
ANT – Antenas e Propagação

Prof. Ramon Mayor Martins, MEng.

ramon.mayor@ifsc.edu.br / mayor@linuxmail.org



PARTE 4_1: Propagação de Ondas de RF (Ondas Ionosférica)

Disponível em: <http://goo.gl/kzvSbd>

4. – Propagação de Ondas de RF

Introdução

4.3 – Tipos de Propagação

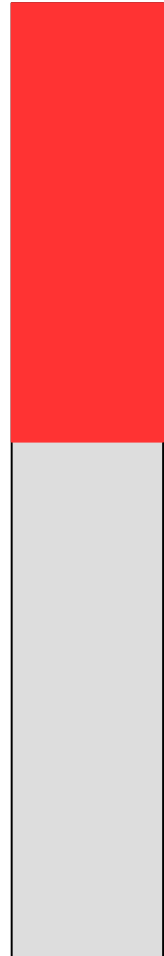
4.4 – Onda Terrestre

- Ondas de Superfície
- Ondas Espaciais
 - Onda Refletida
 - Onda Direta

Regiões da Atmosfera

4.4 – Ondas Troposféricas

4.5 – Ondas Ionosféricas



4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

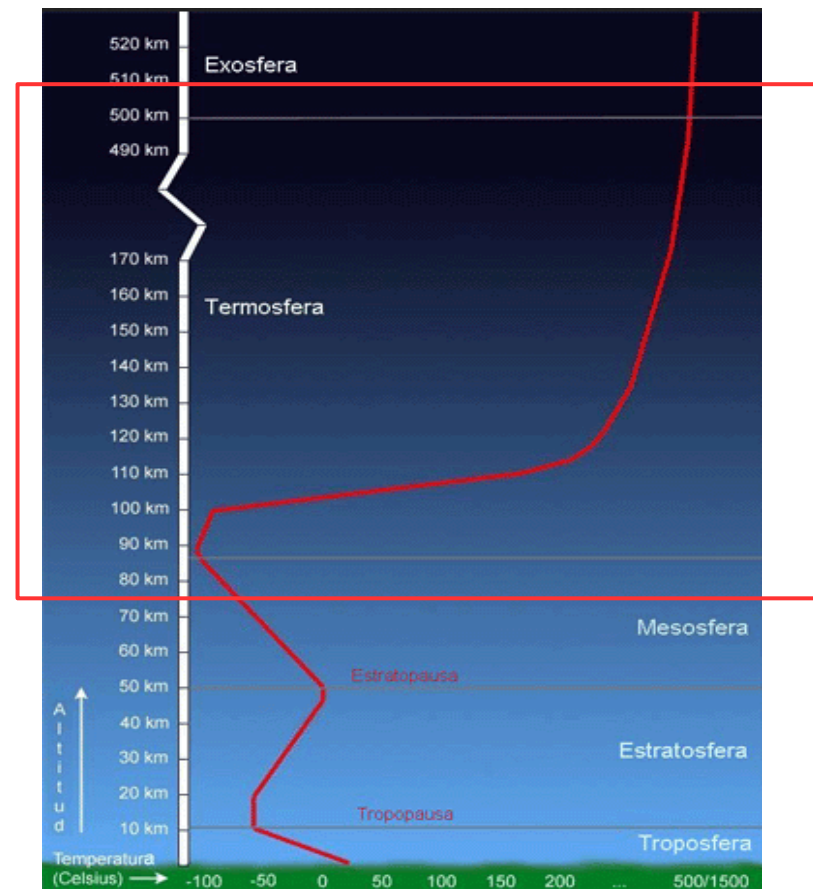
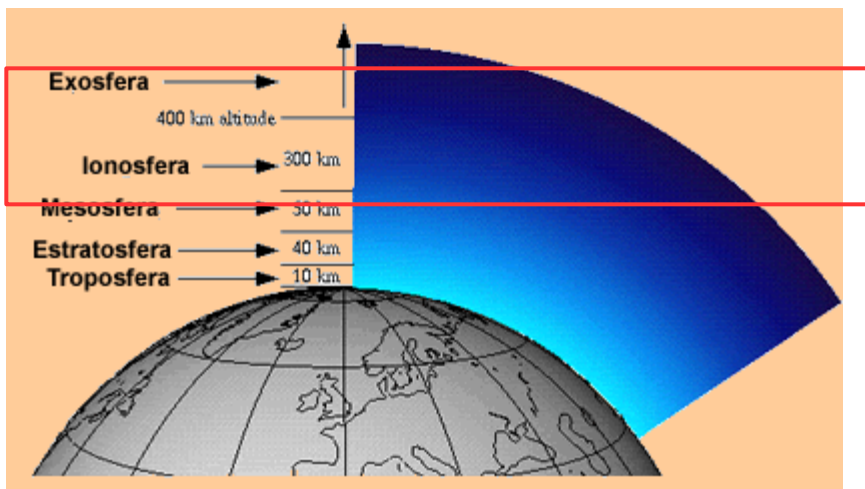
Localizada na parte mais elevada, estendendo-se desde cerca de **50km até aproximadamente 600km** de altura.

Essa região costuma ser dividida em camadas, nas quais a densidade de elétrons livres é aproximadamente estável.

A ionosfera, como o nome diz, é composta de partículas carregadas eletricamente chamadas íons.

Devido à sua natureza, com grandes concentrações de cargas elétricas livres, essa região terá influência considerável sobre o comportamento do campo eletromagnético que se desloca por ela.

Predominantemente em faixas abaixo de 30 MHz.



4 – Propagação de Ondas de RF

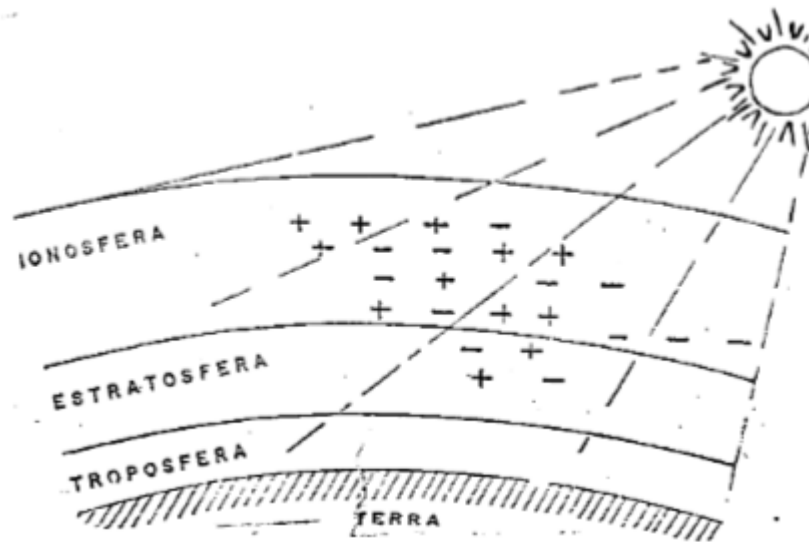
4.5 – Ondas Ionosféricas

- Ionização

Ionização é a criação de cargas elétricas através da separação do elétron do átomo.

Íons nada mais são do que átomos ou moléculas que ganharam ou perderam elétrons apresentando, portanto carga elétrica negativa (chamados ânions) ou carga elétrica positiva (chamados cátions).

O processo de transferência de elétrons (perda ou ganho) envolve energia, e essa energia tem de vir ou ir para algum lugar.



4 – Propagação de Ondas de RF

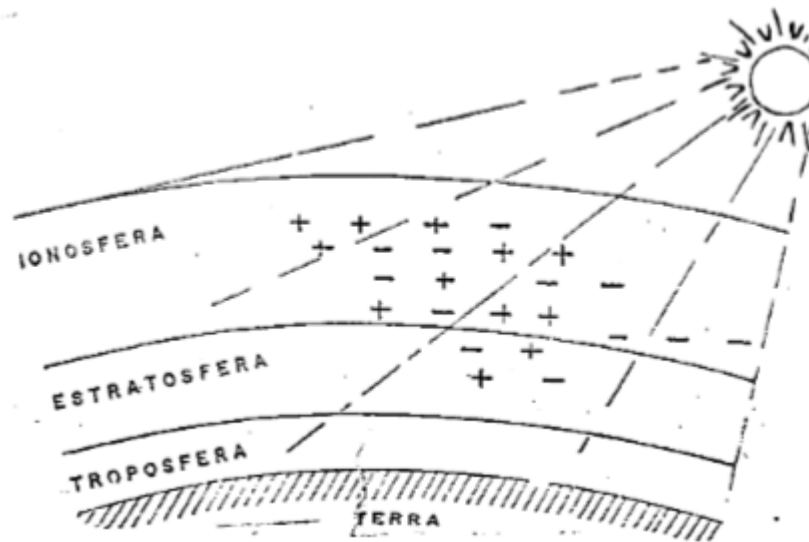
4.5 – Ondas Ionosféricas

- Ionização

Na Ionosfera, é provocada pelas radiações ultravioleta provenientes do Sol.

É essa a fonte da energia necessária para arrancar os elétrons das moléculas do topo da atmosfera e transformá-las em íons.

Assim o estado da ionosfera está ligado diretamente às condições do sol e de que ângulo os raios solares atingem a Terra.



