

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO BAIXO TOCANTINS
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA INDUSTRIAL

UBALDO NAHUM FERREIRA FILHO

**APLICAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM RADIO FM E A
IMPORTÂNCIA DA PROPAGAÇÃO DESSAS ONDAS NOS MEIOS DE
TELECOMUNICAÇÃO**

ABAETETUBA - PA

2017

UBALDO NAHUM FERREIRA FILHO

APLICAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM RADIO FM E A
IMPORTÂNCIA DA PROPAGAÇÃO DESSAS ONDAS NOS MEIOS DE
TELECOMUNICAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Pará, *Campus* Universitário do Baixo Tocantins, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Industrial, sob a orientação do Prof. Dr. José Francisco da Silva Costa.

ABAETETUBA - PA

2017

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

F383a Ferreira Filho, Ubaldo Nahum.
Aplicação das ondas eletromagnéticas em radio FM e a
importância da propagação dessas ondas nos meios de
telecomunicação / Ubaldo Nahum Ferreira Filho. — 2017.
56 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Francisco da Silva Costa
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Abaetetuba, Curso de
Engenharia Industrial, Abaetetuba, 2017.

1. Ondas eletromagnéticas. 2. Espectro eletromagnético. 3.
Transmissor de ondas de rádio FM. 4. Montagem. 5.
Telecomunicação. I. Título.

CDD 620


UBALDO NAHUM FERREIRA FILHO

**APLICAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM RADIO FM E A
IMPORTÂNCIA DA PROPAGAÇÃO DESSAS ONDAS NOS MEIOS DE
TELECOMUNICAÇÃO**

Esse Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado e Aprovado para obtenção do Título de bacharel em Engenharia Industrial pelo corpo docente da faculdade de ciências exatas e tecnologia da Universidade Federal do Pará, *Campus* Universitário do Baixo Tocantins.

Abaetetuba, 31 de Maio de 2017

Conceito: *EXCELENTE*.


Prof.^o Dr. José Francisco da Silva Costa
UFPA/ABAETETUBA
(Presidente / Orientador)


Prof.^o Dr. Sebastião Martins Siqueira Cordeiro
UFPA/ABAETETUBA
(Membro)


Prof.^o Me Samuel Maciel Correa
UFPA/ABAETETUBA
(Membro/Coorientador)

Aos meus queridos Pais pelo amor, carinho e dedicação no sentido de proporcionar condições que me conduziram a essa importante etapa da minha vida, que apesar de todas as dificuldades e obstáculos que surgiram durante toda essa longa e árdua caminhada, ajudaram-me a atingir mais essa etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela força, saúde e sabedoria para que pudesse seguir em frente na busca da realização dos sonhos e objetivos, dando-me forças para vencer as dificuldades que surgiram no decorrer do curso.

Aos meus queridos pais, pelo amor incontestável, incentivo e afeto contínuo durante esses longos anos.

Aos professores que fazem parte da FACET que colaboraram para ampliar os meus conhecimentos e minha formação como educadora e serem sempre prestativos a todos os estudantes no decorrer da graduação.

Ao meu Orientador Prof.^a Dr. José Francisco da Silva Costa, pela dedicação e responsabilidade, essenciais para a construção desse trabalho.

Aos meus colegas e amigos da turma de Engenharia Industrial 2012, em que sempre fizeram parte da minha vida como grandes companheiros.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

O estudo teve como princípio fundamental realizar uma aplicação das ondas eletromagnéticas em rádio FM e a importância da propagação dessas ondas nos meios de telecomunicação. Para tal, foi realizada a montagem de um transmissor de rádio FM na faixa de 87,5MHz a 108MHz para mostrar a relevância da aplicação das ondas eletromagnéticas nesse pequeno dispositivo e ao mesmo tempo, considerar a utilidade nas telecomunicações que de um modo amplo é essencial para o desenvolvimento das tecnologias. Todavia as equações básicas da teoria eletromagnética têm seu fundamento em inúmeras aplicações de grande utilidade para o desenvolvimento científico e tecnológico. Dessa forma o trabalho propõe desenvolver um estudo das camadas da atmosfera para explicar como ocorre a transmissão de ondas eletromagnéticas, possibilitando a comunicação e as possíveis transmissões em aparelhos de TV digital e outros dispositivos de caráter tecnológico, como celulares e GPS. Vale ainda considerar que o fenômeno das ondas eletromagnéticas ocupa uma enorme faixa de valores de comprimento no espectro eletromagnético e para abordar cada faixa é necessário um estudo detalhado para cada faixa, bem como as inúmeras aplicações que se podem observar em diferentes ramos científicos. No entanto, esse trabalho vem abordar apenas a montagem de transmissor de rádio FM tendo em vista a aplicação de uma pequena faixa do espectro com intuito de mostrar a relevância para a comunicação e desenvolvimento tecnológico tendo como ênfase as equações básicas de Maxwell.

Palavras-Chaves: Ondas eletromagnéticas. Espectro eletromagnético. Transmissor de ondas de rádio FM. Montagem. Telecomunicação.

ABSTRACT

The study had as fundamental principle to realize an application of the electromagnetic waves in an FM radio and the importance of the propagation of these waves in the means of telecommunication. For this, an FM radio transmitter was built in the range of 87,5MHZ to 108MHZ to show the relevance of the application of electromagnetic waves in this small device and at the same time, consider the utility in telecommunications that in a broad way is essential for the development of technologies. In this way the basic equations of electromagnetic theory have own basis in numerous applications of great utility for the scientific and technological development. Thus the work proposes to develop a study of the layers of the atmosphere to explain how the transmission of electromagnetic waves occurs, enabling communication and possible transmissions in digital TV sets and other devices of a technological nature, such as cell phones and GPS. It is also worth considering that the electromagnetic wave occupies an enormous range of values of wavelength in the electromagnetic spectrum and to analyse each band of it, it is necessary a detailed study of each band as well as the innumerable applications that can be observed in different scientific branches. However, this work addresses only the FM radio transmitter to the application of a small band of the spectrum in order to show the relevance for the communication and technological development, with emphasis on the basic equations of Mawxell.

Keywords: Electromagnetic waves. Electromagnetic spectrum. FM Radio Wave Transmitter. Assembly. Telecommunication.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	O campo eletromagnético pode ser estabelecido na ausência de material. A radiação propaga-se no espaço vazio.....	17
Figura 2	Usa-se a lei de Gauss para a determinação do campo de uma distribuição a esférica de carga.....	20
Figura 3	Campo elétrico produzido por uma linha de carga com densidade linear uniforme.....	20
Figura 4	Ondas de rádio, Ionosféricas, Troposferas e Terrestres. Propagam-se na atmosfera.....	24
Figura 5	Camadas atmosféricas terrestre são localizadas entre 0 e 1000 km de altitude e divididas de acordo com o seu perfil de temperatura.....	30
Figura 6	Faixa do espectro eletromagnético.....	32
Figura 7	Intervalo de frequência dos diferentes valores das ondas de radio.....	35
Figura 8	Modulação por amplitude da onda.....	38
Figura 9	Modulação por frequência da onda.....	41
Figura 10	Placa de cobre com circuito desenhado com uma caneta especial especifica para circuito.....	46
Figura 11	Solução de percloroeto de ferro que provoca corrosão da placa de cobre.	47
Figura 12	Eliminação do cobre quando despejado por percloroeto de ferro sobre a placa.....	47
Figura 13	A parte escura representa a predominância de cobre e a outra parte, um isolante para os elementos do circuito.....	48
Figura 14	Presença de diferentes furos na parte escura da placa para inserção dos elementos e posterior soldagens.....	49
Figura 15	Placa pronta para ser usada como base para colocação dos elementos do circuito.....	50
Figura 16	Capacitor polarizado e Resistores como elementos principais para a geração de corrente no circuito.....	50
Figura 17	Outros elementos relevantes do circuito. (a) Montagem do circuito, (b) Introdução da bateria capacitor ajustável, (c) Sinal de áudio.....	51
Figura 18	Esquema elétrico de um simples transmissor FM.....	52
Figura 19	(a) A onda portadora (verde) e a informação (vermelho), (b) à onda modulada em frequência (azul).....	52

LISTAS DE TABELA

Tabela 1	Valores em megahertz das diferentes faixas de frequências de dispositivos que utilizam ondas de rádios.	36
Tabela 2	Divisões das ondas AM de acordo com a Agencia Nacional de Telecomunicações.....	40
Tabela 3	Elementos relevantes para a montagem do rádio FM.....	45

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
CAPÍTULO 1	16
EQUAÇÕES DE MAXWELL E O MECANISMO DE PROPAGAÇÃO	16
1.1 As equações de Maxwell e as ondas Eletromagnéticas	16
1.2 Mecanismos de Propagação.	18
1.3 Equações de Maxwell.....	18
1.3.1 Lei de Gauss	19
1.3.2 Lei de Ampère	21
1.3.3 Lei de Faraday	22
CAPÍTULO 2	23
TIPOS E PROPAGAÇÕES DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NAS CAMADAS DA ATMOSFERA.....	23
2.1 Tipos de Ondas.....	24
2.1.1 Ondas de Superfície	24
2.1.2 Ondas Refletidas	25
2.1.3 Ondas Diretas	25
2.2 Camadas da Troposfera.....	25
2.3 Camadas da Estratosfera	26
2.4 Camada da Mesosfera	27
2.5 Exosfera.....	27
2.6 Camada da Ionosfera.....	27
2.6.1 Propriedades das Ondas Ionosféricas	31
CAPÍTULO 3	32
O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E A FAIXA QUE COMPREENDE AS ONDAS DE RADIO.	32
3.1 O espectro eletromagnético.....	32
3.1.1 Raios Gama	33
3.1.2 Raios X.....	33
3.1.3 Raios Ultravioletas - uv	33
3.1.4 O Infravermelho	34
3.1.5 Microondas.....	34
3.1.6 Ondas de Rádio	35

3.2 A importância das ondas rádio para as telecomunicações	35
3.3 Estação de rádio e o megahertz	37
3.4 Bandas de frequência	37
3.5 Modulação de ondas.....	37
3.6 Modulações em amplitude (AM)	38
3.6.1 A Modulação em banda lateral dupla (AM-DSB).....	39
3.6.2 Modulação em banda lateral única sem a portadora (AM-SSB-SC).....	39
3.6.3 Modulação de amplitude em quadratura (QAM).....	40
3.6.4 Modulação em banda lateral vestigial (VSB).....	40
3.7 As subdivisões das ondas “AM”	40
3.8 Modulação angular.....	41
3.9 Modulações em amplitude (FM).....	41
CAPÍTULO 4.....	43
APLICAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM RADIO DE FREQUÊNCIA FM E A MONTAGEM DO TRANSMISSOR DE RÁDIO FM.....	43
4.1 Transmissor	44
4.2 Receptor	44
4.3 Emissoras	45
4.3.1 Comercial de radiodifusão	45
4.3.2 Emissora comercial normal	45
4.4 Montagem do experimento transmissor de rádio FM	46
4.4.1 Elementos necessários para a montagem do circuito elétrico	46
4.4.2 Placa de cobre.....	47
4.4.3 solução de percloroato de ferro	47
4.4.4 Colocação do percloroato de ferro na placa de cobre.....	48
4.4.5 furos na placa de cobre.....	49
4.4.6 Obtenção da Placa de cobre para inserção dos elementos.....	50
4.4.7 Inserção dos elementos do circuito	50
4.4.8 Circuito Montado para transmissão.....	51
4.5 Resultados do experimento	51
4.6 Princípios de funcionamento	51
4.7 Ajustes e funcionamento do transmissor de rádio FM.....	52
4.8 Funções do oscilador.....	53
4.9 Resultados e discussões.....	53

CONSIDERAÇÃO FINAL.....	54
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	56

INTRODUÇÃO

Há séculos o homem vem vencendo as barreiras e os limites de sua imaginação criando meios para viver de forma harmoniosa no planeta. No decorrer da História humana é inúmera descoberta realizada e que vieram trazer uma riqueza incalculável para ele empenhando ainda mais o desenvolvimento científico. Desse dentro aspecto histórico, acredita-se que a grande contribuição para com a civilização foi a descobertas das ondas eletromagnéticas descritas e desenvolvidas com base nas equações de Maxwell.

