

# PROPAGACÃO E ONDAS

## **Acção de Formação de Radiocomunicações**

Prof. José Sá (CT1EEB)

(Docente do programa Aveiro-Norte da Universidade de Aveiro)

Prof. Teresa Ferrinho (CT2JQI)

(Docente de Ciências Físico-Químicas)

Abril de 2011

# 1. Sol

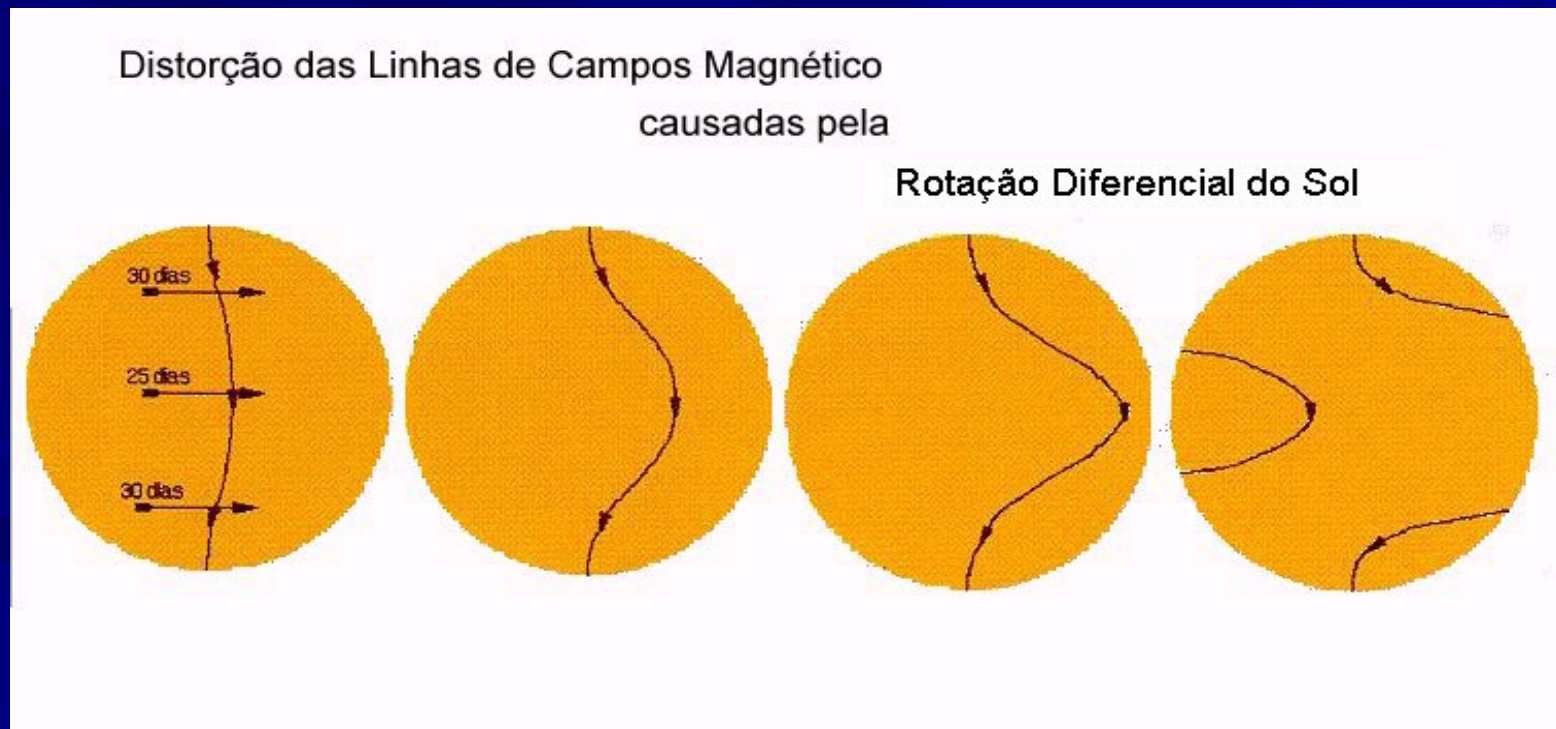
- Estrela do nosso Sistema Solar.
- Formado essencialmente por gás hidrogénio na forma de plasma (gás muito aquecido e altamente ionizado).
- Não é um corpo rígido, isto é, tem uma rotação diferenciada em função da latitude:
  - na região equatorial (menor latitude) uma volta completa demora cerca de 26 dias;
  - nos pólos a rotação pode chegar aos 30 dias.