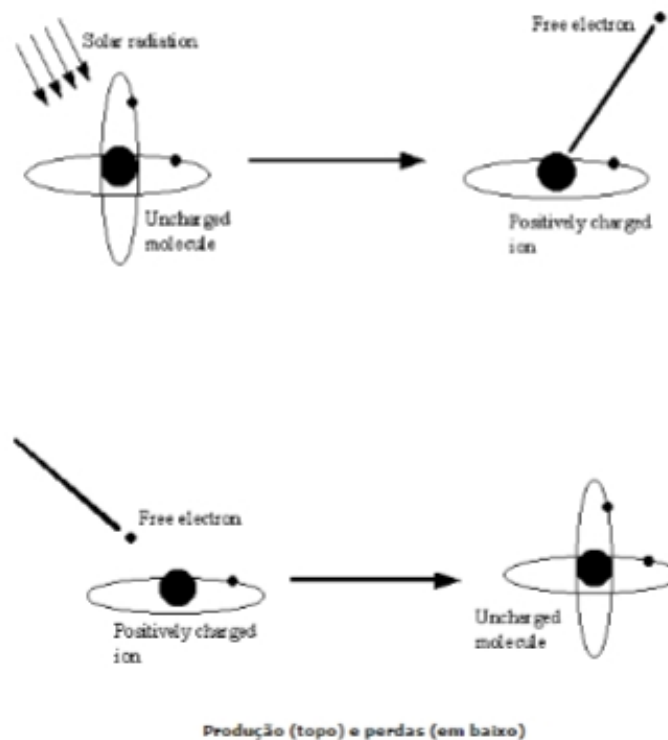
4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- Ionização

A radiação solar causa a ionização no que chamamos de ionosfera. Os elétrons são produzidos quando esta radiação colide com átomos e moléculas não carregadas (neutras eletricamente).

Desde que este processo requer radiação do Sol, a produção de elétrons apenas ocorre durante o hemisfério iluminado de dia da ionosfera



4 – Propagação de Ondas de RF

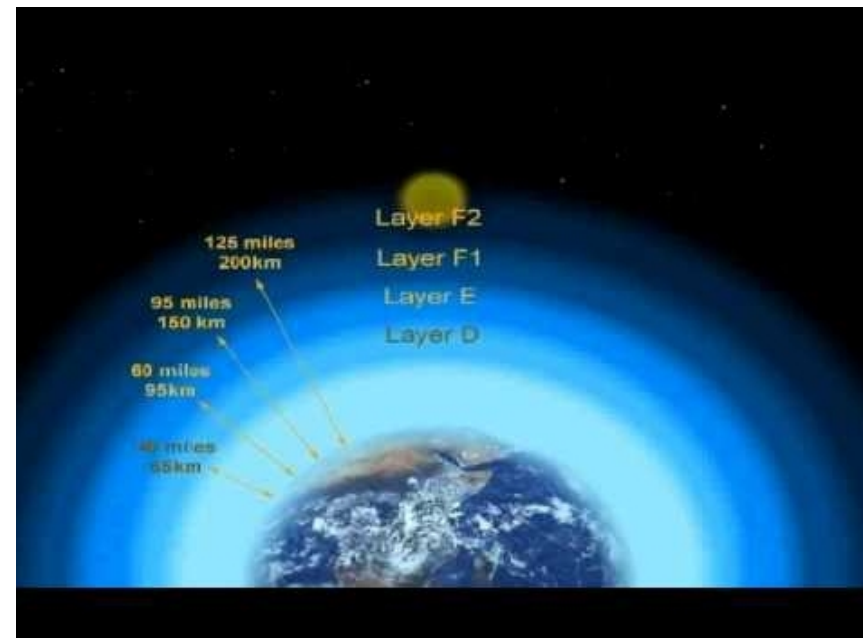
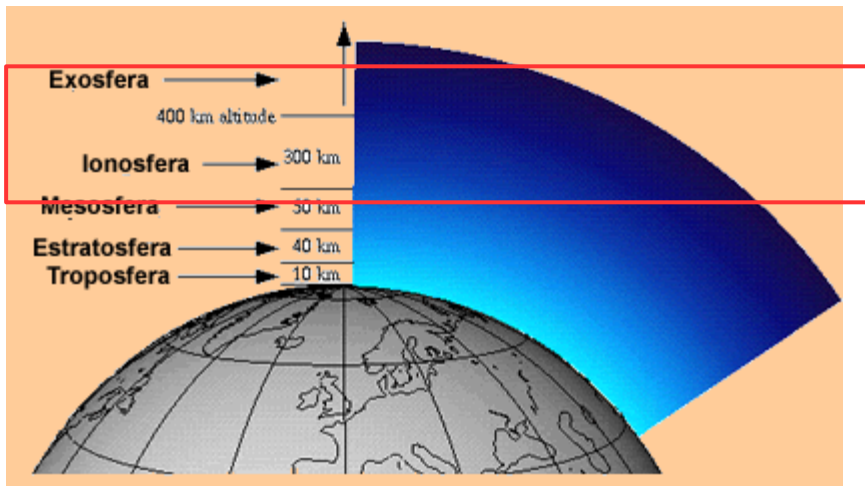
4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Camadas Ionosféricas**

Embora sejam faixas gasosas, em primeira abordagem pode-se considerar que tenham formato aproximadamente esférico, concêntrico com a Terra.

Até determinado limite, em média o grau de ionização cresce com a altura, mas não de forma monotônica.

Para fins de análise do comportamento da onda nessa região, as camadas ionosféricas costumam ser identificadas como: **camada D**, **camada E** e **camada F (F1 e F2)**, cada uma com suas características e suas propriedades.



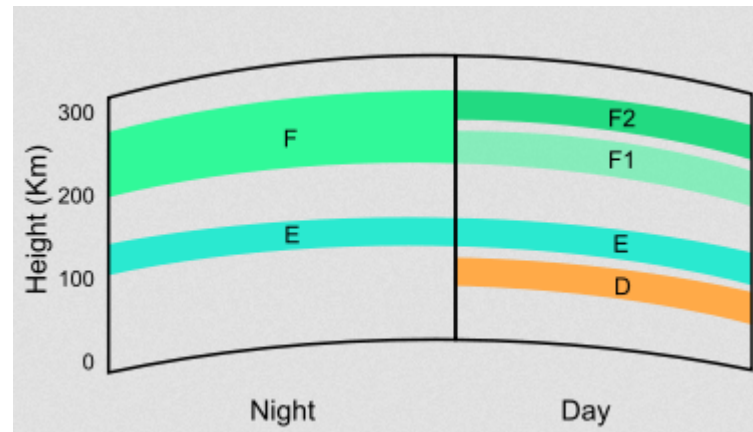
4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Camadas Ionosféricas**

As camadas distintas na ionosfera são classificadas em função da altura e de suas intensidades de ionização.

Camadas D, E, F (F1 e F2).



4 – Propagação de Ondas de RF

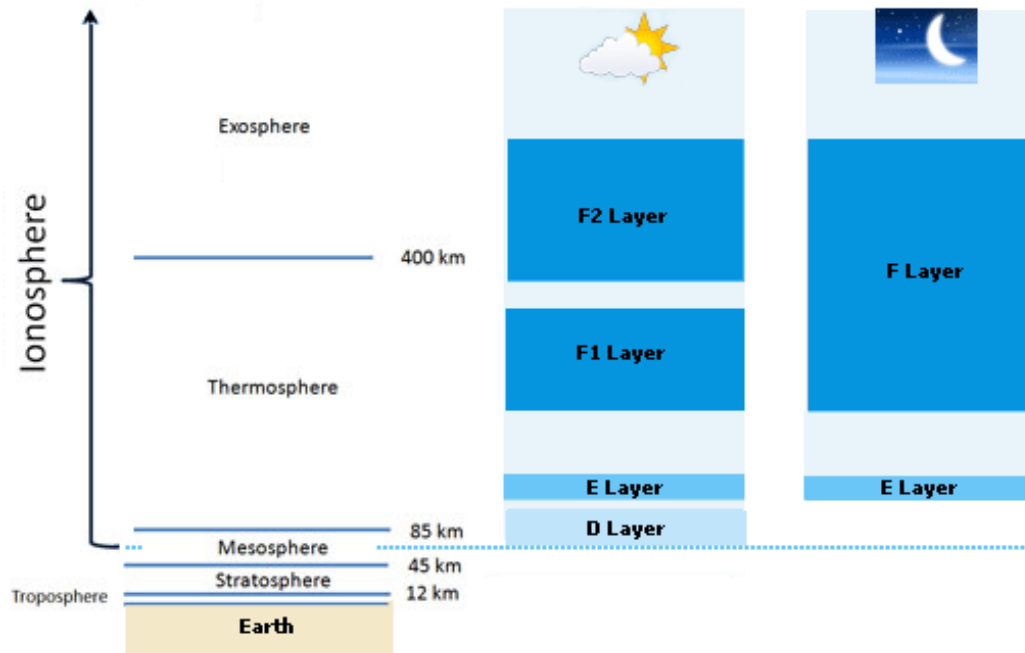
4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Camadas Ionosféricas**

Essas 4 camadas só estão presentes durante o dia quando o Sol é uma fonte de ionização.

Durante a **noite** as camadas **F1 e F2 se tornam uma única camada F** desaparecendo as camadas **D e E** devido à **recombinação dos íons que as compõem**.

A intensidade de ionização nessas camadas varia com a hora, dia, mês, ano e estação do ano.



