

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física


**INSTITUTO
FEDERAL**
Espírito Santo


SOCIIDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

AMAURI MARQUES DOS REIS

**GUIA DIDÁTICO PARA O USO DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA DE
ELETROMAGNETISMO BASEADA EM VÍDEOS DO *YOUTUBE* COM APOIO NO
FUNCIONAMENTO DO RÁDIO DE GALENA**

**CARIACICA
2017**

APRESENTAÇÃO

Caro professor,

A sequência didática aqui apresentada objetiva oferecer subsídios para a preparação de aulas de Eletromagnetismo, através do uso de um conjunto de vídeos do *Youtube* acessados facilmente pelos navegadores da Internet.

Não é uma sequência de aulas extremamente rígidas, pois nós educadores sabemos das diversas realidades vividas na educação atual, onde inúmeras vezes nossas aulas não avançam como gostaríamos, tanto pela falta de infraestrutura básica das escolas, quanto ao não conhecimento de estruturas lógicas fundamentais dos alunos que ingressam no Ensino Médio.

Por razões como as citadas acima, a sequência de aulas procura oferecer subsídios sobre os principais temas de Eletromagnetismo do Ensino Médio, mas com um enfoque basicamente teórico, pois problemas numéricos não são o enfoque dos textos elaborados.

A proposta deste produto é o estimular os alunos por vídeos para que eles retenham melhor os saberes, uma vez que podem ilustrar mais de forma dinâmica os fenômenos físicos do que desenhos feitos na lousa e também dispendem menos tempo de aula. Os vídeos aqui indicados são sugestões, porém outros poderão ser utilizados desde que apresentem o conteúdo indicado.

Acredita-se que o ensino de Física deva ser associado ao uso de tecnologias, pois na nova realidade social parece que os alunos veem positivamente os recursos instrucionais associados as mídias sociais.

Baseado no pensamento acima, o material instrucional contém a sequência didática utilizada, os textos de apoio para a elaboração das aulas individuais, os quais contém os *links* que podem ser facilmente acessados na Internet. Logo, a sugestão da proposta é basicamente uma aula com mais diálogos.

Nos textos preparados que se seguem foi evitado inserir as referências bibliográficas, optando-se por colocar apenas ao final do trabalho para que os textos ficassem mais fluidos para os estudantes.

Espero que apreciem as sugestões do trabalho que se segue e que ele ainda possa complementar suas aulas contribuindo para melhorar a formação dos estudantes secundaristas.

Professor Amauri

SUMÁRIO

1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA	5
1.1 INTRODUÇÃO	5
1.2 OBJETIVO GERAL	6
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.4 DESENVOLVIMENTO DAS AULAS	7
1.4.1 Primeira aula – Avaliação diagnóstica	7
1.4.2 Segunda aula – Introdução a ondas	7
1.4.3 Terceira aula - Ressonância	8
1.4.4 Quarta aula – Campo magnético	11
1.4.5 Quinta aula – Revisão de conteúdos	11
1.4.6 Sexta aula – Força de magnética	12
1.4.7 Sétima aula – Indução magnética	12
1.4.8 Oitava aula - Funcionamento do rádio de galena	13
1.4.9 Nona aula - Avaliação diagnóstica final	14
TEXTOS	15
1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ONDAS	16
1.2 ONDAS DE AM E O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO	18
1.3 DESCRIÇÃO DAS ONDAS.....	20
1.4 RESSONÂNCIA – PRINCÍPIO QUE NORTEIA O FUNCIONAMENTO DO RÁDIO.....	24
2 ÍMÃS E CAMPO MAGNÉTICO	26
2.1 INTRODUÇÃO AO MAGNETISMO	26
2.2 CAMPO MAGNÉTICO EM CONDUTORES.....	31
3 FORÇA MAGNÉTICA	36
3.1 FORÇA DE LORENTZ.....	36
3.2 FORÇA MAGNÉTICA ENTRE FIOS CONDUTORES PARALELOS	39
3.3 EFEITO MOTOR.....	41
4 INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA	46
4.1- INTRODUÇÃO.....	46
4.2 FLUXO MAGNÉTICO	48
4.3 LEI DE FARADAY.....	50
4.4 EXERCÍCIOS RESOLVIDOS.....	54
5 FUNCIONAMENTO DO RÁDIO DE GALENA	57

5.1 O TRANSPORTE DA ONDA CODIFICADA. MODULAÇÃO.....	57
5.2- A RECEPÇÃO DO SINAL DE AM. A DEMODULAÇÃO.	58
5.3 DIAGRAMA DO CIRCUITO DE UM RÁDIO GALENA.....	60
5.4 EXPLICAÇÃO TEÓRICA DO ESQUEMA DO RÁDIO GALENA	60
5.5 A RESSONÂNCIA.....	64
5.5 CIRCUITO DE DETECÇÃO	65
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
APÊNDICE – ROTEIRO DE ONDAS EM UMA CORDA	70

1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

TEMA: ELETROMAGNETISMO E RADIOCOMUNICAÇÕES

Componente curricular: Física

Tempo estimado: 9 aulas de 50 minutos

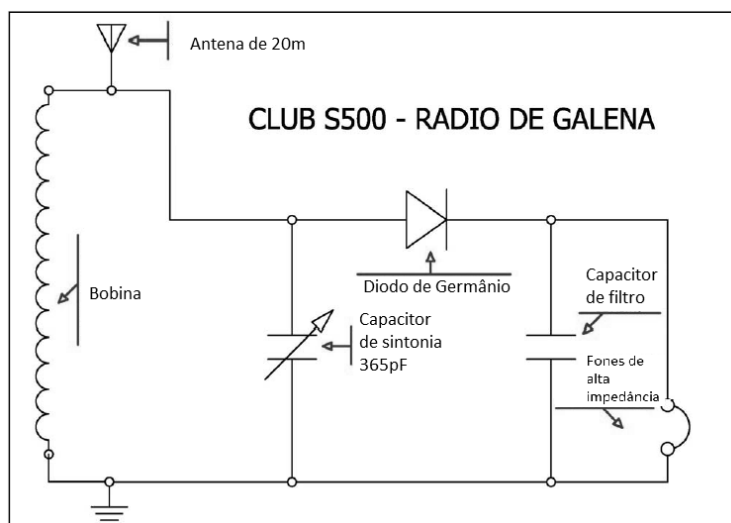
Material/ambiente necessário: vídeos baixados da Internet, *datashow*, um computador com acesso à Internet, mineral magnetita, pilhas, 30cm de fio de cobre e bússola de aplicativos da internet.

1.1 INTRODUÇÃO

Essa sequência didática visa estabelecer a ligação entre os conteúdos de Eletromagnetismo lecionados no Ensino Médio e a recepção de radiofrequências pelo rádio de galena.

O rádio de galena é um receptor de sinais de amplitude modulada (AM), que pode ser construído com aproximadamente 20m de fio de cobre para a antena, um diodo de germânio, um capacitor variável, um capacitor de filtro e um esqueleto simples para apoiar tais componentes, conforme figura a seguir:

Circuito de um rádio de galena



Fonte: modificado de <http://aer.org.es/wp-content/uploads/2016/01/suple01.pdf>

Uma vantagem de seu uso está no fato que o rádio de galena é capaz de decodificar sinais eletromagnéticos a partir de princípios físicos similares aos dos receptores modernos tais como as TVs, os celulares e os satélites, o que pode tornar o ensino de Física mais atraente e significativo aos alunos.

A escolha desse aparelho está no fato que ele funciona através da demodulação de ondas eletromagnéticas, então o seu entendimento básico pode tornar possível montar uma estrutura para:

- ✓ Analisar as principais características das ondas eletromagnéticas através dos valores de frequências das rádios AM (Amplitude Modulada);
- ✓ Entender os conceitos de ondas e campos magnéticos analisando os campos eletromagnéticos na transmissão de sinais de rádio;
- ✓ Associar a força de Lorentz através da movimentação de elétrons no circuito;
- ✓ Perceber que o movimento dos elétrons no circuito elétrico se dá por indução eletromagnética;
- ✓ Mostrar aos alunos que os conceitos por eles vividos está presente no cotidiano na recepção de sinais de TV, celular, dentre outros equipamentos.

1.2 OBJETIVO GERAL

- ✓ Contribuir para melhor compreensão teórica dos tópicos de Eletromagnetismo por alunos do Ensino Médio.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Potencializar o aprendizado de Eletromagnetismo através do rádio de galena, associando os tópicos de Eletromagnetismo ao seu funcionamento e como consequência extrapolar os demais equipamentos de telecomunicações atuais;
- ✓ Diferenciar progressivamente os tópicos de Eletromagnetismo através de textos, vídeos, simulações, experimentos e poucos exemplos numéricos,

possibilitando aos educandos integrar os conceitos de Eletromagnetismo à sua estrutura cognitiva;

- ✓ Mostrar aos alunos que o saber escolar tem operacionalidade, isto é, eles podem construir, a partir das aulas, equipamentos de recepção de sinais de amplitude modulada (AM).
- ✓ Contextualizar o ensino de Eletromagnetismo tanto tecnologicamente, como historicamente.

1.4 DESENVOLVIMENTO DAS AULAS

1.4.1 Primeira Aula – Avaliação diagnóstica

Objetivos

- ✓ Estimular os alunos a estudar através da visão do funcionamento do rádio de galena;
- ✓ Avaliar os conhecimentos prévios dos alunos.

Metodologia

- ✓ Mostrar o filme **Como fazer um rádio de galena** (https://www.youtube.com/watch?v=Ax5u_jCwCro) aos alunos;
- ✓ Aplicar o pré-teste para verificar os conceitos prévios dos alunos.

1.4.2 Segunda aula – Introdução a ondas

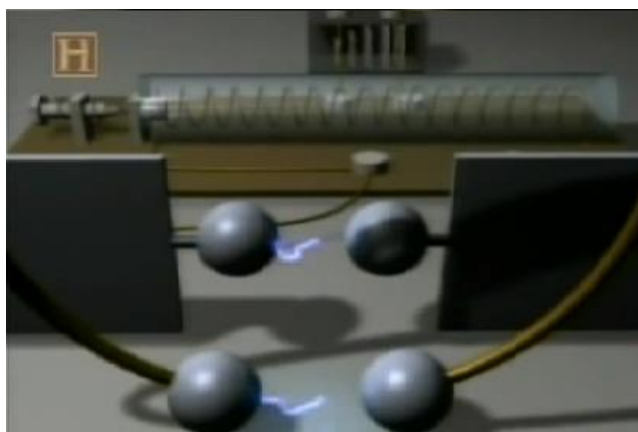
Objetivos

- ✓ Introduzir os conceitos de ondas eletromagnéticas, mostrando que a sua propagação se dá pela oscilação de campos elétricos e magnéticos no espaço;
- ✓ Caracterizar as ondas, distinguindo-as por meio de sua amplitude, frequência, período, comprimento de onda e velocidade.

Metodologia

- ✓ Mostrar o vídeo **Descoberta das Ondas de Rádio - Maxwell & Hertz, Hertz** (<https://www.youtube.com/watch?v=FYArBYI9V6o>), para que os alunos possam ver, conforme a figura a seguir, como se dá a transmissão de ondas eletromagnéticas e compreender um pouco sobre a primeira transmissão de ondas eletromagnéticas.

Oscilador de Hertz



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=FYArBYI9V6o>

- ✓ Empregar o simulador **Onda em corda** (https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_pt_BR.html), para que os alunos possam manipular as variáveis frequência e amplitude e verificar ainda os conceitos de cristas, vales e frequências de ressonância;
- ✓ Pedir que os alunos façam pequenos grupos permanentes para preencher os dados do roteiro Ondas em uma corda.

1.4.3 Terceira aula - Ressonância

Objetivo

- ✓ Mostrar o fenômeno de ressonância em situações mais simples, para que posteriormente entendam como é possível que o rádio decodifique uma estação específica.

Metodologia

- ✓ Rever os conceitos de ondas estudados na aula anterior;
- ✓ Introduzir o conceito de ressonância através de uma aula dialogada sobre o balanço infantil e o quebrar de uma taça de vidro pela voz de tenores;
- ✓ Discutir com os alunos sobre frequências ressonantes e não ressonantes, para isso há a seguir um recorte de algumas imagens no filme **Corde de melde** (<https://www.youtube.com/watch?v=4BoeATJk7dg>) mostradas a seguir:

Ondas não ressonantes



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=4BoeATJk7dg>

1º harmônico (frequência fundamental)



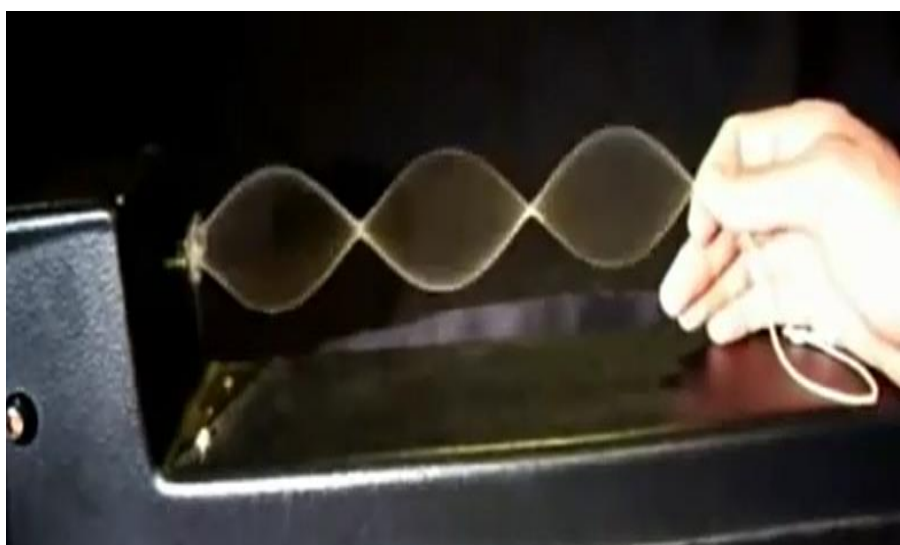
Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=4BoeATJk7dg>

2º harmônico



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=4BoeATJk7dg>

3º harmônico



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=4BoeATJk7dg>

- ✓ Realizar uma aula expositiva e dialogada, com base no texto 1, **Introdução a ondas**, para que os alunos reconheçam de forma mais formal os conceitos trabalhados nos simuladores e no vídeo;
- ✓ Resolver juntamente com os alunos os exemplos propostos, utilizando as frequências de rádios difusoras conhecidas.

1.4.4 Quarta aula – Campo magnético

Objetivos

- ✓ Introduzir o conceito de campo magnético em diversas situações;
- ✓ Representar graficamente as linhas de indução magnética;
- ✓ Mostrar que cargas elétricas em movimento geram um campo magnético.