## 2. Manchas solares

- São conhecidas desde a antiguidade, mas a sua origem foi erradamente atribuída:
  - a nuvens;
  - a pequenos planetas próximos do Sol;
  - a montanhas na sua superfície.
- Sabe-se hoje que estão intimamente relacionadas com o campo magnético do Sol, que varia entre 1 gauss ( $1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$ ) e os milhares de gauss perto das manchas.

### 3. Formação das manchas solares

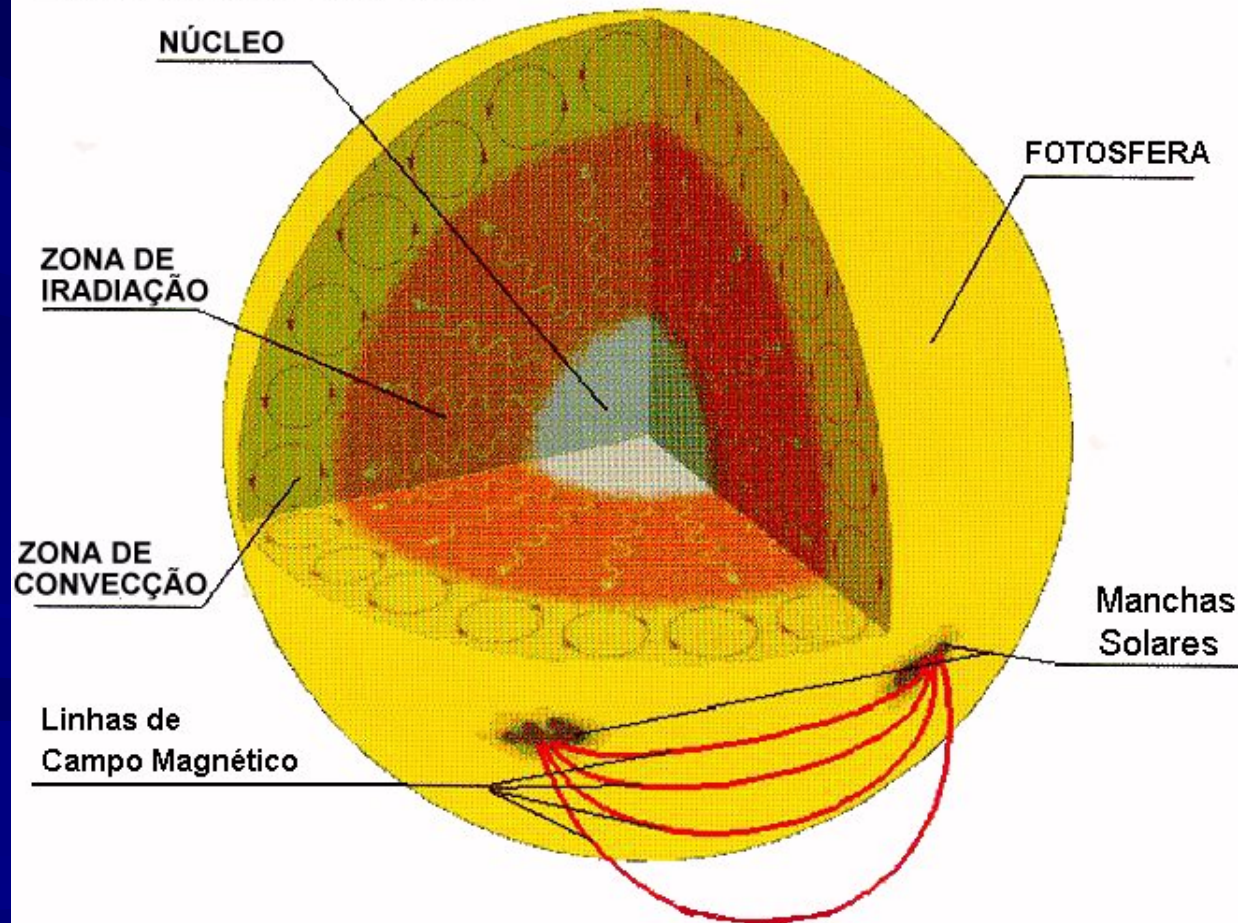
- Dada a rotação diferenciada do Sol, em cada volta que este astro efectua as linhas de campo juntam-se cada vez mais, arrastando consigo o plasma.