Pesquisadores importantes no ramo da ciência como o holandês Christian Huygens que estudou o fenômeno da difração. Também se deve frisar o inglês Michel Faraday que durante suas pesquisas sobre o eletromagnetismo, que fascinado com os inúmeros experimentos, resultou numa das quatro equações básicas do eletromagnetismo.

A descoberta das ondas eletromagnéticas e sua utilização como meio de transmissão de informações que constituem nas ondas de rádio, e de outras naturezas de ondas capazes de transmitir informações a quilômetros de distância a regiões longínquas em estudo de transmissões através das camadas da atmosfera. No entanto, vale ressaltar que nem sempre durante a história as ondas eletromagnéticas foram usadas para o bem da humanidade, as mesmas não foram usadas de forma pacífica pelas grandes potências mundiais. Durante a sangrenta Guerra mundial o domínio das ondas eletromagnéticas foi o grande estopim para a criação de armas bélicas, como os radares utilizados pelas grandes potências durante a primeira e segunda Guerra Mundial para evitar ataques surpresas.

Houve, no entanto avanços significativos na área industrial, como em maquinaria e sistemas elétricos que deram impulsos promissores em todos os setores industriais, bancários a partir do domínio das telecomunicações. Nos dias de hoje, as ondas eletromagnéticas são usadas em aparelhos tecnológicos como ultrassom, onde é utilizada para a detecção de doenças e a monitoração do desenvolvimento de fetos e, até a verificação do sexo dentro da barriga materna, inclusive esse recurso é muito utilizado na área industrial.

Outra aplicação das ondas está relacionada com o uso e desenvolvimento das indústrias automotivas e de indústrias de aeronaves, como aviões-caças que utilizam ondas eletromagnéticas para detectar aviões invasores, dos submarinos que utilizam a mesma tecnologia e por último, na siderúrgica para a verificação de fissuras em peças, silos e recipientes de armazenamento.

Vale lembrar ainda, que as ondas eletromagnéticas são utilizadas para explicar o efeito fotoelétrico, onde o Albert Einstein explicou que somente seria possível a interpretação física deste efeito se considerasse que as ondas eletromagnéticas se comportariam como pacotes de energia que chamou de fótons de luz, que colidiriam com os elétrons da placa metálica para que pudessem ser extraídos dela. Incidência da luz para a espectroscopia Raman e infravermelha, que constituem em dois importantes estudos para estudar propriedades moleculares a partir de diferença de frequência que ocorrem de forma inelástica com o material a ser analisado (espectroscopia Raman).

Outro grande avanço na sociedade corresponde ao surgimento da televisão onde tiveram várias contribuições, principalmente do cientista sueco Jakob Berzelius, que em 1817, observou a fotosensibilidade do selênio ao ser exposto à luz. A informação descoberta por Berzelius, de que o selênio possuía a propriedade de transformar a energia luminosa em energia elétrica, só foram comprovados 56 anos depois, em 1873, pelo telegrafista irlandês Willougeby Smith May, que realizou mais pesquisas com o selênio. O alemão Paul Nipkow, em 1884, patenteou uma proposta de transmissão de imagens à distância, fato que lhe concedeu o crédito de "fundador da técnica de TV". Relata Ruiz (1971, p. 29).

Deve-se salientar que século XIX, em 1892, os cientistas alemães Julius Elster e Hans Geitel inventaram a célula fotoelétrica, ampliando os estudos de Smith. Constantin Perskyi apresentou, em 1900, ao Congresso Internacional de Eletricidade de Paris uma tese que descrevia o funcionamento de um equipamento com base nas propriedades fotocondutoras do selênio, transmitindo imagens à distância. O título daquele trabalho era "Televisão", palavra que criou a partir da reunião de dois termos: 1) tele que pode ser traduzido do grego por longe, e 2) videre, que em latim significa visão.

Através de tantos pesquisadores envolvidos nas pesquisas e na criação da televisão, não se pode indicar um único cientista responsável pela invenção dela, pois muitas foram as contribuições feitas por vários estudiosos. Cada nova descoberta se utilizava dos conhecimentos anteriores já disponíveis que vieram somando para sua construção. Arbwhnett, em 1906, desenvolveu o sistema de visão à distância (televisão) através dos raios catódicos e da exploração mecânica de espelhos. Boris Rosing, na Rússia, também desenvolveu uma técnica semelhante. Assim sendo, os anos de pesquisas foram decisivos para alcançar o objetivo crucial de obter informações a partir de um aparelho capaz de proporcionar à sociedade acontecimentos do país.

No entanto, são muitas as pesquisas que trouxeram grandes benefícios à sociedade. No entanto, o maior grande desenvolvimento em todo esse aparato tecnológico consiste nas telecomunicações que corresponde a uma das faixas do espectro eletromagnético e de grande utilidade para a sociedade em geral. Devido a essa tamanha relevância, esse trabalho traça como objetivo geral mostrar o detalhamento do funcionamento de um transmissor de rádio FM e a relevância das ondas eletromagnética para o desenvolvimento dos meios de comunicação.

Como objetivos específicos, Abordar através de uma montagem experimental os elementos necessários para a criação de um transmissor de rádio FM, mostrando as etapas sucessivas até a completa montagem e funcionamento; Averiguar as modulações de ondas portadoras para injeção de um sinal na faixa equivalente ao radio FM para receber o sinal no dispositivo de rádio comum no mercado ou qualquer aparelho de celular compatível com o radio FM.

CAPÍTULO 1

EQUAÇÕES DE MAXWELL E O MECANISMO DE PROPAGAÇÃO.

Nesse capítulo será abordado As equações de Maxwell e as ondas eletromagnéticas, mecanismo de propagação, equações de Maxwell referentes à Lei de Gauss, Faraday e Ampère como parte relevante no estudo das ondas eletromagnéticas. Associadas a essas ondas, enfatiza a expressão que determina a onda eletromagnética como parte inerente de dois campos: elétrico e magnético que se propagam no espaço com velocidade de $300000km/s$. Como parte final do capítulo, dar-se um estudo sobre a energia eletromagnética, considerando o vetor de Poynting \vec{S} que dá a direção de propagação da onda eletromagnética.

1.1 As equações de Maxwell e as ondas Eletromagnéticas

As equações de Maxwell são um grupo de quatro equações, assim chamadas em homenagem a James Clerk Maxwell, que descreve o comportamento dos campos elétricos e magnéticos, bem como suas interações com a matéria. As quatro equações de Maxwell expressam, respectivamente, como cargas elétricas produzem campo elétrico (Lei de Gauss), a ausência experimental de cargas magnéticas, como corrente elétrica que produz campo magnético (Lei de Ampère), e como variações de campo magnético produzem campos elétricos (Lei da indução de Faraday). Maxwell mostrou que as quatro equações com sua correção, predizem ondas de campo magnéticos e elétricos oscilantes que viajam através do espaço vazio na velocidade que poderia ser predita de simples experiências elétricas, usando os dados disponíveis na época, Maxwell obteve a velocidade de $310.740.000 \text{ m/s}$.

$$\nabla \cdot B = 0$$

e

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t}$$

$$\nabla \cdot D = \rho$$

e

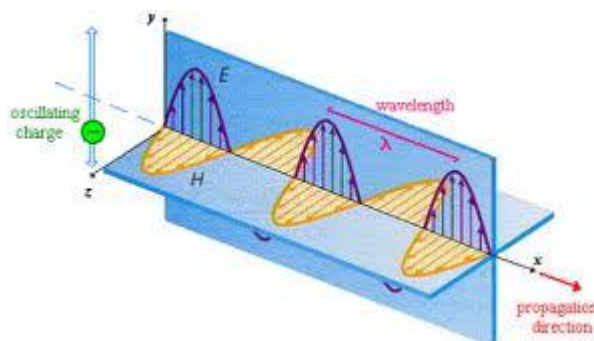
$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t}$$

Logo em seguida, através dos seus estudos sobre o eletromagnetismo realizado na universidade de Kiel na Alemanha, Hertz consegue pela primeira vez provar experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas. Uma onda eletromagnética é formada por campos elétricos e magnéticos. Esses campos oscilam em direções perpendiculares um ao outro e a direção da propagação da onda em referência é perpendicular aos campos elétricos e magnéticos desta onda. Todas as ondas possuem algumas características como: velocidade, frequência, período, comprimento de onda e amplitude.

- Frequência: A frequência indica o número de oscilações da onda em um determinado intervalo de tempo.
- Período: É o tempo decorrido para determinada oscilação da onda.
- Amplitude: É o valor máximo da oscilação de determinada onda, tanto positivo como negativo.
- Comprimento de onda: É a distância mínima em que um ciclo da onda se repete.

As linhas elétricas são perpendiculares às linhas magnéticas, essas linhas, no entanto, em relação à terra podem ter qualquer posição vertical ou horizontal, porém entre si sempre mantêm-se perpendiculares. Os meios onde viajam as ondas eletromagnéticas oferecem uma relevante influência à velocidade com que a onda pode mover-se, se for a espaço livre desloca-se a 300.000.000 metros por segundo. Em outras substâncias esse deslocamento pode ser muito menor.

Figura 1: O campo eletromagnético pode ser estabelecido na ausência de material. A radiação propaga-se no espaço vazio.



Fonte: <http://blog.clickgratis.com.br>

Assim, desde estas históricas pesquisas foi aberto um novo horizonte para as telecomunicações onde participaram inúmeros inventores inovadores.

1.2 Mecanismos de Propagação.

As ondas de radio que se propagam de uma antena a outra são chamadas de ondas eletromagnéticas. A característica principal destas ondas é a sua velocidade, da ordem de 300.000 km/s no vácuo, sendo considerada a maior no universo. É capaz de transpor diversos obstáculos físicos tais como liquido gases e ate sólidos, dependendo da sua frequência. É graças às ondas eletromagnéticas que funcionam o rádio e a televisão. As estações de rádio e televisão possuem transmissores e antenas que enviam sinais para todas as direções.

Por sua vez, os televisores e rádios possuem receptores e antena, que ao captar as ondas eletromagnéticas transmissoras, tem o movimento vibratório de seus elétrons alterados para a mesma frequência. O sinal eletromagnético é de modulado pelo receptor possibilitando ao homem o acesso àquela informação, o som e/ou a imagem. Todas as ondas eletromagnéticas propagam-se no vácuo com a mesma velocidade, o que diferencia uma onda de radio de uma onda de televisão é a sua fonte geradora, ou seja, a sua frequência.

1.3 Equações de Maxwell

Na era da informação, as ondas eletromagnéticas constituem um bem valioso (embora invisível), assim como a terra é um recurso natural essencial para os agricultores. Todos os equipamentos sem fio, dos celulares aos controles remotos de televisão, mandam seus sinais em determinada faixa de frequência localizada dentro do aspecto das ondas eletromagnéticas. Esse aspecto não é infinito nem se chegou ao limite de seu uso.

O avanço de sua utilização vem sendo intenso a parti do século XX. O ritmo deve aumentar ainda mais agora com a ampliação do uso de novos produtos e tecnologia de conexão sem fio (avanço comercial do “wi-fi” e do “Bluetooth”). A energia de campo eletromagnético viaja pelo espaço em forma de ondas, conforme provou em 1888 Heinrich Hertz, e essa ondas se acomoda e ocupa um lugar determinado no espectro de frequências.