Metodologia

- ✓ Exibir o filme **Processos físicos – magnetismo** (<https://www.youtube.com/watch?v=9uKrkYayxIE>), para que eles compreendam aplicações tecnológicas sobre ímãs e contextualizar o assunto abordado historicamente;
- ✓ Mostrar o mineral magnetita aos alunos, um óxido de ferro que é uma das principais substâncias que compõe o minério de ferro trabalhado pelas siderúrgicas do Espírito Santo;
- ✓ Fazer o experimento com pilhas, fio e celular; simulando a experiência realizada por Oersted, para que os alunos percebam a relação entre campo gerado por corrente elétrica (vide https://www.youtube.com/watch?v=zJiTpg_9uno);

1.4.5 Quinta aula – Revisão de conteúdos

Objetivo

- ✓ Revisar o conteúdo.

Metodologia

- ✓ Resolver em conjuntos com grupos de alunos alguns exemplos de fixação dos textos 1, 2 e 3;
- ✓ Frisar o mapeamento das linhas de indução, utilizando a regra da mão direita envolvente.

1.4.6 Sexta aula – Força de Magnética

Objetivos

- ✓ Caracterizar a força Lorentz;
- ✓ Mostrar como se dá a interação entre dois condutores retilíneos carregados.

Metodologia

- ✓ Exibir o vídeo **Força Magnética** (<https://www.youtube.com/watch?v=2wgonO9i-Bk>), para caracterizar a força magnética e mostrar como os vetores velocidade, campo magnético e força elétrica ficam orientados no espaço;
- ✓ Frisar a regra da mão direita (regra do tapa) com apoio de uma aula expositiva com auxílio do datashow e para aplicá-la aos exemplos do texto 3 (**Força Magnética**);

1.4.7 Sétima aula – Indução magnética

Objetivos

- ✓ Introduzir o conceito de fluxo elétrico;
- ✓ Caracterizar o fenômeno de indução magnética em bobinas tanto a partir de ímãs quanto através de outras bobinas eletrizadas (Lei de Faraday);
- ✓ Mostrar que a corrente induzida em um circuito aparece de modo que o campo magnético criado tenda a contrariar a variação do fluxo magnético através da espira (Lei de Lenz).

Metodologia

- ✓ Exibir o vídeo **Lei da indução de Faraday** (<https://www.youtube.com/watch?v=kPG5oYUnP5c>) para mostrar como se dá a indução eletromagnética;

- ✓ Deixar claro que os diodos permitem a passagem de corrente elétrica apenas em um sentido, pois é fundamental para compreender a sintonia do rádio de galena;
- ✓ Exibir o vídeo **Lei de Lenz** (<https://www.youtube.com/watch?v=GMP14t9mgrc>) para mostrar como se dá a indução eletromagnética;
- ✓ Durante a apresentação do vídeo frisar que a corrente elétrica induzida tem sentido que faz gerar um campo magnético contrário tanto a aproximação, quanto ao afastamento do ímã;
- ✓ Usar do texto 4, **Indução eletromagnética**, para elucidar as interpretações do vídeo assistido.

1.4.8 Oitava aula - Funcionamento do rádio de galena

Objetivo

- ✓ Mostrar aos alunos que os conceitos previamente estudados são aplicados para a compreensão do funcionamento do rádio de galena.

Metodologia

- ✓ Mostrar o vídeo sobre o rádio de galena novamente aos alunos, só que agora com o circuito eletrônico visível em uma projeção pelo datashow;
- ✓ Analisar em contato com os alunos que os elétrons do circuito sofrem forças elétricas e magnéticas através das ondas emitidas das rádios difusoras, que fazem com que os elétrons sofram a força de Lorentz;
- ✓ Mostrar que esses campos eletromagnéticos são capazes de gerar no fio uma corrente alternada;
- ✓ Mostrar que o circuito bobina e capacitor são capazes de selecionar a estação de rádio devido ao fenômeno de ressonância;
- ✓ Estabelecer as conexões sobre Eletromagnetismo estudadas, desde a origem da modulação na rádio difusora até a demodulação no rádio de galena para que o som chegue aos nossos ouvidos (vide texto 5, **Funcionamento do rádio de galena**).

1.4.9 Nona aula - Avaliação diagnóstica final

Objetivo

- ✓ Verificar se a aprendizagem foi significativa.

Metodologia

- ✓ Realizar o pós-teste, que são questões iguais ao pré-teste e após a correção, comparar os resultados.

TEXTOS

1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ONDAS

1.1 HISTÓRICO

O rádio de galena é um dispositivo simples, de fácil construção, capaz de captar ondas de amplitude modulada (AM), amplificar o sinal para que se possa ouvir e, além do mais, com poucos recursos financeiros e pouco conhecimento de Eletrônica teórica pode-se construí-lo.

O estudo de Eletromagnetismo que irá começar toma como base o funcionamento do rádio de galena, o qual servirá de ponte desde os conceitos iniciais de Eletromagnetismo até os sistemas modernos de radiocomunicações.

A escolha do rádio de galena está na visão de que na História existam poucos equipamentos que mostrem criteriosamente a revolução nas comunicações, pois depois da fabricação do rádio a transmissão de informações de um ponto para outro pode ser feita sem qualquer conexão física.

Sua construção não se deu ao acaso, mas a partir de esforços de numerosos cientistas, dentre eles, o que elaborou a teoria mais abrangente do Eletromagnetismo que foi James Clerk Maxwell (1831-1879), através das suas leis do Eletromagnetismo.

Infelizmente Maxwell não viveu para ver a transmissão de sinais eletromagnéticos, pois somente após a sua morte que Heinrich Hertz (1857-1894) demonstrou que as ondas eletromagnéticas são geradas através de centelhas elétricas.

Para confirmar tais leis, Hertz construiu um receptor simples que consistia numa espira aberta, pela qual duas pequenas esferas estavam separadas por uma distância pequena. O receptor foi colocado a alguns metros de distância do oscilador, conforme a figura a seguir:

Esquema oscilador de Hertz



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=FYArBYI9V6o>

Quando Hertz ligou seu oscilador este produziu faíscas elétricas entre as esferas, assim nasceu a primeira transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, comprovando as teorias de Maxwell e colocando em prática pela primeira vez a unificação da Eletricidade, do Magnetismo e da Ondulatória.

Após Hertz, Guillermo Marconi (1874-1937) iniciou o desenvolvimento das radiocomunicações e alcançando progressos significativos. Ele se interessou pelo fenômeno de radiação eletromagnética ao assistir a várias palestras de Professor Augusto Righi, autoridade da matéria na época na Itália.

Aos 20 anos, Marconi era um leitor voraz de tudo relacionado ao assunto e sua vida deu uma reviravolta definitiva quando leu sobre as descobertas de Hertz, depois das quais ele foi imediatamente trabalhar com experimentos similares.

Marconi após muitas tentativas conseguiu construir um dispositivo faiscador cujas ondas podiam ser detectadas cada vez mais longe do receptor e, em 1901, conseguiu transmitir sinais de rádio através do Oceano Atlântico.

Desde então, o milagre das comunicações de longa distância sem fios é uma realidade e ninguém esclarecido consegue pensar no mundo atual sem suas maravilhas eletrônicas tais como rádio, televisão, celular, GPS, etc.

Graças a esses e outros grandes cientistas, hoje é possível melhorar a busca de recursos minerais com análises de imagens de satélite, conhecer outros planetas, assistir televisão, comandar sondas em lugares remotos do Sistema Solar, estudar e curar doenças, entre outros avanços científicos.

1.2 ONDAS DE **AM** E O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

A energia que faz com que o rádio de galena funcione provém das ondas eletromagnéticas, as quais são geradas na estação de transmissoras e recebidas através da antena dos nossos receptores.

A existência de tais ondas foi prevista teoricamente por Maxwell. A sua conclusão mostrou que a variação do campo magnético em um ponto do espaço produz nesse local um campo elétrico induzido e que a variação do campo elétrico produz um campo magnético induzido.

Percebeu e demonstrou matematicamente como esses campos induzidos criam perturbações posteriores, de forma que campo elétrico induzido gerará outro campo magnético induzido, que por sua vez gera um terceiro campo elétrico, e assim sucessivamente.

Desta maneira as perturbações se propagarão no vácuo sob a forma de uma onda eletromagnética cuja velocidade é constante e igual a 3×10^8 m/s. Tal valor é a velocidade da luz, deste modo, Maxwell também concluiu que a luz também é uma onda eletromagnética.

Hoje, a partir de tais conhecimentos, criaram-se as estações de transmissão de ondas eletromagnéticas que são usados pelas emissoras de rádio, de televisão, etc.

Portanto, quando uma rádio difusora emite uma onda eletromagnética é possível decodificar a frequência emitida, desde que ela seja **ressonante** (possa ter o sinal amplificado) com o circuito receptor, no nosso caso, pelo rádio de galena.

Mostra-se, na tabela a seguir, algumas frequências das rádios AM que funcionam no Espírito Santo.

Estações de rádio conhecidas no Espírito Santo

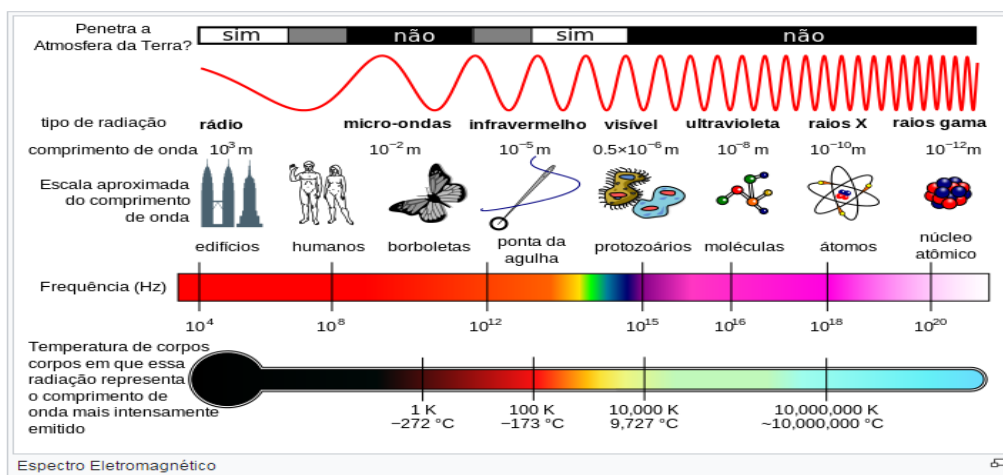
Estação	Frequência em KHz
Tribuna	590
Vitória	640
Gazeta	820
Capixaba	1050
Espírito Santo	1160
CBN	1250

Fonte: <http://www.guiademidia.com.br/radios/brasil/espíritosanto.htm>

Como se pode notar, a unidade de frequência é o hertz, e significa o número de oscilações por segundo. Também é perceptível que a faixa de frequência da tabela anterior está em KHz, que é mil vezes maior que o hertz, que são frequências de AM (1kHz=1000Hz).

As frequências da tabela podem ser comparadas com as demais do espectro eletromagnético (conjunto de frequências possíveis das ondas eletromagnéticas) e caso se multiplique o valor de uma frequência específica de uma radiação por seu comprimento de onda obtém-se sempre o mesmo valor, a velocidade da luz.

Espectro Eletromagnético



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Espectro_eletromagn%C3%A9tico

A velocidade de qualquer tipo de onda eletromagnética no vácuo é a mesma, a velocidade da luz, fato que possibilita ouvir músicas pelo rádio quase que instantaneamente após a veiculação de um programa.

1.3 DESCRIÇÃO DAS ONDAS

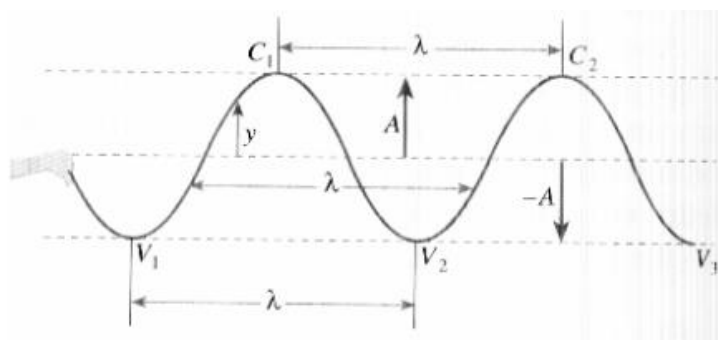
Um conceito importante que se deve entender para o funcionamento do rádio de galena é o de ondas, pois são elas que nos trazem a possibilidade de transferir energia por grandíssimas distâncias sem transportar matéria. E se dividem em duas categorias principais: mecânicas e eletromagnéticas.

O rádio de galena funciona através de ondas eletromagnéticas, assim como outros equipamentos, mas de início é bom entender o conceito de onda pela análise simples de ondas mecânicas se propagando por uma corda.

As ondas mecânicas precisam de um meio material para se propagar, e no estudo a seguir serão usados apenas conceitos das ondas unidimensionais e periódicas, pois apresentam um interesse especial: a facilidade de descrição e a visualização é mais próxima do nosso cotidiano.

A figura a seguir serve para buscar alguns conceitos importantes, tais como período, frequência, velocidade e amplitude

Forma básica de uma onda



<https://docente.ifrn.edu.br/caiovasconcelos/downloads/ensino-medio/ondas-optica-e-acustica-ufsm>

Período (T): na figura é possível visualizar uma mão fazendo uma corda oscilar, de modo que esse movimento é transmitido para todos os pontos da corda, os quais passam a ter movimentos periódicos e oscilatórios.

O tempo de cada movimento de vai e vem completo de cada ponto, ou seja, uma oscilação completa, é denominado período e sua unidade no sistema internacional é o segundo (s).

Frequência (f): caracteriza o número de vezes que uma oscilação é feita em um intervalo de tempo, no Sistema Internacional a unidade é o hertz ($\text{Hz} = \text{s}^{-1}$), nome dado em homenagem ao cientista.

A frequência de uma onda é sempre igual ao número de oscilações efetuada pela fonte do movimento, não dependendo do meio em que ela se propaga e sabendo o período de uma oscilação pode-se calcular a frequência com a equação a seguir:

$$T = \frac{1}{f}$$

Ou seja, o período é igual ao inverso da frequência, logo a unidade de frequência é o inverso da unidade de tempo.

Ex1: imagine que um menino faça a corda oscilar quatro vezes em um segundo. Qual o período e qual a frequência da onda gerada?

Resolução:

A frequência é o número de oscilações no intervalo de tempo, logo:

$$f = 4\text{hz}$$

O período é o inverso da frequência, logo aplicando a equação, tem-se:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{4\text{Hz}}$$

$$T = 0,25\text{s}$$

portanto, o menino gasta 0,25s para fazer uma oscilação completa.

Ex₂: A frequência da rádio Tribuna é 590 KHz, qual é o período da onda da onda gerada por esta estação?