4 – Propagação de Ondas de RF

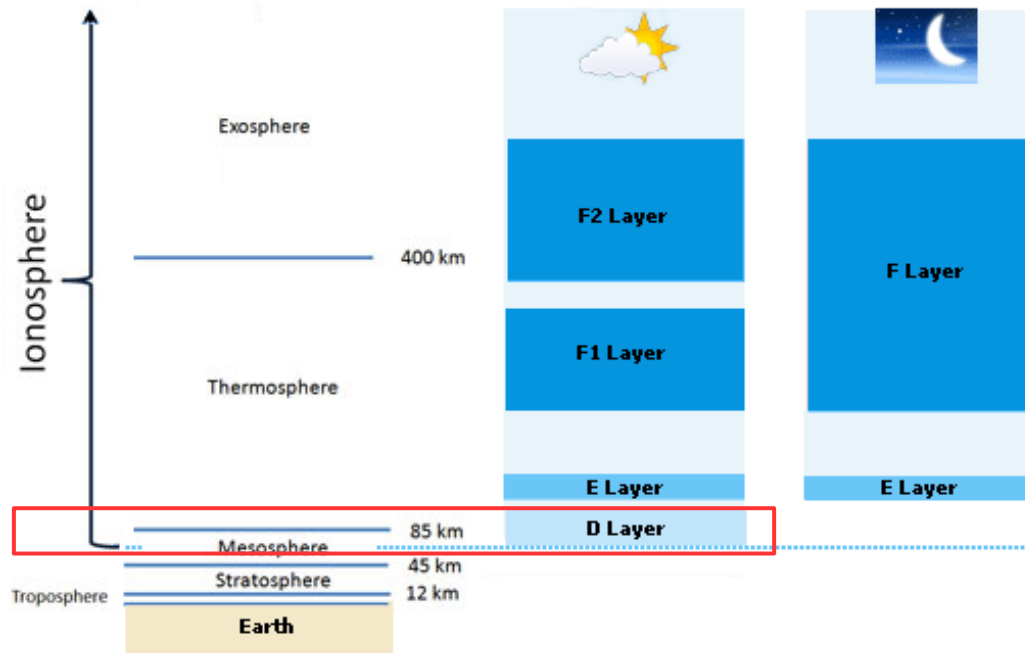
4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Camadas Ionosféricas - Camada D**

Camada mais próxima do solo e a menos energética.

É definida ao amanhecer e está situada em alturas compreendidas entre 50 e 90 km de altitude.

A densidade de ionização na região D exibe significativas variações diurnas, ocorrendo um valor máximo após o meio dia e um valor muito pequeno à noite.



4 – Propagação de Ondas de RF

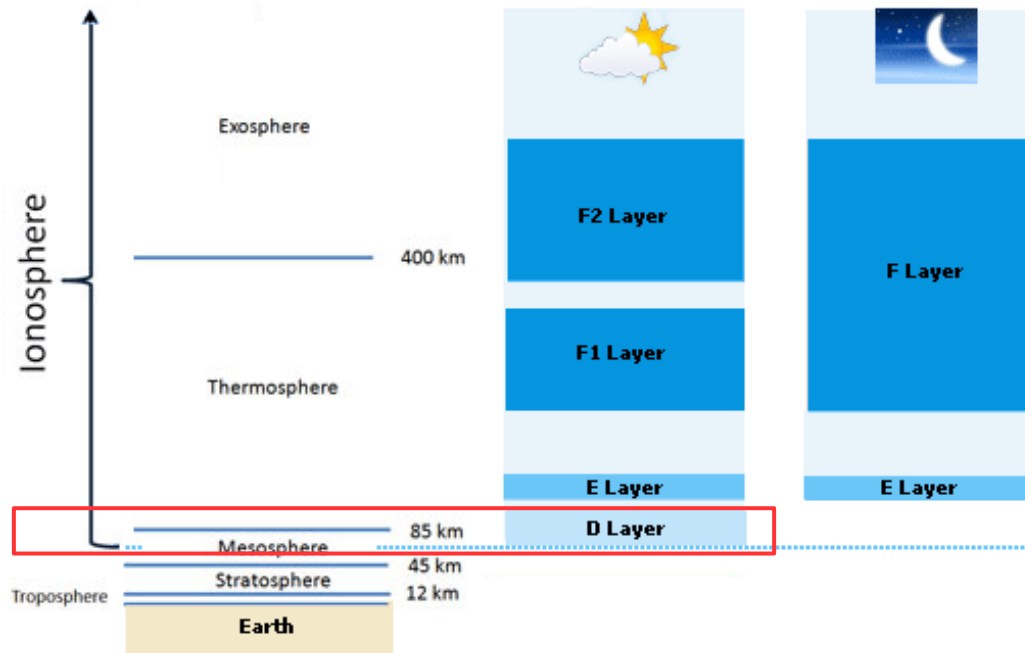
4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Camadas Ionosféricas - Camada D**

verifica-se que a ionização na região D não é tão ampla, e que ela produz pequeno efeito de desvio nas ondas de rádio de alta frequência.

O principal efeito da ionização nessa região consiste em diminuir ou atenuar a intensidade de campo das ondas de rádio de altas frequências que por elas se deslocam e em **absorver completamente as ondas de rádio de baixas e médias frequências, sem as refratar.**

Torna-se mais densa à tarde e vai desaparecendo após o pôr do Sol, dada a rápida recombinação de íons que se processa nessas alturas.



4 – Propagação de Ondas de RF

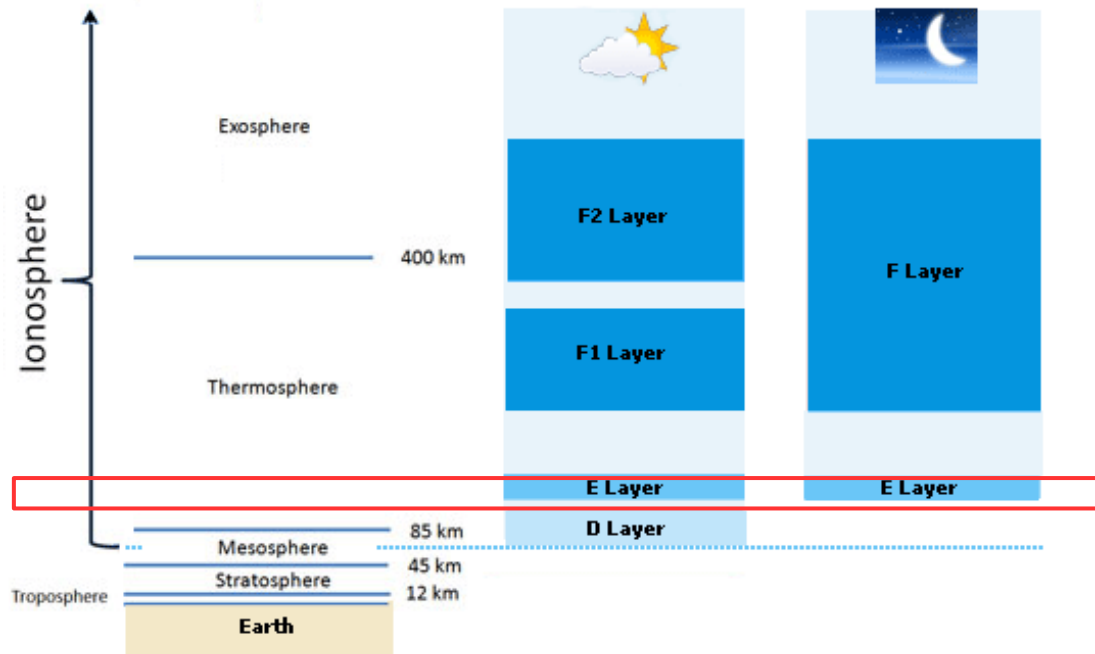
4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Camadas Ionosféricas - Camada E**

Normalmente situada entre 90 e 140 km é uma camada útil para a propagação das ondas de rádio através da Ionosfera.

Sua intensidade varia com o ângulo do Sol, atingindo um ápice ao meio-dia e apresentando queda no pôr do Sol.

O número de elétrons por unidade de volume nesta camada é normalmente, bastante grande para refletir de volta à Terra as ondas de rádio de frequências tão altas como 20 MHz.



4 – Propagação de Ondas de RF

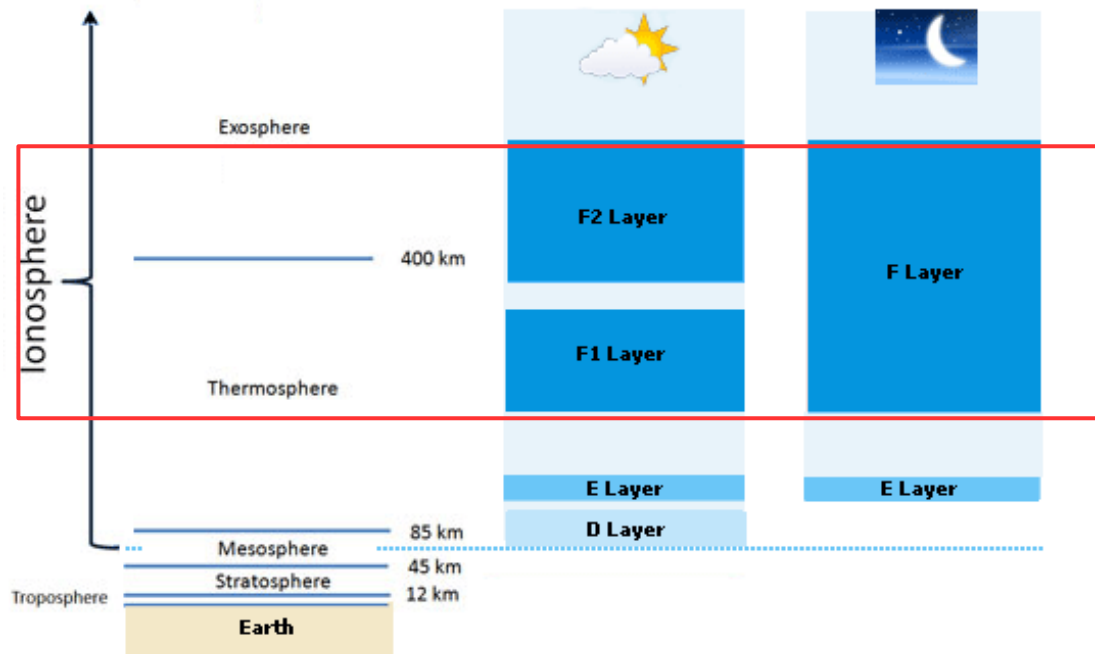
4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Camadas Ionosféricas - Camada F (F1 e F2)**

A camada compreendida basicamente entre 140 a 1000 km.

