



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

SÉRGIO SOARES DE TOLEDO

**CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA PARA O EXPERIMENTO DE HERTZ**

CAMPINA GRANDE

2018

SÉRGIO SOARES DE TOLEDO

**CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA PARA O EXPERIMENTO DE HERTZ**

Trabalho apresentado ao programa de pós-graduação: Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF/SBF/UEPB), como requisito necessário para a aquisição do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Orientador: Prof. Dr. Everton Cavalcante

Coorientadora: Prof. Dr^a. Morgana Ligia

CAMPINA GRANDE

2018

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

T649c Toledo, Sérgio Soares de.
Construção de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para o experimento de Hertz [manuscrito] : / Sérgio Soares de Toledo. - 2018.
133 p. : il. colorido.

Digitado.
Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2018.
"Orientação : Prof. Dr. Everton Cavalcante, Departamento de Física - CCT."
"Coorientação: Profa. Dra. Morgana Lígia, Departamento de Física - CCT."
1. Ensino de Física. 2. Ondas eletromagnéticas. 3. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS.
21. ed. CDD 530.7

SÉRGIO SOARES DE TOLEDO

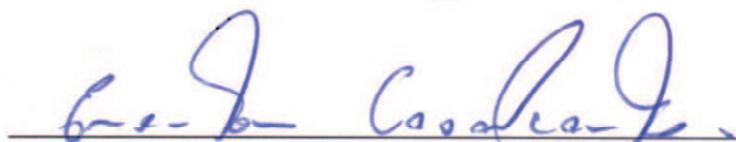
**CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA PARA O EXPERIMENTO DE HERTZ**

Trabalho apresentado ao programa de pós-graduação: Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF/SBF/UEPB), como requisito necessário para a aquisição do título de mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Ensino de Física

Aprovação em_16/05/2018.

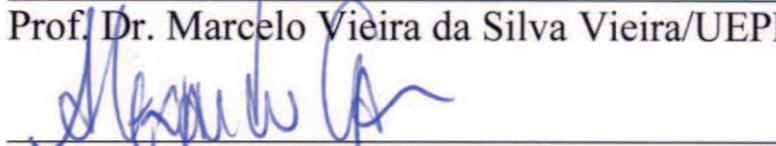
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Everton Cavalcante / UEPB - Orientador



Prof. Dr. Marcelo Vieira da Silva Vieira/UEPB



Prof. Dr. Alexandre Campos/UFCG

Dedico esse trabalho, antes de tudo, ao Deus eterno e criador de todas as coisas, por me proporcionar a existência, inspiração e fé na jornada. A minha esposa e filhos pelos votos de apoio e sucesso que me fizeram prosseguir nos passos necessários. Aos meus professores (MNPEF/SBF/UEPB) pelos ensinamentos e grande força em cada etapa. Em especial aos meus orientadores pela paciência e por acreditarem que esse trabalho se tornaria possível.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, esposa e filhos pelas palavras de fé, ânimo e incentivo para que eu pudesse prosseguir nessa jornada rumo ao mestrado. Ao meu irmão Saulo Toledo pelo valioso auxílio em recursos da computação. Aos meus professores orientadores, Doutor Everton Cavalcante e Doutora Morgana Ligia por acreditarem em minha pessoa e pela força, apoio, paciência, tantas correções que se fizeram necessárias e acima de tudo pela competência e exemplo de grandes profissionais que são. Aos meus professores Doutores Marcelo Vieira, Marcelo Germano e Jamiltom Rodrigues, por terem sido os meus avaliadores no processo de ingresso no curso do mestrado MNPEF/SBF/UEPB e por suas considerações a meu respeito. A toda a equipe de professores do programa de mestrado MNPEF/SBF/UEPB pelos quais tenho grande apreço e pela oportunidade a mim proporcionada com relação ao meu crescimento profissional. E finalmente a todos os colegas mestrandos da turma, pelas trocas de conhecimentos, experiências e companheirismo. Assim como aos meus alunos do ensino médio que me ajudaram a colocar em evidência os resultados do trabalho desenvolvido em sala de aula.

RESUMO

O ensino existe quando ocorre a aprendizagem significativa. Partindo dessa ideia, propomos a construção e aplicação de uma UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa) para ensino de Física no conteúdo das Ondas Eletromagnéticas. Uma UEPS é um tipo de abordagem que faz conexões entre conhecimentos prévios dos alunos e novas informações científicas, tendo o discente como foco principal, na intenção de contribuir significativamente para a construção do conhecimento. Dentro desse contexto incluímos a prática do experimento de Hertz com adaptações no intuito de enriquecer ainda mais a unidade de ensino na busca de obter bons resultados na aprendizagem dos discentes. Relatamos a experiência vivida em sala de aula durante a aplicação da UEPS através de questões escritas, comentários, depoimentos dos estudantes, registros de momentos das aulas através de fotos e anotações, avaliação escrita e apresentação experimental.

Palavras-Chave: Ensino de Física; UEPS; Experimento; Ondas eletromagnéticas.

ABSTRACT

Teaching exists when meaningful learning occurs. Based on this idea, we propose the construction and application of a UEPS (teaching potentially significant unit) for teaching physics in the content of electromagnetic waves. A UEPS is a kind of approach that makes connections between students' prior knowledge and new scientific information, with the student as the main focus, with the intention of contributing significantly to the construction of knowledge. Within this context we include the practice of the hertz experiment with adaptations in order to further enrich the teaching unit in order to obtain good results in students'. We report the experience lived in the classroom during the application of the UEPS through written questions, comments, testimonials of the students, records of class moments through photos and notes, written evaluation and experimental presentation.

Keywords: Physics Teaching; UEPS; Experiment; Electromagnetic waves.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Maxwell.....	18
Figura 2: Heinrich Rudolf Hertz.....	19
Figura 3: Experimento de Hertz	20
Figura 4 – Edouard Branly	21
Figura 5: Coesor	22
Figura 6: G. Marconi	23
Figura 7: Roberto Landell de Moura	24
Figura 8: Esquema de experimento de Hertz modificado.....	27
Figura 9: Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas	29
Figura 10: Campo Elétrico	30
Figura 11: Sentido do Campo Elétrico	31
Figura 12: Campo de várias cargas	32
Figura 13: Linhas de campo elétrico	32
Figura 14: Fluxo elétrico	33
Figura 15: Campo da corrente	35
Figura 16: Regra da mão direita	35
Figura 17: Campo magnético de um elemento do fio.....	36
Figura 18: Circuito relacionado à Lei de Ampère	37
Figura 19: Onda Eletromagnética	40
Figura 20: Elementos de uma Onda Eletromagnética.....	41
Figura 21: Representação gráfica para o vetor de poynting.....	44
Figura 22: Polarização das ondas eletromagnéticas.....	45
Figura 23: Polaróide em óculos 3D	46
Figura 24: Filtro polarizador	46
Figura 25: Frentes de onda.....	47
Figura 26: Reflexão das ondas 1	47
Figura 27: Reflexão das ondas 2	48
Figura 28: Refração e reflexão na ionosfera	49
Figura 29: Refração das ondas.....	49
Figura 30: Interferência da Luz	50
Figura 31: Intervalo das ondas eletromagnéticas 1.....	51
Figura 32: Intervalo das ondas eletromagnéticas 2.....	53

Figura 33: Situação problema - foto 1	61
Figura 34: Situação problema - foto 2	61
Figura 35: Situação problema - foto 3	61
Figura 36: Situação problema - foto 4	62
Figura 37: Pensando em equipe - 1	62
Figura 38: Pensando em equipe - 2	63
Figura 39: Respostas - 1	64
Figura 40: Respostas - 2	65
Figura 41: Equipe - foto 1	72
Figura 42: Equipe - foto 2	73
Figura 43: Equipe - foto 3	73
Figura 44: Equipe - foto 4	74
Figura 45: Equipe - foto 5	74
Figura 46: Equipe - foto 6	75
Figura 47: Equipe - foto 7	75
Figura 48: Esquema do experimento	77
Figura 49: Dispositivo coesor	78
Figura 50: Experimento - foto 1	78
Figura 51: Experimento - foto 2	79
Figura 52: Experimento - foto 3	79
Figura 53: Demonstração do experimento – 1	80
Figura 54: Demonstração do experimento - 2	80
Figura 55: Demonstração do experimento - 3	81
Figura 56: Demonstração do experimento - 4	81
Figura 57: Avaliação individual - 1	83
Figura 58: Avaliação individual - 2	84

SUMÁRIO

1. Introdução	11
2. Referencial Teórico	15
2.1. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)	15
2.2. Resumo histórico sobre as Ondas Eletromagnéticas e seus principais personagens	17
2.3. Etapa Experimental	25
3. Conceitos Fundamentais sobre Ondas Eletromagnéticas	28
3.1. Natureza da Matéria - Carga Elétrica.....	28
3.2. Campo Elétrico e Lei de Gauss	29
3.3. Corrente Elétrica e Campo Magnético	34
3.4. As Ondas Eletromagnéticas	39
3.5. Polarização das Ondas Eletromagnéticas	45
3.6. Reflexão, refração e difração DE Ondas Eletromagnéticas	47
3.7. Refração.....	48
3.8. Interferência.....	50
3.9. Espectro eletromagnético	51
4. Relatório da aplicação em sala de aula	56
5. Conclusão	85
Referências.....	86
Produto Educacional: Construção de uma Unidade de ENSINO POTENCIALMENTE Significativa para o Experimento de Hertz.....	88
Lista de Ilustrações	90
Nota ao Professor	93
Proposta (Produto educacional).....	95
1. Sondagem de conhecimentos prévios	95
2. Marcos históricos sobre as ondas eletromagnéticas e seus principais personagens	98
2.1. Exercício para fixação das informações.....	105
3. Introdução ao estudo das Ondas Eletromagnéticas.....	107
3.1. O átomo.....	107
3.2. O campo elétrico	108

3.3. O campo magnético.....	109
3.4. A onda eletromagnética	110
3.5. O espectro eletromagnético	111
3.5.1. Extremely Low Frequency	112
3.5.2. Very Low Frequency.....	112
3.5.3. Low Frequency	113
3.5.4. Radiofrequências.....	113
3.5.5. Microondas.....	113
3.5.6. Infravermelho.....	113
3.5.7. Luz Visível	114
3.5.8. Radiação Ultravioleta.....	115
3.5.9. Raios X.....	115
3.5.10. Raios Gama.....	116
3.6. Exercício para fixação das informações.....	116
3.7. Modulações	117
3.8. Elementos da Onda Eletromagnética	119
3.9. Fenômenos eletromagnéticos.....	120
3.9.1. Reflexão das ondas	120
3.9.2. Polarização das ondas	122
3.9.3. Refração das ondas.....	124
3.9.4. Interferências das Ondas.....	125
4. A abordagem experimental proposta	126
4.1. Atividade de avaliação individual	129
Referências.....	132

1. INTRODUÇÃO

Ensinar Física nunca foi uma tarefa fácil para os docentes. Na busca de fazer com que os seus alunos compreendam os fundamentos básicos da disciplina no ensino médio, professores se deparam com situações nas quais discentes ainda questionam o porquê de estudar Física. Muitas vezes esses alunos não percebem as relações existentes entre leis físicas, fenômenos naturais e tecnológicos. E apesar dos esforços de muitos professores, ainda existem momentos em que estudantes afirmam que a Física é uma disciplina difícil e que seus conceitos não são tão importantes em suas vidas. Os motivos para a persistência de tais problemas podem estar relacionados a diversas causas, tais como a falta de interesse pela busca de novos procedimentos didáticos por parte dos docentes e, muitas vezes, a total ausência de atividades experimentais que podem funcionar como um auxílio para o despertar do interesse do aluno, embora também existam situações em que o próprio aluno não demonstra aptidão que o leve a busca de tais conhecimentos por razões diversas. Na presente dissertação, propomos a construção de uma UEPS (Unidade de ensino potencialmente significativa) para o ensino do conteúdo de Física das Ondas Eletromagnéticas em sala de aula do ensino médio, uma vez que esse tipo de abordagem faz conexões entre conhecimentos prévios dos alunos e novas informações científicas, tendo o discente como foco principal, na intenção de contribuir significativamente para a construção do conhecimento. O motivo pelo qual optamos por uma UEPS é que esse método de abordagem de conteúdos reúne considerações bastante adequadas à situação problema em questão, uma vez que busca proporcionar ao discente uma continuidade de aquisição de conhecimentos a partir de onde ele está em seu nível de aprendizagem, etc.

Na contemporaneidade, é muito difícil encontrarmos pessoas que não assistam a um programa de TV, que não façam uso de telefones celulares, que nunca precisaram de um exame de raios X..., entre inúmeras outras circunstâncias onde as ondas eletromagnéticas estão presentes. Sendo assim, já que se trata de um fenômeno cotidianamente presente em nossas vidas, e por ser um tema pertencente à grade curricular de conteúdo do ensino médio, esse tópico (das ondas eletromagnéticas) traz inúmeras possibilidades de exemplificações de aplicabilidades no próprio dia a dia do aluno.

Entretanto, apenas o fato do discente conviver diariamente com inúmeras tecnologias e equipamentos que fazem uso dessas ondas, não significa necessariamente que já compreenda fisicamente o que está por trás de suas funcionalidades, ou seja, como o fenômeno acontece. Torna-se então necessária uma abordagem didática, incluindo explicações de leis físicas que venham contribuir para a formação do conhecimento científico sobre o conteúdo.

Nesse trabalho também é proposta uma parte prática que tem relação com fatos históricos. O experimento abordado envolve uma adaptação da prática experimental de Hertz quando evidenciou de forma empírica a existência das ondas eletromagnéticas, confirmando as ideias de Maxwell. Bem como faz uso de um dispositivo usado para detecção dessas ondas desenvolvido pelo físico e médico francês Edouard Désiré Branly.

Um ponto em destaque como diferencial da presente UEPS é o foco experimental, com ênfase sobre como funcionam sistemas de comando remoto via ondas eletromagnéticas. Geralmente atividades experimentais chamam bastante a atenção de alunos com relação ao fenômeno que está sendo abordado. O experimento referente às ondas eletromagnéticas aqui incluído para finalidade didática pode ser construído com opções de materiais de acesso relativamente fácil e baixo custo somado a uma noção elementar do funcionamento de um oscilador eletrônico para obtenção de um pulso de alta voltagem (opcional) e tem o objetivo de mostrar como esse pulso eletromagnético pode ser transmitido e capturado, de modo a acionar um dispositivo à distância, exemplificando na prática, de uma forma bem básica, como funcionam sistemas remotos via ondas radiantes.

Nossa UEPS consiste numa proposta de conteúdo para o ensino médio fundamentada numa ideia experimental sobre como funcionam sistemas remotos via ondas radiantes. As informações físicas do tema agregadas a etapa experimental foram esquematizadas na intenção de mostrar para o aluno uma situação mais próxima de circunstâncias reais sobre como ocorre a geração e emissão das OE (ondas eletromagnéticas), além de envolver o estudante numa percepção experimental sobre como é possível usar essas ondas para controle de um circuito à distância.

Não poderíamos deixar de citar algumas curtas e diretas abordagens históricas que incluem James Clerk Maxwell, Heinrich Rudolf Hertz, Edouard Désiré Branly, Guilherme Marconi e o brasileiro padre Landell de Moura. Pois elas enriquecem as

informações e deixam claras as evidências e descobertas científicas no decurso do tempo sobre como a humanidade alcançou o avanço tecnológico dos dias atuais.

Abordamos conhecimentos da Física envolvendo informações básicas sobre a noção de carga elétrica, campos elétricos e magnéticos, correntes elétricas..., até chegarmos ao foco principal que são as ondas eletromagnéticas, como se formam, como são transmitidas e capturadas, além da apresentação experimental, com a inclusão de uma noção básica conceitual sobre como acontecem as transmissões de sinais modulados.

A parte experimental envolve uma aplicação prática do experimento de Hertz com uma adaptação para acionamento de um dispositivo à distância caracterizando assim uma simples noção sobre controles remotos via ondas eletromagnéticas. Esse experimento pode ser construído pelo professor para uso em salas de aula.

Em nosso cotidiano são muitas as situações nas quais estão presentes diversos tipos de aparelhos que fazem uso de controles remotos e, portanto, o aluno pode associar as informações teóricas e experimentais aprendidas durante as aulas da UEPS às funcionalidades técnicas desses dispositivos de forma que possa estabelecer, em suas compreensões, ideias sobre como funcionam equipamentos eletrônicos diversos que fazem uso das ondas eletromagnéticas. O cotidiano traz muitas informações que podem ser agregadas ao contexto de sala de aula, porém torna-se necessário que tais conteúdos sejam moldados didaticamente, dando aos mesmos uma roupagem educacional, inserindo neles leis físicas e explicações científicas sobre o fenômeno. Sem tais considerações não haveria uma contribuição para a aprendizagem dos alunos, passando a ser apenas uma mera visualização de coisas comuns do dia a dia. Nessas condições, a proposta em desenvolvimento adiciona o ingrediente necessário ao tema das ondas eletromagnéticas desenvolvendo uma unidade de ensino potencialmente significativa (UEPS), na busca de alcançar bons resultados que se resumem em proporcionar ao discente um auxílio significativo para facilitar a sua aquisição de conhecimento sobre o conteúdo.

O experimento de Hertz adaptado para a trazer a noção de um sistema de acionamento remoto foi escolhido para o propósito prático por se tratar de uma forma interessante e atraente para se verificar na prática a ação à distância das ondas eletromagnéticas além de agregar e reunir fatos históricos desde a descoberta de Maxwell, passando pela contribuição empírica de Hertz, pela

construção do coesor de Edouard Branly até chegar às transmissões de rádio do padre Landell de Moura e os experimentos de Marconi, além de conectar o tema às modernas funcionalidades de equipamentos cotidianos que fazem uso das ondas eletromagnéticas.

A partir de uma adaptação do experimento de Hertz é possível ampliar as informações para uma visão mais tecnológica. O experimento em propósito pode desencadear em informações complementares sobre as diversas modalidades de uso das ondas eletromagnéticas podendo incluir explicações simples e acessíveis. É possível inserir abordagens científicas de nível básico sobre como modular essas ondas de modo a se obter diversos e distintos comandos à distância sendo algo bastante usado no campo das telecomunicações, dando uma dimensão mais ampla para importância de o aluno conhecer o tema trabalhado em sala de aula.

Para a elaboração da UEPS devemos ficar atentos a algumas questões importantes, tais como a realização de sondagens de conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema (questionamentos escritos, debates entre os discentes etc.); abordagens conceituais sobre o tema (introdução ao estudo do conteúdo em si com abordagens da Física); apresentação experimental e avaliações continuadas a cada etapa com a inclusão de uma avaliação final que possa contribuir com a constatação da compreensão dos conceitos apresentados ao longo das etapas por parte do aluno. As etapas do trabalho didático na sala de aula podem funcionar a cada instante como um indicador do progresso contínuo da aprendizagem.

Nesse trabalho, a parte experimental da UEPS faz a junção entre tópicos históricos do tema Ondas Eletromagnéticas com a abordagem do conteúdo em sala de aula, agregando ainda a possibilidade de envolver o discente numa perspectiva e discussão sobre aplicabilidades tecnológicas e o forte envolvimento de leis e conceitos da Física nas funcionalidades dos equipamentos que fazem uso das ondas radiantes.

No capítulo 2 mencionamos a relevância da prática experimental em nossa proposta de UEPS no contexto das Ondas Eletromagnéticas, bem como um pouco da abordagem histórica relacionada ao tema. No capítulo 3 reunimos informações essenciais sobre a Física das Ondas eletromagnéticas. No capítulo 4 apresentamos a proposta da UEPS para salas de aula com os referidos procedimentos e o relato de experiência referente à prática ocorrida da UEPS na escola. E no capítulo 5 incluímos uma conclusão a respeito do trabalho desenvolvido.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA (UEPS)

Uma UEPS, segundo Moreira (2011), é uma modalidade didática direcionada à aprendizagem significativa que valoriza os conhecimentos prévios do discente como sendo o elemento mais influenciador do processo da aprendizagem (Ausubel). Na UEPS, o aluno é o personagem central de onde deve partir a decisão por aprender significativamente determinado conteúdo (Ausubel, Gowin). Para proporcionar ao aluno uma aprendizagem significativa, é fundamental que este se envolva em situações-problema criadas intencionalmente para inseri-lo na busca por soluções. Essas situações-problema, com níveis crescentes de dificuldade (Vergnaud), são organizadores prévios que concedem significâncias ao que se aprende (novo conhecimento). Segundo Johnson-Laird, quando o discente se depara com a situação-problema, esta precisa construir um modelo mental de trabalho para encontrar sua correspondente solução. Para Novak, o aluno deve agregar ao seu objetivo de encontrar a resposta seus pensamentos, suas ações e sentimentos. O professor tem a função de produzir a situação problema de forma criteriosa mediando o processo para que o aluno consiga descobrir e encontrar os significados necessários ao objetivo final (Vergnoud; Gowin).

Segundo Moreira, para a elaboração de uma UEPS, devemos ficar atentos a algumas questões fundamentais. Inicialmente realiza-se a escolha do conteúdo que se refere ao tópico da disciplina que será apresentado pelo professor em sala de aula. Uma vez que se tenha definido o tópico de estudo, o professor deve trabalhar na formulação de situações problema para que os discentes sejam inseridos nelas na busca por soluções. Nesse momento entram em jogo os conhecimentos prévios dos alunos na busca por respostas (organizadores prévios). O professor pode contribuir com o levantamento de questionamentos que possam intensificar o raciocínio da turma. Inicia-se então, em seguida, a apresentação científica do tema, conceitos e leis físicas, numa sequência crescente de dificuldades. Essas abordagens devem proporcionar aos alunos a ação de pensar, discutir e relacionar os novos conhecimentos obtidos com seus raciocínios anteriores e o professor pode fazer uso de textos, experimentos, questões, etc.

O professor pode optar por proporcionar ao aluno etapas de raciocínio ao invés de apresentar respostas definitivas e sua mediação pode ser enriquecida com aprofundamentos de conteúdo, sempre evidenciando os pontos mais importantes do tema, com a inclusão de etapas de avaliação continuada, de forma a aproveitar tudo que se observe como aprendizagem. Numa UEPS, considera-se que o bom resultado está atrelado a constatação de indicadores de aprendizagem significativa do conteúdo, semelhante à capacidade do discente de explicar o que aprendeu e ser capaz de compreender situações problema.

Segundo Moreira (2011), sem a aprendizagem significativa não houve ensino. O ensino corresponde ao caminho e a aprendizagem o momento final. As práticas didáticas são elementos de ação cujas inovações podem contribuir significativamente para a melhoria do ensino. Nessa perspectiva, é sugestível que o professor esteja sempre atualizado com relação a esses novos procedimentos, para que consiga transformar o ambiente de estudo em algo relevante e prazeroso para o estudante.

Com relação ao Experimento de Hertz, considerar aquilo que o discente assimilou em sua vivência sobre fenômenos relacionados a ondas eletromagnéticas é bastante proveitoso para que possa compreender os novos conceitos científicos relacionados ao tema. A metodologia de ensino em desenvolvimento nessa dissertação (UEPS) tem relevância por buscar no discente, através do conhecimento já adquirido em etapas anteriores de sua vida, o ponto de partida para que sejam inseridas informações científicas sobre as ondas eletromagnéticas e o experimento de Hertz. A proposta presente busca alcançar um dinamismo entre aluno, professor e a turma, de modo que o estudante tenha uma boa assimilação dos conceitos estudados e que possa lembrar dessas informações por muito tempo.

De acordo com Gowin, o processo de ensino deve envolver a relação entre aluno, professor e materiais educativos de forma que o discente se torne capaz de entender e repassar essas informações. A busca por uma modalidade didática que possa atrair a atenção do aluno é algo fundamental. Na presente UEPS, a pretensão é abordar o experimento de Hertz numa ordem sequencial planejada para envolver o estudante na busca de suas próprias conclusões. A modalidade UEPS leva em consideração que a construção do conhecimento é facilitada quando o discente se torna mais participativo nas aulas, interagindo mais frequentemente com o professor e com a turma. A busca por aprender sempre deve partir do aluno, envolvendo seu

lado crítico e situações problema. O discente é o foco principal, na busca de obter resultados eficientes na relação ensinar/aprender. Segundo Ausubel e Gowin, "é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conteúdo".

Embora saibamos que avaliar não é uma tarefa fácil, observar instantes nos quais o aluno seja capaz de encontrar soluções corretas para situações problema é algo importante para sabermos se o conteúdo transmitido está sendo alcançado pelo discente. Na UEPS a avaliação pode ser constituída por etapas contínuas, nos instantes em que existam envolvimento do aluno nas atividades desenvolvidas ao longo das aulas, aproveitando cada momento em que se verifique registros de uma aprendizagem significativa do conteúdo proposto, adicionando em um dado momento uma avaliação individual.

No desenvolvimento desse nosso trabalho, optamos por uma apresentação do experimento de Hertz por uma ótica do seu desenvolvimento histórico. Assim, situamos o estudante no contexto científico da época, antes de introduzirmos os conceitos práticos. Um pouco dessa abordagem histórica é apresentado na sessão seguinte.

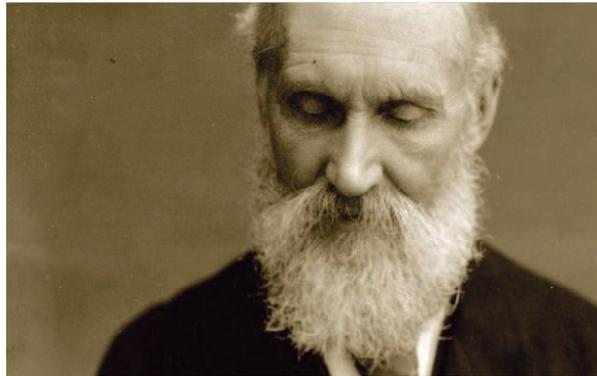
2.2. RESUMO HISTÓRICO SOBRE AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E SEUS PRINCIPAIS PERSONAGENS

Nos dias atuais, muitas das tecnologias que fazem uso das ondas eletromagnéticas, tais como as transmissões de informações via Wifi, Bluetooth, controles remotos, transmissões de TV e satélites, incluindo atuais informações científicas sobre fenômenos naturais eletromagnéticos a exemplo do calor radiante do Sol, a emissão de infravermelho dos nossos corpos (calor radiante), a relação entre os fenômenos térmicos, luminosos e eletromagnéticos,..., existem por causa dos esforços de estudiosos do passado, cujas contribuições não podem ser esquecidas. Assim, a biografia de alguns é aqui apresentada.

James Clerk Maxwell foi um físico escocês nascido em 13 de junho de 1831. Já com seus 16 anos de idade, em 1847, ingressou em seus estudos em filosofia natural, matemática e lógica na Universidade de Edimburgo, tendo se formado em 1854 como matemático. Maxwell mostrou forte evidência que a luz é uma onda eletromagnética apresentando uma natureza transversal semelhante aos fenômenos elétricos e magnéticos, além de proporcionar grandes contribuições para a Física

sobre daltonismo e percepção da cor, mecânica estatística, óptica geométrica, gases e termodinâmica, anéis de Saturno, engenharia, eletromagnetismo, entre outras.

Figura 1: Maxwell



Fonte: <http://thescienceofreality.tumblr.com/post/25028950712/happy-birthday-james-clerk-maxwell-13-june-1831>

Em 1854, Maxwell principiou seus estudos sobre o Eletromagnetismo, publicando livros e vários artigos sobre o tema. Atualmente, o eletromagnetismo, baseado na carga elétrica e inexistência do éter, avançou incomparavelmente em relação às ideias de Maxwell. O éter é um fluido imaginário que não tem matéria. Físicos do passado acreditavam que as ondas eletromagnéticas se propagavam por causa desse fluido, o que hoje sabemos hoje que não é um fato verdadeiro.

As contribuições de Maxwell sobre a relação entre magnetismo, a luz e a eletricidade, resultaram na soma de conhecimentos necessários para que fosse possível a construção de um equipamento capaz de transmitir e captar ondas eletromagnéticas (transmissão de rádio). Maxwell previu a existência dessas ondas, porém, foi o físico Heinrich Hertz que confirmou essa veracidade experimentalmente.

Maxwell agrupou um conjunto de equações que são: Lei de Gauss para a eletricidade; Lei de Gauss para o magnetismo; Lei de Faraday e Lei de Ampère (sobre a qual efetuou uma correção para torna-la compatível com a conservação das cargas introduzindo o termo de corrente de deslocamento), de onde é possível mostrar a unificação entre eletricidade e magnetismo (eletromagnetismo). Anteriormente esses contextos eram estudados separadamente. Maxwell também apresentou forte evidência de que a luz e todas as ondas eletromagnéticas apresentam a mesma velocidade de propagação (velocidade da luz = 299 792 458

m/s, no vácuo). Segundo Maxwell, campos magnéticos variáveis produzem campos elétricos variáveis e campos elétricos variáveis produzem campos magnéticos variáveis. Tendo vivido por 48 anos, Maxwell teve sua morte ocasionada por um câncer de estômago em 5 de novembro de 1879.

Em sua teoria, faíscas gerariam ondas que poderiam propagar e produzir por indução uma corrente elétrica numa espira receptora. Nessa espira ocorreria visivelmente uma centelha entre esferas contidas em seus terminais. Entre os anos de 1886 e 1889, o físico alemão Heinrich Rudolph Hertz (Figura 2) constatou experimentalmente essa hipótese de Maxwell. Hertz gerou, emitiu e detectou ondas eletromagnéticas que se propagavam na velocidade da luz e que também apresentavam polarização, reflexão e difração.

Figura 2: Heinrich Rudolph Hertz



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz#/media/File:HEINRICH_HERTZ.JPG

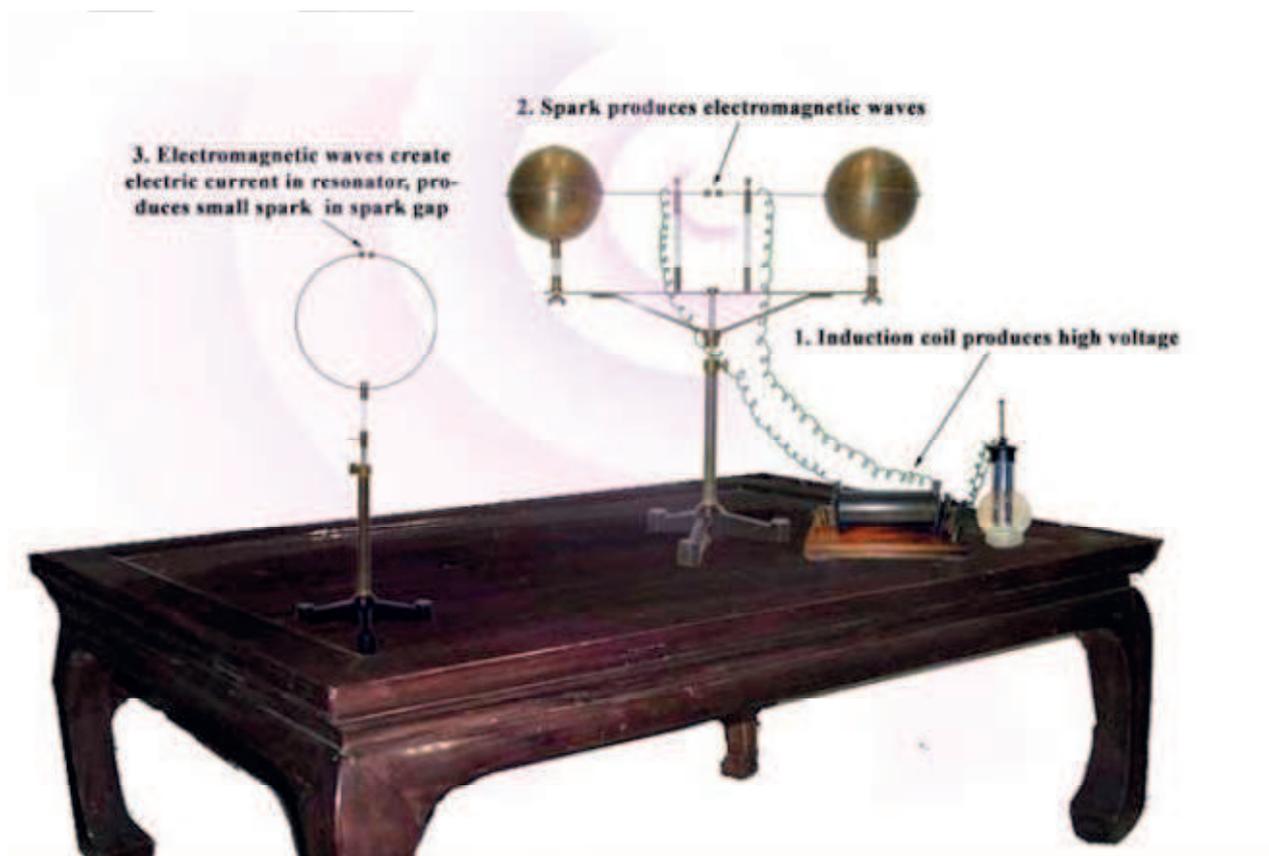
Heinrich Rudolph Hertz nasceu na Alemanha no dia 22 de fevereiro de 1857, na cidade de Hamburgo. Estudante de engenharia, tinha grande aptidão para a pesquisa, o que o direcionou, em 1878, para a Universidade de Berlim no intuito de estudar Física e se formou em 1880. Hertz sempre foi interessado em construir aparatos mecânicos necessários aos trabalhos que desenvolvia e iniciou os estudos da eletrodinâmica de Maxwell em 1883 na universidade de Kiev, de onde era professor. Em 1894, Hertz falece por influência de bactéria depois de ter sido

operado de um tumor na orelha no ano anterior. Não chegou a completar 37 anos de idade.