Observação: lembrar que 1khz=1000hz

Resolução:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{590 \cdot 10^3 \cdot \text{Hz}}$$

$$T = 1,69 \cdot 10^{-6} \text{s} = 1,69 \mu\text{s}$$

Observação: Pode-se perceber que o mecanismo que gera as ondas eletromagnéticas pode produzir oscilações de uma ordem de grandeza bem maior que as produzidas mecanicamente na corda.

Amplitude da onda (A): na figura anterior são representadas pelas letras V e C os vales e os picos de energia mínimos e máximos de uma onda. A amplitude representa a metade da distância vertical entre o vale e a crista.

Observação: mantendo as demais condições da onda, a energia da onda é diretamente proporcional ao quadrado da amplitude da onda.

Comprimento de Onda (λ): é a menor distância entre dois pontos que vibram em concordância de fase, em particular é a distância entre duas cristas ou dois vales consecutivos de uma mesma onda.

Velocidade da onda (v): é a relação entre a distância entre dois pontos que são afetados pela oscilação e o intervalo de tempo que a onda gasta para percorrer entre eles. A velocidade de uma onda não depende de sua frequência, apenas da característica do meio em que ela se propaga.

Para escrever a seguir a equação fundamental da ondulatória pode-se usar análise simples, a partir da definição de velocidade média ($v = \frac{d}{t} = \frac{\text{deslocamento}}{\text{tempo}}$) e

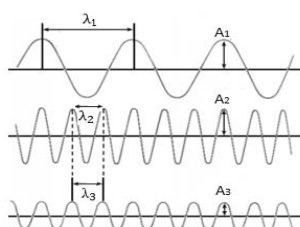
imaginar uma situação para uma oscilação completa, cujo tempo de realização é o período (T). Consequentemente a onda percorrerá apenas um comprimento de onda (λ), então pode-se escrever a seguinte relação:

$$v = \frac{d}{t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

logo,

$$v = \lambda \cdot f$$

Com tal expressão podemos perceber que mantendo a velocidade constante, quanto maior a frequência da onda, menor será seu comprimento e vice-versa, conforme algumas situações presentes na figura a seguir:



Das situações a esquerda pode-se fazer as seguintes relações, considerando que a corda seja a mesma, ou seja, a velocidade é a mesma.

$$A_1 = A_2 > A_3$$

$$\lambda_1 > \lambda_2 = \lambda_3$$

$$f_1 < f_2 = f_3$$

<https://radiacaoblog.wordpress.com/category/radiacao-ionizante/>

A equação anterior é também usada no estudo das radiações eletromagnéticas que realmente se propagam no vácuo a velocidade da luz, pois a luz visível é parte do espectro eletromagnético. Assim a velocidade das ondas que são captadas pelo rádio de galena são aproximadamente $3 \cdot 10^8$ m/s.

Ex3: Preencha a tabela seguinte calculando os comprimentos de onda das rádios AM selecionadas no texto.

Estação	Frequência em KHz	Comprimento de onda (m)
Tribuna	590	796
Vitória	640	
Gazeta	820	
Capixaba	1050	
Espírito Santo	1160	
CBN	1250	

Fonte: <http://www.guiademidia.com.br/radios/brasil/espirtosanto.htm>.

Resolução primeira linha

Sabendo que a velocidade da luz é 3.10^8m/s , usa-se a seguinte equação para calcular o comprimento de onda da Rádio Tribuna.

$$v = \lambda \cdot f, \quad \text{logo } \lambda = \frac{v}{f}$$

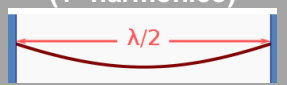


Lembrando que a frequência foi dada em khz, então:

$$\lambda = \frac{3.10^8\text{m}}{390.10^3\text{Hz}} \cong \mathbf{769\text{m}}$$

1.4 RESSONÂNCIA – PRINCÍPIO QUE NORTEIA O FUNCIONAMENTO DO RÁDIO

Para os sistemas que recebem ondas, algumas frequências especiais fazem com que o mesmo passe a vibrar com uma amplitude mais elevada, devido a superposição das ondas, da mesma maneira que uma corda vibrante presa em suas extremidades.

Modos de vibração

Modos de vibração normal (Há a vibração quando a corda tiver comprimento múltiplo de meio comprimento de onda)	Análise dos comprimentos onda X corda (a corda é a mesma)	Velocidades (dependem apenas do meio, no caso a corda)	Frequências fundamentais (frequências ressonantes).
Frequência natural (1º harmônico) 	$L = 1 \cdot \frac{\lambda_1}{2}$	$v = \lambda_1 \cdot f_1$	$f_1 = 1 \cdot \frac{v}{2 \cdot L}$
2º harmônico 	$L = 2 \cdot \frac{\lambda_2}{2}$	$v = \lambda_2 \cdot f_2$	$f_2 = 2 \cdot \frac{v}{2 \cdot L}$
3º harmônico 	$L = 3 \cdot \frac{\lambda_3}{2}$	$v = \lambda_3 \cdot f_3$	$f_3 = 3 \cdot \frac{v}{2 \cdot L}$
⋮	⋮	⋮	⋮
	$L = n \cdot \frac{\lambda_n}{2}$	$v = \lambda_n \cdot f_n$	$f_n = n \cdot \frac{v}{2 \cdot L}$

Fonte: arquivo pessoal

A frequência que faz os equipamentos funcionarem corresponde à de uma onda que os vibrem nos seus modos normais de oscilação, e uma delas é denominada frequência natural (observar tabela anterior).

Uma corda fixada em seus dois extremos possui vários modos de vibração, um denominado modo fundamental, e os outros, formados de frequências múltiplas do modo fundamental, que são denominados modos harmônicos.

Pode-se fazer com que um sistema vibre com a frequência desejada, como por exemplo na corda, pode-se variar a velocidade de oscilação das mãos. A energia de vibração neste caso não é do sistema, ou seja, não são oscilações livres, tem-se que colocar uma fonte forçando o sistema a oscilar, fenômeno denominado de oscilações forçadas.

Um exemplo mais simples é balanço infantil, o qual se abandonado de certa altura tende a oscilar em sua frequência natural. Ao colocar uma força que o faz vibrar forçadamente em sua frequência natural a amplitude do movimento irá aumentar cada vez mais, a menos que a energia do sistema dissipe ou ele estrague.

Neste caso, se a frequência da força aplicada (f_a) for igual ao modo natural de vibração do balanço (f_n), diz que o sistema entra em ressonância, cuja condição para o fenômeno em qualquer sistema pode ser descrita como a equação a seguir:

$$f_a = f_n$$

No caso do rádio de galena, a sintonização das estações constitui um exemplo de ressonância, onde ao mudarmos a distância entre as placas do capacitor ou o tamanho da bobina de indução fazemos com que a frequência natural do aparelho fique igual à das ondas eletromagnéticas que foram lançadas no espaço pelas emissoras de AM, proporcionando a recepção do sinal.

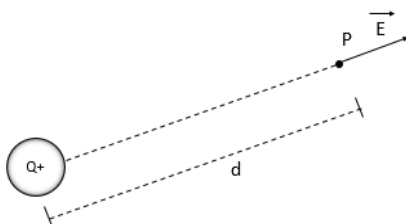
2 ÍMÃS E CAMPO MAGNÉTICO

2.1 INTRODUÇÃO AO MAGNETISMO

O texto anterior mostrou-se os conceitos de período (T), frequência (f) e amplitude (A) e demonstrou-se a equação fundamental da ondulatória ($v = \lambda \cdot f$), então agora será analisado o conceito de campo magnético.

Tal conceito é importante, pois para que o rádio de galena funcione é necessário que se tenha um campo eletromagnético variando no espaço à sua volta. Como o próprio nome indica, esse campo tem componentes de origem elétrica e magnética.

No estudo de Eletrostática foi visto que ao se aproximar cargas elétricas de uma região onde existe um campo elétrico elas podem se aproximar ou afastar, dependendo dos seus sinais. E o módulo do campo elétrico de uma carga pontual é calculado pela seguinte equação:

$E = K \cdot \frac{ Q }{d^2}$	
-------------------------------	--

onde **E** é o módulo do campo elétrico; Q é a carga elétrica que gera esse campo e d a distância entre a carga e o ponto.

Algo similar parece que acontece ao brincar com ímãs. Conforme a posição que um ímã é colocado em relação ao outro, eles podem se aproximar ou se afastar. Não se pode ver a causa, mas neste caso também se pode perceber a presença de uma força de campo, ou seja, há uma interação a distância.

Uma análise sensata faz com que se pense que no espaço entre os ímãs algo físico é estabelecido, o que gera a atração e repulsão entre as partes, e esse algo pode ser percebido, surgindo assim a pergunta: por que isto acontece?

Como os ímãs não estão carregados eletricamente há outra força capaz de realizar o fenômeno, denominada força magnética, a qual o próprio nome deriva da palavra magnetismo, que está associada segundo os dicionários, ao fenômeno pelo qual um ente tem o poder de atrair e influenciar outro ente.

A origem do nome magnetismo tem origem em uma cidade da região da Turquia Antiga (a Magnésia) que era rica em um mineral de ferro, a magnetita. Esse mineral, conhecido desde a Antiguidade, tem a propriedade de atrair fragmentos de ferro e a sua composição química é Fe_2O_3 , sendo um dos principais produtos processados por mineradoras de ferro e siderúrgicas, inclusive as que trabalham nas cidades de Vitória e Anchieta, no Espírito Santo.

Os fenômenos magnéticos foram os primeiros a despertar a curiosidade do homem sobre o interior da matéria. Os primeiros relatos de experiências com a força misteriosa da magnetita, o ímã natural, são atribuídos aos gregos e datam de 800 a.C.

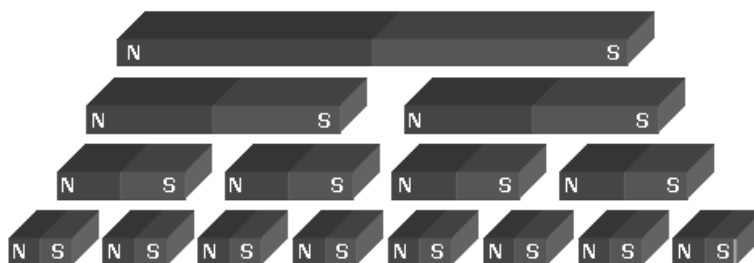
A primeira utilização prática do magnetismo foi a bússola, já usada pelos chineses na Antiguidade. Ela é baseada na propriedade de uma agulha magnetizada se orientar na direção do campo magnético terrestre, assim a bússola foi um importante instrumento de navegação no início da era moderna

Em 1260, o francês Petrus Peregrinus observou que os polos de um ímã não existem separadamente. Cortando-se um ímã em duas partes iguais, que podem ser subdivididos em outras tantas partes, observa-se que cada uma destas partes constitui um novo ímã que, embora menor, tem sempre dois polos.

Convencionou-se que as linhas que representam o campo magnético são fechadas no próprio ímã, similarmente aos meridianos que envolvem a Terra.

Em virtude da analogia com os meridianos terrestres, estes dois pontos foram denominados os polos do ímã.

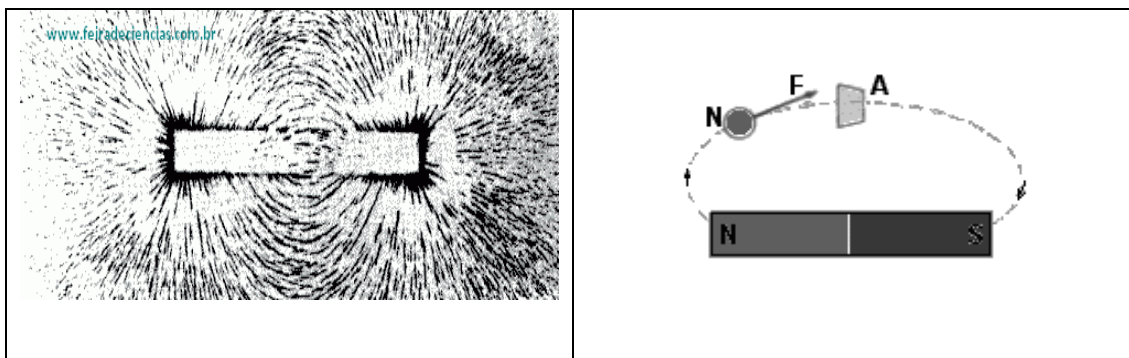
Inseparabilidade dos polos de um ímã



Fonte: http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/312SF/05_teor%C3%ADa_frame.htm

Pierre de Maricourt (1220 – 1270), em 1269, fez uma importante descoberta ao colocar uma agulha sobre um ímã esférico natural em várias posições e marcou as direções de equilíbrio da agulha, fazendo desta forma o mapeamento do campo magnético (hoje denominadas linhas de indução magnética) gerado por um ímã, similarmente ao que se faz hoje, como na figura a seguir.

Linhas de indução magnética



Fonte: http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_t01.asp

A figura **a** mostra a materialização das linhas de indução magnética, enquanto a **b** representa além das linhas de indução magnética a representação do vetor campo magnético B , que possui as seguintes características:

É tangente às linhas de campo e tem a direção da mesma.

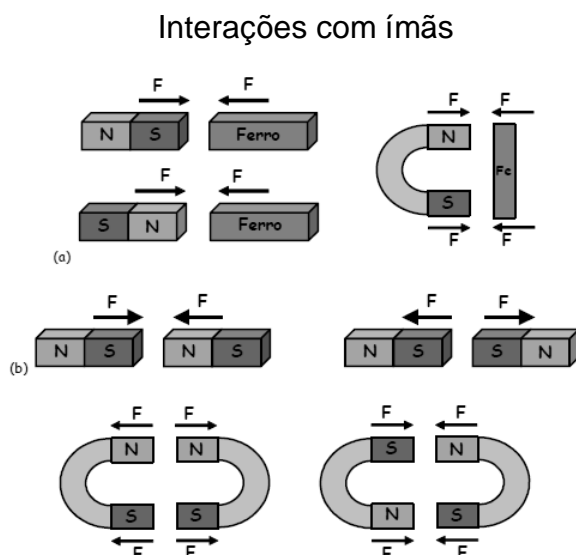
O seu módulo é maior quanto mais próximas as linhas estiverem.

No livro "De Magnet", escrito em 1600 pelo Dr. William Gilbert (1544-1603), físico e médico da corte da rainha Elisabeth da Inglaterra, é encontrado alguns dos

primeiros estudos do fenômeno, os quais discutem as propriedades de atração e repulsão entre determinados materiais, reconhecendo também que a própria Terra é um enorme ímã.

Posteriormente, muitos observadores verificaram que, qualquer que fosse a forma do ímã, sempre havia dois polos (o que apontava para o norte geográfico foi denominado de norte e analogamente o outro foi chamado de sul), de onde se pode deduzir que a Terra é um ímã gigantesco.