A faixa de maior interesse comercial, ao longo do espectro, é a frequência situada entre 9 quilohertz (kHz ou 1.000 hertz) e 400 gigahertz (GHz ou 1 bilhão de hertz). No Brasil, essa faixa é administrada pela Agencia Nacional de Telecomunicações (ANATEL). As faixas mais valiosas são as ondas de frequências mais baixas e de maior comprimento (longas),

capazes de viajar longas distancias e ainda atravessar objetos sólidos, como as paredes dos edifícios. Elas são utilizadas pela televisão aberta e pelo rádio. A tecnologia já conseguiu torna o espectro mais eficiente, mediante a compactação das informações, e uma faixa de frequência, antes utilizadas para conduzir os sinais de vídeo de um canal de televisão, pode agora ser utilizado por dez canais, muitas vezes nas duas direções, origem da televisão interativa.

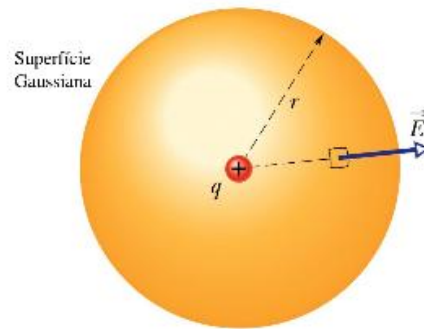
As ondas de frequência mais altas são pequenas e podem ser obstruídas com mais facilidade. A frequência das ondas é medida em Hz (hertz), indicativo da velocidade do ciclo das ondas (subida e descida). As ondas de 1 megahertz (MHz) completam 1 milhão de ciclos em 1 segundo. As inovações determinam uma intensificação do loteamento do espectro. São alguns dos destaques das inovações: transmissão de rádio transatlântica. “Em 1901, televisão; em 1925, televisões em cores 1928, forno micro-ondas, 1947, primeiro satélite de comunicações (TELSTAR), em 1962, celular no Brasil, em 1990, avanço do “wi-fi” e do Bluetooth”, em 2001.

O ouvido humano é capaz de detectar vibrações sonoras entre 20 e 20.000 ciclos por segundo (espectro audível). Todos os sons circulados aquém ou além desses dois limites escapam da teia do nosso equipamento auditivel.

1.3.1 Lei de Gauss

A Lei de Gauss relaciona o fluxo elétrico através de uma superfície fechada com a carga elétrica dentro da superfície. A Lei de Gauss é uma das quatro Equações de Maxwell e representa uma lei fundamental do eletromagnetismo. Ela é capaz de mostrar que qualquer excesso de carga num condutor fica situado na sua superfície externa. As blindagens eletrostáticas como a gaiola de Faraday estão inseridas nessa lei. Também essa lei mostra que um condutor em equilíbrio eletrostático apresenta em seu interior campo elétrico nulo ou que não há variação de potencial elétrico no interior do condutor.

Figura 2: Usa-se a lei de Gauss para a determinação do campo de uma distribuição a esférica de carga.



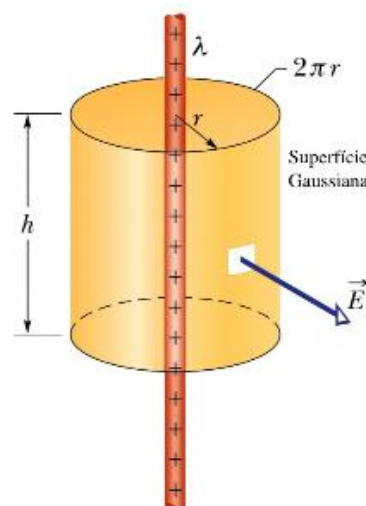
Fonte: <http://www.fma.if.usp.br>

Na forma pontual a lei de Gauss pode ser representada pela seguinte expressão:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho_o}{\epsilon_o}$$

Uma possível aplicação dessa equação na forma integral é considerar um cilindro de raio r como superfície gaussiana onde em seu interior existe uma linha infinita de carga com densidade linear λ como mostra a figura seguinte.

Figura 3: campo elétrico produzido por uma linha de carga com densidade linear uniforme



Fonte: <http://www.fma.if.usp.br>

O valor do campo elétrico para essa linha de carga pode ser expressa a partir da seguinte expressão

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r}$$

1.3.2 Lei de Ampère

Uma das revoluções mais marcantes na Física foi à descoberta feita por Hans Cristian Oersted, a partir de experimentos que levou a comprovar a existência de um campo magnético ao redor de um fio quando esse era percorrido por uma corrente elétrica. Essa descoberta teve como consequência à união de dois ramos da Física que muito tempo foi estudado separadamente, a teoria elétrica e a magnética. Com a junção desses dois ramos surgiu, a teoria eletromagnética, que foi comprovada por Oersted, quando verificou que corrente elétrica gera campo magnético. Esse fato é evidente, uma vez que corrente elétrica representa um movimento ordenado de portadores de cargas o que faz gerar campos magnéticos.

Embora Oersted tenha descoberto que um fio percorrido por uma corrente elétrica gera um campo magnético a sua volta, foi André Marie Ampère quem, matematicamente, deduziu esse campo. Pode-se dizer que o grande feito de Ampère foi ter desenvolvido uma famosa lei chamada de Lei de Ampère. A lei de Ampère, como ficou conhecida, estabelece o campo magnético (\vec{B}) gerado por um condutor retilíneo percorrido por uma corrente elétrica de intensidade i , a uma distância (R) do condutor. Matematicamente, o vetor campo magnético (\vec{B}) é determinado pela seguinte equação:

$$B = \frac{\mu \cdot i}{2\pi \cdot R}$$

Onde o termo μ é uma constante conhecida como *permeabilidade magnética do vácuo*. Por comodidade matemática, essa constante foi definida como:

$$\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} T.m/A$$

Sendo esse um valor convencional, que pode ter seu número infinito de algarismos significativos por causa do valor de π , pode-se adotar para permeabilidade magnética do vácuo ou do ar o valor abaixo (quando expresso com dois algarismos significativos):

$$\mu = \mu_{ar} = 1,3 \cdot 10^{-6} T.m/A$$

A direção e o sentido do vetor campo magnético são dados pela regra da mão direita, lembrando que o vetor \vec{B} é sempre tangente às circunferências imaginárias descritas em torno do condutor, em planos perpendiculares.

A lei de Ampère representa uma das quatro equações básicas da teoria eletromagnética desenvolvida por Maxwell. No entanto a lei de Bio-savart representa um caso mais geral da famosa lei de ampère e pode a partir dela. Obter a expressão do campo magnético produzido por fio retilíneo de corrente que Cristian Oersted determinou na experiência.

1.3.3 Lei de Faraday

Outra importante equação básica da teoria eletromagnética diz respeito a lei de Faraday

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

Essa lei explica uma variação do fluxo magnético produz uma corrente induzida num circuito, em outras palavras, a lei de Faraday diz que campos magnéticos variando com o tempo funcionam como fontes de campo elétrico. Logo, quando ocorre variação de um dos campos no tempo, outro campo de outra natureza é nas regiões “vizinhas” do espaço e na direção de propagação de energia eletromagnética. Essa perturbação eletromagnética se propaga de uma região para outra, onde esta tem características de uma onda, com isso se pode chamá-la de onda eletromagnética.

CAPÍTULO 2

TIPOS E PROPAGAÇÕES DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS NAS CAMADAS DA ATMOSFERA

Nesse capítulo, como parte integrante do capítulo anterior são abordadas as ondas de superfície, ondas refletidas, ondas diretas. A fim de mostrar sobre como essas ondas se propagam pela superfície terrestre, enfatizam-se o estudo sobre as camadas da troposfera, camadas da estratosfera, camada da mesosfera, exosfera, camada da ionosfera buscando conhecer propriedades das ondas ionosféricas e interações das ondas de raios com os elétrons da ionosfera.

A atmosfera é constituída de cinco camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera. O ar se torna mais rarefeito quanto mais distante da superfície terrestre, e é por isso que os alpinistas normalmente levam oxigênio com eles quando escalam montanhas. A troposfera é a única camada em que os seres vivos podem respirar normalmente.

A propagação é uma forma de transmissão de energia. E essa transmissão de energia possui algumas formas específicas, que de acordo com a altitude dos caminhos os quais as ondas se propagam podem ser classificados em ondas de rádio, Ionosféricas, Troposferas e Terrestres. As ondas Ionosféricas também chamadas de Espaciais ou Refletidas que é a parte da irradiação total que está dirigida à Ionosfera. Estas ondas ionosféricas podem ou não voltar para a terra pelos efeitos da refração e da reflexão dependendo das condições que na prática são variáveis.

Figura 4: Ondas de rádio, Ionosféricas, Troposferas e Terrestres. Propagam-se na atmosfera



Fonte: <http://www.pp6pp.com.br/propagacao.htm>

As ondas Troposferas é a parte da irradiação total que sofre refração e reflexão de regiões onde existem mudanças bruscas de dielétrico situadas na Troposfera, como por exemplo, os limites de massas de ar de diferentes temperaturas e conteúdo de umidade. As ondas Terrestres são a parte da irradiação total que são afetadas pela presença da terra e pelas características da formação do seu relevo. A onda terrestre possui dois componentes, onda de superfície que é guiada pela terra, e a onda de espaço (que não deve ser confundida com a onda ionosférica). A onda de espaço é resultante da onda direta e da onda refletida no solo.

2.1 Tipos de Ondas

2.1.1 Ondas de Superfície

Utilizadas nas transmissões de ondas médias e longas, contornam a superfície da terra por isso recebem o nome de Ondas de Superfície, a propagação dessas ondas é dificultada pela presença de alguns obstáculos como, montanhas, florestas, prédios, e a luz solar. Esse tipo de onda é empregado em transmissões de sinais de ondas médias, com mais ou menos 50 km de raio durante o dia dependendo da potência do transmissor. No período noturno esta distância aumenta já que não há o choque com as ondas solares. Algumas emissoras de rádio comerciais de ondas médias diminuem sua potência durante a noite para evitar interferências em outras emissoras mais distantes com frequência próxima uma da outra.

2.1.2 Ondas Refletidas

Usadas nas transmissões de ondas tropicais e ondas curtas. As ondas se dirigem às camadas atmosféricas que são refletidas e devolvidas a terra. Devido esse efeito de reflexão as emissoras de rádio são prejudicadas na recepção, principalmente durante o dia. Devido à ionização das camadas e a constante variação nas alturas destas, o ângulo de reflexão das ondas acompanha essas variações causando também a variação na intensidade.

2.1.3 Ondas Diretas

Possuem o de maneira geral o alcance da vista humana numa planície, são usadas nas transmissões acima dos 30Mhz, que são empregadas em rádio FM e televisão. Alcance é o mesmo durante o dia e a durante a noite, pois não existem os inconvenientes das ondas de superfície devido à frequência ser mais alta.

2.2 Camadas da Troposfera

É a camada que está em contato com a superfície da Terra e contém o ar que respiramos, estende-se da superfície da terra até a base da estratosfera (8km a 16 km), é a camada menos espessa, mas é a mais densa, corresponde por 80% do peso atmosférico. É também a única camada em que os seres vivos podem respirar normalmente. O prefixo “tropo” significa mudança: todas as alterações nessa camada resultam no que chamamos de clima.

A troposfera contém uma grande variedade de gases: Nitrogênio (78,08 %), e o Oxigênio (20, 95 %), dióxido de Carbono “CO₂” (0,036 %), e metano (0,00017%), entre outros. Estes gases mantêm o nosso planeta quente porque ajudam a reter o calor e radiam parte dele para a superfície da Terra. Sofre o efeito direto do aquecimento da superfície: a convecção (aquecimento do ar com a superfície mais quente e elevação deste ar sob forma de correntes ascendente que vão distribuir o calor através dos níveis inferiores da atmosfera) distribui o calor na vertical da troposfera. A temperatura diminui com a altitude, a cada 150 m a

temperatura diminui 1° C. Em síntese, pode-se considerar que a camada da troposfera apresenta as seguintes características:

- É a camada da atmosfera que está em contato com a superfície terrestre e que contém o ar que respiramos;
- Tem altitude entre 8 km a 16 km;
- É a camada menos espessa, mas é a mais densa;
- O ar junto ao solo é mais quente, diminuindo de temperatura com a altitude até atingir -60°C;
- A zona limite chama-se tropopausa. Aqui a temperatura mantém-se constante.