O experimento de Hertz, quando produziu e capturou ondas eletromagnéticas, era constituído por um oscilador de altas tensões (faiscador) conectado a uma antena com esferas capacitivas nos extremos. Nessa antena, havia uma interrupção central com pequenas esferas bem próximas entre si onde acontecia a faísca proporcionada pelo oscilador. O receptor era constituído por um aro com duas esferas nas extremidades separadas por uma distância mínima.

Ao emitir uma faísca entre os extremos próximos dos fios da antena transmissora, Hertz verificava que a faísca aparecia entre as esferas do aro receptor, constatando então que houve a transmissão eletromagnética. A figura seguinte esquematiza graficamente o experimento.

Figura 3: Experimento de Hertz



Fonte: http://rodelao6970.blogspot.com.br/2012/02/rodelao6970-informa_22.html

Figura 4 – Edouard Branly



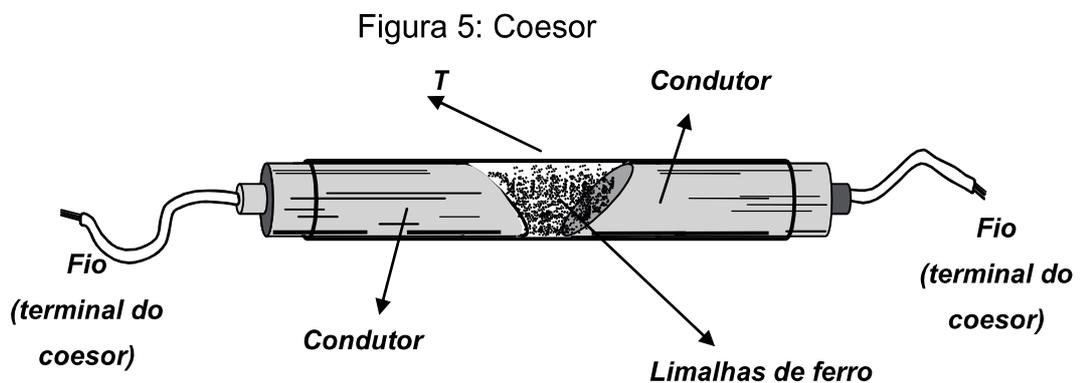
Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89douard_Branly#/media/File:Portrait_of_Edouard_Branly_\(1844-1940\),_Physicist_\(2536834552\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89douard_Branly#/media/File:Portrait_of_Edouard_Branly_(1844-1940),_Physicist_(2536834552).jpg)

Conforme já era esperado por Maxwell, na continuidade dos seus experimentos, Hertz também verificou que essas ondas eletromagnéticas, conhecidas também por ondas hertzianas, apresentavam comportamentos semelhantes à luz, a exemplo da velocidade de propagação, reflexão das ondas em superfícies de metal, refração, polarização, etc. Em função do sucesso e grande repercussão de suas experiências, Hertz influenciou potencialmente os avanços posteriores no estudo das ondas eletromagnéticas. Porém, as faíscas produzidas entre as esferas do anel receptor não são tão fáceis de visualizar com considerável nitidez. A partir dos experimentos de Hertz, muitos estudiosos ficaram fascinados e tentaram aperfeiçoar o experimento.

O físico e médico francês Edouard Branly Désiré, nascido em 1844 no dia 23 de outubro numa cidade do norte da França conhecida como Amiens, criou em 1890 um dispositivo chamado coesor. Branly viveu 95 anos, tendo falecido em 24 de março de 1940. Ele foi professor e chefe de laboratório no Liceu Imperial na cidade de Bourges, na França. Desenvolvia muitas pesquisas a exemplo das variações de condutividades elétricas de materiais, radiação solar, entre outras, mas encontrava dificuldades para a realização das mesmas por falta de equipamentos, por baixo salário, etc. O coesor de Edouard Branly foi o primeiro dispositivo detector de ondas de rádio e passou a ser bastante utilizado nas radiocomunicações em geral até

meados do ano 1907. Branly tornou-se o primeiro a desenvolver sistemas de controle remoto na continuidade de seus experimentos. Em 1911, ele tornou-se membro da *Accademie des Sciences*, pelo fato de que seus trabalhos se tornaram de grande aceitação e significância pública.

O princípio de funcionamento do coesor se baseia no fato de que limalhas de ferro apresentam uma resistência elétrica de vários quiloohms (K Ω) podendo chegar a mega ohms (M Ω) devido a deficiência dos contatos entre os pedacinhos de ferro que a compõem. Porém, um pulso de alta tensão, (e presença de uma adequada intensidade de campo elétrico), proporciona uma ampliação na condutividade elétrica da limalha como se os pedacinhos de ferro fossem soldados uns aos outros de modo que abruptamente a resistência elétrica cai para a casa das dezenas de ohms. Então o coesor funciona como uma chave elétrica fechando o circuito. Entretanto, por força mecânica, aplicando uma pequena batida física no dispositivo, os pedacinhos que compõem a limalha de ferro novamente se soltam de modo que o circuito seja novamente desligado. O coesor retorna ao seu estado original de resistência mais elevada. O pulso eletromagnético emitido no experimento de Hertz propaga através da antena dipolo emissora. Esse pulso é capturado na antena receptora na qual se encontra o coesor que funciona como uma chave de acionamento. Uma pequena corrente elétrica atravessa o coesor e aciona um LED (diodo emissor de luz) que se encontra em série com um resistor ligados a uma tensão de seis volts nessa etapa receptora.



Fonte: Autor (2017)

Em 1895, o físico Guglielmo Marconi realizou experimentos com o telegrafo sem fio e fez uso do coesor de Edouard Branly em suas práticas. Marconi nasceu

em 25 de abril de 1874 na Itália. Na sua cidade natal Bolonha, em 1894, Marconi realizou experimentos sobre emissão e recepção das ondas eletromagnéticas, aumentando progressivamente a distância entre o transmissor e o receptor, conseguindo alcances cada vez maiores na emissão desses sinais radiantes.

Figura 6: G. Marconi

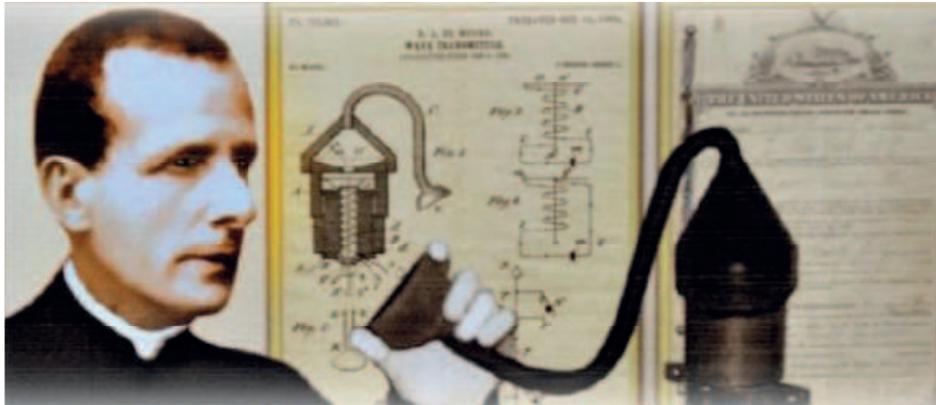


Fonte: <http://www.matematiksel.org/yildirimlarin-efendisi-nikola-tesla/>

Com base no experimento de Hertz, numa de suas experiências Marconi emitiu uma faísca e conseguiu receber o sinal eletromagnético a uma distância de 2,5 km. Em torno do ano de 1900, Marconi se associou a um primo seu que era engenheiro Jameson Davis e fundaram uma empresa de telegrafo sem fio, a Signal Company, Ltda. que se transformou posteriormente no Wireless Telegraph Company.

Mais tarde, uma emissão eletromagnética feita a partir de um navio britânico alcançou 121 km de distância até uma base terrestre. Tendo vivido 63 anos, Marconi faleceu em 20 de julho de 1937. Utilizou o experimento de Hertz e usou o coesor de Edouard Branly, bem como se baseou em outros físicos da época para a construção de seus experimentos de rádio transmissão. Por seus experimentos com telegrafia, Marconi ganhou o prêmio Nobel de Física em 1909. Entretanto, o cientista brasileiro e Padre gaúcho Roberto Landell de Moura, segundo alguns historiadores, foi o primeiro a transmitir informações e a voz humana através das ondas eletromagnéticas em 1892, alguns anos que antecedem o início das pesquisas de Guglielmo Marconi.

Figura 7: Roberto Landell de Moura



Fonte: <http://lealevalerosa.blogspot.com.br/2010/05/padre-landel-de-moura-e-porto-alegre.html>

Em Porto Alegre, no ano de 1861, nascia Roberto Landell de Moura no dia 21 de janeiro. Partindo para o Rio de Janeiro em 1879, com 18 anos, Landell foi convencido por seu irmão Guilherme a iniciar seus estudos no campo eclesiástico em Roma, na Itália. Entretanto, sua antiga aptidão para o estudo da Física e da Química, o levou a matricular-se na Universidade Gregoriana além de também iniciar os seus estudos sacerdotais no Colégio Pio Americano. Landell e seu irmão Guilherme foram matriculados em março de 1878 e em 1886. Landell tornou-se padre. Obteve o título de Monsenhor pelo vaticano em setembro de 1927, entre outros cargos sacerdotais que ocupou, embora algumas de suas ideias científicas tenham proporcionado alguns conflitos com autoridades e servos da igreja. Dois dias após realizar uma demonstração pública de rádio transmissão em São Paulo, alcançando a distância de 8 quilômetros, um pequeno grupo de fieis que considerava ser uma prática infernal, invadiu e destruiu o seu laboratório. Landell faleceu com tuberculose em 30 de junho de 1928 com 67 anos de idade.

O Padre Landell de Moura chegou a receber três patentes nos Estados Unidos que foram: Transmissor de Ondas; Telefone sem fio e Telégrafo sem fio. Já no Brasil, o Padre Landell obteve as patentes do Alto Falante Telegráfico e do Microfone Eletromecânico.

A descoberta de Maxwell evidenciada empiricamente por Hertz despertou o fascínio de muitas pessoas com diversas intenções tais como os interesses de

empresários ou mesmo de pessoas do campo científico. Entretanto, o Padre Roberto Landell de Moura realizava suas experiências sem conexões com essas conveniências. Entretanto, Marconi levou ao conhecimento de autoridades britânicas seus experimentos em 1896 e por isso ganhou uma carta patente sobre telegrafia. Porém, o Padre Landell realizou experiências de rádio transmissão antes de Guglielmo Marconi. Em 1960, Ernani Fornari relata que anteriormente aos trabalhos de Marconi sobre as ondas radiantes, as primeiras transmissões ocorreram entre 1893 e 1894. A primeira transmissão de voz foi realizada pelo Padre Roberto Landell de Moura em 1900, em São Paulo, mas não proporcionou sucesso. Porém, foi atribuída a ele a invenção do telefone sem fio em 1902. Antes que fizesse o correspondente registro, seu laboratório foi destruído por invasores. Landell afirmou que esses fiéis assim fizeram por cegueira religiosa, mas que o verdadeiro catolicismo não condena tais experiências. O Padre Roberto L. de Moura, sempre caminhava com seu pacote de peças com as quais inventou um aparelho que lhe permitia conversar à distância sem fios. Todas as suas experiências eram precisamente funcionais.

2.3. ETAPA EXPERIMENTAL

As atividades experimentais muitas vezes funcionam como "ponto de ignição" para o despertar de curiosidades e interesses por parte dos alunos. Porém, práticas experimentais desassociadas de suas respectivas fundamentações didáticas e teóricas não proporcionam uma aprendizagem de conceitos de Física. A abordagem experimental é um bom auxílio para o estudo de temas da disciplina e contribui para aproximar o estudante de circunstâncias cotidianas com relação ao fenômeno físico enriquecendo o conteúdo que está sendo estudado, saindo do mundo apenas abstrato.

Na presente dissertação incluímos na UEPS uma prática experimental do tipo demonstrativa em sala de aula, porém de forma que se possa obter questionamentos e discussões sobre tecnologias que fazem uso das ondas eletromagnéticas, além de aprofundar as informações do resumo histórico em destaque no presente capítulo. O objetivo de tal abordagem é o enriquecimento das informações físicas apresentadas pelo professor durante as aulas sempre inserindo nelas a busca de questionamentos por parte dos discentes. As práticas

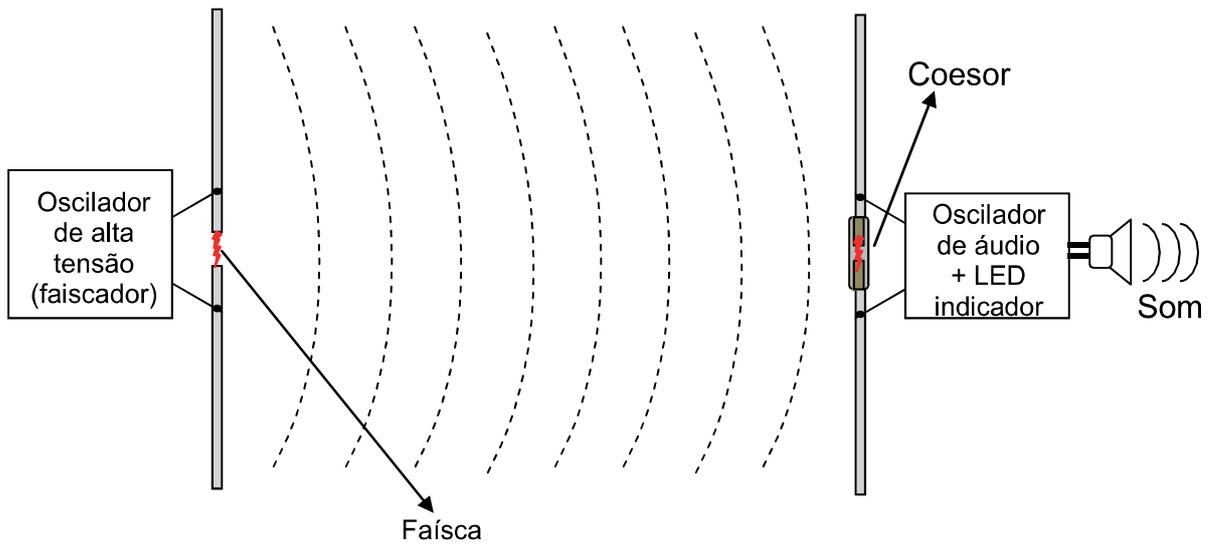
experimentais aliadas a determinados conteúdos podem auxiliar para diminuir as dificuldades que muitos alunos têm de aprender conteúdos de Física. Os experimentos podem facultar ao discente uma aprendizagem de conceitos científicos, a partir da relação entre a prática e sua base conceitual, principalmente se fundamentada na busca do próprio aluno por compreender essa interligação, sendo o professor o elemento essencial dessa mediação.

Para produzir uma faísca de alta tensão, nos dias atuais, existem diversas opções a exemplo de acendedores de fogões que podem ser adquiridos no mercado. Porém, o experimento abordado nessa dissertação é constituído por um gerador (oscilador) de alta tensão que produz descargas (raios) entre as extremidades de dois fios que juntos constituem a antena dipolo emissora. Esses fios da antena dipolo são separados por uma distância de aproximadamente oito milímetros. Essa descarga de alta voltagem proporciona a existência de pulsos eletromagnéticos emitidos a partir da antena os quais propagam até uma antena dipolo receptora onde está instalado um coesor. O detector (coesor) foi fixado entre as extremidades próximas dos fios que constituem a antena dipolo receptora. Esse coesor permite o fechamento do circuito no instante em que as limalhas de ferro em seu interior recebem o sinal eletromagnético de forma que essas limalhas passam a conduzir corrente elétrica pela queda súbita de sua resistência elétrica acionando o indicador (LED) e ativando um pequeno oscilador de áudio (opcional). O som emitido e o acendimento do LED indicam que o circuito foi ativado remotamente através do sinal eletromagnético irradiado a partir do oscilador de alta tensão. Esse modelo é baseado no experimento de Hertz com modificações e faz uso do dispositivo detector coesor de Edouard Branly, além de dois osciladores sendo um de alta voltagem e outro de áudio instalado no receptor remoto. O objetivo é demonstrar de forma empírica a ideia de Hertz, o detector de Branly e os acionamentos remotos através de ondas eletromagnéticas.

A proposta experimental é diferenciada em relação à ideia inicial geralmente abordada sobre o experimento de Hertz exatamente por envolver o elemento detector das ondas e por incluir a ideia de acionamento remoto. O coesor contribui para tornar mais visível o efeito obtido por Hertz além de ampliar possibilidades de uso do referido experimento. Esse experimento é intencionalmente apresentado nos momentos finais do agrupamento de aulas para que seja possível reunir as informações anteriormente estudadas, desde o resumo histórico até os conceitos

físicos somados aos conhecimentos prévios e posteriores dos discentes. O professor deve apresentar o experimento de modo a interagir com a turma com questionamentos e argumentos em relação ao tópico.

Figura 8: Esquema de experimento de Hertz modificado



Fonte: Autor (2017)

No capítulo seguinte, abordamos informações teóricas da Física direcionadas ao estudo das ondas eletromagnéticas, incluindo a natureza da matéria e partículas que apresentam cargas elétricas, até as oscilações entre campos elétricos e magnéticos resultando nas ondas eletromagnéticas.

3. CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

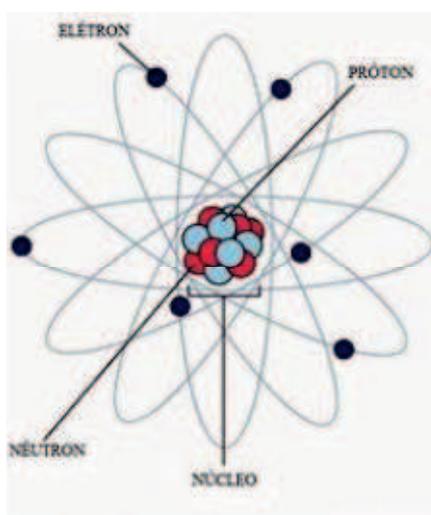
Nesse capítulo buscamos apresentar os conceitos mais fundamentais do eletromagnetismo, com enfoque numa leitura de professores de nível médio. Não é nosso objetivo aqui a formalização da teoria eletromagnética para um aprofundamento teórico. Mas sim a construção de um material de apoio ao professor.

3.1. NATUREZA DA MATÉRIA - CARGA ELÉTRICA

Boa parte da matéria existente no universo é constituída por átomos. Cada átomo, por sua vez, é formado por partículas conhecidas como prótons, nêutrons e elétrons. Os prótons e os nêutrons agrupam-se numa densa massa na região nuclear do átomo. Já os elétrons são ligados ao núcleo por força eletromagnética e orbitam em torno do mesmo numa região conhecida como eletrosfera.

Os elétrons têm massa de $9,1 \cdot 10^{-31}$ Kg. Já os prótons e os nêutrons, apresentam a mesma massa de valor $1,67 \cdot 10^{-27}$ Kg.

Figura 9: Átomo



Fonte: <http://www.infoescola.com/quimica/atomo/>

Carga elétrica é uma propriedade intrínseca da matéria sendo a essência do eletromagnetismo, já que todo fenômeno elétrico se processa entre partículas carregadas. Os elétrons e os prótons possuem a mesma carga elétrica, porém para

o elétron a carga é negativa e para o próton essa carga elétrica é positiva, constituindo uma interessante simetria da natureza.

Carga elétrica do elétron: $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

Carga elétrica do próton: $+1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

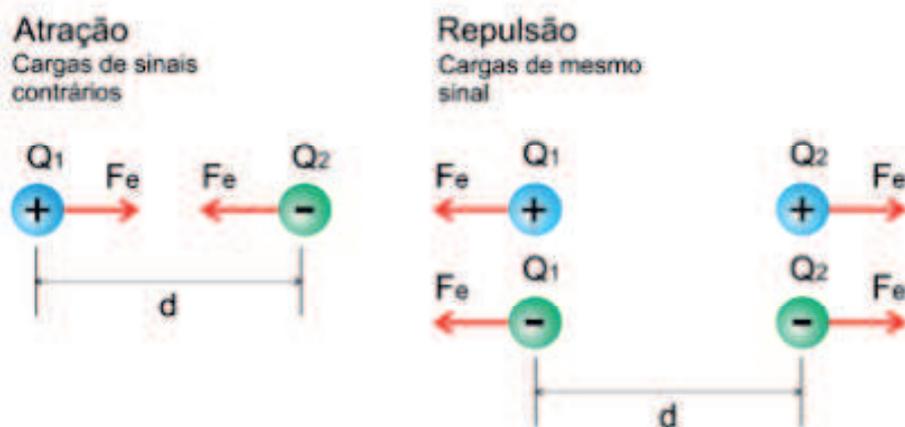
Já os nêutrons possuem carga elétrica nula.

Em geral, a matéria possui uma quantidade de prótons igual à quantidade de elétrons. Logo, somando as cargas elétricas de ambos, o resultado será zero. Isso justifica porque diversos corpos na natureza não manifestam a todo instante fenômenos elétricos, já que se comportam como corpos eletricamente neutros. Porém, para manifestar algum fenômeno elétrico é preciso que o corpo esteja eletrizado. Assim, um corpo está eletrizado quando apresenta falta ou excesso de elétrons.

3.2. CAMPO ELÉTRICO E LEI DE GAUSS

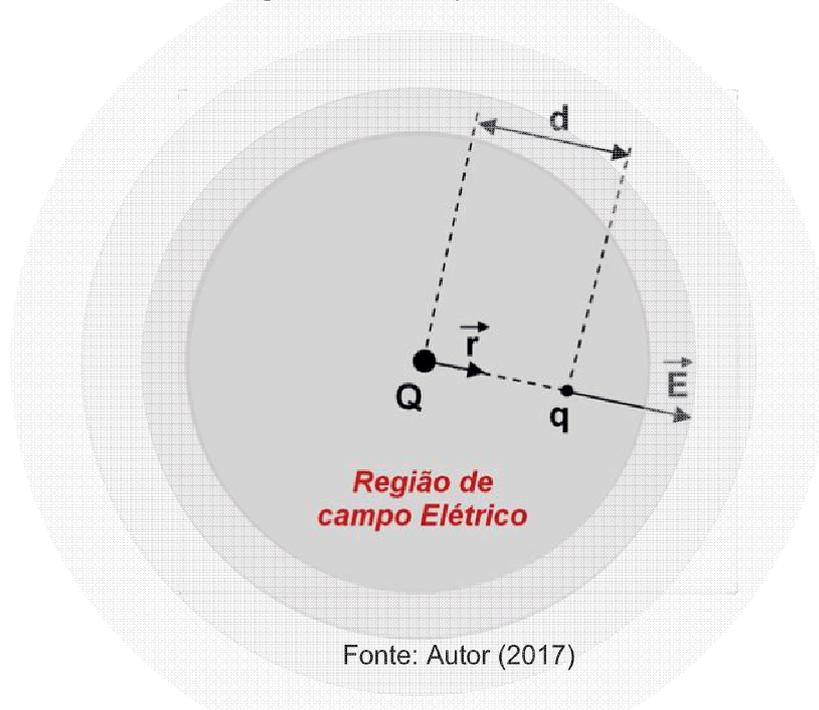
Dizemos que um campo elétrico existe na zona do espaço em torno de cargas elétricas ou de uma distribuição de cargas de modo que se pequenas cargas, conhecidas como cargas de prova, forem inseridas nesse espaço, ficarão sujeitas à ação de forças elétricas, segundo o princípio da atração e repulsão de cargas que diz: cargas de sinais iguais se repelem e cargas de sinais contrários se atraem.

Figura 9: Princípio da atração e repulsão de cargas elétricas



Fonte: <http://fsicafascinante.blogspot.com.br/p/3ano.html>

Figura 10: Campo Elétrico



A carga de prova precisa ser de mínima dimensão se comparada com a(s) carga(s) fonte, para que não possa causar influências no espaço envolvido pelo campo elétrico da(s) mesma(s).

Descrevemos o campo elétrico pela Equação 1:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (1)$$

Porém, conhecemos que:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q| \cdot |q|}{d^2} \quad (2)$$

Onde:

E = Intensidade do vetor campo elétrico (em volt / metro);

F = Força elétrica presente sobre a carga de prova (em Newton);

q = carga de prova (em Coulomb).

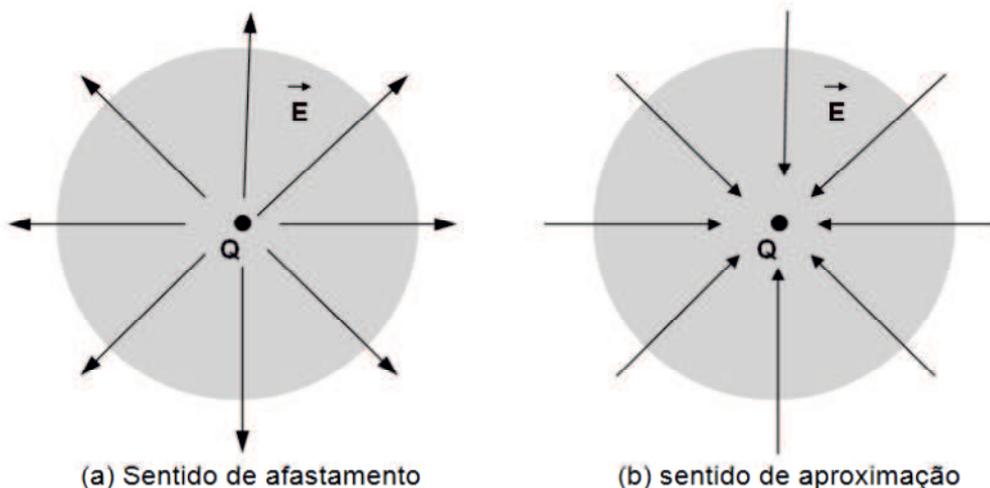
Para uma carga elétrica puntiforme, relacionando a Equação (1) com a Equação (2) podemos escrever que:

$$q \cdot E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q \cdot q}{d^2}$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|Q|}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

O sentido do campo elétrico depende do sinal da carga fonte. Sendo \hat{r} o vetor unitário na direção que une a carga geradora ao ponto de medição do campo no espaço (direção radial do campo elétrico), apontando sempre o sentido de afastamento (obs.: Embora aparente na figura 11, a região de campo elétrico não se refere a uma região restrita do espaço).

Figura 11: Sentido do Campo Elétrico



Fonte: Autor (2017)

Para uma carga elétrica positiva, o sentido do vetor campo elétrico é de afastamento conforme podemos observar na figura 11-a. Na figura 11-b, temos o sentido de aproximação do vetor campo elétrico no que se refere à carga elétrica negativa.

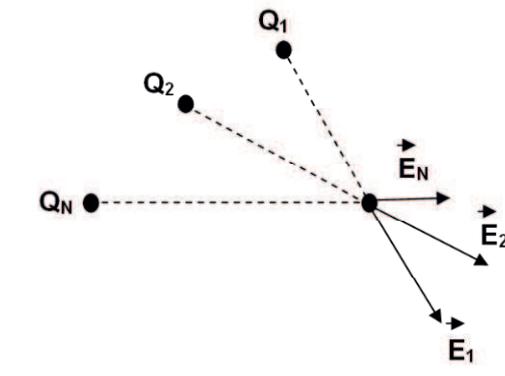
Numa distribuição de n cargas fonte, o vetor campo elétrico resultante corresponde à soma do campo de cada carga elétrica fonte no mesmo ponto do espaço (Figura 4).

$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_N \quad (4)$$

Logo podemos escrever a Equação 5.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{|q_i|}{r^2} \hat{r} \quad (5)$$

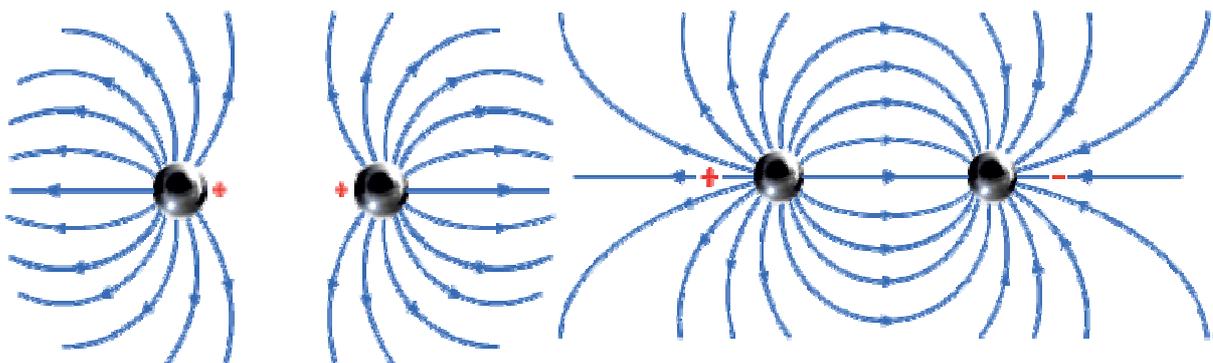
Figura 12: Campo de várias cargas



Fonte: Autor (2017)

Observemos então as linhas de campo elétrico nas Figuras 13-a e 13-b.

Figura 13: Linhas de campo elétrico



(a) Linhas entre cargas de sinais iguais

(b) Linhas entre cargas contrárias

Fonte: <http://trabcampoelétrico.blogspot.com.br/p/linhas-de-forca.html>

Podemos inferir algumas informações a respeito:

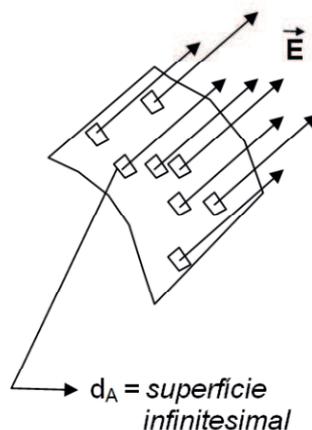
- As linhas do campo elétrico partem das cargas positivas e finalizam nas cargas negativas;
- Em cada ponto, vetor campo elétrico é tangente às linhas de força;
- Quanto maior a intensidade do campo elétrico num ponto do espaço, mais concentradas são as de linhas de campo por unidade de área. Logo o campo elétrico é mais intenso mais próximo à carga;
- Não há cruzamento entre as linhas de campo elétrico.

Até então nos referimos ao campo elétrico de uma carga puntiforme. Porém, para uma distribuição de cargas, temos que as linhas de campo elétrico que atravessam uma pequena superfície (S), corresponde ao fluxo do campo elétrico e é definido pela Equação 6.

$$\Phi_E = \int_S \vec{E} \cdot d\vec{a} \quad (6)$$

O fluxo das linhas de campo corresponde à integral do campo elétrico em regiões infinitesimais da superfície.

Figura 14: Fluxo elétrico



Fonte: Autor (2017)

Quando tratamos de uma superfície fechada, o fluxo proporcional à carga na superfície é dado pela **lei de Gauss** (Equação 7). A lei de Gauss indica a presença de cargas elétricas isoladas, ou seja monopolos elétricos.

$$\Phi_E = \oint_S \vec{E} \cdot d\vec{a} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (7)$$

O fluxo vale q / ϵ_0 corresponde a uma superfície fechada. Onde ϵ_0 é a permissividade do vácuo ($\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}$). Na forma diferencial podemos escrever (Equação 8),

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (8)$$

e

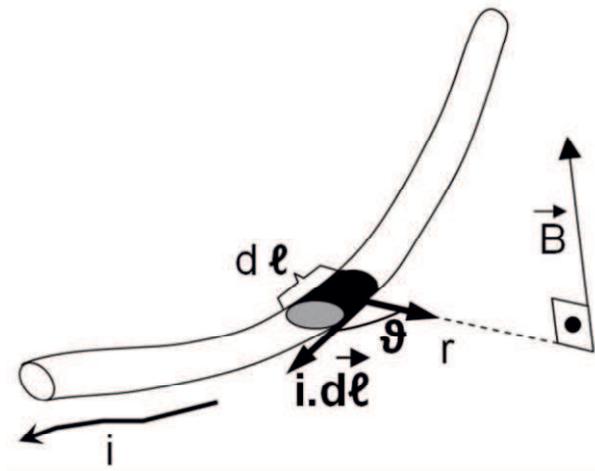
Onde: ρ = Densidade de carga elétrica em determinado elemento de volume $\vec{\nabla} \cdot \vec{E}$ = Divergente do campo elétrico.

A Lei de Gauss torna simplificada a determinação de cálculos de campos elétricos quando a configuração de cargas é simétrica, indo muito além disso, pois ela é uma lei fundamental do eletromagnetismo e podemos utilizá-la para determinar propriedades fundamentais sobre campos, a exemplo da onda eletromagnética ser transversal. Equivale à Lei de Coulomb, porém de forma mais simples.

3.3. CORRENTE ELÉTRICA E CAMPO MAGNÉTICO

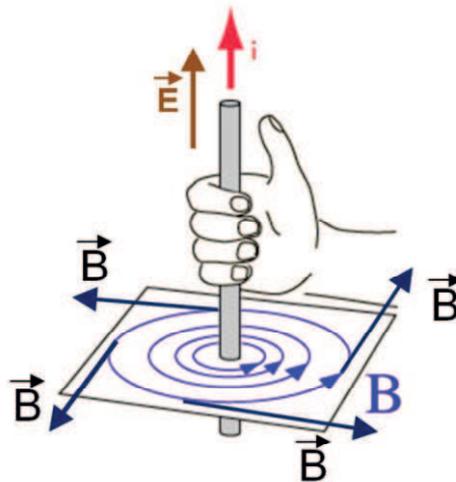
Uma corrente elétrica é formada por cargas elétricas em movimento ordenado. Quando cargas entram em movimento geram campo magnético. Então, um condutor percorrido por uma corrente elétrica produz campo magnético.