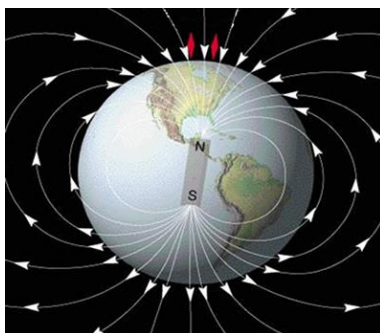
A figura a seguir ilustra algumas situações observadas com relação à aproximação entre dois ímãs e também pedaços de ferro. Nela é possível perceber que o ferro é atraído tanto pelo polo norte, quanto pelo polo sul.



Fonte: <http://www.docsity.com/pt/fundamentos-de-eletromagnetismo-cefet-sc-apostilas-fisica-parte1/313766>

Analogamente, como um ímã se posiciona segundo os polos da Terra, podemos então olhar uma bússola sujeita a orientação geográfica, mas é sempre bom lembrar que a localização dos polos geográficos e magnéticos da Terra não coincidem exatamente.

A diferença angular entre as posições dos polos norte magnético e norte geográfico é denominada declinação magnética.

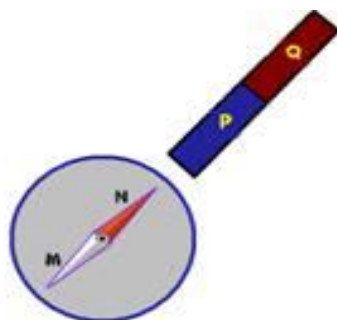


Fonte: <http://alunosonline.uol.com.br/fisica/campo-magnetico-terrestre.html>

Hoje o magnetismo tem importância fundamental nos equipamentos eletroeletrônicos usados na indústria, no comércio, nas residências e na pesquisa científica, tais como os geradores de energia, os motores elétricos, os transformadores, os equipamentos de telecomunicações, etc.

Embora exista o monopolo elétrico (partícula carregada apenas positivamente ou negativamente), ainda não se obteve o monopolo magnético, ou seja, os polos magnéticos ainda são considerados inseparáveis.

Ex 1 (UFB)- Uma bússola tem sua agulha magnética orientada com um polo (M) indicando Roraima e o outro (N) indicando o Paraná. A seguir, aproxima-se a agulha magnética dessa bússola bem perto da extremidade de um ímã cujos polos são (P) e (Q), até que o equilíbrio estável seja atingido (ver figura).



- Quais são os polos magnéticos M e N da agulha magnética da bússola?
- Quais são os polos P e Q do ímã?

Resposta:

- Como Roraima está na região norte o polo M é o polo norte e analogamente o N representa o polo sul.
- Como o polo P aponta para N que é um polo sul, então ele é um polo norte, logo Q é um polo sul.

2.2 CAMPO MAGNÉTICO EM CONDUTORES

Até aqui, o texto apresentou conceitos sobre ímãs e campo magnético, mas quando o rádio de galena está captando estações não há a presença de um ímã e nem de uma carga elétrica oscilando em suas proximidades, logo vamos à questão: como é gerado este campo eletromagnético que faz o rádio de galena funcionar?

Para respondermos a tal questão vamos remontar a primeira evidência observada e sistematizada da relação entre o magnetismo e o movimento de cargas elétricas, que foi notada em 1819 pelo dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851).

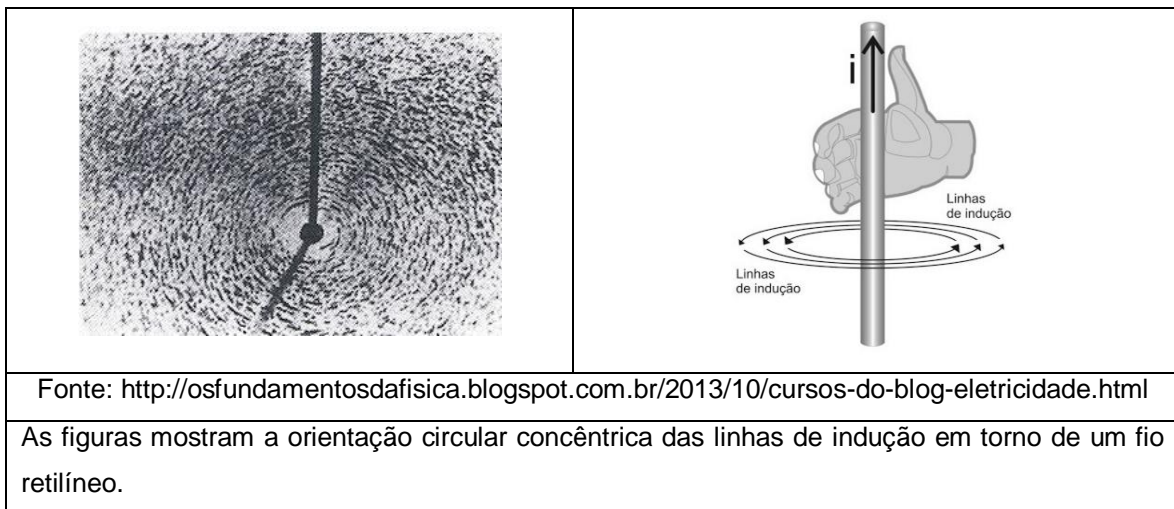
Em 1820, Oersted descobriu que as correntes elétricas criam ao seu redor campos magnéticos. Descoberta essa que se deu 20 anos após a pilha voltaica ser descoberta e através de um experimento tão simples mostrado a seguir, que pode inclusive gerar a pergunta: por que tal relação não foi descoberta antes?

Essa dificuldade de se mostrar a relação entre o movimento de cargas elétricas e campo magnético, está associada ao pensamento vigente de sua época, pois os cientistas achavam que todas as forças eram centrais, tais como a elétrica e a gravitacional.

Depois do conhecimento de uma nova realidade, foi que para comunidade científica passou a existir a unificação de estudos que aconteciam em paralelo, o Magnetismo e a Eletricidade.

Após as descobertas de Oersted, André-Maria Ampère (1775-1836) realizou muitas experiências para mostrar como se comportava o campo magnético em torno de condutores, entre elas jogou limalha de ferro nas proximidades de um fio percorrido por corrente e percebeu que elas mostravam uma forma espiralada em torno do fio.

Regra da mão direita envolvente



Hoje são conhecidas muitas das propriedades dos campos magnéticos e é sabido que ele é uma grandeza vetorial e há uma regra prática para determinar a sua direção e o seu sentido, que é a regra da mão direita envolvente, a qual consiste dos seguintes passos.

- ✓ Segurar o condutor com a mão direita, envolvendo-o com os dedos e mantendo o polegar apontado no sentido convencional da corrente elétrica;
- ✓ O sentido das linhas de campo é dado pela indicação dos dedos que envolvem o condutor, conforme mostra a figura a seguir:



O símbolo \otimes_B representa o vetor campo magnético entrando na superfície do papel enquanto o símbolo \odot_B o mostra saindo. Trata-se de uma maneira

simples de representar o vetor indução magnética que é tangente as linhas de indução, que por sua vez são circunferências concêntricas ao fio.

O módulo do vetor indução magnética vai depender das geometrias particulares de cada condutor e analisaremos aqui apenas o campo magnético gerado por um fio retilíneo. Então, se mantivermos a corrente constante, a intensidade do campo em função da distância (r) entre o ponto externo considerado e o condutor pode ser descrita pela relação descoberta por Ampère:

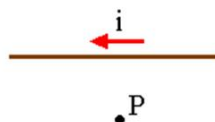
$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

Ou seja, o campo magnético produzido por um fio em suas proximidades é diretamente proporcional a intensidade da corrente elétrica (i) e inversamente proporcional à distância do ponto em que o campo foi medido até o fio.

Nessa equação μ_0 é uma constante chamada de permeabilidade magnética do vácuo, logo a equação será descrita com fatores diferentes, dependendo do meio em que o condutor está inserido.

Neste ponto do curso se pode perceber que um campo elétrico ao atuar sobre cargas elétricas faz com que elas se movimentem em circuitos elétricos. A corrente é capaz de gerar um campo magnético e no próximo capítulo vamos mostrar como os campos magnéticos irão atuar sobre cargas elétricas, pois as cargas que estão em movimento no rádio de galena sofrem a atuação simultânea de campos elétricos e magnéticos.

Ex2: A corrente elétrica em um pedaço de fio que faz com que o rádio funcione é simulada na figura a seguir pela seta. Marque a alternativa que melhor representa o vetor indução magnética \mathbf{B} no ponto P, gerado pela corrente elétrica que percorre o fio.

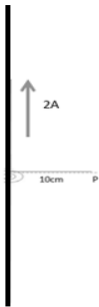


- a) $\otimes \vec{B}$ b) $\odot \vec{B}$ c) $\overleftarrow{\vec{B}}$ d) $\overrightarrow{\vec{B}}$ e) $\downarrow \vec{B}$

Ex3: Um condutor é percorrido, no vácuo, por uma corrente elétrica de intensidade 2A.

- a) Determine a intensidade e o sentido do vetor indução magnética num ponto P, localizado a 10cm do condutor. (Use $\mu_0=4.\pi.10^{-7}T.m/A$).
- b) Se o tamanho do fio aumentar, o campo no ponto P, também irá aumentar?

Resolução:



Dados: $i=2A$; $r=10ca=0,10m$; $\mu_0=4.\pi.10^{-7}T.m/A$

Obs.: Perceba o valor da constante está em unidades do Sistema Internacional e notará que a corrente elétrica deve ser usada em ampères, a distância ao fio em metros e a resposta do campo será dada em tesla (**T**), logo que é uma grandeza deste sistema.

Substituindo os valores na equação:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$$B = \frac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A} \cdot 2A}{2 \cdot \pi \cdot 0,10m}$$

então o módulo do vetor é:

$$B = 4 \cdot 10^{-6}T$$

A direção e o sentido serão dados pela regra da mão direita, logo no ponto P estará entrando no papel, conforme figura a seguir:

	<p>- Colocando o polegar vertical e para cima, que é a direção da corrente elétrica, e girarmos os demais em torno do fio, as pontas do dedo vão tender a entrar no papel a direita, logo o campo magnético está entrando no papel, por isso o símbolo $\otimes \vec{B}$</p>
--	---

b) Se analisarmos a equação perceberemos que o campo depende do meio em que o fio se encontra, representado por μ_0 , da intensidade da corrente (i) e da distância até o fio (r), portanto não irá variar se aumentarmos o fio.

Ex4-A figura representa dois fios bastante longos (1 e 2) perpendiculares ao plano do papel, percorridos por correntes de sentido contrário, i_1 e i_2 , respectivamente. A condição para que o campo magnético resultante, no ponto P, seja zero é



- a) $i_1=i_2$ b) $i_1=2i_2$ c) $i_1=3i_2$ d) $i_1=4i_2$ e) $i_1=5i_2$

Ao resolver tal exercício devemos ter em mente que a corrente em um fio deve ser oposta à do outro de modo que os campos tenham sentidos diferentes e também para que o campo magnético seja nulo os dois vetores devem ter o mesmo módulo, ou seja $B_1=B_2$, como será feito a seguir.

$$B_1 = B_2$$

$$\frac{\mu_0 \cdot i_1}{2 \cdot \pi \cdot r_1} = \frac{\mu_0 \cdot i_2}{2 \cdot \pi \cdot r_2}$$

Podemos cancelar alguns fatores e substituir os valores das distancias que são dadas em função de d , logo:

$$\frac{i_1}{2d} = \frac{i_2}{d}$$

Concluindo

$$i_1 = 2i_2 \text{ (letra b)}$$

Observação: em um tipo de exercício como este, sabendo que a intensidade do campo é diretamente proporcional a corrente e inversamente proporcional à distância, podemos concluir sem cálculos que se a distância é duas vezes maior, a corrente deve ser duas vezes menor.

Tarefa:

Descrever o campo magnético para condutores com outras simetrias, tais como espiras, solenoides e bobinas. Lembrando que para a descrição devemos levar em conta que o campo é um vetor, logo para defini-lo precisamos ter em conta o módulo, a direção e o sentido.

3 FORÇA MAGNÉTICA

3.1 FORÇA DE LORENTZ

No primeiro momento do curso foram analisados alguns conceitos iniciais de ondas; mostrou-se que elas transportam energia no espaço; tornam possível o funcionamento do rádio de galena e, no caso das eletromagnéticas, são variações de campos elétricos e magnéticos no tempo e no espaço.

Depois foi visto que os campos magnéticos, que já eram percebidos desde a Antiguidade, podem ser criados em laboratório pela movimentação de cargas elétricas, conceito que foi inicialmente trabalhado por Oersted.

Mas ao olhar para o circuito do rádio de galena não se pode perceber nenhuma fonte de energia elétrica ligada fisicamente a geradores que o faça funcionar, mas desde o estudo de Eletrodinâmica já se sabe que nos condutores sólidos existem elétrons livres que podem se movimentar.

Um pensamento possível para que o circuito funcione está na interação entre os elétrons do circuito com os campos eletromagnéticos gerados na emissora e que chegam à antena do rádio. E, de fato, esse movimento no circuito tem como fonte as ondas eletromagnéticas.

Por isso, o movimento dos elétrons tem uma componente gerada pelo campo elétrico e outra pelo campo magnético. Assim, parte do movimento dos elétrons tende à ser circular devido ao campo magnético, sendo que este não realiza trabalho (lembrando que as forças que atuam ortogonalmente ao deslocamento não realizam trabalhos).

Em 1882, o físico holandês Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), Prêmio Nobel de 1902, em um artigo mencionava ter encontrado a força sentida por uma partícula eletrizada em movimento em uma região caracterizada por um campo eletromagnético. Tal força é hoje denominada **força de Lorentz**.

A força de Lorentz é a soma das interações elétricas (\mathbf{F}_E) e das magnéticas (\mathbf{F}_m) que atuam em cargas elétricas na proximidade de campos eletromagnéticos. A força de origem elétrica foi estudada em Eletrostática, e lembrando, ela pode ser escrita da seguinte forma: $\mathbf{F}_E = q \cdot \mathbf{E}$, onde q é a carga pontual no espaço e \mathbf{E} é o campo elétrico no local.

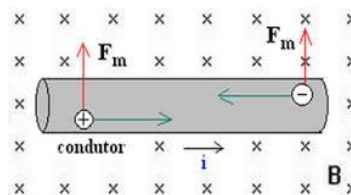
No rádio de galena, os campos eletromagnéticos gerados na emissora do sinal ao atingirem a antena iniciam a movimentação de cargas elétricas presentes no circuito. Esta força é a mesma que faz, por exemplo, os geradores elétricos alternados funcionarem.

