

Comunicações via Rádio

Unidade de Medida de Frequência Hertz (Hz)

- Unidade de medida de frequência equivalente à uma variação ondulatória que executa um ciclo completo num segundo;
- O nome desta medida, provém do nome do físico alemão Heinrich Hertz (1857-1894).



Unidade de Medida de Frequência

Hertz, Kilohertz, Megahertz, palavras que ouvimos todos os dias, por exemplo, na especificação da frequência em que transmite nossa emissora de rádio preferida. O cientista que deu origem à medida e à onda hertziana - um Hertz corresponde a uma oscilação por segundo - determinou a velocidade da propagação das ondas e contribuiu decisivamente para o desenvolvimento das técnicas de rádio transmissão.

Heinrich Rudolf Hertz nasceu a 22 de fevereiro de 1857 e faleceu em Bonn a 1º de janeiro de 1894, aos 36 anos de idade, em consequência de uma infecção no maxilar. Desde menino, o gênio já fazia suas experiências. Aos 15 anos, inventava aparelhos complicados no porão de casa. Em cinco anos, cursou três universidades em cidades diferentes e se graduou em apenas seis semanas.

Aos 28 anos, já era professor universitário em Berlim, quando conseguiu provar a existência das ondas elétricas, fenômeno muito controverso entre os cientistas da época. Em 1887, Hertz realizou o mundo científico com uma série de experiências sobre a teoria eletromagnética do escocês James Maxwell. Este tinha demonstrado que a ação eletromagnética viaja pelo espaço em ondas transversais semelhantes às da luz e com a mesma velocidade.

Hertz provou que existe uma estreita analogia entre as ondas eletromagnéticas e as luminosas. Ambas se propagam à velocidade de 300 mil quilômetros por segundo. Além disso, se refletam e sofrem os mesmos fenômenos de interferência e de difração, podendo ainda ser polarizadas. Estas observações foram fundamentais para o desenvolvimento do telegrafo e, mais tarde, do rádio e da televisão.

Em 1896, dois anos depois da morte do físico alemão, Alexander Popov transmitiu o nome Heinrich Hertz, por telegrafo, a uma distância de 250 metros, perto de São Petersburgo. Em pouco tempo, as distâncias percorridas pelas mensagens foram ficando maiores. O italiano Guglielmi Marco ni fez uma transmissão através do Canal da Mancha em 1899. Em 1901, enviou uma mensagem através do Atlântico, entre Cornwall e a Terra Nova, provando aos matemáticos que a curvatura da Terra não seria empecilho para a telegrafia sem fio.

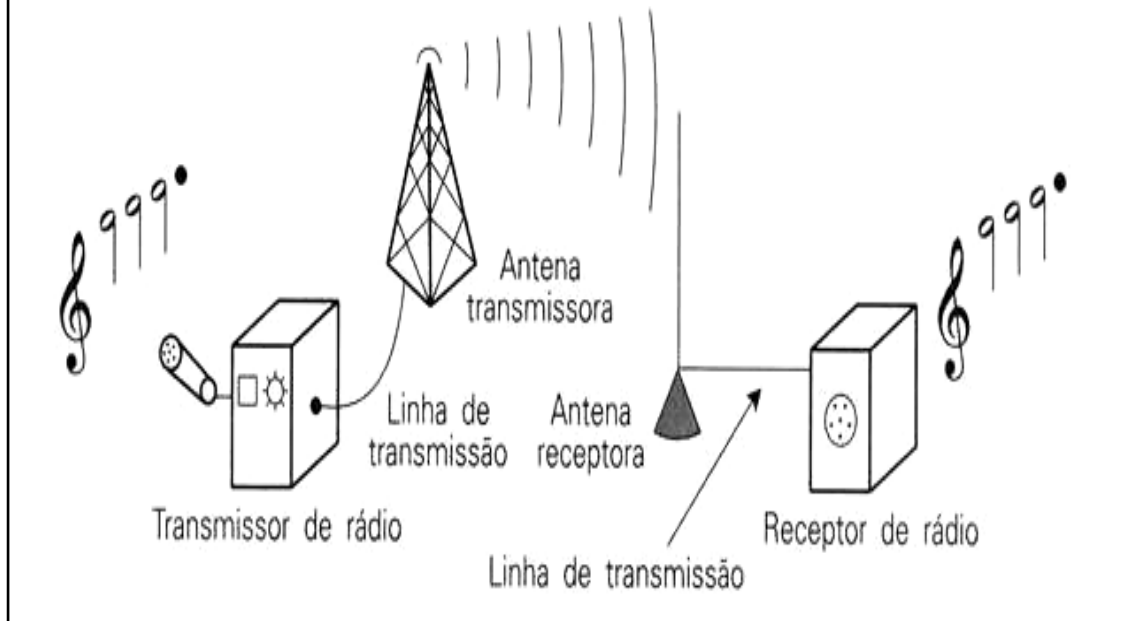
Na Alemanha, a primeira transmissão radiofônica aconteceu em 1923. Sete anos mais tarde, Albert Einstein ressaltou a importância do rádio:

- A nova técnica é um meio para garantir a realidade democrática. Ela não só facilita o cotidiano das pessoas, como também é despretensiosa para a sociedade de sua letargia. O novo veículo possibilita a todos o acesso a obras de pensadores e artistas desconhecidos, cuja apreciação até há pouco tempo ainda era privilégio de classes

abastadas.

Em 1933, Hitler aprovou-se do novo meio de comunicação para alastrar o racismo no país, obrigando a esposa e as duas filhas de Hertz a deixarem a Alemanha.

Introdução



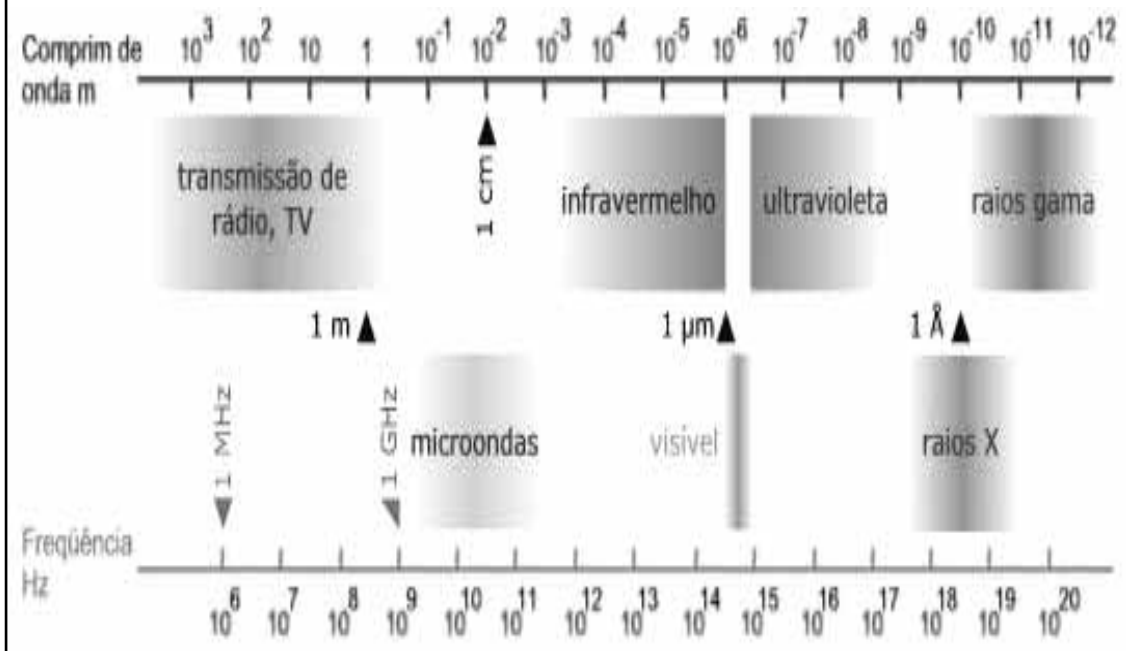
Introdução

Os componentes necessários para a transmissão de informação por meio de ondas de rádio são mostrados no slide. Nesse sistema, a energia elétrica contendo informação é gerada por um equipamento eletrônico no transmissor, enviada para a antena por meio de uma linha de transmissão e depois é radiada para o espaço na forma de onda eletromagnética. Antenas receptoras, quando colocadas no caminho da onda eletromagnética, absorvem parte da sua energia e a enviam para um equipamento receptor, onde a informação original é recuperada.

A potência do transmissor, a distância entre o transmissor e o receptor e a sensibilidade do receptor são alguns fatores importantes para a viabilização de comunicação por meio de ondas eletromagnéticas. Além disso, a escolha da frequência da onda é influenciada pelas condições da atmosfera terrestre e da natureza do solo entre os pontos de transmissão e recepção; sinais interferentes podem fazer a recepção impossível durante algum intervalo de tempo; ruídos e perdas presentes na linha de transmissão dificultam a identificação do sinal.

Qualquer dispositivo ligado a uma fonte de energia e destinado a produzir, em uma região externa, campos eletromagnéticos variáveis com o tempo, é um sistema radiante. Quando esse sistema é construído de modo a tornar máxima ou a acentuar a radiação de energia de uma de suas partes e, ao mesmo tempo, tornar mínima ou suprimir a radiação restante, a parte que irradia energia é denominada de antena. A teoria de antenas, portanto, admite implicitamente que ela esteja acoplada a uma fonte de energia não radiante por meio de uma linha de transmissão também não-radiante.

Espectro Eletromagnético



Características da Propagação das Ondas de Rádio

Os sinais de rádio propagam-se de maneira diferente no ar devido as variações no tamanho dos comprimentos de onda. Quanto mais alta a frequência, menor a distância que o sinal percorrerá. Altas frequências sofrem maior atenuação, ou seja, perda de intensidade do sinal. Frequências com comprimentos de onda longos tendem a seguir a curvatura da terra e são chamadas ondas terrestres. Isto explica porque as bandas de frequências muito baixas (VLF) e as de baixa frequência (LF) são especialmente adequadas para transmissão global e para finalidades de navegação de longo alcance.

Sinais abaixo de 30 MHz, principalmente aqueles na banda de frequência média (MF), viajam para cima no céu, mas alguma parte da sua energia é refletida de volta, ocasionando o "salto" da onda. Estas são chamadas ondas celestes. Esse efeito de salto permite as comunicações de longo alcance, mas não é sempre confiável. As condições atmosféricas mudam durante o dia, alterando as áreas de recebimento do sinal de salto.

Na faixa de frequências muito altas (VHF) e acima, os sinais de rádio não se curvam e aqueles transmitidos no ar não são refletidos de volta. Estas são chamadas ondas espaciais. Estas frequências são úteis para as comunicações do tipo "linha-de-visada". Elas não são úteis para comunicações de longa distância (além de 64 Km entre os locais) a menos que elas sejam destinadas a um satélite que as retransmite de volta para a terra. Quanto mais alta a frequência, menor será esta distância (cerca de 56 Km a 6 GHz e 8 Km a 38 GHz).

Características Principais

<i>FREQÜÊNCIA</i>	<i>MODO DE PROPAGAÇÃO</i>	<i>ALCANCE</i>	<i>VARIAÇÃO</i>
menor do que 3 MHz (VLF, LF e MF)	Ondas Terrestres (é usada exclusivamente à polarização vertical)	Inversamente proporcional à frequência do sinal. Necessita potência elevada	Pequena
entre 3 MHz e 30 MHz (HF)	Ondas Ionosféricas e Ondas Diretas (nas frequências mais elevadas)	Proporcional à frequência	Depende da hora do dia e da estação do ano
acima de 30 MHz (VHF, UHF, SHF e EHF)	Ondas Diretas	Depende da altura das antenas	Muito pequena

Características Principais

A propagação das ondas eletromagnéticas nas proximidades do solo depende da frequência e das características do percurso.

As ondas eletromagnéticas, principalmente as das faixas de VHF e superiores, propagam-se em linha reta, sendo chamadas, por essa razão, de ondas diretas, espaciais ou troposféricas.

Frequências inferiores a 3MHz propagam-se acompanhando a curvatura da Terra. Por isso são chamadas de ondas de superfície ou terrestres. Esse tipo de onda é responsável, por exemplo, pela recepção dos sinais das emissoras de ondas médias.

As ondas de rádio da faixa de HF são refletidas pelas camadas ionizadas da atmosfera. Por isso, são chamadas de ondas ionosféricas ou indiretas

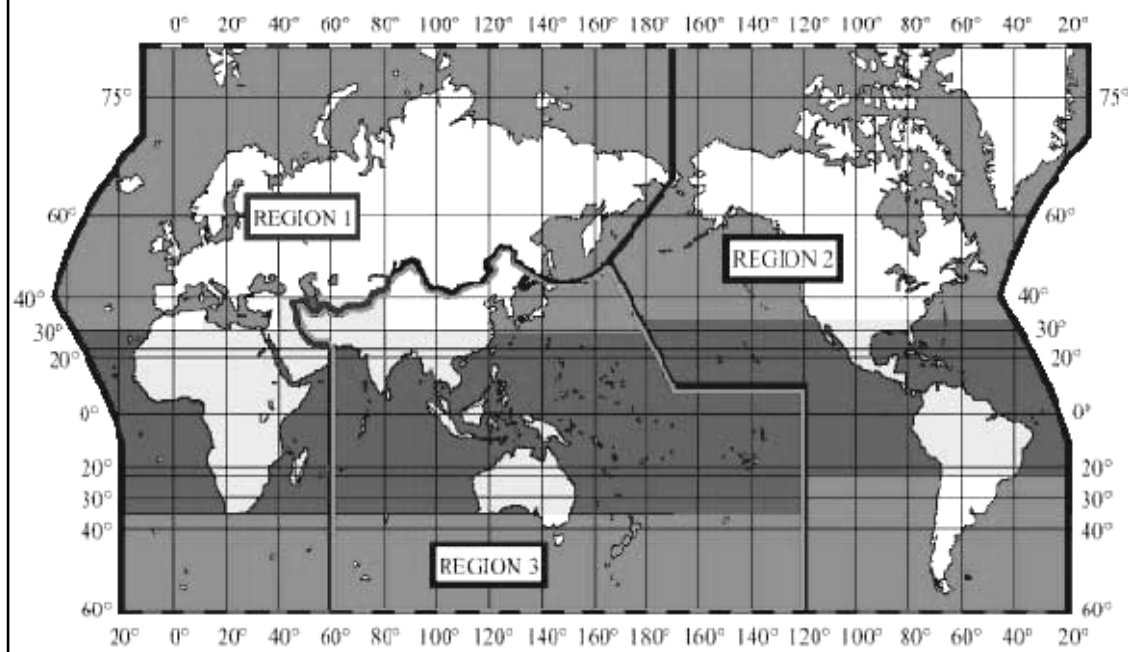
Bandas de Frequência e Aplicações em Rádio-Comunicações

Frequência	Designação	Aplicações
30 – 300 Hz	ELF Extremely Low Frequency	Comunicação submarina e subterrânea
0,3 – 3 kHz	VF Voice Frequency	Telefonia, comunicação de dados
3 – 30 kHz	VLF Very Low Frequency	Navegação, telefonia e telegrafia, padrões de tempo e de frequência, SONAR
30 – 300 kHz	LF Low Frequency	Comunicação industrial (linhas de energia), ajudas de navegação marítima e aeronáutica (rádio-faróis)
0,3 – 3 MHz	MF Medium Frequency	Rádiodifusão em AM, rádio-amadores, segurança pública e costeira
3 – 30 MHz	HF High Frequency	Rádiodifusão internacional, rádio-amadores (banda do cidadão), comunicações industriais, marítimas e aeronáuticas
30 – 300 MHz	VHF Very High Frequency	Rádiodifusão em FM e de TV, comunicações de transportes terrestres (táxis, autocarros, combóios), controlo de tráfego aéreo
0,3 – 3 GHz	UHF Ultra High Frequency	Rádiodifusão de TV, telemetria espacial (rádio-sondas), RADAR, comunicações móveis pessoais sem fios (GSM, UMTS, WLAN)
3 – 30 GHz	SHF Super High Frequency	Comunicações por satélite e com o espaço exterior (sondas), feixes hertzianos terrestres (ligações por microondas), RADAR aéreo
30 – 300 GHz	EHF Extremely High Frequency	Feixes hertzianos terrestres, rádio-astronomia, comunicações móveis pessoais e por satélite (próxima geração)

Espectro Eletromagnético de Rádio Frequências

A parte do espectro eletromagnético que inclui as rádio frequências (RF) se estende de 30kHz a 300GHz, embora a propagação de ondas eletromagnéticas também seja possível abaixo de alguns kHz. Por acordo internacional o espectro de rádio frequências é dividido em bandas, cada banda sendo designada por um nome. Uma grande variedade de enlaces via rádio pode ser implementada usando qualquer frequência do espectro eletromagnético. A tabela mostra as várias bandas de frequências com a designação e aplicações típicas

Regiões da ITU

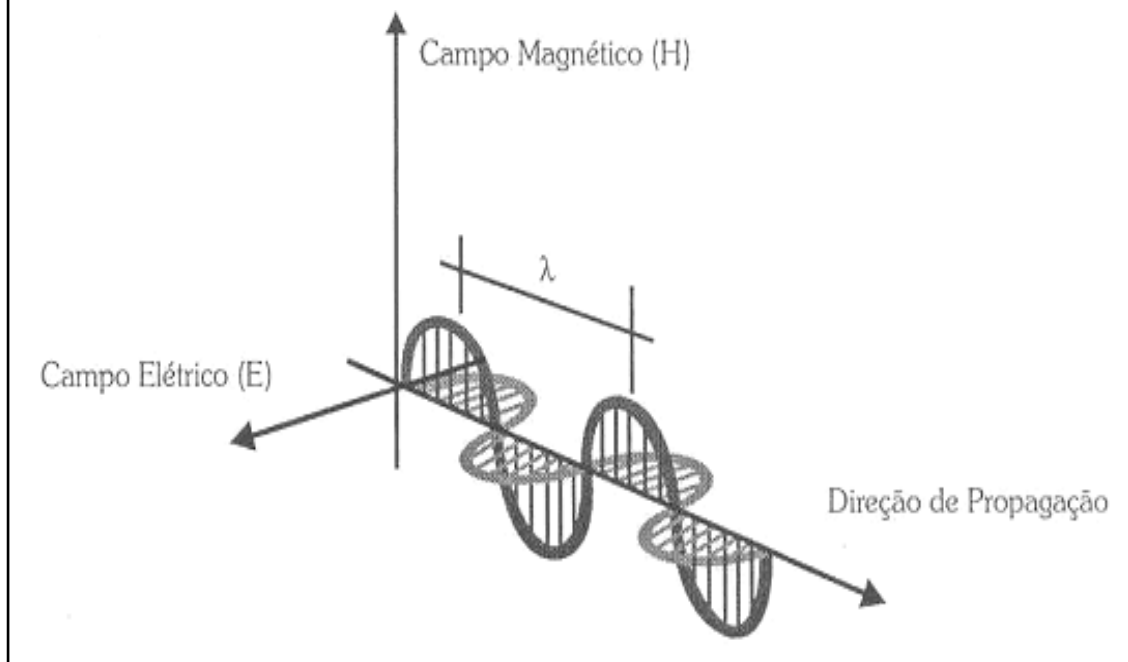


Regiões da ITU

Assim como o petróleo, o espectro de RF é um recurso natural escasso e, portanto, deve ser utilizado de forma prudente e conservativa. Vários serviços como rádio AM, rádio FM, TV, celular, satélite e enlaces fixos terrestres devem compartilhar desse espectro comum. Além disso, cada um desses serviços deve crescer e se expandir sem causar interferência em outro.

A tarefa de alocar e controlar as partes individuais do espectro é de responsabilidade de um comitê internacional de padronização, criado pelas Nações Unidas e denominado de União Internacional de Telecomunicações (ITU - International Telecommunications Union). Os órgãos do ITU de interesse para comunicações via rádio são as agências chamadas de ITU-T (anteriormente CCITT) e ITU-R (anteriormente CCIR). Dentro do ITU-R, a WARC (World Administrative Radio Conference) é responsável pela alocação de uma banda específica de frequência para os serviços atuais e futuros e a RRB (Radio Regulations Board, anteriormente IFRB) define as regras internacionais para a utilização da frequência dentro dessas bandas. O ITU dividiu o mundo em três regiões. A Região 1 inclui a Europa, a África e a Comunidade dos Estados Independentes; a Região 2 inclui a América do Norte e a América da Sul; a Região 3 inclui a Ásia, a Austrália e o Pacífico.

Frente de Onda



Frente de Onda

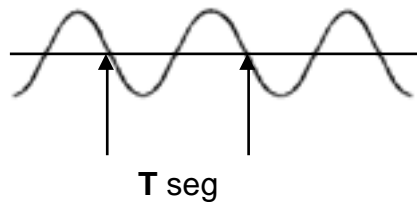
Uma onda eletromagnética radiada tem duas componentes: um campo elétrico e, perpendicular a ele, um campo magnético. Esses dois campos variam senoidalmente no tempo e são *normais à direção de propagação*. Os campos elétrico e magnético interagem um com o outro. Um campo magnético variante induz um campo elétrico e um campo elétrico variante induz um campo magnético.

A frente de onda é uma superfície imaginária formada por pontos de fase constante. Uma frente de onda uniforme tem magnitude e fase constantes. Então, os valores máximos e mínimos dos vetores campo elétrico e campo magnético ocorrem no mesmo instante de tempo e são independentes do ponto de observação na frente de onda. A onda eletromagnética se propaga em uma direção perpendicular à frente de onda. Ondas eletromagnéticas no espaço livre caminham como uma onda plana não uniforme; isto é conhecido como uma onda Transverso Eletromagnética (TEM).

Frequência x Período

A frequência (f) está relacionada com o inverso do período (T)

$$f_{\text{(Hz)}} = 1 / T_{\text{(seg)}}$$



Frequência x Período

Frequência e comprimento de onda se relacionam inversamente; assim, quanto mais alta for a frequência, menor será o comprimento de onda ou quanto mais baixa a frequência, maior o comprimento de onda. A velocidade com que uma onda de rádio se desloca no espaço depende das condições do meio de propagação, assim como a velocidade com que a onda se move ao longo de uma linha de transmissão depende das características da linha.

O comportamento do espaço, do ponto de vista elétrico, pode ser avaliado por duas constantes: a constante dielétrica, da ordem de 8,85 microfarads por metro, e a permeabilidade relativa, que é de aproximadamente 1,256 microhenrys por metro. Conhecendo-se a indutância e a capacitância, a velocidade de propagação de uma onda de rádio pode ser calculada, aproximadamente, em 300.000 quilômetros por segundo (aproximadamente a velocidade da luz).

Comprimento de Onda

- O comprimento de onda (λ) é relacionado com a frequência (f) e com a velocidade de propagação da luz (c)

$$\lambda_{(m)} = c / f_{(Hz)}$$

c = Velocidade da luz 300.000.000 m/s

Comprimento de Onda

A rádio frequência de 150 Megahertz (MHz) tem um comprimento de onda de 2 metros. O comprimento de onda é importante no cálculo do tamanho de uma antena. A antena ótima é usualmente aquela que tem a metade do tamanho do comprimento de onda ($\lambda/2$). Entretanto, as antenas montadas verticalmente sobre superfícies de metal ou no chão têm duas superfícies condutoras. Uma superfície, conhecida como o trecho “real” é o condutor físico. A outra, conhecida como o condutor “imagem” existe somente no sentido elétrico. Por esta razão, uma antena que proporciona um desempenho ótimo para uma frequência em particular possui apenas um quarto do tamanho do comprimento de onda e é conhecida como antena de um quarto de onda ($\lambda/4$).

A acrescentando um dispositivo elétrico conhecido como um indutor pode-se reduzir ainda mais o tamanho de uma antena. Essa técnica, chamada carregamento, pode reduzir o tamanho de uma típica antena CB dos normais 3m para um comprimento mais prático típico de 1m para antenas móveis. A propagação da antena pode também ser dirigida, produzindo ganho, um aumento passivo na intensidade do sinal de rádio frequência.

Velocidade de Propagação

- A velocidade de propagação é determinada por:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}}$$

Onde μ é a permeabilidade do meio e ϵ é a permissividade do meio

Velocidade de Propagação

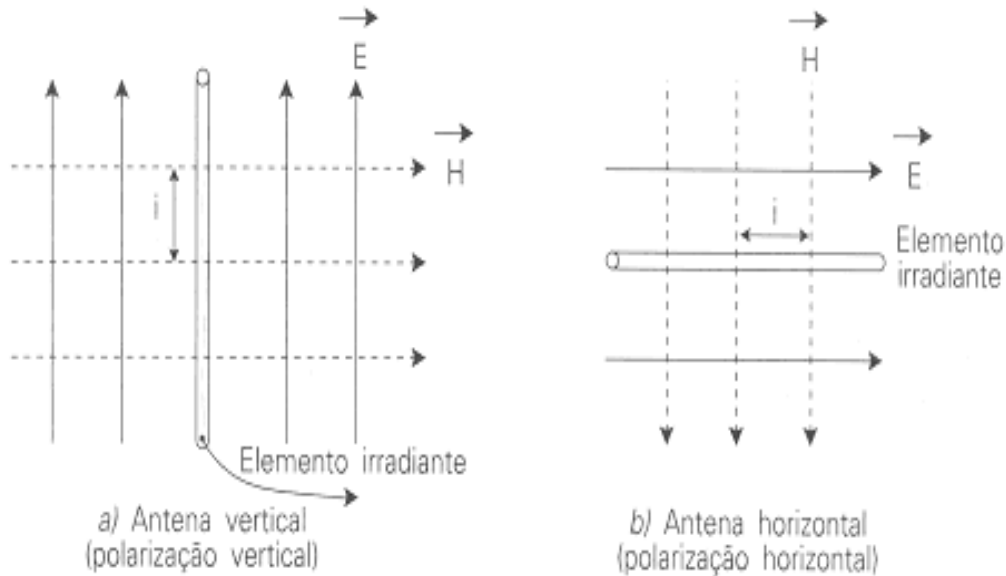
As ondas eletromagnéticas propagando-se pelo vácuo, viajam à estonteante velocidade de 300.000 km por segundo. Esta é a chamada velocidade da luz no vácuo, que é a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo. Sinais elétricos viajando em condutores de metal, tais como fios ou cabos viajam à uma velocidade menor. Cerca de 80% da velocidade da luz. Ondas eletromagnéticas viajando pelo ar, esse que nós respiramos, deslocam-se mais lentamente. O parâmetro que caracteriza essa "lentidão", é o índice de refração. A refração é o encurvamento da onda ao propagar-se paralela à superfície terrestre.

O parâmetro velocidade de propagação é muito importante quando trabalhamos com sistemas digitais. Imagine que em determinado instante um trem de pulsos é colocado no meio de uma linha. Durante um período finito o trem vai estar se deslocando ao longo do cabo em ambas as direções. Se enquanto o trem estiver na linha outro trem for colocado pode ocorrer uma colisão. Neste caso os sinais dos dois trens se misturam e ninguém entende nada. Tem-se que reenviar os dois trens de novo. Esta é a principal razão da limitação de distância máxima de cabos em sistemas de rede local. A outra razão seria a atenuação, que é a redução do sinal conforme trafega na linha. No entanto, devido às distâncias envolvidas e a possibilidade do emprego de repetidores, esta não é a razão principal.

No caso de sinais analógicos, este parâmetro é apenas uma medida do retardo entre o instante que colocamos o sinal na linha e o instante que o sinal chega em seu ponto de destino. Para sistemas digitais este parâmetro é fundamental, já que provoca um retardo no sinal que pode influir nos sistemas de sincronismo. Adicionalmente, as frequências não são tratadas da mesma maneira pelo cabo, surgindo então a dispersão do sinal que caso muito acentuada, pode levar à perda do sinal. Este parâmetro é encontrado em linhas telefônicas de baixa velocidade de dados, em cabos coaxiais de maior largura de banda e em fibras ópticas. Não confunda velocidade de propagação com velocidade de tráfego. A velocidade de propagação é uma característica da linha que fornece o valor da velocidade de propagação dos sinais elétricos ao longo da linha ou cabo.