Figura 15: Campo da corrente



Fonte: Autor (2017)

Figura 16: Regra da mão direita



Fonte: <http://www.fisica.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1246>

Onde:

i = corrente elétrica no sentido convencional

$d\ell$ = elemento infinitesimal de comprimento do fio

r = distância do fio ao ponto p do espaço

\vec{B} = vetor campo magnético (tangente às linhas de campo magnético)

$i \cdot d\vec{\ell}$ = Elemento infinitesimal de corrente elétrica

Para o campo magnético de um elemento infinitesimal de corrente, fazemos uso da Lei de Biot-Savart (Equação 9). A Lei de Biot-Savart é uma manifestação da Lei de Ampère em regime estático.

$$\vec{d}_B = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot d\ell \times \hat{r}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (9)$$

Para se obter o campo magnético num intervalo de comprimento de um fio retilíneo, torna-se necessário calcular a integral no referente intervalo, segundo a Equação 10.



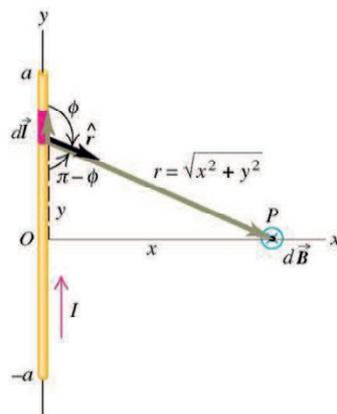
Campo Magnético de um Condutor Retilíneo Transportando uma Corrente

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}$$

(10)

Figura 17: Campo magnético de um elemento do fio

Campo Magnético de um Condutor Retilíneo Transportando uma Corrente



$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{I d\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2}$$

FIGURA 29.5 Campo magnético produzido por um fio retilíneo de comprimento $2a$ que conduz uma corrente. No ponto P , o campo magnético \vec{B} possui sentido para dentro da página.

Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/335424/>

Logo, o campo magnético de um fio percorrido por corrente pode ser calculado pela Equação 11.

Um campo magnético circular é produzido por correntes elétricas ou por campos elétricos variáveis no tempo. A Lei de Ampère foi corrigida por Maxwell (4ª Equação). Ampère considerou que o campo magnético pode ser gerado por correntes elétricas. Porém, Maxwell adicionou à lei de Ampère que campos magnéticos também podem ser gerados por campos elétricos variáveis no tempo. Maxwell acrescentou uma corrente de deslocamento à expressão de Ampère como apresentado na Equação 13. A Lei de Ampère não estava correta, pois para campos dependentes do tempo ela não era compatível com a conservação das cargas.

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(i_{\text{cond}} + i_d)$$

Resultando em,

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 i_{\text{cond}} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E^S}{dt} \quad (13)$$

Tal como a variação do campo magnético gera campo elétrico, a variação do campo elétrico também gera campo magnético.

Podemos escrever a Equação 14 que corresponde à forma diferencial:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (14)$$

A **segunda Equação de Maxwell, lei de Gauss para o magnetismo**, afirma a inexistência de monopólos magnéticos, como podemos observar nas Equações 15 (forma integral) e 16 (forma diferencial).

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{S} = 0 \quad (15)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (16)$$

Ao variarmos a área de uma superfície inserida no espaço envolvido por um campo magnético, ou mesmo se variamos o campo magnético cujas linhas alcançam a superfície nele imersa, obteremos uma força eletromotriz induzida sobre essa superfície. Essa é a **terceira Equação de Maxwell** ou **lei de Faraday** e corresponde ao princípio de funcionamento de geradores (motores) elétricos, como podemos observar nas Equações 17 (forma integral) e 18 (forma diferencial). Campo magnético que varia no tempo produz campo elétrico.

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\Phi_B^C}{dt} \quad (17)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (18)$$

Onde:

E = força eletromotriz induzida (diferença de potencial elétrico)

$\vec{\nabla} \times \vec{E}$ = Rotacional do campo elétrico

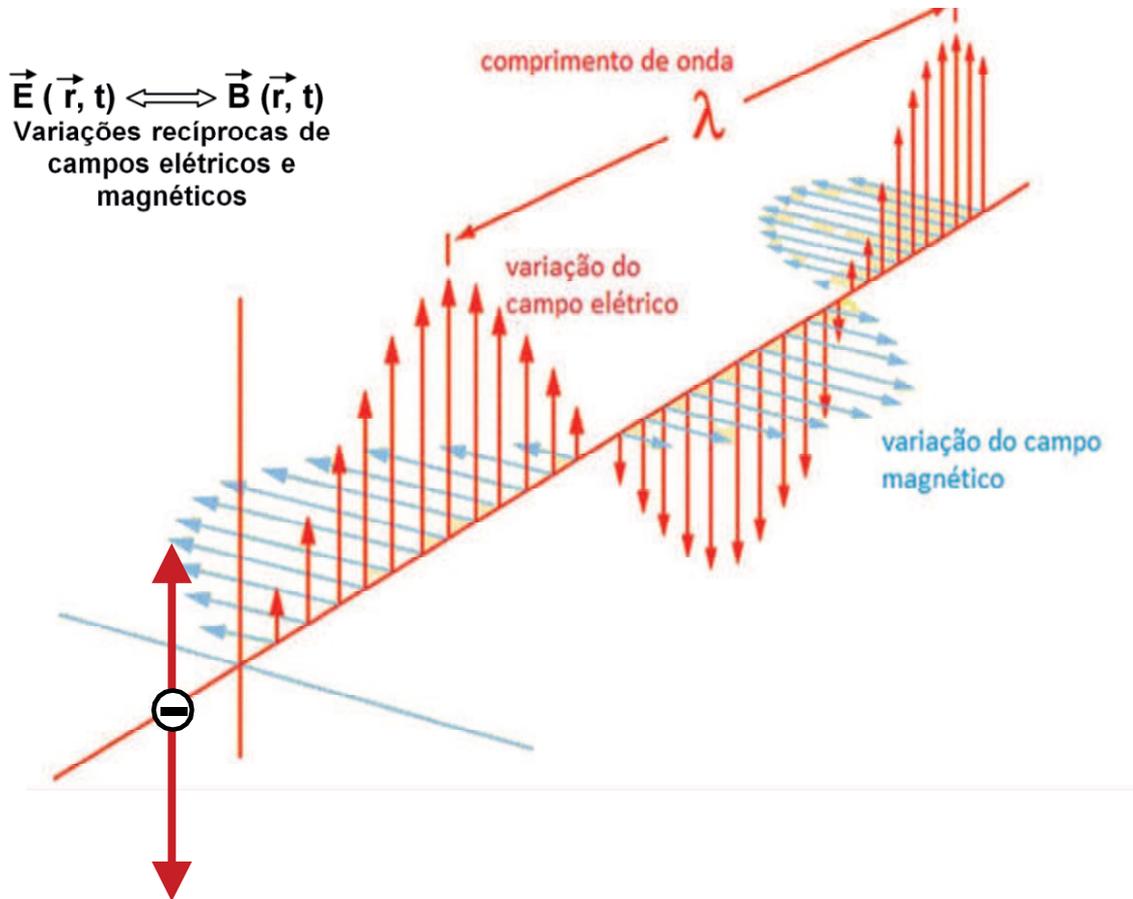
3.4. AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

As ondas eletromagnéticas são produzidas sempre que cargas elétricas, por algum motivo, oscilam (cargas aceleradas). Antes de Maxwell, a eletricidade e o magnetismo eram estudados como dois fenômenos separados. Porém, Maxwell mostrou que os dois fenômenos tinham relações um com outro e que poderiam ser estudados de forma unificada. Além desse fato, Maxwell também envolveu a luz como sendo parte integrante do estudo do eletromagnetismo.

Durante as oscilações de cargas elétricas, campos elétricos variáveis produzem campos magnéticos variáveis e campos magnéticos variáveis produzem campos elétricos variáveis, de forma que esses campos se tornam independentes da fonte que os produziram, passando a propagar no espaço. Essas são as ondas eletromagnéticas. Esses campos, elétricos e magnéticos são perpendiculares entre

si. As ondas eletromagnéticas podem ser transmitidas tanto em meios materiais quanto no vácuo.

Figura 19: Onda Eletromagnética



Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172015000400206

Através das equações de Maxwell, podemos obter a Equação de uma onda eletromagnética. Equação de onda para o campo elétrico (19) e Equação de onda para o campo magnético (20).

$$\frac{\partial^2 E_Y}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E_Y}{\partial t^2} \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 B_Z}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 B_Z}{\partial t^2} \quad (20)$$

Pela Equação de onda chega-se à velocidade dessas ondas no vácuo que é de **299.792.458 m/s** ou aproximadamente **3.10^8 m/s**, sendo igual à conhecida velocidade da luz. Vide Equação 21.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \simeq 3.10^8 \text{ m/s} \quad (21)$$

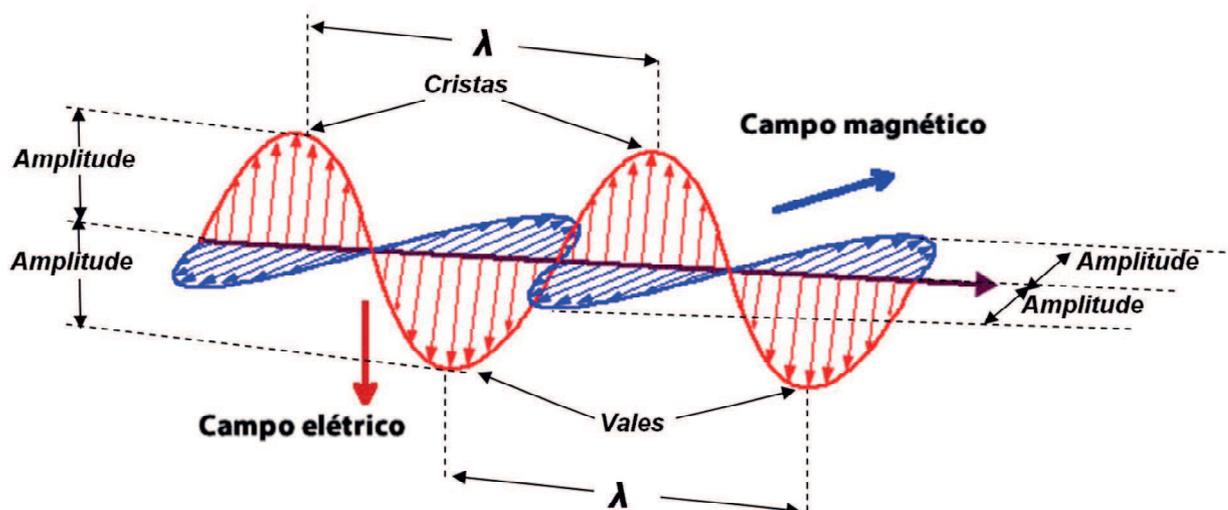
Onde:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2 = \textit{permissividade elétrica do vácuo}$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m}/\text{A} = \textit{permeabilidade magnética do vácuo}$$

Uma onda eletromagnética é uma perturbação de campos eletromagnéticos que atravessam o vácuo e meios materiais. Essas ondas apresentam **cristas** (picos superiores), **vales** (picos inferiores) e **amplitude** (altura da onda ou medida de sua magnitude).

Figura 20: Elementos de uma Onda Eletromagnética



A frequência corresponde ao número de oscilações das ondas por unidade de tempo (Hertz = oscilações por segundo), sendo também igual ao inverso do período (tempo de uma oscilação completa. Equação 22). A velocidade da onda é medida pelo quociente entre o seu comprimento de onda e o seu período (Equação 23). Outra relação que envolve a frequência inclui a velocidade da onda e seu comprimento de onda (Equação 24).

$$f = \frac{1}{T} \quad (22)$$

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (23)$$

$$v = \lambda \cdot f \quad (24)$$

Onde:

λ = Comprimento de onda (m)

T = Período de oscilação da onda (s)

v = Velocidade da onda (m/s)

f = frequência da onda (Hz)

A onda eletromagnética transporta energia em forma de campo elétrico (Equação 25) e magnético (Equação 26). Essa energia é igualmente repartida entre os campos Elétrico e Magnético.

$$U_E(\vec{r}, t) = \frac{\epsilon_0 \cdot E^2}{2} \quad (25)$$

$$U_B(\vec{r}, t) = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (26)$$

Então a energia total irradiada corresponde à soma das duas formas de energia (Equação 27).

$$U(\vec{r}, t) = \frac{\epsilon_0 \cdot E^2}{2} + \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (27)$$

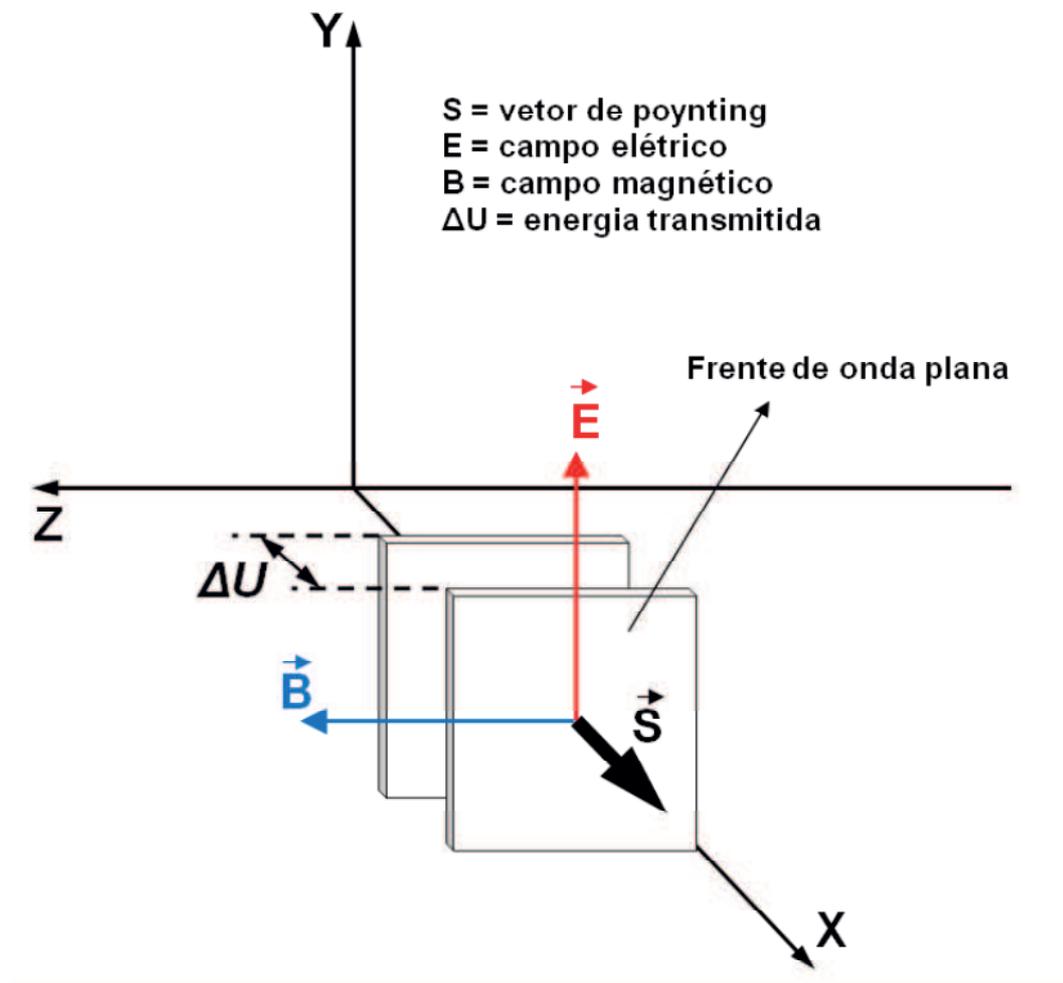
Chamamos de **vetor poynting (S)** o vetor relacionado ao transporte de energia através das ondas eletromagnéticas. Esse vetor aponta na direção de propagação e representa a densidade direcional do fluxo de energia emitido por essas ondas (Equação 28).

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0} \vec{E} \times \vec{B} \quad (28)$$

A potência emitida pela onda refere-se ao trabalho realizado (∂U) por unidade de tempo (∂t) (Equação 29).

$$P = \frac{\partial U}{\partial t} \quad (29)$$

Figura 21: Representação gráfica para o vetor de poynting



Fonte: Autor (2017)

O vetor poynting indica a direção de propagação da onda e conseqüentemente da energia que irradia na onda eletromagnética.

3.5. POLARIZAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A polarização acontece quando a onda transversal, ao atravessar determinado meio (polarizador), passa a propagar num único plano vertical ou horizontal, de acordo com a direção do Campo Elétrico. Trata-se de um efeito proposital quando se pretende que apenas uma parcela da onda emitida alcance determinado alvo. Um exemplo disso é o uso de óculos 3D polaroides os quais permitem que cada um dos olhos receba apenas uma parcela da luz refletida ou emitida da imagem visualizada.

A direção de oscilação do campo elétrico determina a polarização dessa onda. O fenômeno da polarização de uma onda somente pode acontecer com ondas transversais que é o caso das ondas eletromagnéticas.

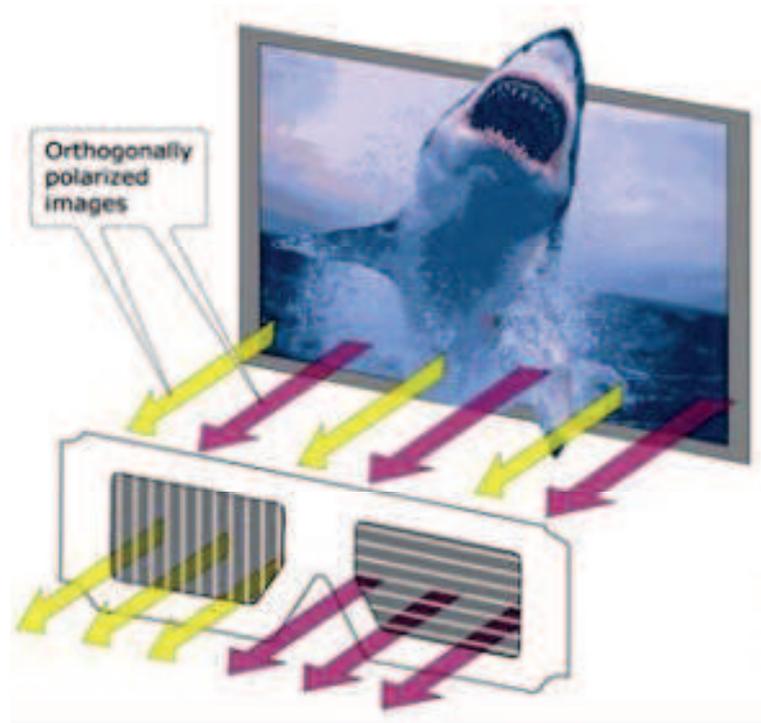
Figura 22: Polarização das ondas eletromagnéticas



Fonte: <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/ondas-e-luz/fenomenos-ondulatorios.html>

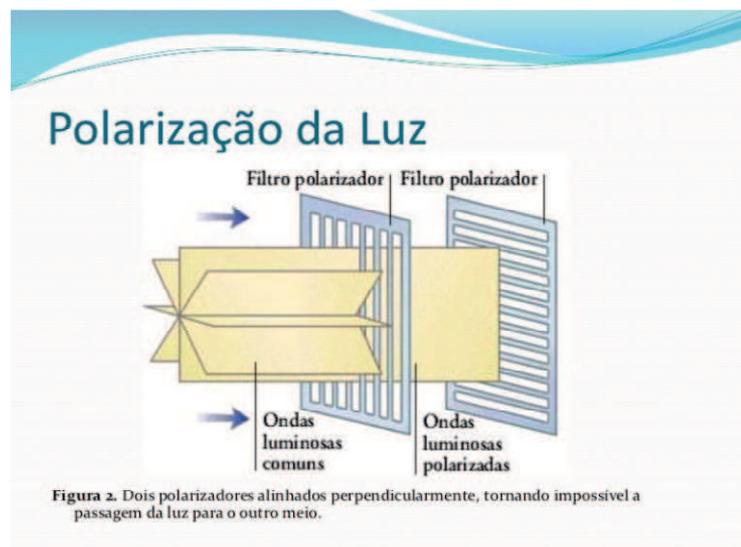
As ondas eletromagnéticas propagam em várias direções. Porém, através de um filtro polarizador (figuras 22 e 24) é feita a seleção de uma direção para sua propagação de modo que as outras direções não passam pelo filtro.

Figura 23: Polaróide em óculos 3D



Fonte: http://www.a1installer.com/3D_TV_explained.html

Figura 24: Filtro polarizador



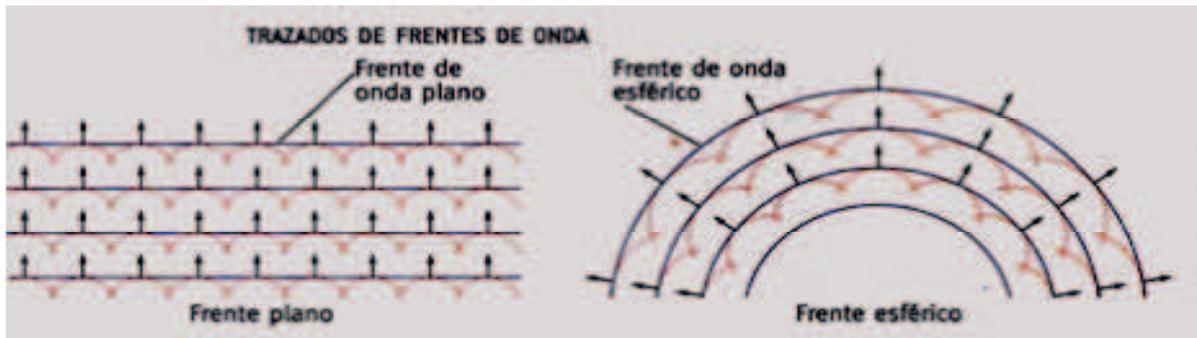
Fonte: <http://www.fisicaevestibular.com.br/images/ondulatoria7/>

Óculos 3D podem ser constituídos por polaroides como mostra a figura 23. A sobreposição da imagem proporcionada pelo cérebro permite a sensação visual da dimensão da profundidade.

3.6. REFLEXÃO, REFRAÇÃO E DIFRAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

O cientista holandês Christian Huygens (1629 - 1695) idealizou que todos os pontos de frentes de onda se comportam como fontes pontuais de ondas secundárias. Após certo tempo t , as novas frentes pontuais de onda estão num plano tangente a estas ondas secundárias.

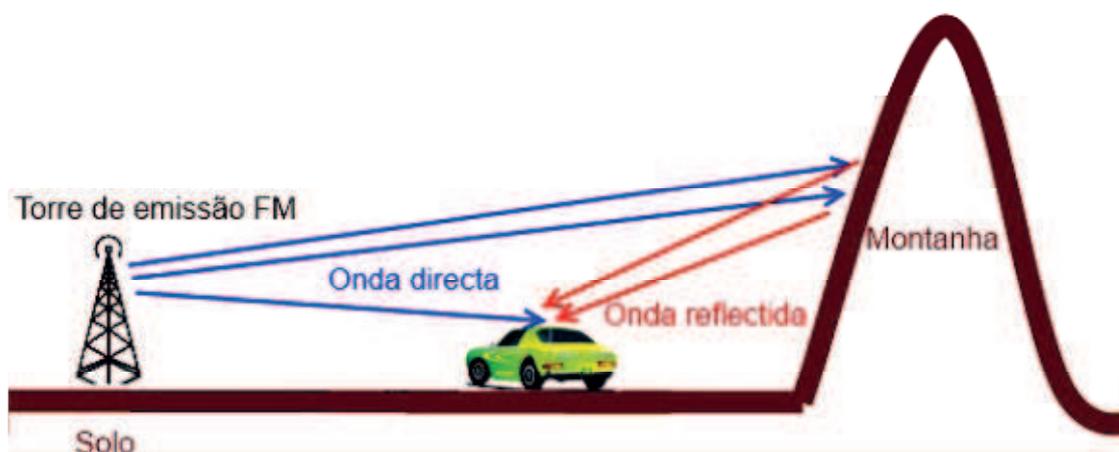
Figura 25: Frentes de onda



Fonte: <http://www.astrofisicayfisica.com/2012/08/teorias-de-la-propagacion-de-la-luz.html>

Ao se deparar com um obstáculo que separa dois meios, uma onda eletromagnética altera o seu comportamento podendo ocorrer: Reflexão

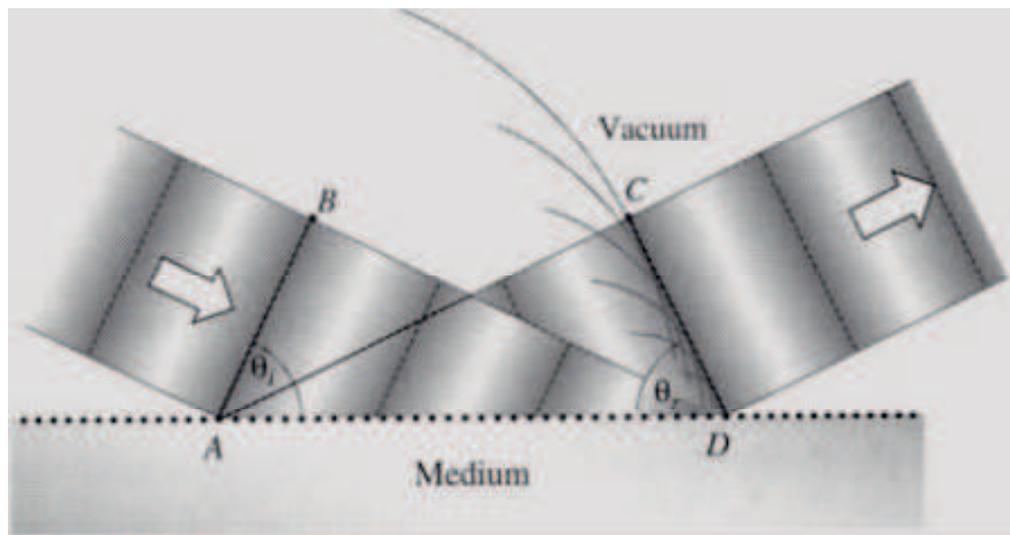
Figura 26: Reflexão das ondas 1



Fonte: http://www.mundodaradio.com/artigos/redes_de_emissores_em_sfn.html

Dependendo do tipo de obstáculo, uma onda pode refletir ao encontrá-lo. Um exemplo disso é a reflexão das ondas de baixas frequências na ionosfera. Transmissões dessas ondas de grandes dimensões permitem, por exemplo, comunicações a longa distância na terra, mesmo após a curvatura terrestre. Existem basicamente as reflexões terrestres e as ionosféricas.

Figura 27: Reflexão das ondas 2



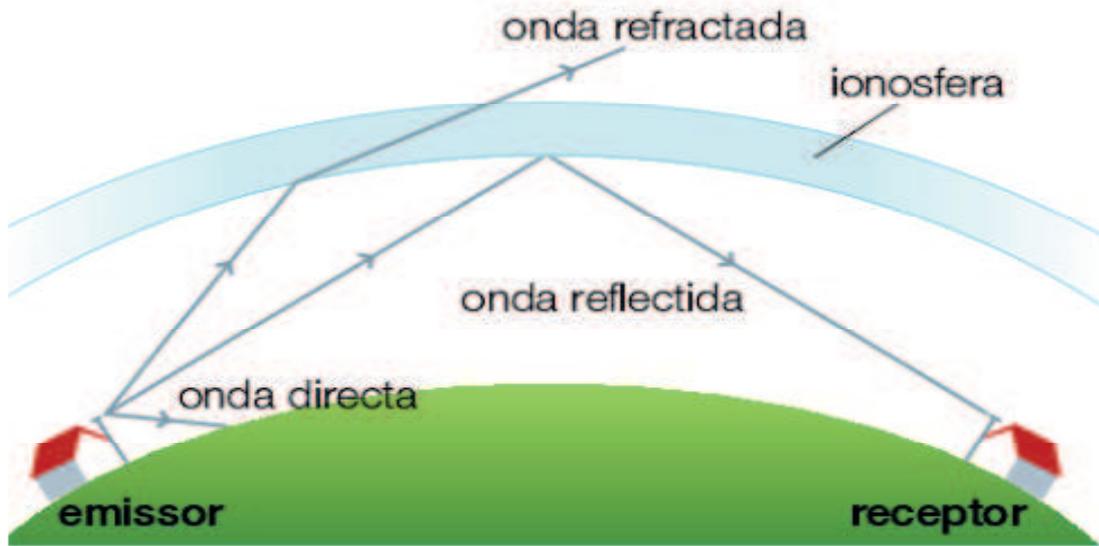
Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/3226063/>

Na figura acima, $\theta_i = \theta_r$, pois o ângulo de incidência da onda que propaga no vácuo é igual ao ângulo de reflexão da mesma após incidir sobre o meio material.

3.7. REFRAÇÃO

Quando uma onda eletromagnética que propaga em determinado meio consegue atravessar e propagar num segundo meio, sofrendo como consequência uma variação de velocidade, chamamos esse fenômeno de refração.

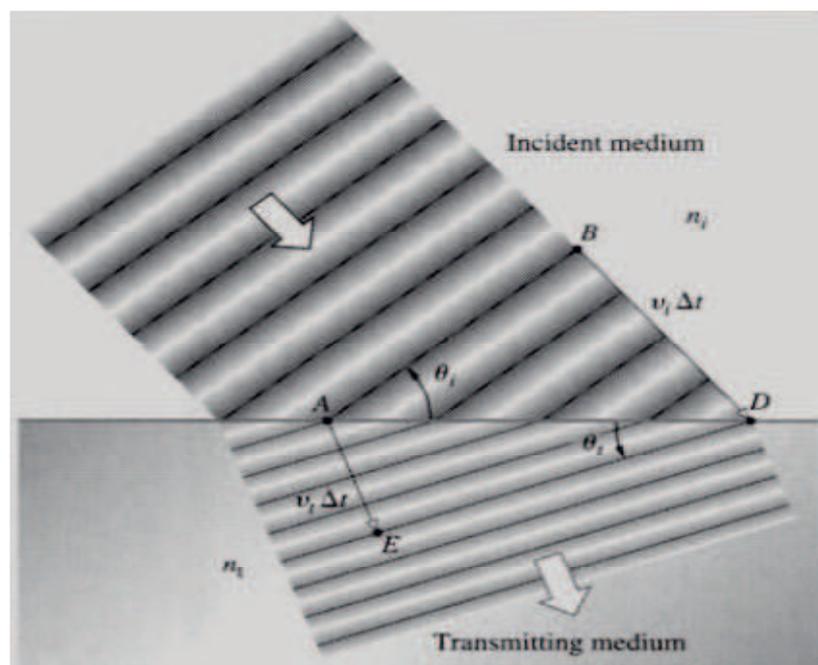
Figura 28: Refração e reflexão na ionosfera



Fonte: <http://docplayer.com.br/2793460-Comunicacao-da-informacao-a-longas-distancias.html>

Na figura acima observamos que uma parcela das ondas eletromagnéticas emitida atravessa a camada da ionosfera, que está entre 60 Km e 1000 Km de altitude, refratando. Isso ocorre com ondas de altas frequências.

Figura 29: Refração das ondas



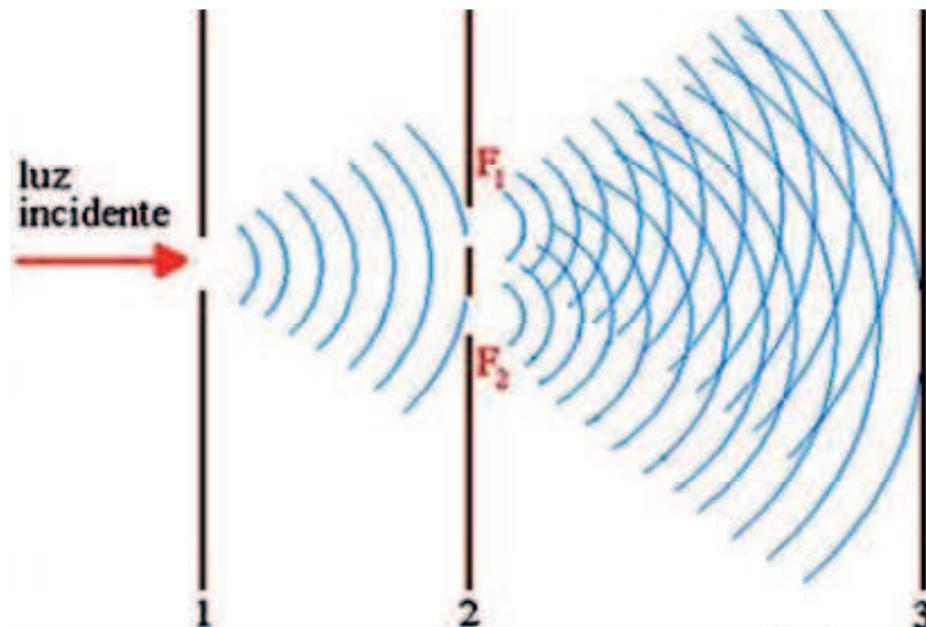
Fonte da figura: <http://slideplayer.com.br/slide/3226063/>

Na figura acima observamos que, ao refratar, a onda sofre um processo de mudança de velocidade. Então a velocidade da onda no meio onde ocorreu a incidência é diferente da velocidade dessa mesma onda ao propagar no segundo meio.

3.8. INTERFERÊNCIA

Ocorre quando uma onda eletromagnética se depara com determinado obstáculo de modo que uma parcela dessa onda consegue atravessar para o outro meio contornando esse obstáculo. Suas frentes pontuais de onda funcionam, como novas fontes de onda, assim como afirma o princípio de Huygens, embora possa refletir parte da energia que emitiu.