Já o módulo da componente magnética da força magnética pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$F = |q| \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}\theta *$$

onde q é o módulo da carga elétrica, v é a velocidade da carga e \mathbf{B} a intensidade do campo magnético. Para corpos como os fios percorridos por corrente elétrica, conforme a figura a seguir, a componente magnética da força pode ser reescrita da seguinte forma a ser deduzida:

Fio retilíneo imerso em um campo magnético



Relembrando:

$$i = \frac{q}{\Delta t}, \quad \text{logo } q = i \cdot \Delta t \quad **$$

$$v = \frac{d}{\Delta t}, \text{ para um fio } v = \frac{L}{\Delta t} \quad ***$$

Substituindo ** e *** em *, tem-se

$$F = i \cdot \Delta t \cdot \frac{L}{\Delta t} B \cdot \text{sen}\theta$$

portanto, a força magnética em um fio é dada pela seguinte expressão:

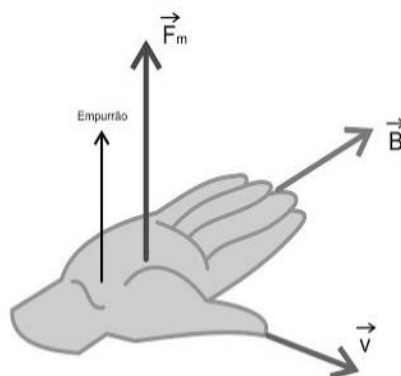
$$\mathbf{F} = \mathbf{B} \cdot i \cdot L \cdot \text{sen}\theta$$

onde i representa a intensidade da corrente elétrica, L o comprimento do fio e θ o ângulo entre a corrente e a direção das linhas de campo magnético.

Relembrando que força é um vetor, a equação fornece o módulo, mas para que a força magnética fique completamente definida precisamos ainda de sua direção e seu sentido, os quais são obtidos através de outra regra da mão direita denominada regra do tapa, que se constitui dos seguintes passos:

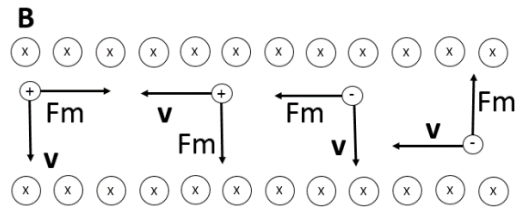
- ✓ Colocar o dedo polegar no sentido da velocidade (\mathbf{v}) ou da corrente elétrica (i);
- ✓ Os demais dedos devem sempre ser colocados no sentido do campo magnético \mathbf{B} ;
- ✓ Após a disposição coerente dos dedos o sentido da força elétrica será dado pelo tapa com a palma da mão, caso a carga seja positiva e as costas caso a carga seja negativa (ver ilustração a seguir).

Regra do tapa



Fonte: <http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2011/11/cursos-do-blog-eletricidade.html>

Para exemplificar, pode-se fazer uma análise da figura a seguir usando a regra da mão direita.



Caminhando na figura da esquerda para direita temos:

Situação 1: o polegar deve ficar vertical e para baixo, os demais dedos devem estar ortogonais entrando no papel. Como a carga é positiva, o tapa é dado pela palma da mão, por isso a força magnética é dada para a direita.

Situação 2: o polegar deve ficar horizontal e para direita, os demais dedos devem estar ortogonais ao papel (pois a direção e o sentido do campo são os mesmos), como a carga é positiva, o tapa é dado pela palma da mão, por isso a força magnética é dada para baixo.

Situação 3: análoga a situação 1, porém, como a carga é negativa, o tapa é dado pela costa da mão, por isso a força magnética é dada para a esquerda.

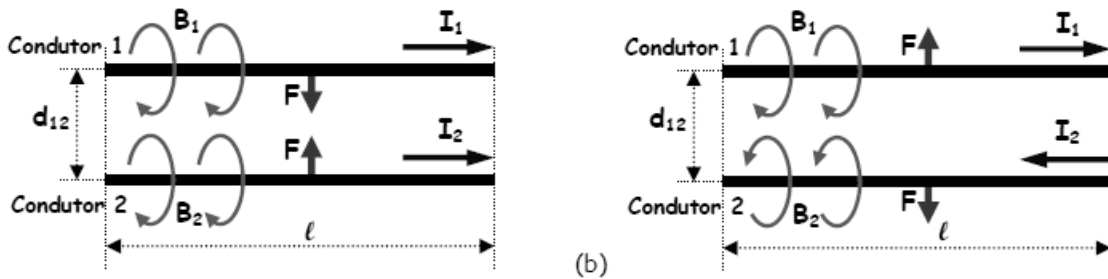
Situação 4: análoga a situação 2, porém, como a carga é negativa a força magnética é para cima.

3.2 FORÇA MAGNÉTICA ENTRE FIOS CONDUTORES PARALELOS

Ao ligar algum aparelho elétrico é comum perceber certa interferência no funcionamento do rádio ou da televisão. Como visto, cargas elétricas vão sofrer a atuação de campos magnéticos e desviar sua trajetória.

Para visualizar alguns efeitos mais visíveis da força magnética podemos combinar os resultados obtidos para o campo magnético produzido por uma corrente e a força exercida por um campo magnético atuando em um par de fios paralelos.

Para dois fios extensos e paralelos têm-se a circulação de duas correntes também paralelas, as quais chamaremos de i_1 a corrente que passa pelo fio 1 e i_2 a corrente no fio 2, conforme figura a seguir:



Fonte: <http://www.docsity.com/pt/fundamentos-de-eletromagnetismo-cefet-sc-apostilas-fisica-parte1/313766>

Cada fio está imerso no campo magnético do outro, para fazer uma análise pode-se considerar que o fio 2 está imerso no campo magnético do fio 1, logo pode-se escrever que a força magnética que o fio 1 coloca no 2 será dada pela seguinte expressão:

$$F_{12} = B_1 \cdot i_2 \cdot L \cdot \text{sen}\theta$$

Sabe-se também que o campo magnético gerado pelo fio 1 retilíneo é dado pela seguinte equação:

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

Substituindo na equação anterior, e lembrando que a corrente faz um ângulo de 90° com o campo magnético, que tem o valor do seno igual a 1, obtém-se o módulo da força com a expressão a seguir:

$$F_{12} = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

Agora para finalizar a direção e o sentido da força vamos usar a regra da mão direita e perceberemos que o fio 2 tenderá a se aproximar do fio 1. Tal regra fornece a direção da força elétrica entre os fios.

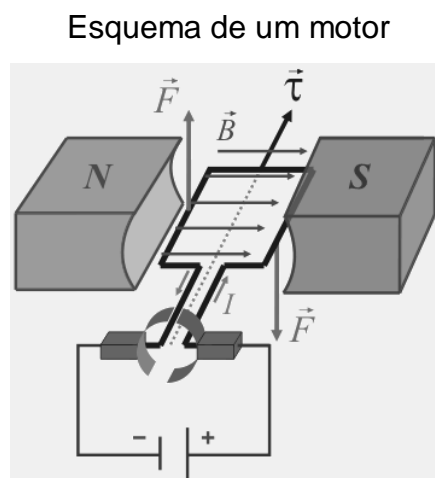
Caso seja feito o mesmo raciocínio analisando que o fio 1 está no campo do fio 2, obtém-se o mesmo resultado em módulo e também uma força de aproximação.

Pode-se então inferir que quando dois fios são percorridos por correntes na mesma direção a força elétrica será de aproximação. Caso contrário seria de afastamento.

3.3 EFEITO MOTOR

Acrescentando algumas informações relevantes de um curso de Eletromagnetismo, aqui é aberto um espaço para estudar a razão do porquê dos motores funcionam.

Para isso vamos analisar a figura a seguir:



Fonte: <http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/assignaturas/fisica/magnet/generador.html>

Esse esquema mostra como se dá a atuação das forças magnéticas fazendo uma espira retangular girar ao ser percorrida por uma corrente na presença de um campo magnético uniforme.

Lembrando que a força magnética é dada por $F = B \cdot i \cdot L \cdot \sin\theta$, onde θ é o ângulo entre a direção da corrente elétrica (i) e B a intensidade do campo magnético, podemos fazer as seguintes análises:

1- Os lados da espira que são paralelos a direção das linhas de indução não sofrem a atuação da força magnética, podemos sempre lembrar isso utilizando o valor do $\sin(0^\circ)$, que também é zero.

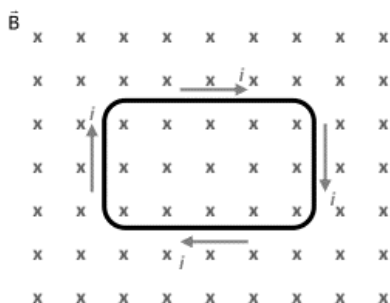
2- Entretanto os lados que estão perpendiculares as linhas de campo sofrem a força máxima, pois $\sin(90^\circ)$ tem seu valor máximo, então podemos escrever que $F = B \cdot i \cdot l$

3- Se usarmos a regra da mão direita iremos perceber que o lado esquerdo da espira sofre uma força vertical e para cima, enquanto o lado direito sofre uma força em sentido contrário.

4- Essas duas forças que formam um binário, e este conjunto de forças é o que faz um motor girar.

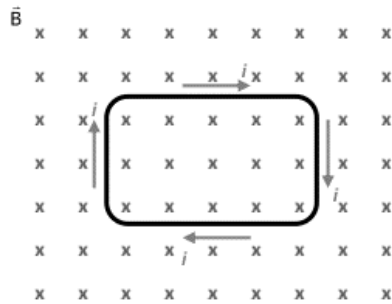
Assim é bom lembrar que cargas elétricas em movimento geram campos magnéticos, e vice-versa, capazes de movimentar cargas elétricas, de modo que fazem funcionar equipamentos robustos como os motores e, logicamente, o conjunto das forças elétricas e magnéticas também farão a movimentação dos elétrons no circuito do rádio e gerarão a possibilidade do seu funcionamento.

Ex1: Uma espira metálica retangular está imersa em um campo magnético uniforme, conforme figura abaixo:



Quando a espira for percorrida por corrente elétrica de intensidade i , no sentido horário, as forças magnéticas que atuam sobre ela tenderão a produzir:

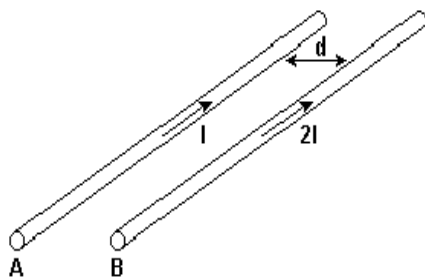
- a) deslocamento de toda a espira para a esquerda.
- b) movimento circular no sentido horário, através de um eixo vertical que passa pelo centro da espira.
- c) alargamento da espira.
- d) encolhimento da espira.



Resolução:
 Como as correntes dos lados opostos dos fios tem direção contrária, elas tenderão ao afastamento, por isso a espira tenderá a se alargar.

Ex2: Selecione a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto abaixo, na ordem em que elas aparecem. A figura a seguir representa dois fios metálicos paralelos, A e B, próximos um do outro, que são percorridos por correntes elétricas de mesmo sentido e de intensidades iguais a I e $2I$, respectivamente. A força que o fio A exerce sobre o fio B é, e sua intensidade é intensidade da força exercida pelo fio B sobre o fio A.

- a) repulsiva – duas vezes maior
- b) repulsiva – igual à
- c) atrativa – duas vezes menor do que
- d) atrativa – duas vezes maior do que
- e) atrativa – igual à



Resolução

- Como as correntes são paralelas a força é de atração.
- Ao calcularmos o módulo pela expressão:

$$F = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

verificaremos que o módulo será o mesmo.

Ex3: Um elétron que gera a imagem em um televisor move-se em um campo magnético com velocidade 10^7m/s . Sabendo que campo de indução magnética é de 2T e paralelo ao eixo do tubo, determine a intensidade da força magnética que atua sobre o elétron, nas seguintes situações:

- Quando se move na mesma direção e mesmo sentido do campo magnético.
- Se ele se movesse na mesma direção e no sentido contrário do campo magnético.
- Caso movesse fazendo um ângulo de 30° com o campo magnético.
- Na posição que a força magnética é máxima.

Resolução

Dados gerais: $v=10^7\text{m/s}$; $B=2\text{T}$, carga do elétron= $e=-1,6\cdot 10^{-19}\text{C}$

Equação para análise: $F = |q|.v.B.\text{sen}\theta$

a) Nesta situação o ângulo entre o campo magnético e a velocidade do elétron é 0° , e sabemos que o $\text{sen}(0^\circ)$ é zero, logo a força é nula. Podemos generalizar que todas as cargas elétricas que se movem na direção do campo magnético não sofrem interação com do campo.

b) Agora o ângulo entre o campo magnético e a velocidade do elétron é 180° , cujo valor do $\text{sen}(180^\circ)$ também é zero, logo a força é nula. Podemos generalizar como no caso anterior.

c) Para o ângulo de 30° vamos aplicar a equação.

$$F = |q|.v.B.\text{sen}\theta = 1,6\cdot 10^{-19}\text{C}\cdot 10^7\frac{\text{m}}{\text{s}}\cdot 2\text{T}\cdot \text{sen}(30^\circ)$$

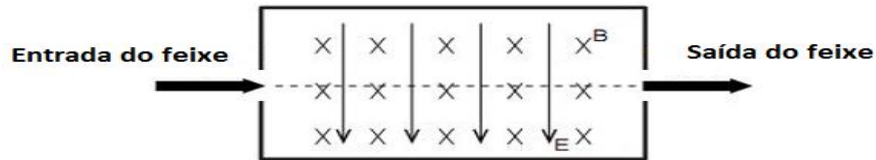
$$F = 1,7\cdot 10^{-16}\text{N}$$

d) A posição onde a força é máxima se refere a um ângulo de 90° , cujo valor é 1, que é o maior valor da imagem da função seno. Usando a equação:

$$F = |q|.v.B.\text{sen}\theta = 1,6\cdot 10^{-19}\text{C}\cdot 10^7\frac{\text{m}}{\text{s}}\cdot 2\text{T}\cdot 1$$

$$F = 3,4\cdot 10^{-16}\text{N}$$

Ex4: A figura mostra um seletor de velocidades. Ele consiste de uma câmara com vácuo onde existe um campo elétrico uniforme $E=3\times 10^5\text{N/C}$ e um campo magnético uniforme $B=2\text{T}$, perpendiculares. Um feixe de elétrons é perpendicular aos dois campos. Determine a velocidade dos elétrons que sairão do seletor.