Durante o dia divide-se nas camadas F1 (140 até 200 km) que apresenta taxas de ionização próximas das observadas na camada E, e F2 (200 até 1000 km) que possui características da camada F não dividida.

Estas duas camadas não são delimitadas precisamente, pois há um certo grau de ionização entre elas.

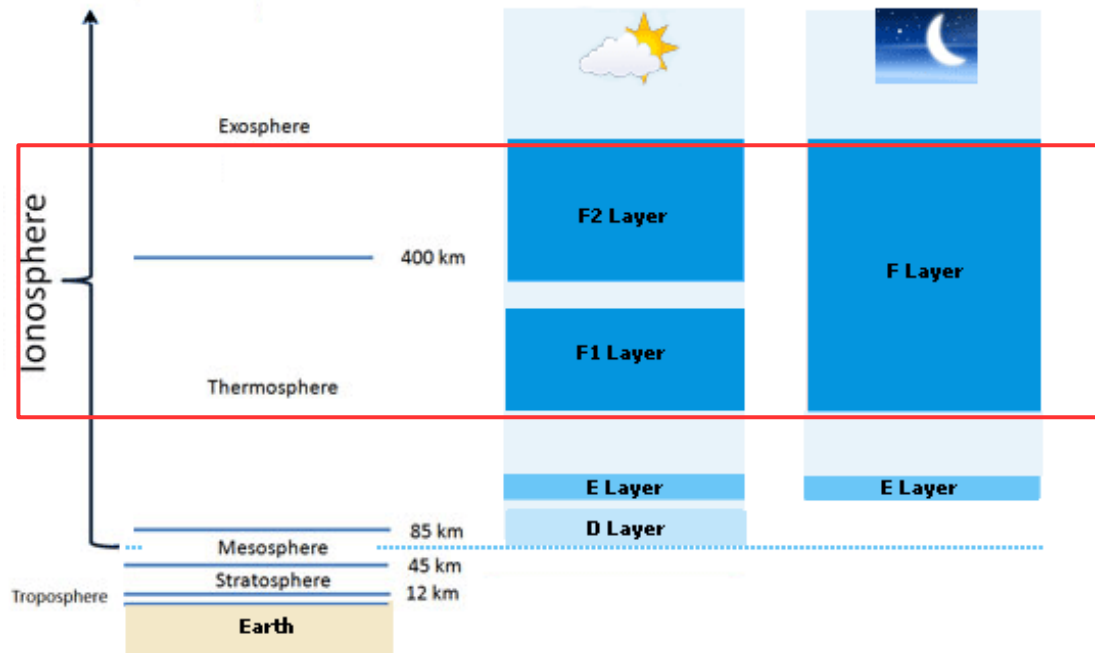


4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Camadas Ionosféricas - Camada F (F1 e F2)**

A noite, na ausência de qualquer radiação ultravioleta direta do sol, as camadas D e E tendem a se extinguir, a camada F₂ desce e combina-se com a F₁ para formar uma camada que é conhecida como F₂ noturna, com altitude de cerca de 240 km, que é a mais utilizada nas comunicações à longas distâncias (> 2400 km).



4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas**

Além da altura, outra principal característica da ionosfera que controla ou determina as radiocomunicações à longa distância é a **densidade de ionização** de cada uma das camadas ionosféricas.

Quanto mais alta a frequência (ou quanto menor o comprimento de onda) maior será a densidade de ionização necessária para refletir as ondas de volta à Terra, ou seja, mais compacto deve ser o meio para que este possa refleti-las.

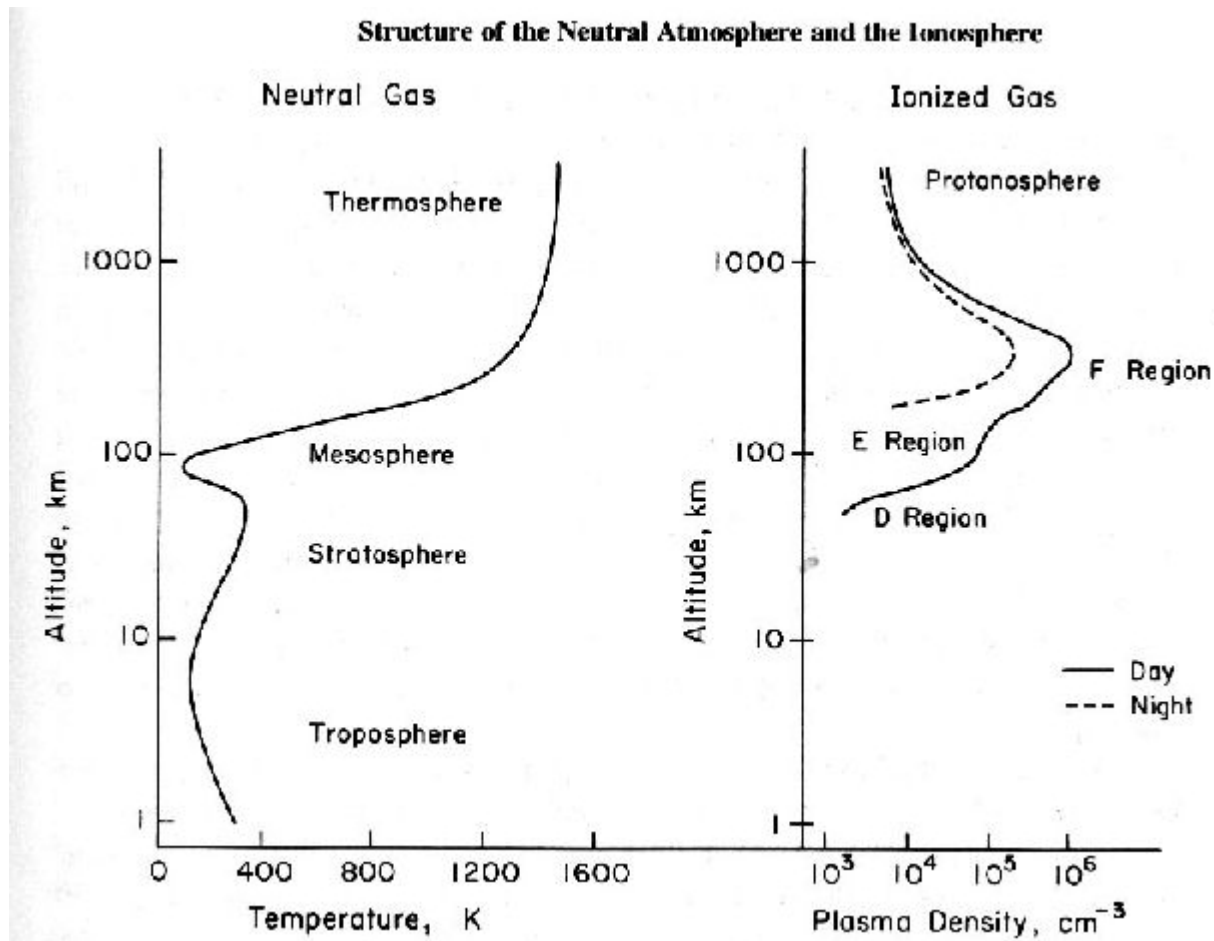
Nesse caso, as camadas mais altas, são as mais ionizadas e, portanto, refletem as frequências mais altas.