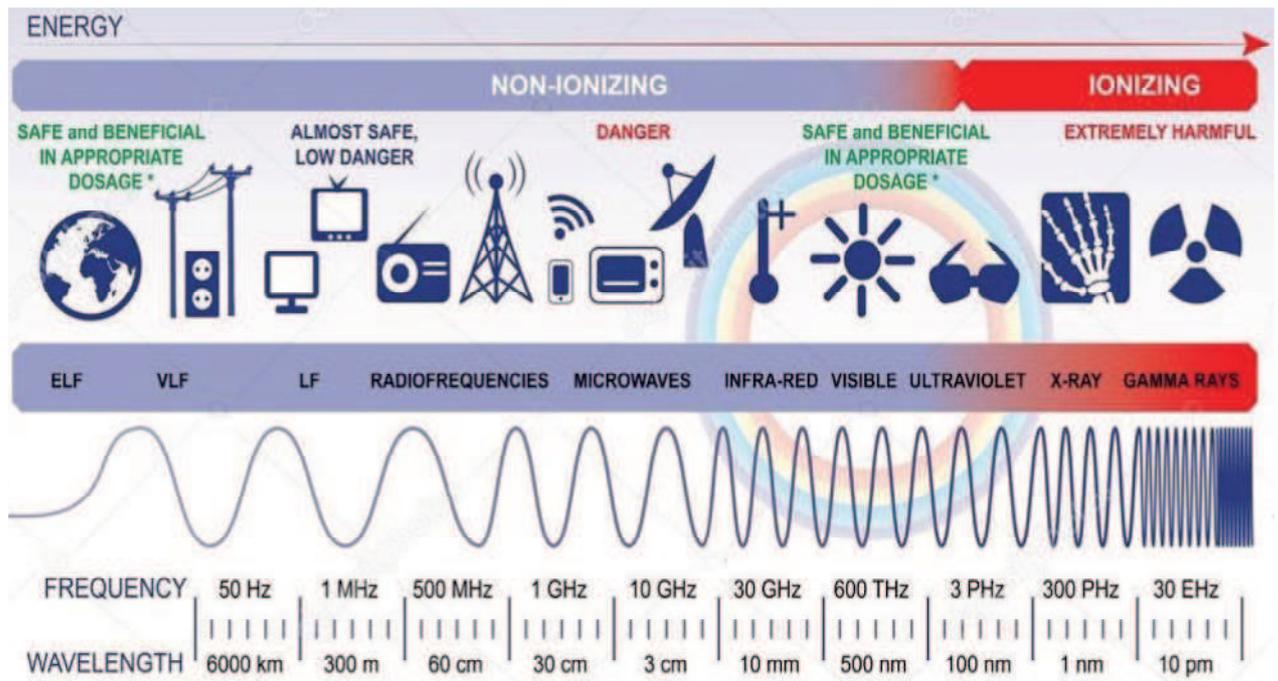
Figura 30: Interferência da Luz



Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/fisica/experimento-das-duas-fendas.htm>

3.9. ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Figura 31: Intervalo das ondas eletromagnéticas 1



Fonte: <https://se.depositphotos.com/129958274/stock-illustration-the-electromagnetic-spectrum.html>

O espectro eletromagnético corresponde ao intervalo de todas as frequências possíveis das ondas eletromagnéticas se estendendo desde as frequências extremamente baixas até os raios cósmicos. A figura acima apresenta um exemplo desse intervalo.

ELF (Extremely Low Frequency) significa frequência extremamente baixa. Esse tipo de frequência eletromagnética é geralmente produzido por perturbações no campo magnético da Terra ou em descargas de raios em períodos de tempestades. No campo prático essas ondas gigantes, cujos comprimentos estão num intervalo que vai de dez mil a cem mil quilômetros de tamanho não são usadas para irradiar mensagens de voz e conseguem atravessar meios como o solo e a água sem perdas de potência. Para determinadas profundidades na água, ondas de frequências mais elevadas são enfraquecidas uma vez que a água se comporta como elemento de blindagem, mas as frequências ELF conseguem vencer essa dificuldade. Por isso, em determinadas profundidades, navios submarinos podem se comunicar usando ondas em ELF. Em ELF se transmite dados binários e códigos

morse e como as frequências são muito baixas, é necessário que as antenas sejam enormes para irradiá-las.

VLF (Very Low Frequency) significa frequências ultrabaixas. Essas frequências também são usadas em comunicações de navios submarinos, mas em profundidades (cerca de uns 40 quilômetros) menores que aquelas nas quais são usadas as ondas ELF. Suas frequências situam-se entre 3000 Hz e 30.000 Hz e também são usadas em linhas de transmissão de correntes alternadas durante o fornecimento de energia. Essas baixas frequências também usam antenas muito grandes.

LF (Low Frequency) significa ondas de baixa frequência, também conhecidas como ondas longase, portanto, também são de grandes comprimentos de onda, porém, menores que os comprimentos das ondas ELF e VLF. Com frequências no intervalo de 30.000 Hz a 300.000 Hz, já são utilizadas em rádio difusão, informações meteorológicas, em balizamento aéreo, maior parte das comunicações marítimas, pesquisas meteorológicas em camadas da ionosfera, etc.

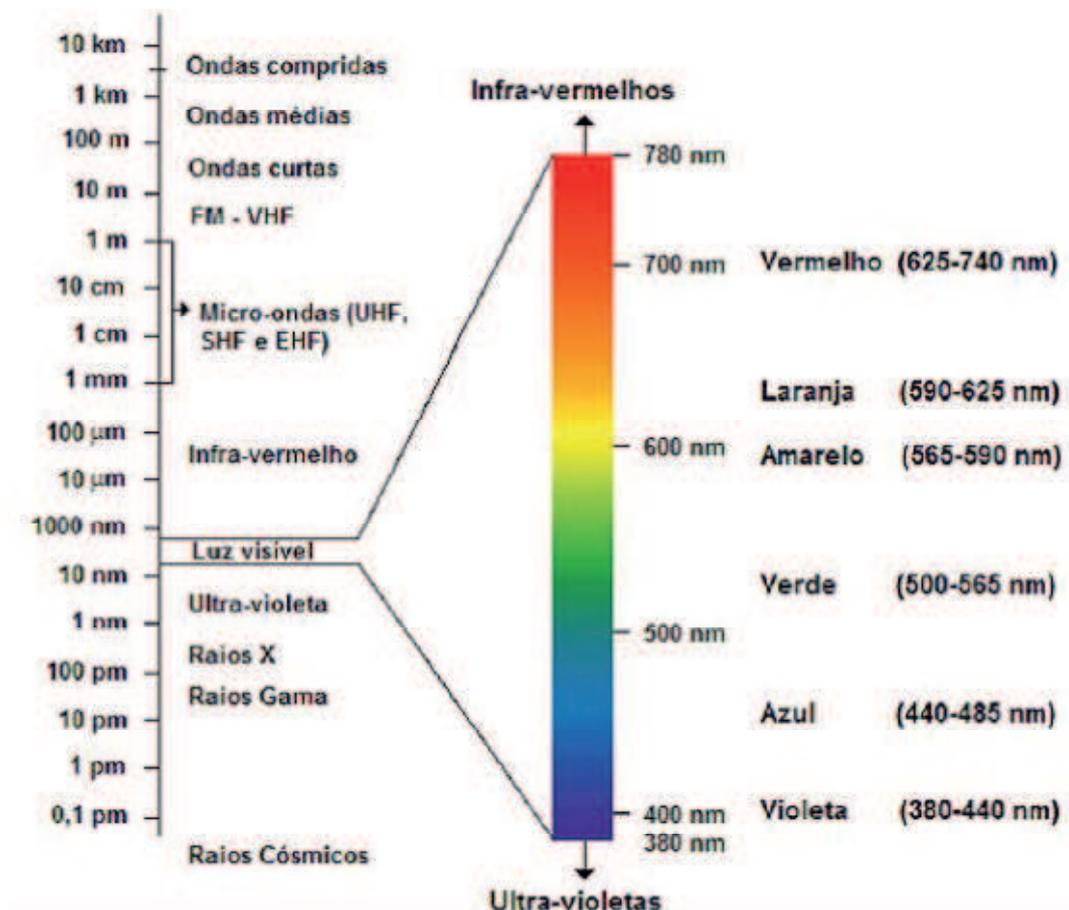
Radiofrequências (RF) são as conhecidas ondas de rádio. Podem ser transmitidas em AM (amplitude modulada), em FM (frequência modulada), VHF (Very High Frequency - Frequência muito elevada) e UHF (Ultra High Frequency - Frequência ultra elevada). O intervalo de frequência dessas ondas vai de 3 kHz até 300 GHz. As ondas de RF são usadas por emissoras de radiodifusão, radio comunicação tipo radioamadorismo e outros, em telefonia, nas transmissões de sinais de TV, em transmissões de satélite, entre tantas outras aplicabilidades.

Microondas (Microwaves) são ondas de pequenos comprimentos de onda cujo intervalo de frequência vai de 300 MHz até 300 GHz. Essas ondas são usadas nas transmissões de internet e TV a cabo, além de radares, fornos de micro-ondas, telefonia celular, etc. O intervalo das micro-ondas envolve as frequências de UHF (Ultra High Frequency ou frequência ultraelevada), SHF (Frequência super elevada) e EHF (Extremely High Frequency ou frequência extremamente elevada). Em UHF se realiza transmissões de walkie talkie (rádios transceptores de comunicação), wireless e bluetooth, canais de assinatura em HDTV, transmissões de TV analógica, entre outras. Transmissões em SHF são usadas em redes sem fio e satélites. EHF encontra-se no intervalo da radiação infravermelha.

Infravermelho corresponde a uma frequência de onda eletromagnética invisível aos nossos olhos, porém situada abaixo da cor vermelha da luz. Todos os corpos acima da temperatura de zero kelvin (zero absoluto) emitem ondas eletromagnéticas. Logo corpos aquecidos emitem infravermelho na forma de transmissão de energia térmica (calor). Esse tipo de radiação não é ionizante, ou seja, essas ondas não possuem energia suficiente para extrair elétrons das moléculas e dos átomos. Radiações ionizantes conseguem danificar o DNA das células e causando câncer. Serpentes conseguem identificar precisamente suas presas no escuro através do calor radiante em forma de infravermelho que essas presas emitem. Câmeras de infravermelho também podem capturar imagens de ambientes escuros.

Luz Visível corresponde à radiação eletromagnética compreendida entre a luz vermelha e a violeta, na sequência: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta.

Figura 32: Intervalo das ondas eletromagnéticas 2



Fonte da figura: http://ctborracha.com/?page_id=1646

Nossos olhos são sensibilizados por fótons de luz cujas frequências estão situadas nesse intervalo eletromagnético de cores. Nossa maior percepção ocorre nas cores centrais do espectro que são verde e amarela. A frequência das ondas eletromagnéticas refletidas pelos objetos determina a cor que observamos.

Radiação ultravioleta tem frequência acima da luz violeta e, portanto, acima da luz visível. Essa radiação é ionizante sendo, portanto perigosa para a saúde humana no caso de altas dosagens. Na estratosfera que fica entre 18 Km e 50 Km de altitude do solo terrestre, com temperaturas negativas entre -60°C e -80°C , encontramos a camada de ozônio que é responsável por filtrar a radiação ultravioleta emitida por uma de suas principais fontes, o Sol. A radiação ultravioleta pode ser dividida nas categorias:

UVA - Quando em alta dosagem atinge fortemente camadas mais profundas da pele, podendo causar manchas, câncer, bronzeamentos, queimaduras, etc. Exposições a parcelas elevadas de radiação UV também podem prejudicar os olhos. Porém, em pequena dosagem é útil e benéfica ao ser humano para a produção da vitamina D. A radiação UVA também é útil para apagar memórias eletrônicas, na emissão de luz negra, na identificação de cédulas falsas (dinheiro), etc.

UVB - Esse tipo de radiação alcança camadas superficiais da pele causando queimaduras. Porém, também pode causar envelhecimento de pele e câncer dependendo da intensidade da exposição da pele humana. A maior parte dessa radiação é bloqueada por filtros solares.

UVC - Parte da radiação ultravioleta que menos atinge a região da biosfera por ser em grande parte absorvida pelo oxigênio e ozônio na atmosfera. Entretanto, caso essa radiação ultrapassasse a ionosfera, causaria sérios danos aos seres humanos por ser altamente penetrante.

Raios X são radiações ionizantes com frequências que variam de $3 \times 10^{16}\text{Hz}$ a $3 \times 10^{19}\text{Hz}$. Exposições em altas dosagens aos raios X podem causar alterações no DNA, leucemia e morte de células. Quando esses raios são emitidos sobre o corpo humano, parte da emissão é absorvida pelo cálcio dos ossos e outra parte atravessa os tecidos moles resultando na imagem das radiografias. Raios X também são utilizados na análise peças industriais, na ionização de gases, etc.

Raios Gama são radiações ionizantes de enormes quantidades de energia que podem ser produzidas por fenômenos astrofísicos violentamente potentes como supernovas explodindo e regiões nucleares de galáxias em atividade, por elementos

radioativos, etc. Têm comprimentos de onda muito pequenos e frequências bastante elevadas, podendo penetrar profundamente a matéria sendo muito perigosa para os seres humanos. Camadas mais elevadas da atmosfera impedem que raios gama produzidos no espaço alcancem a superfície terrestre.

Radiações cósmicas são partículas com elevadíssima quantidade de energia, altamente penetrantes, que propagam no espaço sideral. São constituídos por ondas eletromagnéticas e partículas subatômicas. Em todo o tempo de existência do Sol não ocorre tanta emissão de energia quanto as explosões de raios cósmicos podem emitir em segundos no universo. A radiação cósmica é bloqueada nas camadas elevadas da atmosfera terrestre.

No capítulo que segue, vamos apresentar um relato de aplicação da UEPS. Tecendo também comentários sobre a inserção e eficiência do trabalho.

4. RELATÓRIO DA APLICAÇÃO EM SALA DE AULA

AUEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa) desenvolvida nessa dissertação foi construída a partir de pesquisas sobre metodologias didáticas com o objetivo de alcançar um bom rendimento de aprendizagem de uma turma de terceiro ano de uma escola pública com relação ao tema das ondas eletromagnéticas a nível de ensino médio. A essa unidade de ensino foi agregada uma atividade experimental no intuito de enriquecer as informações transmitidas nas aulas, mostrando através de um procedimento prático o princípio de funcionamento de diversas tecnologias que usam as ondas eletromagnéticas além de mostrar um pouco sobre como ocorreram fatos históricos na época em que essas ondas estavam sendo descobertas.

As ondas eletromagnéticas estão presentes em inúmeras tecnologias cotidianas e em diversos fenômenos naturais com os quais os discentes convivem. Mas vivenciar tais fenômenos não é sinônimo de aprender como eles acontecem de fato. Para que exista essa aprendizagem recorreremos às descrições de leis físicas com auxílio de processos didáticos. A UEPS corresponde a um método que contribui bastante para facilitar o alcance do objetivo final que é a melhor compreensão do discente sobre o tema, buscando tornar as aulas mais atraentes para o aluno, além de envolvê-lo de forma que possa associar os seus conhecimentos prévios às novas informações científicas buscando pelo despertar de suas aptidões na construção do conhecimento sobre as ondas eletromagnéticas.

A seguir, faremos uma descrição sobre como a UEPS foi desenvolvida no decurso das aulas sobre as ondas eletromagnéticas na turma do terceiro ano do ensino médio e os resultados obtidos com essa prática.

Tudo começou com a escolha do conteúdo por parte do professor considerando que se tratava de um momento oportuno para a abordagem do tema das ondas eletromagnéticas, uma vez que a turma já havia conhecido, a nível médio, noções da Física dos campos elétricos e dos campos magnéticos e suas relações com as correntes elétricas. O conteúdo das ondas eletromagnéticas proporciona que o discente compreenda as grandes relações entre esses importantes temas anteriores e perceba a vasta gama de aplicabilidades desse fenômeno. Outro ponto importante é que esses conteúdos antecedentes citados passam a ser lembrados de modo que os alunos se deparem com momentos de

rápidas revisões, reforçando em suas memórias um pouco mais do conteúdo que aprenderam anteriormente.

Objetivo:

Ensinar como se formam as ondas eletromagnéticas, como se propagam, quais os seus efeitos e possibilidades de uso em tecnologias bem como mostrar experimentalmente como é possível controlar um dispositivo à distância fazendo uso dessas ondas (sistema remoto) a um nível experimental bastante elementar no ensino médio.

Quantidade de aulas:

A aplicação da UEPS em 9 aulas (três semanas)

Público alvo:

Turma da terceira série do Ensino Médio da escola pública E.E.E.F e Médio, São Sebastião, da cidade de Campina Grande – Pb.

Período de realização: 23/08/2017 à 06/09/2017

Sequência (UEPS):

A turma foi dividida em equipes. Cada equipe de 3 a 5 discentes foi desafiada a encontrar suas respostas para alguns problemas e escrevê-las com base nos questionamentos que lhes foram entregues. A ideia foi verificar, segundo os conhecimentos prévios desses estudantes, se eles seriam capazes de descobrir sobre qual conhecimento as questões se referiam. Porém, o tema geral Ondas Eletromagnéticas ainda não havia sido comunicado à turma. Eles precisavam conectar as informações de uma e outra questão para chegarem a uma conclusão. As equipes tiveram um tempo para debate entre os seus integrantes para que pudessem associar os seus saberes anteriores, experiências de vida cotidiana, relações com tecnologias usuais, conhecimentos científicos até então adquiridos,

etc. O professor observava as mais diversas colocações dos participantes porém ainda não interferia nos argumentos dos alunos o que os faziam pensar um pouco mais. O lado "curioso" da turma veio à tona na busca de "desvendar" os significados através da troca de opiniões e tudo funcionou como uma espécie de "charada ou mistério" a ser descoberto. Nesse momento eles (os discentes) se envolveram bastante. Essa etapa durou praticamente uma aula, pois os grupos precisavam desenvolver seus raciocínios de modo que suas ideias pudessem fluir sem pressão e tempo restrito. As respostas que escreveram foram muitas e algumas delas não tinham conexão com o tema das ondas eletromagnéticas, porém vários alunos conseguiram perceber que a resposta era praticamente a mesma para todas as perguntas. Vejamos abaixo quais foram as questões lançadas para as equipes pelo professor:

Aula 1 - Sondagem de conhecimentos prévios (45 minutos)

Objetivo: Proporcionar um momento em que os discentes sejam desafiados em pensar e fazerem uso de conhecimentos prévios e trocas de ideias entre si de forma que possam encontrar respostas para situações problema relacionadas ao fenômeno das Ondas eletromagnéticas.

Ações desenvolvidas: Aplicação de um questionário proporcionado pelo professor de modo a envolver os discentes em reflexões, debates entre equipes e levantamento de soluções para as perguntas baseadas em conhecimentos prévios da turma. O questionário aplicado é o apresentado abaixo.

Caros alunos. Usando seus conhecimentos prévios, suas vivências do dia a dia e um pouco de criatividade, solucione as situações apresentadas a seguir de modo que possamos fazer posteriormente uma discussão em sala de aula:

QUEM SOU EU? ALGUMAS PARTES DE MIM TEM NOMES DIFERENTES.

1) Quando estou presente, você é capaz de enxergar tudo à sua volta. Quem sou eu?

2) A minha presença permite que você seja capaz de controlar algo à distância. Quem sou eu?

3) Posso proporcionar que você possa ouvir a voz de alguém muito distante ou que você envie sua voz para alguém que esteja muito longe. Quem sou eu?

4) Posso tornar possível que você veja algo que está além do seu alcance visual. Quem sou eu?

5) Posso atravessar parte do seu corpo para saber se você está doente. Quem sou eu?

6) Em diversos momentos do dia a dia posso trazer mensagens do céu. Quem sou eu?

7) Tenho a capacidade de informar sobre o passado em determinadas circunstâncias. Quem sou eu?

8) Para não lhe causar danos, você precisa ficar longe de uma parcela do que sou. Quem sou eu?

9) Estudiosos me procuram para saber informações sobre a origem do universo. Quem sou eu?

10) Posso auxiliar na cozinha da sua casa, preparando os seus alimentos. Quem sou eu?

11) Você pode enxergar apenas uma parte do que sou. Minhas outras partes não serão visíveis para você. Quem sou eu?

12) Posso tornar possível que você visualize tudo à sua volta em diferentes cores. Quem sou eu?

Obviamente que as respostas para cada situação acima são as mesmas: ondas eletromagnéticas em suas distintas frequências, luz visível, frequências de

rádio controle, transmissões de estações de TV, raios X, raios alfa, beta, gama, uso de micro-ondas, etc. O mais interessante é que a maior fonte da qual a maioria dos alunos presentes nos grupos recorriam para tirar suas conclusões eram suas experiências cotidianas. O professor sempre abordava que eles precisavam também pensar um pouco cientificamente além de suas experiências de vivências. Foi um momento bastante produtivo e que levou à turma em quase 100% a pensar, argumentar, questionar, lançar ideias, etc. Porém, todos se mostravam curiosos por descobrir se seus raciocínios estavam corretos e o que havia de semelhante entre todas as questões. As respostas esperadas eram as seguintes:

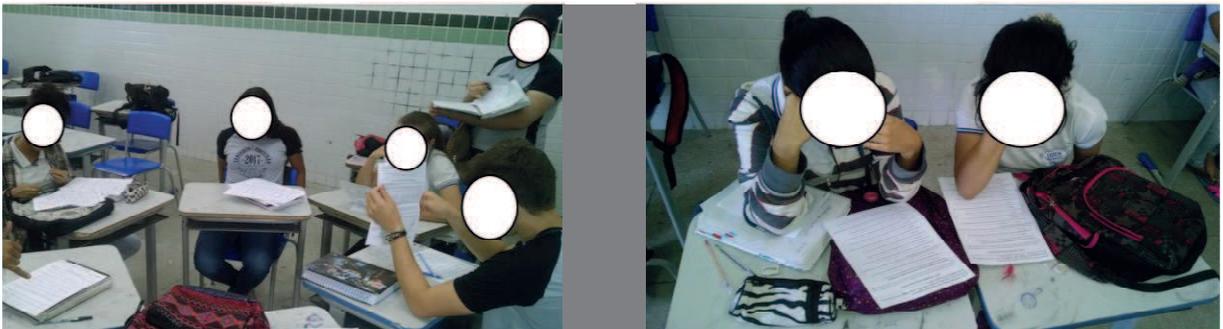
- 1) A luz;
- 2) Ondas de rádio;
- 3) Novamente ondas de rádio nas frequências de radiodifusão, telefonia celular, etc.;
- 4) Transmissões de emissoras de TV;
- 5) Raios X;
- 6) Transmissões emitidas por satélites;
- 7) Luz emitida por corpos celestes (devido à demora da luz para percorrer anos-luz),...
- 8) radiação;
- 9) Ondas eletromagnéticas percorrendo distâncias em anos-luz;
- 10) Calor radiante;
- 11) Espectro das ondas eletromagnéticas (luz visível e frequências acima e abaixo dessa faixa);
- 12) Luz visível (Intervalo que vai da cor vermelha até a violeta).

Figura 33: Situação problema - foto 1



Fonte: Autor (2017)

Figura 34: Situação problema - foto 2



Fonte: Autor (2017)

Figura 35: Situação problema - foto 3



Fonte: Autor (2017)

Figura 36: Situação problema - foto 4



Fonte: Autor (2017)

Figura 37: Pensando em equipe - 1



Fonte: Autor (2017)

Figura 38: Pensando em equipe - 2



Fonte: Autor (2017)

Embora as discussões tenham ocorrido em grupos, todos os alunos entregaram suas argumentações escritas individualmente já que também existiram algumas divergências de respostas dentro dos próprios grupos. Após todos terem entregado suas resoluções, na aula posterior, foi iniciado um debate sobre cada conclusão e o porquê das argumentações dos alunos, levando-os a pensar antes de ter em mãos as respostas finais. Aos poucos o professor foi ajudando à turma a chegar à conclusão desejada de modo que os próprios discentes fossem percebendo onde haviam acertado e onde haviam errado. Dessa forma, o tema foi finalmente apresentado à turma: Ondas eletromagnéticas. A partir de então, foi iniciado o momento de incluir as primeiras informações da Física com relação ao fenômeno.

Algumas das diversas resoluções obtidas na turma estão nas fotos seguintes.

Figura 39: Respostas - 1

Parte 1 - Sondagem (conhecimentos prévios)

Caros alunos. Usando seus conhecimentos prévios, sua vivência do dia a dia e um pouco de criatividade, solucione as situações apresentadas a seguir de modo que possamos fazer posteriormente uma simples e rápida discussão em sala de aula:

QUEM SOU EU? ALGUMAS DE MINHAS PARTES TEM NOMES DIFERENTES.

- 1) Quando estou presente, você é capaz de enxergar tudo à sua volta. Quem sou eu?
Resposta: A Luz
- 2) A minha presença permite que você seja capaz de controlar algo à distância. Quem sou eu?
Resposta: Controlador
- 3) Posso proporcionar que você possa ouvir a voz de alguém muito distante ou que você envie sua voz para alguém que esteja muito longe. Quem sou eu?
Resposta: Ondas sonoras
- 4) Posso tornar possível que você veja algo que está além do seu alcance visual. Quem sou eu?
Resposta: Miróscopo
- 5) Posso atravessar parte do seu corpo para saber se você está doente. Quem sou eu?
Resposta: Raios X
- 6) Em diversos momentos do dia a dia posso trazer mensagens do céu. Quem sou eu?
Resposta: Satélite
- 7) Tenho a capacidade de informar sobre o passado em determinadas circunstâncias. Quem sou eu?
Resposta: O Céu
- 8) Para não lhe causar danos, você precisa ficar longe de uma parcela do que sou. Quem sou eu?
Resposta: Rádios
- 9) Estudiosos me procuram para saber informações sobre a origem do universo. Quem sou eu?
Resposta: O universo
- 10) Posso auxiliar na cozinha da sua casa, preparando os seus alimentos. Quem sou eu?
Resposta: O Fogo
- 11) Você pode enxergar apenas uma parte do que sou. Minhas outras partes não serão visíveis para você. Quem sou eu?
Resposta: O tempo
- 12) Posso tornar possível que você visualize tudo à sua volta em diferentes cores. Quem sou eu?
Resposta: Luz Visível

Fonte: Autor (2017)

Figura 40: Respostas - 2

Parte 1 - Sondagem (conhecimentos prévios)

Caros alunos: Usando seus conhecimentos prévios, sua vivência do dia a dia e um pouco de criatividade, solucione as situações apresentadas a seguir de modo que possamos fazer posteriormente uma simples e rápida discussão em sala de aula.

QUEM SOU EU? ALGUMAS DE MINHAS PARTES TEM NOMES DIFERENTES.

- 1) Quando estou presente, você é capaz de enxergar tudo à sua volta. Quem sou eu?
Resposta: os olhos
- 2) A minha presença permite que você seja capaz de controlar algo à distância. Quem sou eu?
Resposta: controle remoto
- 3) Posso proporcionar que você possa ouvir a voz de alguém muito distante ou que você envie sua voz para alguém que esteja muito longe. Quem sou eu?
Resposta: telefone
- 4) Posso tornar possível que você veja algo que está além do seu alcance visual. Quem sou eu?
Resposta: microscópio
- 5) Posso atravessar parte do seu corpo para saber se você está doente. Quem sou eu?
Resposta: raio X
- 6) Em diversos momentos do dia a dia posso trazer mensagens do céu. Quem sou eu?
Resposta: meteorologia
- 7) Tenho a capacidade de informar sobre o passado em determinadas circunstâncias. Quem sou eu?
Resposta: lembranças
- 8) Para não lhe causar danos, você precisa ficar longe de uma parcela do que sou. Quem sou eu?
Resposta: proteção
- 9) Estudiosos me procuram para saber informações sobre a origem do universo. Quem sou eu?
Resposta: a ciência
- 10) Posso auxiliar na cozinha da sua casa, preparando os seus alimentos. Quem sou eu?
Resposta: fogão
- 11) Você pode enxergar apenas uma parte do que sou. Minhas outras partes não serão visíveis para você. Quem sou eu?
Resposta: corpo humano
- 12) Posso tornar possível que você visualize tudo à sua volta em diferentes cores. Quem sou eu?
Resposta: visão

Fonte: Autor (2017)

Aulas 2 e 3 - Debate com a turma (45 minutos cada aula)

Na presente aula foi realizada uma discussão com a turma sobre situações problema do cotidiano e conhecimentos prévios relacionados ao questionário anteriormente aplicado. Esse debate abordou opiniões entre alunos e professor, comparações de respostas dos discentes e as respostas fisicamente corretas.

Objetivo: Envolver a turma em reflexões e trocas de ideias incluindo argumentos por parte do professor para que os próprios alunos fossem capazes de reconhecer os reais significados das perguntas e respostas trabalhadas anteriormente, de modo que conseguissem perceber os poucos o que estava cientificamente correto e o que estava incorreto nas respostas que apresentaram.

Ações desenvolvidas: Debate e verificação dos resultados obtidos após aplicação do questionário.

No início da aula algumas das perguntas eram lidas pelo professor e alguns alunos explicavam o porquê de suas respostas. No entanto, haviam divergências entre os posicionamentos e opiniões de alguns discentes. Porém, o mais interessante foi a curiosidade da maioria em querer saber as respostas e o que havia em comum à todas elas ou qual o "mistério" ali presente, a exemplo das perguntas 7 (*Tenho a capacidade de informar sobre o passado em determinadas circunstâncias. Quem sou eu?*) e 9 (*Estudiosos me procuram para saber informações sobre a origem do universo. Quem sou eu?*). A curiosidade foi o elemento de ação que movimentou e despertou a atenção da turma. Abaixo são descritos alguns pontos do debate. Os nomes das pessoas foram preservados e representados por letras.

Aluno x: *Como é que podemos saber de um passado tão distante como, por exemplo, sobre a origem do universo. Não tinha ninguém lá para contar como foi. Como esse fenômeno físico pode nos trazer essa informação?*

Professor: Alguém da turma tem alguma ideia sobre isso? Vocês já fizeram alguma leitura em suas vidas a esse respeito? (argumentos dos diversos tipos foram apresentados pelos alunos e inclusive aspectos religiosos..., porém para não fugir do foco que mais tarde seria apresentado à turma como sendo o tema das ondas eletromagnéticas, o professor retoma a palavra na busca de direcionar o debate.) Resposta do professor: A origem do universo ainda é um "mistério". Existem teorias que se alicerçam em fatos científicos e possibilidades para responder essa pergunta. No entanto, a luz viaja no espaço a uma velocidade de aproximadamente trezentos milhões de metros por segundo e se um corpo celeste luminoso (uma estrela) se encontra a uma distância de, por exemplo, um ano-luz daqui, significa que a luz por ele emitida somente nos alcança um ano depois. Isso nos proporcionaria receber agora a informação de um evento que não existe mais, mas que existiu a um ano no passado. Teríamos então uma informação do passado. E a luz foi o fenômeno responsável por nos trazer tal informação.

Aluno y: *Que fenômeno é esse? Então todas as respostas do questionário são sobre a luz?*

Professor: Quero argumentos da turma. São perguntas interessantes e, portanto, quero argumentos interessantes... (alguns alunos falavam que não tinha como ser a mesma resposta para todas as perguntas e que poderia haver algum equívoco. Outros falavam que a religião não poderia está separada dessas coisas. Outros que acreditavam mais na ciência...). Resposta do professor: Vamos escolher algumas perguntas do questionário e analisá-las:

1) *Quando estou presente, você é capaz de enxergar tudo à sua volta. Quem sou eu?*

3) *Posso proporcionar que você possa ouvir a voz de alguém muito distante ou que você envie sua voz para alguém que esteja muito longe. Quem sou eu?*

Na primeira, parece fazer sentido que seja a luz, uma vez que precisamos dela para visualizar as coisas. Entretanto, na pergunta 3, há algo sobre o som. Som e luz são diferentes. O professor devolve questionamentos para a turma do tipo: O que vocês acham dessas perguntas? comentem um pouco sobre o que escreveram

(argumentos diversos surgem, alguns propícios...). Na busca de aproveitar o rendimento da aula e administrar o tempo, o professor retoma a palavra: As transmissões de TV conseguem levar aos receptores (aparelhos de TV) imagem e som. Existe um procedimento tecnológico chamado de modulação. Então uma onda constituída por campos elétricos e magnéticos que se propaga no espaço consegue levar essas informações de vídeo e áudio no espaço através dessas modulações que são modificações causadas nessas portadoras eletromagnéticas. Dessa forma o som emitido a uma longa distância consegue nos alcançar.

Aluno z: *Então as respostas do questionário não são as mesmas!*

Professor: São sim. Alguém percebe? Por exemplo, vou citar outra pergunta: 11) *Você pode enxergar apenas uma parte do que sou. Minhas outras partes não serão visíveis para você. Quem sou eu?*

Aluno z: *Não entendi. Enxergamos a luz, mas o que o som tem a ver com a luz? Som e luz não são as mesmas coisas!*

Professor: Isso está ficando interessante! Vejamos: A luz é a parte visível do que estamos falando. Mas existe a parte invisível aos nossos olhos. Vocês conseguem visualizar as ondas que transmitem os sinais de TV?

Aluno R: *Então as ondas de TV e a luz são a mesma coisa?*

Professor: Sim. Alguém quer comentar? Pensem um pouco (o professor algumas vezes fazia a leitura de respostas dadas pelos alunos sem citar os nomes para desenvolver algumas abordagens).

Aluno M: *E para cozinhar alimentos? o que tem a ver com TV, fogo e luz?*

Professor: Forno de micro-ondas. Usa ondas semelhantes àquelas da transmissão de TV.