A velocidade de tráfego diz respeito à taxa de dados máxima que trafega em uma linha ou cabo. Uma comparação. Cabos coaxiais tem tráfego médio e velocidade de propagação alta. Cabos ópticos tem velocidade de propagação mais baixa do que o cabo coaxial mas a taxa de tráfego é muito, muito mais elevada.

Polarização



Polarização

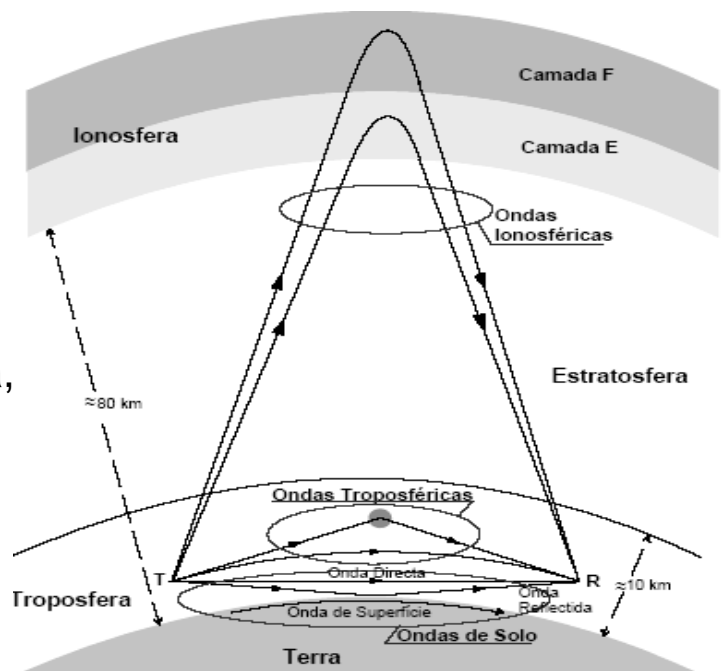
Uma onda eletromagnética monocromática variando senoidalmente no tempo é caracterizada no ponto de observação pela sua frequência, magnitude, fase e polarização. A *polarização da onda é definida no plano que contém o vetor do campo elétrico*. Ela é a figura que o campo elétrico instantâneo traça, com o tempo, num ponto fixo de observação. Um exemplo é a onda linearmente polarizada na vertical, mostrada na figura para um instante fixo de tempo. Quando o tempo avança, o campo elétrico num ponto fixo oscila para cima e para baixo ao longo de uma linha vertical. As variações temporal e espacial do campo magnético são similares ao do campo elétrico, exceto que o campo magnético é perpendicular ao campo elétrico.

Para uma onda completamente polarizada, a figura traçada pelo campo elétrico é uma elipse. Existem alguns casos e especiais da polarização elíptica que são importantes. Se o campo elétrico move-se ao longo de uma linha ele é dito estar linearmente polarizado. Um exemplo é o campo elétrico distante de um dipolo. Se o vetor campo elétrico permanece constante em comprimento mas rotacional sobre um caminho circular, ele está circularmente polarizado. A rotação, numa frequência angular, pode ocorrer num determinado sentido. Se a onda está se deslocando na direção do observador e o vetor rotacional na direção dos ponteiros do relógio, a onda está polarizada para a esquerda. A regra da mão esquerda se aplica nesse caso. Caso contrário a onda está polarizada para a direita.

Propagação de Ondas Eletromagnéticas

Introdução

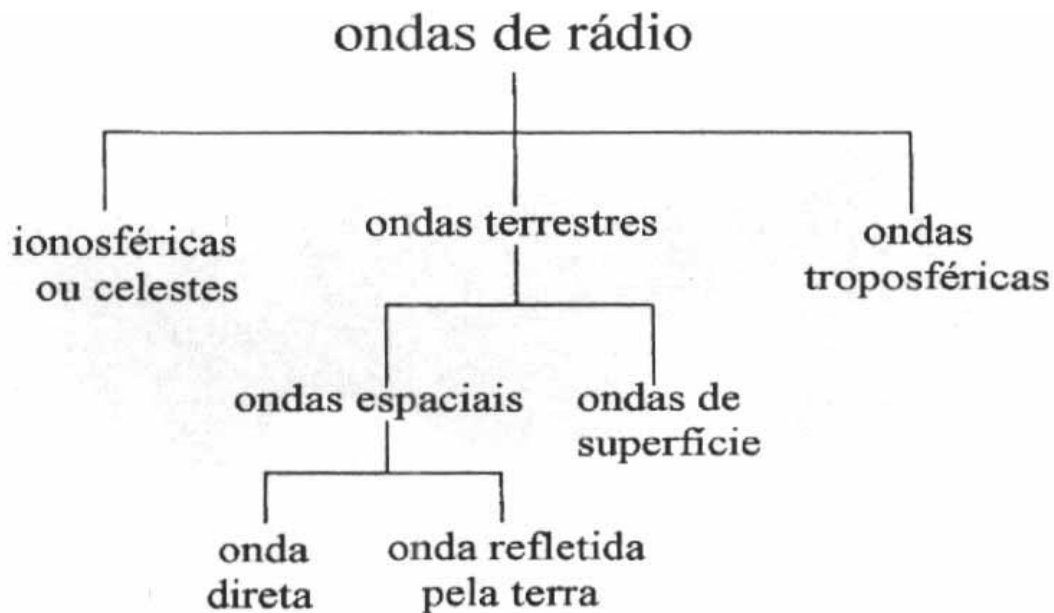
- A onda eletromagnética radiada por uma antena tende, em geral, a se deslocar para todas as direções a partir da antena, a menos que isto seja alterado elétrica ou mecanicamente.



Introdução

A onda eletromagnética radiada por uma antena tende, em geral, a se deslocar para todas as direções a partir da antena, a menos que isto seja alterado elétrica ou mecanicamente. A energia radiada por uma antena transmissora pode alcançar a antena receptora por meio de vários possíveis caminhos de propagação. A onda pode caminhar nas proximidades e paralela à superfície da terra. Nesse caso ela é afetada por absorção em prédios e árvores, pela densidade de gases da atmosfera e por objetos no seu caminho de propagação. Elas também podem ser espalhadas por objetos refletores de rádio frequência. Esse tipo de sinal é chamado de onda terrestre e é a principal fonte de energia na área de cobertura primária de uma estação. As ondas terrestres podem ser convenientemente divididas em onda de superfície e onda espacial, que por sua vez pode ser subdividida em onda direta e onda refletida.

Modos de Propagação



Modos de Propagação

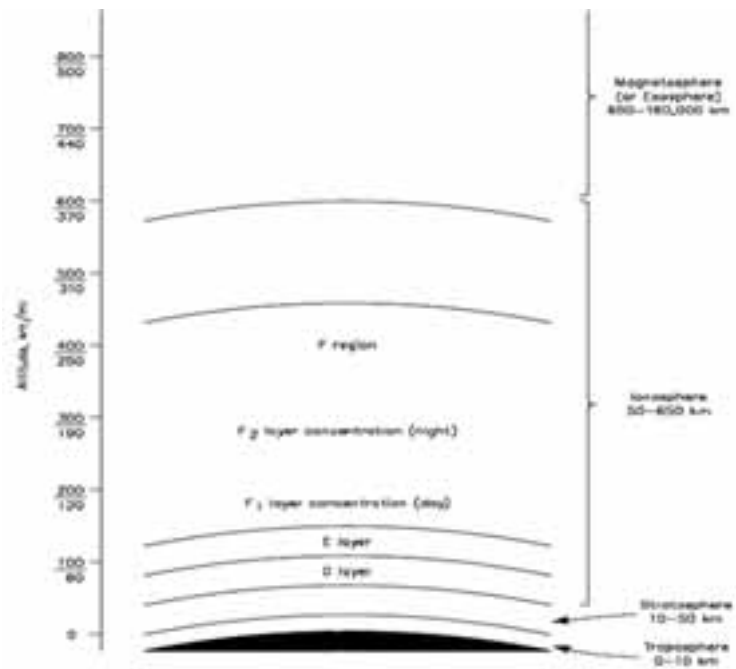
A energia eletromagnética se propaga, na forma de ondas de rádio, a partir de uma antena transmissora. Existem diversas maneiras nas quais essas ondas se deslocam, dependendo da frequência de transmissão. Ondas que se propagam via camadas da ionosfera são conhecidas como ondas ionosféricas ou ondas celestes. Aquelas que se propagam sobre outros caminhos na camada mais baixa da atmosfera (a troposfera) são denominadas de ondas troposféricas, enquanto que aquelas que se propagam muito perto da superfície da Terra são genericamente chamadas de ondas terrestres. As ondas terrestres podem ser convenientemente divididas em ondas espaciais e ondas de superfície. As ondas espaciais podem ser subdivididas em ondas diretas, que se propagam através de um caminho direto entre as antenas transmissora e receptora, e ondas refletidas, que chegam na antena receptora depois de serem refletidas pela terra.

Comunicações em longas distâncias ocorrem principalmente por meio das ondas celestes, e as transmissões em curta distância e todas as comunicações em UHF ocorrem por meio das ondas terrestres. Algumas formas de transmissão consistem na combinação dessas duas.

As ondas de superfície são guiadas pela superfície da terra que, devido não ser perfeitamente condutora, extrai energia da onda à medida em que ela se propaga, transformando em perdas por dissipação. A atenuação dessa onda é, então, diretamente afetada pelas características elétricas da terra (constante dielétrica e condutividade) ao longo do caminho de propagação. A importância de cada uma dessas ondas em qualquer caso particular depende da distância de propagação e da frequência de transmissão.

Camadas da Atmosfera

- Extremamente importante o conhecimento da composição da atmosfera da terra.
- Elas são a troposfera, a estratosfera e a ionosfera.



Camadas da Atmosfera

A atmosfera da terra não é uniforme, variando com a altura e localização geográfica, ou mesmo com o tempo (dia, noite, estação, ano), a falta de uniformidade influencia apreciavelmente a passagem das ondas eletromagnéticas através dela.

Troposfera: Quase todos os fenômenos meteorológicos ocorrem na troposfera. A temperatura nesta região decresce rapidamente com a altitude. Formam-se nuvens, e pode existir muita turbulência devido a variações na temperatura, pressão e densidade. Estas condições podem ter um efeito pronunciado sobre a propagação de ondas de rádio, como será explicado mais adiante.

Estratosfera: A estratosfera situa-se entre a troposfera e a ionosfera. A temperatura nesta região é quase sempre constante, e existe muito pouco vapor de água. Como é uma camada relativamente calma e com poucas variações de temperatura, esta camada quase não influencia a propagação de ondas rádio.

Ionosfera: Esta é a camada mais importante da atmosfera terrestre para as comunicações via rádio a longa distância. Como a existência da ionosfera depende diretamente da radiação emitida pelo sol, o movimento da terra em relação ao sol, ou mudanças na atividade solar podem resultar em variações na ionosfera. Estas variações podem classificar-se em dois tipos:

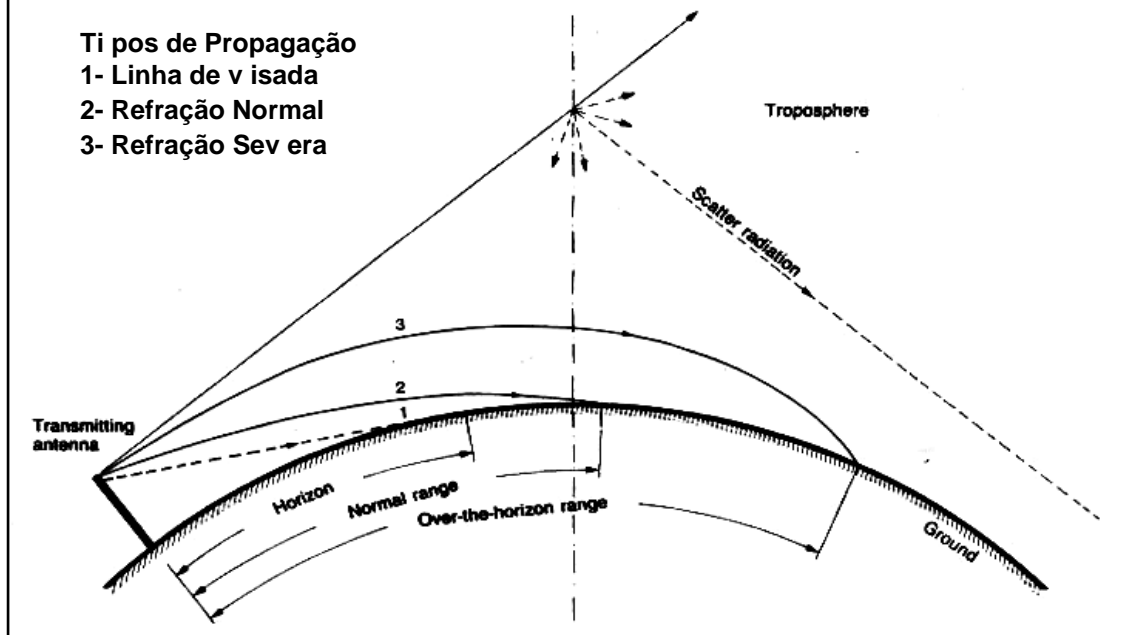
1) *as que ocorrem em ciclos mais ou menos regulares*, e conseqüentemente, podem ser previstas com alguma precisão; As variações regulares podem ser divididas em quatro grandes classes: diárias, 27 dias, sazonais e de 11 anos. Vamos debruçar-nos sobre as variações diárias, já que têm uma grande influência no nosso passatempo. Variações diárias na ionosfera produzem quatro camadas de átomos de gases carregados eletricamente chamados íons, que possibilitam que as ondas de rádio sejam propagadas a grandes distâncias à volta da terra. Os íons são produzidos por um processo chamado ionização.

2) *as que são irregulares* e que resultam de um comportamento anormal do sol, e por tanto, não podem ser previstas. Tanto as variações regulares como irregulares têm efeitos importantes na propagação de ondas rádio. Como as variações irregulares não podem ser previstas, vamos concentrar-nos nas variações regulares.

Propagação na Troposfera

Tipos de Propagação

- 1- Linha de visada
- 2- Refração Normal
- 3- Refração Severa



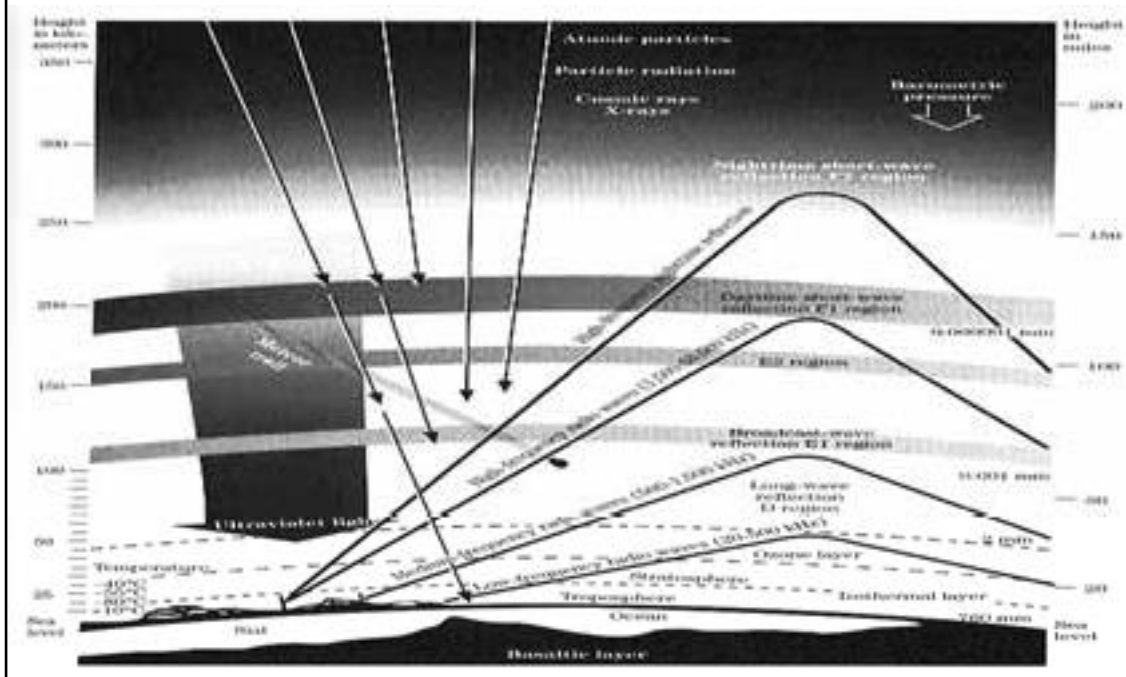
Propagação na Troposfera

A camada inferior da atmosfera, conhecida como troposfera, se estende da superfície da terra até a uma altura de cerca de 11 quilômetros. É nessa região que as nuvens são formadas. Em frequências acima de 30MHz ocorrem três fenômenos com as ondas que se propagam em linha de visada na troposfera. Em primeiro lugar, flutuações localizadas do índice de refração podem causar espalhamento. Em segundo lugar, qualquer variação abrupta do índice de refração com a altura pode causar reflexão. Finalmente, um fenômeno mais complicado, conhecido como ducto, pode também ocorrer. Todos esses mecanismos podem carregar energia além do horizonte óptico e então têm um potencial de causar interferência entre diferentes sistemas de rádio comunicação.

Variações nas condições climáticas dentro da troposfera, como mudança de temperatura, pressão e umidade causam variação no índice de refração do ar. Grandes variações no índice de refração com a altura produzem refração da onda de rádio e o efeito pode ser muito significativo em todas as frequências, para baixos ângulos de elevação, especialmente no aumento de alcance das ondas de rádio para distâncias muito além do horizonte óptico. De todas as influências que a atmosfera pode exercer nos sinais de rádio, a refração é um dos que têm maiores efeitos em sistemas ponto a ponto em VHF e UHF.

Uma atmosfera ideal é aquela na qual a constante dielétrica é unitária e a absorção é zero. Na prática, a constante dielétrica do ar é maior do que a unidade e depende da pressão total, da pressão de vapor d'água e da temperatura do ar. A constante dielétrica varia, então, com as condições do tempo e com a altura acima da terra. Normalmente, mas nem sempre, ela diminui com o aumento da altura. A consequência de variações na constante dielétrica com a altura é que as ondas eletromagnéticas são encurvadas enquanto se propagam, em uma curva que as mantém mais próximas da terra do que se elas fizessem um percurso retilíneo.

Troposfera

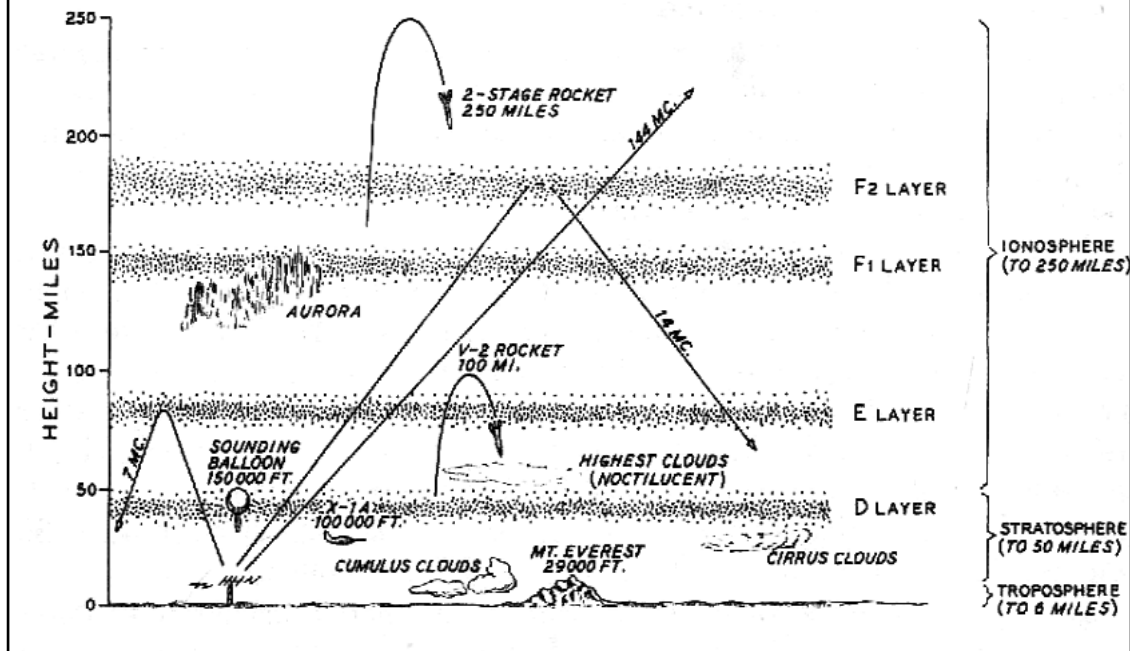


Tr op osfera

A troposfera é a camada que está em contato com a superfície terrestre e se estende até a uma altitude de aproximadamente 11Km. A principal característica dessa camada é que a temperatura decresce numa razão de 6,5 a 7 graus centígrados por quilômetro de altitude. Na troposfera estão presente s alguns tipos de gases como o oxigênio, o nitrogênio e o bióxido de carbono, além de vapor d'água, chuvas, neves e poluição. O estudo do comportamento físico dessa camada é feito por meio de três parâmetros: pressão atmosférica, temperatura e pressão do vapor d'água. Os principais fenômenos, no que diz respeito à propagação das ondas eletromagnéticas na troposfera, são:

1. Refração: fenômeno causado pela variação do índice de refração da camada em função da variação da altitude.
2. Reflexão: a onda eletromagnética sofre reflexão em superfícies como lagos, rios, mares, planícies, obstáculos planos etc.
3. Difração: fenômeno causado por obstáculos pontiagudos no caminho da propagação, provocando dispersão (difração) da onda no ponto.
4. Absorção: a energia da onda é absorvida, principalmente pelo oxigênio e vapor d'água, além de outros tipos de absorção.

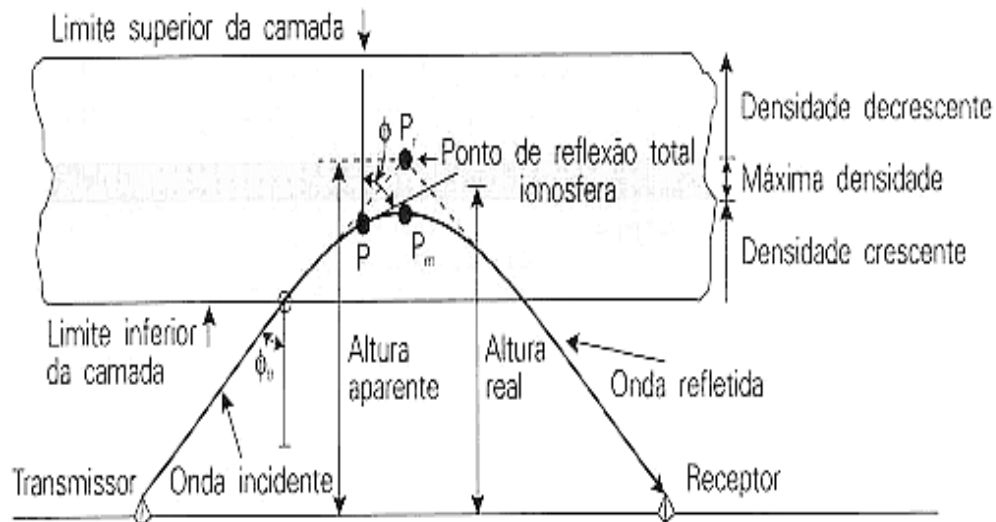
Estratosfera



Estratosfera

A estrato sfera é uma camada intermediária entre a troposfera e a ionosfera, se estendendo de uma altitude de cerca de 11Km a aproximadamente 50Km. A principal característica dessa camada é ter a temperatura constante com a altura. Por isso, ela é também denominada de camada isotérmica. A propagação da onda eletromagnética não sofre nenhuma alteração significativa nessa camada. Portanto ela não desperta interesse para as comunicações via rádio.

Ionosfera



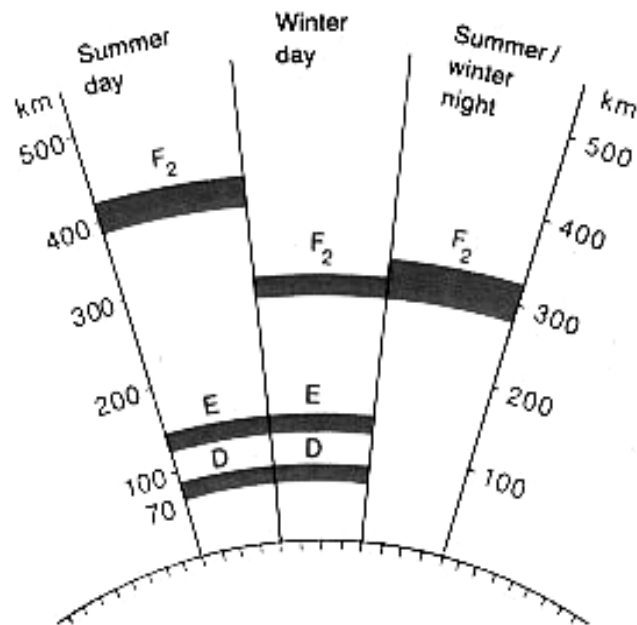
Ionosfera

A ionosfera é caracterizada pelo grau de ionização, que varia de intensidade durante o dia e, principalmente, do dia para a noite. A modificação do grau de ionização altera a propagação das ondas eletromagnéticas nessa camada. A ionosfera começa em uma altitude de cerca de 50Km e se estende a uma altura de aproximadamente 400Km, podendo ser subdividida em várias sub-camadas, de acordo com os diferentes graus de ionização. As camadas mais altas são as mais fortemente ionizadas. A figura ilustra o meio de propagação formado pela superfície terrestre e a atmosfera. As sub-camadas e algumas de suas características são listadas a seguir.

1. Camada D (50- 90Km) - perda por absorção.
2. Camada E (90 - 150km) - baixa densidade de ionização; possibilita transmissões em HF acima de 2.000km.
3. Camada F (150 - 400Km) - durante o dia é dividida em duas sub-camadas F1 e F2; a camada F1 é similar à camada E com baixa densidade de ionização; a camada F2 permite transmissões em HF acima de 4.000km.

A Ionosfera

- As três camadas mais importantes da Ionosfera estão representadas com suas posições relativas a épocas do ano e horários..



A Ionosfera

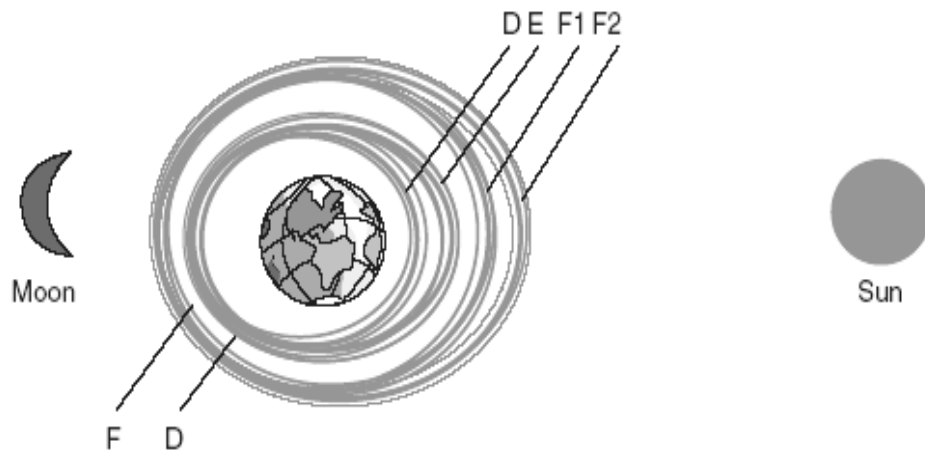
As ondas que chegam no receptor, depois de reflexão ou espalhamento na ionosfera, são conhecidas como ondas ionosféricas ou ondas celestes. A ionosfera é a área da atmosfera que se estende de cerca de 50km até cerca de 400km acima da superfície da terra.