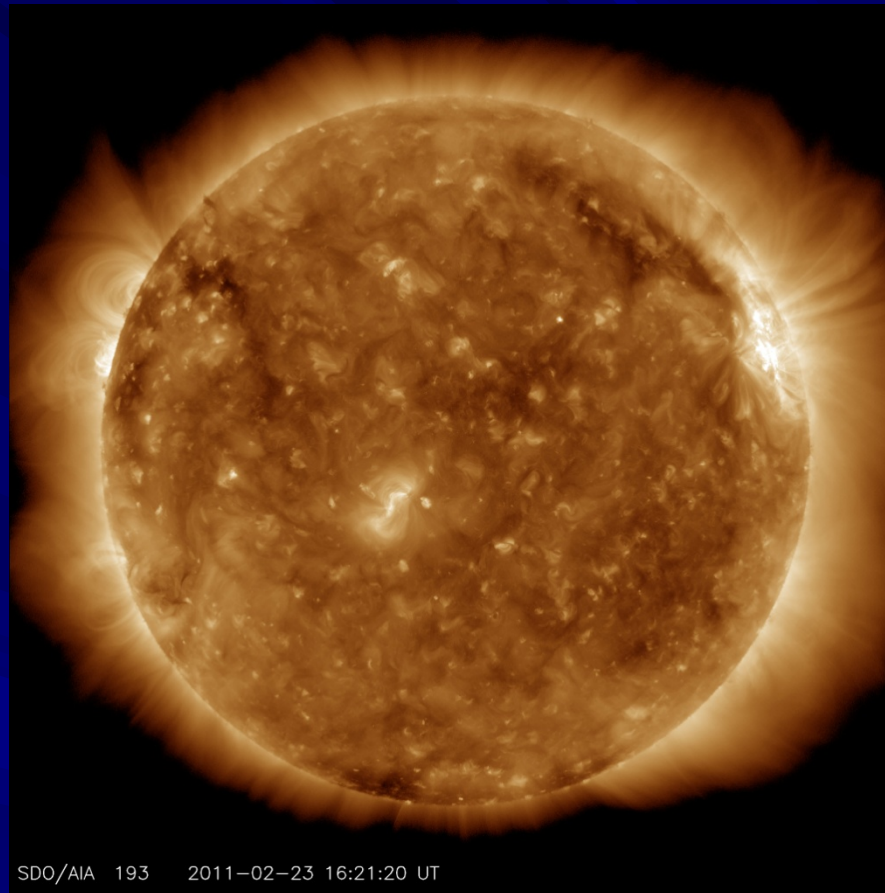




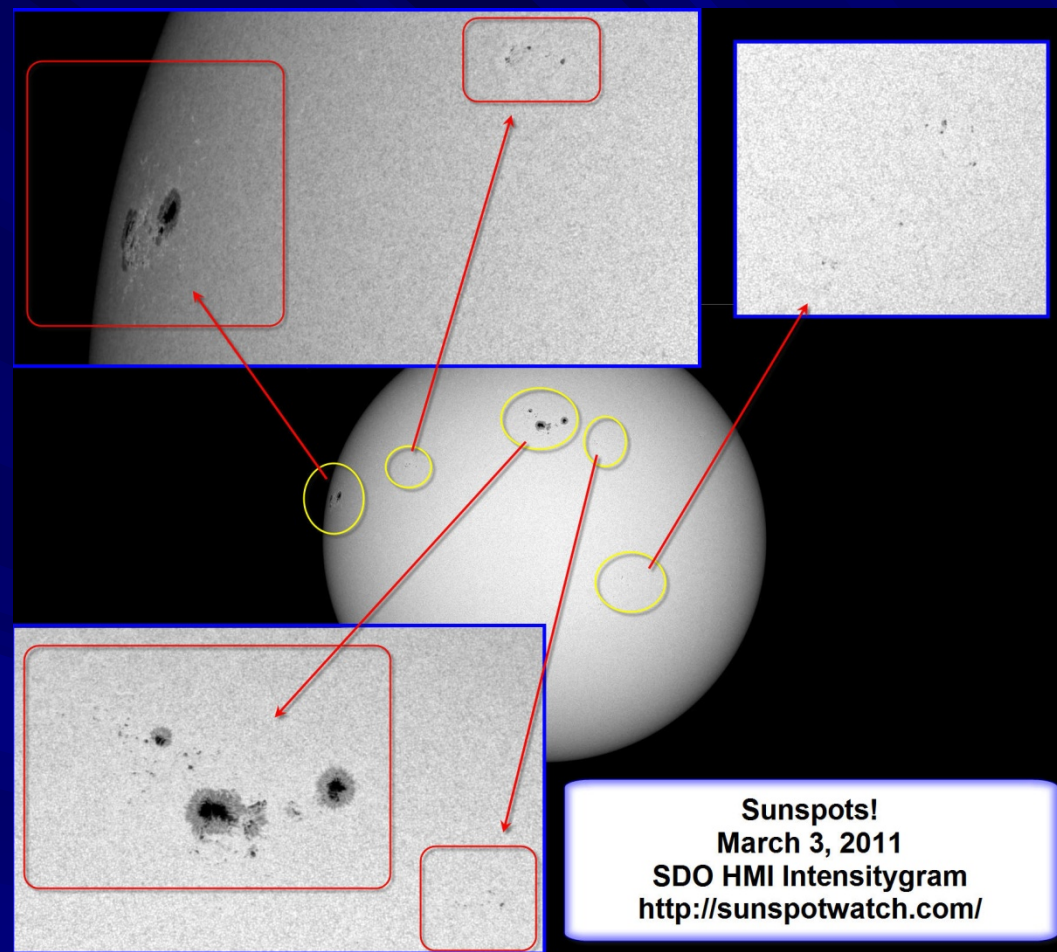
- Quanto mais as linhas de campo são empurradas umas contra as outras, maior é a força exercida entre elas para se separarem de novo (à semelhança do que acontece com 2 ímanes de polaridades iguais) e ocorre, então, uma grande libertação de energia