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

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

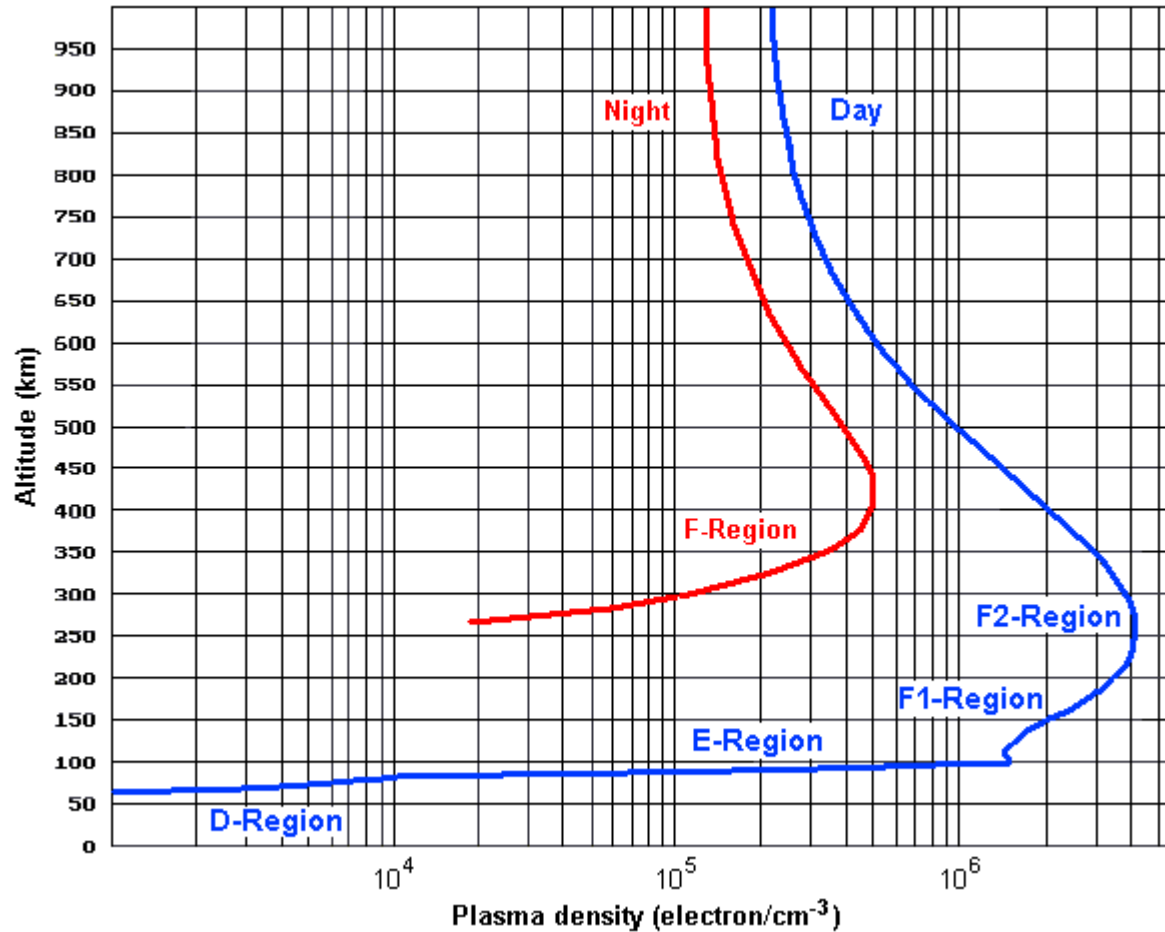
- Características Ionosféricas – Densidade de Ionização



4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- Características Ionosféricas – Densidade de Ionização



4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Ciclos da Ionosfera**

A densidade de ionização pode sofrer algumas variações e estas podem ser divididas em 4 categorias:

- **Variações Diurnas;**
- **Variações Estacional;**
- **Variações de 11 anos e 27 dias das manchas solares .**

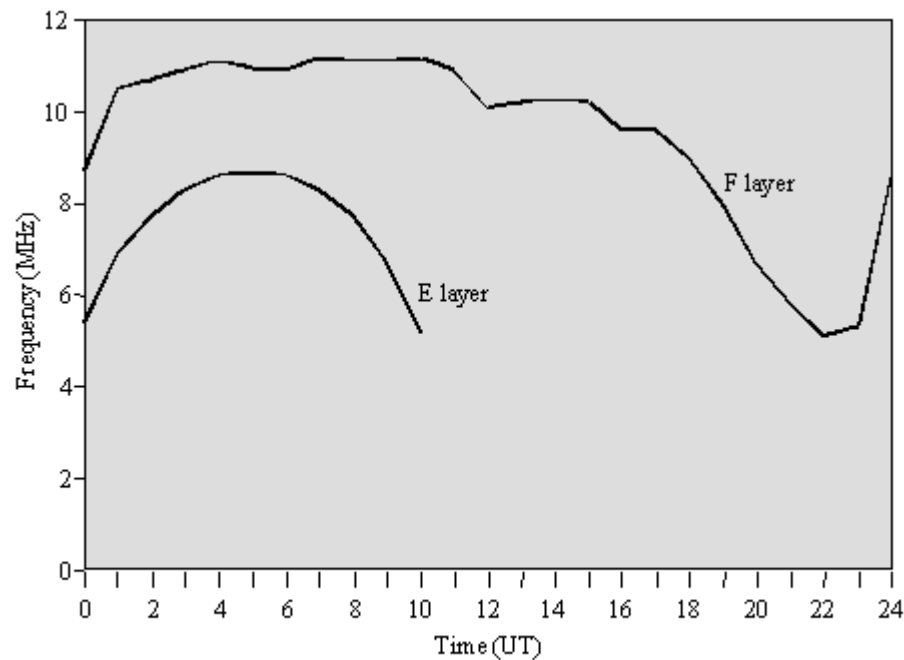
4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- Características Ionosféricas – Ciclos da Ionosfera

Variação Diurna:

Aumento da absorção da energia das ondas de rádio durante o dia, acompanhando o curso solar.



Frequências das camadas E e F para o circuito de Singapura a Ho Chi Minh durante um ciclo solar

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Ciclos da Ionosfera**

Variação Estacional:

Como as várias regiões da Terra recebem mais radiação solar no verão e menor no inverno, devido à mudança do ângulo de incidência de radiação, onde a densidade máxima de íons das camadas D, E e F se modifica.

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Ciclos da Ionosfera**

Variações de 11 anos das manchas solares:

Obedecendo um ciclo de aproximadamente 11 anos, acompanhando o número de manchas solares.

As manchas solares são áreas escuras que aparecem no disco solar e que influenciam, particularmente, na quantidade de radiação ultravioleta e, conseqüentemente, na extensão da ionização das camadas causada por este tipo de radiação

Variações 27 dias das manchas solares:

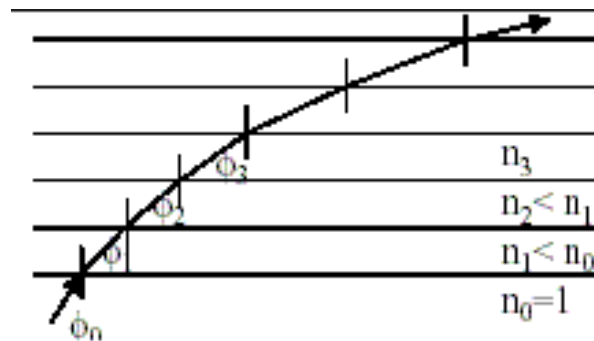
Também é devido às atividades das manchas solares e resulta da rotação do sol em torno de seu próprio eixo(cerca de 27 dias).

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Refração Ionosférica**

Na refração ionosférica, as diversas camadas da ionosfera desviam pouco a pouco a trajetória das ondas eletromagnéticas, que retornam à superfície terrestre.

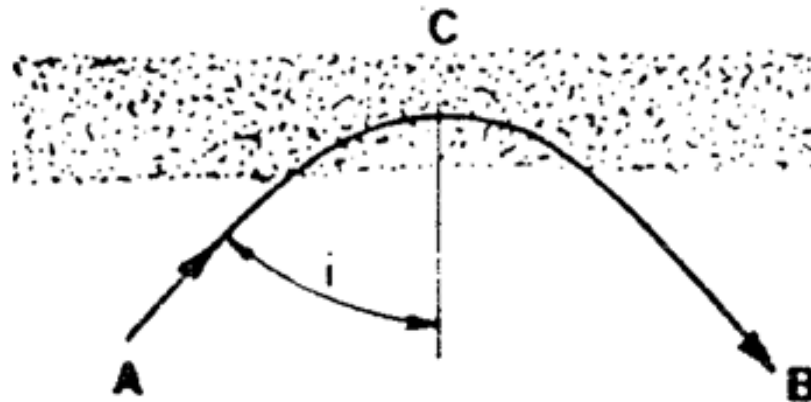


4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- Características Ionosféricas – Refração Ionosférica

Nas aplicações práticas de radiocomunicação a incidência das ondas não é vertical, mas sim em ângulo



Neste caso a onda partindo de A, sofre refração continuada ao penetrar na camada ionizada e finalmente seu ângulo é tal que em C ocorre reflexão total, daí ela sofre refração inversa e atinge o ponto B.

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- Características Ionosféricas – Refração Ionosférica

Vários e possíveis trajetos de deslocamento das ondas de rádio entre o transmissor e o receptor, devido a refração ionosférica

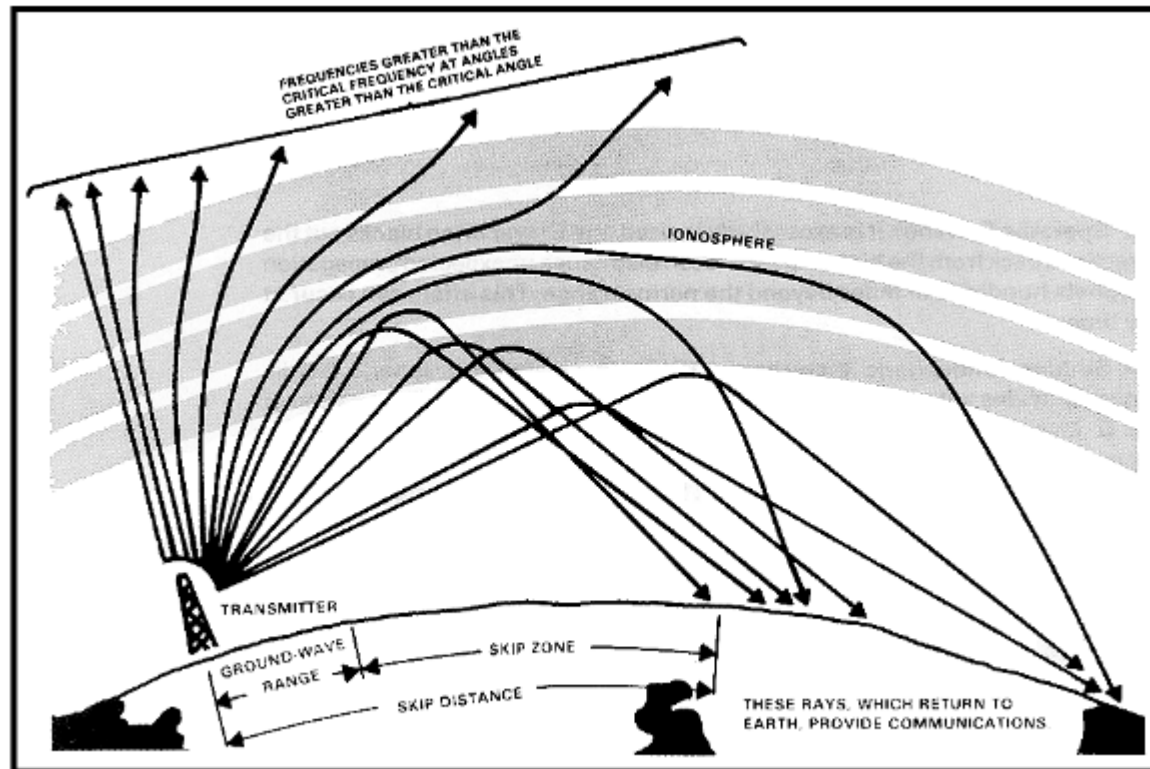


Figure 2-14. Sky wave transmission paths.