Camada F – É a mais alta, onde a densidade do ar é tão baixa que os gases se apresentam, na maioria dos casos, como átomos separados, em vez de moléculas. Aí há uma forte ionização produzida pela radiação solar. Acima dela, há um decréscimo de ionização devido à falta de átomos; abaixo dela, também há um decréscimo, porque o agente ionizador (radiação solar) já foi absorvido. Durante o dia, a camada se divide em duas subcamadas: **F1** e **F2**, sendo **F1** a mais baixa. São dois níveis máximos de ionização, sendo que **F1** vai de cerca de 175 a 250km de altitude, e **F2** de 250 a 400 km de altitude. De noite, elas se reúnem numa única camada, em altitude de cerca de 300km, e a chamamos o nome comum de camada **F**, a qual é, normalmente, a única camada ionosférica importante para a propagação rádio no período noturno.

Camada E – Estende-se de 100 a 150km de altitude e julga-se ser devida à ionização de todos os gases por raios X leves. É a região onde os raios X que não foram absorvidos pelas camadas anteriores encontram um grande número de moléculas de gás, ocorrendo novamente um máximo de ionização. A camada **E** tem uma altura praticamente constante, ao contrário das camadas **F**, e permanece durante a noite, se bem que com um decréscimo em seu grau de ionização. Existem regiões irregulares de grau de ionização, denominadas “camadas **E** esporádicas”, cujas densidades de elétrons podem ser até 10 vezes maiores que a da camada **E** normal. Essas regiões e esporádicas podem ocorrer a qualquer hora do dia e em qualquer estação do ano.

Camada D – É a mais fraca e a mais próxima da superfície da Terra, situando-se entre 60 e 90km de altitude. Como dito, tem uma densidade de ionização bem fraca, muito menor que qualquer das outras, e desaparece durante a noite. Ela absorve ondas de alta frequência (HF) e reflete ondas de frequência baixa (LF e VLF), obviamente durante o dia claro.

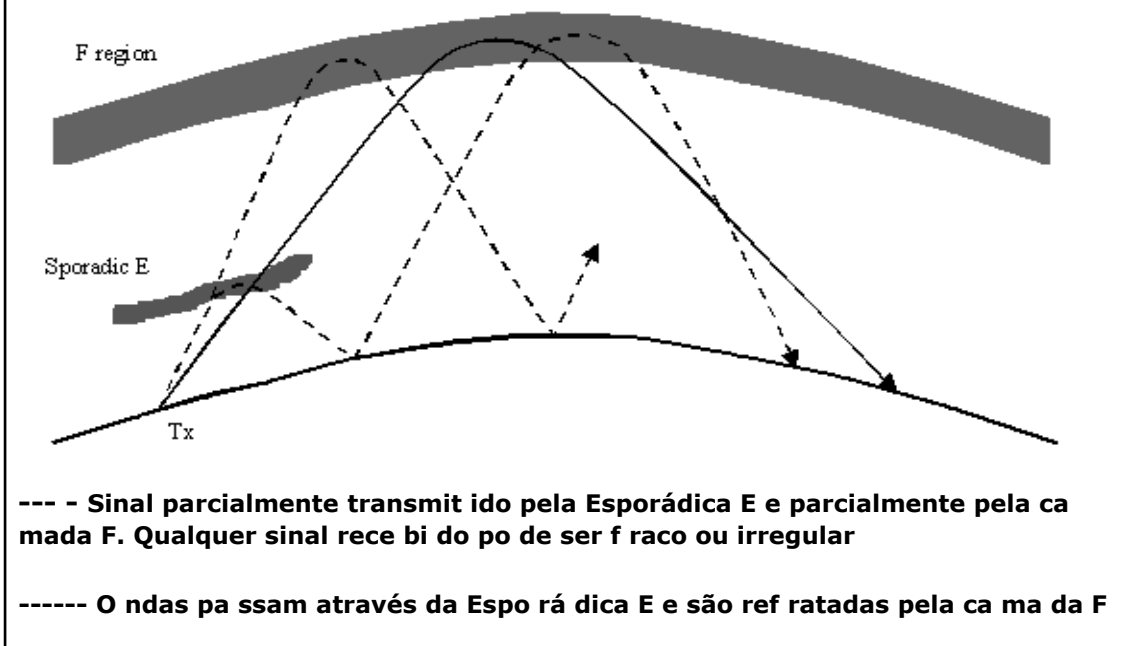
Camada D



Camada D

Esta camada está presente entre 50 e 90km acima da terra. A ionização na camada D é baixa porque sendo a camada mais baixa é a que menos radiação recebe. Para frequências muito baixas, a camada D e o solo atuam como uma gigantesca guia de ondas, tornando possível a comunicação através do uso de grandes antenas e emissores muito potentes. A camada D absorve as frequências médias e baixas, limitando o alcance diurno para cerca de 400km. A partir do 3MHz, a camada D começa a perder as características absorventes. Comunicação a longa distância é possível para frequências até 30MHz. Ondas de rádio com frequências acima deste valor atravessam a camada D sendo no entanto atenuadas. Após o pôr do sol, a camada D desaparece por causa da rápida recombinação dos íons. Comunicações em baixa e média frequência tornam-se possíveis. É por esta razão que as estações em AM, onda média se comportam de forma diferente à noite. Sinais que atravessem a camada D não são absorvidos mas são propagados pelas camadas E e F.

Esporádica E



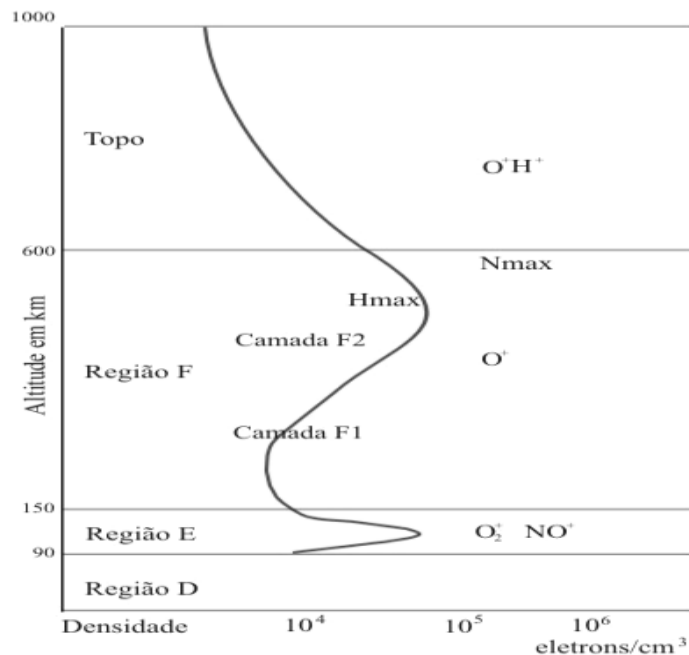
Esporádica E

Pode se formar a qualquer momento. Ocorre a altitude entre 90 a 140km (dentro da região E), e pode se espalhar a uma grande área ou ser confinada a uma pequena região. É difícil saber onde e quando ocorrerá e quanto tempo irá persistir. A Esporádica E pode ter uma densidade de elétrons comparada com a região F, implicando que pode refratar frequências comparáveis a região F. A Esporádica E entretanto pode ser usada para comunicações de HF em frequências mais altas que seriam normalmente usadas para a comunicação para as camadas E eventualmente. Algumas vezes uma camada Esporádica E é transparente e permite que a maioria das ondas de rádio a atravessem até a região F, entretanto, em outras vezes a camada Esporádica E obscurece a região F totalmente e o sinal não alcança o receptor. Se a camada Esporádica E é parcialmente transparente, a onda de rádio parece ser refratada às vezes da região F e em outras ocasiões da E esporádica E. Isto pode conduzir a transmissões parciais do sinal ou desvanecimento.

A *Esporádica E* nas baixas e médias latitudes ocorre com mais frequência durante o dia e no início da noite, e se prevalece mais durante os meses de verão. Em altas latitudes, a Esporádica E tende a se formar à noite.

Grau de Ionização na Ionosfera

- Quanto maior for a atividade solar maior será a ionização e melhores serão as condições de propagação.



Grau de Ionização na Ionosfera.

Quanto maior for a atividade solar maior será a ionização e melhores serão as condições de propagação. Porém, é necessário lembrar que há um custo para a maior atividade solar, e este custo está representado pelas condições adversas, isto é, tempestades de radiação solar, tempestades geomagnéticas e bloqueios das ondas de rádio.

No processo de *ionização*, raios ultra-violeta de alta energia vindos do sol periodicamente atingem a ionosfera, colidem com átomos de gás eletricamente neutros, e removem um ou mais elétrons de cada átomo. Quando estes elétrons ficam livres, os átomos ficam carregados positivamente (íons positivos) e permanecem no espaço, juntamente com os elétrons livres. Os elétrons livres absorvem parte de energia ultravioleta que os libertou e formam uma camada ionizada.

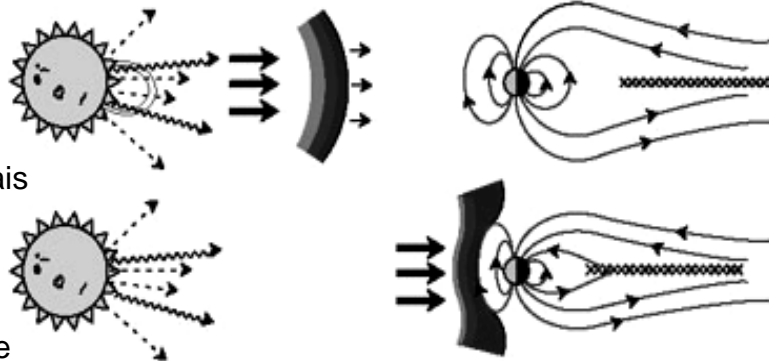
Como a atmosfera é bombardeada com raios ultravioleta de diferentes frequências, várias camadas são formadas a diferentes altitudes. Os raios ultravioleta de frequência mais alta penetram mais fundo, produzindo camadas ionizadas na parte mais baixa da ionosfera. Reciprocamente, os raios ultravioleta de frequência mais baixa penetram menos, e formam camadas ionizadas nas regiões mais altas da ionosfera.

Um fator importante na determinação da densidade destas camadas ionizadas é o ângulo de elevação do sol. Como este ângulo varia com frequência, a altitude e espessura das camadas ionizadas varia, dependendo da hora do dia e da estação do ano. Outro fator importante na determinação da densidade da camada é conhecido como *recombinação*.

Recombinação é o processo oposto à *ionização*. Ocorre quando elétrons livres e íons positivos e elétrons livres colidem, combinam-se, resultando átomos eletricamente neutros. Tal como a ionização, a recombinação depende da hora do dia. Entre o início da manhã e o fim da tarde, o ritmo de ionização excede o ritmo de recombinação. Durante este período as camadas ionizadas atingem a máxima densidade e exercem a maior influência nas ondas rádio. No entanto, ao anoitecer, o ritmo de recombinação excede o de ionização, causando a diminuição da densidade das camadas ionizadas. Ao longo da noite, a densidade continua a diminuir, atingindo o ponto mínimo mesmo antes do nascer do sol. É importante compreender que este processo de ionização e recombinação varia, dependendo da camada da ionosfera e da hora do dia.

Giro Freqüência

- Pode-se facilmente observar que a giro freqüência afeta sensivelmente a propagação dos sinais de rádio devido à absorção dos sinais que esta promove. Assim, durante os períodos de atividade solar, a banda de MF, é bastante afetada.



As ejeções vindas do Sol viajam até a Terra e distorcem o campo magnético terrestre, resultando em atividade geomagnética

Girofreqüência

Perturbações Ionosféricas Repentinas: Este tipo de perturbações podem acontecer sem aviso e a sua duração varia entre alguns minutos e algumas horas. Quando estas perturbações acontecem, as comunicações HF a longa distância tornam-se praticamente impossíveis. Por vezes parece que o receptor avariou. Este fenómeno é causado por uma erupção solar que produz uma quantidade anormalmente alta de radiação ultra violeta que não é absorvida pelas camadas F1, F2 ou E. Em vez disso, causa o aumento da densidade de ionização da camada D. Como resultado, freqüências acima de 1 ou 2MHz não conseguem penetrar a camada D e são completamente absorvidas.

Tempestades Ionosféricas: Estas tempestades são causadas por perturbações no campo magnético da terra. Estão associadas a erupções solares e ao ciclo de 27 dias, ou seja com o movimento de rotação do Sol. Os efeitos das tempestades ionosféricas são uma ionosfera turbulenta e uma propagação ionosférica errática. Estas tempestades afetam sobretudo a camada F2, reduzindo a densidade de ionização e tornando as freqüências críticas mais baixas que o normal. Os efeitos nas comunicações é que o leque de freqüências utilizáveis é menor que o normal e que é só possível utilizar freqüências baixas.

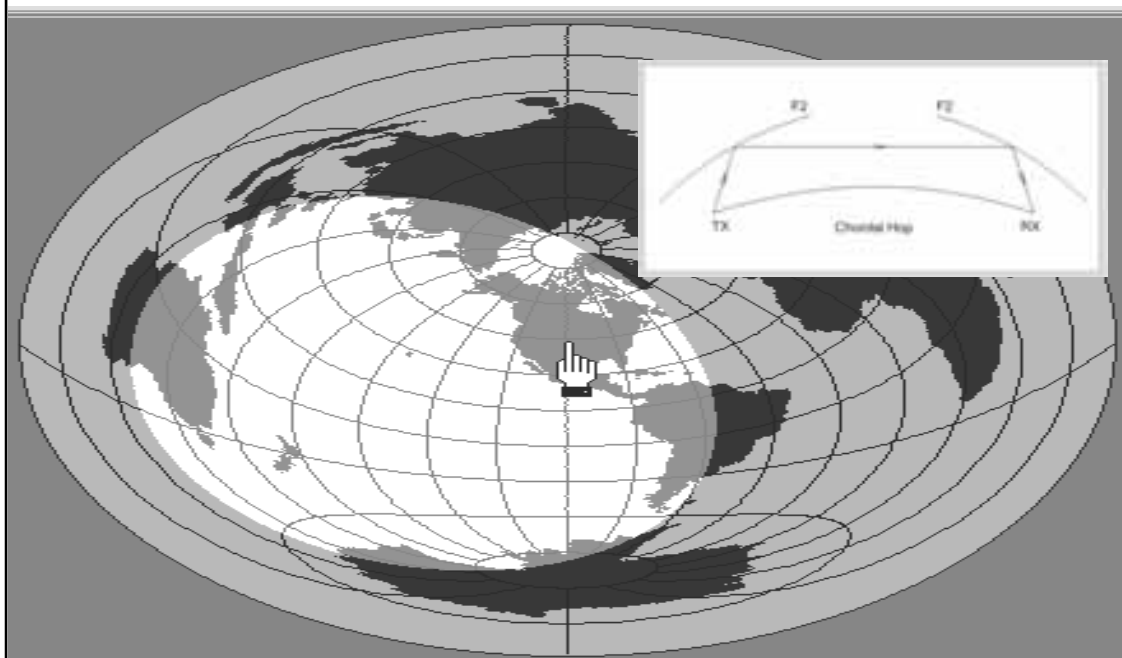
Os elétrons soltos na ionosfera não ficam espalhados desordenadamente, eles ficam alinhados segundo as equações de Maxwell, isto é, a ionosfera fica "penteada" e os elétrons se movimentam no sentido das linhas de campo entre os pólos magnéticos, do sul para norte.

Durante os períodos de conturbação geomagnética, os elétrons livres na camada F2 sofrem alterações devido à direção dessa força fazendo com que os elétrons tendam a escapar das linhas de força. Desta forma, os elétrons tendem a movimentar-se em movimento translacional, isto é, em movimento circular ao longo da linha de campo geomagnético com velocidade angular igual ao produto da carga do elétron (e) pela intensidade de campo (B_z), dividido pela massa do elétron, ou seja $V_a = e \cdot B_z / m$.

A magnitude da velocidade angular é de cerca de $8,8 \cdot 10^6$ radianos por segundo para valores normais, típicos, da intensidade do campo geomagnético. Quando os índices K, Bz e variações da velocidade solar apontam para variações dos valores do campo geomagnético, o número de translações dos elétrons em torno das linhas de campo aumentam para valores ao redor de 1,4MHz e recebem o nome de giro freqüência.

Pode-se facilmente observar que a giro freqüência afeta sensivelmente a propagação dos sinais de rádio nessas freqüências devido à absorção dos sinais que esta promove. Assim, durante os períodos de atividade solar, a banda de MF, é bastante afetada.

Gray-Line (Chordal Hop)

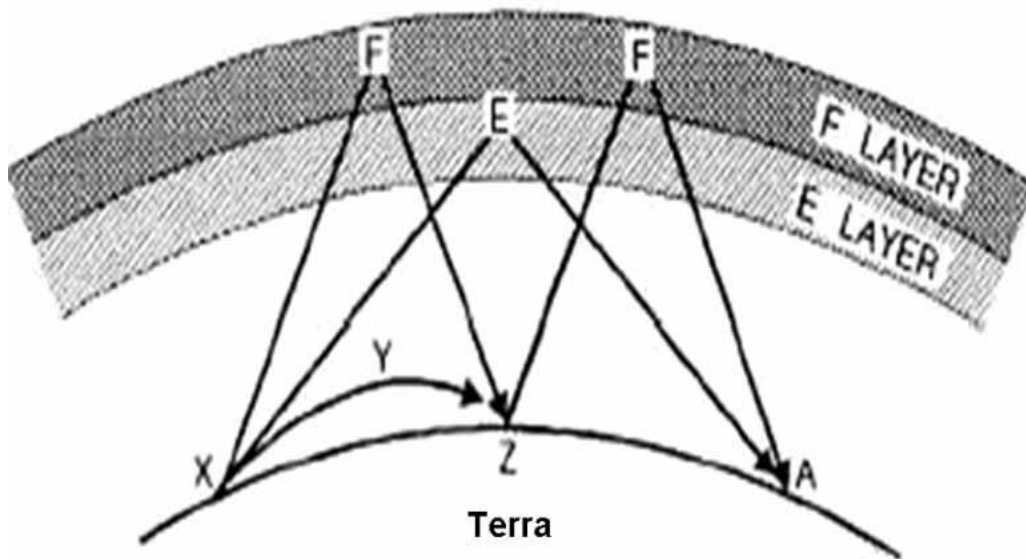


Gray Line (HF)

Algumas vezes os sinais ao anoitecer ou ao amanhecer, ficam muito fortes durante alguns minutos, possibilitando contatos excelentes até mesmo nas bandas baixas. Os DXers que gostam das bandas baixas ficam sempre à espera desses sinais para conseguir falar com expedições cujos QSO's não seriam possíveis nos horários normais, seja devido aos pileups ou seja devido à própria condição de propagação das bandas baixas. Esta situação, é conhecida como gray-line (linha cinza) ou dobra de propagação. O conceito correto de QSO via gray-line contudo é quando o sinal caminha pela linha cinza, isto é, acompanhando a zona de penumbra da Terra, ou lusco-fusco.

Quando o sinal está perpendicular à zona de gray-line o aumento dos sinais acontece devido à dobra da propagação, como é conhecido o fenômeno entre os operadores de banda baixa, que tanto pode acontecer devido à dobra na ponta transmissora, na ponta receptora ou em ambas as pontas. O nome correto deste tipo de "hop" (salto) ou simplesmente modalidade de propagação recebe o nome de chordal hop, como ilustrado na figura menor mostrando a dobra nas 2 pontas.

Desvanecimento (Fading)



Desvanecimento (Fading)

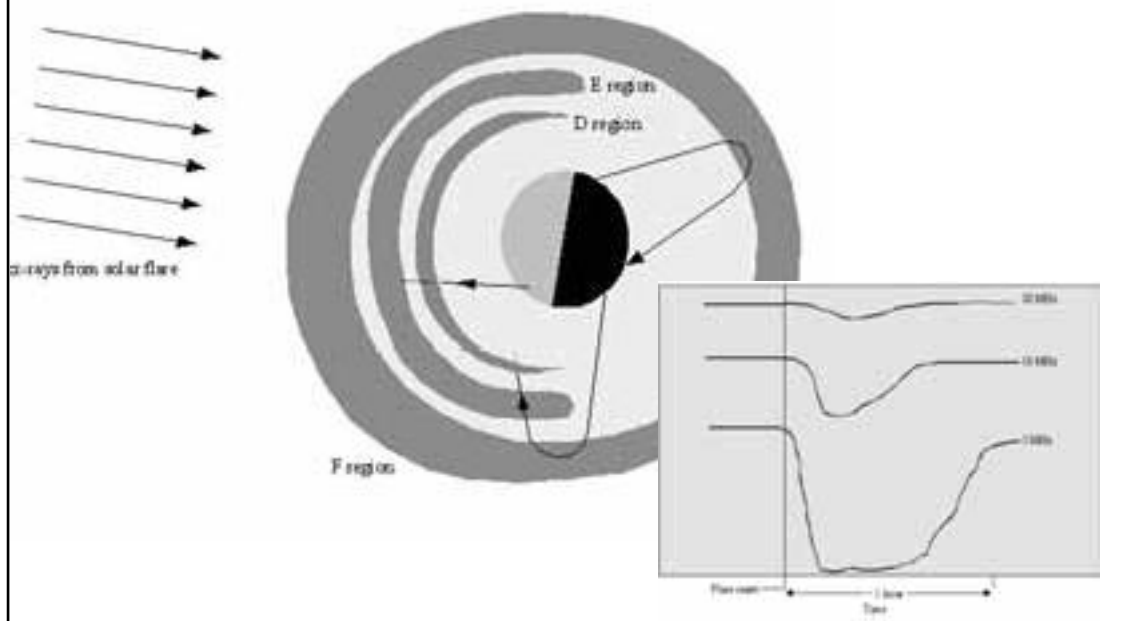
Um dos problemas mais frustrantes na recepção de sinais rádio é a variação na intensidade do sinal, fenômeno conhecido como fading (ou em português desvanecimento). São várias as condições que produzem o fading. Quando uma onda rádio é refratada pela ionosfera ou refletida pela superfície terrestre, podem ocorrer mudanças aleatórias na polarização da onda. Antenas montadas horizontal ou verticalmente, foram concebidas para receber respectivamente ondas polarizadas horizontal ou verticalmente. Por isso, mudanças na polarização causam mudanças na intensidade do sinal recebido.

A absorção de RF na ionosfera também causa fading. A maior parte dessa absorção ocorre na parte inferior da ionosfera onde a densidade de ionização é mais elevada. Ao atravessar a ionosfera, as ondas de rádio perdem alguma da sua energia para os elétrons livres e íons aí existentes. Como o grau de absorção varia em função da densidade das camadas ionizadas, não existe nenhuma relação definida entre a distância e a intensidade do sinal na propagação ionosférica. O fading causado por absorção estende-se por um período mais longo que para outros tipos de fading, já que a absorção ocorre lentamente. Sob certas condições, a absorção é tão elevada que comunicações para lá da linha de vista se tornam muito difíceis.

Embora o fading causado por absorção seja o tipo de fading com mais grave, o fading na propagação ionosférica resulta sobretudo da propagação por percurso s múltiplos ou em inglês multipath.

Multipath Fading: é um termo usado para descrever o s múltiplos percurso s que uma onda de rádio pode percorrer entre o emissor e o receptor. Este s percurso s de propagação incluem a onda terrestre, refração ionosférica, re-irradiação pelas camadas ionosféricas, reflexão terrestre ou por várias camadas ionosféricas, e por aí fora. A figura abaixo mostra alguns dos percursos que o sinal rádio pode percorrer entre dois pontos. Um percurso, XYZ, é a onda terrestre. Outro percurso, XFZ, refrata a onda na camada F e passa -a para o receptor no ponto Z. No ponto Z, o sinal recebido é a combinação entre a onda terrestre e a onda ionosférica. Estes dois sinais tendo percorrido caminhos diferentes chegam ao ponto Z em tempos diferentes. Por isso a ondas que chegam podem ou não estar em fase. Uma situação semelhante acontece no ponto A. Outro percurso, XFZFA, resulta de um ângulo de incidência elevado e duas refrações na camada F. Uma onda que percorra esse caminho e outra que percorra XEA podem ou não atingir o ponto A em fase. Ondas de rádio que recebidas em fase reforçam-se e produzem um sinal mais forte, enquanto que as recebidas fora de fase produzem um sinal fraco ou devanescente (fading). Pequenas alterações no percurso podem alterar a relação de fase entre os dois sinais, causando fading periódico.

SWF - Short Wave Fade-out



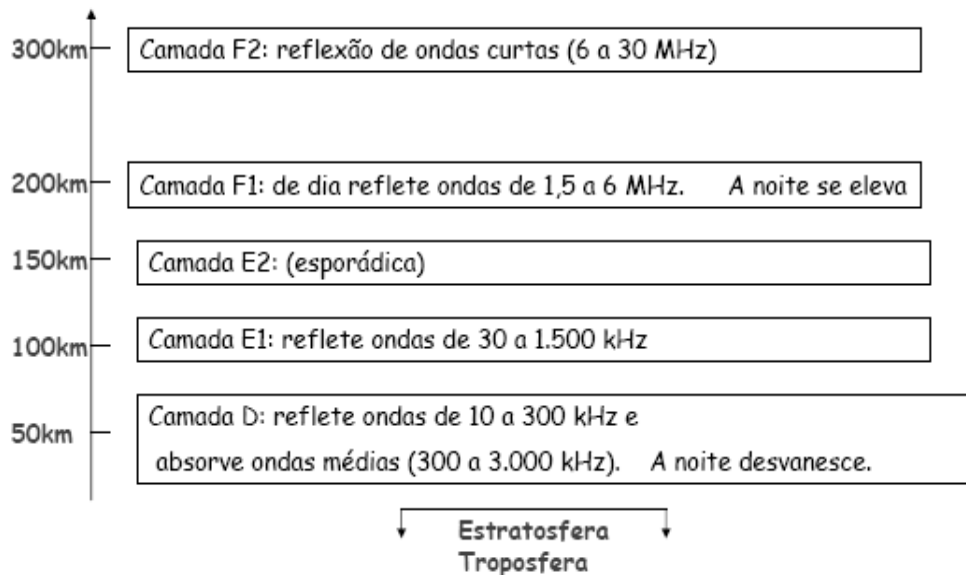
SWF - Short Wave Fade-out

Também chamados de afegão diurno ou distúrbios repentinos da ionosfera. A radiação do Sol durante as grandes labaredas solares causam aumento na ionização da região D o que resulta em maior absorção de ondas de radio de HF, figura abaixo. Se a labareda é grande o bastante, o espectro inteiro da HF pode se tornar inutilizável por um período de tempo. Estes desvanecimentos totais são mais comuns de acontecerem em torno do máximo solar e na primeira parte do declínio do mínimo solar.

As principais características dos SWF são :

- apenas circuitos com setores diurnos serão afetados;
- afagues geralmente duram a partir de poucos minutos para algumas vezes duas horas, com o estabelecimento rápido e recuperação demorada. A duração do afegão dependera da intensidade e duração da labareda;
- a magnitude do afegão ira depender do tamanho da labareda e da posição do Sol relativa ao ponto onde a onda de radio passe através da região D. O mais alto que Sol esteja em relação aquele ponto, maior a quantidade da absorção;
- a absorção é maior em frequências mais baixas, as quais são as primeiras a serem afetadas e as ultimas a se recompoem. As frequências mais altas são normalmente menos afetadas e podem permanecer usáveis.

Seleção de Frequências



Seleção de Frequência

A seleção da frequência correta para determinadas condições exige um bom conhecimento dos mecanismos de propagação. Para o sucesso das comunicações rádio entre dois pontos a determinada hora do dia, existem uma frequência máxima, mínima e ótima que podem ser usadas.