e explosão de matéria da fotosfera (camada visível do Sol) na direcção das linhas de campo.

## Estrutura do Sol





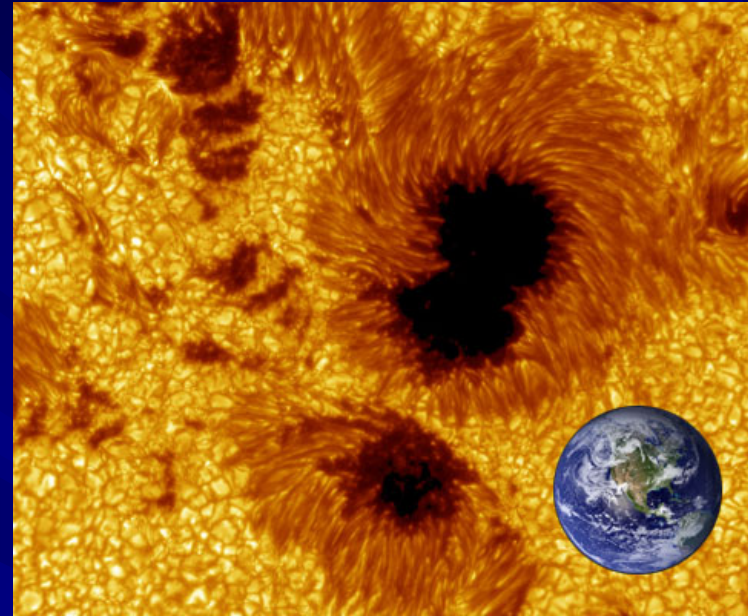
- A temperatura média das manchas é cerca de 4300 K ( $\approx 4027^\circ\text{C}$ ); nas regiões sem manchas a temperatura ronda os 6000 K ( $\approx 5727^\circ\text{C}$ ).