2.3 Camadas da Estratosfera

A estratosfera é responsável pela absorção de radiação ultravioleta, pois abriga a camada de ozônio, sendo estas radiações mais energéticas do que as radiações visíveis. Dentro da estratosfera, a uma altura aproximada de 40 km a temperatura oscila entre os 60° negativos e os 5° negativos. A presença do gás ozônio (O₃) na atmosfera é essencial à manutenção da vida, como se apresenta, no planeta. É também na estratosfera que ocorre o efeito estufa, que é um fenômeno que resulta no aquecimento da atmosfera do planeta, intensificado pela emissão de certos gases para atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), produzido na queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e por queimadas. O assunto tem merecido a atenção da comunidade científica mundial pelos reflexos e consequências resultantes na vida de todos os seres vivos.

A sua eliminação ou diminuição em grande escala podem modificar e modificam a fauna, a flora, enfim, todos os seres vivos da Terra; podem modificar efeitos imprevisíveis aos ecossistemas terrestres e, especialmente aos seres Humanos, mas que serão certamente catastróficos. Embora seja uma camada estável para propagação de ondas de rádio, é de pouco interesse para as telecomunicações. Em síntese, pode-se considerar que a camada da troposfera apresenta as seguintes características:

- Situa-se entre os 12Km a 50Km;
- É aqui que está a camada de ozônio;
- Nesta camada a temperatura aumenta de -60°C a 0°C. Este aumento deve-se à interação química e térmica entre a radiação solar e os gases aí existentes;
- As radiações absorvidas são as ultravioletas (6,6 a 9,9 x10⁻¹⁹ J);

- A zona limite chama-se estratopausa. Aqui a temperatura mantém-se constante.

2.4 Camada da Mesosfera

É a camada intermediária, estende-se até aproximadamente 85 km de altura. É muito fria, com temperatura abaixo de 100° negativos. A parte inferior é a mais quente porque absorve calor da estratosfera. O ar é mais quente que na camada anterior, composto principalmente por ozônio e vapor de sódio. Em síntese, pode-se considerar que a camada da troposfera apresenta as seguintes características:

- Situa-se entre os 50Km a 80Km;
- Trata-se da camada mais fria da atmosfera;
- A temperatura volta a diminuir com a altitude, chegando aos -100°C aos 80Km;
- A absorção da radiação solar é fraca;
- A zona limite chama-se mesopausa. Aqui a temperatura mantém-se constante.

2.5 Exosfera

A camada superior a atmosfera fica mais ou menos 900 km acima da terra. O ar é muito rarefeito e as moléculas de gás “escapam” constantemente para o espaço. Por isso é chamada de exosfera (parte externa da atmosfera). Nessa camada, a densidade gasosa é infima não se registram fenômenos assinaláveis, a não ser a existência de dois cinturões de partículas (Cinturões de Van-Hallen). O primeiro a 4000 km, e o segundo a 20000 km de altitude.

2.6 Camada da Ionosfera

A ionosfera fica acima de 80 km de altitude, composta por moléculas ionizadas, isto é, carregadas eletricamente, é nesta camada que as ondas de raio são refletidas de volta para a terra. Na ionosfera ocorrem alguns fenômenos, como por exemplo, a aurora polar, que é visível nas regiões polares e a desintegração dos meteoros provenientes do espaço, é o que nós observamos como estrelas cadentes. Essa é a camada mais importante para as

propagações de ondas de rádio. Uma onda de radio, ao ser emitido por uma antena, se decompõe em duas partes: uma que se propaga próximo a superfície e outra pelo espaço.

No plasma ionosférico encontramos condutividade iônica e permissividade eletromagnética o que faz se comporta em alguns momentos como condutores elétricos e em outro como condutor sintonizado em determinadas frequências podendo refletir praticamente sem perdas determinados comprimento de ondas e inutilizam outros de frequências diferentes através da absorção. Se não houvesse a ionosfera, a parte da onda de rádio que se propaga pelo espaço não seria refletida para a terra, impossibilitando as comunicações radiotelegráficas. Como esta camada é ionizada devido ao grande bombardeio de partículas provenientes do Sol, a intensidade da radiação ionizante varia com a posição solar e isso afeta significativamente o poder refletor da ionosfera.

A ionização é o processo no qual os elétrons, que são carregados negativamente, são removidos (ou anexados) de átomos livres. São estes íons que fornecem o nome a ionosfera, mas são muito mais leves e livres elétrons em mutação que são importantes em termos de propagação de onda de radio de alta frequência (HF: 3 à 20 MHz). Geralmente, quanto maior o numero de elétrons, mais altas frequências podem ser usadas. Durante o dia podem existir quatro regiões presentes e que influenciam diretamente nos meios de comunicação chamadas:

Camada D: Esta camada é a mais próxima da troposfera que varia entre 20 e 80Km, tem ionização muito baixa e sua ionização procede do sol, acontece durante o dia onde o sol tem suas maiores irradiações de energia sobre a superfície da terra, durante a noite esta camada não tem utilidade prática.

Camada E: Acima de 80Km até 140Km permite devolver as ondas eletromagnéticas até uma distância de 2.000Km do ponto de origem. Esta camada tem influência nos efeitos práticos para condução de ondas médias, e seu melhor efeito com máxima propagação é durante o dia mais não sofre anulação total durante a noite.

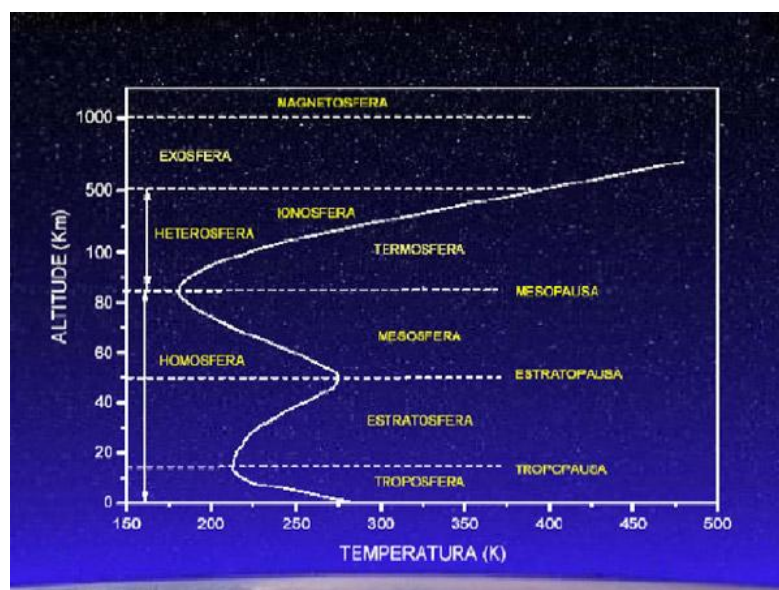
Camada F: A camada F tem altitude média entre 200 e 400Km, as camadas D e E quase desaparecem durante a noite. Durante as horas de sol a Camada F se subdivide em outras duas camadas que são a camada F1 e F2. A F1 se move entre 140 e 250Km durante o dia e se eleva durante a noite. Esta camada fica ionizada por mais tempo que as outras camadas permanecendo ionizada durante a noite, já de forma menos densa. Devido grande ionização durante o dia essa camada refrata altas frequências já durante a noite permite as passagem dessas frequências e refrata frequências abaixo dos 10Mhz de volta a terra.

Durante o dia, a "Esporádica E, são algumas vezes observadas na região E, e em algumas determinadas durante o ciclo solar a região F1, e sim, se juntarem para forma a região F. À noite, as regiões D, E, e F1 se tornam muito vazias de elétrons livres, deixando apenas a regias F2 disponível para comunicações; entretanto não é raro ocorrer a região Esporádica E durante a noite. Apenas a E, F1 e Esporádica E quando presentes, e a região F2 refratam ondas de alta frequência (HF). A região D também é importante, porque apesar de não refratar ondas de rádio, ela absorve ou atenuam. A região F2 é a mais importante para a propagação das ondas de rádio HF devido:

- Estar presente 24 horas do dia;
- Sua alta altitude permite os mais longos caminhos de comunicação;
- Geralmente refratam as mais altas frequências na faixa HF.

O tempo de vida dos elétrons é maior na região F2 o qual é uma razão porque estar presente à noite. Tempos típicos de vida de elétrons nas regiões E, F1 e F2 são 20 segundos, 1 minuto e 20 minutos, respectivamente. Para que a emissão de onda possa refletir na ionosfera, é necessário que esta tenha certo valor de densidade eletrônica. Esta densidade cresce da camada D à camada F, passando pela camada E. O intervalo de tempo de retorno do eco fornece a altura do ponto de reflexão e o comprimento de onda utilizada permite obter a densidade eletrônica que reina nesse ponto. Se esta experiência for repetida diversas vezes, utilizando-se vários comprimentos de ondas, será possível deduzir a variação de densidade eletrônica com a altitude, o que vai fornecer o que se chama de perfil ionosférico.

Figura 5: Camadas atmosféricas terrestre são localizadas entre 0 e 1000 km de altitude e divididas de acordo com o seu perfil de temperatura.



Fonte: http://www.univap.br/dialogo_informativo

O tamanho de onda é inversamente proporcional à densidade eletrônica necessária para a reflexão. Pode-se chegar então a um comprimento de onda mínimo ou limite que possa ser refletido em função da densidade eletrônica da camada. Se não respeitado esse mínimo, estas ondas atravessam a ionosfera não sendo mais aproveitadas pela telecomunicação terrestres.

A ionização, porém depende das estações do ano, da hora e da posição do Sol. Embora a alta atmosfera receba radiação constantemente, o grau de ionização não aumenta indefinidamente, isto se deve porque a esta ionização se opõe a força de atração eletrostática entre íons e elétrons.

As ondas curtas se refletem nas camadas superiores onde a densidade eletrônica é maior (F1 e F2). As ondas longas ou quilométricas se refletem na camada D, mais inferior. As ondas utilizadas na propagação ionosférica variam de 10 a 100 m. para ondas de comprimento inferior a 10 m não ocorre reflexão, por insuficiência de densidade eletrônica da camada e para ondas de comprimento superior a 100 m também não ocorre, pelo fato dessas ondas serem absorvidas pela ionosfera.

2.6.1 Propriedades das Ondas Ionosféricas

Exceto para distâncias curtas, quase todas as comunicações entre radioamadores em frequências inferiores a 30Mhz se opera com ondas espaciais. Este tipo de onda ao serem emitidas pelas antenas viaja para cima no sentido oposto à superfície terrestre, num ângulo tal que ela se perderia no espaço se não fosse seu curso formar curvatura que faz com que ela retorne a terra novamente. A ocorrência dessa curvatura é provocada pela Ionosfera, que é uma região situada na atmosfera superior, numa altitude ao redor de 100Km , onde existem ÍONS e elétrons livres com quantidades suficientes para aumentar a velocidade com que as ondas de rádio viajam. A ionosfera está formada por várias camadas com diferentes densidades de ionização localizadas em diferentes altitudes. Cada camada tem uma região central de ionização relativamente densa, à medida que se distância tanto para cima ou para baixo desta região a camada fica menos densa.

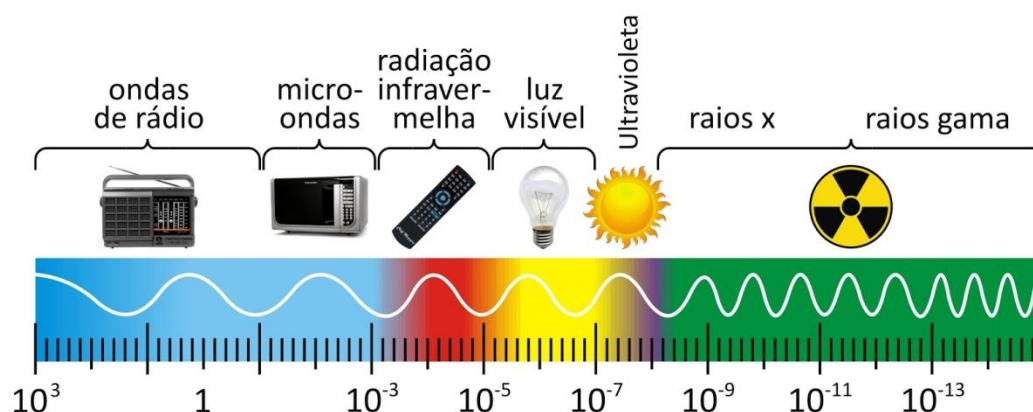
CAPÍTULO 3

O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E A FAIXA QUE COMPREENDE AS ONDAS DE RADIO.