FREQUÊNCIA MÁXIMA UTILIZÁVEL (MUF): Quanto mais alta a frequência de uma onda rádio, menor o grau de refração causada pela ionosfera. Por isso, para um determinado ângulo de incidência e hora do dia, existe uma frequência máxima que pode ser usada na comunicação entre dois pontos. Ondas rádio com frequências acima da MUF são refratadas mais lentamente e retornam à terra num ponto para lá do local pretendido ou perdem-se no espaço. Variações na ionosfera podem baixar ou subir a MUF prevista em qualquer altura. Isto é especialmente verdade na camada F2.

É a maior frequência que pode ser refletida pela camada para determinado ângulo de incidência da onda eletromagnética. A MUF geralmente não ultrapassa 35MHz e é dada pela equação: $MUF = f_c (\text{frequência crítica}) \times \cos \theta$

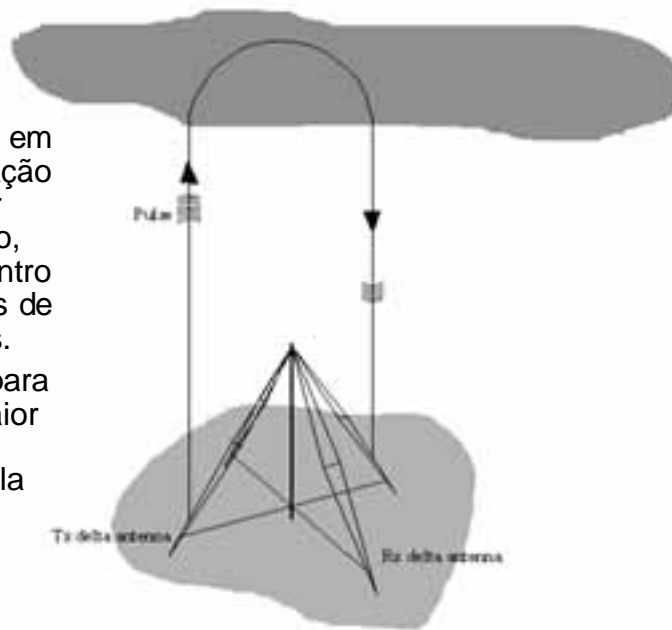
FREQUÊNCIA MÍNIMA UTILIZÁVEL (LUF): Tal como existe a MUF também existe uma frequência mínima que pode ser usada. Ao diminuir a frequência o grau de refração aumenta. Então uma onda cuja frequência seja inferior à LUF volta à terra num ponto aquém do desejado.

Ao diminuir a frequência, a absorção da energia rf aumenta. Uma onda cuja frequência seja muito baixa, é absorvida ao ponto de ser muito débil para ser recebida. O ruído atmosférico é também maior para frequências baixas. A combinação destes dois efeitos pode resultar numa relação sinal ruído inaceitável. Por isso na determinação da LUF há que ter em consideração estes fatores.

FREQUÊNCIA DE TRABALHO ÓTIMA (FOT): A melhor frequência de operação é a que permite comunicação com menor índice de problemas. Deve ser suficientemente alta para evitar problemas de multipath fading, absorção, e ruído encontrados nas frequências mais baixas; mas não tão alta que possa ser afetada por mudanças bruscas na ionosfera. FOT é a abreviatura de "frequency optimum de travail". A FOT é cerca de 85% da MUF, mas esta percentagem varia e pode ser bem menor que 85%".

Observando a Ionosfera

- A mais importante característica da ionosfera em termos de rádio comunicação é sua habilidade de refletir ondas de rádio. Entretanto, apenas aquelas ondas dentro de determinados intervalos de frequência serão refletidas.
- A "frequência crítica" (f_c) para uma dada camada é a maior frequência que pode ser devolvida para a Terra pela camada, para um raio de incidência normal



Observando a Ionosfera

A ionosonda é um radar de alta frequência que envia para a ionosfera pulsos muito curtos de energia de rádio verticalmente. Se a frequência de rádio não for tão alta, os pulsos são refratados de volta direcionados para o chão. A ionosonda registra o retardo entre a transmissão e recepção de pulsos. Através da variação da frequência dos pulsos, um registro é obtido do tempo de atraso em diferentes frequências.

Frequências menores do que 1.6MHz são interferidas por estações de rádio difusão AM locais. Com o aumento na frequência, aparecem ecos primeiro da região baixa E e subsequentemente, com maior atraso de tempo, das regiões F1 e F2. É claro, que à noite os ecos são retornados apenas da região F2 e possivelmente pela Esporádica E, considerando que as outras regiões já perderam a maioria de seus elétrons livres.

Atualmente, a ionosfera é "iluminada" não apenas por sinais enviados com incidência vertical. Sinais oblíquos de energia de rádio são enviados à ionosfera (o transmissor e receptor são separados por alguma distância). Este tipo de sinal pode monitorar a propagação em um circuito particular e fazer as observações dos vários modos sendo suportados pela ionosfera. Os ionosondas de "retro dissipação" (backscatter) se baseiam nos ecos refletidos a partir do chão e retornados ao receptor, o que pode ou não ser do mesmo lugar que o transmissor. Este tipo de pesquisa é usado para radar *além do horizonte* e determinação da MUF.

Índices de Propagação

- Numero de Manchas Solares
- Fluxo Solar
- Índice A
- Índice K

Índices de Propagação

As condições correntes na ionosfera irão afetar enormemente como os sinais de rádio em diferentes frequências irão se propagar. As manchas solares ajudam a aumentar a habilidade da ionosfera em refratar as ondas de rádio em HF enquanto as labaredas solares podem causar distúrbios na ionosfera conhecidos como tempestades geomagnéticas. Uma ionosfera com distúrbios irá absorver mais sinais de rádio em HF do que propagá-los.

Número de Manchas Solares : números elevados de manchas solares (sun spots) indicam acréscimo na radiação ionizante gerada pelo Sol a qual melhora a habilidade de refração de sinais de HF. O número de manchas solares pode variar de zero até 200 durante o pico do ciclo de 11 anos de atividade solar.

Fluxo Solar : Similar ao número de manchas solares, o valor do fluxo solar é realmente uma medida dos sinais de rádio gerados pelo Sol. Este índice é tomado diariamente na frequência de 2800MHz (10,7cm de comprimento de onda). O aumento do ruído de rádio do Sol significa mais radiação ionizante e se correlaciona com o número de manchas solares. O valor do fluxo solar varia de 60 (sem manchas solares) até 300.

Índice A : o índice A descreve as condições geomagnéticas das últimas 24 horas. Podem variar do intervalo de 0 até acima de 400 mas é raro observar valores acima de 100. Geralmente verificaremos índices A variando entre 4 e 50. Valores abaixo de 10 são desejáveis para as comunicações em Ondas Curtas e Médias. Números altos do índice A podem significar excessiva absorção das ondas de rádio devido ao acréscimo das condições de tempestade na ionosfera.

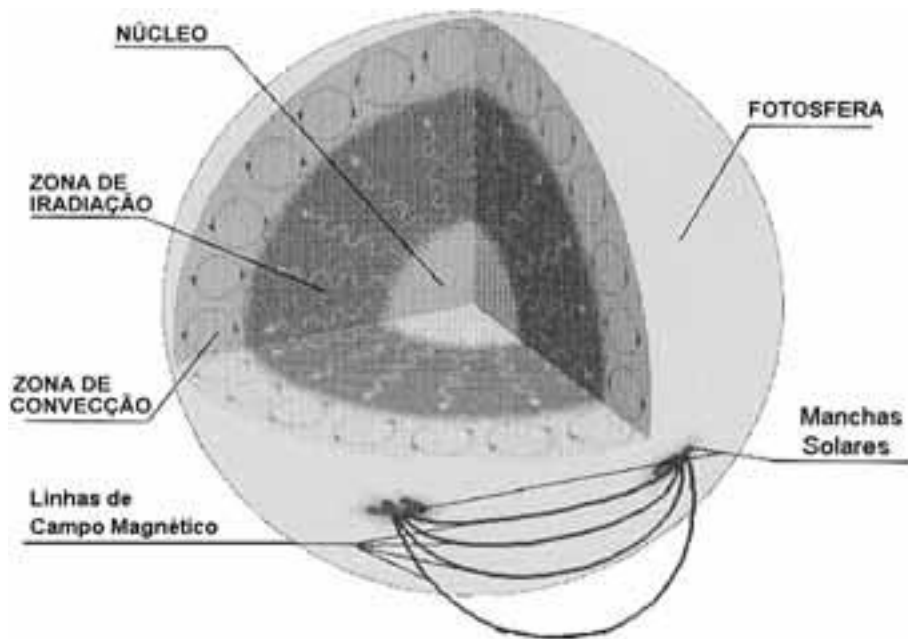
Índice K : O índice K é similar ao índice A, mas reflete condições das últimas 3 horas e seus valores variam de 0 até 9. Números baixos significam condições de ionosfera quieta. As tendências no índice K são importantes a serem acompanhadas. Quando o índice K se eleva podemos esperar a degradação das condições de propagação, particularmente em direção as regiões polares.

Onde obter os índices solares e geomagnéticos ?

Pelas ondas curtas podemos sintonizar as estações de rádio WWV do NIST - National Institute of Standards and Technology - aos 18 minutos após cada hora (WWV de Colorado) e aos 45 minutos após cada hora (WWV H de Hawai).

Na Internet, podemos acompanhar os índices de atividade solar e geomagnética em tempo real. O instituto NOAA disponibiliza estas informações e explicações detalhadas sobre a metodologia e significado de cada conjunto de informação.

Manchas Solares



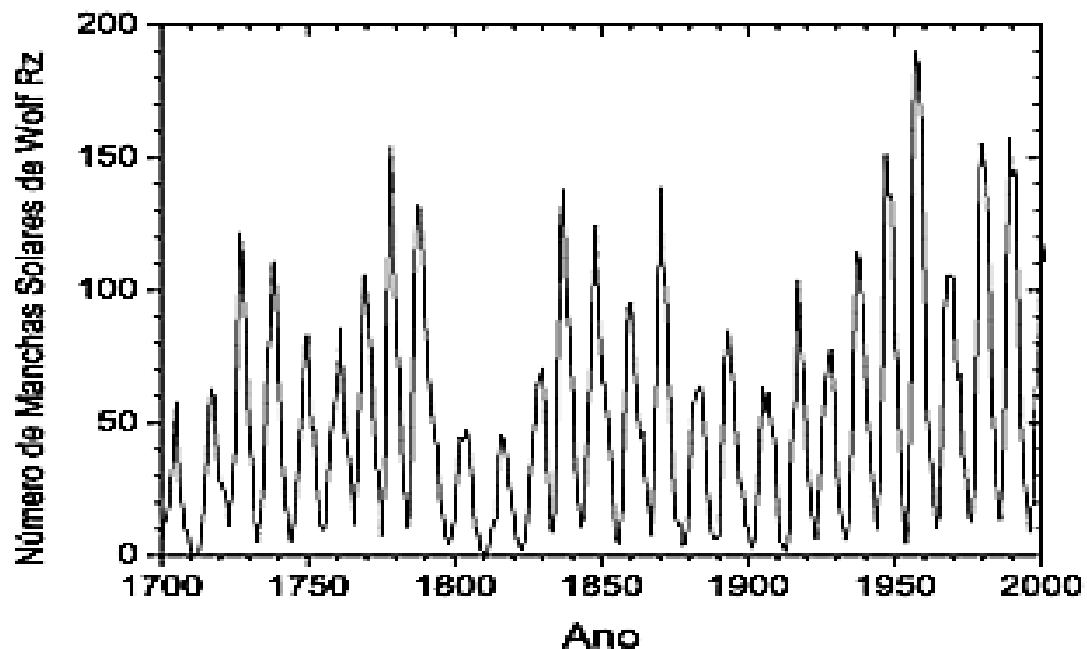
Manchas Solares

Uma das mais notáveis ocorrências na superfície do Sol é o aparecimento e desaparecimento de manchas escuras e irregulares conhecidas como manchas solares. Crê-se que as manchas solares são causadas por violentas erupções solares e caracterizam-se por causarem fortes campos magnéticos. Estas manchas causam variações no grau de ionização da ionosfera. As manchas solares tendem a aparecer em dois ciclos, cada 27 dias e cada 11 anos.

O número de manchas existentes em cada momento muda constantemente já desaparecem umas e aparecem outras. Como o Sol possui movimento de rotação, estas manchas são visíveis a intervalos de 27 dias, que é aproximadamente o tempo que o Sol demora a rodar em torno do seu eixo. Durante este período, as flutuações da ionização variam mais pronunciadas na camada F2.

As manchas solares podem aparecer em qualquer altura, e o tempo de vida das mesmas é variável. O ciclo de onze anos é um ciclo regular de atividade solar com um mínimo e um máximo de atividade que ocorrem a cada onze anos. Durante o período de máxima atividade, a densidade da ionização de todas as camadas aumenta. Por causa disto, a absorção da camada D aumenta e as frequências críticas para as camadas E, F1 e F2 é maior. Nesta altura, as frequências mais altas devem ser usadas para comunicações a longa distância.

Manchas Solares



Manchas Solares

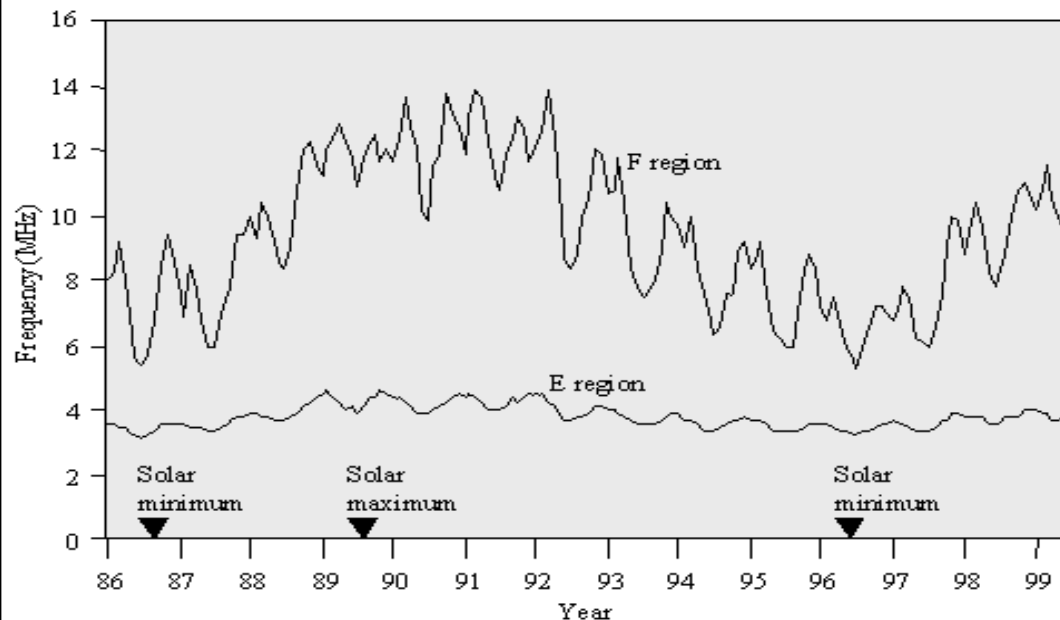
Uma das mais notáveis ocorrências na superfície do Sol é o aparecimento e desaparecimento de manchas escuras e irregulares conhecidas como manchas solares. Crê-se que as manchas solares são causadas por violentas erupções solares e caracterizam-se por causarem fortes campos magnéticos. Estas manchas causam variações no grau de ionização da ionosfera. As manchas solares tendem a aparecer em dois ciclos, cada 27 dias e cada 11 anos.

Manchas solares são regiões mais frias (cerca de 2000K) e mais escuras (por efeito de contraste) do que a fotosfera solar circunvizinha. Elas emitem menos energia do que a fotosfera em geral porque possuem intensos campos magnéticos (cerca de 1000 vezes mais intensos que a superfície solar normal) que parcialmente bloqueiam a energia transmitida para cima pelas células de convecção na região subfotosférica.

O número de manchas solares é um indicador geral da atividade magnética do Sol, e inúmeros fenômenos solares e interplanetários, que afetam diretamente o ambiente eletromagnético terrestre (magnetosfera), tem variação

modulada por este ciclo, tais como a ocorrência de ejeções coronais de massa, de ondas de choque interplanetário, explosões solares e eventos de prótons solares. Em consequência, a ocorrência de tempestades geomagnéticas e outras perturbações na magnetosfera terrestre é maior durante o máximo do ciclo solar.

Variações Devidas ao Ciclo Solar



Variações Devidas ao Ciclo Solar

O Sol passa através de um período de elevação e queda em sua atividade o qual afeta as comunicações em HF; o ciclo solar varia em duração de 9 a 14 anos. Na atividade mínima, apenas as frequências mais baixas da banda de HF serão suportadas pela ionosfera, enquanto na máxima as frequências mais altas serão propagadas com sucesso. Isto se deve a existência de mais radiação emitida pelo Sol no período de pico, o que produz mais elétrons na ionosfera o que permite o uso de frequências mais altas.

Existem outras consequências para o ciclo solar. Em torno do pico máximo solar existem maiores incidências de labaredas solares. As labaredas são grandes explosões no Sol que emitem radiações e ionizam a região D causando maior absorção de ondas de HF. Considerando que a região D é presente apenas durante o dia, apenas os caminhos de comunicação que passam através do dia serão afetados. A absorção de ondas de HF que viajam através da ionosfera depois da ocorrência das labaredas é chamada de desvanecimento das ondas curtas.

Desvanecimentos ocorrem instantaneamente e afetam baixas frequências em sua maioria. As frequências mais baixas são as últimas a se recuperarem. Se for suspeitado ou confirmado que um desvanecimento aconteceu, pode ajudar tentar usar uma frequência mais alta. Entretanto, se uma labareda é muito grande, o espectro inteiro da HF pode se tornar inutilizado. A duração de desvanecimentos pode variar entre 10 minutos até uma hora dependendo da intensidade e duração da labareda.

Meteorologia

O vento, a temperatura do ar, e umidade podem combinar-se para aumentar ou diminuir o alcance das comunicações rádio.



Meteorologia

O vento, a temperatura do ar, e umidade podem combinar-se para aumentar ou diminuir o alcance das comunicações rádio. A precipitação influencia sobretudo as frequências mais altas. As frequências de HF e abaixo não sofrem muito com isso.

CHUVA: A atenuação causada pelas gotas de chuva é superior à causada por qualquer outra forma de precipitação. Pode ser causada por absorção, onde a gota de chuva atua como um mau dielétrico, absorve a energia da onda rádio e transforma essa energia em calor; ou por dispersão. A atenuação causada pela chuva deve-se mais à dispersão do que à absorção para frequências acima de 100 MHz. Para frequências acima de 6 GHz, a dispersão ainda é maior.

NEVOEIRO: A atenuação causada pelo nevoeiro depende da quantidade de água por unidade de volume e pelo tamanho das gotículas. A atenuação causada pelo nevoeiro em frequências abaixo dos 2GHz é desprezível, mas acima desta frequência a atenuação por absorção pode ser elevada.

NEVE: Dado que a neve possui cerca de 1/8 da densidade da chuva, e por causa da forma irregular dos flocos, as perdas por dispersão e absorção são difíceis de calcular, sendo no entanto menores do que as causadas pela chuva.

GRANIZO: A atenuação causada pelo granizo é determinada pelo tamanho das pedras bem como pela sua densidade. A atenuação por dispersão causada pelo granizo é menor que a causada pela chuva.

INVERSÃO DE TEMPERATURA: Quando se formam camadas de ar quente por cima de camadas de ar frio, configura-se uma condição conhecida como inversão de temperatura. Este fenômeno causa a formação de canais ou condutas de ar frio, entre a terra e uma camada de ar quente ou entre duas camadas de ar quente. Se uma antena emissora estiver dentro desse canal, ou se uma onda rádio aí entrar com um ângulo de incidência muito baixo, as emissões de VHF e UHF podem propagar-se para além da linha do horizonte. Estas longas distâncias são possíveis devido às diferentes densidades e propriedades refrativas do ar quente e frio. A mudança brusca de densidade quando a onda rádio entra no ar quente acima do duto faz com que a onda seja refratada de volta à terra. Quando a onda atinge a terra ou uma camada de ar quente abaixo do duto sucede o oposto e a onda prossegue ao longo do duto.

Aurora Boreal e Austral

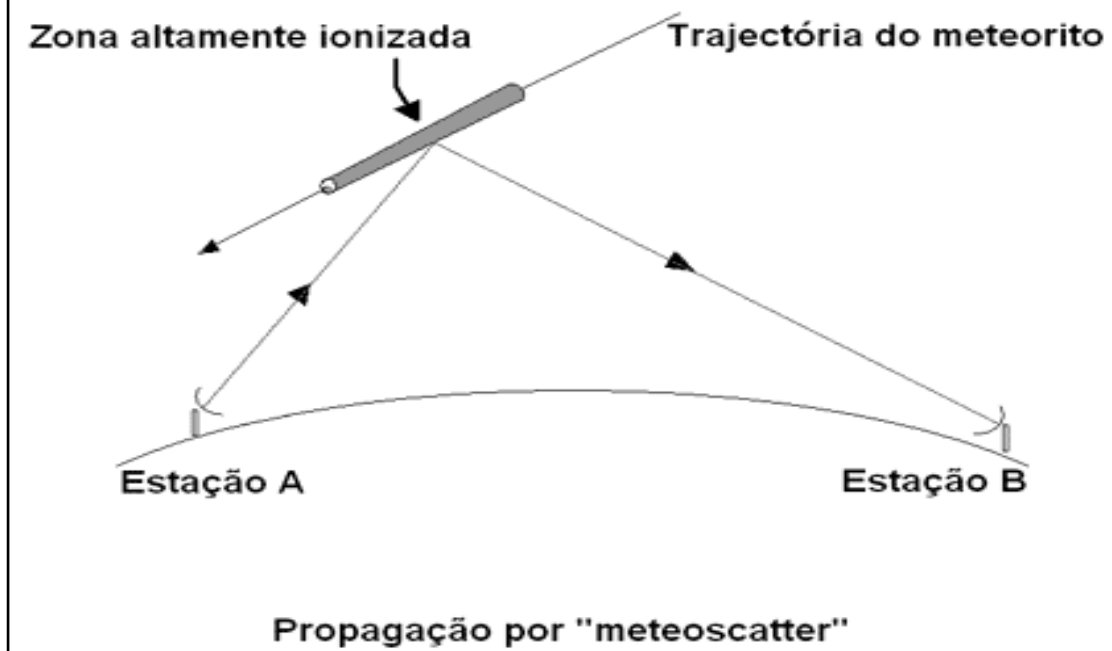
- As auroras, geralmente observadas na Terra a latitudes altas, podem apresentar forma variada como arcos, estruturas em bandas, raios, lâminas, e as cores são amarelo-esverdeado muitas vezes com coloração vermelha ou verde.



Aurora Boreal e Austral

As auroras, geralmente observadas na Terra a latitudes altas, podem apresentar forma variada como arcos, estruturas em bandas, raios, lâminas, e as cores são predominantemente amarelo-esverdeado muitas vezes com coloração vermelha ou verde. Estas colorações são geralmente devidas a emissões de átomos de oxigênio que estão em estados excitados. É de notar que há auroras boreais datadas do séc. IV antes de Cristo. A partir de 1620 e durante quase 100 anos poucas ou nenhuma foram vistas na Europa. Em 1716 quando foi vista uma aurora muito brilhante causou grande perplexidade. Sabe-se hoje que a razão do desaparecimento das auroras durante quase 100 anos foi devido ao desaparecimento de manchas e da atividade magnética que lhes está associada durante o mínimo de Maunder. Nessa altura não se sabia que as auroras estavam relacionadas com o Sol.

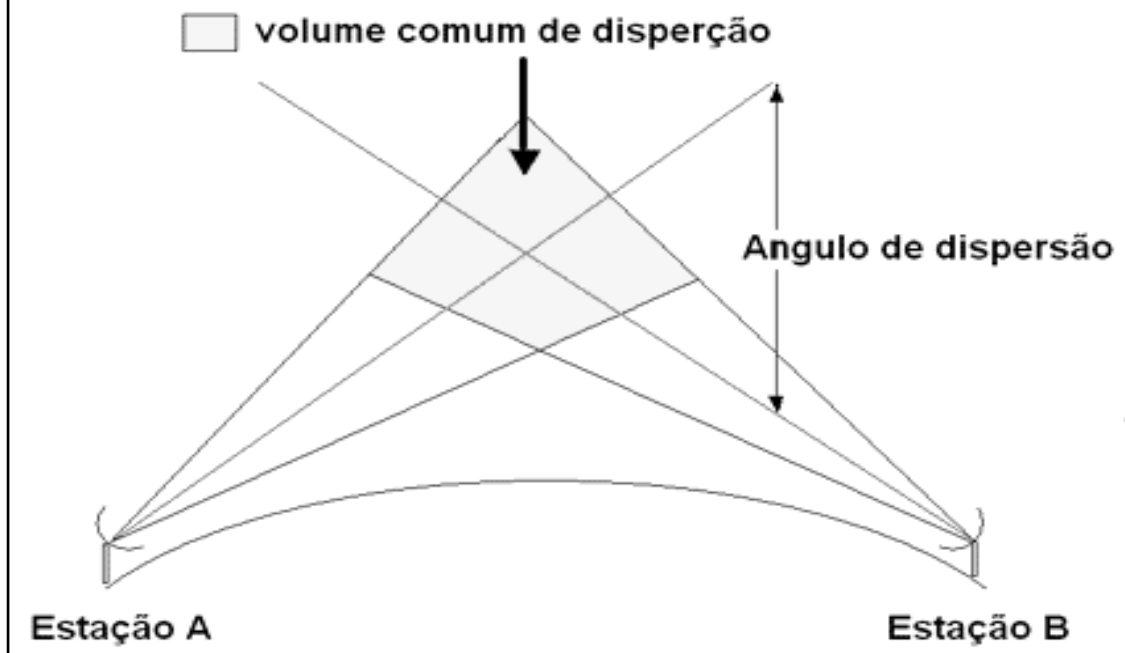
Meteorscatter



Meteorscatter

Este tipo de propagação é provocado pela entrada na atmosfera de meteoros por pequenos que sejam. À volta da trajetória destes corpos celestes, quando atravessam a camada "E" forma-se uma zona fortemente ionizada em forma cilíndrica, estreita mas muito longa, que permite a reflexão dos sinais de frequências elevadas. Esta zona ionizada é de curta duração, mas quando uma grande quantidade de meteoritos entra ao mesmo tempo na atmosfera, como é o caso das chuvas de meteoritos, criam-se bastantes zonas refletoras o que permite o estabelecimento de contactos via rádio embora de curta duração. Este modo de comunicação é bastante comum entre os radioamadores. Estes amadores são pessoas experientes e estão sempre a par dos avisos de chuva meteorítica para poderem apontar as antenas na altura certa, e fazer comunicados bastante interessantes.