- As manchas solares podem surgir isoladas ou em grupos.
- Quando se trata de grupos, o campo magnético é muito mais intenso.
- Os grupos de manchas solares surgem a cada 11 anos, período este chamado de ciclo solar.



- O tamanho das manchas solares varia bastante e são, em geral, maiores que o nosso planeta.



- A sua medida é feita em termos de milionésimos da área visível do Sol:
  - uma mancha é considerada grande quando mede entre 300 e 500 milionésimos do disco solar;
  - a maior já registada foi em 1947, com 6132 milionésimos, quase uma sétima parte do disco solar.
- Quanto maior for o número de manchas solares, mais intenso é o campo magnético e maior é a possibilidade de ocorrerem alterações na ionosfera terrestre, influenciando deste modo as comunicações de longa distância aqui na Terra.



## 4. Importância das manchas solares

- Os campos magnéticos que causam são muito intensos e suprimem as correntes de convecção.
- Tendem a aparecer em dois ciclos:
  - 27 dias (devido à rotação do Sol, as manchas são visíveis em intervalos de 27 dias, duração do movimento de rotação da nossa estrela; estas variações de ionização são mais pronunciadas na camada F2, a mais externa.);
  - 11 anos (ciclo regular da actividade solar; num período de máxima actividade, a absorção da camada D – a mais interna – aumenta e as frequências críticas para as restantes camadas é maior; deste modo, as frequências mais altas devem ser usadas para comunicações a longa distância).

## 5. Tempestades solares

- No auge da actividade de uma mancha solar ocorre uma rápida e colossal explosão de matéria coronal chamada labareda solar, ou *solar flare* em inglês.
- Estas ejeções de matéria coronal, que originam grandes quantidades de UV de frequência alta e raios-X, podem atingir a Terra: ao interagir com o campo magnético do nosso planeta podem produzir auroras, perturbar instrumentos de orientação de satélites, interromper comunicações a longa distância e, mais importante, produzir uma forte ionização da camada D da ionosfera resultando numa grande absorção para as ondas rádio.

