Ocorre quando dois corpos vibram com a mesma frequência;
- b) Causa elevação da energia das moléculas que constituem os corpos submetidos a esse fenômeno;
- c) Causa diminuição na amplitude das oscilações dos corpos;
- d) Pode ocorrer com ondas mecânicas e com ondas eletromagnéticas.
- e) Não sei

10ª) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. A Ressonância Magnética, também chamada de Ressonância Magnética Nuclear, é uma importante técnica desenvolvida pela Física e muito utilizada em exame médico diferente da Radiologia e da Tomografia Computadorizada, pois não utiliza radiação ionizante (Raio X) e, sim, campo magnético e ondas eletromagnéticas com que permite a formação da imagem no aparelho.

- a) forte, frequência de rádio
- b) forte, frequência de micro-ondas
- c) fraco, frequência de infravermelho
- d) fraco, frequência de ultravioleta
- e) Não sei

11ª) A ressonância magnética é uma modalidade de diagnóstico por imagem que apresenta vantagens em relação a outras técnicas de exames. Com relação aos princípios físicos e tecnológicos aplicados à ressonância magnética, é CORRETO afirmar que:

- a) o exame de ressonância magnética é obtido por meio da interação de átomos de hidrogênio dos tecidos com ondas de radiação gama que são emitidas pelo equipamento.
- b) um dos motivos pelos quais o hidrogênio é o elemento mais utilizado para gerar imagens em ressonância magnética é a sua abundância no corpo humano.
- c) a ressonância magnética permite a obtenção de imagens em um único plano anatômico, diferentemente de outras técnicas de diagnóstico por imagem.
- d) o exame de ressonância magnética não oferece nenhum risco aos pacientes. Por isso, mesmo pacientes que apresentam marcapassos, clipe de aneurisma e implantes otológicos não removíveis podem realizar o exame com segurança.
- e) apesar da ressonância magnética oferecer uma excelente definição de tecidos ósseos, a técnica não é indicada para a avaliação de tecidos moles.

12ª) As ondas de ondas de rádios são radiações eletromagnéticas utilizadas na Ressonância Magnética Nuclear. Assinale alternativa que expressa corretamente justificativa para a adoção de tal onda.

- a) Por possuir faixa frequência na mesma ordem da frequência de precessão dos núcleos de hidrogênio quando submetidos a um forte campo magnético.
- b) Entre as ondas eletromagnética a onda de rádio possui maior energia.
- c) Por ser considerada uma radiação ionizante.
- d) Por apresenta uma frequência muito maior que a frequência de Lamor.
- e) Entre as ondas eletromagnética a onda de rádio possui menor comprimento de onda, sendo assim condição fundamental para ocorrer tal fenômeno.

Nome da Escola: _____

Turma: _____ Turno: _____

Aluno (a): _____ Nº _____

Professor(a): _____

**QUESTIONÁRIO 2- SOBRE ALGUNS CONCEITOS DE FÍSICA RELACIONADOS A
RESSONÂNCIA MAGNÉTICA NUCLEAR**

1ª) Marque a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. Ressonância é um fenômeno físico que ocorre quando uma força variável é aplicada sobre um sistema com igual ou muito próxima da frequência natural desse sistema. A ressonância ocasiona um de oscilação.

- a) energia, decréscimo na frequência
- b) frequência, decréscimo na intensidade
- c) energia, aumento no comprimento de onda
- d) frequência, aumento na amplitude
- e) Não sei

2ª). Um forno de micro-ondas é projetado para, mediante um processo da Física, transferir energia para os alimentos que necessitamos aquecer ou cozer. O fenômeno que melhor explica esse fato é:

- a) o efeito joule
- b) a condução térmica
- c) a radiação térmica
- d) a ressonância
- e) Não sei

3ª) Analise as afirmativas abaixo sobre magnetismo e partículas.

- I O corpo humano quando submetido a um forte campo magnético estático B_1 os prótons dos átomos de hidrogênio tendem a se alinharem na mesma direção do campo nos sentidos paralelo e antiparalelo.
- II - O spin pode ser entendido como um número quântico das partículas elementares e partículas que possuem spin apresentam propriedades magnéticas.
- III Todas as partículas possuem spins diferente de zero.
- IV O movimento de portadores de carga através em torno do seu próprio eixo (rotação) não origina um campo magnético.

Assinale a alternativa correta.

- a) Apenas I e II são verdadeiras
- b) Apenas II é IV verdadeira.
- c) Apenas III e IV são verdadeiras.
- d) Apenas, I e III são verdadeiras.
- e) Apenas I, II e IV são verdadeiras.

4ª) Sobre a ressonância, é INCORRETO, afirmar que:

- a) Ocorre quando dois corpos vibram com a mesma frequência;
- b) Causa elevação da energia das moléculas que constituem os corpos submetidos a esse fenômeno;
- c) Causa diminuição na amplitude das oscilações dos corpos;
- d) Pode ocorrer com ondas mecânicas e com ondas eletromagnéticas.
- e) Não sei

5ª) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem. A Ressonância Magnética, também chamada de Ressonância Magnética Nuclear, é uma importante técnica desenvolvida pela Física e muito utilizada em exame médico diferente da Radiologia e da Tomografia Computadorizada, pois não utiliza radiação ionizante (Raio X) e, sim, campo magnético e ondas eletromagnéticas com que permite a formação da imagem no aparelho.

- a) forte, frequência de rádio
- b) forte, frequência de micro-ondas
- c) fraco, frequência de infravermelho
- d) fraco, frequência de ultravioleta
- e) Não sei

6ª) A ressonância magnética é uma modalidade de diagnóstico por imagem que apresenta vantagens em relação a outras técnicas de exames. Com relação aos princípios físicos e tecnológicos aplicados à ressonância magnética, é CORRETO afirmar que:

- a) o exame de ressonância magnética é obtido por meio da interação de átomos de hidrogênio dos tecidos com ondas de radiação gama que são emitidas pelo equipamento.
- b) um dos motivos pelos quais o hidrogênio é o elemento mais utilizado para gerar imagens em ressonância magnética é a sua abundância no corpo humano.
- c) a ressonância magnética permite a obtenção de imagens em um único plano anatômico, diferentemente de outras técnicas de diagnóstico por imagem.
- d) o exame de ressonância magnética não oferece nenhum risco aos pacientes. Por isso, mesmo pacientes que apresentam marcapassos, clipe de aneurisma e implantes otológicos não removíveis podem realizar o exame com segurança.
- e) apesar da ressonância magnética oferecer uma excelente definição de tecidos ósseos, a técnica não é indicada para a avaliação de tecidos moles.

7ª) As ondas de rádio são radiações eletromagnéticas utilizadas na Ressonância Magnética Nuclear. Assinale alternativa que expressa corretamente justificativa para a adoção de tal onda.

- a) Por possuir faixa frequência na mesma ordem da frequência de precessão dos núcleos de hidrogênio quando submetidos a um forte campo magnético.
- b) Entre as ondas eletromagnética a onda de rádio possui maior energia.
- c) Por ser considerada uma radiação ionizante.
- d) Por apresenta uma frequência muito maior que a frequência de Lamor.
- e) Entre as ondas eletromagnética a onda de rádio possui menor comprimento de onda, sendo assim condição fundamental para ocorrer tal fenômeno.