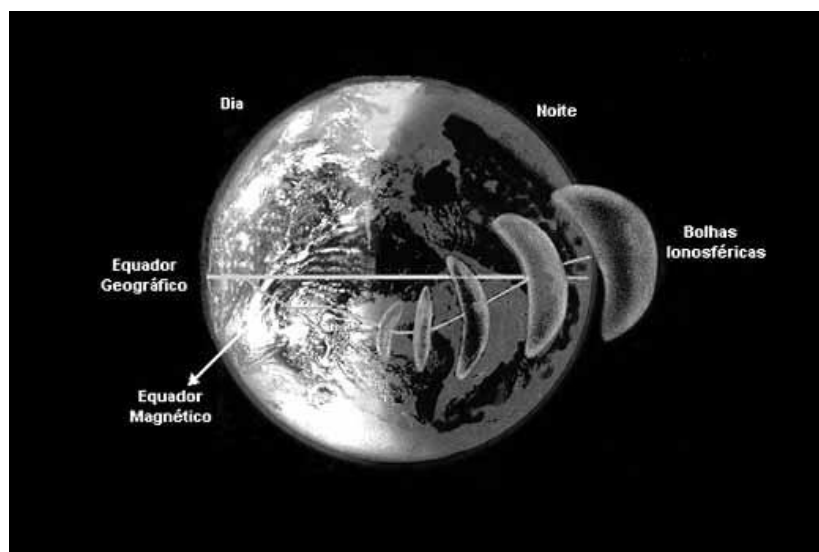
Propagação por Tropodifusão



Propagação por Tropodifusão

Este tipo de propagação é provocado por irregularidades em determinadas zonas da atmosfera em que o índice de refração bem como as condições de umidade e temperatura diferem das zonas circundantes. A esta zona de dispersão chama-se "volume comum de dispersão". Os sinais recebidos por dispersão troposférica são geralmente débeis e variáveis devido a que o sinal é refletido e dispersado, de modo que apenas uma pequena parte chega ao receptor. Por tal os sistemas que utilizem este tipo de propagação são equipados com antenas de alto ganho e de feixe estreito e normalmente os emissores são de potência elevada. Todavia conseguem-se sinais mais estáveis a distancias para além de 500Km. Este meio de propagação é pouco usado nos dias atuais. Era este processo que há umas dezenas de anos atrás, antes do aparecimento dos satélites se usava para assegurar as comunicações telefônicas entre países, pelo que se utilizavam complexos sistemas de antenas e também emissores de alta potência funcionando por volta de 900MHz.

Propagação Transequatorial



Propagação Transequatorial

O fenômeno das bolhas ionosféricas foi detectado experimentalmente pela primeira vez sobre o território brasileiro por volta dos anos 1976-1977, pelo grupo de estudos ionosféricos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE de São José dos Campos, por meio de observações científicas da ionosfera noturna, ou seja, por medidas de uma luz muito fraca, a aeroluminescência (também conhecida por airglow, na língua inglesa), emitida pelo oxigênio atômico da ionosfera. Tal descoberta mostra claramente a importância da pesquisa científica básica para aplicações práticas que são de direto interesse para a sociedade. Desde então mais de 100 publicações científicas sobre o assunto foram feitas pelo grupo de estudos ionosféricos do INPE, em revistas científicas especializadas internacionais.

Durante o dia, a ionosfera é mais densa, ou seja, abarca mais elétrons e íons livres devido à presença da radiação solar. Após o pôr-do-sol, a ionosfera começa a desaparecer por recombinação entre elétrons e íons, e, na região tropical (isto é, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio), ela sobe repentinamente de altura com uma velocidade muito grande em cuja condição forma-se a bolha.

As bolhas de plasma são enormes regiões de vácuo de plasma e surgem após o pôr-do-sol (elas nunca ocorrem durante o dia) e podem se estender por milhares de quilômetros ao longo das linhas de força do campo magnético terrestre (a Terra é um imenso ímã e portanto tem linhas de campo magnético como ocorre com qualquer ímã). A ocorrência das bolhas está aproximadamente restrita à região inter-tropical devido às condições físicas locais que favorecem a geração do fenômeno.

As bolhas ocorrem na região tropical a partir da altura de aproximadamente 250km e se estendem por centenas de quilômetros ao longo das linhas de campo geomagnético podendo ir de um hemisfério terrestre ao outro e atingir uma altura máxima superior a 1500 km na região do equador. Elas aparecem logo após o pôr do sol, sobem em altura e se deslocam para leste e nunca ocorrem durante o dia.

Essas bolhas só ocorrem durante a noite e nunca ocorrem durante o dia e estão restritas aproximadamente à região tropical.

Na região brasileira elas ocorrem mais fortemente entre outubro e março e a sua frequência de ocorrência diminui até atingir um mínimo por volta de junho ou julho. A bolha interfere nas telecomunicações via satélite por difração das ondas (eletromagnéticas) das telecomunicações, causando-lhes forte alteração tanto de amplitude como de polaridade, o que gera os ruídos. Um resultado típico de tal interferência é o aparecimento de pontos escuros e luminosos na tela do receptor, na recepção direta por antena parabólica caseira. Sistemas de telecomunicações de grande porte tais como os utilizados por muitas empresas de telecomunicações podem também eventualmente sofrer fortes interferências, chegando aos blackouts (interrupções totais) nas comunicações.

As bolhas passam a interferir mais fortemente durante a fase de máxima atividade solar que ocorre a cada 11 anos.

Propagação por Reflexão Lunar (EME)



Propagação por Reflexão Lunar (EME)

A Reflexão Lunar ou E.M.E (Earth - Moon - Earth) como é conhecida esta modalidade de transmissão, consiste em usar a Lua como refletor. O sinal sai da Terra, atinge a Lua, e estima-se que 93% do sinal que realmente toca a superfície da Lua é absorvido e que aproximadamente 7% do sinal seja re-irradiado e difundido por todo o espaço. Esta é uma forma de se comunicar a grandes distâncias em frequências muito elevadas usando a lua como refletor. É uma forma de comunicar utilizada por radioamadores experientes e empenhados nas técnicas de comunicações, já que é uma forma difícil de comunicar, não só porque o equipamento normalmente é especialmente concebido para o efeito, como também porque devido à enorme distância (entre 707.000 e 806.000 km) e também à atenuação que sofre a energia eletromagnética na reflexão, são necessários muitas centenas de watts e antenas de alto ganho para se conseguirem resultados práticos. A título de exemplo, em 144MHz a atenuação do trajeto numa comunicação EME é cerca de 225dB.

Intensidade dos Sinais

dBm (50Ω)	dBuV	μV	S Meter
-13.01	93.98	50000.000	S9+60 dB
-23.01	83.98	15811.388	S9+50 dB
-33.01	73.98	5000.000	S9+40 dB
-43.01	63.98	1581.139	S9+30 dB
-53.01	53.98	500.000	S9+20 dB
-63.01	43.98	158.114	S9+10 dB
-73.01	33.98	50.000	S9
-79.03	27.96	25.000	S8
-85.05	21.94	12.500	S7
-91.07	15.92	6.250	S6
-97.09	9.90	3.125	S5
-103.11	3.88	1.563	S4
-109.13	-2.14	0.781	S3
-115.15	-8.16	0.391	S2
-121.18	-14.19	0.195	S1

Receptores com
"S Meter" calibrado



Intensidade dos Sinais

Além das características da estação transmissora, isto é, antena e potência, são quatro os fatores que definem a intensidade do sinal em um dado circuito. Altura e número de elétrons da camada refletora; Número de saltos do enlace; Largura da faixa do sinal transmitido; Condutibilidade do solo.

Considerando-se um circuito com, digamos, 1300 km, isto é, entre São Paulo e Cuiabá como exemplo, e tendo na estação transmissora 100 watts, um dipolo para meia onda e que o QSO seja feito em 20 metros durante o dia, com a propagação tipo 1F2 ou seja um único hop.

Por um momento vamos imaginar que a estação transmissora fosse apenas um ponto e irradiasse os sinais em todas as direções, o que representaria uma antena isotrópica.

Nestas condições os sinais seriam distribuídos igualmente dentro de uma esfera com 1300km de raio, assim o sinal em Cuiabá seria o equivalente a uma fração da energia que estivesse "enchendo" uma esfera com esse raio. Esta fração seria simplesmente a divisão de 100 watts pela área da esfera, o que nos dá um valor de $4,7E-12$ ou seja 0,0000000000047 watts por metro quadrado. Contudo no meio radioamadorístico expressamos esse tipo de valor em decibéis dB que pode ser expresso utilizando-se a sua definição $dB = 10 * \log(P1/P2)$ ou $dB = 10 * \log(100/0,0000000000047)$ ou como corretamente deve ser dito, uma vez que os sinais são medidos em dBW ou watt por metro quadrado, o sinal em Cuiabá será de -113 dBW, ou seja, 113 dB abaixo de 1 watt por metro quadrado.

Como se viu, o fato do sinal estar negativo, -113 dB não significa que é preciso chegar no zero para depois começar a contar, significa apenas que é um certo número de vezes menor do que o sinal na antena transmissora.

Neste mesmo exemplo, a antena utilizada é um dipolo, que tem um ganho, em relação à antena isotrópica de 2,1 dB o que melhora o sinal ficando então a relação em 110,9 dBW.

Ainda, neste sentido, o cálculo inicial foi feito com antena isotrópica no espaço livre, mas a antena está sempre mais próximo do solo, assim o dipolo, a meia-onda de altura, terá, considerando-se a condutibilidade do solo, sinais somados ao vetor principal, na medida em que estes tiverem seus ângulos de irradiação superiores ao ângulo de Pseudo-Brewster. Assim, considerando-se valores médios de condutibilidade e relacionando-os com a antena isotrópica, um ganho adicional de cerca de 6 dB. O que nos dá -104,9 dBW como novo valor.

Da mesma forma, no lado receptor teremos um ganho extra de 6 dB, considerando-se o mesmo tipo de solo, e mais 2,1dB relativamente ao ganho do dipolo da estação receptora. Logo teremos: $S = -110,9 + 8,1$ ou $S = -106,8$ dBW.

O sinal, para atingir a camada F2 deve antes passar pelas camadas D e E que irão "amortecer" o sinal devido ao número de elétrons livres nessas camadas. Digamos que o pedágio cobrado por essas camadas seja de aproximadamente 1,8dB. O sinal então na ponta receptora estará em -105dBW.

Sabe-se que o sinal S-9 no S-meter corresponde a 50uV, para uma antena com impedância de 50 Ohms, o que corresponde a -103dBW (em dBm somar -30dB). Assim, o sinal recebido será S9 + 2 dB. Caso a estação transmissora estivesse utilizando uma antena com ganho de 8dBi ou 8dB em relação à antena isotrópica, uma monobanda bem ajustada, o sinal seria 10dB acima de S-9 ou S9+10 como dizem os DXers.

Measurement Unit Conversion Chart
0dBm = 1 milliwatt into 50 ohms
 (Note: 0dBuV is referenced to 1 uvolt into 50 ohms)

mV	uV	dBuV	dBm
316.23	316,228	110	3.0
281.84	281,838	109	2.0
251.19	251,189	108	1.0
223.87	223,872	107	0.0
199.53	199,526	106	-1.0
177.83	177,828	105	-2.0
158.49	158,489	104	-3.0
141.25	141,254	103	-4.0
125.89	125,893	102	-5.0
112.20	112,202	101	-6.0
100.00	100,000	100	-7.0
89.13	89,125	99	-8.0
79.43	79,433	98	-9.0
70.79	70,795	97	-10.0
63.10	63,096	96	-11.0
56.23	56,234	95	-12.0
50.12	50,119	94	-13.0
44.67	44,668	93	-14.0
39.81	39,811	92	-15.0
35.48	35,481	91	-16.0
31.62	31,623	90	-17.0
28.18	28,184	89	-18.0
25.12	25,119	88	-19.0
22.39	22,387	87	-20.0
19.95	19,953	86	-21.0
17.78	17,783	85	-22.0
15.85	15,849	84	-23.0
14.13	14,125	83	-24.0
12.59	12,589	82	-25.0
11.22	11,220	81	-26.0
10.00	10,000	80	-27.0
8.91	8,913	79	-28.0
7.94	7,943	78	-29.0
7.08	7,079	77	-30.0
6.31	6,310	76	-31.0
5.62	5,623	75	-32.0
5.01	5,012	74	-33.0
4.47	4,467	73	-34.0
3.98	3,981	72	-35.0
3.55	3,548	71	-36.0
3.16	3,162	70	-37.0

mV	uV	dBuV	dBm
2.82	2,818	69	-38.0
2.51	2,512	68	-39.0
2.24	2,239	67	-40.0
2.00	1,995	66	-41.0
1.78	1,778	65	-42.0
1.58	1,585	64	-43.0
1.41	1,413	63	-44.0
1.26	1,259	62	-45.0
1.12	1,122	61	-46.0
1.00	1,000	60	-47.0
0.891	891	59	-48.0
0.794	794	58	-49.0
0.708	708	57	-50.0
0.631	631	56	-51.0
0.562	562	55	-52.0
0.501	501	54	-53.0
0.447	447	53	-54.0
0.398	398	52	-55.0
0.355	355	51	-56.0
0.316	316	50	-57.0
0.282	282	49	-58.0
0.251	251	48	-59.0
0.224	224	47	-60.0
0.200	200	46	-61.0
0.178	178	45	-62.0
0.158	158	44	-63.0
0.141	141	43	-64.0
0.126	126	42	-65.0
0.112	112	41	-66.0
0.100	100	40	-67.0
0.089	89.1	39	-68.0
0.079	79.4	38	-69.0
0.071	70.8	37	-70.0
0.063	63.1	36	-71.0
0.056	56.2	35	-72.0
0.050	50.1	34	-73.0
0.045	44.7	33	-74.0
0.040	39.8	32	-75.0
0.035	35.5	31	-76.0
0.032	31.6	30	-77.0
0.028	28.2	29	-78.0

mV	uV	dBuV	dBm
0.025	25.1	28	-79.0
0.022	22.4	27	-80.0
0.020	20.0	26	-81.0
0.018	17.8	25	-82.0
0.016	15.8	24	-83.0
0.014	14.1	23	-84.0
0.013	12.6	22	-85.0
0.011	11.2	21	-86.0
0.010	10.0	20	-87.0
0.009	8.91	19	-88.0
0.008	7.94	18	-89.0
0.007	7.08	17	-90.0
0.006	6.31	16	-91.0
0.006	5.62	15	-92.0
0.005	5.01	14	-93.0
0.004	4.47	13	-94.0
0.004	3.98	12	-95.0
0.004	3.55	11	-96.0
0.003	3.16	10	-97.0
0.003	2.82	9	-98.0
0.003	2.51	8	-99.0
0.002	2.24	7	-100.0
0.002	2.00	6	-101.0
0.002	1.78	5	-102.0
0.002	1.58	4	-103.0
0.001	1.41	3	-104.0
0.001	1.26	2	-105.0
0.001	1.12	1	-106.0
0.001	1.00	0	-107.0
0.001	0.89	-1	-108.0
0.001	0.79	-2	-109.0
0.001	0.71	-3	-110.0
0.001	0.63	-4	-111.0
0.001	0.56	-5	-112.0
0.001	0.50	-6	-113.0
0.000	0.45	-7	-114.0
0.000	0.40	-8	-115.0
0.000	0.35	-9	-116.0
0.000	0.32	-10	-117.0

Características da Propagação por Bandas

Frequências Médias (300KHz a 3MHz)

A única banda de radioamador em frequências médias está situado logo acima da banda doméstica de broadcast AM. Ondas terrestres (Ground Waves) fornecem comunicação confiável até 150km (90 milhas) durante o dia, quando não há outra forma de transmissão disponível. Caminhos de longa distância são feitos durante a noite através da camada F2.

1.7-1.9MHz (160 m): Sofre de extrema absorção diurna na camada D. Mesmo em ângulos altos de irradiação, praticamente nenhum sinal pode passar através desta camada até a camada F, de maneira que a comunicação diurna está limitada à cobertura da onda terrestre. À noite, a camada D desaparece rapidamente e comunicação mundial de torna-se possível em 160 m através de saltos na camada F2. Ruídos atmosféricos e ruídos feitos pelo homem (man made noise) limitam a comunicação.

Tempestades tropicais em latitudes médias causam elevados níveis de estática no verão, as noites de inverno são a melhor opção de trabalho de longa Distância (DX) em 1,8MHz. Uma boa escolha da antena receptora pode reduzir significativamente a quantidade de ruído recebida enquanto reforça os sinais desejados.

Frequências Altas (HF) 3 - 30MHz

Uma grande variedade de modos de propagação são usadas em HF. As duas bandas mais baixas neste intervalo partilham muitas características diurnas com 160m. A transição entre bandas utilizáveis, principalmente à noite, ou durante o dia aparece em torno de 10MHz. A maioria dos contatos de longa distância são feitos via saltos na camada F2. Acima de 21MHz, outros modos de propagação acontecem, incluindo tropodifusão, esporádica E, aurora e meteorscatter, começam a ser praticados.

3.5-4.0MHz (80 m): A mais baixa banda de HF é semelhante a 160m em muitos aspectos. Absorção diurna é significativa, mas não tão extrema como em 1,8MHz. Sinais com alto ângulo de irradiação podem penetrar as camadas E e F. Comunicação diurna, geralmente, é limitada a 400km (250 milhas) através de ondas terrestres e propagação por ondas espaciais. À noite, sinais são frequentemente propagados para metade de todo o mundo. Como em 1,8MHz, o ruído atmosférico é um incômodo, tornando o inverno mais atraente para a temporada de comunicação a longa distância em 80m.

7.0-7.3 MHz (40 m): A banda mais popular é a de 40m e tem uma zona de salto claramente definida durante o dia. A absorção da camada D não é tão grave como na bandas inferiores, então contatos de curta distância são possíveis com saltos através das camadas E e F. Durante o dia, uma típica estação pode cobrir um raio de aproximadamente 800km (500 milhas). Propagação de ondas terrestres não é importante. À noite, comunicação, confiável para o mundo todo através de saltos na camada F2 são comuns na faixa de 40 metros.

Ruído Atmosférico é menos problemático do que em 160 e 80m, e sinais fortes de longa distância, na banda de 40m são muitas vezes suficiente para sobrepular mesmo altos níveis de ruído estático no verão. Por estas razões, 40m é a banda de radioamador considerada confiável para comunicação DX em todas as estações do ano. Mesmo durante o ponto mais baixo do ciclo solar, 40m pode ser aberta para DX mundial durante toda a noite.

10.1-10.15MHz (30 m): A faixa de 30m é única porque contém características de ambas as partes, diurna e noturna. A absorção da camada D não é um fator significativo. Comunicação até 3000km (1900 milhas) é típico durante o dia, e este meio se estende por todo o mundo através de todos os saltos durante a noite. A banda é geralmente em uma via aberta (em F2) 24 horas por dia, mas durante um mínimo solar, a MUF sobre alguns caminhos de longa distância (DX) poderá cair abaixo de 10MHz à noite. Sob estas condições, a banda de 30m adota as características diurnas das bandas de 14MHz (20m) e frequências acima. A banda de 30m mostra variações menores nas condições de propagação durante os 11 anos de ciclo solar, tornando, assim, geralmente útil a qualquer hora para comunicação a longa distância.

14.0-14.35 MHz (20 m): A banda de 20m é tradicionalmente considerada para os radioamadores "a banda favorita para DX". Independentemente do ciclo solar dos 11 anos, a banda de 20m pode ficar aberta pelo menos algumas horas de propagação mundial através da camada F2 durante o dia. Durante períodos de máximos de atividade Solar em 20m, frequentemente a banda fica aberta para locais distantes durante toda a madrugada. Zonas de silêncio ou zonas de salto estão sempre presentes em algum grau. Saltos através da propagação na camada E durante o dia podem ser detectados ao longo de caminhos de curta distância. O Ruído atmosférico não é considerado, mesmo no verão. Devido à sua popularidade, 20m tende a ser muito congestionada durante o dia.

18.068-18.168MHz (17 m): A banda de 17m é parecida com a banda de 20m em muitos aspectos, mas os efeitos da flutuação na atividade solar sobre a propagação na camada F2 são mais acentuadas. Durante os anos de alta atividade solar, 17m é confiável para a comunicação de longo alcance diurna e início da noite, muitas vezes duradoura bem depois pôr-do-sol. Durante os anos de atividade solar moderada, a banda pode abrir apenas durante horas com a luz solar e fechar logo após pôr-do-sol. Nos períodos de mínimo Solar a banda de 17m ficará aberta em latitudes medianas e equatoriais, mas apenas por curtos períodos, perto do meio dia, sobre caminhos norte-sul.

21.0-21.45MHz (15 m): A faixa de 15m, muito considerado como uma banda para DX durante o ciclo solar máximo, mas é muito sensível à mudança da atividade solar. Durante os anos de pico, 15m é confiável para comunicação DX diurna através da camada F2 e irá permanecer aberta frequentemente à noite. Durante os períodos de atividade solar moderada, a banda de 15m é basicamente usada para contatos diurnos, fechando pouco depois do pôr-do-sol. Durante os períodos mínimos de atividade Solar a banda de 15m ficará fechada, com exceção para repentinos circuitos transequatoriais norte-sul. Reflexões na camada E Esporádica são observadas ocasionalmente no início do verão e meados de inverno, embora isto não seja comum e os efeitos não são tão pronunciados como sobre as frequências mais elevadas.

24.89-24.99MHz (12 m): Esta banda oferece propagação que combina o melhor das bandas de 10m e 15m. Embora 12m é, essencialmente, uma banda diurna durante os anos de baixa e moderada atividade de manchas solares, ela pode permanecer aberta bem após o pôr-do-sol durante o máximo solar. Durante anos de atividade solar moderada, 12m abre à baixa e médias latitudes durante o dia, mas raramente permanece aberta depois pôr-do-sol. Nos períodos de baixa atividade solar, freqüentemente causam nesta uma condição de nenhuma atividade, exceto em altas latitudes. Aberturas ocasionais diurnas, especialmente em latitudes mais baixas, são provavelmente os caminhos norte-sul. A principal temporada de reflexão através da camada E esporádica, em 24MHz dura desde o verão até o final da primavera. Aberturas ocasionais podem ser observadas até em meados do inverno.

28.0-29.7MHz (10 m): A banda de 10m é conhecida por variações nas características e extrema variedade nos modos de propagação. Durante o ciclo solar máximo, propagação a longa distância através da camada F2 é tão eficiente que sinais de muito baixa potência podem produzir altos sinais ao redor do globo. Contatos DX são abundantes com equipamentos modestos. Sob essas condições, a banda é normalmente aberta do amanhecer até algumas horas passada do pôr-do-sol. Durante os períodos de atividade solar moderada, a banda de 10 m normalmente só abre para baixas latitudes e contatos transequatoriais ao meio-dia. Durante o mínimo solar, pode não haver propagação durante o dia ou à noite através da camada F2. Contatos através da camada E Esporádica são bastante comuns, em 10m, especialmente entre Dezembro e Março, embora possa aparecer a qualquer momento. Saltos curtos, como às vezes são chamados em HF, tem pouca relação com o ciclo solar e ocorre independentemente das condições da camada F que propicia saltos únicos de comunicação de 300 a 2300km (190 a 1400mi) e múltiplos saltos de 4500km (2800 milhas) e mais distante.

Dez metros é uma banda de transição em que ele partilha também alguns modos de propagação mais característicos em VHF. Meteorscatter, aurora, propagação transequatorial E/F para fornecer os meios de fazer contatos a 2300km (1400milhas) e mais longe, mas estes modos muitas vezes passam despercebidos em 28 MHz. Técnicas semelhantes às utilizadas em VHF podem ser muito eficazes, em 10m, como sinais são geralmente mais fortes e mais persistentes. Esses modos de propagação podem ser mais plenamente explorados, especialmente durante o mínimo solar quando a comunicação a longa distância através da camada F2 foi abandonada.

Very High Frequencies - VHF - (30 - 300MHz)

Uma grande variedade de modos propagação são úteis na faixa VHF. Saltos na camada F aparece em 50 MHz durante picos do ciclo solar. Esporádica E e vários outros fenômenos da camada E são mais eficazes na faixa VHF. Ainda outras formas de propagação ionosférica em VHF, como irregularidades alinhadas ao campo geomagnético (FAI) e a propagação transequatorial F (TE), são observados raramente em HF. Propagação troposférica, que não é um fator considerado em HF, torna-se cada vez mais importante acima de 50MHz.

6MHz (6 m): A banda de radioamador mais baixa em VHF partilha muitas das características de ambas as bandas de frequências adjacentes. Na ausência de condições favoráveis a propagação ionosférica, estações de 50MHz bem equipadas trabalham regularmente, ao longo de um raio de 300km (190 milhas) através da

difusão troposférica, dependendo do terreno, a potência, capacidade do receptor e antena. Sinais fracos de difusão troposférica permitem contatos entre estações de 500km (310mi) de distância quase todo o tempo. Efeitos climáticos podem prolongar o intervalo normal por algumas centenas de quilômetros, especialmente durante os meses de verão, mas é verdade que dutos troposféricos são raros.

Durante o pico do ciclo solar de 11 anos de manchas solares, comunicados de longa distância (DX) a nível mundial em 50MHz são possíveis através da camada F2 durante o dia. Backscatter F2 é mais um modo de propagação e prevê contatos tão distantes como 4000km (2500 milhas), quando o MUF é apenas pouco abaixo de 50MHz. Caminhos transequatoriais (TE) de 8000km (5000 milhas) em todo o equador magnético são comuns em torno dos equinócios da primavera e outono nos picos de atividade do ciclo solar de 11 anos.

Esporádica E é provavelmente a mais comum e sem dúvida a mais popular forma de propagação na faixa de 6 metros. Aberturas de pulso únicos (Single-hop) podem durar muitas horas de contato de 600 a 2300km (370 a 1400 milhas), principalmente durante a primavera e início do verão. Saltos múltiplos (Multiple-hop) na camada E prevê contatos transcontinentais várias vezes por ano, e os contactos entre os E.U.A e América do Sul, Europa e Japão através de Saltos múltiplos na camada E ocorrem quase todos os verões.

Outros tipos de propagação ionosférica da camada E em 6m, fazem dela uma banda emocionante. Distâncias máximas de cerca de 2300km (1400milhas) são típicas de todos os modos de propagação da camada E. Propagação por irregularidades alinhadas dos campos geomagnéticos (FAI) geralmente fornece muitas horas de contatos seguidos imediatamente por eventos da camada E esporádica E. Propagação pela Aurora aparece muitas vezes no final da tarde, quando o campo geomagnético é perturbado. Intimamente relacionada com a propagação pela Aurora podem estender o leque de 6m a 4000km (2500 milhas) e, por vezes, mais distante em todos os estados do norte dos Estados Unidos e do Canadá, normalmente após a meia-noite. Meteorscatter fornece breves contactos durante o início da manhã, especialmente durante uma dúzia ou mais das proeminentes chuvas anuais de meteoros.

144-148M Hz (2 m): Ef eitos ionosféricos são significativamente reduzidos em 144MHz, mas estão longe de estar ausentes. Propagação na camada F é desconhecido exceto para Propagação transequatorial (TE), que é responsável pelo atual recorde terrestre de comunicação em longa distância (DX) em 144MHz de quase 8000 km (5000 milhas). Propagação pela camada E esporádica em 144 MHz ocorre um décimo da quantidade de vezes do que em 50MHz, mas contatos habituais de salto único (single-hop) são os mesmos, cerca de 2300km (1400 milhas).

Contactos de Múltiplos saltos (multiple hop) pela camada E esporádica superior a 3000 km (1900 milhas), ocorreram ao longo do tempo em todo o continente E.U.A, bem como em toda a Europa Meridional.

Propagação por Aurora é bastante semelhante ao encontrado em 50 MHz, exceto que sinais são mais frequentes e mais distorcidos por Efeito Doppler. Contatos por Aurora são raros. Contatos Meteorscatter são limitados principalmente para os períodos de grandes chuvas de meteoros anuais e exigirá muita paciência e habilidade operacional. Contatos foram feitos através Irregularidades Alinhadas no Campo Geomagnético (FAI) em 144MHz, mas o seu potencial não foi totalmente explorado.

Efeitos troposféricos aumentam com o aumento da frequência, e 144MHz sendo a mais baixa banda de VHF que efeitos meteorológicos desempenha um papel importante na propagação. Efeitos no tempo podem induzir contatos de 300 a 600km (190 a 370mi) de distância para estações normais e para estações bem equipadas para 800 km (500 milhas) e mais, especialmente durante o verão e no início do outono. Dutos troposféricos estendem esta gama a 2000km (1200 milhas) ou mais sobre o continente e, pelo menos, a 4000 km (2500 milhas) caminhos sobre o mar.

222-225M Hz (135c m): A banda de 135cm partilha muitas características com a da banda de 2 m. Os contatos das estações normais de trabalho em 225MHz é quase tão bom como comparativamente as estações em 144MHz. A banda de 135cm é um pouco mais delicada para efeitos troposféricos, mas os modos ionosféricos são mais difíceis de utilizar. Sinais por propagação na Aurora e meteorscatter são um pouco mais frequentes do que em 144MHz, e contactos pela camada E esporádica em 225MHz são extremamente raros. FAI e TE podem estar dentro das possibilidades de 225MHz, mas relatórios sobre estes modos são incomuns.