# *Solar flare*

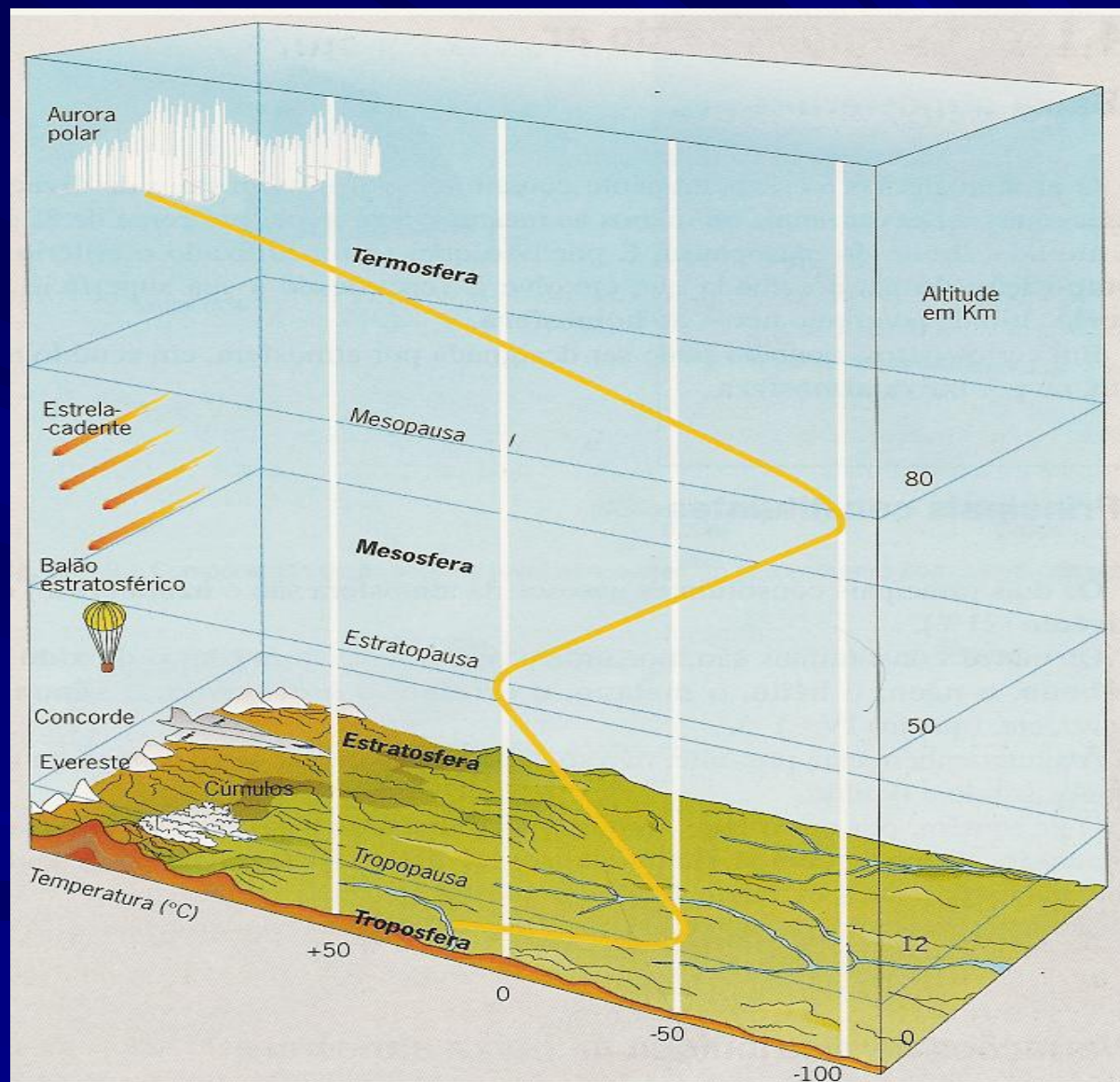


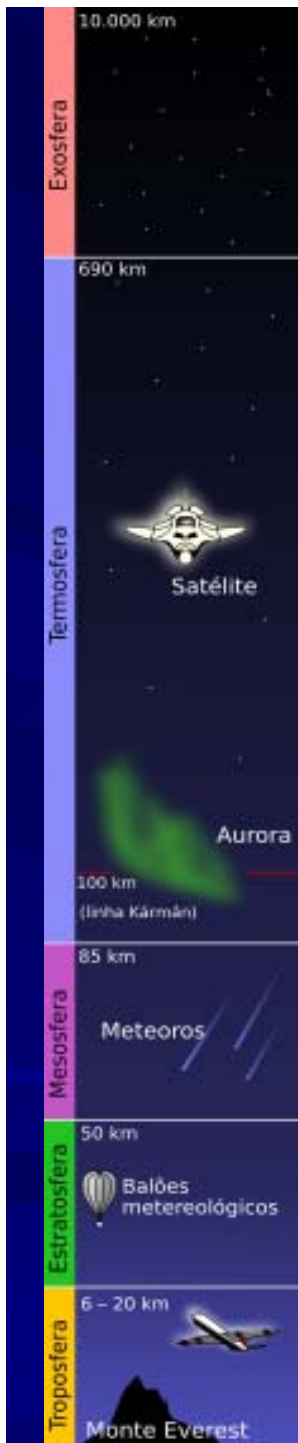
# Segredos do Sol: tempestades solares





## 6. Atmosfera terrestre





- Ionosfera

- parte da atmosfera ionizada pela radiação solar;
- estende-se desde os 50 km até aos 500 km de altitude;
- influencia a propagação radioelétrica sobre a Terra;
- dividida em subcamadas (D – mais junto ao solo, E, F1 e F2);
- a ionização de cada subcamada depende da hora do dia, da estação do ano e das condições solares.