4 – Propagação de Ondas de RF

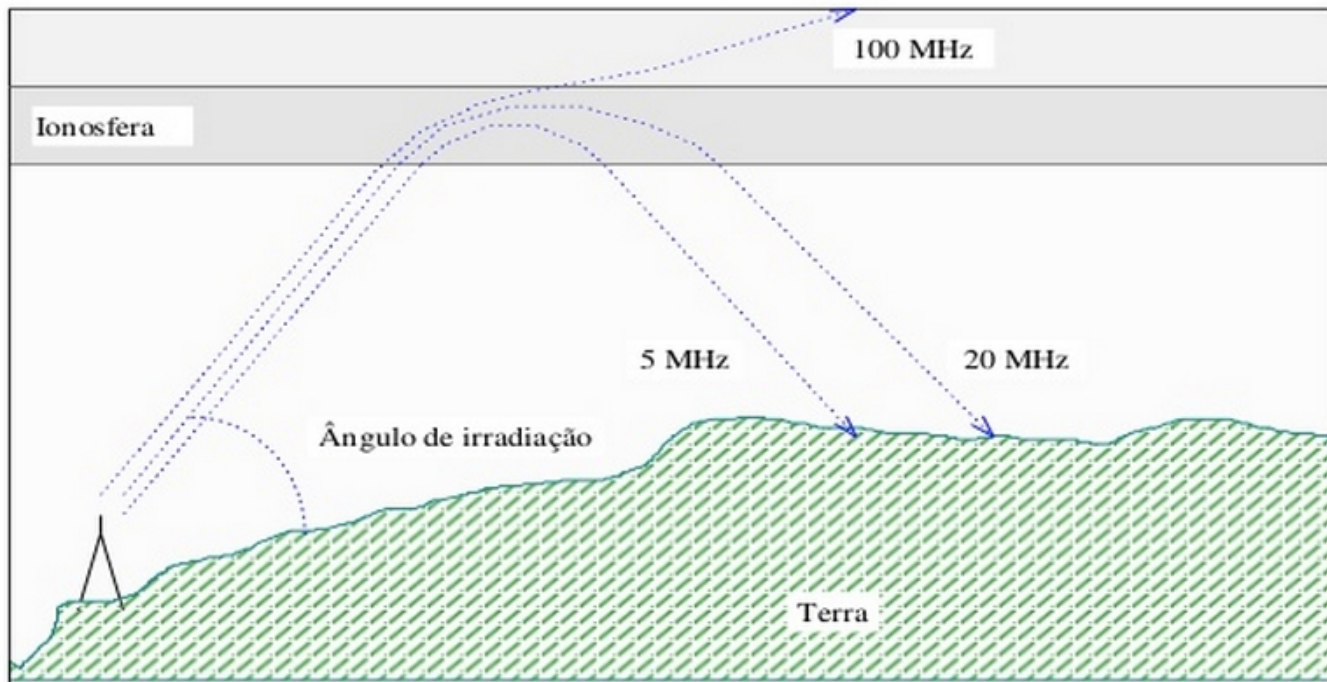
4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Refração Ionosférica**

Tres ondas de frequencias diferentes: 5MHz, 20MHz e 100MHz, com um mesmo ângulo de irradiação.

A onda de frecuencia de 20 MHz se refrata em uma camada mais alta e com um maior grau de ionização que aquela de 5 MHz, estabelecendo um alcance maior.

Já a onda de 100MHz não sofre refração suficiente, de modo que não retorna a superfície.



4 – Propagação de Ondas de RF

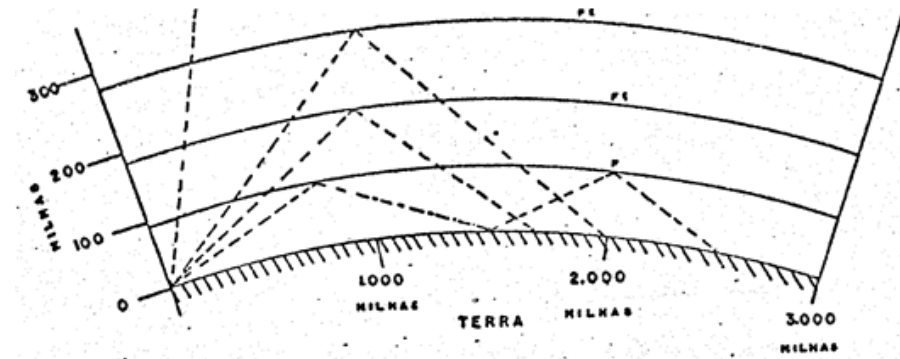
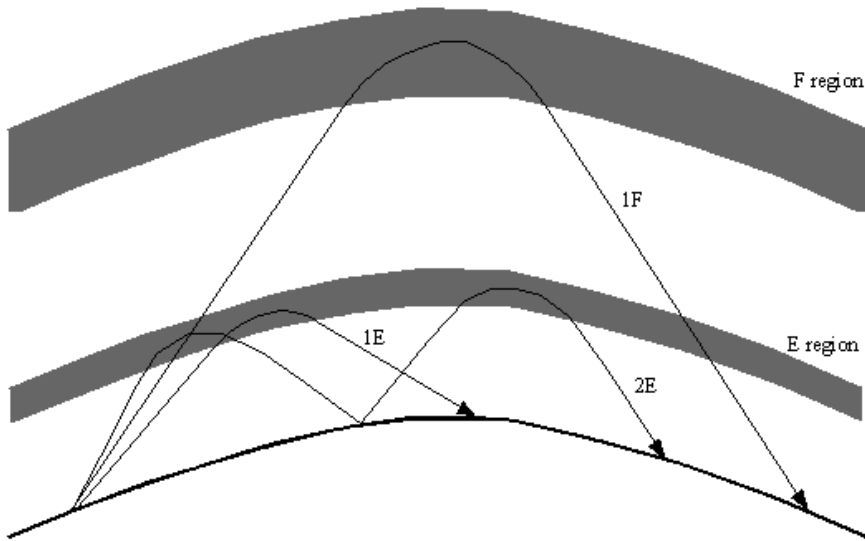
4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Modos de propagação Ionosférica (saltos/hops)**

Existem muitos caminhos ou modos por onde uma onda celeste pode viajar do transmissor para o receptor.

F irá requerer pelo menos dois pulos (2F)

F irá require três pulos (3F)



DISTÂNCIA (km)	MODOS DE PROPAGAÇÃO
ZERO a 2000	1 E, 1 F, 2 F
2000 a 4000	2 E, 1 F, 2 F, 1E + 1F
4000 a 6000	3 E, 2 F, 3 F, 1E + 1F, 2E + 1F
6000 a 8000	4 E, 2 F, 3 F, 1E + 2F, 2E + 1F
8000 a 10000	3 F, 4 F, 1 E + 2F, 2E + 2F

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- Características Ionosféricas – Seleção de Frequências