Ultra High Frequencies - UHF - (300 - 3000MHz)

Propagação do troposférico domina as bandas de UHF e superiores, embora algumas formas de propagação na camada E ainda são úteis em 432MHz. Acima de 10GHz, a atenuação atmosférica torna-se cada vez mais o fator limitante dos caminhos de mais de longa distância. Reflexões de aviação, montanhas e outros objetos estacionários podem ser de muita utilidade na propagação em 432 MHz e acima.

430-440M Hz (70c m): A banda mais baixa de radioamador em UHF, marca a maior frequência em que propagação ionosférica é comumente observada. Sinais por Aurora são mais frequentes e mais distorcidos por Efeito Doppler, as distâncias são normalmente inferiores às de 144 ou 225MHz. Meteorscatter é muito mais difícil do que sobre as bandas mais baixas, porque as rajadas são significativamente mais fracas e de muito curta duração. Propagação na camada E esporádica e FAI são desconhecidas em frequências tão elevadas como 432MHz e provavelmente impossíveis, Propagação transequatorial (TE) é possível. Estações bem equipadas em 432MHz podem esperar funcionar ao longo de um raio de pelo menos 300km (190 milhas), na ausência de qualquer outro tipo de propagação. Reflexão troposférica é mais pronunciada em 432 MHz e fornece frequentemente o meio mais útil para contatos de longa distância. Em dutos troposféricos acontecem contactos de 1500km (930 milhas) e mais ao longo do terreno. O recorde de distância terrestre em 432MHz é de mais de 4000km (2500mi), foi realizada através de dutos sobre a água do mar.

902-928M Hz (33c m): Modos de transmissão ionosféricos são praticamente desconhecidos na banda 902MHz. Propagação por Aurora podem existir, mas os níveis de sinal serão muito inferiores aos de 432MHz. Distorção Doppler será considerável. Nenhum outro modo de propagação ionosférica é provável, embora investigação com radares de alta potência ter recebido ecos das auroras e meteoros em frequências até 3GHz.

1296MHz 23c m: As frequências acima 902MHz são muito sensíveis a mudanças nas condições meteorológicas. Dutos troposféricos ocorrem com mais frequência do que nas bandas de VHF as distâncias são semelhantes. Outros efeitos troposféricos tornam-se evidentes nas bandas de microondas. Inversões térmicas por evaporação, que constituem massas de água muito quente, são utilizadas em 3,3GHz e acima. Também é possível construir caminhos através de espalhamento pela chuva, neve e granizo nas bandas inferiores de microondas.

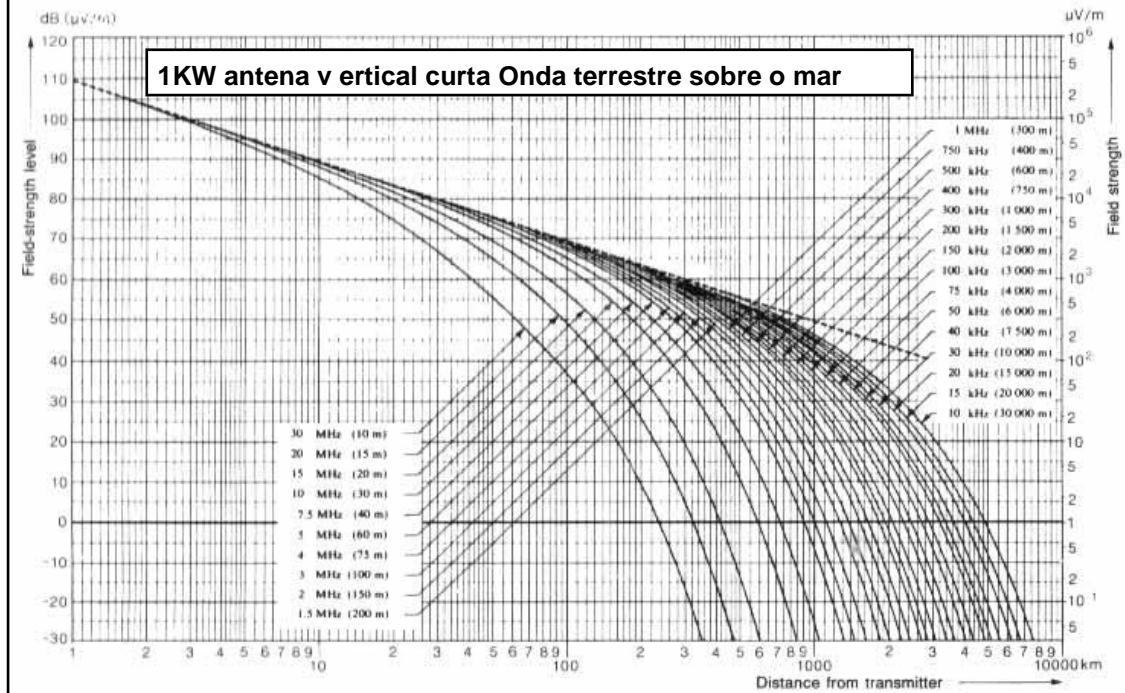
Acima de 10G Hz: A atenuação atmosférica causada pelo vapor d'água e oxigênio tornam-se os fatores limitantes mais significativos na comunicação de longa distância.

Bandas de Freqüências e Características

Bandas de Freqüência e Características

Freqüência	Designação	Comprimento de Onda	Processos de Propagação	Principais Características
30 – 300 Hz	ELF Extremely Low Frequency	$10^4 - 10^3$ km	Ondas Megamétricas	Penetração do solo terrestre e da água do mar
0,3 – 3 kHz	VF Voice Frequency	1000 – 100 km	Ondas Guiadas (linhas de transmissão)	Distorção linear
3 – 30 kHz	VLF Very Low Frequency	100 – 10 km	Onda de Superfície e Macro-onda Troposférica	Baixa atenuação, antenas muito grandes
30 – 300 kHz	LF Low Frequency	10 – 1 km	Onda de Solo (onda de superfície)	Reduzido desvanecimento, elevado ruído atmosférico
0,3 – 3 MHz	MF Medium Frequency	1000 – 100 m	Onda de Solo e (de noite) Onda Ionosférica	Desvanecimento acrescido, mas fiável
3 – 30 MHz	HF High Frequency	100 – 10 m	Onda Ionosférica	Percurso múltiplo, desvanecimento selectivo
30 – 300 MHz	VHF Very High Frequency	10 – 1 m	Onda de Espaço e Onda Troposférica	Percurso múltiplo, desvanecimento e difusão
0,3 – 3 GHz	UHF Ultra High Frequency	100 – 10 cm	Onda de Espaço e Onda Troposférica	Percurso múltiplo, difusão, difracção, desvanecimento
3 – 30 GHz	SHF Super High Frequency	10 – 1 cm	Onda de Espaço (linha de vista)	Ionosfera transparente, absorção pela chuva
30 – 300 GHz	EHF Extremely High Frequency	10 – 1 mm	Onda de Espaço (linha de vista)	Absorção pelos gases atmosféricos

VLF – Very Low Frequency



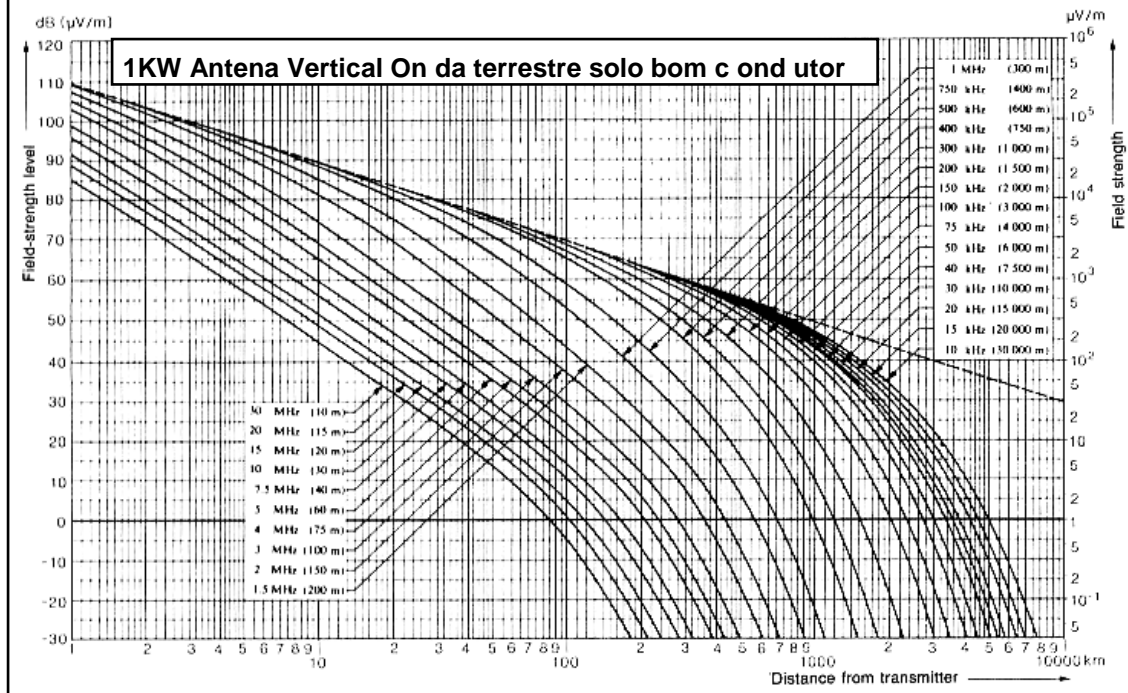
VLF

Na faixa de VLF o comprimento de onda é muito longo, da ordem de 10^5 m, e, portanto, as antenas são muito grandes. Por razões práticas elas são posicionadas muito próximo da superfície. As ondas eletromagnéticas são guiadas por uma espécie de guia de onda formado pela terra e pela ionosfera.

Devido às variações na altura da camada D da atmosfera, a altura efetiva desse guia de onda também varia a partir da superfície da terra.

A faixa de VLF é utilizada em telegrafia a longas distâncias e em sistemas de navegação. Ela também é usada em comunicações com submarinos, já que as frequências altas são rapidamente atenuadas pela água do mar. Transmissões digitais são sempre usadas mas a largura de banda disponível nessa faixa de frequências é muito pequena e a taxa de dados é, então, extremamente baixa.

LF e MF Low & Medium Frequency



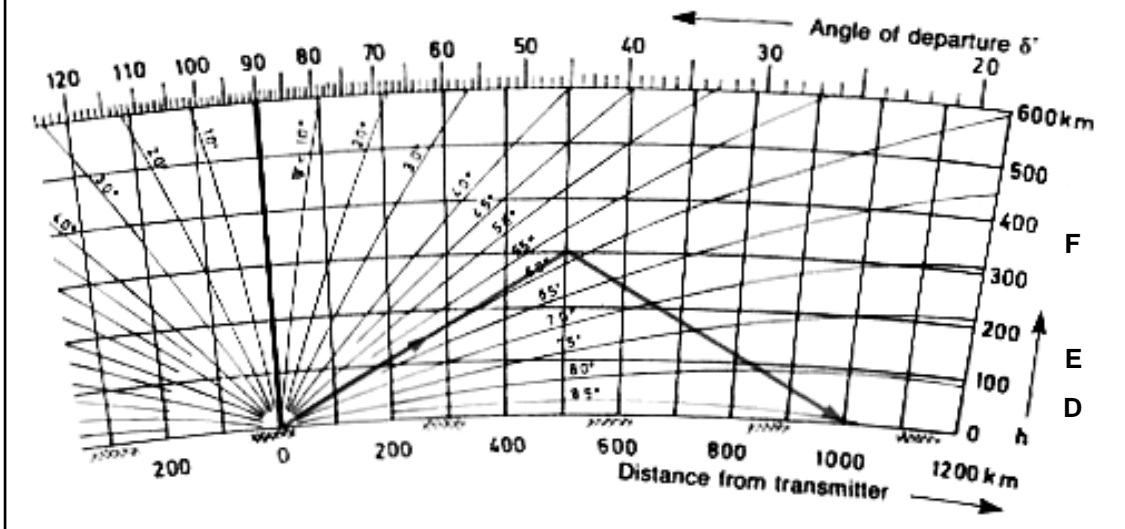
LF e MF

Para frequências entre kHz e alguns MHz (a s bandas LF e MF) a onda terrestre é o modo dominante de propagação e as caracterí sticas de radiação são intensamente influenciadas pela presença da terra.

Em LF a onda de superfície é utilizada para comunicações em longa distância e navegação. As antenas são ainda fisicamente muito grandes e transmissore s de alta potência são usados. O aumento da largura de banda disponível em MF permite o seu uso comercial em rádio AM. Embora a atenuação da onda de superfície seja mais alta do que na faixa de LF, comunicação sobre distâncias de diversa s centenas de quilômetros são ainda possíveis, particularmente durante o dia. À noite, a propagação da onda celeste via camada D da ionosfera é possível na faixa de MF e isso leva à possibilidade de interferência entre sinais chegando em um mesmo ponto, um por meio da onda terrestre e o outro pela onda celeste. A interferência pode ser construtiva ou destrutiva, dependendo da fase das ondas e da variação temporal na altura da camada D, tornando o sinal alternadamente fraco e forte. Esse fenômeno, chamado de fading, também é produzido por diverso s outros mecanismo s e sempre ocorre quando a energia pode se propagar por meio de mais de um caminho.

HF – High Frequency (3 – 30MHz)

- Caminhos percorridos função do ângulo de irradiação, (Take – Off), altura das camadas e distância.



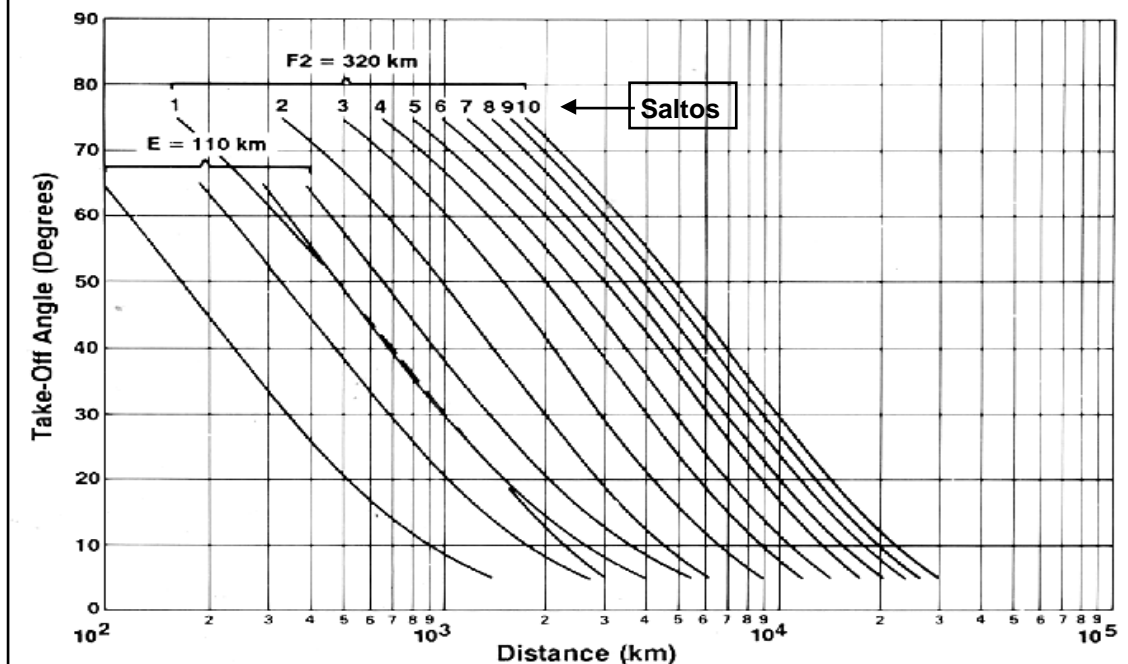
HF

Propagação da onda terrestre também ocorre em HF, mas a onda *ionosférica* é dominante nessa faixa de frequências. As camadas ionizadas dentro da ionosfera (as camadas D, E e F) existem em alturas de vários quilômetros acima da superfície da terra e a comunicação em grande distância pode ocorrer por meio de um ou vários saltos. A altura das diferentes camadas varia durante a hora do dia, a estação do ano e a localização geográfica. Isso causa severos problemas que têm atraído a atenção de pesquisadores durante muitos anos e ainda é de grande interesse.

A presença ou ausência destas camadas na ionosfera e a sua altitude varia com a posição do Sol. Ao meio dia, a radiação na ionosfera é máxima, enquanto à noite é mínima. Quando a radiação desaparece a maior parte das partículas que estavam ionizadas recombina-se. No espaço de tempo entre estas duas condições, a posição e número de camadas ionizadas da ionosfera mudam.

Como a posição do Sol varia diária, mensal e anualmente relativamente a um determinado ponto na Terra, o exato número de camadas presentes é extremamente difícil de determinar.

Distância / Camadas x Saltos Take - Off



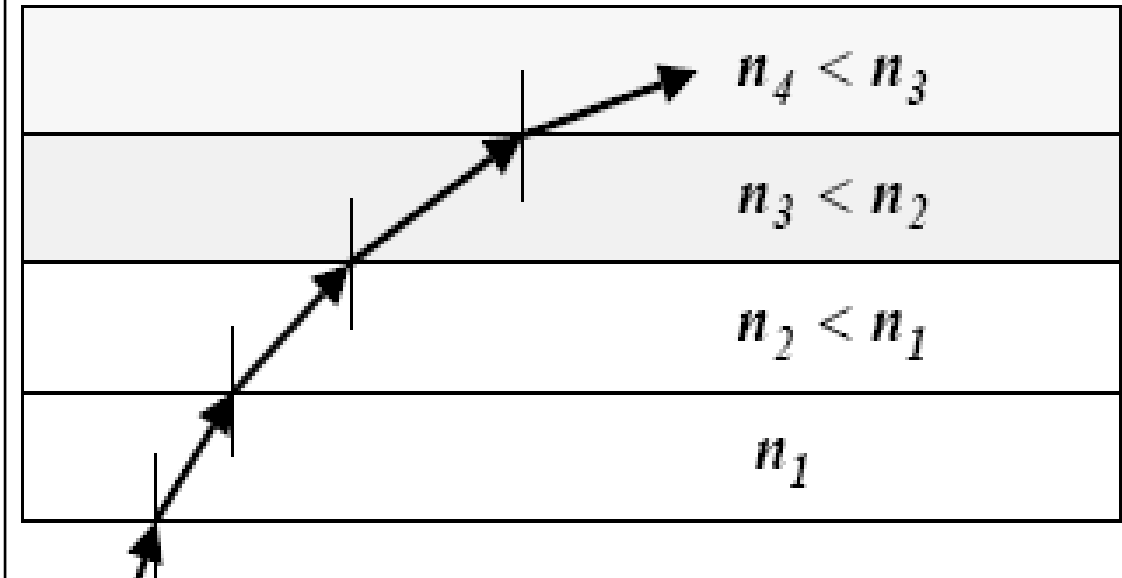
Propagação NVIS - Near Vertical Incidence Skywave

As estações que desejam se comunicar em distâncias superiores ao limite da onda terrestre e inferiores à distância do primeiro salto podem se utilizar de frequências e antenas próprias para isso. Denomina-se NVIS Near Vertical Incidence Skywave, Propagação por incidência perto da vertical.

Usando frequência baixas entre 3Mhz e 8Mhz isso pode ser alcançado, e também usando antenas que irradiam nesta direção, por exemplo: dipolos em V invertido. Como recomendação usa-se a parte superior 6, 7 e 8Mhz durante a manhã e a parte inferior 3, 4 e 5Mhz à noite.

Refração nas Camadas da Atmosfera

- Encurvamento da onda eletromagnética

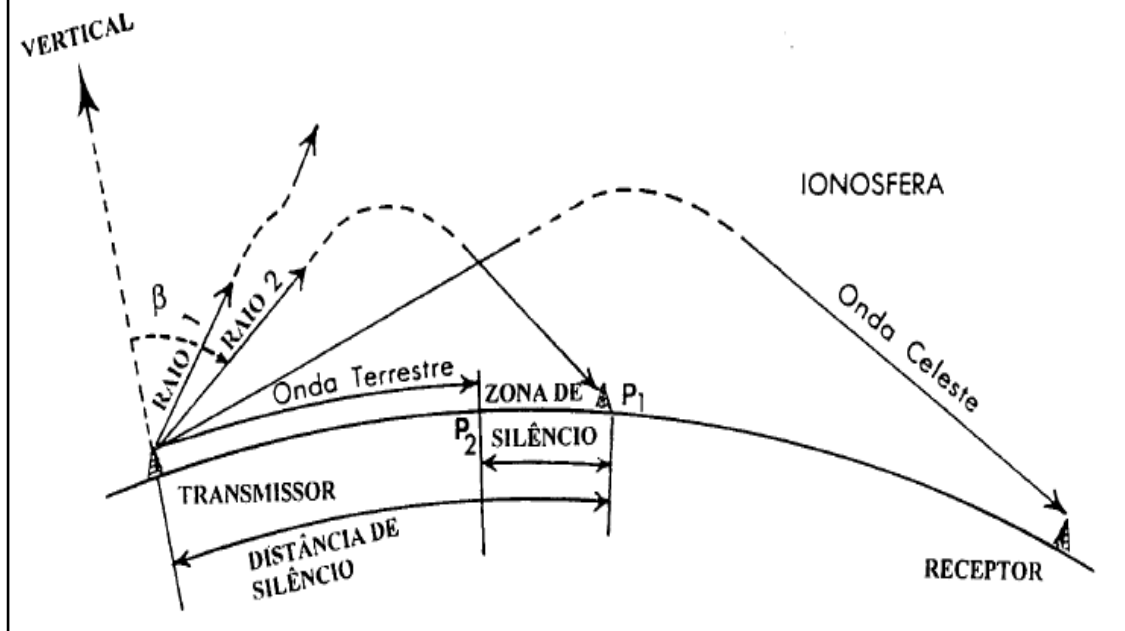


Refração nas Camadas da Atmosfera

Uma atmosfera ideal é aquela na qual a constante dielétrica é unitária e a absorção é zero. Na prática, a constante dielétrica do ar é maior do que a unidade e depende da pressão total, da pressão de vapor d'água e da temperatura do ar. A constante dielétrica varia, então, com as condições do tempo e com a altura acima da terra. Normalmente, mas nem sempre, ela diminui com o aumento da altura. A consequência de variações na constante dielétrica com a altura é que as ondas eletromagnéticas são encurvadas enquanto se propagam, em uma curva que as mantém mais próximas da terra do que se elas fizessem um percurso retilíneo. A figura mostra o encurvamento do feixe no plano vertical, devido ao fenômeno da refração da onda eletromagnética.

Em geral, em grandes altitudes onde a atmosfera é menos densa temos uma diminuição do índice de refração. Isto faz com que o sinal que deixa uma antena transmissora com um ângulo finito em relação à horizontal tende a se curvar de acordo com a lei de Snell da refração.

Zona de Silêncio



Zona de Silêncio

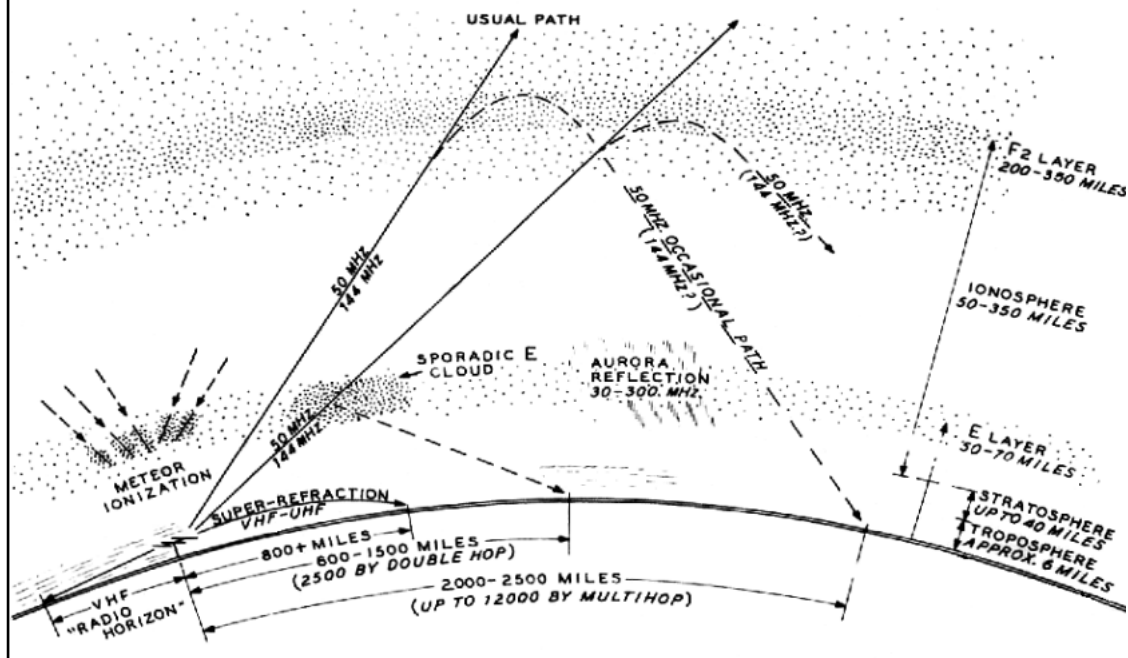
Combinando os efeitos da onda celeste, ou onda ionosférica, com os da onda terrestre, pode-se imaginar um padrão de propagação como mostrado na figura.

A onda terrestre propaga-se acompanhando, de forma aproximada, a curvatura da Terra, enquanto perde energia, através do efeito absorção, tendo como alcance máximo o ponto P2. A zona entre o alcance máximo da onda terrestre e o alcance mínimo da onda celeste é denominada zona de silêncio. A distância entre o transmissor e o ponto P1 é denominada distância de silêncio, que significa a distância mínima para o recebimento de uma onda celeste. Dentro da distância de silêncio nenhuma onda refletida na ionosfera é recebida.

A onda celeste que sai diretamente pela vertical da antena (na direção do Zênite) penetra na ionosfera e perde-se no espaço. Uma onda que faça um pequeno ângulo com a vertical ao sair da antena, também poderá atravessar a ionosfera e se perder no espaço, como no caso do raio 1 mostrado na figura. Aumentando o ângulo que o raio emitido faz com a vertical da antena, alcança-se um ângulo sob o qual a onda transmitida se reflete na ionosfera e retorna à Terra. Este ângulo (β , na figura) tem o nome de ângulo crítico. Então, o raio 2, incidindo sobre a ionosfera com um ângulo igual (ou maior) que o ângulo crítico, reflete-se na ionosfera, formando uma onda refletida que atinge a superfície da Terra no ponto P1.