Aluno M: *Então a luz é uma onda também?*

Nas etapas seguintes o professor realizou explicações respondendo as perguntas da turma na intenção que os próprios discentes fossem compreendendo pelos argumentos apresentados que todas as questões tinham conexões com ondas eletromagnéticas e então todas as perguntas do questionário foram resolvidas. Foi apresentado para a turma o tema **Ondas Eletromagnéticas** e os alunos receberam a primeira parte do material impresso pelo professor que deu início à introdução da abordagem da Física referente ao conteúdo.

Aulas 4 e 5

Tema: Parte I - Abordagem histórica

Parte II- Introdução à Física das Ondas Eletromagnéticas

Objetivos: (I) Abordar de forma bastante resumida como se deram os fatos e quem foram os principais personagens da Física responsáveis pela descoberta do fenômeno das Ondas Eletromagnéticas ao longo da história.

(II) Apresentar a Física das Ondas eletromagnéticas proporcionando que os discentes possam conhecer e compreender como esse fenômeno acontece na natureza e no campo das tecnologias.

Ações desenvolvidas: Apresentação de resumo histórico e introdução ao estudo das Ondas eletromagnéticas.

Envolvimentos de contextos históricos nas aulas de Física nem sempre é uma tarefa simples por vários fatores a exemplo do curto tempo para a abordagem de vários tópicos da disciplina que são alvos de vestibulares, entre outros motivos. Porém, a UEPS proporciona uma interação entre discentes além de propiciar momentos de pesquisas em instantes fora de sala de aula, auxiliando para que ocorram situações adequadas para um momento de inclusão de resumos históricos em curtos intervalos das aulas, na busca de interesses focados nos próprios discentes em suas efetivas participações. Outro ponto importante em nossa UEPS é a existência uma atividade experimental idealizada no intuito de ligar os tópicos desenvolvidos ao longo das aulas a fatos históricos. A atividade experimental demonstrativa proposta, envolve uma síntese de fatos ocorridos no passado em relação ao tema, tornando-se algo bastante apropriado, nos levando a refletir que a

abordagem de determinados temas pode ser melhorada quando conectada a situações ocorridas em tempos anteriores e também depende bastante da forma como apresentamos esses pontos ao longo das aulas e do nosso planejamento didático, embora tenhamos que considerar o tempo reduzido e a necessidade de apresentar para a turma no decurso do ano letivo tópicos destacados como "indispensáveis". Outra consideração essencial é que fatos históricos mostram a brilhante participação de um brasileiro que se destaca como um dos mais importantes ícones que tem contribuído para o desenvolvimento de tecnologias relacionadas ao campo de ação das ondas eletromagnéticas que foi o Padre Landell de Moura e, portanto, essas informações precisam ser claras perante a classe estudantil de ensino médio na disciplina de Física, já que na maioria das vezes estão ocultas aos olhos dos estudantes. O padre Landell de Moura foi, a cerca de aproximadamente dois anos antes de Marconi, quem desenvolveu a transmissão de voz por ondas eletromagnéticas (radio transmissão com voz modulada) no Brasil e é conhecido entre os radio amadores como o criador das radiocomunicações.

Ao longo das aulas, a parte histórica foi sendo abordada de forma que alguns alunos realizavam a leitura de pequenos trechos do material teórico que receberam e em seguida fazíamos comentários sobre esses contextos. Algo que alguns discentes da turma argumentavam era sobre como esses físicos foram capazes de descobrir tais coisas e comentávamos que isso era fruto de muitas contribuições sucessivas de estudiosos e dos esforços contínuos pela ciência que cada um deles desprendia. No entanto, nosso foco era centralizado em trabalhos dos físicos Maxwell, Hertz, Edouard Branly, Marconi e Landell de Moura. Sempre fazíamos os curtos comentários de modo que não fugíssemos do nosso objetivo principal que tinha o foco nas ondas eletromagnéticas. Esse estudo levou quase que totalmente uma aula de 45 minutos. Nos momentos finais da aula, seguimos para a parte II que se tratava da introdução à Física das ondas eletromagnéticas.

Na segunda parte, iniciamos o estudo de conceitos iniciais sobre o fenômeno das ondas eletromagnéticas. Os alunos acompanharam a aula através das descrições do professor a partir de um material teórico. Durante essa etapa de explicações eram proporcionados momentos em que alunos levantavam perguntas segundo suas idéias prévias relacionadas à noção de campos elétricos e magnéticos. Nessas aulas foram apresentados: conceito das ondas, cargas elétricas, explicações sobre como essas ondas se formam, suas propagações

independentes das fontes que as originaram e que a luz é uma onda eletromagnética. Também foi citado que a velocidade das ondas eletromagnéticas é a mesma da luz que vale $c = 299.792.458$ m/s ou aproximadamente $c = 300.000.000$ m/s. Ficou proposto que a turma realizasse, ao livre arbítrio, pesquisas sobre tecnologias que fazem uso das ondas eletromagnéticas para que pudéssemos ampliar posteriormente nossas discussões a respeito do tema nos momentos posteriores (próximas aulas) no propósito de ampliar o dinamismo e despertar curiosidades. Entre os pontos sugeridos para pesquisas citamos:

- Como os navios realizam radiotransmissões se em determinada profundidade do mar existe o bloqueio de grande parcela das ondas eletromagnéticas que eles emitem?
- Que tipo de fenômeno na natureza poderia produzir enormes ondas eletromagnéticas?
- Como é possível uma serpente enxergar uma presa viva no escuro?
- Qual a utilidade do protetor solar quando alguém vai à praia? O que isso tem a ver com ondas eletromagnéticas?
- Nossos corpos emitem ondas eletromagnéticas? como isso pode ser explicado?

Aulas 6 e 7

Tema: A Física das Ondas Eletromagnéticas

Objetivos: Concluir a abordagem da parte teórica sobre as ondas eletromagnéticas a nível de ensino médio, de modo a proporcionar aos discentes um conhecimento fundamentado em bases científicas e situações cotidianas.

Ações desenvolvidas: Finalização da abordagem do tema das ondas eletromagnéticas

Na continuidade, a base teórica sobre as ondas eletromagnéticas foi complementada com a inclusão do espectro eletromagnético, comprimento de onda, cristas e vales, frequências, período, conceitos básicos de modulações e aplicações das diversas faixas de frequência, estendendo-se desde as comunicações marítimas que usam antenas gigantes até a radiação gama que desprende enormes

quantidades de energia. Nessa parte também ocorreram vários comentários na turma principalmente por comparações entre as informações da primeira atividade desenvolvida em sala (questionário geral que tinha como alvo relacionar os conhecimentos prévios da turma) com as novas informações físicas sobre o assunto. O conteúdo das ondas eletromagnéticas é um tema que envolve uma vasta quantidade de aplicações tecnológicas e também está presente em muitas situações na natureza por isso nos proporciona uma grande diversidade de opções de exemplos sobre situações curiosas, o que facilita o trabalho do professor no que se refere a conquistar a atratividade do aluno no intuito de prender sua atenção nas aulas.

A abordagem dos conteúdos apresentados nessas duas aulas já respondia as perguntas propostas como pesquisas no final da aula anterior de modo que alguns alunos já afirmavam previamente que encontraram tais informações ao buscar respostas em suas pesquisas na internet. Alguns alunos que não realizaram essas pesquisas também se envolveram nas argumentações e isso contou como ponto positivo para o grande grupo. Ao final foram apresentados pelo professor os conceitos físicos da reflexão, polarização, refração e difração das ondas. A polarização foi um dos pontos mais explorados já que se trata de um fenômeno bastante útil em tecnologias que usam a visão tridimensional a exemplo dos cinemas em 3D que podem fazer uso de óculos polaroides.

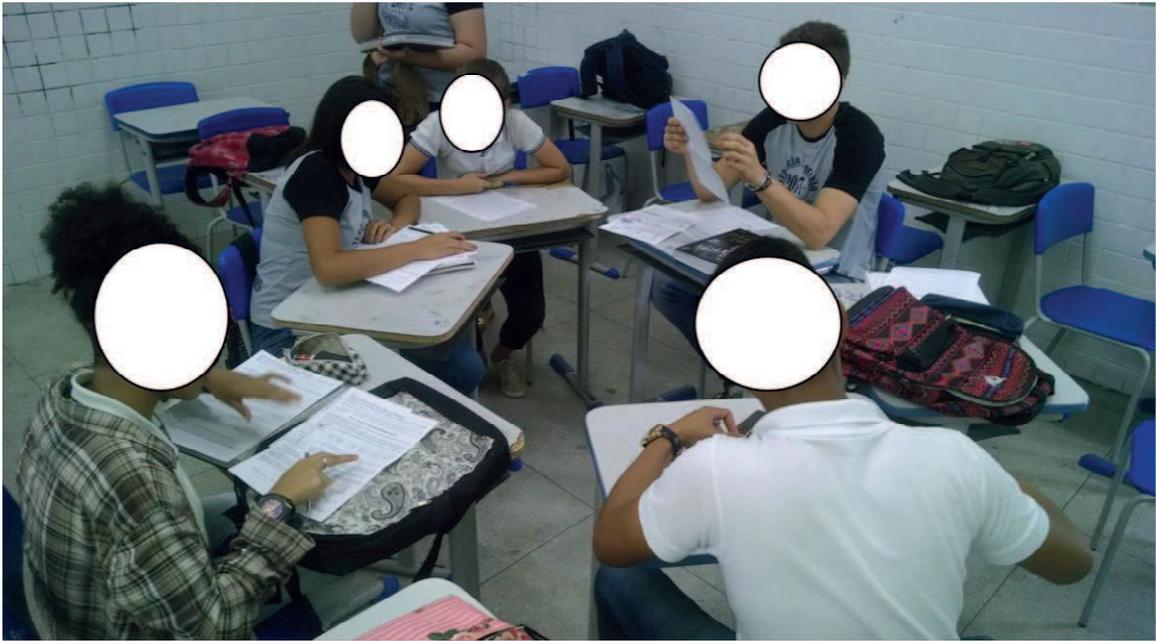
As fotos seguintes mostram momentos de interações entre equipes de discentes em momentos de discussões e estudo sobre o tema das Ondas Eletromagnéticas.

Figura 41: Equipe - foto 1



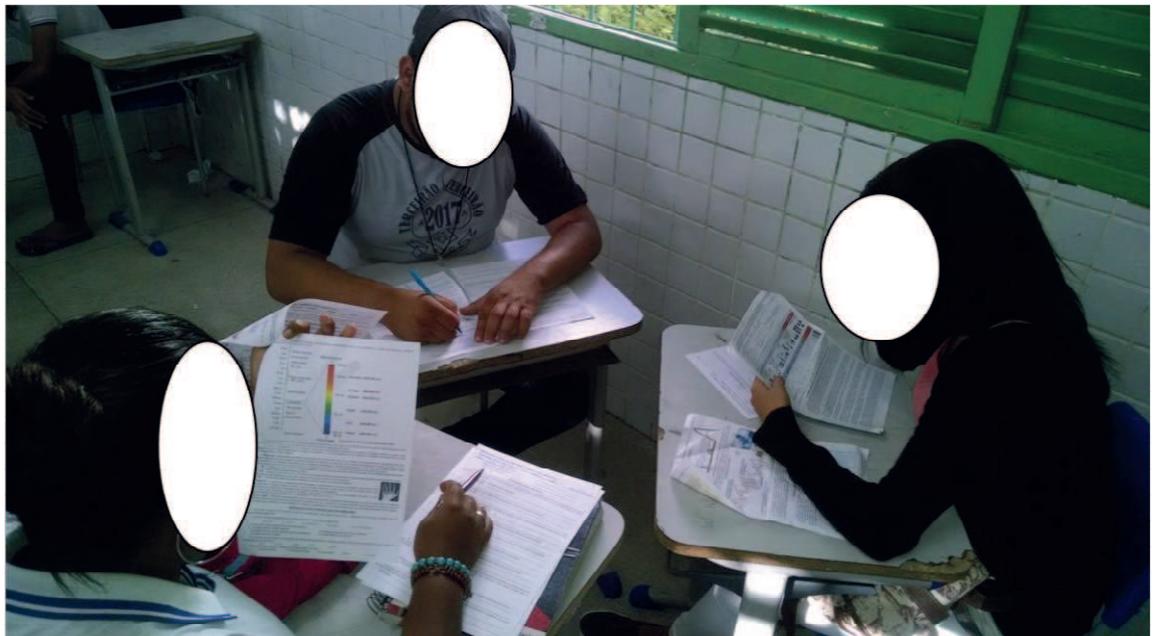
Fonte: Autor (2017)

Figura 42: Equipe - foto 2



Fonte: Autor (2017)

Figura 43: Equipe - foto 3



Fonte: Autor (2017)

Figura 44: Equipe - foto 4



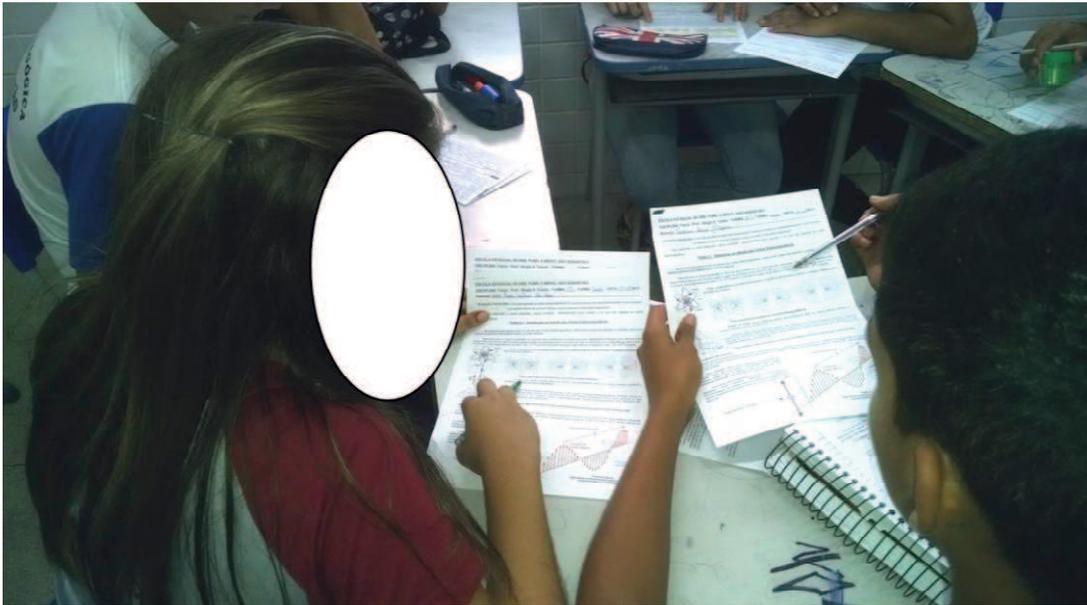
Fonte: Autor (2017)

Figura 45: Equipe - foto 5



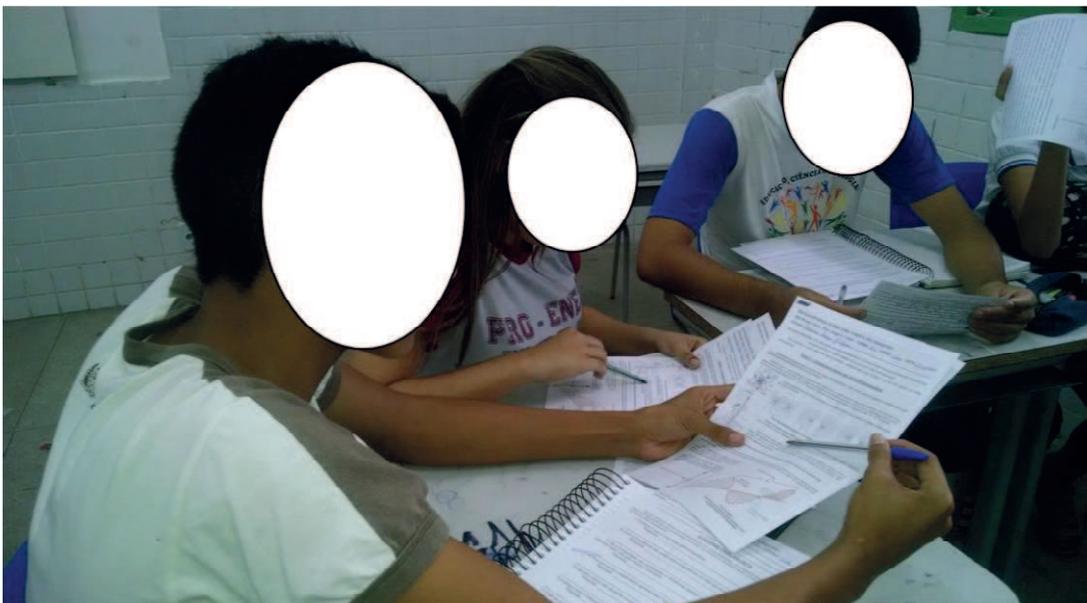
Fonte: Autor (2017)

Figura 46: Equipe - foto 6



Fonte: Autor (2017)

Figura 47: Equipe - foto 7



Fonte: Autor (2017)

Aulas 8 e 9

Tema: Parte experimental e avaliação final

Objetivos:

* Apresentar o experimento de Hertz incluindo o coesor desenvolvido por Edouard Branly. O resultado final esperado é que a turma possa relacionar as informações adquiridas com o processo histórico e com as atuais tecnologias que fazem uso das ondas eletromagnéticas.

* Realizar uma verificação através de um questionário individual para constatar se a maioria dos participantes das aulas conseguiu compreender basicamente o conteúdo das ondas eletromagnéticas.

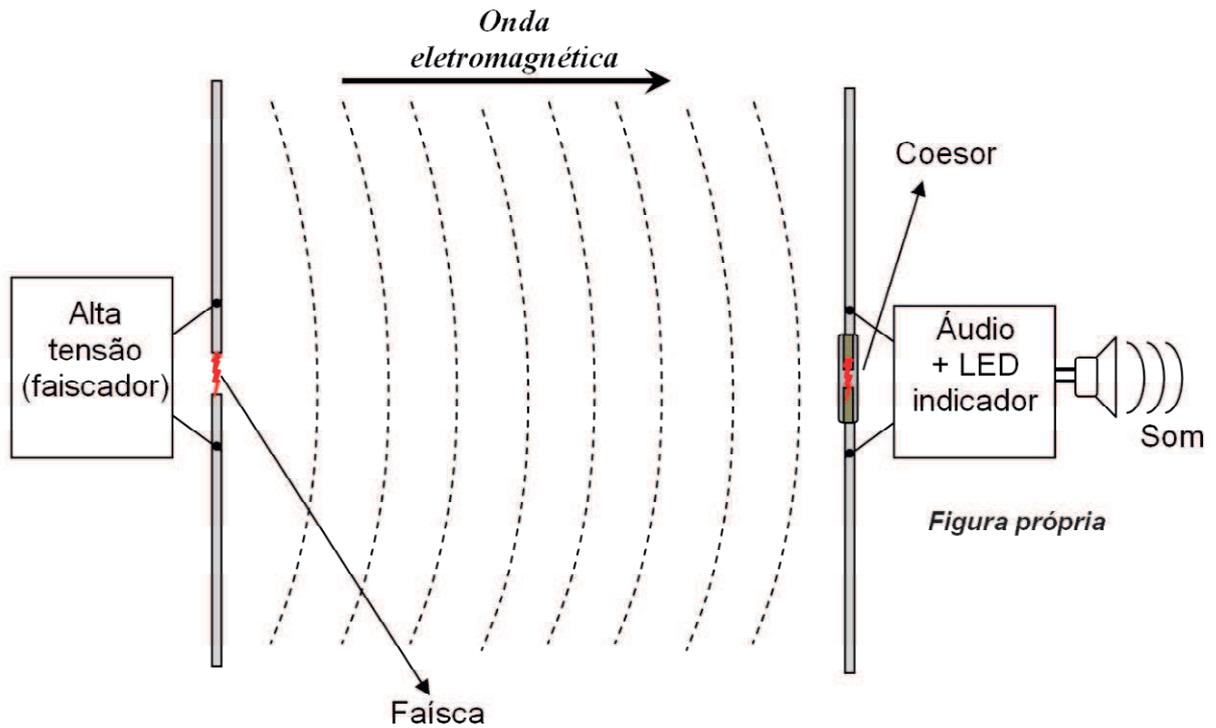
Ações desenvolvidas: Momento da abordagem experimental e verificação avaliativa individual

A diferença entre o experimento original de Hertz e o experimento apresentado na turma ocorreu basicamente devido à inclusão do coesor desenvolvido pelo físico e médico francês Edouard Désiré Branly, o que permitiu acionar à distância um dispositivo luminoso (LED) via pulso eletromagnético e também um sinal de áudio (apito fino) de forma que a verificação da transmissão do pulso eletromagnético fosse evidenciada. Nessa condição, tornou-se possível perceber que a onda eletromagnética entre outras finalidades, podem ser usadas para acionamentos remotos de circuitos e dispositivos.

Um pequeno raio proporcionado por uma descarga de alta tensão de aproximadamente mais de cinco mil volts tornou possível a existência de um pulso eletromagnético emitido por uma antena dipolo e captado por uma antena receptora de mesma natureza conectada ao coesor, fechando o caminho da corrente na parte receptora. Toda a explicação sobre a construção do experimento, seu funcionamento e relação histórica com os trabalhos de Maxwell, Hertz, Branly, Marconi e o padre Landell de Moura foi comentado de forma sintetizada, além da relação com os conteúdos transmitidos. Notavelmente a turma encarou como um momento bastante interessante, principalmente porque experimentos geralmente

funcionam como um excelente convite ao conhecimento. Vejamos abaixo um esquema da etapa experimental:

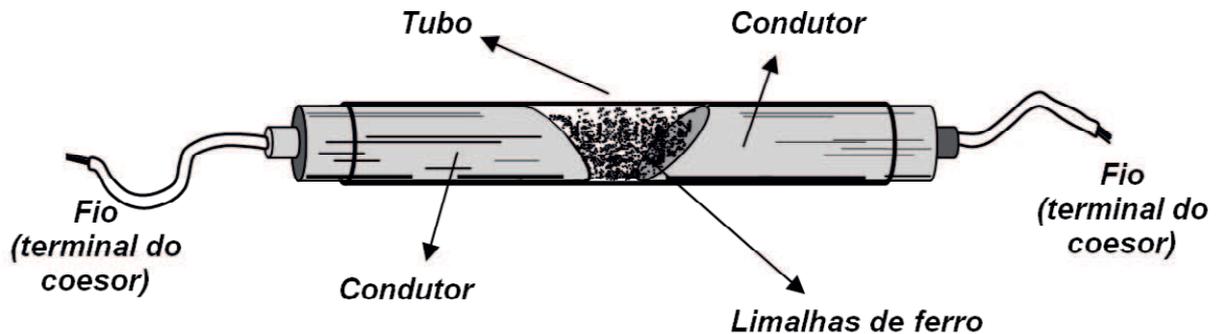
Figura 48: Esquema do experimento



Fonte: Autor (2017)

A funcionalidade do experimento se dá pelo fato de que o coesor seja constituído por limalhas de ferro colocadas no interior de um pequeno tubo cilíndrico entre as pontas de dois condutores. Essa limalha de ferro apresenta uma resistência elétrica elevada com relação à condutividade proporcionada entre os terminais dos condutores em contato. Quando a antena dipolo receptora captura um pulso de ondas eletromagnéticas, um campo elétrico de relativa intensidade invade o coesor agindo como se as partículas das limalhas fossem soldadas entre si, realizando um melhor contato elétrico entre as mesmas, fazendo cair subitamente o valor da resistência elétrica, permitindo a passagem da corrente fechando o circuito.

Figura 49: Dispositivo coesor



Fonte: Autor (2017)

Na aula nove, a turma recebeu um questionário que reuniu perguntas gerais sobre tudo o que aconteceu no decurso das aulas. A aplicação desse questionário foi inicialmente individual e cada aluno respondeu essas perguntas segundo suas próprias compreensões e posteriormente entregaram ao professor. O tempo dessa aplicação durou menos que uma aula de 45 minutos. Os minutos finais foram envolvidos com a resolução generalizada do exercício por parte do professor quando a turma concluiu a atividade.

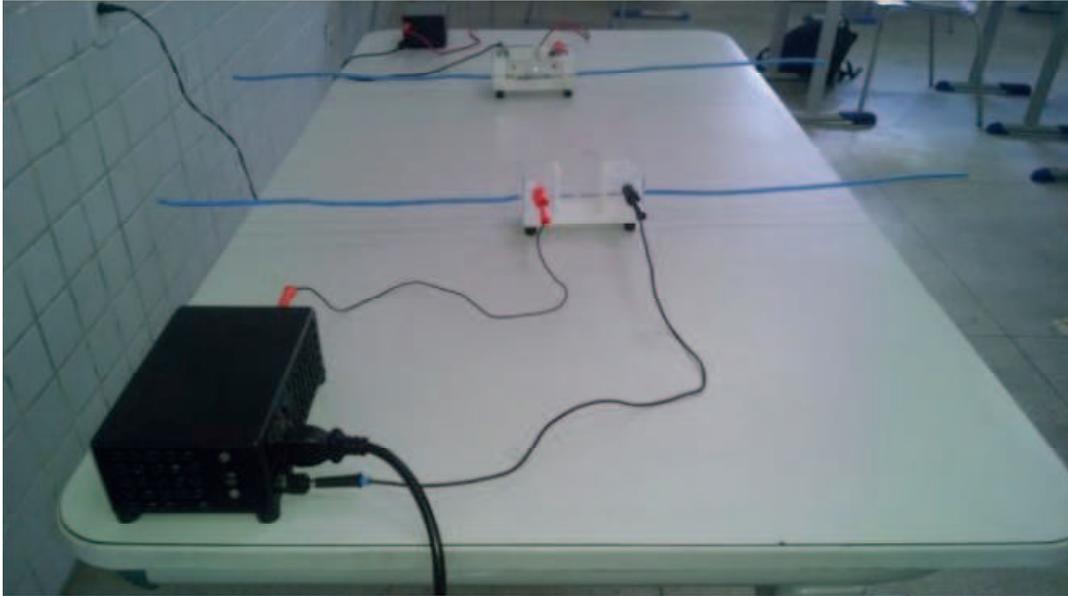
Para realizar uma verificação geral do rendimento da turma durante as aulas do tema das ondas eletromagnéticas, ao final de cada etapa, uma pontuação fixa era atribuída à turma em geral para valorizar as participações de forma a levar em consideração os envolvimento dos grupos e os esforços despendidos por eles. Porém, tornava-se necessário verificar o rendimento individual, tendo sido esse o objetivo desse trabalho final.

Figura 50: Experimento - foto 1



Fonte: Autor (2017)

Figura 51: Experimento - foto 2



Fonte: Autor (2017)

Figura 52: Experimento - foto 3



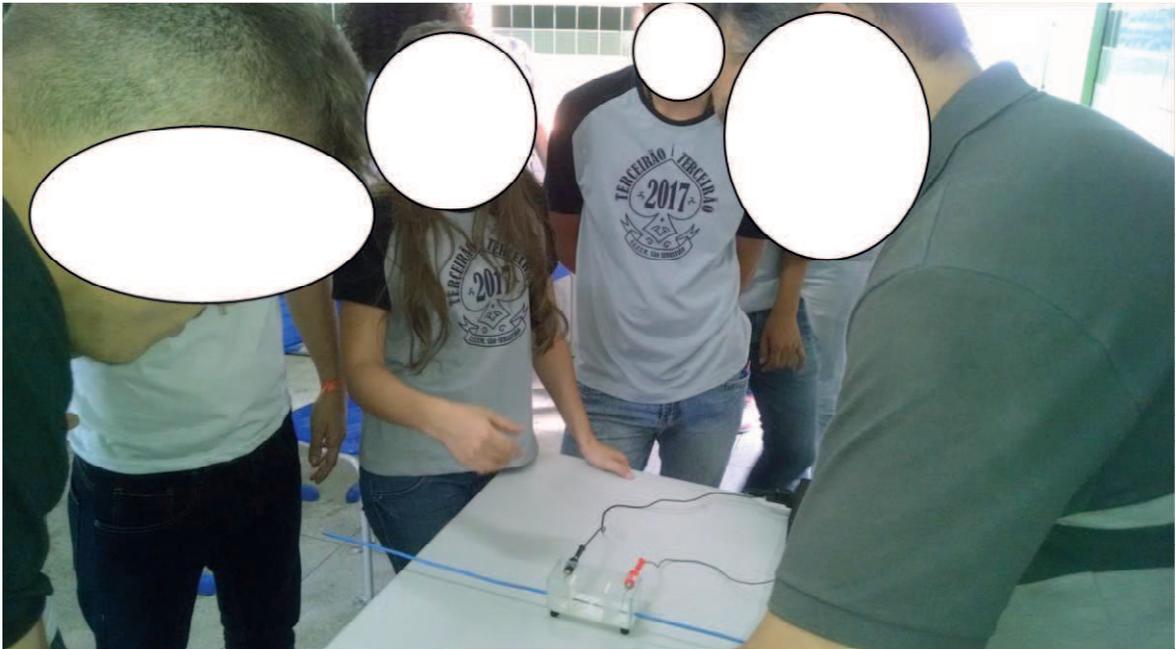
Fonte: Autor (2017)

Figura 53: Demonstração do experimento – 1



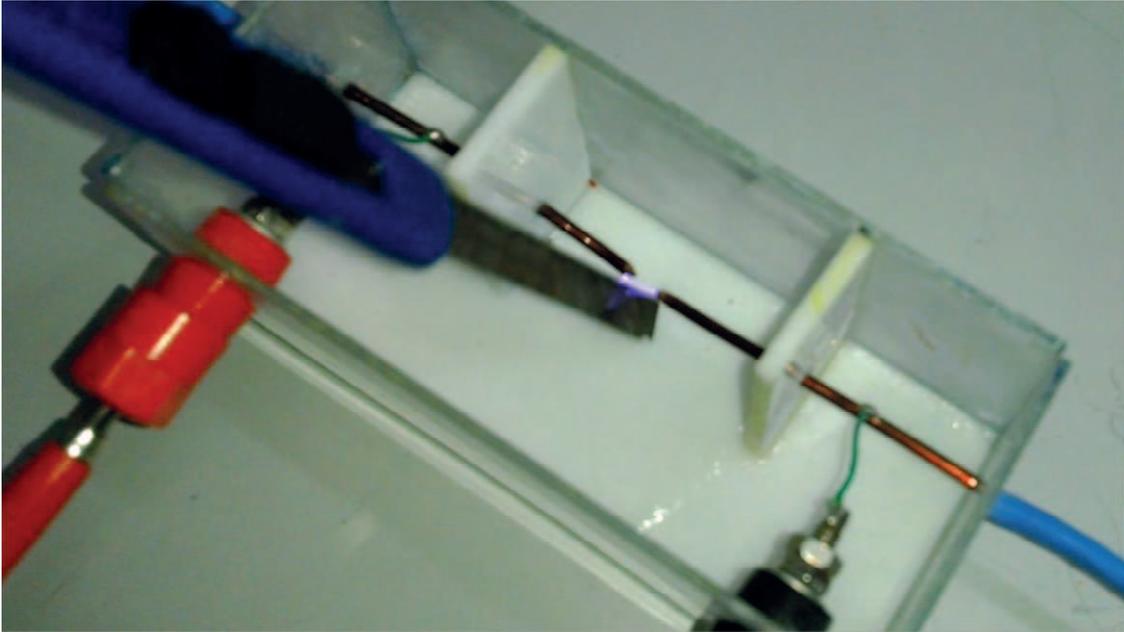
Fonte: Autor (2017)

Figura 54: Demonstração do experimento - 2



Fonte: Autor (2017)

Figura 55: Demonstração do experimento - 3



Fonte: Autor (2017)

Figura 56: Demonstração do experimento - 4



Fonte: Autor (2017)

Avaliação individual

A avaliação final consistiu de algumas questões individuais relacionadas às informações teóricas, no intuito de verificar um pouco do quanto o discente compreendeu sobre as informações transmitidas ao longo das aulas. Também envolveu argumentos desses alunos sobre o que lhes agradou e o que lhes faltou com relação às abordagens e a atividade experimental desenvolvida. Segue abaixo as questões trabalhadas nesse momento avaliativo.

Caro aluno (a). Fazendo uso dos conhecimentos obtidos durante as nove aulas sobre ondas eletromagnéticas, solucione os problemas seguintes.

- 1) Explique o que é uma onda eletromagnética.
- 2) Qual a importância das ondas eletromagnéticas na vida dos seres humanos?
- 3) Se a humanidade não conhecesse a existência dessas ondas, quais equipamentos tecnológicos não existiriam hoje? Cite pelo menos 3 exemplos.
- 4) Para que serviu o experimento apresentado? Explique um pouco sobre o seu funcionamento.
- 5) Cite pelo menos três situações na sua vida nas quais estão presentes as ondas eletromagnéticas.
- 6) Explique como é possível enviar informações através das ondas eletromagnéticas.
- 7) Quais os problemas que uma radiação ultravioleta pode causar para a saúde humana?
- 8) Usando $v = \lambda \cdot f$, analise com seu grupo e apresente o cálculo resposta para saber o comprimento de uma onda transmitida na frequência $f = 150$ MHz

(150.000.000 Hz), sabendo que essas ondas têm a velocidade (da luz) que vale aproximadamente $v = 300.000.000$ m/s.

9) Com base nos materiais que você recebeu e na observação do experimento, comente um pouco do que você aprendeu.

10) Qual a relação das ondas eletromagnéticas com cargas elétricas?

11) A luz do Sol chega até a terra instantaneamente no mesmo momento em que é emitida por essa estrela? Explique sua resposta.