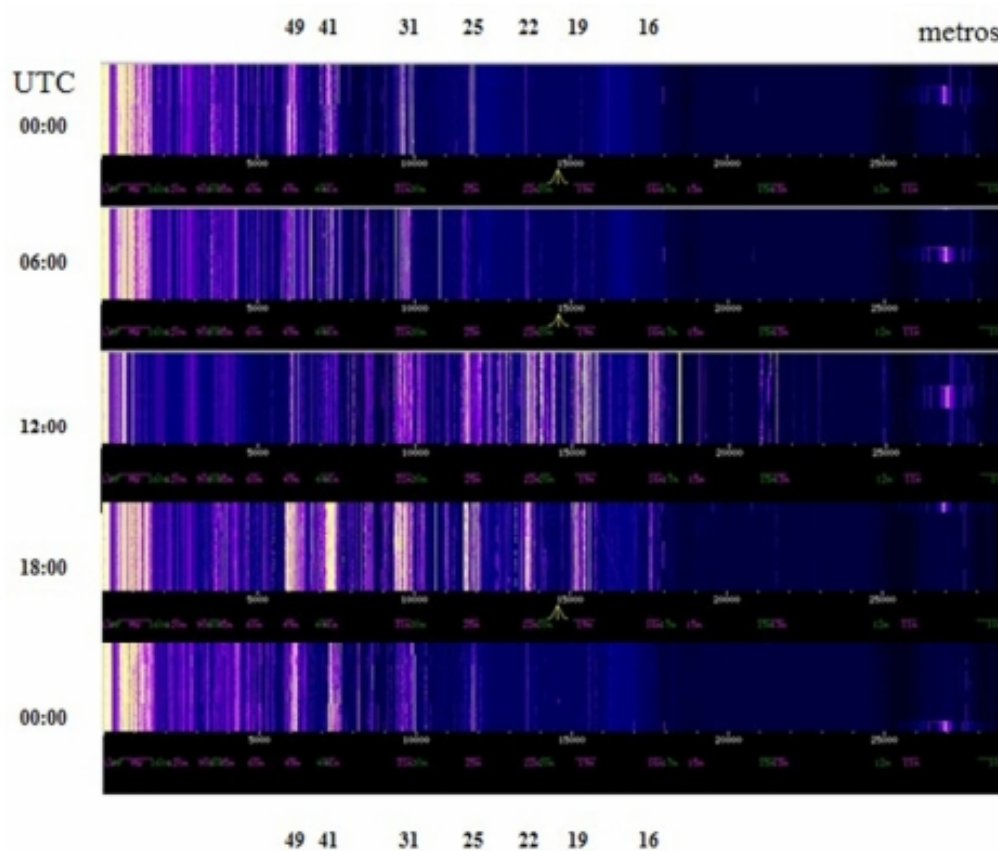
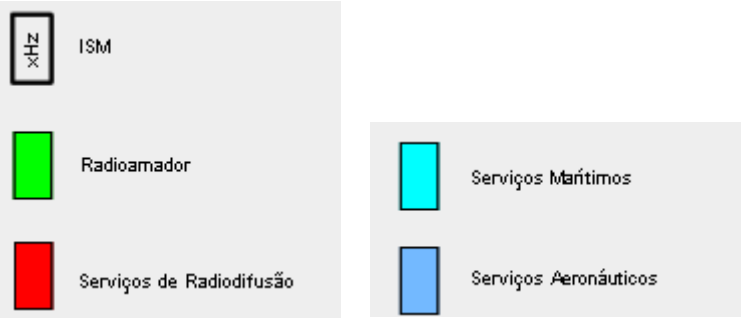
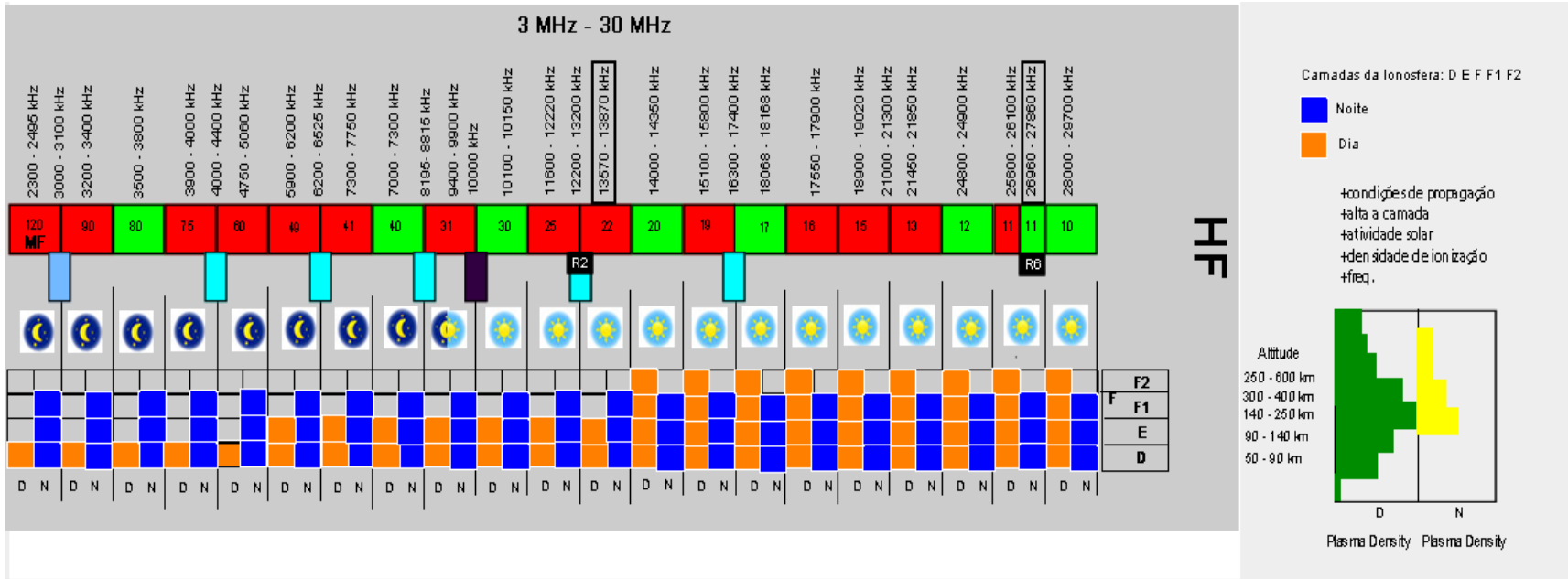


Figura 3: Espectrográfico das atividades nas bandas HF em um período de 24 horas.

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- Características Ionosféricas – Seleção de Frequências



4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Medidores**

<http://www.bandconditions.com/>

<http://www.stroobandt.com/propagation/en/index.html>

<http://www.sws.bom.gov.au/Main.php?CatID=6>

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Influência Solar**

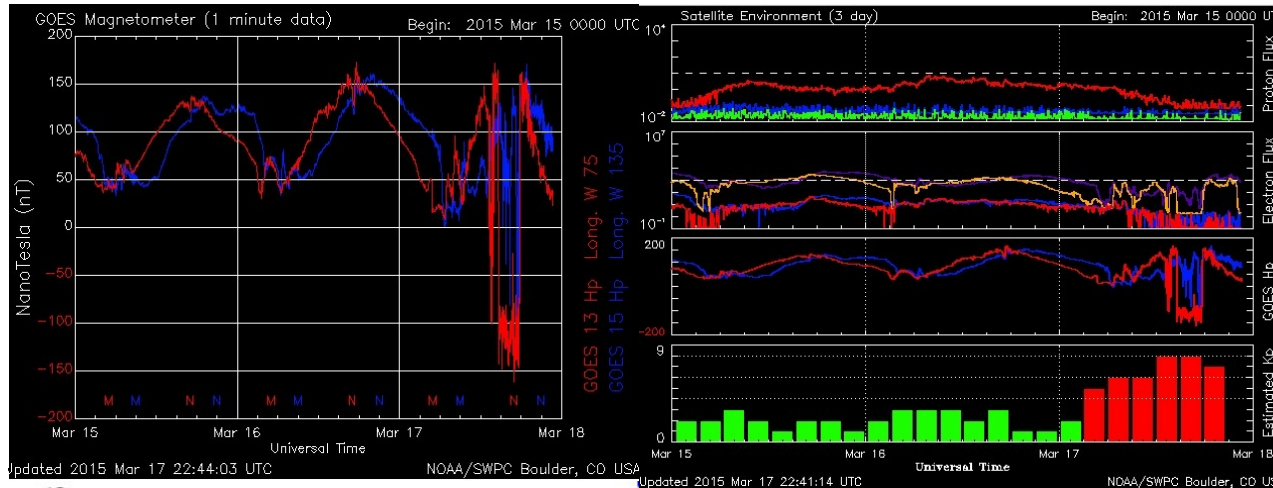
http://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events/

<http://www.solarham.net/>

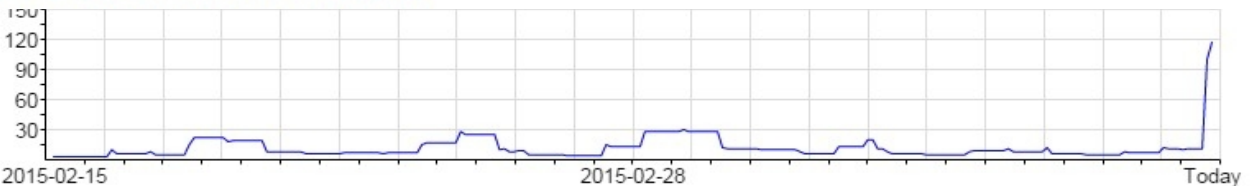
4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- Características Ionosféricas – Influência Solar



K_p indicates the disturbance in the horizontal component of the earth's magnetic field. Values range from 0 to 9 and are based on 3-hour interval measurements in nT (nano Tesla). The higher the K_p -value, the more static and interference you can expect. K_p -values have more impact at higher latitudes (closer to the poles).



A_p indicates a daily average level for geomagnetic activity. Values range from about 0 to 400. A_p is the average of eight 3-hour K_p values and provides a level of instability in the earth's geomagnetic field. Instability is greatest when both A_p and K_p are high. This can cause HF-signals to fade and paths to open and close with little warning. A high K_p and low A_p indicates an abrupt disturbance in the geomagnetic field, resulting in intense but brief disruptions in HF-propagation. A_p is recorded once a day.