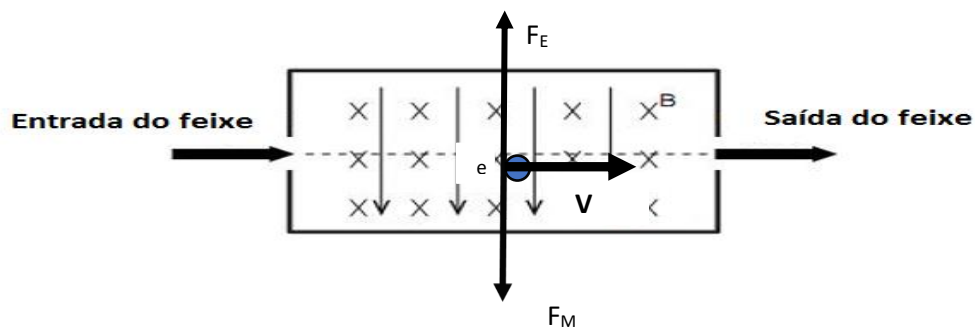


Resolução:

Dados: $E=3 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ e $B=2 \text{ T}$

Observação:

- ✓ Relembrando que a carga tem a tendência de se mover no sentido contrário as linhas de força (linhas do campo elétrico), então a força elétrica será vertical e para cima.
- ✓ Aplicando a regra da mão direita veremos que a força magnética atuará para baixo.
- ✓ Para que o elétron se mova em linha reta é necessário que a força resultante seja nula, logo o módulo da força elétrica deve ser igual ao módulo da força magnética.
- ✓ Lembrar que como o elétron é uma partícula elementar, poderemos desprezar a força gravitacional.



Então, aplicamos a equação de equilíbrio:

$$F_m = F_E$$

$$q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}(0^\circ) = q \cdot E$$

logo

$$v = \frac{E}{B} = \frac{3 \cdot 10^5 \text{ N/C}}{2 \text{ T}}$$

$$v = 1,5 \cdot 10^5 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 15.000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4 INDUÇÃO ELETROMAGNÉTICA

4.1- INTRODUÇÃO

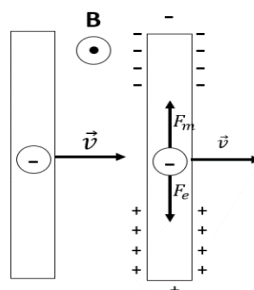
Durante o curso foi estudado que Oersted descobriu que correntes elétricas produzem campos magnéticos, baseados em tal descoberta, cientistas como Faraday e o Henry se preocuparam com a situação inversa, ou seja, obter correntes elétricas a partir de campos magnéticos.

Para entender o funcionamento do rádio de galena, é necessário perceber que a energia elétrica produzida na estação emissora é emitida por ondas com componentes elétricas e magnéticas, as quais são captadas pela antena e decodificadas pelo circuito do rádio.

As ondas emitidas pela radiodifusora nada mais são do que a variação de campos elétricos e magnéticos no espaço, então para estudar alguns dos seus efeitos veja, por exemplo, a movimentação de cargas elétricas através do deslocamento de um fio condutor em um campo magnético uniforme.

Suponha que o fio esteja inicialmente descarregado, isto significa que ele possui o mesmo número de prótons e elétrons, dentre os quais os elétrons livres são os únicos portadores de carga elétrica que podem migrar através do fio, conforme a figura a seguir:

Indução em um fio entrando em um campo magnético



Fonte: arquivo pessoal

Logo no instante em que ele inicia o movimento através do campo magnético as cargas elétricas ficam submetidas a uma força de origem magnética (F_m), cuja a direção e o sentido é dado pela regra do tapa.

Ao utilizar então a regra da mão direita, percebe-se que parte dos elétrons livre vão migrar para a parte superior do fio e então a parte inferior ficará carregada positivamente, criando desta forma um dipolo elétrico.

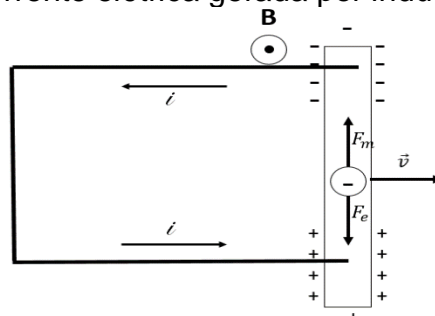
A partir desta nova distribuição de cargas elétricas nós poderemos perceber que as cargas elétricas ficarão submetidas a duas forças: a magnética (F_m) responsável pela movimentação e a elétrica (F_e) pois surgiu um dipolo elétrico.

Até o equilíbrio há o movimento dos elétrons, então dizemos que existe uma corrente elétrica induzida e, como consequência, dizemos que também há uma diferença de potencial induzida, que é denominada força eletromotriz induzida.

Apesar do nome força eletromotriz induzida, devemos ter cuidado, pois esse termo se refere a uma diferença de potencial, por isso durante o texto iremos utilizar o termo diferença de potencial induzida (ϵ).

Pode-se analisar agora um circuito que permite a circulação de corrente, como mostrado na figura a seguir:

Corrente elétrica gerada por indução



Fonte: arquivo pessoal

Neste caso há a circulação de cargas negativas através dos fios para a região de cargas positivas, e em uma situação em que a força magnética é igual a elétrica, podemos escrever:

$$\begin{aligned}F_e &= F_m \\|q|.E &= |q|.v.B \\E &= v.B\end{aligned}$$

Mas lembrando

$$E = \frac{U}{L} \text{ vamos chamar } U \text{ de } \varepsilon, \quad \text{pois é uma ddp induzida, então } E = \frac{\varepsilon}{L}$$

Substituindo

$$\frac{\varepsilon}{L} = v.B$$

Logo

$$\varepsilon = \mathbf{B} \cdot \mathbf{L} \cdot \mathbf{v}.$$

ou seja, a diferença de potencial induzida (ε) é proporcional ao produto de campo magnético externo (\mathbf{B}), o comprimento do fio (L) e sua velocidade (\mathbf{v}) relativa ao campo elétrico. Fenômeno similar, com uma análise mais sofisticada é o que gera a corrente elétrica que fará com que o rádio de galena funcione.

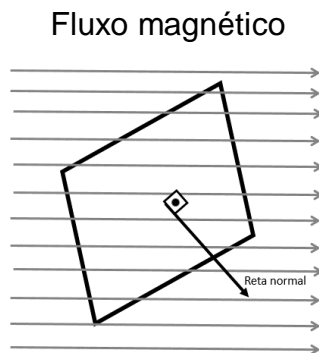
Esse mesmo efeito é que torna possível o desenvolvimento de geradores elétricos e transformadores os quais na atualidade são responsáveis pela geração e distribuição da maior parte da energia elétrica utilizada no mundo, seja por hidrelétricas, termoelétricas e usinas nucleares.

4.2 FLUXO MAGNÉTICO

Para compreender melhor a diferença de potencial induzida (ε), vamos definir uma grandeza escalar que denominaremos fluxo magnético que foi estudada por Faraday.

Vamos supor uma superfície plana e de área A na presença de um campo magnético uniforme e cujo vetor indução magnética seja representado por \mathbf{B} .

Consideremos a reta normal \mathbf{n} (reta que faz um ângulo de 90°) com a superfície e θ o que essa reta faz com a direção do campo magnético, como na figura a seguir:



Fonte: arquivo pessoal

A partir de tais parâmetros o fluxo magnético Φ (fi) é definido como o produto entre o vetor campo magnético, a área da superfície plana e o cosseno do ângulo θ , ou seja:

$$\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A} \cdot \cos\theta$$

A unidade de fluxo magnético no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o weber, em homenagem ao físico alemão que viveu no século XIX e, juntamente com Gauss e estudou o magnetismo terrestre.

Analisando atentamente, quando a reta normal está fazendo um ângulo de 90° com as linhas de campo não há linhas de indução atravessando a superfície. Caso a reta normal seja paralela, o fluxo tem o maior valor, pois as linhas de indução são ortogonais a superfície. Tal análise pode ser feita através da função seno, cujo valor para 0° é zero e para 90° é 1.

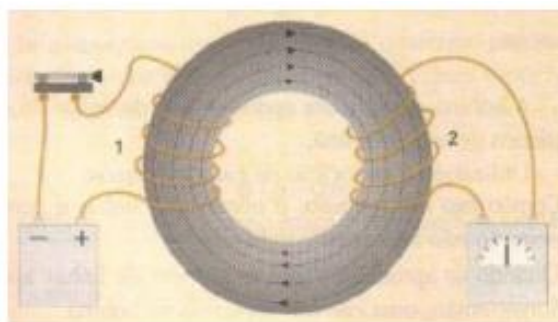
Assim, o fluxo magnético é uma grandeza que expressa o número de linhas de campo magnético (linhas de indução) que estão atravessando uma superfície fechada em determinado instante. Logo, quanto maior o número de linhas que atravessam a superfície maior será o valor do fluxo magnético.

4.3 LEI DE FARADAY

A partir de suas inúmeras experiências Faraday percebeu que em um circuito elétrico fechado se o fluxo magnético for alterado durante um certo intervalo de tempo, nele surgirá uma corrente elétrica induzida.

Faraday fez várias observações que serão descritas ao trabalhar com transformadores, como o mostrado na figura a seguir:

Corrente gerada por indução em bobinas



Fonte: <http://www.docsity.com/pt/fundamentos-de-eletromagnetismo-cefet-sc-apostilas-fisica-parte1/313766>

Observações:

- ✓ No instante em que a chave é fechada, o galvanômetro acusa uma pequena corrente de curta duração em um determinado sentido;
- ✓ Se a chave permanecer fechada, o galvanômetro não mais acusará corrente;
- ✓ Ao abrir novamente o circuito o galvanômetro volta a indicar uma corrente de curta duração, em sentido oposto;
- ✓ Quando um campo magnético criado pela corrente no enrolamento primário varia é gerada uma corrente no enrolamento secundário, que ocorre logo após a chave ser fechada;
- ✓ No momento que o campo magnético no enrolamento primário se estabiliza (se torna constante) a corrente acaba no secundário;
- ✓ Enquanto não há variação do campo magnético no enrolamento primário, não há corrente no enrolamento secundário;

✓ Durante a diminuição do campo magnético no enrolamento primário, é gerada uma corrente no enrolamento secundário, com sentido oposto à anterior.

A partir de tais observações foi possível a Faraday chegar à seguinte conclusão:

“A simples presença do campo magnético não gera corrente elétrica. Para gerar corrente é necessário variar fluxo magnético”.

Os experimentos mostraram algo que foi debatido anteriormente com um circuito mais simples, ou seja, se na região próxima a um condutor, bobina ou circuito elétrico houver uma variação de fluxo magnético, aparecerá nos seus terminais uma força eletromotriz induzida (ϵ) ou tensão induzida.

Caso o circuito elétrico esteja fechado, esta força eletromotriz induzida fará circular uma corrente elétrica induzida. Michael Faraday enunciou a lei que rege este fenômeno, chamado de indução eletromagnética e que relaciona a tensão elétrica induzida (fem) devida à variação do fluxo magnético num circuito elétrico. A Lei de Faraday diz o seguinte:

“Em todo condutor enquanto sujeito a uma variação de fluxo magnético é estabelecida uma força eletromotriz (tensão) induzida”.

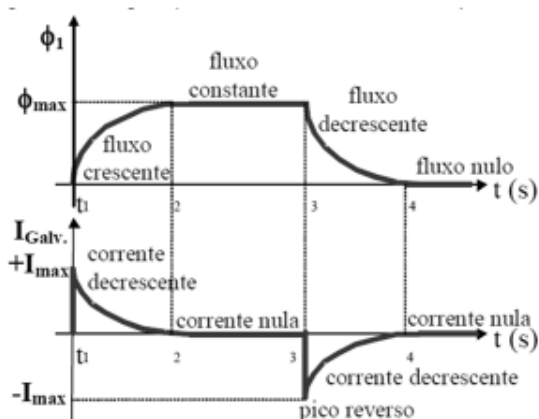
Assim, definiu a força eletromotriz induzida (ϵ) da seguinte forma:

$$\epsilon = \Delta\Phi / \Delta t$$

onde $\Delta\Phi$ é a variação do fluxo magnético e Δt o intervalo de tempo para essa mudança de fluxo.

O aparecimento da força eletromotriz foi denominado de indução eletromagnética e a expressão matemática acima ficou conhecida como a Lei de Faraday da indução eletromagnética. Podemos então fazer as análises dos fenômenos baseadas no gráfico a seguir:

Gráfico relacionando o fluxo magnético e o tempo de penetração em uma bobina



Fonte: <http://www.docsity.com/pt/fundamentos-de-eletromagnetismo-cefet-sc-apostilas-fisica-parte1/313766>

- ✓ Ao ligarmos a chave o circuito tem a maior variação de fluxo, portanto neste momento há o maior valor da corrente induzida;
- ✓ A medida que o fluxo diminui, o campo magnético cresce mais lentamente, fazendo com que a corrente caia lentamente;
- ✓ A partir do momento que o fluxo magnético não varia, a corrente induzida é nula;
- ✓ Ao desligar o circuito, há grande variação do fluxo magnético e é gerada uma corrente induzida no sentido contrário à daquela gerada ao ligar o circuito;
- ✓ Acabando o fluxo magnético, termina a corrente induzida.

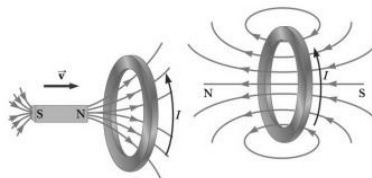
Completando a lei da indução proposta por Faraday, Lenz (1804-1865) adicionou o sinal negativo na equação da Lei de Faraday, e enunciou o fato de acordo com o seguinte enunciado.

“A variação do fluxo magnético induz um efeito (campo elétrico, voltagem, ou corrente induzida) que tende a anular esta variação”.

Tal enunciado nos permite saber a direção em que haverá a circulação da corrente, ou seja, a direção da voltagem e da corrente induzida como resultado da variação do fluxo.

Vamos considerar algumas situações possíveis:

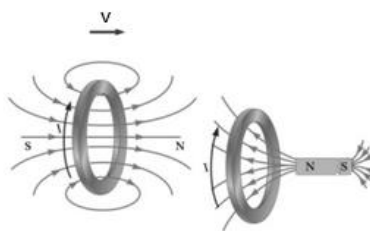
Indução de corrente pela aproximação do ímã



Fonte: Serway e Jewett Junior (2006)

- ✓ Se aproximar um ímã de uma espira, ele induzirá na espira uma corrente elétrica que gerará um campo magnético que tenderá a dificultar a aproximação. Relembrando da regra da mão direita, para que a espira gere um campo com linhas de indução em sentido contrário ao do ímã, a corrente na espira deverá circular de maneira a criar este campo.

Indução de corrente pelo afastamento do ímã



Fonte: Serway e Jewett Junior (2006)

- ✓ Se eu aproximo a espira do ímã, ele induzirá na espira um campo com características análogas a anterior.