12) Uma onda eletromagnética pode propagar:

- a) apenas em meios materiais;
- b) apenas no vácuo;
- c) no vácuo e nos meios materiais, pois uma onda eletromagnética é longitudinal;
- d) no vácuo e nos meios materiais, pois uma onda eletromagnética é transversal;

Figura 57: Avaliação individual - 1



Figura 58: Avaliação individual - 2



Fonte: Autor (2017)

5. CONCLUSÃO

A presente UEPS foi colocada em prática no intuito de melhorar o rendimento de uma turma com relação ao desenvolvimento do conteúdo das ondas eletromagnéticas, buscando conduzir o aluno da melhor forma na construção do conhecimento. Pudemos verificar que a UEPS é um procedimento eficiente entre as práticas didáticas e de fato tem contribuído de forma significativa com a melhoria do rendimento na transmissão das informações durante as aulas de Física e também na integração entre alunos e o professor, essencialmente na participação dos discentes de uma forma mais efetiva quando comparada à aulas anteriores de outros conteúdos no decurso do ano letivo. A resposta da turma tem sido favorável. Mas outro ponto de fundamental importância é que a UEPS aplicada foi bastante eficiente ao ser somada com a prática experimental por ser um tipo de atividade que geralmente proporciona um despertar da atenção dos alunos.

A UEPS como sendo um modelo de ensino diferente das práticas comuns tradicionais, proporcionou momentos de maior envolvimento da turma e contribuiu com a ampliação do conhecimento de todo o grupo. A parte experimental naturalmente foi um momento de constatação das informações abordadas agregando todo o trabalho desenvolvido arrancando da turma aplausos nos instantes finais.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, P. C. C. *A Metodologia de J. C. Maxwell e o Desenvolvimento da Teoria Eletromagnética*. In: **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, 5 – número especial, 1988. p. 58.

AXT, R; MOREIRA, M. A. **O papel da experimentação no ensino de Ciências**. Sagra, 1991.

BARBOSA, J. O. **Investigação do papel da experimentação na construção de conceitos em eletricidade no ensino médio**, 1999. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165609.pdf>>. Acesso em: 5 de Dezembro de 2017.

CAMPBELL, L.; GARNETT, W. *The Life of James Clerk Maxwell: With Selections from His Correspondence and Occasional Writings*. 2ª ed. Harvard: Macmillan and Company, 1884. 421 p.

CARLOS, J. G; JÚNIOR, F. N. M; AZEVEDO, H. L; SANTOS, T. P; TANCREDO, B. N. **Análise de artigos sobre atividades experimentais de física nas atas do encontro nacional de pesquisa em educação em ciências**, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienepec/pdfs/1052.pdf>>. Acesso em: 14 de Novembro de 2017.

CATELLI, F.; GIOVANNINI, O.; OLIVEIRA, S. F. **Espectrômetro amador: quantificando comprimentos de onda**, 2017. IN: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/2175-7941.2017v34n3p951/35424>>. Acesso em: 12 de Dezembro de 2017.

GRIFFITHS, D. J. **Eletrodinâmica**, São Paulo, 3 ed. Pearson Addison Wesley, 2011.

GUSBERTI, G. F. **Modulação AM e Demodulador de Envelope**, 2014. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/3150421-Modulacao-am-e-demodulador-de-envelope.html>>. Acesso em: 10 de Novembro de 2017.

KLÖCKNER, L; CACHAFEIRO, M. S. **Por que o Pe. Roberto Landell de Moura foi inovador?**, 2012. Disponível em: <<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/Ebooks/Web/978-85-397-0226-8/pages/v2.pdf>>. Acesso em: 11 de Outubro de 2017.

MOREIRA, M. A. **Pesquisa em ensino: Aspectos metodológicos**, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios10.pdf>>. Acesso em: 10 de Março de 2017.

MOREIRA, M. A; MASINI, E.F.S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro Editora. 2º ed. p.111, 1982.

NOTAROS, B. M. **Eletromagnetismo**. Pearson Education do Brasil, São Paulo 2012.

JUNIOR, F. R; FERRARO, N. G; SOARES, P. A. T. **Os Fundamentos da Física. Moderna**, São Paulo, 10 ed, 2009.

SANTOS. C. A. A. **Landell de Moura ou Marconi, quem é o pioneiro?**, 2003. Disponível em: <http://www.intercom.org.br/papers/nacionais/2003/www/pdf/2003_NP06_santos.pdf>. Acesso em: 15 de Abril de 2017.

SÉRÉ. M. G; COELHO. S. M; NUNES. ANTÓNIO. D. N. **O papel da experimentação no ensino da Física**, 2002. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165649.pdf>>. Acesso em: 22 de Fevereiro de 2017.

**PRODUTO EDUCACIONAL: CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA PARA O EXPERIMENTO DE HERTZ**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
CURSO: MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL
EM ENSINO DE FÍSICA (MNPEF / SBF)**



SÉRGIO SOARES DE TOLEDO

**PRODUTO EDUCACIONAL:
CONSTRUÇÃO DE UMA UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE
SIGNIFICATIVA PARA O EXPERIMENTO DE HERTZ**

Campina Grande

2018

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: James Clerk Maxwell	99
Figura 2: Heinrich Rudolph Hertz.....	100
Figura 3: Experimento original de Hertz.....	101
Figura 4: Edouard Branly	102
Figura 5: Coesor	103
Figura 6: Marconi.....	103
Figura 7: Landell de Moura	104
Figura 8: átomo	107
Figura 9: Campo elétrico da carga positiva.....	108
Figura 10: Campo elétrico da carga negativa.....	108
Figura 11: Linhas de campo elétrico entre cargas de sinais contrários	109
Figura 12: Campo magnético da corrente.....	109
Figura 13: Onda eletromagnética.....	111
Figura 14: Espectro eletromagnético	112
Figura 15: Intervalo das ondas eletromagnéticas.....	114
Figura 16: Radiografia	116
Figura 17: Modulações em AM e em FM	118
Figura 18: Elementos de uma onda eletromagnética	119
Figura 19: Reflexões das ondas	121
Figura 20: Ondas emitidas e refletidas.....	121
Figura 21: Frentes de onda.....	121
Figura 22: Ondas incidentes e refletidas.....	122
Figura 23: Polarização da onda	122
Figura 24: Polarização da luz. Cinema 3D.....	123
Figura 25: Filtro de polarização.....	123
Figura 26: Reflexão e Refração das ondas eletromagnéticas	124
Figura 27: Refração das ondas.....	124
Figura 28: Interferência das ondas	125
Figura 29: Esquema do experimento	126
Figura 30: Experimento de Hertz modificado com a inclusão do coesor	127
Figura 31: Coesor	128

Figura 32: Diagrama esquemático para acionamento do LED	129
---	-----

SUMÁRIO

1. Introdução	11
2. Referencial Teórico	15
2.1. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)	15
2.2. Resumo histórico sobre as Ondas Eletromagnéticas e seus principais personagens	17
2.3. Etapa Experimental	25
3. Conceitos Fundamentais sobre Ondas Eletromagnéticas	28
3.1. Natureza da Matéria - Carga Elétrica	28
3.2. Campo Elétrico e Lei de Gauss	29
3.3. Corrente Elétrica e Campo Magnético	34
3.4. As Ondas Eletromagnéticas	39
3.5. Polarização das Ondas Eletromagnéticas	45
3.6. Reflexão, refração e difração DE Ondas Eletromagnéticas	47
3.7. Refração	48
3.8. Interferência.....	50
3.9. Espectro eletromagnético	51
4. Relatório da aplicação em sala de aula	56
5. Conclusão	85
Referências.....	86
Produto Educacional: Construção de uma Unidade de ENSINO POTENCIALMENTE Significativa para o Experimento de Hertz.....	88
89	
Lista de Ilustrações	90
Nota ao Professor	93
Proposta (Produto educacional)	95
1. Sondagem de conhecimentos prévios	95
2. Marcos históricos sobre as ondas eletromagnéticas e seus principais personagens	98
2.1. Exercício para fixação das informações.....	105
3. Introdução ao estudo das Ondas Eletromagnéticas.....	107

3.1. O átomo.....	107
3.2. O campo elétrico	108
3.3. O campo magnético.....	109
3.4. A onda eletromagnética	110
3.5. O espectro eletromagnético.....	111
3.5.1. Extremely Low Frequency	112
3.5.2. Very Low Frequency.....	112
3.5.3. Low Frequency	113
3.5.4. Radiofrequências.....	113
3.5.5. Microondas.....	113
3.5.6. Infravermelho.....	113
3.5.7. Luz Visível	114
3.5.8. Radiação Ultravioleta.....	115
3.5.9. Raios X.....	115
3.5.10. Raios Gama.....	116
3.6. Exercício para fixação das informações.....	116
3.7. Modulações	117
3.8. Elementos da Onda Eletromagnética	119
3.9. Fenômenos eletromagnéticos.....	120
3.9.1. Reflexão das ondas	120
3.9.2. Polarização das ondas	122
3.9.3. Refração das ondas.....	124
3.9.4. Interferências das Ondas.....	125
4. A abordagem experimental proposta	126
4.1. Atividade de avaliação individual	129
Referências.....	132

NOTA AO PROFESSOR

Caro professor, a tarefa de ensinar Física sempre traz à tona desafios que os docentes precisam enfrentar, pois são muitos os alunos presentes nas turmas, e dentro dessa diversidade existem aqueles que encaram a disciplina como sendo difícil de aprender. Alguns desses discentes não conseguem perceber a estreita relação entre a Física e tecnologias com as quais eles mesmos convivem cotidianamente e nem mesmo a relação dessa disciplina com determinados fenômenos da própria natureza. Muitas vezes é necessário que o professor busque meios que possam aproximar o aluno dos conhecimentos da disciplina de modo que a percepção da importância de aprender possa nascer do próprio aluno. Na busca de contribuir com idéias facilitadoras que possam ser usadas para amenizar ou mesmo sanar, em algumas situações, tais tipos de problemas, construímos uma UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa) envolvendo o tema das Ondas Eletromagnéticas. A UEPS é um método de ensino que tem como ponto de partida os conhecimentos prévios do próprio aluno, valorizando seu entorno cotidiano e suas percepções pessoais como itens fundamentais no processo de ensinar e aprender, na busca de encontrar no próprio discente os motivos reais que justifiquem o porquê de aprender Física, no nosso caso relacionado ao tema das Ondas eletromagnéticas. Agregamos a essa UEPS uma parte histórica resumida no intuito de fazer uma conexão entre as descobertas dessas ondas e os avanços tecnológicos atuais para que o aluno perceba que muitos dos recursos tecnológicos dos quais dispomos na atualidade se tornaram possíveis devido aos grandes esforços de pessoas que tomaram para si a tarefa e a missão de compreender e descobrir o que está por trás de tantos fenômenos que antes eram desconhecidos pela humanidade, assim como surgiram os campos elétricos e magnéticos e suas relações. Adiante fizemos a inclusão de uma etapa experimental demonstrativa com o objetivo de atrair ainda mais a curiosidade dos discentes para que observem na prática como realmente é possível produzir pulsos eletromagnéticos que se propagam no espaço enviando mensagens de comando à distância, acionando um dispositivo receptor. Na verdade, fizemos uso do experimento de Hertz, porém um pouco diferente de sua originalidade, uma vez que adicionamos um dispositivo

criado por um físico da época e que pode ser usado para detectar a presença das ondas eletromagnéticas emitidas. Apresentamos aqui uma idéia seqüencial de procedimentos para aplicação da UEPS, assim como afirmamos que tais procedimentos foram testados em sala de aula antes de serem descritos aqui, destacando que os frutos de tal prática foram proveitosos na busca de favorecer uma ampliação do número de alunos que mostraram os seus interesses pelo tema e que também contribuíram com suas participações com relação a questionamentos, trocas de idéias, resoluções de problemas originados e em situações problema propostos. Enfim, esperamos que as sugestões presentes sejam para você algo funcional, útil e significativo, vindo a contribuir para o sucesso de suas práticas didáticas do dia a dia nos momentos de sala de aula.

PROPOSTA (PRODUTO EDUCACIONAL)

Serão apresentadas sugestões de trabalho para sala de aula e os materiais utilizados durante a aplicação e desenvolvimento da nossa UEPS. Evidentemente o professor tem opção de realizar modificações segundo sua idealização de trabalho, aplicando outros métodos que não sejam necessariamente os mesmos passos que seguimos. Porém, o intuito é que os alunos sejam colocados em circunstâncias desafiadoras, inseridos em situações problema, de modo que possam trazer à tona os seus conhecimentos prévios sobre o tema, de modo que o professor possa fazer uso dessas informações como ferramentas importantes na intenção de apresentar para os discentes as explicações físicas do conteúdo sempre levando em consideração que o aluno é o foco principal do qual deve nascer o interesse pela aprendizagem.

1. SONDAGEM DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS

A presente etapa visa proporcionar um momento em que os discentes sejam desafiados a pensar e fazerem uso de conhecimentos prévios e trocas de ideias entre si de forma que possam encontrar respostas para circunstâncias desafiadoras relacionadas ao fenômeno das Ondas eletromagnéticas. Em nossa UEPS fizemos uso da aplicação de um questionário proporcionado pelo professor, conforme o exemplo seguinte, de modo a envolver os discentes em reflexões, debate entre equipes e levantamento de soluções para as perguntas baseadas em conhecimentos prévios da turma. O ideal é que esse tipo de atividade seja praticado em grupo.

Mensagem: *Caros alunos. Usando seus conhecimentos prévios, sua vivência do dia a dia e um pouco de criatividade, solucione as situações apresentadas a seguir de modo que possamos fazer posteriormente uma simples e rápida discussão em sala de aula.*

QUEM SOU EU? ALGUMAS DE MINHAS PARTES TÊM NOMES DIFERENTES.

- 1) Quando estou presente, você é capaz de enxergar tudo à sua volta. Quem sou eu?
- 2) A minha presença permite que você seja capaz de controlar algo à distância. Quem sou eu?
- 3) Posso proporcionar que você possa ouvir a voz de alguém muito distante ou que você envie sua voz para alguém que esteja muito longe. Quem sou eu?
- 4) Posso tornar possível que você veja algo que está além do seu alcance visual. Quem sou eu?
- 5) Posso atravessar parte do seu corpo para saber se você está doente. Quem sou eu?
- 6) Em diversos momentos do dia a dia posso trazer mensagens do céu. Quem sou eu?
- 7) Tenho a capacidade de informar sobre o passado em determinadas circunstâncias. Quem sou eu?
- 8) Para não lhe causar danos, você precisa ficar longe de uma parcela do que sou. Quem sou eu?
- 9) Estudiosos me procuram para saber informações sobre a origem do universo. Quem sou eu?
- 10) Posso auxiliar na cozinha da sua casa, preparando os seus alimentos. Quem sou eu?

11) Você pode enxergar apenas uma parte do que sou. Minhas outras partes não serão visíveis para você. Quem sou eu?

12) Posso tornar possível que você visualize tudo à sua volta em diferentes cores. Quem sou eu?

Ao final da presente atividade, sugerimos uma ação de trocas de ideias entre alunos e professor para que existam descobertas, reflexões e correções científicas relacionadas às ideias prévias dos discentes sobre o tema das ondas eletromagnéticas. Essa é uma etapa preparatória para que sejam inseridas posteriormente as informações fisicamente corretas a serem abordadas pelo professor (**organizadores prévios**). Em nossa UEPS, somente apresentamos o tema principal para a turma (Ondas Eletromagnéticas) após a tentativa dos discentes de descobrirem qual o fenômeno que estava sendo relacionado com os questionamentos a eles proporcionados. A descoberta do tipo de fenômeno, baseada em conhecimentos prévios da turma era um item intencional.

Uma vez que a turma passou a conhecer o tema geral, um ponto interessante é propor a eles desafios iniciais, ou seja, envolvê-los em novas situações para que busquem soluções.

SITUAÇÃO PROBLEMA: Como são geradas as ondas eletromagnéticas? É possível produzi-las experimentalmente? Como funciona um sistema remoto de controle? Nossos corpos produzem ondas eletromagnéticas?

Adiante, em nossa proposta, inserimos nessa etapa o conhecimento da Física das Ondas eletromagnéticas, iniciando pelo resumo histórico, uma vez que em nossa UEPS todas as partes estão bastante conectadas uma a outra, ou seja, o resumo histórico traz suporte para a etapa final experimental e a parte da Física ligada ao contexto histórico e ao experimento fundamenta todo o significado tecnológico dessas ondas nos dias atuais. Apresentamos a seguir o material resumo utilizado.

2. MARCOS HISTÓRICOS SOBRE AS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS E SEUS PRINCIPAIS PERSONAGENS

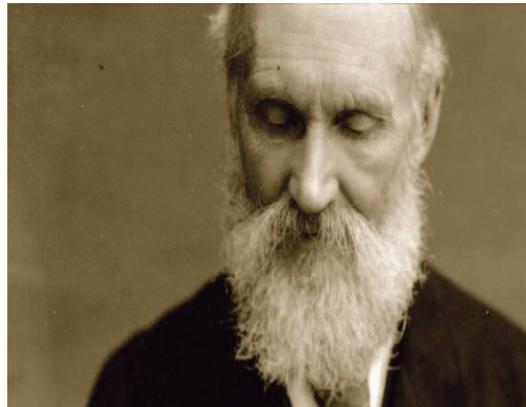
Nos dias atuais, muitas das tecnologias que fazem uso das ondas eletromagnéticas, tais como as transmissões de informações via Wifi, Bluetooth, controles remotos, transmissões de TV, satélites, entre inúmeras outras, assim como os atuais conhecimentos sobre fenômenos naturais eletromagnéticos como o calor radiante do Sol, a emissão de infravermelho através do calor emitido por nossos corpos, a relação entre os fenômenos térmicos, luminosos e eletromagnéticos,...., existem por causa dos esforços de estudiosos do passado, cujas contribuições não podem ser esquecidas.

James Clerk Maxwell foi um físico escocês nascido em 13 de junho de 1831, Já com seus 16 anos de idade, em 1847, ingressou em seus estudos em filosofia natural, matemática e lógica na Universidade de Edimburgo, tendo se formado em 1854 como matemático. Maxwell deduziu que a luz é uma onda eletromagnética apresentando uma natureza transversal semelhante aos fenômenos elétricos e magnéticos, além de proporcionar grandes contribuições para a Física sobre daltonismo e percepção da cor, física mecânica estatística, óptica geométrica, gases e termodinâmica, anéis de Saturno, engenharia, eletromagnetismo, entre outras.

Em 1854, Maxwell (Figura 1) principiou seus estudos sobre o Eletromagnetismo, publicando livros e vários artigos sobre o tema. Atualmente, o eletromagnetismo, baseado no elétron e inexistência do éter, avançou incomparavelmente em relação às idéias de Maxwell. O éter é fluido imaginário que não tem matéria. Físicos do passado acreditavam que as ondas eletromagnéticas se propagavam por causa desse fluido, o que hoje sabemos que não é um fato verdadeiro.

As contribuições de Maxwell sobre a relação entre magnetismo, a luz e a eletricidade, resultaram na soma de conhecimentos necessários para que fosse possível a construção de um equipamento capaz de transmitir e captar ondas eletromagnéticas (transmissão de rádio). Maxwell previu a existência dessas ondas, porém, posteriormente Hertz confirmou essa veracidade experimentalmente.

Figura 59: James Clerk Maxwell



Fonte: <http://thescienceofreality.tumblr.com/post/25028950712/happy-birthday-james-clerk-maxwell-13-june-1831>

Maxwell agrupou um conjunto de equações que são: Lei de Gauss para a eletricidade; Lei de Gauss para o magnetismo; Lei de Faraday e Lei de Ampère de onde é possível mostrar a unificação entre eletricidade e magnetismo (eletromagnetismo). Anteriormente esses contextos eram estudados separadamente. Maxwell também mostrou que a luz e todas as ondas eletromagnéticas apresentam a mesma velocidade de propagação (velocidade da luz = 299 792 458 m/s, no vácuo). Segundo Maxwell, campos magnéticos variáveis produzem campos elétricos variáveis e campos elétricos variáveis produzem campos magnéticos variáveis. Tendo vivido por 48 anos, Maxwell teve sua morte ocasionada por um câncer de estômago em 5 de novembro de 1879.

Entre os anos de 1886 e 1889, o físico alemão Heinrich Rudolph Hertz constatou experimentalmente a hipótese de Maxwell. Hertz gerou, emitiu e detectou ondas eletromagnéticas que se propagavam na velocidade da luz e que também apresentavam polarização, reflexão e difração.

Heinrich Rudolf Hertz (Figura 2) nasceu na Alemanha no dia 22 de fevereiro de 1857, na cidade de Hamburgo. Estudante de engenharia tinha grande aptidão para a pesquisa, o que o direcionou, em 1878, para a Universidade de Berlim no intuito de estudar Física e se formou em 1880. Hertz sempre foi interessado em construir aparatos mecânicos necessários aos trabalhos que desenvolvia e iniciou os estudos da eletrodinâmica de Maxwell em 1883 na universidade de Kiev, de onde era professor. Em 1894, Hertz falece por influência de bactéria depois de ter sido

operado de um tumor na orelha no ano anterior. Não chegou a completar 37 anos de idade.

Figura 60: Heinrich Rudolph Hertz



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz#/media/File:HEINRICH_HERTZ.JPG

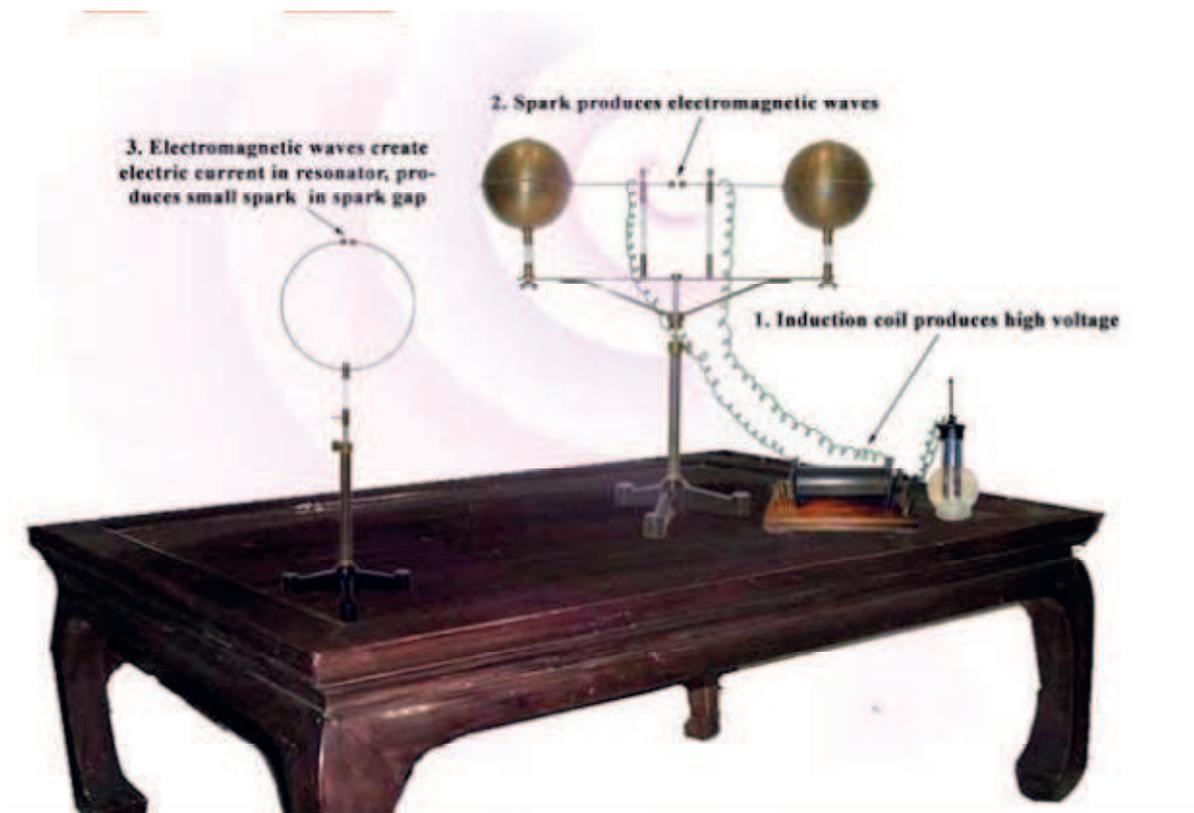
O experimento de Hertz, quando produziu e capturou ondas eletromagnéticas, era constituído por um oscilador de altas tensões (fiscador) conectado a uma antena com esferas capacitivas nos extremos. Nessa antena, havia uma interrupção central com pequenas esferas bem próximas entre si onde acontecia a faísca proporcionada pelo oscilador. O receptor era constituído por um aro com duas esferas nas extremidades separadas por uma distância mínima.

Ao emitir uma faísca entre os extremos próximos dos fios da antena transmissora, Hertz verificava que a faísca aparecia entre as esferas do aro receptor, constatando então que houve a transmissão eletromagnética. A Figura 3 mostra a montagem do experimento.

Conforme já era esperado por Maxwell, na continuidade dos seus experimentos, Hertz também verificou que essas ondas eletromagnéticas, conhecidas também por ondas hertzianas, apresentavam comportamentos semelhantes à luz, a exemplo da velocidade de propagação, reflexão das ondas em superfícies de metal, refração, polarização, etc. Em função do sucesso e grande repercussão de suas experiências, Hertz influenciou potencialmente os avanços posteriores no estudo das ondas eletromagnéticas. Porém, as faíscas produzidas

entre as esferas do anel receptor não são tão fáceis de visualizar com considerável nitidez. A partir dos experimentos de Hertz, muitos estudiosos ficaram fascinados e tentaram aperfeiçoar o experimento.

Figura 61: Experimento original de Hertz



Fonte: http://rodela06970.blogspot.com.br/2012/02/rodela06970-informa_22.html

O físico e médico francês Edouard Branly Désiré (Figura 4), nascido em 1844 no dia 23 de outubro numa cidade do norte da França conhecida como Amiens, criou em 1890 um dispositivo chamado coesor. Branly viveu 95 anos, tendo falecido em 24 de março de 1940. Ele foi professor e chefe de laboratório no Liceu Imperial na cidade de Bourges, na França. Desenvolvia muitas pesquisas a exemplo das variações de condutividades elétricas de materiais, radiação solar, entre outras, mas encontrava dificuldades para a realização das mesmas por falta de equipamentos, por baixo salário, etc. O coesor de Edouard Branly foi o primeiro dispositivo detector de ondas de rádio e passou a ser bastante utilizado nas radiocomunicações em geral até meados do ano 1907. Branly tornou-se o primeiro a desenvolver sistemas de controle remoto na continuidade de seus experimentos. Em 1911, ele tornou-se

membro da Accademie dês Sciences, pelo fato de que seus trabalhos se tornaram de grande aceitação e significância pública.

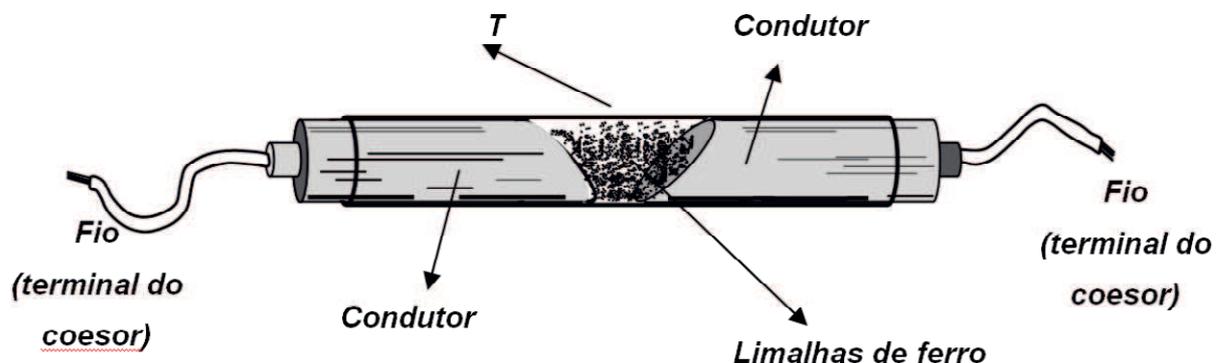
Figura 62: Edouard Branly



Fonte: [https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89douard_Branly#/media/File:Portrait_of_Edouard_Branly_\(1844-1940\),_Physicist_\(2536834552\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89douard_Branly#/media/File:Portrait_of_Edouard_Branly_(1844-1940),_Physicist_(2536834552).jpg)

O princípio de funcionamento do coesor (Figura 5) se baseia no fato de que limalhas de ferro apresentam uma resistência elétrica de vários quilo-ohm ($K\Omega$) podendo chegar a mega ohm ($M\Omega$) devido a deficiência dos contatos entre os pedacinhos de ferro que a compõem. Porém, um pulso de alta tensão proporciona uma ampliação na condutividade elétrica da limalha como se os pedacinhos de ferro fossem soldados uns aos outros de modo que abruptamente a resistência elétrica cai para a casa das dezenas de ohms. Então o coesor funciona como uma chave elétrica fechando o circuito. Entretanto, por força mecânica, aplicando uma pequena batida física no dispositivo, os pedacinhos que compõem a limalha de ferro novamente se soltam de modo que o circuito seja novamente desligado. O coesor retorna ao seu estado original de resistência mais elevada.

Figura 63: Coesor



Fonte: Autor (2017)

Em 1895, o físico Guglielmo Marconi (Figura 6) realizou experimentos com o telegrafo sem fio fez uso do coesor de Edouard Branly em suas práticas. Marconi nasceu em 25 de abril de 1874 na Itália. Na sua cidade natal Bolonha, em 1894, Marconi realizou experimentos sobre emissão e recepção das ondas eletromagnéticas, aumentando progressivamente a distância entre o transmissor e o receptor, conseguindo alcances cada vez maiores na transmissão desses sinais radiantes.

Figura 64: Marconi



Fonte: <http://www.matematiksel.org/yildirimlarin-efendisi-nikola-tesla/>

Com base no experimento de Hertz, numa de suas experiências Marconi emitiu uma faísca e conseguiu receber o sinal eletromagnético a uma distância de 2,5 km. Em torno do ano de 1900, Marconi se associou a um primo seu que era engenheiro, Jameson Davis, e fundaram uma empresa de telegrafo sem fio, a Signal Company, Ltda. que transformou-se posteriormente no Wireless Telegraph Company.

O Padre Landell de Moura chegou a receber três patentes nos Estados Unidos que foram: Transmissor de Ondas; Telefone sem fio e Telégrafo sem fio. Já no Brasil, o Padre Landell obteve as patentes do Alto Falante Telegráfico e do Microfone Eletromecânico.

A descoberta de Maxwell evidenciada empiricamente por Hertz despertou o fascínio de muitas pessoas com diversas intenções tais como os interesses de empresários ou mesmo de pessoas do campo científico. Entretanto, o Padre Roberto Landell de Moura realizava suas experiências sem conexões com essas conveniências. Entretanto, Marconi levou ao conhecimento de autoridades britânicas seus experimentos em 1896 e por isso ganhou uma carta patente sobre telegrafia. Porém, o Padre Landell realizou experiências de rádio transmissão antes de Guglielmo Marconi. Em 1960, Ernani Fornari relata que anteriormente aos trabalhos de Marconi sobre as ondas radiantes, as primeiras transmissões ocorreram entre 1893 e 1894. A primeira transmissão de voz foi realizada pelo Padre Roberto Landell de Moura em 1900, em São Paulo, mas não proporcionou sucesso. Porém, foi atribuída a ele a invenção do telefone sem fio em 1902. Antes que fizesse o correspondente registro, seu laboratório foi destruído por invasores. Landell afirmou que esses fiéis assim fizeram por cegueira religiosa, mas que o verdadeiro catolicismo não condena tais experiências. O Padre Roberto L. de Moura, sempre caminhava com seu pacote de peças com as quais inventou um aparelho que lhe permitia conversar à distância sem fios. Todas as suas experiências eram precisamente funcionais.

Abordamos a seguir alguns questionamentos simples para verificar se as informações apresentadas foram compreendidas pelos discentes.

2.1. EXERCÍCIO PARA FIXAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Com base na leitura do contexto resumido apresentado nas páginas anteriores, apresente as respostas corretas para os questionamentos seguintes:

1) Físico que evidenciou experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas:

- a) Guglielmo Marconi;
- b) Padre Roberto L. de Moura;

- b) Padre Roberto L. de Moura;
- c) James Clerk Maxwell;
- d) Heinrich Rudolf Hertz;
- e) Edouard Branly Désiré.

2) Inventor de um dispositivo detector da presença de ondas eletromagnéticas, conhecido como coesor:

- a) Heinrich Rudolf Hertz;
- b) Padre Roberto L. de Moura;
- c) Edouard Branly Désiré;
- d) Guglielmo Marconi;
- e) James Clerk Maxwell.

3) Físico que unificou o magnetismo e a eletricidade além de constatar que as ondas eletromagnéticas se propagam na mesma velocidade da luz:

- a) James Clerk Maxwell;
- b) Guglielmo Marconi;
- c) Padre Roberto L. de Moura;
- d) Edouard Branly Désiré;
- e) Heinrich Rudolf Hertz.

4) Uma onda eletromagnética é capaz de propagar a longas distâncias. Segundo afirmou J. C. Maxwell é correto afirmar sobre essas ondas que:

- a) Campos elétricos não variáveis produzem campos magnéticos variáveis;
- b) Campos elétricos variáveis produzem campos magnéticos não variáveis;
- c) Campos elétricos não variáveis produzem campos magnéticos não variáveis;
- d) Campos elétricos variáveis não produzem campos magnéticos;
- e) Campos elétricos variáveis produzem campos magnéticos variáveis.