3.1 O espectro eletromagnético

Ele é composto por diversas ondas eletromagnéticas de comprimentos distintos λ ; um exemplo é a luz visível que é uma faixa minúscula do espectro; quanto menor o λ , mais retilínea a propagação da onda; as ondas que são mais longas têm frequências mais baixas que são as ondas de rádio, passando pelas ondas infravermelhas e de luz visível até chegar a comprimentos muito curtos (frequências muito altas) raios gama e raios X.

Figura 6: Faixa do espectro eletromagnético



Fonte: <http://marcoscesarja.blogspot.com.br>

Baseando se no espectro eletromagnético, É possível se obter diversas faixas de frequências e diferentes tipos de comprimento de ondas. Isso depende dos diversos valores de frequências e de comprimentos de onda, o espectro se divide em diversas faixas, como se poderá ver nos próximos tópicos desse trabalho.

3.1.1 Raios Gama

Das radiações eletromagnéticas que possui a maior frequência e o comprimento de onda mais curto de todo o espectro eletromagnético. Como consequência disso temos que os raios gama possuem a mais alta energia entre todas as formas de radiação eletromagnética. Usualmente, qualquer fóton que tem energia maior do que, aproximadamente, 100 ke são chamados de raios gama. Os raios gama são extremamente penetrantes

3.1.2 Raios X

Em 1895 o físico alemão William Roentgen (1845-1923) descobriu o raio X. A região do espectro onde encontra-se os raios X estendem-se dos $2,4 \times 10^{16}$ Hz aos 5×10^{19} Hz, por terem frequência elevada com consequência possui um comprimento de onda extremamente reduzido, quase sempre inferior aos diâmetros atômicos. Um dos instrumentos de muita eficácia para a produção de raios X é a desaceleração rápida de partículas carregadas à alta velocidade. Uma gama extensa de frequências resultantes manifesta-se quando um feixe de elétrons com energia elevada é projetado contra um alvo de cobre, por exemplo. As colisões com os núcleos de Cu produzem deflexões no feixe de elétrons que, por sua vez, radiam fótons de raios X.

3.1.3 Raios Ultravioletas - uv

No espectro eletromagnético, tem uma faixa de comprimento de onda que varia de 91,2 a 350nm. Essa região está contida a faixa dos raios ultravioletas que fica localizada entre a região de luz visível e a região dos raios-X. Os raios ultravioletas possuem fótons mais energéticos de que dos fótons pertencente à luz visível. A maior parte das radiações ultravioletas é bloqueada pela atmosfera terrestre, Um dos fatos interessantes é que a radiação ultravioleta não é percebida pelo olho humano apenas é sentida pela pele exposta ao sol. Ao se bronzear, por exemplo, a pessoa tem uma interação entre os raios ultravioleta emitido pelo sol e a melanina pertencente à pele humana dando uma textura escurecida na pele.

3.1.4 O Infravermelho

Qualquer corpo que possui temperaturas diferentes do zero absoluto, ou seja, menos 273° Celsius, emite ainda que com baixa intensidade o sinal infravermelho. Esse tipo de radiação é emitido por dispositivos ou corpos aquecidos, como por exemplo: carvão em brasa, aquecedor elétrico e qualquer tipo de animais de sangue quente etc.

O ser humano também emite radiação Infravermelha, esse tipo de radiação é muito utilizado por dispositivos de visão noturna e também por diversas espécies de animais com hábitos noturnos como, por exemplo: Serpentes e o Mosquito que conseguem localizar suas presas através do infravermelho. Grande parte da energia emitida pelo sol é composta por radiação infravermelha, as lâmpadas elétricas além de emitir luz também emitem radiação infravermelha.

Os controles de aparelho de televisão, portas de automóveis são acionados por sinal infravermelho, é utilizado também para obter fotos de locais escuros, na órbita do planeta Terra existem satélites fotografando em infravermelho Isso é utilizado para detectar corpos em movimento ou possíveis misses e até mesmo meteoros. É também utilizado na meteorologia para acompanhar os movimentos das nuvens e suas temperaturas. Alguns misses são orientadas por fonte de calor, na astronomia existem telescópios infravermelhos que conseguem localizar melhor planetas estrelas e galáxias espalhadas pelo cosmos.

3.1.5 Microondas

Micro ondas são ondas eletromagnéticas que tem um comprimento que varia entre, um centímetro a 30 metros, elas têm como fonte principais circuitos elétricos, mas também podem ser emitidas em transições atômicas, Com tanto que os níveis energéticos envolvidos estejam próximos da aplicação. As microondas são de grande importância para a comunicação com veículos espaciais principalmente na rádio astronomia. Em uma de suas utilizações mais comuns são nos fornos de microondas; Onde a energia dessas ondas agita as moléculas de água pertencente aos alimentos fazendo com que eles aqueçam, a quantidade de água é fundamental para o aquecimento, ou seja, quanto maior a quantidade de água mais rápido os alimentos aquecem.

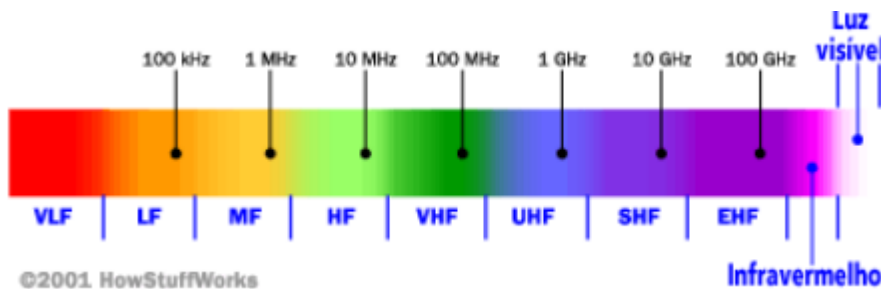
3.1.6 Ondas de Rádio

As ondas de Radio compreendem a região do espectro que variam de alguns hertz há algo em torno de 10^9 Hz, em comprimento de onda a variação é de muitos quilômetros até algo próximo de 30 cm. As ondas de rádio que possui um comprimento e poucos centímetros são utilizadas em satélites comunicação a aeroespacial. Geralmente As ondas de rádios são produzidas por circuitos eletrônicos Suas principais aplicações são: Emissões de rádio televisão radares Comunicação policial. Uma das aplicações mais utilizadas atualmente é a utilização de ondas de rádio na transmissão de dados como, por exemplo, a internet.

3.2 A importância das ondas rádios para as telecomunicações

As ondas de rádio AM, rádio FM, VHF, UHF, rádio CB, caracterizadas como ondas curtas. È importante entender qual a principal diferença entre ele e como se tornou possível o principio de funcionamento

Figura 7: Intervalo de frequência dos diferentes valores das ondas de radio.



Fonte: <http://marcoscesarja.blogspot.com.br>

Um aspecto interessante das ondas de rádio é que cada tecnologia wireless tem a sua pequena faixa de banda disponível. Existem centenas delas. A tabela a seguir ilustra apenas algumas delas.

Tabela 1: Valores em megahertz das diferentes faixas de frequências de dispositivos que utilizam ondas de rádios.

Dispositivos	Megahertz
Controle remoto de garagens	40
Sistemas de alarmes	40
Telefones sem fios	40-50
Babá eletrônica	49
Aviões de controle remoto	72
Carros de controle remoto	75
Colares para localização de animais selvagens	215 a 220
Estação espacial MIR	145 e 437
Telefones celulares	824 a 849
Novos telefones sem fios de 900 MHz	Em torno de 900
Radar de controle de tráfego aéreo	960 a 1, 215
Sistema de posicionamento global (GPS)	1, 227 e 1, 575
Comunicações de rádio no espaço	2290 a 2300

Outro fato importante é saber por que a banda da rádio AM vai de 550 a 1.700 kilohertz enquanto a banda da rádio FM vai de 87,5 a 108 megahertz?

Estas escolhas são aleatórias e estão relacionadas com a história. A rádio AM é mais antiga do que a FM. As primeiras transmissões de rádio aconteceram em 1906 e a alocação de frequências para a rádio AM ocorreu nos anos 20 (antes mesmo da fundação da FCC). Nesta época, as rádios e a capacidade dos equipamentos eletrônicos eram muito limitadas, por isso a rádio AM só captava baixas frequências. Os canais de TV praticamente não existiam até 1946, ano em que a FCC começou a estabelecer a banda de transmissão para as televisões. Em 1949, um milhão de pessoas tinha televisões e, em 1951, esse número aumentou para 10 milhões em toda a América. A rádio FM foi inventada por um homem chamado Edwin Armstrong. O objetivo era transmitir música em alta fidelidade e sem a interferência de eletricidade estática. Ele construiu a primeira estação em 1939, mas a rádio FM só se tornou popular na década de 60. Por isso, as frequências da rádio FM são mais altas.

3.3 Estação de rádio e o megahertz

Ao ouvir uma estação de rádio, na faixa de 104,9 Radio Guarany FM", significa dizer que se está ouvindo uma estação de rádio transmitida por um sinal FM na frequência de 104,9 Megahertz, que significa "milhões de ciclos por segundo", então "104,9 megahertz" significa que o transmissor da estação de rádio oscila numa frequência de 104.900.000 ciclos por segundo. A rádio FM (frequência modulada) pode sintonizar esta frequência específica e receber o sinal de uma estação.

Todas as estações FM transmitem em uma banda de frequência entre 87,5 e 108 megahertz. Esta banda do espectro eletromagnético é utilizada somente para transmissão de rádio FM. Já a rádio AM é confinada em uma banda que vai de 535 a 1.700 kilohertz (kilo significa "milhares", então seriam 535 mil até 1.700.000 ciclos por segundo). Se o locutor de uma rádio AM (amplitude modulada) diz: "esta é a AM 680 WPTF", quer dizer que é uma estação de rádio transmitindo sinal AM em 680 kilohertz e com as letras WPTF atribuídas pela FCC.

3.4 Bandas de frequência

As bandas de frequência mais comuns são:

- rádio AM - 535 kilohertz a 1.7 megahertz
- rádio de ondas curtas - 5.9 megahertz a 26.1 megahertz
- rádio CB - 26.96 megahertz a 27.41 megahertz
- canais de TV - 54 a 88 megahertz do canal 2 até o 6
- rádio FM - 88 megahertz a 108 megahertz
- canais de TV - 174 a 220 megahertz do canal 7 até o 13.

3.5 Modulação de ondas

Os sistemas de comunicações vêm sendo motivados grande preocupação por parte dos seres humanos, e melhorá-lo cada vez mais é um objetivo comum a todos. Mas esta tarefa não é muito fácil, devido á incompatibilidade entre as aptidões dos sentidos do ser humano as possibilidades técnicas de realização de um sistema de comunicação. O homem tem uma capacidade de ouvir a falar através de uma faixa que vai de 20 Hz até 20 kHz, sendo que esta capacidade diminui com a idade. Todavia fisicamente é impossível a transmissão de um sinal nessa faixa de frequência por uma antena comum, pois a altura de uma antena esta associada ao comprimento de onda do sinal a ser transmitido.