- Estratosfera

- camada de ozono.

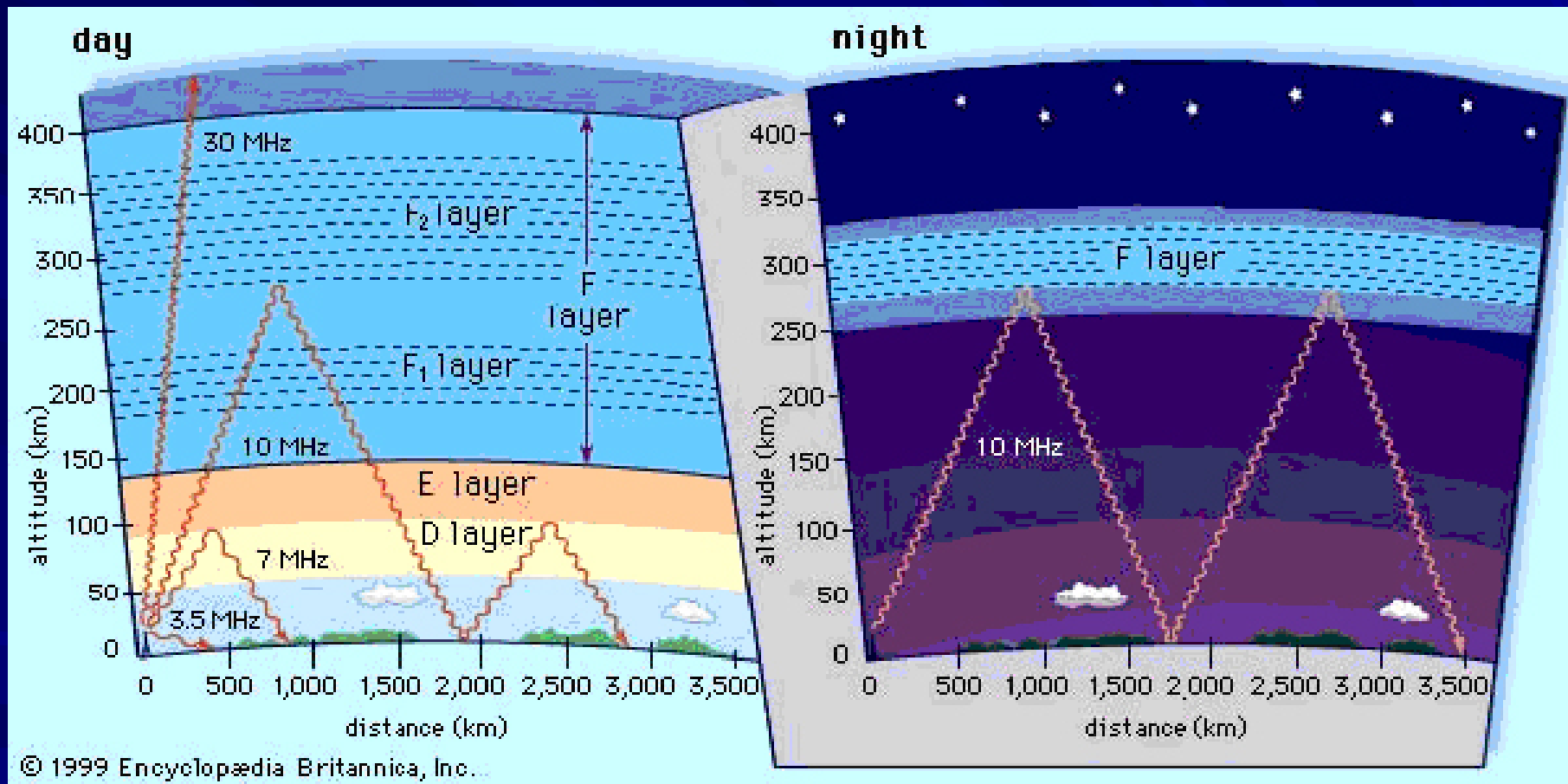
- Troposfera

- fenómenos atmosféricos;
- azoto (78%), oxigénio (21%), outros gases em pequenas proporções.