5) Físico brasileiro, nascido em 1861 em Porto Alegre, realizou a primeira transmissão de voz por ondas de rádio no ano de 1900:

- a) Edouard Branly Désiré;
- b) James Clerk Maxwell;
- c) Guglielmo Marconi;
- d) Heinrich Rudolf Hertz;

e) Padre Roberto L. de Moura.

3. INTRODUÇÃO AO ESTUDO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

3.1. O ÁTOMO

Sabemos que os corpos existentes na natureza são constituídos por partículas bem pequenas conhecidas como átomos (Figura 8) e que esses mesmos átomos são formados pelas junções de partículas ainda menores. Essas partículas apresentam uma propriedade física conhecida como carga elétrica e são denominadas de Nêutrons, Prótons e Elétrons. Suas cargas elétricas são:

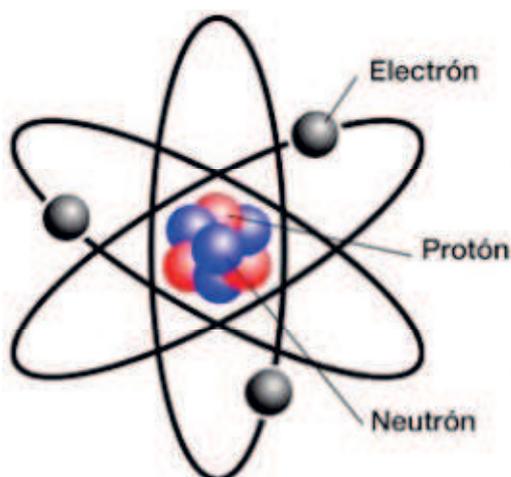
Nêutrons - carga elétrica igual a zero;

Prótons - carga elétrica positiva de valor $+1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb;

Elétrons - carga elétrica negativa de vale $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Coulomb.

Observação: Coulomb é a unidade de medida de carga elétrica, no SI (Sistema Internacional de Unidades) em homenagem ao físico francês Charles Augustim de Coulomb, o qual criou uma lei conhecida como Lei de Coulomb que descreve a ação de forças elétricas entre essas cargas.

Figura 66: átomo



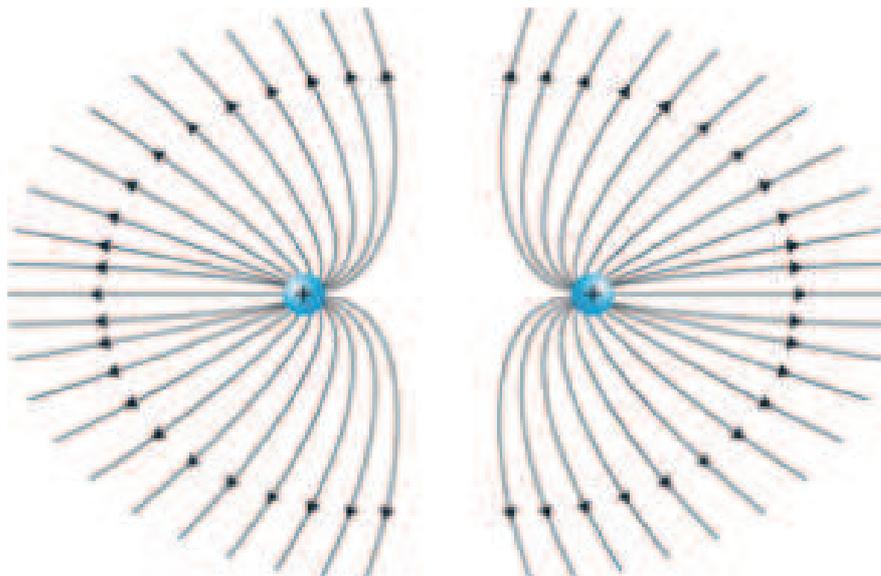
Fonte: <http://queesela.net/atomo-partes-como-esta-formado/>

Essas cargas elétricas paradas proporcionam a existência de um campo elétrico no espaço tridimensional em torno de si mesma.

3.2. O CAMPO ELÉTRICO

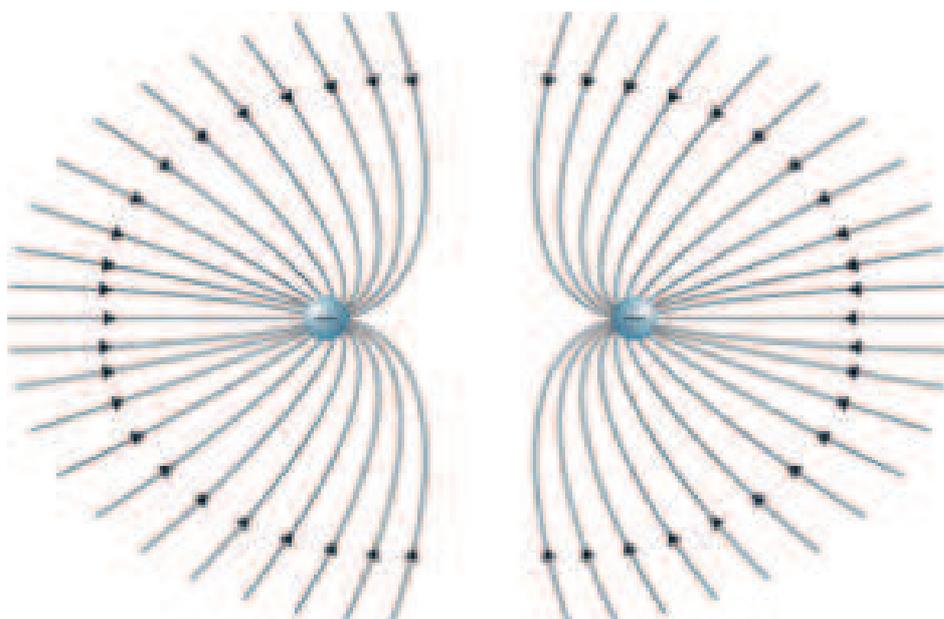
O campo elétrico existente no espaço em torno dessas cargas elétricas tem sentido de afastamento se a carga for positiva (Figura 9) e sentido de aproximação se a carga for negativa (Figura 10).

Figura 67: Campo elétrico da carga positiva



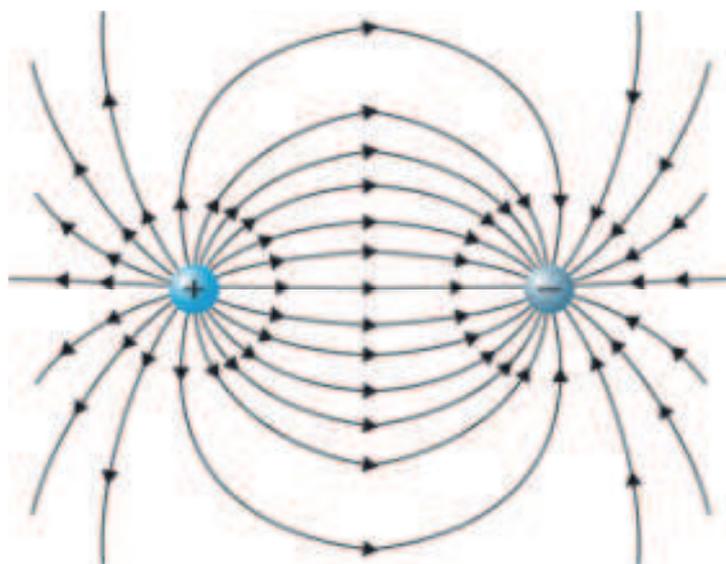
Fonte: <http://interna.coceducacao.com.br/ebook/pages/4445.htm>

Figura 68: Campo elétrico da carga negativa



Fonte: <http://interna.coceducacao.com.br/ebook/pages/4445.htm>

Figura 69: Linhas de campo elétrico entre cargas de sinais contrários



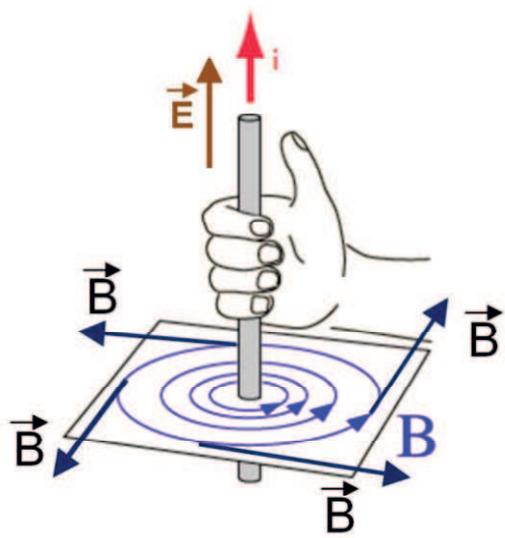
Fonte: <http://interna.coceducacao.com.br/ebook/pages/4445.htm>

Observamos na Figura 11 a interação entre duas cargas elétricas de sinais contrários, próximas uma da outra. As linhas de campo elétrico partem da carga positiva para a negativa.

3.3. O CAMPO MAGNÉTICO

Quando essas cargas elétricas entram em movimento, além do campo elétrico passam a produzir também campos magnéticos (Figura 12).

Figura 70: Campo magnético da corrente



Fonte: <http://www.fisica.seed.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1246>

Quando essas cargas elétricas oscilam, dão origem a Onda Eletromagnética. Portanto, todos os corpos que estiverem acima da temperatura do zero Kelvin (conhecido como zero absoluto e que equivale a $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$), emitem ondas eletromagnéticas. Nessa temperatura do zero absoluto não existiriam agitações das partículas.

Observamos ainda na Figura 12 que, sendo a corrente elétrica constituída pelo movimento de portadores de carga elétrica, forma-se em torno do fio condutor (segundo a regra da mão direita), um campo magnético que circula em volta do mesmo. \mathbf{E} = campo elétrico no sentido da corrente.

Na regra da mão direita é adotado o sentido convencional da corrente, como se houvessem movimentos das cargas positivas. Porém, são os elétrons que se deslocam nos condutores formando o sentido real da corrente, como vimos na eletrodinâmica.

3.4. A ONDA ELETROMAGNÉTICA

Uma onda eletromagnética é, portanto, constituída por variações entre campos elétricos e magnéticos proporcionados por cargas elétricas oscilantes. Esses campos variam perpendicularmente entre si, como mostra a Figura 13.

Dessa forma, campos magnéticos variáveis produzem campos elétricos variáveis e campos elétricos variáveis produzem campos magnéticos variáveis, assim como afirmou James Clerk Maxwell (físico escocês). A propagação dessas ondas a partir do momento em foram geradas e emitidas ocorre de forma independente da fonte que as produziram, de forma autossustentável.

Todas as ondas eletromagnéticas propagam no vácuo com a velocidade da luz que é de: $c = 299.792.458\text{ m/s}$ ou aproximadamente $c = 300.000.000\text{ m/s}$ ($c = 3 \cdot 10^8\text{ m/s}$), podendo ser expressa em termos de outras constantes da Física, como sendo:

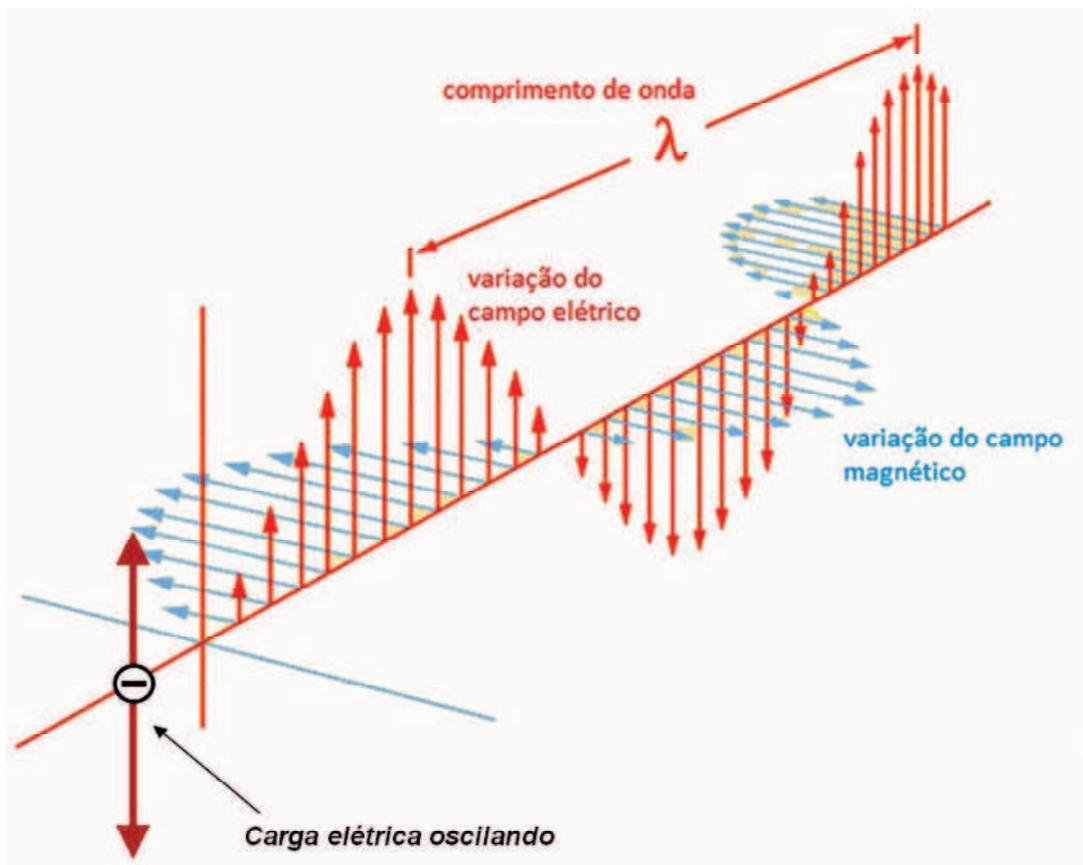
$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$$

Tal que:

$$C = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}} \quad \left. \begin{array}{l} \epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \\ \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \end{array} \right\} \rightarrow \boxed{C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}$$

Fonte: Autor (2017)

Figura 71: Onda eletromagnética

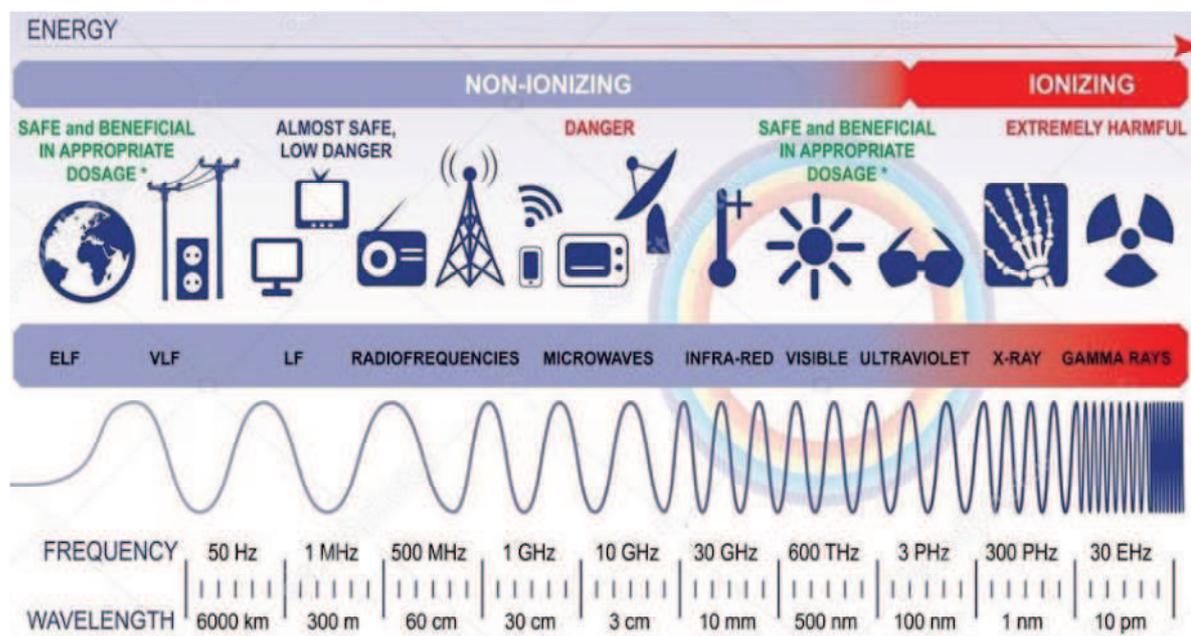


Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172015000400206

3.5. O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Observamos na Figura 14 o intervalo de freqüências das ondas eletromagnéticas, incluindo abordagens sobre utilidades e efeitos dessas ondas no campo tecnológico e fenômenos cotidianos, desde ondas “gigantes” de baixas freqüências, radio transmissões, luz, até as ondas de pequenos comprimentos de onda como as radiações ultravioletas, raios X, raios gama, etc.

Figura 72: Espectro eletromagnético



Fonte: <https://se.depositphotos.com/129958274/stock-illustration-the-electromagnetic-spectrum.html>

3.5.1. EXTREMELY LOW FREQUENCY

ELF (*Extremely Low Frequency*) significa **frequência extremamente baixa**, cujos comprimentos de onda variam entre 10.000 e 100.000 quilômetros. É uma frequência tão baixa que praticamente não se usa para transmitir mensagens de voz. Geralmente essas ondas são produzidas por perturbações ou desordens no campo magnético terrestre ou por tempestades de raios. Seus enormes comprimentos de onda conseguem atravessar solo e água sem atenuações. Essas ondas podem ser usadas para comunicações de submarinos em maiores profundidades que em frequências mais elevadas, pois a água atua como blindagem para frequências mais altas, embora em ELF as antenas sejam gigantes. Nesse intervalo de frequência (ELF) é possível transmitir dados binários, código morse, etc.

3.5.2. VERY LOW FREQUENCY

VLF (*Very Low Frequency*) significa frequências ultrabaixas. Também apresentam grandes comprimentos de onda e, portanto, precisam de grandes antenas. Geralmente são usadas em comunicações marítimas de submarinos, porém em locais mais próximos da superfície com frequências de 3 a 30 KHz.

Podem chegar a 40 metros de profundidade na água dependendo de sua salinidade. Essas frequências também são utilizadas em linhas de transmissão de energia elétrica em corrente alternada.

3.5.3. LOW FREQUENCY

LF (*Low Frequency*) são ondas de baixa frequência entre 30 e 300 KHz, utilizadas em radiodifusão, navegação aérea, serviços marítimos e informações meteorológicas.

3.5.4. RADIOFREQUÊNCIAS

Radiofrequências (RF) refere-se ao intervalo de frequências que vai de 3 KHz até 300 GHz conhecidas como ondas de rádio, podendo ser AM (Amplitude Modulada), FM (Frequência Modulada), VHF (*Very High Frequency* - Frequência muito elevada) e UHF (*Ultra High Frequency* - Frequência ultra elevada). Essas ondas são utilizadas em transmissões de TV, Rádio difusão, Radiocomunicação, meteorologia por satélite, radioamadorismo, telefonia, etc.

3.5.5. MICROONDAS

Microondas (Microwaves) variam de 0,3 GHz até 300 GHz. As micro-ondas, devido ao reduzido comprimento de onda, transmitem informações com mínima interferência, sendo usadas em radares, nos fornos de micro-ondas para cozinhar alimentos, nas transmissões de TV a cabo e internet, na telefonia celular móvel, etc.

3.5.6. INFRAVERMELHO

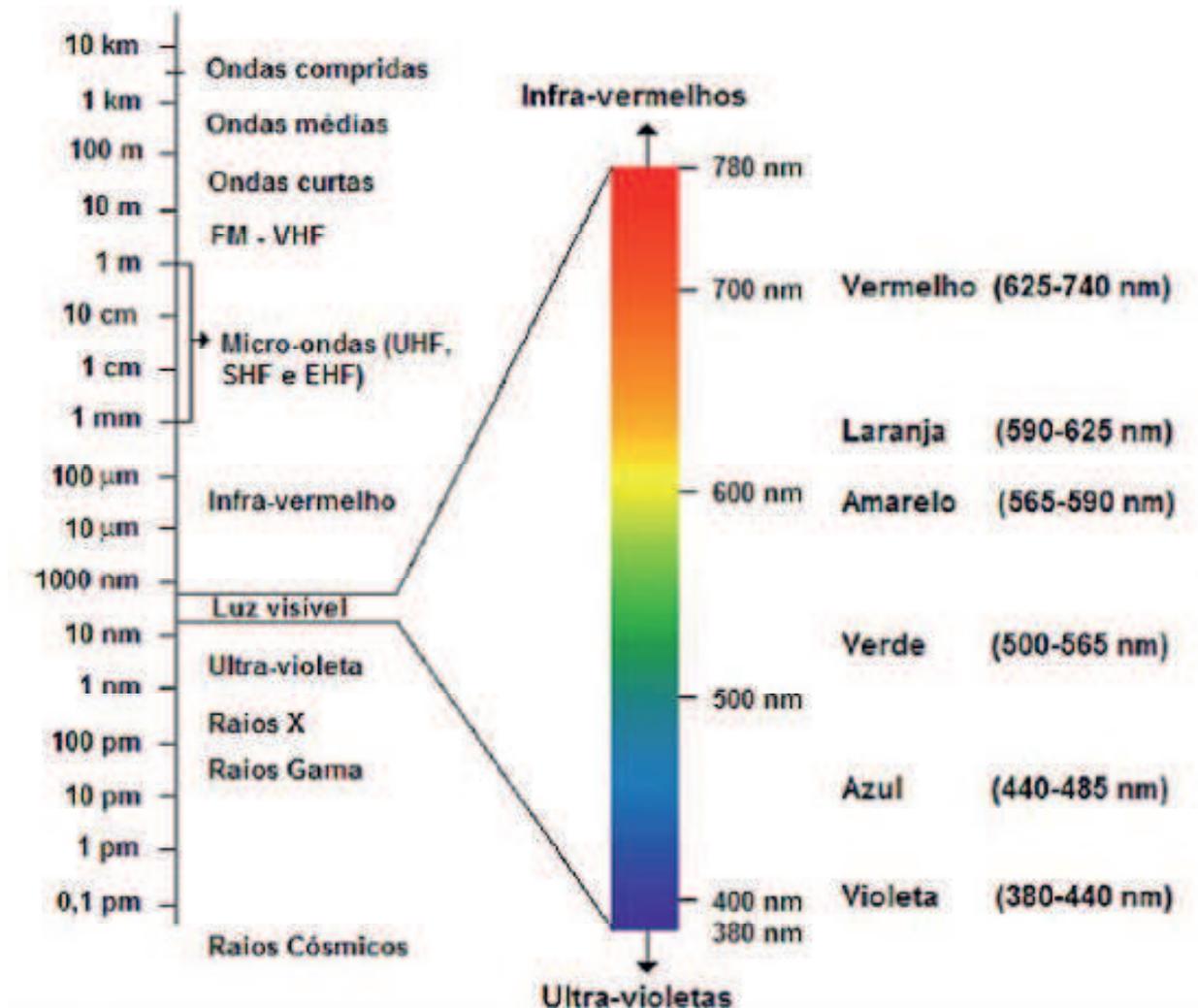
Infravermelho é uma radiação eletromagnética cuja frequência situa-se abaixo da luz vermelha e, portanto é invisível aos nossos olhos. Todos os corpos que irradiam calor emitem ondas eletromagnéticas nessa frequência. As ondas de infravermelho têm seu comprimento variando de 1 milímetro até 700 nanômetros, sendo uma radiação não ionizante e portanto não causa danos, a exemplo do câncer de pele. Quando um aquecedor é ligado, o calor propaga através das ondas

de infravermelho. Serpentes podem visualizar suas presas no escuro através do calor que elas irradiam. A radiação infravermelha também pode ser capturada por determinadas câmeras.

3.5.7. LUZ VISÍVEL

Luz Visível corresponde à radiação eletromagnética compreendida entre a luz vermelha e a violeta, na sequência: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. A Figura 15 apresenta algumas informações sobre o comprimento dessas ondas.

Figura 73: Intervalo das ondas eletromagnéticas



A soma de todas as cores do espectro acima corresponde à luz branca. Os fótons de luz no espectro eletromagnético visível sensibilizam as nossas células oculares nos proporcionando a capacidade da visão.

A máxima sensibilidade do olho humano, para uma luminosidade ambiente normal para a radiação amarela e verde, cujas frequências estão aproximadamente no centro do espectro. A cor que observamos nos objetos é o resultado da frequência da onda eletromagnética por eles refletida.

3.5.8. RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A radiação ultravioleta apresenta comprimento de onda menor que a luz violeta e conseqüentemente frequência mais alta. Trata-se, portanto de uma radiação ionizante podendo ser danosa, por exemplo, para a pele humana causando câncer de pele. O Sol é a principal fonte de radiação ultravioleta. Essa radiação é espalhada ou absorvida pela atmosfera onde sua concentração máxima está na camada de ozônio que fica próxima dos 35 Km de altura. A radiação UV pode acontecer segundo as categorias abaixo:

- **UVA:** Intervalo de frequência que mais afeta a biosfera, causando o bronzeamento da pele, manchas, perdas da flexibilidade elástica da pele, rugas e favorece à pele a possibilidade do câncer;
- **UVB:** Alcança a biosfera, porém em menor quantidade devido a sua absorção e espalhamento parcial pela camada de ozônio, porém pode causar queimaduras de pele, sendo uma principal causa do câncer de pele;
- **UVC:** Intervalo de frequência mais absorvido pela camada de ozônio e que quase não atinge a biosfera.

3.5.9. RAIOS X

O cálcio é um material de alta densidade e está presente nos ossos humanos. Logo quando uma parcela de raios X atinge o corpo humano, esses raios são

absorvidos pelos ossos. Porém os tecidos moles são atravessados por esses raios, resultando nas imagens obtidas nas radiografias (Figura 16).

O raio X tem frequência superior à radiação ultravioleta e, portanto, menor comprimento de onda. É uma radiação ionizante com frequências que variam de $3 \times 10^{16} \text{ Hz}$ a $3 \times 10^{19} \text{ Hz}$.

Figura 74: Radiografia



Fonte: https://cdn4.ecycle.com.br/cache/images/recicle_tudo/diversos/50-650-radiografia750.jpg

3.5.10. RAIOS GAMA

Radiação eletromagnética que proporciona elevada quantidade de energia sendo capaz de profundas penetrações na matéria, produzida por elementos radioativos. Explosões de raios cósmicos no universo emitem tanta energia por segundo quanto o Sol em toda a sua existência. Essa radiação não alcança a superfície da Terra, pois é absorvida nas camadas superiores da atmosfera.

O simples exercício a seguir contribui para observações e discussões a respeito das informações tratadas anteriormente.

3.6. EXERCÍCIO PARA FIXAÇÃO DAS INFORMAÇÕES

Com base na leitura do contexto resumido apresentado nas páginas anteriores, apresente as respostas corretas para os questionamentos seguintes:

1) Acima de qual temperatura um corpo pode emitir ondas eletromagnéticas:

- a) 37 °C
- b) - 50 °C
- c) - 212,32 °C
- d) 0 Kelvin
- e) - 273,15 Kelvin.

2) Uma onda eletromagnética é produzida quando:

- a) cargas elétricas estão paradas
- b) cargas geram apenas campos elétricos
- c) cargas elétricas geram apenas campos magnéticos
- d) cargas elétricas se anulam
- e) cargas elétricas oscilam

3) O intervalo de frequências de emissão de ondas eletromagnéticas capaz de alcançar maiores profundidades no mar, usado na comunicação de submarinos é:

- a) LF
- b) VHF
- c) ELF
- d) UHF
- e) RF

4) São radiações ionizantes, capazes de causar câncer de pele:

- a) Infravermelho
- b) Radio frequências
- c) ultravioleta
- d) ELF
- e) VLF

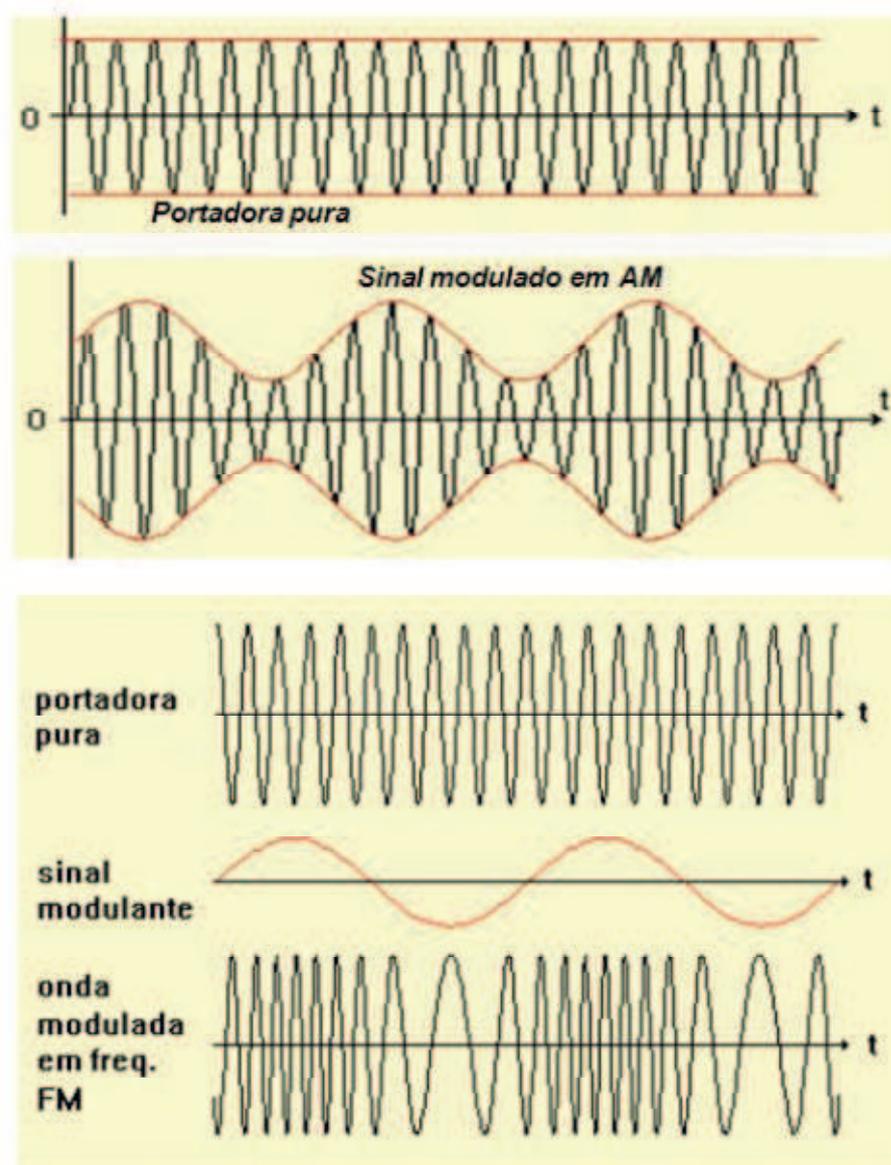
3.7. MODULAÇÕES

Em rádio transmissões as mensagens de voz acontecem quando a onda eletromagnética é modulada em sua amplitude (AM) ou em sua frequência (FM).
Figura 17.

Para que haja a transmissão de informações através das ondas eletromagnéticas, é necessário que essas ondas sejam moduladas com sinais, os quais podem, por exemplo, causar alterações de amplitude, intensidade, frequência, comprimento de onda, fase da onda, que deformam uma das características da

portadora eletromagnética, assim como mostram as Figuras acima. Cada modulação diferente pode proporcionar a transmissão de diversos tipos de informações diferentes. A portadora eletromagnética (onda eletromagnética) tem frequência muito mais elevada que a frequência do sinal modulante. Nos receptores dessas ondas eletromagnéticas da mesma frequência, existem os chamados demoduladores que capturam a informação original emitida pela portadora eletromagnética. É dessa que os nossos aparelhos de TV recebem os sinais transmitidos de áudio e vídeo pelas emissoras de Tv, assim como ouvimos as informações de áudio nos rádios de FM e AM, entre muitos outros exemplos que incluem outros tipos de transmissões de dados, tais como as informações que trafegam pela internet.

Figura 75: Modulações em AM e em FM



Uma onda eletromagnética é, portanto, produzida pela oscilação de cargas elétricas que geram perturbações eletromagnéticas no espaço formada por campos elétricos e campos magnéticos que se propagam independentemente da fonte que as produziram. Cada onda é caracterizada por apresentar os elementos mostrados adiante.

3.8. ELEMENTOS DA ONDA ELETROMAGNÉTICA

Amplitude - refere-se ao valor máximo de cada campo, tanto o elétrico quanto o magnético

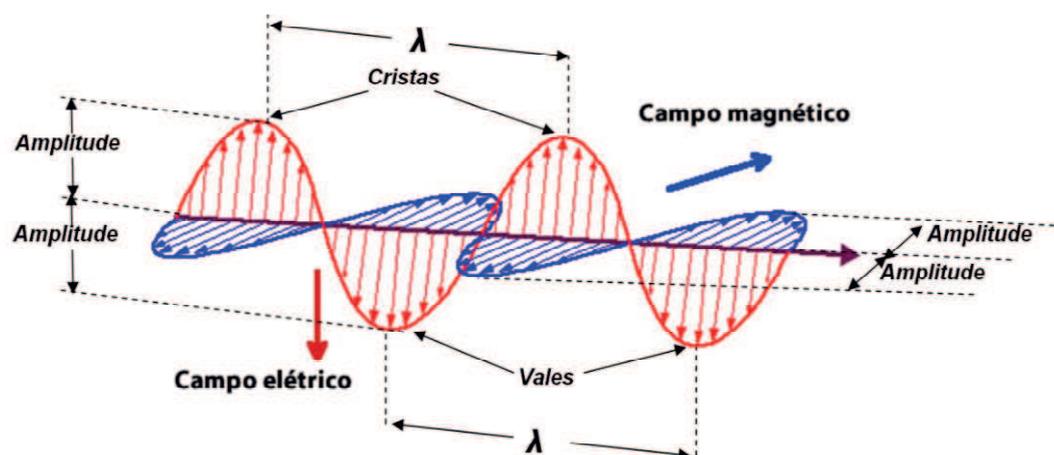
Frequência (f) - correspondente ao número de oscilações que os campos elétrico e magnético executam por unidade de tempo. Essa frequência é medida em Hertz (Hz) quando medimos esse numero de oscilações por segundo.