Sabe-se que a frequências audível pelo ser humano vai de 20 Hz a 20 kHz, mas o sinal de voz mais baixo que o homem pode produzir com sua voz é aproximadamente de 40 Hz, e o mais alto é de aproximadamente 3,4 kHz, o que tornaria a altura da antena de transmissão próxima do impossível obtido. Se a comunicação a longa distancia dependesse da transmissão dos sinais sonoros em sua essência, seria praticamente impossível tal meio de comunicação. Atualmente um dos meios de transmissão de sinais sonoros é feito através do processo de modulação onde é adicionada informação a uma onda portadora de alta frequência, através da variação da amplitude, onde esta variação que forma uma das características de um sinal portador (amplitude, frequências ou fase) que varia proporcionalmente ao sinal modulador.

Por consideramos a onda portadora como sendo senoidal, o objeto do nosso estudo será chamada de modulação contínua. Quando uma onda senoidal permite, pela modulação de um dos seus parâmetros a transposição de seu espectro denominado a esta onda **portadora**, como esta portadora tem três parâmetros (amplitude, frequência e fase), teremos três formas básicas de modulação de ondas, através da amplitude (AM), frequência (FM) e fase (PM), mas são diversas as formas de modularmos uma onda, por exemplo:

- ✓ Modulação em banda lateral dupla (DPB)
- ✓ Modulação em banda lateral única (SSB)
- ✓ Modulação em banda lateral vestigial (VSB ou VSB-AM)
- ✓ Modulação de amplitude em quadratura (QAM)
- ✓ Modulação por divisão ortogonal de frequência (OFDM)

3.6 Modulações em amplitude (AM)

A onda AM, do inglês, *amplitude modulation* – amplitude modulada é uma forma de modulação em que apenas a amplitude senoidal (portadora) é modulada, e a fase juntamente com a frequência é mantida constante. A figura seguinte mostra a forma de onda e o aspecto para diversas taxas e frequências de modulação. A curva imaginaria chamado envoltório, que representa o valor de pico atingido pela onda AM em função do tempo e cuja forma é exatamente a do sinal modulante.

Figura 8: Modulação por amplitude da onda.



Fonte: <http://eletronica-amargedon.blogspot.com.br>

Todo o raciocínio acima foi feito usado como sinal modulante uma solenoide, que espectralmente é uma raia e por isso cria duas laterais, imagem dela. Na prática, o sinal modulante é quase sempre um sinal complexo, como a voz de um locutor, por exemplo. Todo sinal complexo é composto de uma série de solenóides (que para ser resolvida se usa o teorema de Fourier), ou seja, uma série de raias que ocupam uma banda, basta aplicarem o mesmo raciocínio para cada uma das raias individualmente. A banda superior (USB Upper Side Band) é a imagem exata do espectro do sinal modulante, enquanto que a banda lateral inferior (LSB Lower side Band) é a imagem invertida do mesmo sinal, pois é o resultado de uma subtração entre frequências da portadora e as frequências do sinal modulante.

3.6.1 A Modulação em banda lateral dupla (AM-DSB)

Quando são transmitidas as duas bandas mais a portadora. Este tipo de modulação pede muita potência na transmissão, pois ela transmite duas bandas com a mesma informação, e mais a portadora, que não tem informação.

3.6.2 Modulação em banda lateral única sem a portadora (AM-SSB-SC)

Nesta é transmitida uma banda (USB ou LSB) sem portadora. Neste caso a portadora precisa ser reconstituída no receptor e na posição (frequência exata para poder fazer a transposição espectral inversa, ou seja, de modular o sinal, recolocando-o na posição original do espectro).

3.6.3 Modulação de amplitude em quadratura (QAM)

Nesse tipo, duas ondas moduladas DSB-SC com portadora na mesma frequência, resultante de sinais de banda base fisicamente independente e com defasagem de 90° , ocupam a mesma largura da banda de um canal, mas na saída do receptor permite a separação dos dois sinais. Devido fase entre uma e outra onda é o que vem o termo quadratura.

3.6.4 Modulação em banda lateral vestigial (VSB)

Na modulação VSB, primeiramente, geramos uma onda modulada DSB-SC, em que uma das bandas laterais é parcialmente eliminada, e depois passamos através de um filtro passa-faixa, onde um vestígio da outra banda é transmitido. Esta forma de modulação é usada para a transmissão da imagem da TV. Nas transmissões de TV, o vídeo é transportado por uma onda AM, e o áudio por uma FM.

A modulação AM permite fazer uma transposição espectral da informação, mudando de espectro de baixa frequência para frequências maiores. Já a de modulação esta em fazer a transposição inversa, recolocando a informação em seu estado original. Pode-se concluir que quando temos como objeto modular uma onda denominada de portadora, o que ocorre é que esta onda permaneça constante e aparecem duas novas ondas simétricas. Portanto, não é a portadora que esta modulando em amplitude, mas a onda resultante da soma da portadora pura mais as bandas laterais.

3.7 As subdivisões das ondas “AM”

Devido ao grande alcance destas ondas, elas são usadas desde comunicação entre aviões, emissora comercial até radioamadores. Essas ondas possuem as seguintes subdivisões, segundo a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações)

Tabela 2: Divisões das ondas AM de acordo com a Agencia Nacional de Telecomunicações.

Ondas “AM	Faixa de Modulação em amplitude
Onda Media (OM)	525 kHz a 1602 kHz, e 1.605 kHz a 1.705 kHz
Onda Tropical (OT)	2.300 kHz a 2.4995 kHz, 3.200 kHz a 3.400kHz, 4.750 kHz a 4.995 kHz e 5.005 kHz a 5.060 kHz.
Ondas Curtas (OC)	5.950 kHz a 6.200 kHz, 9.500 kHz a 9.775 kHz, 11.700 kHz a 11.975 kHz, 15.100 kHz a 15.450 kHz, 17.700 kHz a 17.900 kHz, 21.450 kHz a 21.750 kHz e 25.600 kHz a 25.600 kHz a 26.100 kHz.

A primeira transmissão AM no Brasil ocorreu no ano de 1922, e no Pará ocorreu no ano de 1928 com inauguração da Rádio Clube do Pará, esta funcionando até hoje.

3.8 Modulação angular

Ate então vimos o efeito de variarmos a amplitude de uma onda portadora senoidal em função de um sinal modulante. Agora veremos outra forma de modularmos uma onda portadora senoidal, é a modulação angula, neste tipo de modulação, variamos o ângulo da portadora de acordo com o sinal modulante. Neste método de modulação, a amplitude da onda modulada é constante. Há varias formas de se variar o ângulo de uma portadora, entretanto as mais comuns são a variação de fase e de frequência. A que iremos considerar nesse trabalho é a mais comum e a que nos interessa que é a modulação em frequência. Apesar de ser impossível haver a variação de frequência sem que haja na fase, impossibilitando esta por estarem intimamente ligados, como veremos a seguir:

3.9 Modulações em amplitude (FM)

Forma o espectro da onda modulada em frequência, não é tão simples como o da AM que tem apenas duas raias e mais a portadora. Teoricamente, uma onda FM é composta por uma grande quantidade de ondas senoidais de frequências fixas (raias), simétricas em relação a frequência da portadora f_p , a frequência do sinal modulante. Na prática, as raias acima de certo valor podem ser desprezadas por serem muito pequenas. Desprezando as raias com menos d 10 % de amplitude em relação à portadora pura, a banda ocupada em FM.

Figura 9: Modulação por Frequencia da onda.



Fonte: <http://eletronica-amargedon.blogspot.com.br>

CAPÍTULO 4

APLICAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS EM RADIO DE FREQUÊNCIA FM E A MANTAGEM DO TRANSMISSOR DE RÁDIO FM.

Rádio é um sistema de comunicação que usa ondas eletromagnéticas que se propagam pelo espaço. Usam-se ondas radiofônicas de diferente comprimento (comprimento de onda) para distintos fins. Em geral as ondas eletromagnéticas distinguem-se pela sua frequência que é inversa ao comprimento de onda. As ondas mais curtas têm frequência mais alta e um comprimento de onda mais baixo, enquanto as ondas de frequência mais baixa têm um comprimento de onda mais elevado. A frequência corresponde a um determinado número de ciclos por segundo. Foi o nome do pioneiro da rádio alemão Heinrich Hertz que serviu para batizar a unidade de medida da frequência; Hertz (Hz). Assim um ciclo por segundo equivale a 1 Hz (Hertz), 1KHz é igual a 1000 Hz, ou 1000 ciclos por segundo, e assim sucessivamente. As ondas de rádio vão de alguns kHz (Kilohertz) a vários gigahertz (GHz), 1.000 milhões de ciclos por segundo.

As ondas de luz visível são muito mais curtas. No espaço as radiações eletromagnéticas propagam-se em forma de ondas a uma velocidade uniforme de quase 300.000 km por segundo. As ondas de rádio utilizam-se não só na radiodifusão, mas também na telegrafia sem fios, telefones, televisão, radar, sistemas de navegação e a comunicação espacial. Na atmosfera as características físicas do ar originam pequenas variações do movimento ondulatório que provocam erros nas comunicações, como, por exemplo, no radar. Além disso, as tempestades e as perturbações elétricas provocam fenômenos anormais na propagação das ondas de rádio.

As ondas eletromagnéticas numa atmosfera uniforme propagam-se em linha reta e como a superfície terrestre é praticamente esférica a comunicação a grande distância é possível graças à reflexão das ondas de rádio na ionosfera. As ondas de rádio de comprimento de onda inferior aos 10m, que são chamadas de frequências muito altas (VHF), ultra-altas (UHF) e super altas (SHF), não se refletem na ionosfera. Assim, na prática, estas ondas muito curtas só se captam à distância visual. As frequências com comprimento de onda de alguns centímetros são absorvidas pelas gotas de água ou pelas nuvens. As inferiores a 1,5cm podem ser absorvidas pelo vapor de água existente na atmosfera limpa.

Os sistemas normais de radiocomunicação constam de dois componentes básicos: o Transmissor, e Receptor.

4.1 Transmissor

Composto por um gerador de oscilações, que converte a corrente elétrica em oscilações de uma determinada frequência de rádio; um transdutor que converte a informação a ser transmitida em impulsos elétricos equivalentes a cada valor e um modulador, que controla as variações na intensidade de oscilação ou na frequência da onda portadora, sendo efetuada em níveis baixos ou alto. Quando a amplitude da onda portadora varia segundo as variações da frequência e da intensidade de um sinal sonoro, denomina-se modulação AM. Já quando a frequência da onda portadora varia dentro de um nível estabelecido a um ritmo igual à frequência de um sinal sonoro, denomina-se modulação FM.

4.2 Receptor

Tem como componentes principais: a antena para captar as ondas eletromagnéticas e convertê-las em oscilações elétricas; amplificadores que aumentam a intensidade dessas oscilações; equipamentos para desmodulação; um alto-falante para converter os impulsos em ondas sonoras e na maior parte dos receptores osciladores para gerar ondas de radio frequência que possam se misturar com as ondas recebidas. Os componentes fundamentais de um transmissor de rádio são: Um gerador de oscilações (oscilador) para converter as variações elétricas em oscilações de uma determinada frequência de rádio; Os amplificadores para aumentarem as referidas oscilações conservando a frequência estabelecida; Transdutor para converter a informação a transmitir em variações de corrente elétricas proporcionais a cada valor instantâneo da intensidade.

No caso da transmissão de som o transdutor é o microfone. Para transmitir imagens utiliza-se como transdutor um dispositivo fotoelétrico. Outros componentes importantes de um transmissor são o modulador que aproveita as voltagens proporcionais para controlar as variações na intensidade da oscilação ou frequência instantânea da portadora e a antena que irradia uma onda portadora igualmente modulada. Cada antena apresenta certas propriedades direcionais, ou seja, irradia mais energia numas direções e menos energia em outras, no entanto estes padrões podem ser modificados de forma a que a radiação varie num raio relativamente estreito até uma distribuição homogeneia em todas as direções. Este último tipo de radiação é usado na radiodifusão.

O método concreto utilizado para desenhar e dispor os diversos componentes depende do efeito desejado. Os requisitos principais de uma emissora de rádio de um avião comercial ou militar são, por exemplo, que tenha um peso reduzido e que tenha uma transmissão

inteligível. O custo é um aspecto secundário e a qualidade de recepção é um aspecto muito importante.