Acima de 50MHz

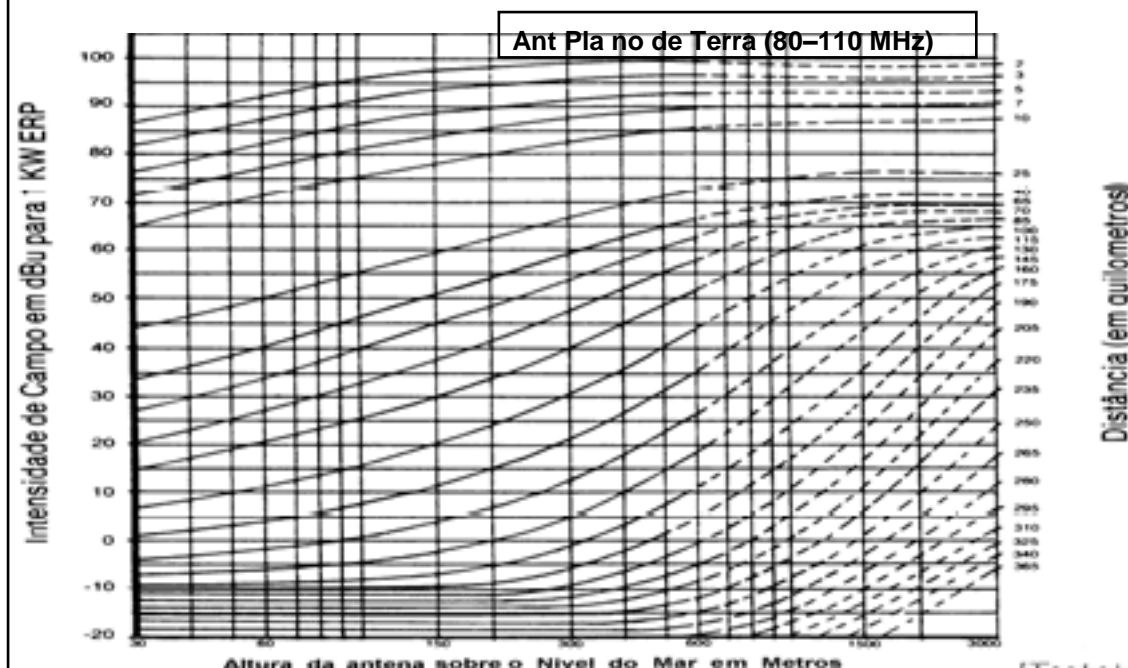
VHF e UHF – Very & Ultra High Frequency



VHF e UHF

Frequências em VHF e UHF são normalmente muito altas para ocorrer a propagação da onda pela ionosfera. As comunicações ocorrem por meio das componentes direta e refletida da onda terrestre. Nessas bandas, as antenas têm tamanhos relativamente pequenos e podem ser posicionadas com vários comprimentos de onda distante da terra. Nessas condições a onda espacial é predominante. A largura de banda disponível é tal que rádio FM de alta qualidade e canais de televisão podem ser disponibilizados, mas a propagação é normalmente restrita para pontos dentro do horizonte e a cobertura é essencialmente local. A análise da propagação da onda espacial em VHF e UHF necessita levar em conta os problemas da reflexão da terra e de obstáculos naturais ou artificiais. Difração em árvores e prédios e refração na camada mais baixa da atmosfera são também importantes.

VHF – Intensidade de Sinal



Rádio Comunitária

A potência efetiva irradiada - ERP por emissora do Serviço de Radiodifusão Comunitária será de, no máximo, 25 watts. O máximo valor de intensidade de campo que a estação poderá ter a uma distância de um quilômetro da antena e a uma altura de 10 metros sobre o solo será de 91dBμ, obtido a partir da expressão:

$E \text{ (dBμ)} = 107 + \text{ERP (dBk)} - 20 \log d \text{ (km)}$, onde:

ERP (dB k) – potência efetiva irradiada, em dB relativos a 1 kW (tomado o valor máximo, de -16dBk, correspondentes a 25 W), sendo:

$\text{ERP (dB k)} = 10 \log (P_t \times G_{ht} \times G_{vt} \times \eta)$, em que:

P_t - potência do transmissor, em kW;

G_{ht} - ganho da antena, no plano horizontal, em relação ao dipolo de meia onda, em vezes;

G_{vt} - ganho da antena, no plano vertical, em relação ao dipolo de meia onda, em vezes;

η - eficiência da linha de transmissão;

d - distância da antena transmissora ao limite da área de serviço, em km, (tomado o valor máximo de um km).

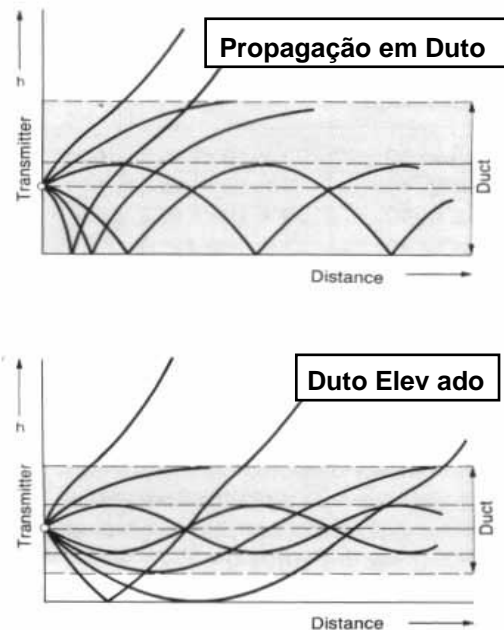
Em nenhuma direção o valor da intensidade de campo, a um quilômetro, poderá ser superior a 91dBμ.

A área de serviço de uma emissora do Serviço de Radiodifusão Comunitária é aquela limitada por uma circunferência de raio igual ou inferior a mil metros, a partir da antena transmissora, e será estabelecida de acordo com a área da comunidade servida pela estação.

O sistema irradiante de estação do Serviço de Radiodifusão Comunitária deverá estar localizado, preferencialmente, no centro da área de serviço da emissora. O diagrama de irradiação da antena utilizada por estação do Serviço de Radiodifusão Comunitária deverá ser omnidirecional. O ganho da antena transmissora será de, no máximo, 0dB, em relação ao dipolo de meia onda. A altura da antena com relação ao solo será de, no máximo, trinta metros. A cota do terreno (solo), no local de instalação do sistema irradiante, não poderá ser superior a trinta metros, com relação à cota de qualquer ponto do terreno no raio de um km em torno do local do sistema irradiante. A ligação entre o transmissor e a antena deve ser feita por meio de cabo coaxial.

Propagação em Duto

- Os Dutos também promovem comunicações em VHF e UHF à muito longas distâncias de maneira esporádica.

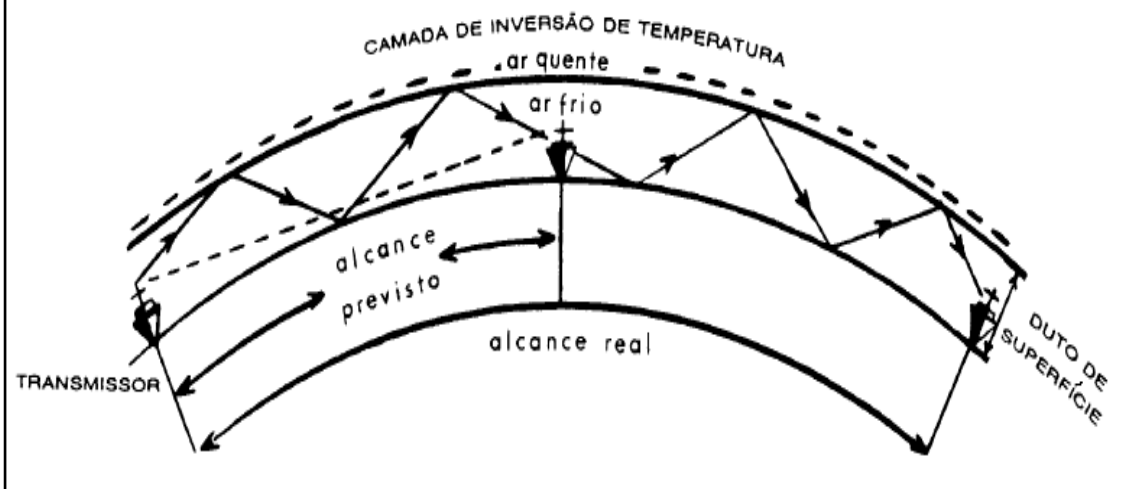


Propagação em Duto

A camada inferior da atmosfera, conhecida como *troposfera*, se estende da superfície da terra até a uma altura de cerca de 11 quilômetros. É nessa região que as nuvens são formadas. Em frequências acima de 30MHz ocorrem três fenômenos com as ondas que se propagam em linha de visada na troposfera. Em primeiro lugar, flutuações localizadas do índice de refração podem causar espalhamento. Em segundo lugar, qualquer variação abrupta do índice de refração com a altura pode causar reflexão. Finalmente, um fenômeno mais complicado, conhecido como duto, pode também ocorrer. Todos esses mecanismos podem carregar energia além do horizonte óptico e então têm um potencial de causar interferência entre diferentes sistemas de rádio comunicação.

Inversão da Temperatura

- Inversão Térmica na Atmosfera



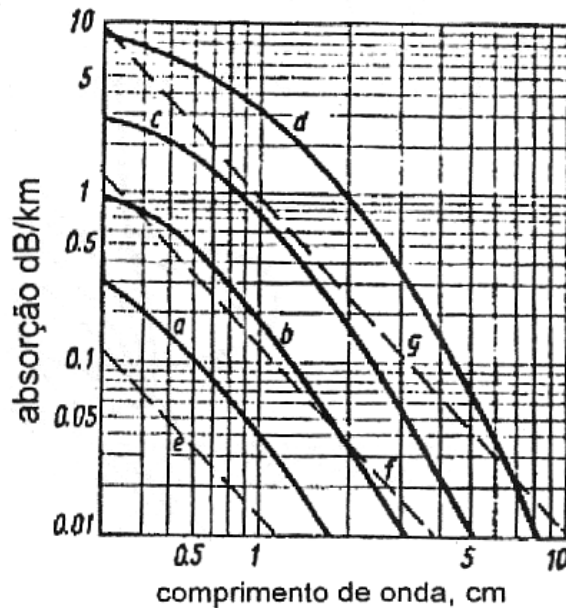
Inversão da Temperatura

Quando se formam camadas de ar quente por cima de camadas de ar frio, configura-se uma condição conhecida como inversão de temperatura. Este fenômeno causa a formação de canais ou condutas de ar frio, entre a terra e uma camada de ar quente ou entre duas camadas de ar quente. Se uma antena emissora estiver dentro desse canal, ou se uma onda rádio aí entrar com um ângulo de incidência muito baixo, as emissões de VHF e UHF podem propagadas para além da linha do horizonte. Estas longas distancias são possíveis devido às diferentes densidades e propriedades refrativas do ar quente e frio. A mudança brusca de densidade quando a onda rádio entra no ar quente acima da conduta faz com que a onda seja refratadas de volta à terra. Quando a onda atinge a terra ou uma camada de ar quente abaixo da conduta sucede o oposto e a onda prossegue ao longo da conduta. Um exemplo pode ser visto na figura. De todas as influências que a atmosfera pode exercer nos sinais de rádio, a refração é um dos que têm maiores efeitos em sistemas ponto a ponto em VHF e UHF.

SHF – Super High Frequency

- Um dos problemas a ser considerado é a influência das chuvas em SHF
- Coeficiente de Absorção

a: chuv a fina (0,25 mm/hr)
 b: chuv a leve(1 mm/hr)
 c: chuv a moderada (4 mm/ hr)
 d: chuv a forte (15 mm/hr)
 e: nev oeiro fraco (v isibilidade 600 m)
 f: nev oeiro médio (v isibilidade 120 m)
 g: nev oeiro denso (v isibilidade 30 m)

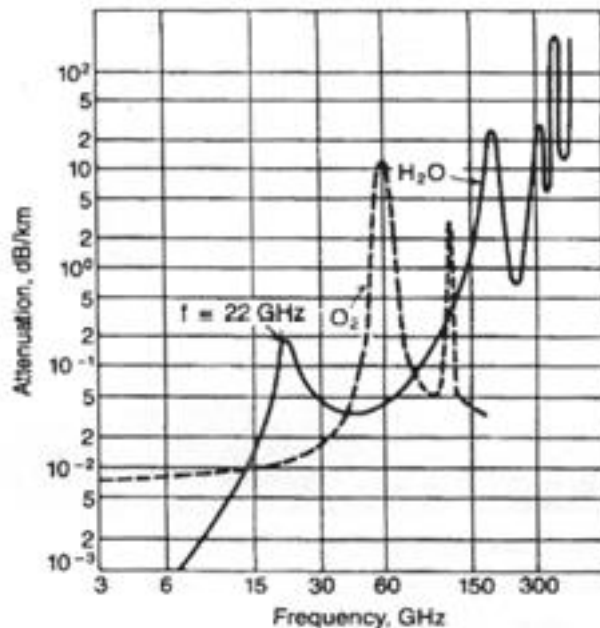


SHF - Super High Frequency

Frequências em SHF são normalmente chamadas de microondas e este termo é algumas vezes usado para descrever a parte da banda de UHF acima de cerca de 1,5GHz. O caminho de propagação deve estar em linha de visada entre o transmissor e o receptor, caso contrário as perdas serão extremamente altas. Nessas frequências é possível projetar antenas compactas de alto-ganho, normalmente do tipo refletora, que concentra a radiação em uma direção desejada. Frequências de microondas são usadas para comunicações via satélite, enlaces terrestres ponto a ponto, radares e sistemas de comunicações de curtas distâncias.

EHF – Extremely High Frequency

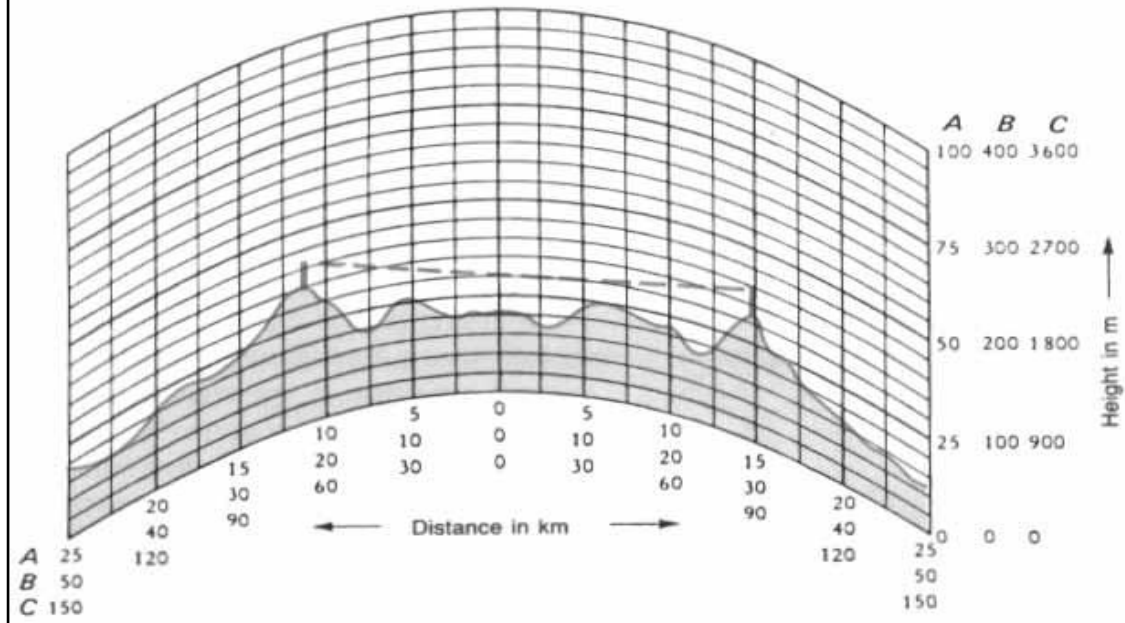
- Observar que para algumas frequências existe uma intensa linha de absorção, por exemplo a absorção por vapor d'água em 22GHz e a absorção por oxigênio em 60GHz. No entanto, entre esses pontos existem janelas onde a atenuação é muito menor.



EHF - Extremely High Frequency

O termo ondas milimétricas é às vezes utilizado para descrever as frequências em EHF (entre 30GHz e 300GHz). Comparando-se com frequências menores, enormes larguras de banda são disponíveis nessa parte do espectro. Propagação em linha de visada é predominante e, embora a interferência da onda refletida pela terra seja possível, ela é insignificante, devido a rugosidade da terra ser muito maior em comparação com o comprimento de onda envolvido. Somente quando a terra é muito suave, ou uma superfície de água está presente, é que as ondas refletidas têm um papel significativo. Na banda de ondas milimétricas os mais importantes efeitos que têm de ser considerados são espalhamentos por chuva, em certas frequências, absorção por nevoeiro, vapor d'água e outros gases atmosféricos. A figura mostra a atenuação por oxigênio e vapor d'água não-condensado, em função da frequência. Pode-se observar que para algumas frequências existe uma intensa linha de absorção, por exemplo a absorção por vapor d'água em 22GHz e a absorção por oxigênio em 60GHz. No entanto, entre esses pontos existem janelas onde a atenuação é muito menor.

Raio Efetivo da Terra



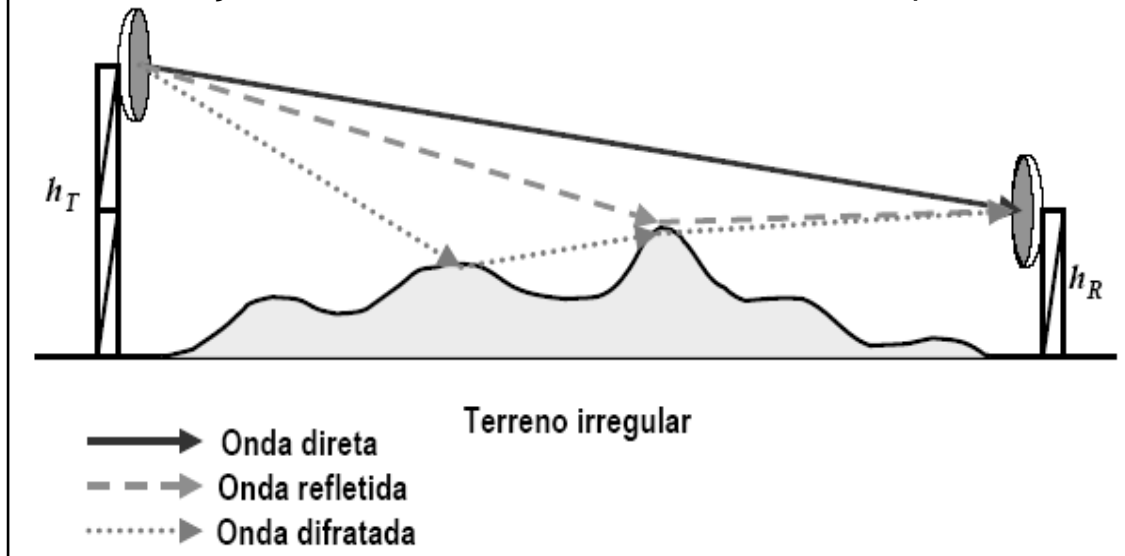
Raio Efetivo da Terra

Devido à refração do sinal, a onda de rádio não percorre uma linha reta. O encurvamento do raio depende do gradiente da refratividade em cada ponto ao longo do caminho. Tomando-se uma média do gradiente sobre o percurso, pode-se considerar que o raio segue uma trajetória curva, em um arco com raio r .

Assim como a onda de rádio não segue uma linha reta, a superfície da terra sobre a qual ela caminha não é plana. A superfície da terra pode ser considerada como sendo um arco de raio médio de 6.370 km. Se um perfil linear para N é assumido (isto é, gradiente uniforme), o encurvamento para baixo do raio da onda pode ser determinado admitindo-se que ele percorre um caminho reto, com o raio da terra sendo dado por um valor efetivo. Para a atmosfera padrão o fator apropriado para a obtenção do raio efetivo é $K = 4/3$, de modo que o raio efetivo é $4/3$ vez o raio real.

Efeitos do Terreno

- Irregularidade no terreno é considerada quando houver diferenças em altura de 50m em mais de 10% do percurso



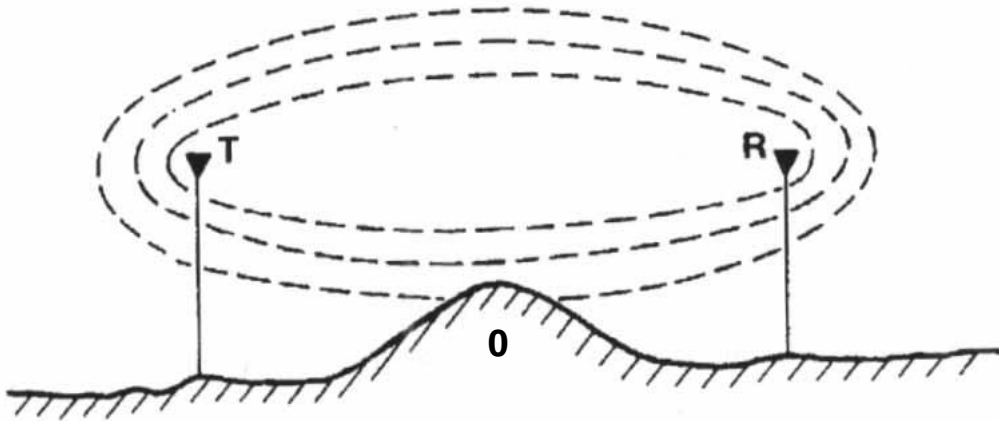
Efeitos do Terreno

O terreno pode influenciar na propagação em visada em três aspectos: obstrução e reflexão e refração. Montanhas, prédios, árvores ou a própria superfície da terra podem bloquear parcialmente o feixe, causando a atenuação por obstrução. Regiões razoavelmente planas, como mares, lagos e planícies podem refletir o feixe de ondas com oposição de fase em relação ao sinal direto, causando a atenuação por interferência.

Quando o terreno entre os extremos do enlace de rádio é irregular a propagação da onda espacial vai depender da rugosidade do terreno. Se esta é elevada, pode ocorrer difração.

Zonas de Fresnel

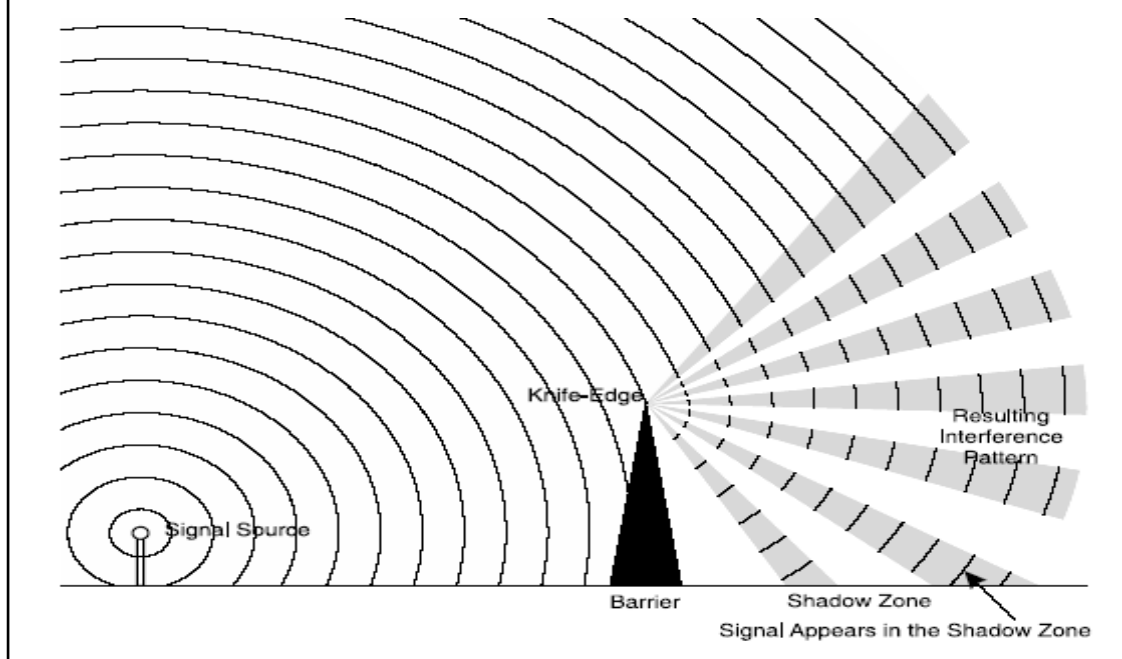
- Família de elipsóides definindo as três primeiras zonas de Fresnel.



Zonas de Fresnel

Da figura observa-se que, no plano passando através de O, pode-se construir uma família de círculos tendo a propriedade de que o comprimento total de T para R, via cada círculo, seja $n\lambda/2$ maior do que a distância TOR, em que n é um inteiro. O círculo mais interno representa o caso $n = 1$, com um excesso de percurso igual a $\lambda/2$. Os raios dos círculos individuais dependem da localização do plano imaginário com relação às extremidades. Os raios são maiores na metade do percurso e diminuem com a proximidade das extremidades. Esses pontos definem uma família de elipsóides como ilustrado na figura. O raio de qualquer uma dessas curvas pode ser expresso em termos de n e das dimensões.

Difração por Obstáculo



Difração por Obstáculo

A difração é um fenômeno que ocorre com ondas acústicas e com ondas eletromagnéticas, bem como, também, com partículas que se comportam como ondas. É a dispersão da onda em torno de um obstáculo.

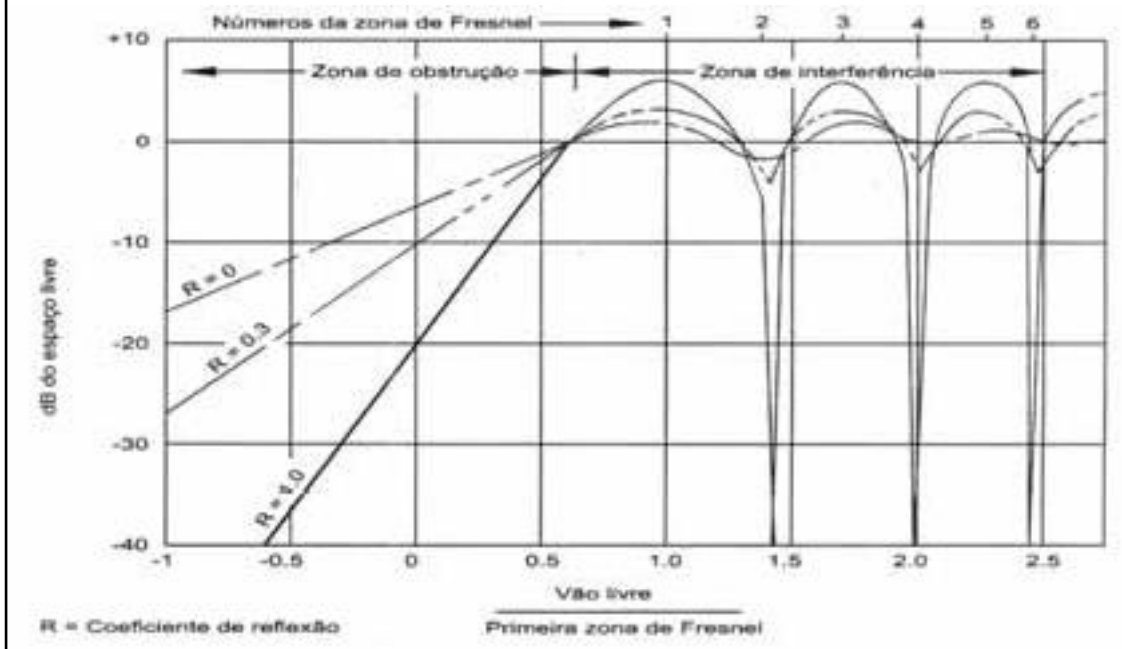
Observa-se da figura que além do obstáculo (que é assumido ser impenetrável ou perfeitamente absorvente) somente uma frente de onda semi-infinita existe. A teoria dos raios sugere que nenhum campo eletromagnético existe na região de sombra abaixo da linha da altura do gume de faca, mas o princípio de Huygens estabelece que as ondas que se originam, se propagam na região de sombra e o campo, em qualquer ponto dessa região, será a resultante de interferências de todas essas ondas. O encurvamento aparente das ondas de rádio em torno de uma obstrução é conhecido como difração.

Um feixe de microondas é difratado e perde energia quando passa rasante sobre uma obstrução. Quando a linha central de um feixe passar justamente rasante sobre uma obstrução, o feixe perderá de 6 a 20dB de energia antes que ele atinja a próxima antena, dependendo da superfície da obstrução. Experiências mostram que um obstáculo dotado de um lado do tipo faca produzirá uma perda de 6dB pelo rasante. Uma superfície lisa que acompanha o contorno da terra (por exemplo, um terreno plano, água) produzirá a máxima perda pelo rasante. Todas as outras superfícies normalmente encontradas ao longo de um caminho produzem perdas situadas entre esses extremos.