Assim podemos fechar parte do assunto, para ir para uma análise um pouco mais sofisticada do rádio de galena. Para isso devemos ter em mente as seguintes observações:

- ✓ Cargas elétricas em movimento geram um campo magnético (cargas elétricas em repouso não geram campo magnético);

- ✓ Cargas elétricas em movimento em um campo magnético sofrem a atuação de forças magnéticas (para o repouso e para cargas que se movimentam na direção das linhas de indução a força é nula);
- ✓ Campos elétricos em movimento geram campos magnéticos;
- ✓ Campos magnéticos em movimento geram campos elétricos;
- ✓ Durante a propagação de campos elétricos e magnéticos no espaço um induz o outro e ambos se propagam no espaço, formando as ondas eletromagnéticas que vão se propagar no vácuo à velocidade da luz e fazer o rádio de galena funcionar.

4.4 EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

Ex1: (UFMG) A corrente elétrica induzida em uma espira circular será:

- a) nula, quando o fluxo magnético que atravessa a espira for constante;
- b) inversamente proporcional à variação do fluxo magnético com o tempo;
- c) no mesmo sentido da variação do fluxo magnético;
- d) tanto maior quanto maior for a resistência da espira;
- e) sempre a mesma, qualquer que seja a resistência da espira.

Resolução

- a) Essa é a alternativa correta, para isso devemos lembrar que para ter corrente é preciso ter um fluxo variável ($\varepsilon = -\Delta\Phi / \Delta t$), como o campo é constante não há corrente induzida.
- b) Errada, pois a equação mostra que a força induzida é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético.
- c) Errada, pois o sinal negativo mostra que a força eletromotriz tem sentido contrário a variação do fluxo, logo a corrente terá também sentido contrário.
- d) Errada, pois $\varepsilon = r.i$, logo quanto maior a resistência, mesmo com a mesma força eletromotriz induzida, menor será a corrente elétrica.
- e) Errada, mesmo motivo anterior.

Ex2: (UNIFESP-SP) A foto mostra uma lanterna sem pilhas, recentemente lançada no mercado. Ela funciona transformando em energia elétrica a energia cinética que lhe é fornecida pelo usuário - para isso ele deve agita-la fortemente na direção do seu comprimento. Como o interior dessa lanterna é visível, pode-se ver como funciona: ao agita-la, o usuário faz um ímã cilíndrico atravessar uma

bobina para frente e para trás. O movimento do ímã através da bobina faz aparecer nela uma corrente induzida que percorre e acende a lâmpada.



O princípio físico em que se baseia essa lanterna e a corrente induzida na bobina são, respectivamente:

- a) indução eletromagnética; corrente alternada.
- b) indução eletromagnética; corrente contínua.
- c) lei de Coulomb; corrente contínua.
- d) lei de Coulomb; corrente alternada.
- e) lei de Ampere; correntes alternada ou contínua podem ser induzidas.

Resolução:

Resposta: Letra a

O princípio que faz com que a corrente seja produzida é indução eletromagnética, pois ao manusear a lanterna há um movimento de “vai e vem” do ímã, como nesse movimento há a variação do fluxo hora em um sentido, hora em outro, a corrente induzida na bobina é alternada.

Ex3: Um campo magnético atua perpendicularmente sobre uma espira circular de raio 10cm, gerando um fluxo de indução magnética de 1Wb. Qual a intensidade do campo magnético?

Resolução

Sendo a área da espira:

$$A = \pi r^2$$
$$A = 3,14 \cdot (0,1)^2$$
$$A = 0,0314\text{m}^2$$

Então a intensidade do campo magnético pode ser calculada por:

$$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

$$B = \frac{\Phi}{A \cdot \cos\theta}$$

$$B = \frac{\Phi}{A} \cdot \sec\theta$$

$$B = \frac{1}{0,0314} \cdot \sec 0^\circ$$

$$B \cong 31,83T$$

Ex4: Uma espira quadrada de lado $R= 2\text{cm}$ é imersa em um campo magnético uniforme de intensidade $2T$. Qual é o fluxo de indução nessa espira em cada um dos seguintes casos:

a) o plano da espira é paralelo às linhas de indução;

Resolução

Neste caso, a reta normal à espira têm ângulo de 90° , e $\cos 90^\circ = 0$, portanto, ao aplicarmos este valor na equação, ele a anulará, fazendo com que o fluxo de indução seja nulo, ou seja $\Phi = 0$.

b) o plano da espira é perpendicular às linhas de indução;

Resolução

Neste caso, a reta normal à espira não formará ângulo com as linhas de indução ($\theta=0$), e $\cos 0^\circ=1$, portanto, ao aplicarmos este valor na equação faremos com que seu valor seja máximo, já que todos os outros valores do cosseno são menores que 1. Portanto:

$\Phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$	$\Phi = B \cdot A$
$\Phi = B \cdot A$	$\Phi = 2 \cdot 0,04$
Sendo $A=0,2^2=0,04\text{m}^2$	$\Phi = 0,08\text{Wb}$

5 FUNCIONAMENTO DO RÁDIO DE GALENA

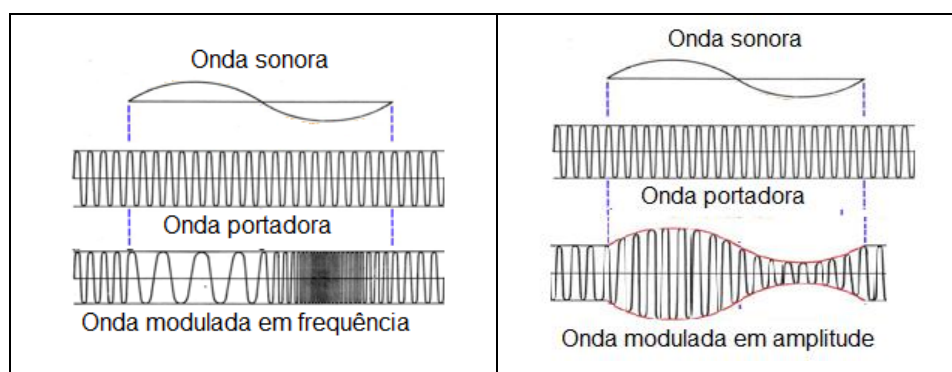
5.1 O TRANSPORTE DA ONDA CODIFICADA. MODULAÇÃO.

As ondas sonoras não podem ser enviadas a grandes distâncias, pois elas enfraquecem rapidamente e acabam por desaparecer, então para que o rádio de galena funcione é necessário transformá-las em ondas eletromagnéticas.

Para enviar alguma mensagem, as ondas necessitam variar ou alterar a cada momento algumas de suas características, tais como a amplitude, ou a frequência que se deseja transmitir. Estas mudanças sofridas pelas ondas para a transmissão de sinais de rádio são chamadas de modulação.

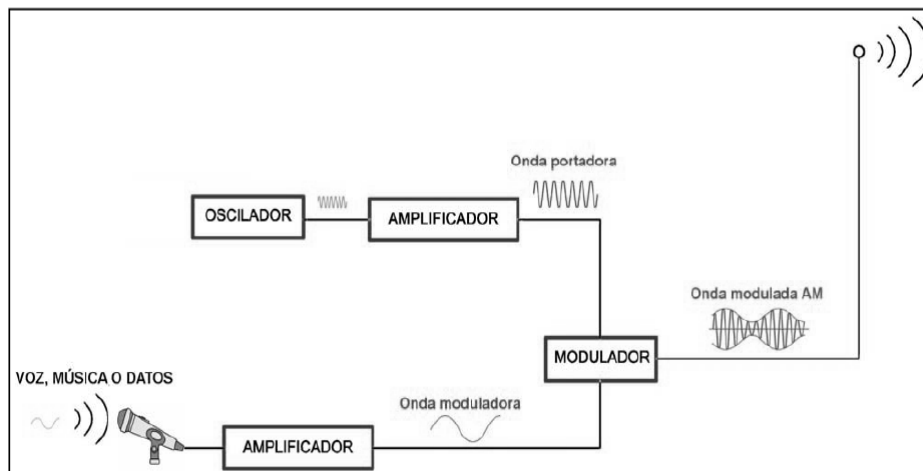
As rádios difusoras que modulam a frequência são denominadas FM (frequência modulada) enquanto as que modulam a amplitude são as AM (amplitude modulada).

Na modulação de AM, conforme a figura a seguir, associam-se sinais que representam a onda sonora (onda moduladora), com uma onda de maior frequência (onda portadora), formando-se então a onda modulada, que poderá ser recebida por antenas de comprimentos usuais.



Fonte: <http://aer.org.es/wp-content/uploads/2016/01/suple01.pdf>

Para entender melhor o processo de modulação pode-se analisar o esquema a seguir, que representa a modulação do sinal a ser recebido pelo rádio de galena:



Fonte: <http://aer.org.es/wp-content/uploads/2016/01/suple01.pdf>

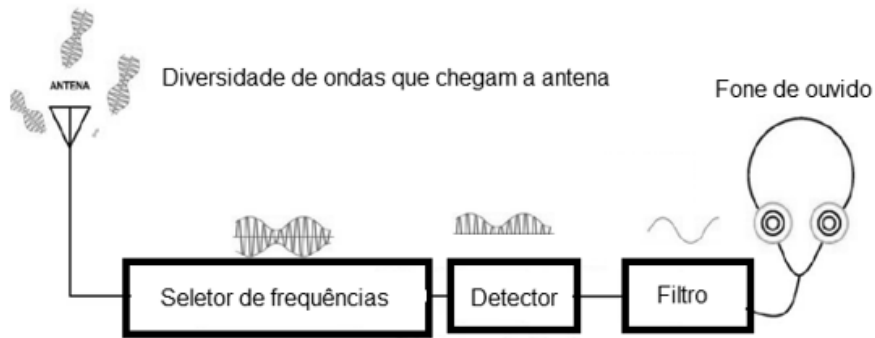
No microfone entra o sinal de áudio, o qual é transformado em um sinal elétrico de baixa frequência, cuja amplitude segue as oscilações de som. Este sinal é corretamente amplificado.

Em outro lado um oscilador local, gera um sinal elétrico sinusoidal de frequência predeterminada e uma amplitude constante. Então os dois sinais entram no modulador que os agrega formando a onda modulada de frequência conhecida, que é emitida. Essa frequência é aquela para a qual se deve ajustar o receptor de galena para ouvir a estação a ser sintonizada.

5.2- A RECEPÇÃO DO SINAL DE AM. A DEMODULAÇÃO.

A próxima figura mostra o processo de conversão de frequência, o qual que consiste na supressão do sinal negativo e que é realizada no diodo do receptor e, depois há a reprodução do mesmo som enviado pela rádio emissora. Todo este processo é, em síntese, a demodulação.

Na figura podemos ver, esquematicamente, o processo produzido no rádio de galena.



Fonte: <http://aer.org.es/wp-content/uploads/2016/01/suple01.pdf>

A antena captura todo o espectro de rádio simultaneamente. Então, o seletor de frequência permite apenas que uma frequência atravesse o circuito, com os outros sinais aterrados.

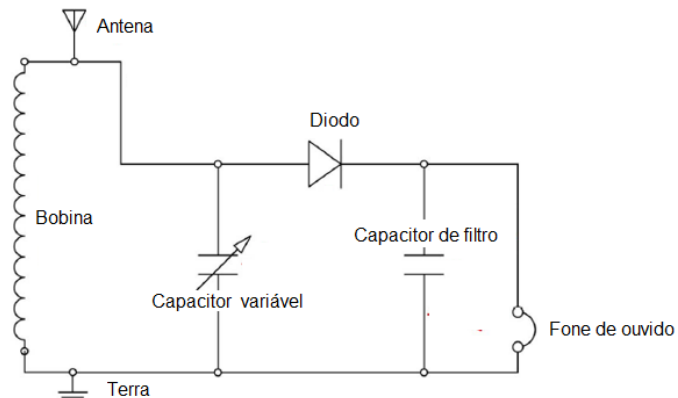
Em seguida, o circuito de detecção através do diodo deixa passar apenas os sinais elétricos de mesmo sinal, e o filtro passa-baixas separa os sinais da onda moduladora e o da onda portadora, apenas o sinal de áudio que é aplicado aos autofalantes de alta impedância, gerando novamente as ondas sonoras iniciais.

O sinal demodulado é muito fraco e caso se utilize apenas fones de ouvido normais cuja impedância é muito baixa, o sinal vai dissipar sem produzir nenhum som. Para conseguir que a estação sintonizada seja escutada, deveremos usar um amplificador de áudio.

Uma solução que funciona muito bem, e serve para salvar a inconveniência de encontrar fones de ouvido de alta impedância, é a utilização de um conjunto de alto-falantes alimentado, como são utilizados para amplificar o sinal de som computador ou um MP3 player portátil.

5.3 DIAGRAMA DO CIRCUITO DE UM RÁDIO GALENA

Veja a seguir o diagrama de um rádio de galena:



Fonte: <http://aer.org.es/wp-content/uploads/2016/01/suple01.pdf>

- 1- Circuito de sintonia: circuito ressoante formado por uma bobina e um capacitor, sendo que pelo menos um deles deve ser variável.
- 2- Circuito detector que retifica por meio do diodo o sinal, ou seja, a parte negativa da onda é eliminada.
- 3- Circuito de filtro, que envia o sinal da portadora a terra (capacitor cerâmico)

Além destes itens internos, há outras partes externas essenciais à configuração, como a antena e o aterramento.

5.4 EXPLICAÇÃO TEÓRICA DO ESQUEMA DO RÁDIO GALENA

5.4.1 Circuito de sintonia: é a parte do circuito que permite selecionar uma frequência do espectro de rádio que está cruzando a antena, sendo formado pela bobina e o capacitor de sintonia (capacitor variável).

O princípio de funcionamento é baseado num fenômeno elétrico que ocorre, para uma dada frequência, entre um capacitor e a bobina ligadas em paralelo: a ressonância.

Para continuar a análise, deve-se entender o funcionamento dos capacitores e das bobinas individualmente, para depois associá-los ao circuito de sintonia.

Capacitores: algumas de suas aplicações são armazenar energia, bloquear a passagem de corrente contínua e permitir a passagem da corrente alternada de um circuito para outro.

<p>Associação de um capacitor a um acumulador de energia</p>	<p>Esquema capacitor</p>	<p>Capacitor axial</p>
<p>Fonte: http://www.anzo.com.br/downloads/Apostila-Resistor-Capacitor-v1.0.pdf</p>		

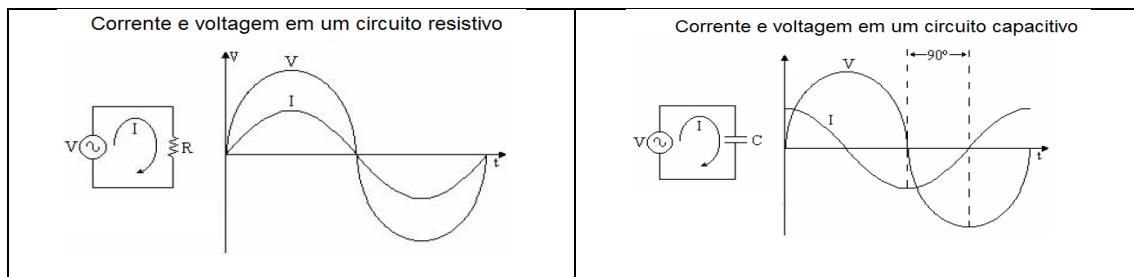
Em diferentes circuitos eletrônicos de rádio sempre encontramos corrente contínua e corrente alternada operando em conjunto, tornando-se possível o desempenho global do dispositivo.