4.3 Emissoras

Uma emissora ou estação é uma empresa de radiodifusão, ou seja, transmite informações através de ondas eletromagnéticas na faixa que compreende as ondas de rádio. Os governos locais são quem estabelece os padrões do sistema de radiodifusão que varia ao redor do mundo. Geralmente uma estação de rádio ou televisão precisa de uma licença de transmissão nas transmissões acima de 500 metros de raio, essa autorização tem que ser emitida pela ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações).

4.3.1 Comercial de radiodifusão

Numa emissora comercial de radiodifusão o tamanho e o peso têm pouca importância, mas deve ser tomado em consideração o seu custo e a fidelidade é fundamental acima de tudo em emissoras de FM. O controle estrito da frequência constitui uma necessidade crítica. Nos Estados Unidos, por exemplo, uma típica emissora comercial de 1000KHz tem uma largura de banda de 10KHz mas esta largura só se pode utilizar para modulação, sendo que a portadora se deverá manter exatamente nos 1000KHz, já que uma variação de 1% originaria grandes interferências em emissoras na mesma frequência mesmo que distantes.

4.3.2 Emissora comercial normal

Numa emissora comercial normal a frequência da portadora é gerada utilizando um oscilador a cristal, rigorosamente controlado. O meio básico de controlar as frequências em radiodifusão consiste na utilização de circuitos de absorção ou ressonantes, que possuem valores específicos de indutância e capacitância e que, portanto, favorecem a produção de correntes alternas de uma determinada frequência e impede a circulação de correntes de frequências distintas. De qualquer forma, quando se pretende que a frequência seja rigorosamente estável usa-se um cristal de quartzo com uma frequência natural concreta de oscilação elétrica para estabilizar as oscilações.

Na realidade estas são geradas a baixa potência numa válvula eletrônica ou transistor e são amplificadas em amplificadores de potência que também atuam como retardadores que evitam a interação do oscilador com outros componentes. Essa interação poderia originar a

alteração da frequência. O cristal tem a forma exata para as dimensões necessárias a fim de proporcionar a frequência desejada, que se pode modificar ligeiramente adicionando um condensador ao circuito para obter a frequência exata. Bem desenhado, um oscilador não varia mais do que uma centésima da sua frequência. Monta-se o cristal em vazio e com temperatura constante e mantendo-se as várias tensões estabilizadas pode-se conseguir uma variação de um milionésimo da frequência.

4.4 Montagem do experimento transmissor de rádio FM

Foi construído um simples transmissor de ondas eletromagnéticas para atuar na faixa de FM, a fim de ser possível a transmissão de áudio de um telefone celular.

4.4.1 Elementos necessários para a montagem do circuito elétrico

Foi realizada a montagem do circuito elétrico em uma placa de cobre seguindo o esquema de um simples transmissor FM (figura 18). Um rádio FM portátil foi utilizado para verificar a ocorrência da transmissão e teste de alcance.

Tabela 3: Elementos relevantes para a montagem do rádio FM

Elementos do rádio FM	Valores considerados
Placa de cobre	5 por 5 centímetros
Resistores	10k, 27k, 470k
Dois capacitores	10pf
Um Capacitor	100pf
Capacitor polarizado	100µf
Bateria	9 v
Bobina	4 voltas
Transistor	DC337
Trimmer (Capacitor Ajustável)	27pf

4.4.2 Placa de cobre

A figura abaixo ilustra uma placa de cobre com circuito desenhado com uma caneta especial especifica para o circuito e que pode ser encontrada na maioria de lojas eletrônicas.

Figura 10: Placa de cobre com circuito desenhado com uma caneta especial especifica para circuito.



Fonte: Autoria do autor

4.4.3 solução de percloreto de ferro

Tem como função corroer a parte não pintada de placa através de uma reação química que servirá para montagem do circuito elétrico onde serão soldados os demais componentes para o transmissor de rádio.

Figura 11: solução de percloreto de ferro que provoca corrosão da placa de cobre



Fonte: Autoria do autor

4.4.4 Colocação do percloroeto de ferro na placa de cobre

O procedimento utilizado para eliminação do cobre é de despejar sobre a parte não pintada da placa e esperar por cerca de 10min até que a reação química venha corroer parte da placa (figura13)

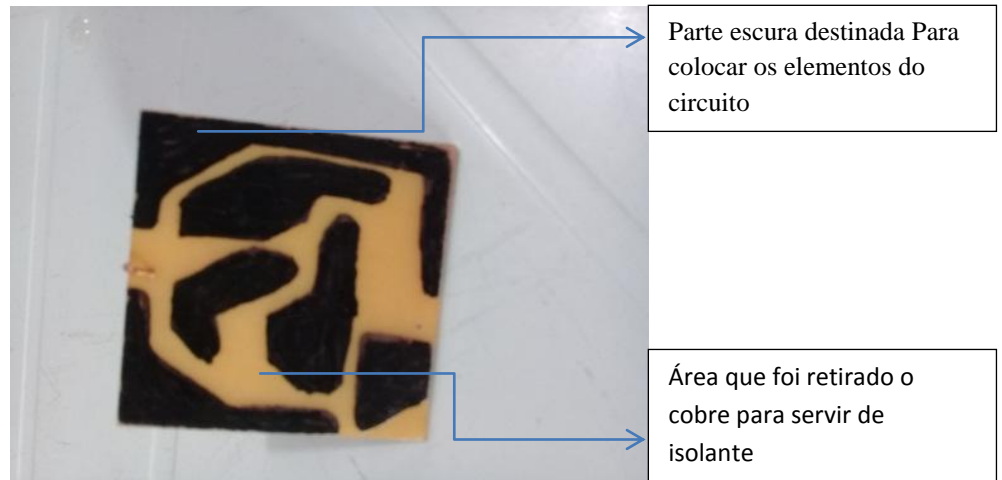
Figura 12: Eliminação do cobre quando despejado por percloroeto de ferro sobre a placa.



Fonte: Autoria do autor

Após o procedimento, verifica-se que o resultado final corresponde na figura dado a seguir:

Figura 13: A parte escura representa a predominância de cobre e a outra parte, um isolante para os elementos do circuito.



Fonte: Autoria do autor

A parte escura representa a predominância de cobre e a outra parte, foi onde a reação química eliminou o cobre. Essa parte escura será utilizada para inserir os elementos do circuito elétrico.

4.4.5 furos na placa de cobre

A figura a seguir ilustra os diferentes furos na parte escura da placa de cobre que serão utilizados para inserção dos elementos e posterior soldagem para garantir que seja possível a transmissão da corrente elétrica ao longo desses elementos.

Figura 14: Presença de diferentes furos na parte escura da placa para inserção dos elementos e posterior soldagens.

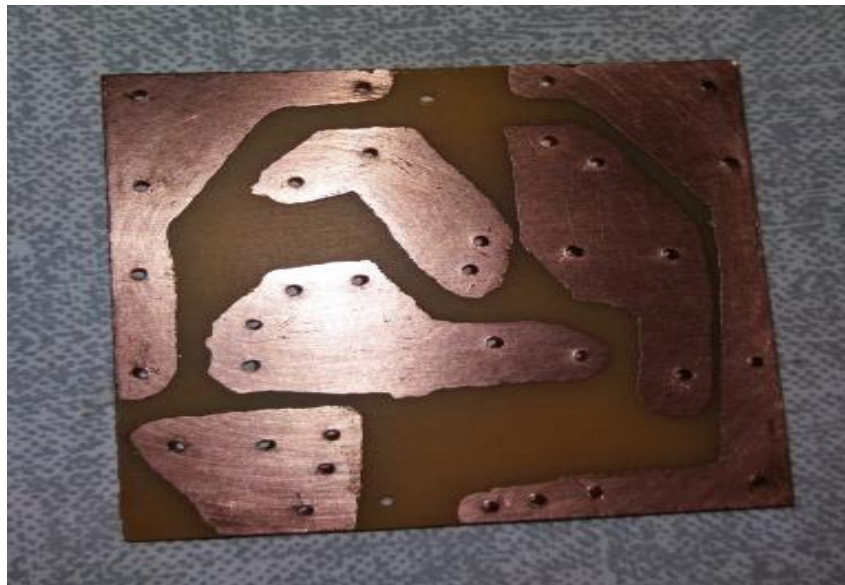


Fonte: Aatoria do autor

4.4.6 Obtenção da Placa de cobre para inserção dos elementos.

Após o despejo do percloro de ferro na placa, para remoção da parte escura da placa, utilizou-se uma esponja de aço que serviu para retirada da tinta da caneta. Assim sendo, terminada essa tarefa, teremos uma placa pronta para ser usada como base para colocação dos elementos do circuito.

Figura 15: placa pronta para ser usada como base para colocação dos elementos do circuito.

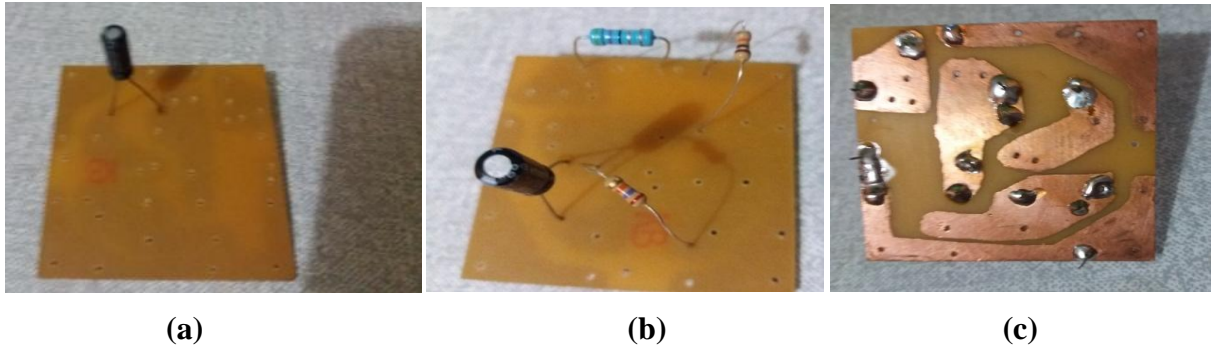


Fonte: Aatoria do auto

4.4.7 Inserção dos elementos do circuito

Para montagem do radio transmissores três relevantes elementos constitui a base para o principio de funcionamento. O capacitor polarizado (figura a) tem como função manter estável a corrente que o atravessará, permitindo o acúmulo de carga. O resistores (figura b) procuram dissipar a energia que provém do capacitor a fim de que seja possível manter a corrente na faixa desejada. A terceira figura ilustra como esses elementos foram fixados por fusão de soldas maleáveis.

Figuras 16: Capacitor polarizado e Resistores como elementos principais para a geração de corrente no circuito,

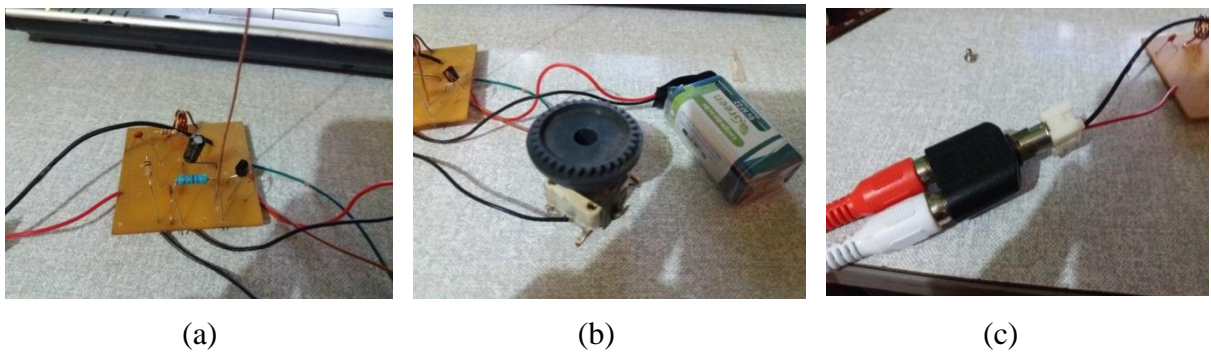


Fonte: Autoria do autor

4.4.8 Circuito Montado para transmissão

Circuito completo com os capacitores cerâmicos, Transistor, Bobina, Capacitor Variável, Bateria, antena, e entrada do sinal de áudio.