A difração, portanto, é uma outra forma de encurvamento do feixe, que ocorre quando a onda passa pela borda de um objeto opaco (insensível à onda de rádio), a qual causa uma deflexão da onda na direção do objeto. Como o grau de difração é maior nas frequências mais baixas, a difração é, então, mais significativa para as ondas de rádio, em comparação com as ondas de radar.

Assim, por exemplo, ondas de rádio viajando sobre a superfície da Terra sofrem uma difração sobre a sua curvatura, o que, somado à refração, faz com que elas se propaguem além do horizonte geográfico. Nas VLF podem ser conseguidas comunicações de âmbito mundial. Por outro lado, a difração não contribui para que as frequências de radar sejam estendidas muito além da linha de visada.

Perdas por Difração



Perdas por Difração

Se uma superfície plana absorvente ideal é colocada entre o Tx e o Rx, ela terá pouca influência no campo quando bem afastada da linha de visada. O campo em R terá o valor do espaço livre. Ele começa a oscilar quando aumenta-se a altura do anteparo bloqueando, então, cada vez mais o campo das zonas de Fresnel abaixo da linha de visada. A amplitude da oscilação diminui até que o anteparo alcance a linha de visada, quando então exatamente metade do valor do campo é obstruído e a atenuação é de 6dB. Para alturas além desse valor, a oscilação cessa e a intensidade do campo diminui.

Para determinar a atenuação de forma quantitativa usa-se a teoria clássica da difração e pode-se substituir qualquer obstrução ao longo do caminho por um plano absorvente colocado na mesma posição. O plano é normal ao percurso direto e se prolonga para o infinito em todas as direções, exceto verticalmente onde ele termina na altura da obstrução original. Difração por gume de faca é o termo usado para descrever essa situação e todas as reflexões na terra são ignoradas. Na zona de sombra abaixo da linha de visada a perda aumenta continuamente. Acima da linha de visada ocorre oscilação sobre o valor do espaço livre, a amplitude da oscilação decrescendo, com a atenuação tendendo para zero quando o percurso torna-se totalmente desobstruído. Para obstrução de metade do campo a perda é 6dB, mas da figura do slide observa-se que quando 60% da primeira zona de Fresnel está desobstruída, a perda com relação ao espaço livre é zero. Na prática, então, projeta-se enlaces ponto a ponto com as alturas das antenas de modo a desobstruir a maior parte da primeira zona de Fresnel.

Outras Perdas

- **Perdas Causadas por Árvores**
- **Atenuação pela Chuva, Até 8GHz**
- **Atenuação da Chuva em 11GHz e acima**
- **Absorção Atmosférica**
- **Perda Devida à Neblina**

Outras Perdas

Perdas Causadas por Árvores: As árvores tendem a produzir perdas próximas a 6dB. A perda exata depende de alguma maneira da frequência. Mesmo árvores desfolhadas que causam relativamente pequenas perdas no inverno, podem bloquear totalmente o caminho no verão. Em todos os casos, considere as árvores como bloqueadoras da linha do caminho, a menos que o feixe tenha desobstrução adequada acima delas.

Atenuação pela Chuva, Até 8GHz: A atenuação pela chuva não é considerada significativa o suficiente para ser considerada no projeto de caminhos de microondas por frequências até bandas de 8GHz. Sob condições de saturação de chuva, um caminho de microondas de 50 Km em 6 GHz sofrerá apenas alguns decibéis de atenuação.

Atenuação da Chuva em 11GHz e acima: A atenuação pela chuva pode ser bem séria em frequências de 11GHz e acima. O montante da atenuação depende de:

- Razão da precipitação.
- Tamanho dos pingos.
- Tempo de exposição.
- Frequência do sistema.
- Comprimento do caminho.

NOTA: A consideração importante é a intensidade dos períodos de chuva pesada, não a razão de precipitação anual. Para os caminhos de microondas através de chuva pesada, projete caminhos mais curtos.

Absorção Atmosférica: Os feixes de microondas sofrem atenuação pela absorção atmosférica, devido aos efeitos da presença de oxigênio e de vapor de água. Nas frequências mais baixas (de 2 a 8GHz), a perda é muito pequena e não é usualmente considerada ao planejar caminhos. Mesmo nas altas frequências a perda é relativamente pequena, ainda que não desprezível.

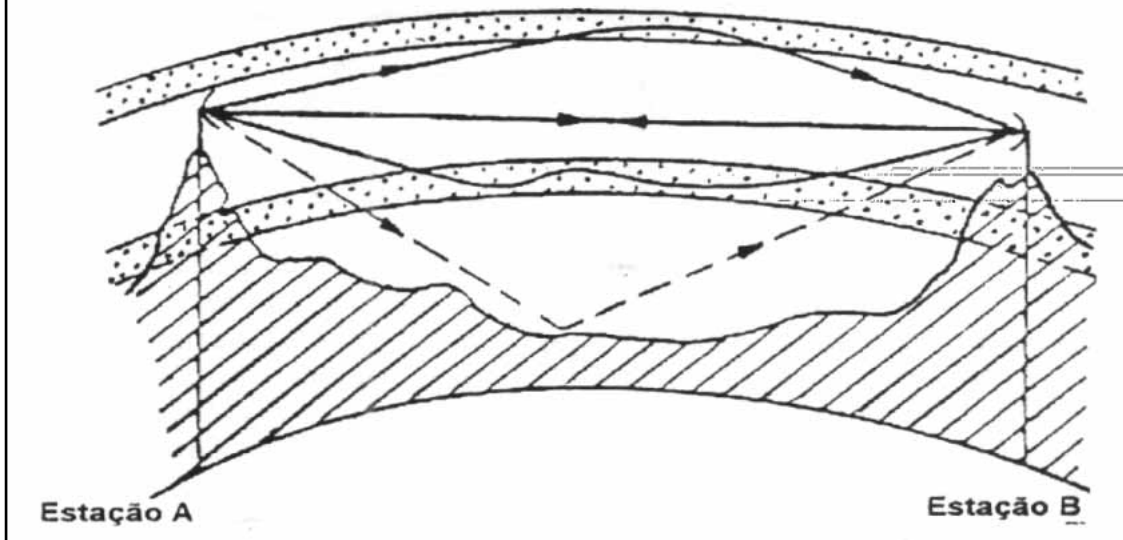
Uma vez que a perda é diretamente proporcional ao comprimento do caminho, a atenuação devida à absorção atmosférica merece consideração adicional somente em caminhos longos.

Perda Devida à Neblina: Assim como a chuva, uma neblina uniforme causa somente uns poucos decibéis de atenuação nas frequências mais baixas (de 6GHz a 8GHz). De qualquer maneira, a neblina é frequentemente o resultado de condições atmosféricas (por exemplo, inversões de temperatura, ar muito parado acompanhado de estratificação) que podem causar reflexões e refrações severas, anulando a desobstrução.

Os efeitos da neblina são de maneira geral imprevisíveis. Em áreas sujeitas regularmente a neblinas, assegure-se de que os caminhos sejam mais curtos e de que todas as desobstruções sejam adequadas.

Desvanecimento (Fading)

- Desvanecimento seletivo: Caso de reflexão e múltiplos percursos



Desvanecimento (Fading)

O desvanecimento é um processo causado por variações aleatórias nas condições atmosféricas e por isso não podem ser previstas com precisão. Existem duas categorias de desvanecimento: *Desvanecimento Plano ou não seletivo* e *Desvanecimento Seletivo (por Frequência)*

A experiência mostra que alguns climas e terrenos são mais propícios para o aparecimento de desvanecimento, porém baseados em probabilidades. Em outras palavras, pode-se somente dizer que baseado em estatísticas um sistema estará inoperante em uma percentagem do ano devido ao desvanecimento. Em algumas regiões, esta percentagem é tão alta que não pode ser tolerada, porém existem algumas técnicas para amenizar o problema.

São exemplos de desvanecimento Plano ou Não Seletivo os dutos e a atenuação por chuvas. O desvio de feixe por refração também é um exemplo. O projeto de um enlace de microondas leva em consideração uma atmosfera padrão da região, onde as condições de refração são ditas então padrão. A reflexão sobre a superfície terrestre pode causar uma recepção múltiplo percurso que acarreta desvanecimento quando os sinais direto e refletido chegam na antena receptora em oposição de fase. Quando estes dois tipos de desvanecimento ocorrem ao mesmo tempo, uma queda de 40dB pode facilmente acontecer. Se ações de correção não são tomadas, haveria uma interrupção na transmissão.

Desvanecimento por múltiplo percurso é seletivo por frequência porque as diferentes ondas que chegam à antena receptora podem percorrer distâncias que diferem de $\frac{1}{2} \lambda$ de comprimento de onda, que por sua vez depende da frequência. Nestas condições tem-se cancelamento ou diminuição de potência para algumas frequências dentro da banda de transmissão do sistema, mas raramente para todas as frequências.

Quanto aos fatores que afetam o desvanecimento por múltiplo percurso, a experiência vem mostrando que enlaces maiores que 40 km podem ser sujeitos ao desvanecimento por múltiplo percurso para frequências acima de 890 MHz. Desvanecimento por múltiplo percurso atmosférico é mais pronunciado durante o verão e pior quando está quente, úmido e sem ventos, sendo assim mais frequentes logo após o pôr do sol ou do nascer do sol. Geralmente este tipo de desvanecimento é de forma rápida e sua atenuação é tanto menor quanto mais longa ele for. Quando o enlace se torna maior, há um aumento considerável no número de possíveis caminhos indiretos, aumentando assim o problema de múltiplos percursos.

Disponibilidade (Confiabilidade)

Confiabilidade (porcentagem)	Tempo de Inatividade (porcentagem)	Tempo de Inatividade Ano	Tempo de Inatividade Mês	Médio por Dia
0,0	100,0	8760,0 horas	720,0 horas	24,0 horas
50,0	50,0	4380,0 horas	360,0 horas	12,0 horas
80,0	20,0	1752,0 horas	144,0 horas	4,8 horas
90,0	10,0	876,0 horas	72,0 horas	2,4 horas
95,0	5,0	438,0 horas	36,0 horas	1,2 hora
98,0	2,0	175,0 horas	14,0 horas	29,00 minutos
99,0	1,0	88,0 horas	7,0 horas	14,40 minutos
99,9	0,1	8,8 horas	43,0 minutos	1,44 minutos
99,99	0,01	53,0 minutos	4,3 minutos	8,600 segundos
99,999	0,001	5,3 minutos	26,0 segundos	0,860 segundos
99,9999	0,0001	32,0 segundos	2,6 segundos	0,086 segundos

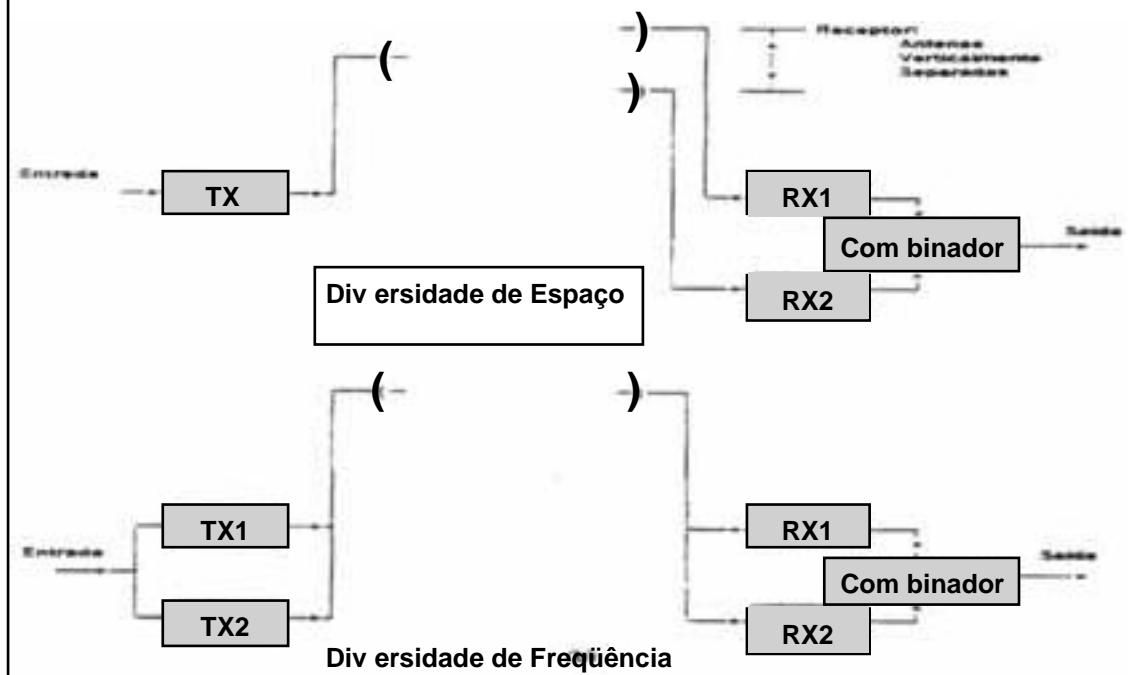
Disponibilidade

Um sistema é medido pela sua disponibilidade. Como uma disponibilidade de 100% é impossível, o engenheiro deve assegurar a maior disponibilidade possível.

Um sistema se torna indisponível por duas razões principais. De um lado tem-se os fatores Humanos, tais como a manutenção, o projeto ou a fabricação de equipamentos inadequados, o uso e idade do equipamento. Do outro lado estão os fatores não Humanos, que são a mudança nas condições atmosféricas, que podem ser controladas por um melhor projeto do sistema (equipamento e enlace).

Tempos de interrupções iguais são tolerados de formas diferentes em sistemas digitais e analógicos. Por isso é usual definir tempos de disponibilidade diferentes para sistemas diferentes.

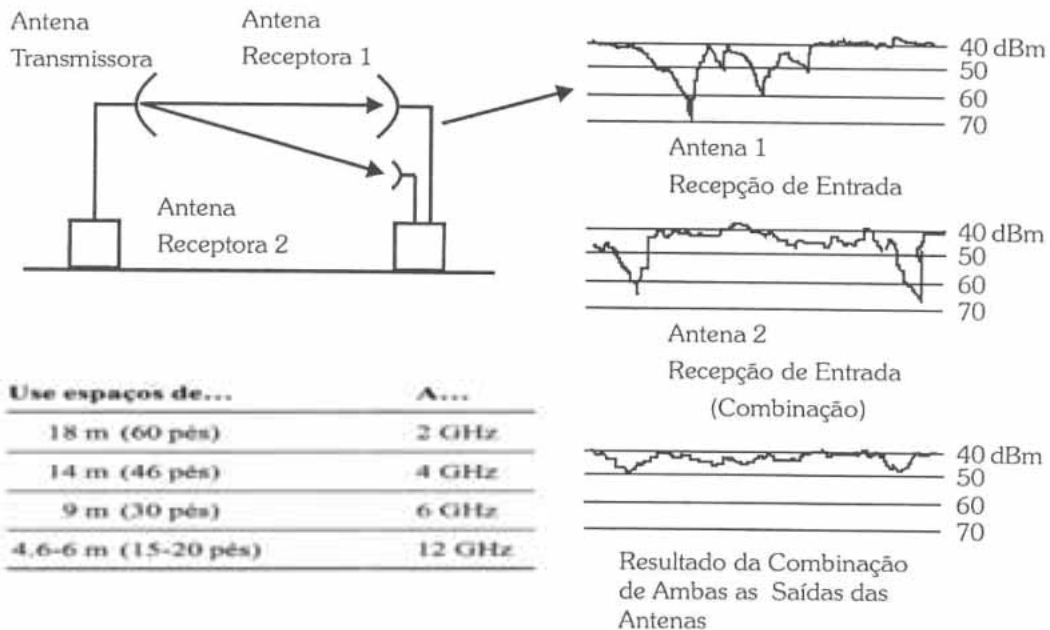
Diversidade



Diversidade

Diversidade é a operação simultânea de dois ou mais sistemas ou partes de sistemas. Ela pode ser descrita pela redundância de equipamentos o que geralmente aumenta a disponibilidade do sistema. Na figura do slide, são ilustradas duas formas de diversidade: a diversidade espacial e a diversidade em frequência. Na primeira, que pode ser vertical ou horizontal, dois sistemas de transmissão / recepção são instalados em posições diferentes. Como o desvanecimento depende dos caminhos de múltiplo percurso, espera-se que em uma das posições as condições de recepção seja superior. Vale o mesmo raciocínio para a diversidade em frequência. Como o desvanecimento seletivo é função da frequência de transmissão, ao se transmitir o sinal em mais de uma frequência, espera-se obter uma recepção superior para uma destas frequências.

Diversidade Vertical



Diversidade Vertical

Um arranjo de diversidade de espaço vertical provê:

- Redundância de equipamento de antena completo.
- Proteção de diversidade de espaço.

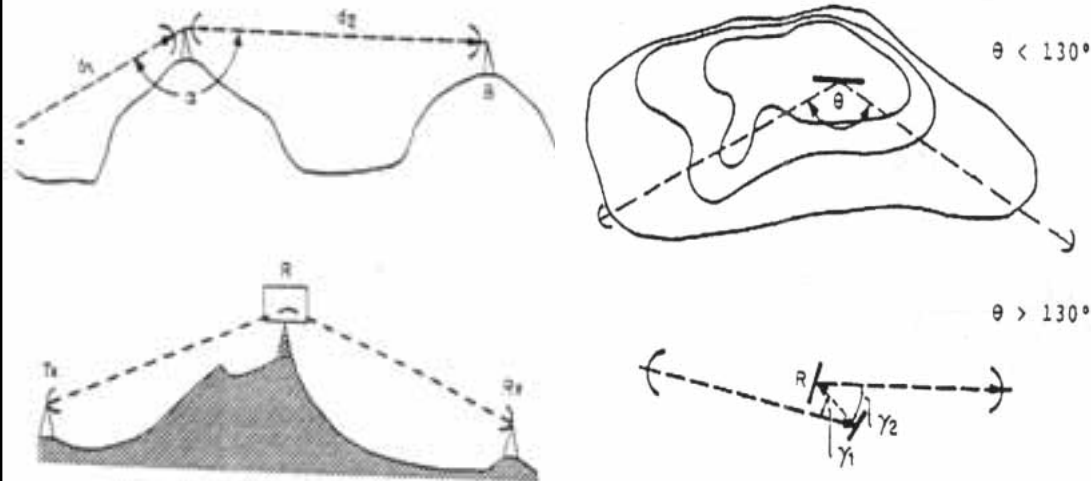
Aplicações de diversidade de espaço proporcionam inteira liberdade de escolha de intervalos de espaçamento, sujeita somente a limitações de ordem física ou econômica.

A escolha dos intervalos de espaçamento para um percurso depende em primeiro lugar do que se espera em relação ao desvanecimento multipercurso desse percurso, se ele será atmosférico ou de reflexão do solo. Se o desvanecimento multipercurso é atmosférico, a melhora na diversidade de espaços cresce à medida que cresce a separação vertical. (A redução do desvanecimento é muito rápida no início, assim que o espaçamento é aumentado, mas diminui assim que o espaçamento se torna mais largo).

Quando se usa a diversidade de espaço, não é necessário usar os espaçamentos calculados de valores discretos. Em lugar disso, assegure-se que o espaçamento é pelo menos igual a algum valor mínimo escolhido. A experiência mostra que pode ser obtida uma excelente diversidade em muitos percursos sobre terra com intervalos de espaçamento verticais mínimos, conforme tabela.

Repetidores Passivos

- Principais tipos de repetidores passivos



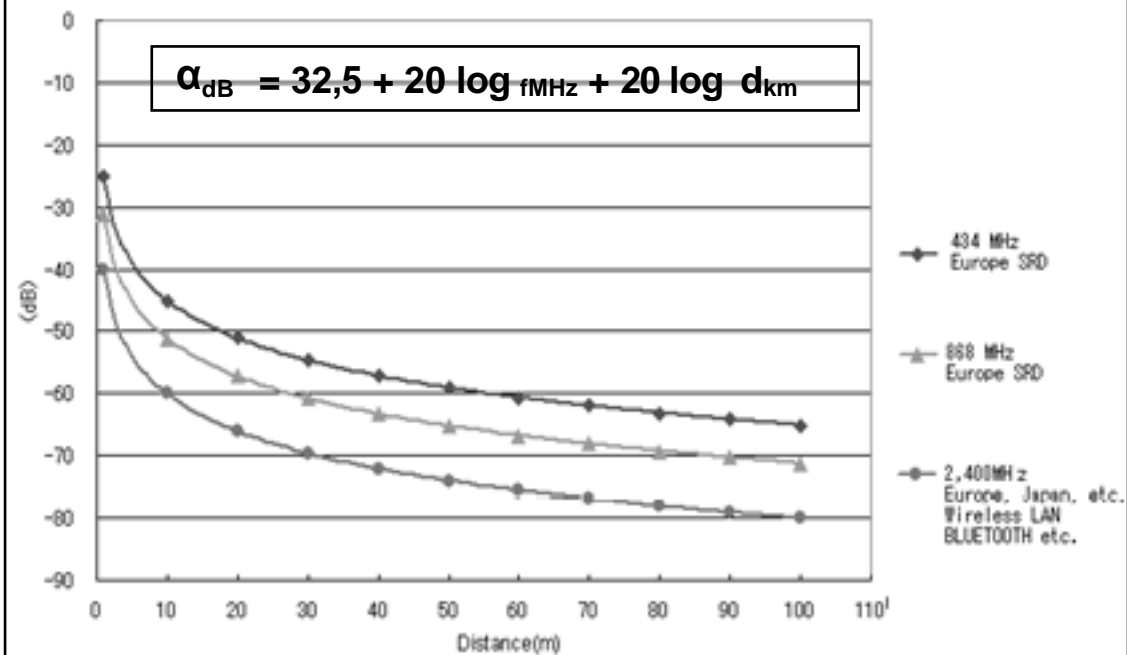
Repetidores Passivos

Quando um enlace de microondas é colocado em um terreno com muitos obstáculos ou problemas atmosféricos um repetidor passivo pode em muitas vezes resolver o problema. Um repetidor passivo nada mais é que um espelho colocado no alto de montanhas para refletir o feixe de microondas.

Como exemplo, suponha uma estação terrestre de satélite construída fora de uma grande cidade, encravada em um vale cercado de montanhas de altura de 150m. Este geralmente é um caso real evitando ruído advindo da cidade. Um link de microondas é necessário para acessar a estação terrestre a partir da cidade distante de uns 40km. Seria muito caro construir um repetidor no alto de uma das montanhas distante da estação de 2km. Um repetidor passivo seria mais adequado. Para o uso de refletores passivos, deve haver porém uma clara linha de visada entre o repetidor passivo e os outros dois pontos a conectar.

Um outro exemplo de uso de um repetidor passivo seria no caso de se querer transpor uma montanha. Suponha que a montanha seja tão inacessível que se construir uma verdadeira subestação para suprir energia para um repetidor ativo convencional seria impossível.

Propagação em Espaço Livre



Propagação em Espaço Livre

Matematicamente, a perda por espaço livre é dada por $\alpha_{dB} = 32,5 + 20 \log f_{MHz} + 20 \log d_{km}$ onde d é o comprimento do enlace em km e f é a frequência em MHz.

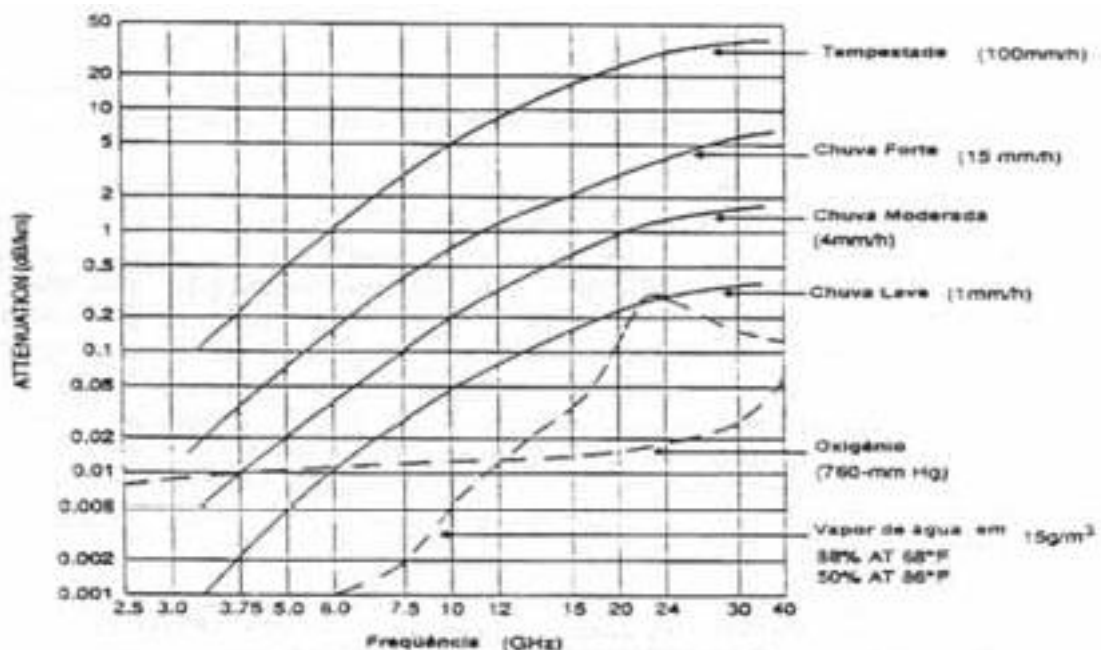
A figura, mostra o comportamento da perda por espaço livre. Desta figura, pode-se observar que para uma frequência constante, quanto maior for a dimensão do enlace, maior será a perda por espaço livre. Observa-se também que para uma dimensão constante, quanto maior é a frequência de operação menor é o comprimento de onda, maior será a perda por espaço livre.

A atenuação apenas por espaço livre raramente ocorre na prática, de modo que em projetos busca-se determinar a atenuação em excesso em relação ao espaço livre. No caso de uma obstrução por exemplo, determina-se a atenuação adicional provocada pelo obstáculo somando-se com o valor do espaço livre. Valores adicionais de atenuação como por cabos e conectores são também acrescidos para determinar-se a atenuação total. Um valor adicional, a margem de desvanecimento, é também acrescido.

Como exemplo, em um enlace de 48km, a atenuação por espaço Livre será de 132dB para uma frequência de operação de 2GHz e de 148dB para uma frequência de operação de 12GHz. Isto quer dizer, que para o último caso, se o sistema transmissor dispõe de 1W de potência, na entrada do sistema receptor, somente uma potência de 10^{-13} W estaria disponível.

Para minimizar os problemas da alta perda por espaço livre, utiliza-se antenas de alto ganho. No exemplo anterior, se os sistemas transmissor e receptor tiverem antenas de ganho de 40dB, uma potência de 10^{-5} W será disponível.

Efeitos Atmosféricos



Efeitos Atmosféricos

A propagação na atmosfera é seguida de uma perda por absorção que é diferente da perda no espaço livre. A figura do slide expressa a perda por absorção em função da frequência e dos componentes da atmosfera.

Observa-se que o oxigênio é responsável por uma perda de 0.01dB/km a 0.02dB/km na banda de interesse de 5GHz. Esta perda pode ser considerada desprezível em comparação às outras perdas existentes. No caso de perda por chuva (água), observa-se que para a frequência de 6GHz, a perda vai de 0.001dB/km, para o caso de vapor, a 1.0dB/km, no caso de chuva forte, passando por 0.01 dB/km. para o caso de chuva fraca. Isto quer dizer que, em um enlace de 40 km de comprimento, pode-se ter perdas por absorção por chuva da ordem de 40dB. Esta perda causará provavelmente problemas na qualidade da transmissão do sinal.

Se a frequência sobe, a atenuação cresce ainda mais. Como exemplo, para a frequência de 12GHz, pode-se obter perdas da ordem de 10dB/km. Esta perda causa uma indisponibilidade do sistema. A solução para este problema seria a redução das dimensões do enlace ou então a redução da frequência de operação.