Período (T) - que refere-se ao tempo (T) de uma oscilação completa (uma onda inteira).

Velocidade da onda (v) - Todas as ondas eletromagnéticas têm a mesma rapidez da luz. Porém, essa velocidade é máxima no vácuo. Em verdade, a rapidez da propagação dessas ondas depende então do meio por onde elas se propagam.

Comprimento de Onda (λ) - Representado pela letra grega "lambda", corresponde à distância entre duas cristas sucessivas ou dois vales sucessivos da onda ou um ciclo positivo mais um ciclo negativo inteiros. Ondas de baixa frequência têm enormes comprimentos de onda e ondas de altas frequências têm pequenos comprimentos de onda.

Figura 76: Elementos de uma onda eletromagnética



As equações 31, 32 e 33 apresentam as relações entre a frequência, o comprimento de onda e velocidade das ondas.

$$f = \frac{1}{T} \quad (31)$$

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (32)$$

$$v = \lambda \cdot f \quad (33)$$

Onde:

λ = Comprimento de onda (m)

T = Período de oscilação da onda (s)

v = Velocidade da onda (m/s)

f = frequência da onda (Hz)

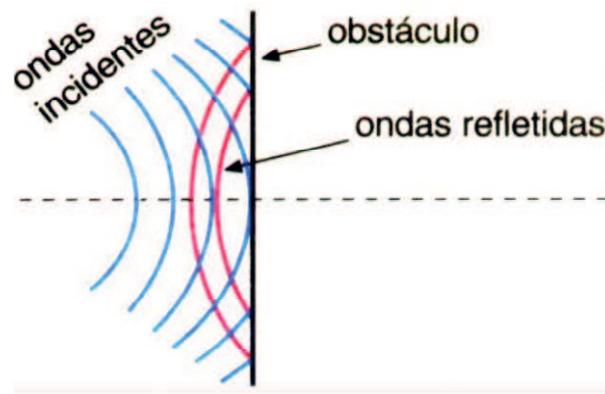
3.9. FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

Ao se deparar com um obstáculo que separa dois meios, uma onda eletromagnética altera o seu comportamento podendo ocorrer:

3.9.1. REFLEXÃO DAS ONDAS

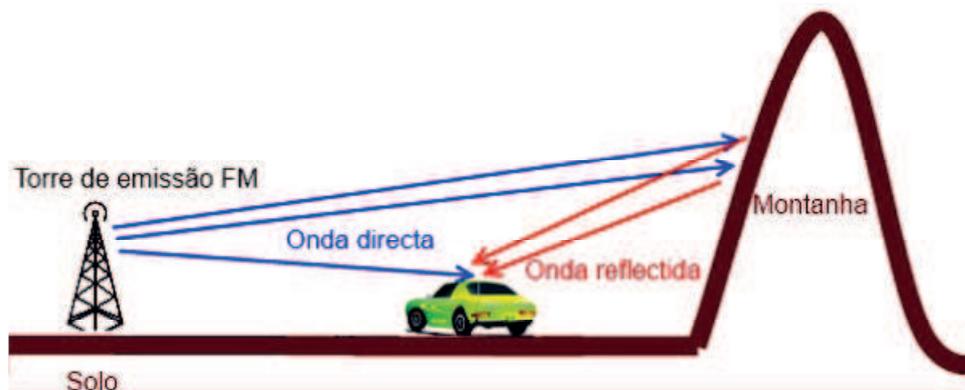
Dependendo do tipo de obstáculo, uma onda pode refletir ao encontrá-lo. Um exemplo disso é a reflexão das ondas de baixas frequências na ionosfera. Transmissões dessas ondas de grandes dimensões permitem, por exemplo, comunicações a longa distância na terra, mesmo após a curvatura terrestre. Existem basicamente as reflexões terrestres (Figuras 19 e 20) e as ionosféricas.

Figura 77: Reflexões das ondas



Fonte: <http://ww2.unime.it/weblab/awardarchivio/ondulatoria/ondas.htm>

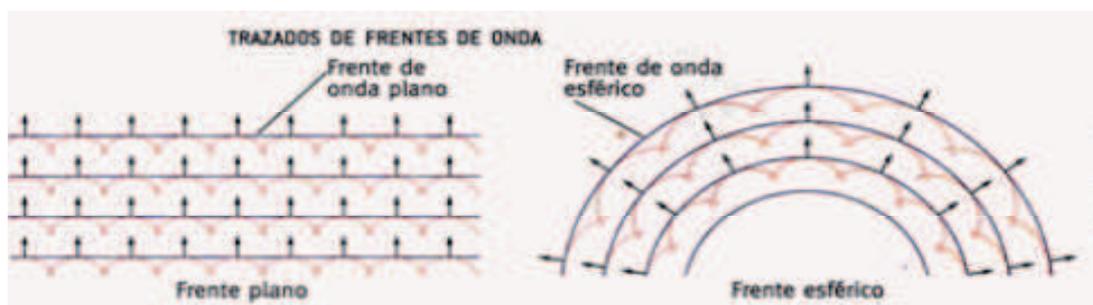
Figura 78: Ondas emitidas e refletidas



Fonte: http://www.mundodaradio.com/artigos/redes_de_emissores_em_sfn.html

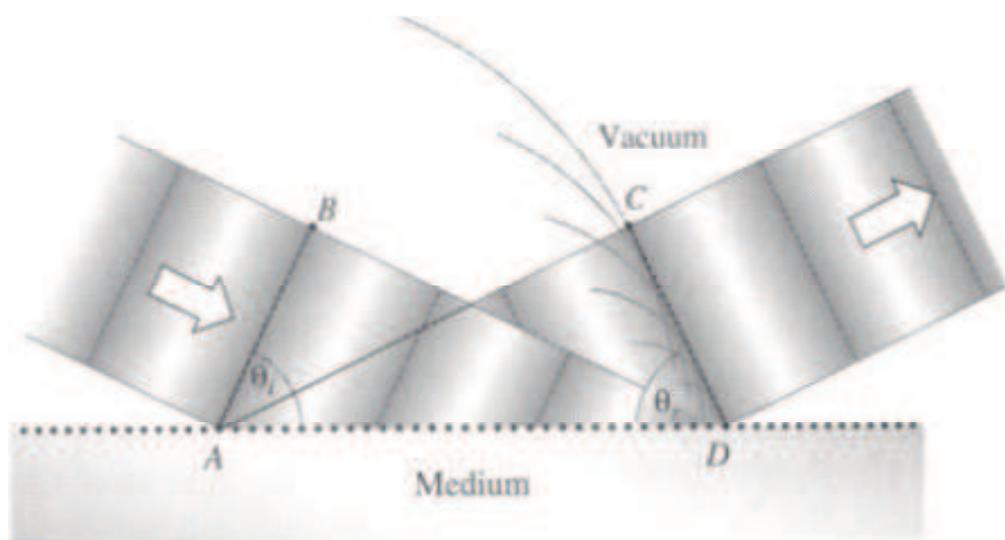
O cientista holandês Christian Huygens (1629 - 1695) idealizou que todos os pontos de frentes de onda se comportam como fontes pontuais de ondas secundárias. Após certo tempo t , as novas frentes pontuais de onda estão num plano tangente a estas ondas secundárias. Figuras 21 e 22.

Figura 79: Frentes de onda



Fonte: <http://www.astrofiscayfisica.com/2012/08/teorias-de-la-propagacion-de-la-luz.html>

Figura 80: Ondas incidentes e refletidas



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/3226063/>

Na Figura 22, $\vartheta_i = \vartheta_r$, Pois o ângulo de incidência da onda que propaga no vácuo é igual ao ângulo de reflexão da mesma após incidir sobre o meio material.

3.9.2. POLARIZAÇÃO DAS ONDAS

As ondas eletromagnéticas propagam em várias direções. Porém, através de um filtro polarizador é feita a seleção de uma direção para sua propagação de modo que as outras direções não passem pelo filtro (Figura 23).

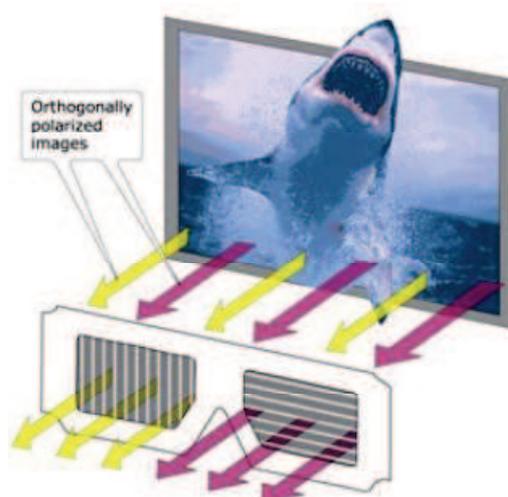
Figura 81: Polarização da onda



Fonte: <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/ondas-e-luz/fenomenos-ondulatorios.html>

A Figura 24 mostra a polarização da luz que é usada para a visualização de imagens em 3D.

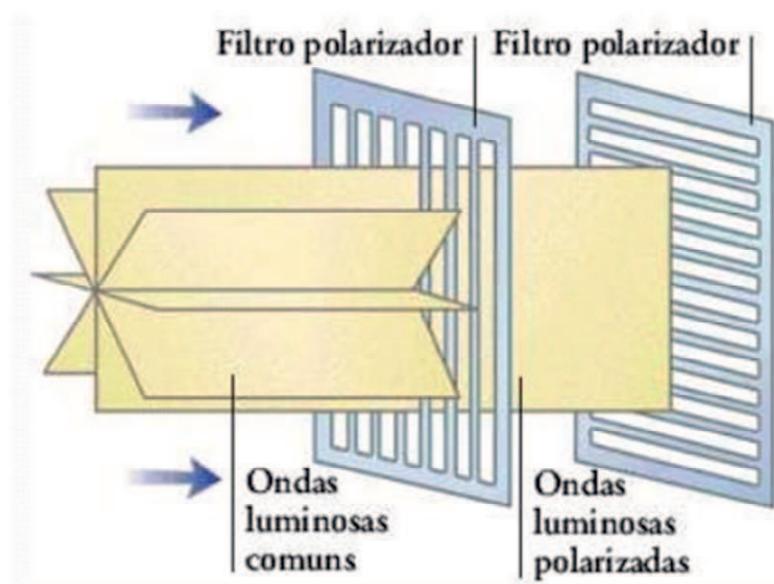
Figura 82: Polarização da luz. Cinema 3D



Fonte: http://www.a1installer.com/3D_TV_explained.html

Óculos 3D podem ser constituídos por polaróides. A sobreposição da imagem proporcionada pelo cérebro permite a sensação visual da dimensão da profundidade. A Figura 25 mostra um exemplo de como funciona um filtro polarizador da onda eletromagnética.

Figura 83: Filtro de polarização

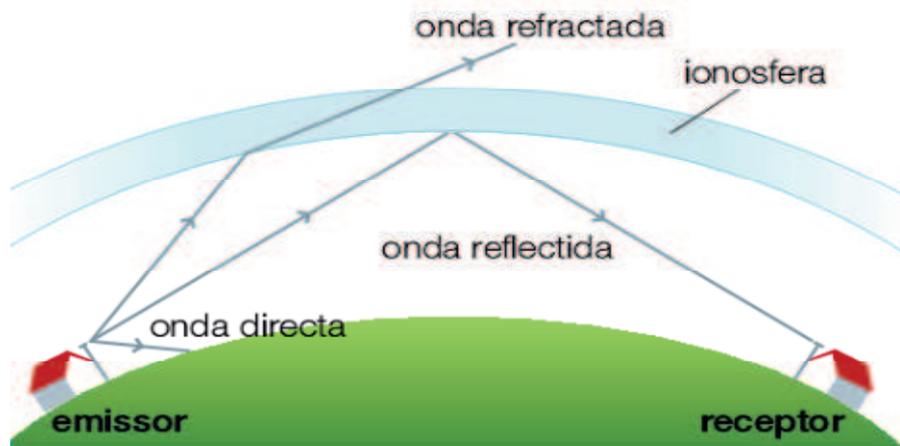


Fonte: <http://www.fisicaevestibular.com.br/images/ondulatoria7>

3.9.3. REFRAÇÃO DAS ONDAS

Quando uma onda eletromagnética que propaga em determinado meio consegue atravessar e propagar num segundo meio, sofrendo como consequência uma variação de velocidade, chamamos esse fenômeno de refração.

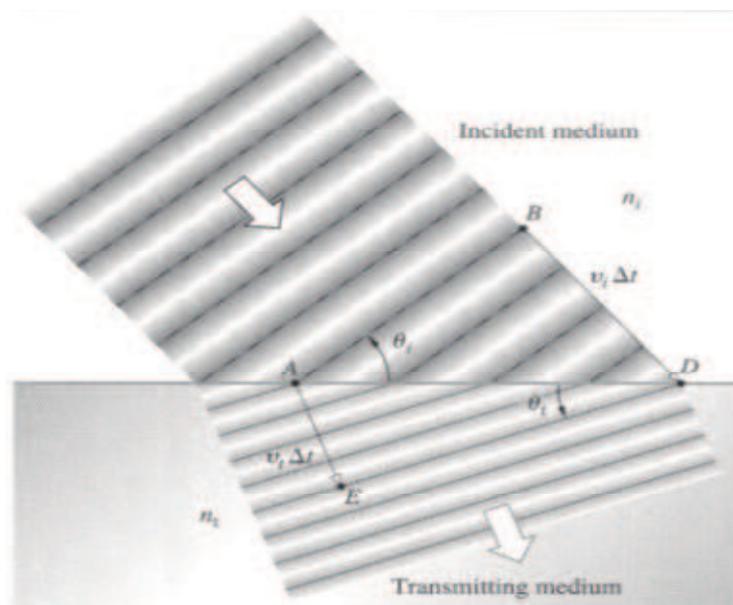
Figura 84: Reflexão e Refração das ondas eletromagnéticas



Fonte: <http://docplayer.com.br/2793460-Comunicacao-da-informacao-a-longas-distancias.html>

Na Figura 26 observamos que uma parcela das ondas eletromagnéticas emitida atravessa a camada da ionosfera, que está entre 60 Km e 1000 Km de altitude, refratando. Isso ocorre com ondas de altas frequências.

Figura 85: Refração das ondas



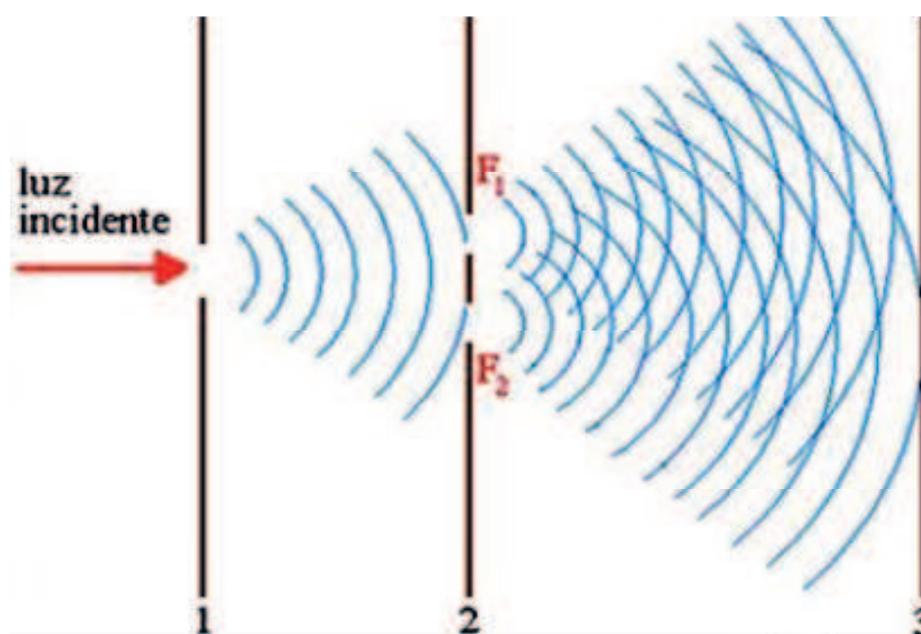
Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/3226063/>

Na Figura 27 observamos que, ao refratar, a onda sofre um processo de mudança de velocidade. Então a velocidade da onda no meio onde ocorreu a incidência é diferente da velocidade dessa mesma onda ao propagar no segundo meio.

3.9.4. INTERFERÊNCIAS DAS ONDAS

Acontece quando uma onda eletromagnética se depara com determinado obstáculo de modo que uma parcela dessa onda consegue atravessar para o outro meio contornando esse obstáculo, ocorrendo uma interferência (Figura 28). Suas frentes pontuais de onda funcionam, como novas fontes de onda, assim como afirma o princípio e Huygens, embora possa refletir parte da energia que emitiu.

Figura 86: Interferência das ondas



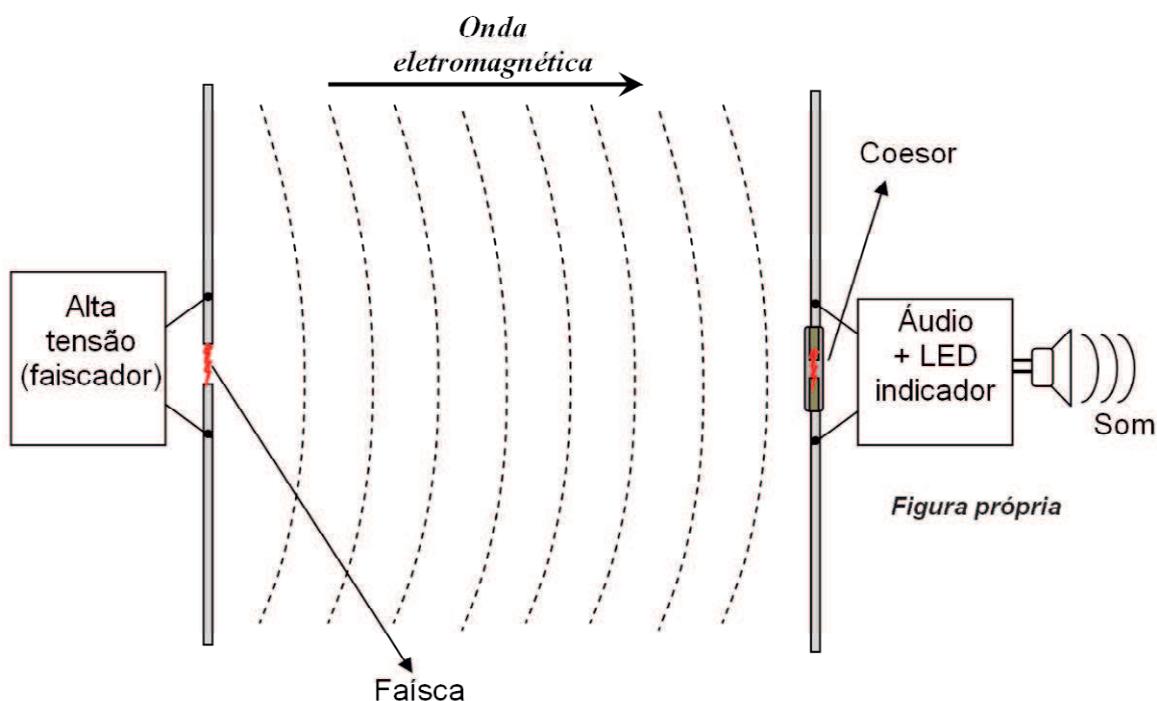
Fonte: <http://brasilecola.uol.com.br/fisica/experimento-das-duas-fendas.htm>

4. A ABORDAGEM EXPERIMENTAL PROPOSTA

O experimento que propomos é na verdade uma adaptação da experiência de Hertz, somada ao uso de um coesor conforme já explicamos anteriormente ao longo do desenvolvimento do nosso trabalho. A diferença entre o experimento original de Hertz o experimento aqui apresentado é basicamente devido à inclusão do coesor desenvolvido pelo físico e médico francês Edouard Désiré Branly ao sistema, o que permitiu acionar à distância um dispositivo luminoso (LED) via pulso eletromagnético e também um sinal de áudio que é opcional (apito fino) de forma que a verificação da transmissão do pulso eletromagnético fosse evidenciada.

O desenho da Figura 29 mostra como um pequeno raio proporcionado por uma descarga de alta tensão de aproximadamente mais de cinco mil volts torna possível a existência de um pulso eletromagnético emitido por uma antena dipolo e captado por uma antena receptora de mesma natureza conectada ao coesor, fechando o caminho da corrente na parte receptora.

Figura 87: Esquema do experimento



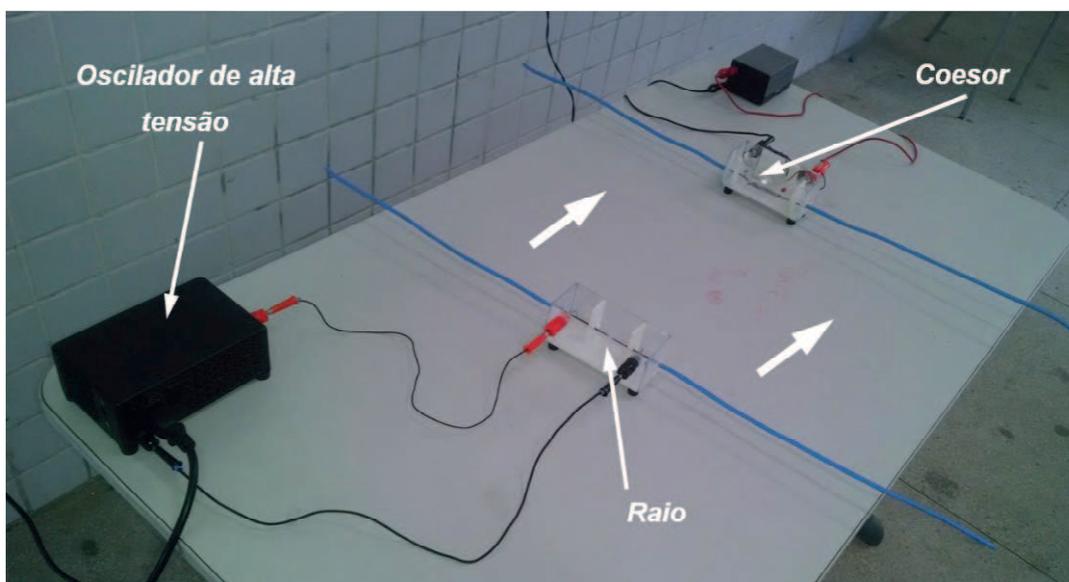
Fonte: Autor (2017)

Em nossa UEPS usamos um circuito oscilador de alta tensão instalado dentro de uma caixa como é possível visualizarmos na foto. Porém, para facilidade de

construção, sugerimos a aquisição de um acendedor de fogão que pode chegar a disparar faíscas de cerca de 8 mil volts. Esse acendedor pode ser usado no lugar do nosso oscilador eletrônico de alta tensão.

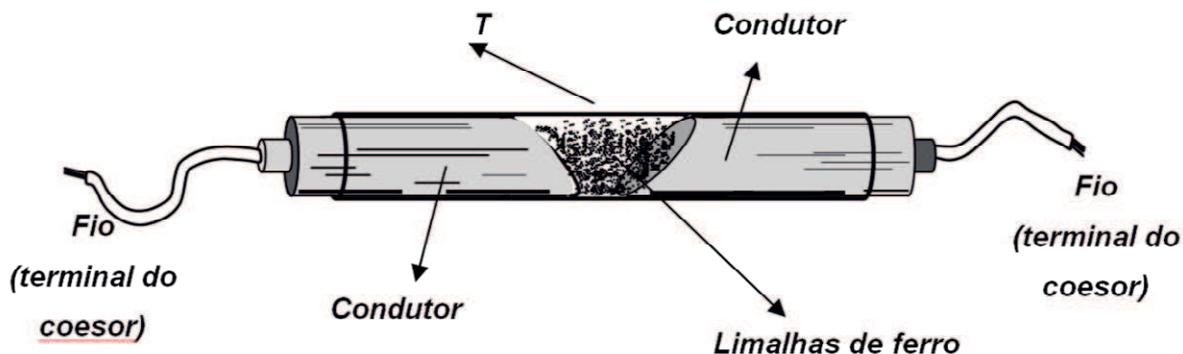
A funcionalidade do experimento ocorre devido ao coesor (Figuras 30 e 31) ser constituído por limalhas de ferro colocadas no interior de um pequeno tubo cilíndrico entre as pontas de dois condutores. Essa limalha de ferro apresenta uma resistência elétrica elevada com relação à condutividade proporcionada entre os terminais dos condutores em contato. Quando a antena dipolo receptora captura um pulso de ondas eletromagnéticas, um campo elétrico de relativa intensidade invade o coesor agindo como se as partículas das limalhas fossem soldadas entre si, realizando um melhor contato elétrico entre as mesmas, fazendo cair subitamente o valor da resistência elétrica, permitindo a passagem da corrente fechando o circuito.

Figura 88: Experimento de Hertz modificado com a inclusão do coesor



Fonte: Autor (2017)

Figura 89: Coesor

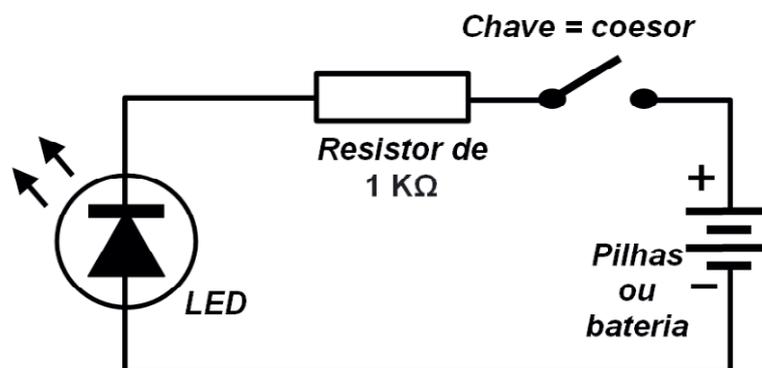


Fonte: Autor (2017)

Em nosso experimento fizemos uso de um oscilador de áudio de baixa potência e baixíssimo consumo de corrente elétrica que é ativado quando o coesor fecha o circuito. Porém, para facilitação da reprodução do experimento sugerimos o uso de um multímetro do tipo que apita quando mede resistência praticamente zero (curto circuito). As pontas de prova desse multímetro na escala de resistência podem ser colocadas em contato com os terminais do coesor. Assim que a faísca for disparada na antena emissora, o apito imediatamente é percebido no multímetro, pois a resistência do coesor cai para valores bastante pequenos caracterizando um curto circuito. Isso já mostrará que o sinal eletromagnético irradiou e chegou ao receptor. Também fizemos uso de um diodo LED ligado a uma fonte de tensão de 10 volts no receptor. Esse LED está em série com um resistor de cerca de 1 K Ω ou menos. Mas podem ser usados valores de tensão menores e resistores de resistências menores (usar lei de ohm para calcular). O circuito é fechado pelo coesor quando recebe o pulso de onda eletromagnética.

O esquema para acionamento do LED a ser instalado junto ao coesor e a antena receptora é apresentado na Figura 32.

Figura 90: Diagrama esquemático para acionamento do LED



Fonte: Autor (2017)

É fundamental ressaltar que durante todas as etapas é necessário que o aluno seja um participante ativo na busca pelo conhecimento. O discente sempre deve ser posto diante de situações problema, de modo a fazer uso de seus conhecimentos prévios agregados à busca por respostas antecedentes às soluções apresentadas pelo professor. Pesquisas por informações podem fazer parte dos trabalhos em desenvolvimento.

4.1. ATIVIDADE DE AVALIAÇÃO INDIVIDUAL

Para realizar uma verificação geral do rendimento da turma durante as aulas do tema das ondas eletromagnéticas, uma pontuação fixa era atribuída à turma em geral para valorizar as participações de forma a levar em consideração os envolvimento dos grupos e os esforços despendidos por eles. Porém, tornava-se necessário verificar o rendimento individual, tendo sido esse o objetivo desse trabalho final.

Ao final do processo de aplicação da UEPS, fizemos uso de um momento em que o aluno se deparasse sozinho diante de questionamentos gerais sobre o tema como uma etapa de verificação de aprendizagem. Porém, cada professor pode fazer uso de adaptações e ideias nesse intuito. Também é importante lembrar que numa UEPS, o processo de avaliação precisa ser contínuo, considerando a participação do aluno em todos os momentos. Abaixo segue o questionamento que utilizamos em nossa prática.

Caro aluno(a). Fazendo uso dos conhecimentos obtidos durante as nove aulas sobre ondas eletromagnéticas, solucione os problemas seguintes:

- 1) Explique o que é uma onda eletromagnética.
- 2) Qual a importância das ondas eletromagnéticas na vida dos seres humanos?
- 3) Se a humanidade não conhecesse a existência dessas ondas, quais equipamentos tecnológicos não existiriam hoje? Cite pelo menos 3 exemplos.
- 4) Para que serviu o experimento apresentado? Explique um pouco sobre o seu funcionamento.
- 5) Cite pelo menos três situações na sua vida nas quais estão presentes as ondas eletromagnéticas.
- 6) Explique como é possível enviar informações através das ondas eletromagnéticas.
- 7) Quais os problemas que uma radiação ultravioleta pode causar para a saúde humana?
- 8) Usando $v = \lambda \cdot f$, analise com seu grupo e apresente o cálculo resposta para saber o comprimento de uma onda transmitida na frequência $f = 150$ MHz (150.000.000 Hz), sabendo que essas ondas têm a velocidade (da luz) que vale aproximadamente $v = 300.000.000$ m/s.
- 9) Com base nos materiais que você recebeu e na observação do experimento, comente um pouco do que você aprendeu.
- 10) Qual a relação das ondas eletromagnéticas com cargas elétricas?
- 11) A luz do Sol chega até a terra instantaneamente no mesmo momento em que é emitida por essa estrela? Explique sua resposta.

12) Uma onda eletromagnética pode propagar:

- a) apenas em meios materiais;
- b) apenas no vácuo;
- c) no vácuo e nos meios materiais, pois uma onda eletromagnética é longitudinal;
- d) no vácuo e nos meios materiais, pois uma onda eletromagnética é transversal;

REFERÊNCIAS

MOREIRA, M. A; MASINI, E.F.S. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Centauro Editora. 2º ed. p.111, 1982.

GRIFFITHS, D. J. *Eletrodinâmica*, São Paulo, 3 ed. Pearson Addison Wesley, 2011.

JUNIOR, F. R; FERRARO, N. G; SOARES, P. A. T. *Os Fundamentos da Física*. Moderna, São Paulo, 10 ed, 2009.

AXT, R; MOREIRA, M. A. *O papel da experimentação no ensino de Ciências*. Sagra, 1991.

NOTAROS, B. M. *Eletromagnetismo*. Pearson Education do Brasil, São Paulo 2012.

CAMPBELL, L.; GARNETT, W. *The Life of James Clerk Maxwell: With Selections from His Correspondence and Occasional Writings*. 2ª ed. Harvard: Macmillan and Company, 1884. 421 p.

ABRANTES, P. C. C. *A Metodologia de J. C. Maxwell e o Desenvolvimento da Teoria Eletromagnética*. In: Caderno Catarinense de Ensino de Física, 5 – número especial, 1988. p. 58.

CATELLI, F.; GIOVANNINI, O.; OLIVEIRA, S. F. *Espectrômetro amador: quantificando comprimentos de onda*, 2017. IN: *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/2175-7941.2017v34n3p951/35424>>. Acesso em: 12 de Dezembro de 2017.

GUSBERTI, G. F. *Modulação AM e Demodulador de Envelope*, 2014. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/3150421-Modulacao-am-e-demodulador-de-envelope.html>>. Acesso em: 10 de Novembro de 2017.

CARLOS, J. G; JÚNIOR, F. N. M; AZEVEDO, H. L; SANTOS, T. P; TANCREDO, B. N. *Análise de artigos sobre atividades experimentais de física nas atas do encontro nacional de pesquisa em educação em ciências*, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/pdfs/1052.pdf>>. Acesso em: 14 de Novembro de 2017.

KLÖCKNER, L; CACHAFEIRO, M. S. *Por que o Pe. Roberto Landell de Moura foi inovador?*, 2012. Disponível em: <<http://ebooks.pucrs.br/edipucrs/Ebooks/Web/978-85-397-0226-8/pages/v2.pdf>>. Acesso em: 11 de Outubro de 2017.

MOREIRA, M. A. *Pesquisa em ensino: Aspectos metodológicos*, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios10.pdf>>. Acesso em: 10 de Março de 2017.

BARBOSA, J. O. *Investigação do papel da experimentação na construção de conceitos em eletricidade no ensino médio*, 1999. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165609.pdf>>. Acesso em: 5 de Dezembro de 2017.

SÉRÉ. M. G; COELHO. S. M; NUNES. ANTÓNIO. D. N. *O papel da experimentação no ensino da Física*, 2002. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5165649.pdf>>. Acesso em: 22 de Fevereiro de 2017.

SANTOS. C. A. A. *Landell de Moura ou Marconi, quem é o pioneiro?*, 2003. Disponível em: <http://www.intercom.org.br/papers/nacionais/2003/www/pdf/2003_NP06_santos.pdf>. Acesso em: 15 de Abril de 2017.