Figuras 17: Outros elementos relevantes do circuito.(a) Montagem do circuito, (b) Introdução da bateria capacitor ajustável, (c) Sinal de áudio



Fonte: Autoria do autor

4.5 Resultados do experimento

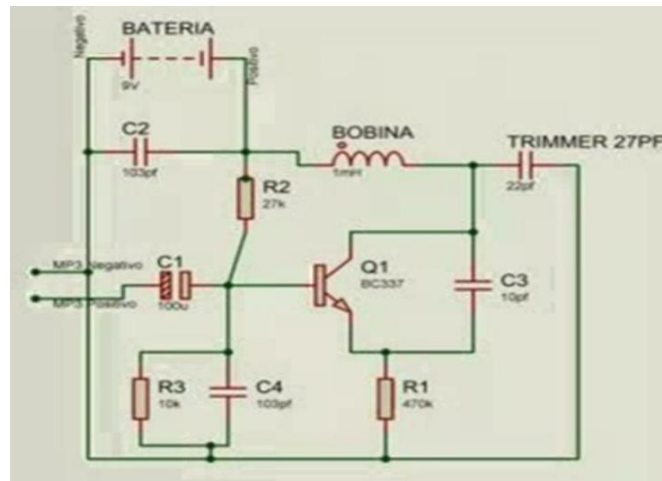
Após alguns ajustes, a transmissão apresentou alcance aproximado de 30 metros. Tendo este transmissor como base, foi realizada uma análise de seu funcionamento, verificando como alguns de seus diferentes componentes influenciam em sua transmissão.

4.6 Princípios de funcionamento

Na transmissão de áudio via rádios FM (Frequência Modulada) o som é transmitido por ondas eletromagnéticas que variam entre 87,5 MHz a 108 MHz. A alta frequência da transmissão FM inibe possíveis interferências, garantindo qualidade sonora, assim como

idealizou seu criador Edwin Armstrong. Portanto, na construção de um transmissor FM, componentes que delimitam a frequência das ondas emitidas, como a bobina e o *trimmer*, são cruciais para um bom funcionamento do mesmo.

Figura 18: Esquema elétrico de um simples transmissor FM.

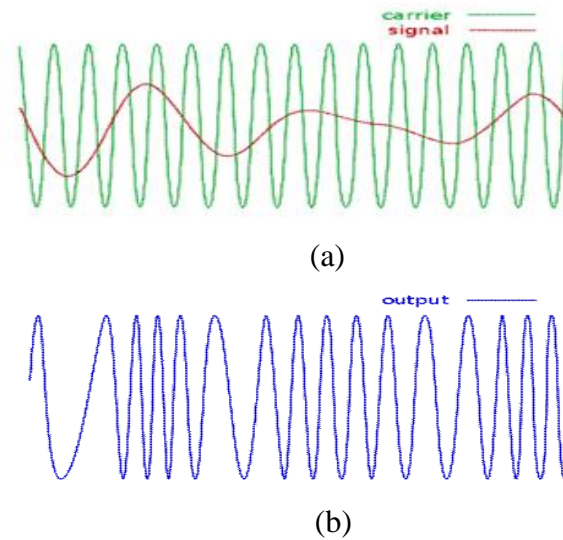


Fonte: Autoria do autor

4.7 Ajustes e funcionamento do transmissor de rádio FM

Ajustes no capacitor variável do transmissor, na frequência do receptor e no volume do celular foram necessários para ser obtida uma recepção limpa da transmissão, sendo que seu alcance foi estimado em 30 metros. As verificações de como alguns dos componentes atuam no circuito pôde ajudar a entender como ocorre a modulação de frequência. Basicamente, a modulação consiste em fazer com que um parâmetro da onda portadora (neste caso, a frequência) mude de valor de acordo com a variação do sinal do áudio.

Figura 19: (a) A onda portadora (verde) e a informação (vermelho), (b) a onda modulada em frequência (azul).



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Modula>

4.8 Funções do oscilador

O oscilador (conjunto bobina e capacitor variável) produz a onda portadora, uma onda senoidal gerada por ciclos de carga e descarga do *trimmer* (capacitor variável) em conjunto com a bobina. Quanto maior a capacitância ajustada no *trimmer*, maior será o tempo de carga e descarga do mesmo. Desta maneira, a frequência da onda portadora será inversamente proporcional à capacitância regulada. O formato da onda do áudio aumenta e diminui a tensão na base do transistor por uma pequena quantidade e modifica o ponto de polarização para o estágio.

Isso tem o efeito de alterar um pouco o tempo do ciclo (o tempo que leva para um ciclo da onda senoidal portadora ocorrer) e a frequência resultante que o oscilador havia gerado é ligeiramente alterada por um montante igual à frequência da onda de áudio. O resultado é a modulação de frequência da onda portadora. Após passar pelo transistor, o sinal é amplificado (ganho de sinal característico do transistor) e vai para a antena, onde será transmitido.

4.9 Resultados e discussões

O transmissor emitiu ondas de frequência modulada dentro da faixa desejada, assim podendo ser captada por um rádio comum. Dentro de um raio de 30m a qualidade sonora se mostrou satisfatória e observou-se que pequenos ajustes na bobina e no trimmer, resultam em bruscas mudanças na frequência e no alcance do transmissor.

CONSIDERAÇÃO FINAL

Como se observou ao longo do texto do trabalho, as ondas eletromagnéticas assumem um papel importantíssimo dentro da área das ciências ao ponto de mostrar a enorme vantagem do uso das ondas eletromagnéticas nas tecnologias e as telecomunicações em geral. O estudo dessas ondas resultou na criação de uma gama de estudos relacionados com o espectro eletromagnético (figura 6, pág.32). Assim sendo, devido o grande numero de aplicações, buscou-se como se pode constatar no objetivo do trabalho, alguns tópicos relevantes como pré-requisitos necessários como base para obtenção da montagem de um transmissor de um rádio FM.

No entanto, a aplicação das ondas eletromagnéticas em radio FM e a importância da propagação dessas ondas nos meios de telecomunicação elevaram a vida humana para um patamar de desenvolvimento significativo, tendo em vista que a sociedade em geral, necessita a todo instante das inúmeras aplicações das ondas eletromagnéticas sem as quais é impossível haver progressão promissora em todas as áreas do conhecimento humano, a exemplo, na indústria, nas usinas hidroelétricas, termonucleares, eólicas, em empresas bancarias, etc. tendo em vista a essa tamanha relevâncias, procurou-se desenvolver ao longe do trabalho exposto, a aplicação de um radio transmissor mostrando mais uma vez, a aplicabilidade das ondas eletromagnéticas.

Todavia, para o desenvolvimento desse estudo, foi considerada uma pequena faixa do espectro, onde se pode verificar a possível transmissão do radio FM correspondente ao intervalo de frequências que vai de 87,5MHZ a 108MHZ que representa a faixa considerada para se ter transmissão. Vale, entretanto ressaltar que a transmissão de um radia FM se dar por intermédio de ondas de radio que se propaga ao longo das camadas da atmosfera, especificamente, na ionosfera. O tópico que condiz com as interações das ondas de raios com os elétrons da Ionosfera, mostrou que campos oscilantes interagem com elétrons dessa camada apresentando como deslocamentos a expressão seguinte.

$$x = -\frac{te \cdot E_0}{m\omega} \cos\theta + \frac{e \cdot E_0}{m\omega^2} \text{sen}(\theta_0) + \frac{e \cdot E_0}{m\omega^2} \text{sen}(\omega t + \theta_0)$$

Como se observou, os dois primeiros termos indicam que os elétrons estão à deriva, o ultimo termo, indica que se tem um movimento oscilatório superposto ao movimento de deriva do elétron. A frequência da oscilação ω do elétron é independente das condições iniciais e é a mesma frequência de oscilação do campo elétrico da onda de rádio. Dessa forma é possível haver no interior dessa camada a propagação de ondas eletromagnéticas que

excitam elétrons possibilitando a transmissão ao longo da camada. Ver-se, portanto, que um estudo das camadas da terra é importante para conseguir compreender como acontece a propagação dessas ondas de raio ao longo da camada da ionosfera.

Assim como se verificou para as ondas de rádio, é importante fazer um estudo sobre a transmissão de ondas eletromagnéticas em outros dispositivos como em aparelhos de TV digital e outros dispositivos de caráter tecnológico, como celulares e GPS. Apesar dessas aplicações relevantes, o trabalho restringiu o estudo abordando uma parte teórica para que fosse possível uma melhor compreensão do estudo das camadas da terra, da faixa do espectro eletromagnético e dos dispositivos necessários para montagem de um transmissor de radio FM. Nessa última parte, como se constatou, um roteiro sobre a montagem desse pequeno transmissor para que o caro leitor possa ser também, capaz de montar esse disposto seguindo os mesmos passos, fazendo os testes para entender a utilidade das ondas eletromagnéticas nas telecomunicações.

Em cada etapa da montagem, ilustrou-se com fotos para que a aprendizagem fosse muito mais significativa. Os resultados e discussões como resultado final do experimento, o pequeno transmissor de rádio emitiu ondas de frequência modulada dentro da faixa desejada permitindo a captação das ondas por um rádio comum. Dentro de um raio de 30m a qualidade sonora se mostrou satisfatória e observou-se que pequenos ajustes na bobina e no trimmer, resultam em bruscas mudanças na frequência e no alcance do transmissor.

Espera-se que esse trabalho venha ser útil, servindo de referências para aqueles que apresentam curiosidades e se fascinam com o estudo de ondas eletromagnéticas, tendo aptidão por montagem de dispositivos que no fundo, possam mostrar a grande aplicabilidade da teoria eletromagnética.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

HALLIDAY, RESNICK e WALKER, Fundamentos da Física, Vol. 4"; 6ª, 7ª, 8ª ou 9ª edição,

CORREIA, L.M., Sistemas de Comunicações Celulares-2, Apontamentos de Sistemas de Comunicações Móveis e Pessoais, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2002.

NUSSENZWEIG, Moisés, Curso de Física Básica”, vol. 3 e 4. “Física”,

PAUL A. TIPLER, vol 4.

FEYNMAN, LEIGHTON E SANDS, The Feynman Lectures on Physics”,

2-Industrial, scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment - Radio disturbance characteristics; limits and methods of measurement. (IEC/CISPR 11:1997, modified); German version EN 55011:1998. Limites e métodos de medidas das características de rádio interferência em equipamentos industriais, científicos e médicos.

3-SMITH, Albert A. Radio Frequency, Principles and Applications. New York, NY:IEEE Press, 1998. p. 111.

4-SCHWARTZ, Mischa. Transmisión de la Información, Modulación y Ruido. Buenos Aires: Alsina 731, 1968. p.217.

LOWENBERG. Edwin C. Circuitos Eletrônicos. Editora Mc. Graw - Hill do Brasil Ltda.1974.

5-KRAUS, J.D.: Electromagnetismo - Ingeniería Eléctrica - El Ateneo, Buenos Aires, p. 424. Fourth Edition, New York: MacGraw - Hill, 1992.

6-KENNEDY, G., Electronic Communication Systems. McGraw-Hill Kogakucha Ltda. Tokyo. December 1998.

7-EHRLICH Pierre J. Dispositivos e Circuitos de Eletrônica Aplicada. Editora Edgard Blücker Ltda. 1985.

8-COSTA, Gilberto José Corrêa da. Contribuição ao Estudo de Rádio Interferência. P.Alegre. CEEE, outubro, 1987.