Click to add to your website

Solar-Terrestrial Data
 18 Mar 2015 0204 GMT
 SFI 116 SN 57
 A 117K 8
 X-Ray B7.9
 304A 141.2 @ SEM
 Pf 0 Ef 1
 Aurora 9/n=1.99
 Bz -3.8 SW 535.3

HF Conditions

Band	Day	Night
80n-40n	Poor	Poor
30n-20n	Poor	Poor
17n-15n	Poor	Poor
12n-10n	Poor	Poor

VHF Conditions

Aur Lat 54.6°
 Aurora MID LAT AUR
 6n EsEU Band Closed
 4n EsEU Band Closed
 2n EsEU Band Closed
 2n EsNA Band Closed
 EME Deg Good
 Solar Flare Prb 20%

MUF ES - SEASON BREAK
 MS 0 MIN 6 12 18 UTC MAA

Geomag Field SEV STRM
 Sig Noise Lvl S20+
 MUF US Boulder 14.69
 Current Solar Image

HF Propagation Conditions
 2015-03-18 00:15:00 UTC

m	day	night	MHz
160	poor	poor	1.8
80	poor	poor	3.5
60	poor	poor	5.0
40	poor	poor	7.0
30	poor	poor	10
20	poor	poor	14
17	poor	poor	18
15	poor	poor	21
12	poor	poor	24
10	poor	poor	28

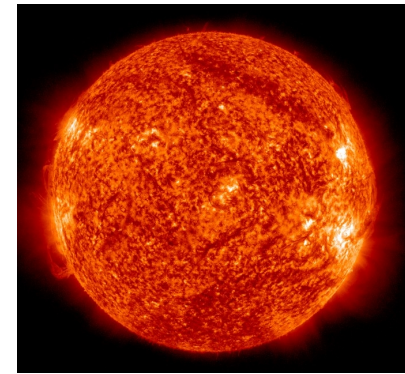
■=good ■=fair ■=poor

Add this to your website
<http://rigreference.com>

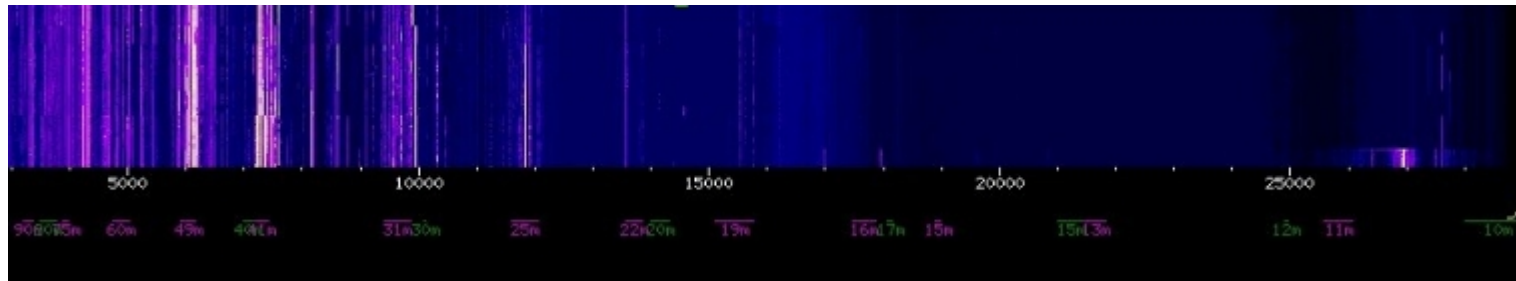
4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

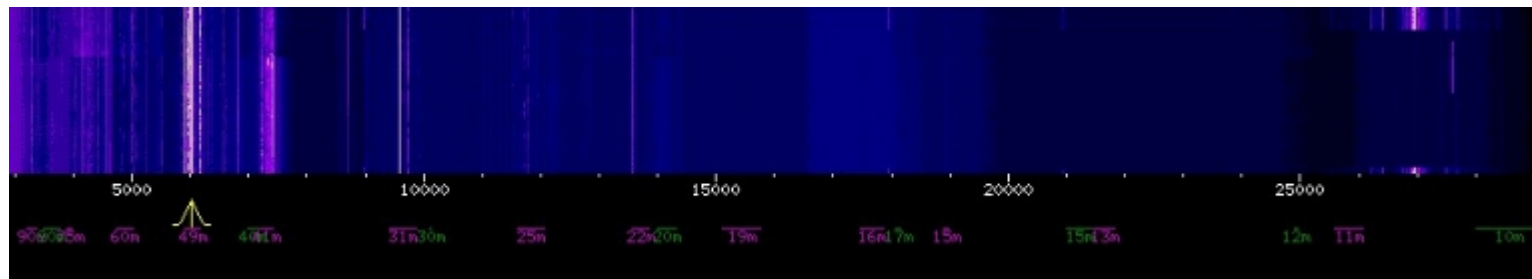
- Características Ionosféricas – Influência Solar



Dia normal



Dia com explosões Solares



4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Preditores**

http://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events/

<http://www.voacap.com/coverage.html>

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Seleção de Frequência de Transmissão**
 - **Ângulo crítico**
 - **Frequencia critica**
 - **MUF**
 - **FOT**
 - **LUF**

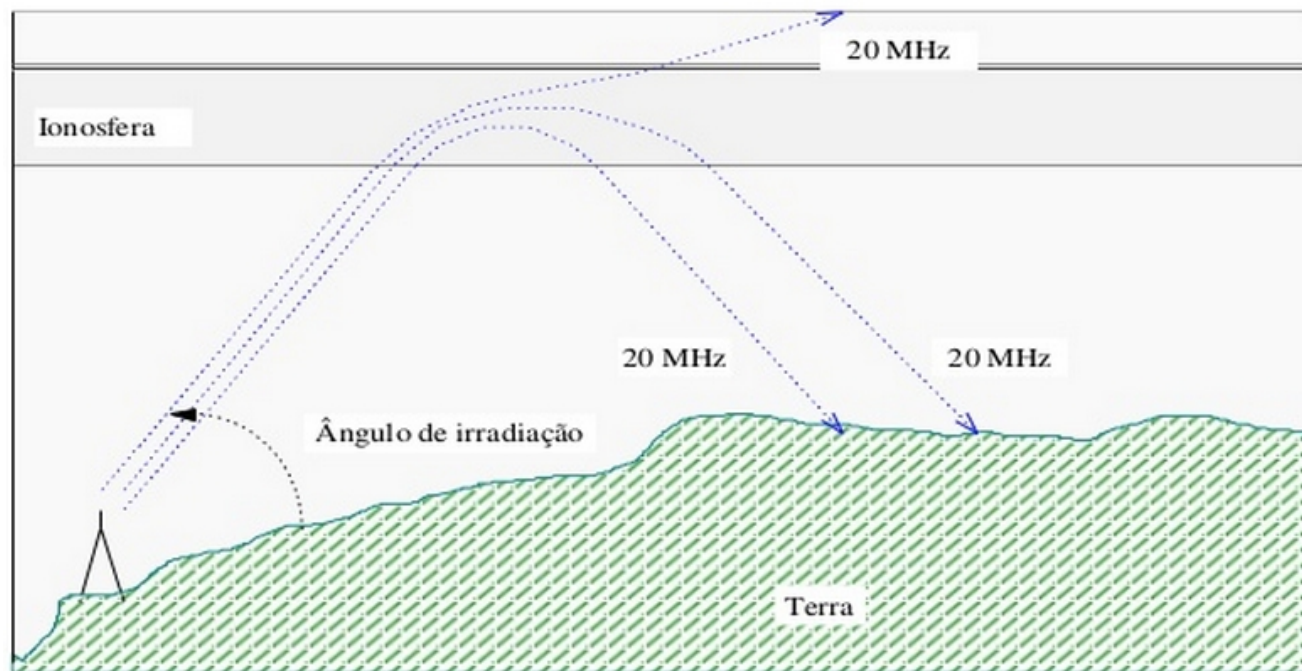
4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- Características Ionosféricas – Seleção de Frequência de Transmissão - Ângulo Crítico

Para ângulos de irradiação acima de um certo valor não há refração suficiente na ionosfera e as ondas se perdem no espaço.

Ex: Frequência de 20 MHz , a variação do alcance com o ângulo de irradiação.



4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Seleção de Frequência de Transmissão – Frequência Crítica**

As frequências mais altas capazes de serem refletidas pelas regiões

Estão relacionadas com a máxima densidade de elétrons nas camadas.

Ex: o valor de f_0F_2 é sempre maior que f_0E , porque a concentração de elétrons na camada F é consideravelmente maior do que o da camada E.

CAMADA IONOSFÉRICA	PERÍODO	CONCENTRAÇÃO DE ELÉTRONS (m^{-3})
D	MEIO-DIA	10^8-10^9
E	MEIO-DIA	10^{11}
F1	MEIO-DIA	2×10^{11}
F2	DIA	10^{12}
F2	NOITE	5×10^{10}

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Seleção de Frequência de Transmissão – MUF (Frequência Máxima Utilizável)**

Para o sucesso das comunicações via rádio entre dois pontos a determinada hora do dia, existem uma frequência máxima, mínima e ótima que podem ser usadas.

Quanto mais alta a frequência de uma onda de radio, menor o grau de refração causada pela ionosfera.

Por isso, para um determinado angulo de incidencia e hora do dia, existe uma frequência máxima que pode ser usada nas comunicações entre dois pontos.

Ondas de radio com frequência acima da MUF são refratadas mais lentamente e retornam a terra num ponto além do pretendido ou perdem-se no espaço.

MUF é a maior frequência que pode ser refletida pela camada para determinado angulo de incidencia da onda.

A MUF geralmente não ultrapassa 35 MHz e é dada pela equação:

$$MUF = \frac{\text{critical frequency}}{\cos \theta}$$

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Seleção de Frequência de Transmissão – LUF (Frequência Mínima Utilizável)**

Do mesmo modo que existe uma frequência máxima, existe uma frequência mínima.

Ao diminuir a frequência o grau de refração aumenta.

Então uma onda cuja frequência seja inferior à LUF volta a 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.

4 – Propagação de Ondas de RF

4.5 – Ondas Ionosféricas

- **Características Ionosféricas – Seleção de Frequência de Transmissão – FOT (Frequência de Trabalho Otima)**

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 tao alta que possa ser afetada por mudanças bruscas na ionosfera.

A FOT é a abreviatura de " *fréquence de travail optimale* ".

A FOT é cerca de 85% da MUF.