A ação de um capacitor frente à corrente contínua se manifesta somente nos instantes em que ele se conecta e desconecta a tensão, depois passa a atuar como um circuito aberto que não deixa a corrente fluir.

Já ao aplicarmos uma corrente alternada, a corrente varia periodicamente a polaridade, logo as placas ficam alternadamente positivas e negativas e a corrente irá fluir no circuito permanentemente.

Um efeito de um capacitor em circuitos alternados é produzir um atraso na fase da tensão em relação à corrente. A causa deste fenômeno é que a voltagem acumulada nas placas é oposta ao sinal de fonte, em outras palavras, um capacitor se opõe a mudanças na tensão, fenômeno chamado de reatância e, neste caso, especificamente reatância capacitiva.

Em um circuito contendo apenas resistência, a tensão aplicada e a corrente que circula estarão sempre em fase. Isto significa que os valores máximos e mínimos nas curvas de valores de tensão e de corrente acontecem ao mesmo tempo e sempre com a mesma polaridade.



Fonte: <http://aer.org.es/wp-content/uploads/2016/01/suple01.pdf>

Em um circuito resistivo, o efeito da corrente é o mesmo se submetido à corrente alternada ou de corrente contínua. No entanto, se for colocado um capacitor, a tensão se atrasa em relação à corrente.

A tensão no circuito condensador sofre uma defasagem ou atraso de 90° em relação à corrente, por isso, quando a corrente atinge o seu valor máximo, a tensão tem o seu valor mínimo e vice-versa conforme o gráfico acima.

Essa diferença que gera no capacitor uma oposição à corrente é um tipo de resistência elétrica, a reatância capacitiva (X_c). Ela gera uma defasagem entre a corrente e a tensão.

Por isso, um capacitor variável funciona como uma resistência variável para tensões de sinal de corrente alternada e cujo valor em ohms depende da frequência do sinal. Este comportamento é importante e é o que torna possível o funcionamento de muitos dos circuitos de rádio.

A reatância capacitiva (X_c) pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

onde f é a frequência da voltagem alternada e C a capacitância do circuito.

Bobinas: componentes formados por várias espiras de metal, que podem ter um núcleo sólido, que é normalmente de ferro ou ferrite, caso contrário é dito ter núcleo de ar. Nelas desenvolvem tensões induzidas, fenômeno de oposição às

variações da corrente elétrica, ou seja, se a corrente no circuito é aumentada ou diminuída e ele tem uma bobina, ela se opõe à subida ou descida da corrente. Esta oposição apresentada é chamada indutância, ela é medida em henry e é representado pela letra H.

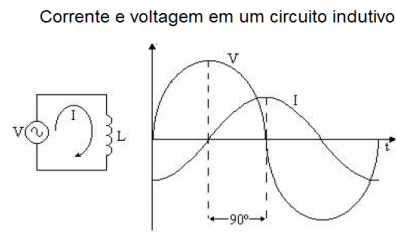
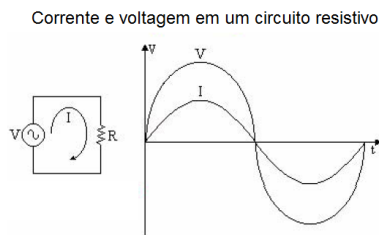
A indutância de uma bobina depende das características geométricas das espiras. Um diâmetro maior possui maior indutância e um maior número de voltas, igualmente. A indutância de uma bobina também aumenta quando ela tem um núcleo de ferro ou outro material magnético e é maior do que quando se tem núcleo de ar.

Devido a uma bobina só reagir com as alterações da corrente, ela não se opõe à corrente contínua (DC), ou seja, de modo geral a corrente contínua passa sem que a bobina gere qualquer resistência.

Porém, quando é aplicada uma tensão alternada em uma bobina, ela produzirá um campo magnético que é continuamente variável. Portanto, devido ao fenômeno de autoindução, existirá também uma tensão contrária e permanentemente induzida em oposição à direção principal da corrente alternada.

Esta oposição que uma bobina oferece as variações de corrente alternada é chamada reatância indutiva (X_L) e é medida em ohms. A reatância indutiva dependente de frequência do sinal e da indutância da bobina.

Em uma bobina, ao contrário de um capacitor, a corrente está defasada em relação à tensão. Este atraso é porque a corrente aumenta de zero ao seu valor máximo, e neste aumento ocorre uma maior indução da tensão, tornando seu valor máximo.



Fonte: <http://aer.org.es/wp-content/uploads/2016/01/suple01.pdf>

A reatância indutiva (X_L) de uma bobina pode ser calculada com muita facilidade pela seguinte fórmula:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

onde f é a frequência em Hz da voltagem alternada e L é a indutância em henry.

5.5 A RESSONÂNCIA

Em um circuito que tem um capacitor e uma bobina em paralelo, se a reatância indutiva da bobina é igual à reatância capacitiva do condensador, um fenômeno curioso conhecido como *ressonância* é produzido, no qual os sinais alternados do condensador e bobina são cancelados.

Tais circuitos são os que tornam possível o ajuste e a amplificação de um sinal de rádio único, o qual é selecionado a partir das ondas que chegam à antena do receptor de rádio em um determinado momento.

Um circuito resistor, indutor e capacitor (RLC) em paralelo ressoa a uma frequência em particular apenas quando as duas reatâncias são iguais, ou seja, quando a reatância capacitiva do capacitor é igual à reatância indutiva da bobina:

$$X_C = X_L$$

Quando os efeitos do capacitor e da bobina se anulam, eles agem como um circuito aberto, fato para uma frequência particular de sintonia: à frequência de ressonância, que é a única que chegará no circuito detector.

É possível criar um receptor de galena usando um capacitor e uma bobina variáveis, e podemos ajustá-los a uma determinada frequência de ressonância com a seguinte equação:

$$X_L = X_C$$
$$2.\pi.f.L = \frac{1}{2.\pi.f.l}$$

finalmente,

$$f = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}}$$

Ex: Suponhamos que temos o circuito de sintonia de um rádio, que compreende um capacitor variável e uma bobina de 170 μH (micro-henry) ligados em paralelo. Determine a frequência de ressonância, ou seja, a frequência da estação a ser sintonizada se o capacitor estiver marcando 150 pF (picofarads).

Resolução

Dados: $L=1.10^{-6}\text{H}$ e $C=150.10^{-12}\text{F}$)

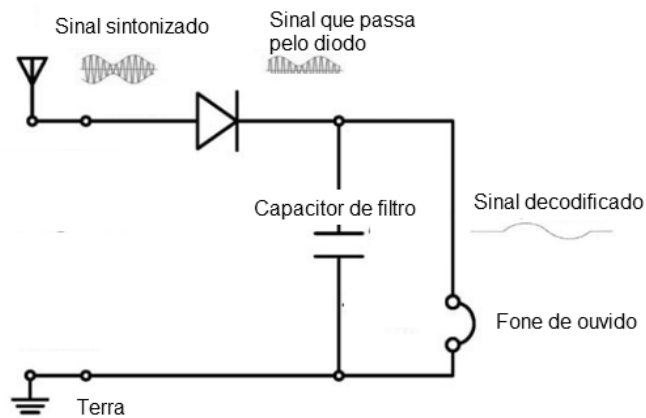
Aplicando a equação:

$$f = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{L.C}} = \frac{1}{2.\pi.\sqrt{170.10^{-6}\text{H}.150.10^{-12}\text{F}}} \cong 10^6\text{Hz} = \mathbf{1000\text{kHz}}$$

O que significa que nesta posição a estação de transmissão só será captada se emitir sinais na frequência de 1000 KHz.

5.5 CIRCUITO DE DETECÇÃO

O circuito de detecção é a parte do circuito que permitirá decodificar o sinal sintonizado. Ele é composto por um diodo, um capacitor e um fone, conforme o esquema a seguir:

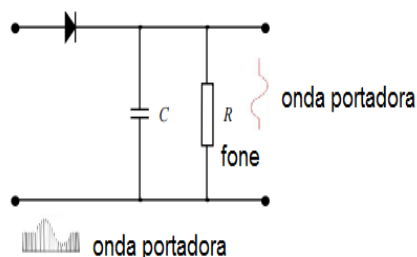


O diodo é um dispositivo eletrônico de semicondutores. É em essência um mecanismo que permite passar corrente elétrica em apenas uma direção, enquanto bloqueia a passagem no sentido oposto.

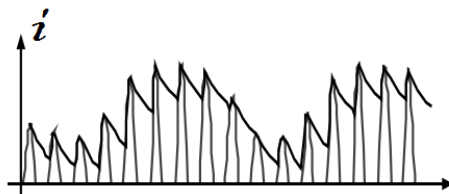
Tal efeito é aplicado sobre a onda radial chegando através da antena. Como já discutido, a onda moduladora "cavalga" sobre a onda portadora, mas ele faz em duplicata, ou seja, no lado positivo e simetricamente no lado negativo.

Usa-se o diodo para eliminar o lado negativo e ficar apenas com o positivo, por isso vamos ter uma onda com frequência igual a sonora se eliminamos o sinal da portadora. Na figura anterior, é mostrada visualmente esta descrição.

Na última fase do nosso receptor temos que separar a onda portadora que será convertida no sinal sonoro da onda moduladora que é um sinal contínuo de maior frequência. Para isso é utilizado o capacitor de filtro passa-baixas que é formado pelo capacitor e a resistência dos fones de ouvido, representado a seguir:



Colocando-se o capacitor de filtro ele irá se carregar durante o semiciclo positivo da portadora e se descarregar no intervalo entre os picos positivos, conforme mostrado:



Fonte: modificado de <http://www.decom.fee.unicamp.br/~baldini/EE882/Exp5.pdf>

Desse modo apenas o sinal elétrico da onda portadora continua no circuito e ao passar pelo campo magnético gerado pelos ímãs do fone restaura o som, que será percebido pelos ouvidos.

Finalizando então, observa-se, esquematicamente, o funcionamento e as transformações que sofrem os sinais ao passar através dos diferentes elementos do rádio de galena, até que possamos ouvir o som em nossos fones de ouvido de alta impedância.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGELO STEFANOVITS (Ed.). **Ser Protagonista 3: Manual do professor**. 2. ed. São Paulo: SM, 2013.

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 2, n. 25, p.176-194, jun. 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v25n2/a07v25n2.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2006.

BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas; DOCA, Ricardo Helou. **Física 3: Manual do professor**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

BONDIORNO, José Roberto et al. **Física 3: Eletromagnetismo-Física Moderna: Manual do professor**. 2. ed. São Paulo: Ftd, 2013.

CARLI, Eloir de. **Lei da indução de Faraday**. 2012. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=kPG5oYUnP5c>>. Acesso em: 30 abr. 2016.

EE882 – LABORATÓRIO DE COMUNICAÇÃO I - EXPERIÊNCIA 5 - Demodulação. Disponível em: <<http://www.decom.fee.unicamp.br/~baldini/EE882/Exp5.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2016.

Experiência de Oersted Eletromagnetismo Física. 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zJiTpg_9uno>. Acesso em: 03 abr. 2017.

GERICKE, Gerda. **1888: Hertz demonstra existência das ondas eletromagnéticas**. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt-br/1888-hertz-demonstra-existência-das-ondas-eletromagnéticas/a-678473>>. Acesso em: 3 abr. 2016.

GONÇALVES FILHO, Aurélio; TOSCANO, Carlos. **Física: interação e tecnologia 3: Manual do professor**. São Paulo: Leya, 2013.

GUIA de Mídia. Disponível em: <<http://www.guiademidia.com.br/radios/brasil/espirtosanto.htm>>. Acesso em: 06 maio 2017.

LADIF - UFRJ. **Eletricidade - Força Magnética**. 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=2wgonO9i-Bk>>. Acesso em: 03 maio 2016.

LOURADOUR, Frédéric. **Corde de melde**. 2007. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=4BoeATJk7dg>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

MUSSOI, Fernando Luiz Rosa. **Fundamentos de Eletromagnetismo**. Florianópolis: 2005. Disponível em:

<<http://www.docsity.com/pt/fundamentos-de-eletromagnetismo-cefet-sc-apostilas-fisica-parte1/313766/>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

NETTO, Luiz Ferraz. **Teoria Elementar do Magnetismo**. Disponível em: <http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_t01.asp>. Acesso em: 04 mar. 2016.

OS FUNDAMENTOS DE FÍSICA: Cursos do Blog - Eletricidade. Cursos do Blog - Eletricidade. 2011. Disponível em: <<http://osfundamentosdafisica.blogspot.com.br/2011/11/cursos-do-blog-eletricidade.html>>. Acesso em: 04 maio 2017.

PROCESSOS FÍSICOS - MAGNETISMO. 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=9uKrKYaXlE>>. Acesso em: 06 abr. 2016.

SANTANA, Blaid et al. **Conexões com a Física 3: Manual do professor**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2013.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JUNIOR, John W.. **Princípios de Física**: volume 3. São Paulo: Thomson, 2006.

SILVA, Domiciano Correa Marques da. **Campo magnético terrestre**. Disponível em: <<http://alunosonline.uol.com.br/fisica/campo-magnetico-terrestre.html>>. Acesso em: 04 maio 2016.

UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER (Colorado). **Phet**: Interactive Simulations. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_pt_BR.html>. Acesso em: 05 jun. 2016.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o ensino médio 3: manual do professor**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

APÊNDICE – ROTEIRO DE ONDAS EM UMA CORDA

IFES- CAMPUS VITÓRIA

CURSO DE ELETROMAGNETISMO

PROFESSOR: Amauri Marques dos Reis

DATA DE ENTREGA:

Nome	Número

ROTEIRO - ONDA EM UMA CORDA

1- Ative a régua e alinhe a marcação zero com a linha laranja.

2- Varie as amplitudes para os valores tabelados e compare o que acontece com o mecanismo que gera as ondas e faça as simulações para os valores.

	Amplitudes em cm				
0	0,20	0,40	0,80	1,20	1,60

3- O que varia com a mudança do valor de amplitude?

4-Conceitue amplitude.

5- Varie as frequências para os valores tabelados e compare o que acontece com o mecanismo que gera as ondas e faça as simulações para os valores.

	Frequência (Hz)				
0	0,45	0,90	1,35	1,80	2,25

3- O que varia com a mudança do valor da frequência?

4-Conceitue frequência.

Site do simulador: https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-on-a-string/latest/wave-on-a-string_pt_BR.html