# Ionização

- Processo químico segundo o qual se originam iões a partir de átomos ou moléculas que perdem ou ganham electrões.
- O principal agente da ionização na ionosfera é o Sol, cuja radiação no espectro de UV e raios-X origina uma grande quantidade de electrões livres nesta região da atmosfera.
- Os electrões livres absorvem parte da energia UV que os libertou dos átomos ou moléculas formando, deste modo, uma camada ionizada.
- Os raios UV de maior frequência e os raios-X penetram mais fundo produzindo camadas ionizadas na parte mais inferior da ionosfera (camada D).
- Por outro lado, os raios UV de menor frequência penetram menos e produzem camadas ionizadas nas regiões mais altas da ionosfera (camadas E e F).

# Camadas ionosféricas





# Camadas ionosféricas

- Camada D:
  - 50 km a 90 km;
  - é a que absorve a maior quantidade de energia electromagnética;
  - é a camada com maior densidade atmosférica;
  - o seu comportamento é diurno e permanece apenas por alguns instantes no início da noite;
  - é a responsável pela absorção das ondas de rádio durante o dia devido à densidade de ionização ser mais elevada;
  - em condições normais, a partir dos 3 MHz esta camada começa a perder gradualmente características de absorção, embora estes efeitos sejam notados até aos 10 MHz;
  - sob a influência de tempestades solares esta frequência crítica de absorção pode sofrer um aumento significativo.

- Camada E: - 90 km a 140 km;
  - forma-se durante o dia e, à semelhança da camada D, dissipa-se durante a noite;
  - pode surgir e desaparecer de forma rápida durante o dia ou noite, sob a forma de manchas irregulares com ionização invulgarmente alta (Esporádica E);
  - em algumas ocasiões, dependendo das condições do vento solar e da energia absorvida durante o dia, esta camada pode permanecer esporadicamente à noite; o alcance proporcionado através da Esporádica E excede, por vezes, os 1600 km, mas não é tão grande quanto o que ocorre na camada F;
  - é tanto mais activa quanto mais perpendicularmente os raios solares sobre ela incidirem.

- Camada F:
  - 140 km a 500 km;
  - durante o dia separa-se em duas camadas, F1 e F2;
  - os átomos desta camada permanecem ionizados por um longo período após o pôr-do-sol, e durante um pico de actividade solar podem permanecer ionizados durante toda a noite;
  - sendo a mais alta da ionosfera, permite grandes alcances: para ondas horizontais, o alcance obtido num único salto (HOP) pode ser de 5000 km; para sinais que se propaguem a distâncias maiores, são necessários vários saltos;
  - responsável pela maior parte das comunicações HF de longa distância;
  - num pico do ciclo solar pode reflectir sinais até 100 MHz; durante o restante ciclo, a frequência máxima utilizável pode descer até aos 10 MHz.

- Camada F1: - 140 km a 200 km;
  - forma-se durante o dia, à semelhança da camada E, podendo esporadicamente manter-se em períodos nocturnos;
  - reflecte essencialmente determinadas frequências, conforme a espessura que adquire ao receber energia solar;
  - o seu maior efeito é a absorção de algumas ondas HF, embora outras passem para a camada F2 sofrendo, deste modo, uma refacção;
- Camada F2: - 200 km a 500 km;
  - a altitude e a densidade variam com a hora do dia, a estação do ano e a actividade solar;
  - permite comunicações HF a longa distância: a refacção nesta camada pode gerar o aparecimento do fenómeno raro da ductificação, proporcionando contactos a dezenas de milhares de quilómetros e ecos ionosféricos.



# 7. Reflexão ionosférica

- A onda embate numa superfície plana e é reenviada para o mesmo meio.
- Na ionosfera a reflexão ocorre quando uma onda de rádio atinge uma fina e altamente ionizada camada da ionosfera.
- Na realidade, as ondas são refractadas: algumas retornam à Terra de forma tão rápida que parece tratar-se do fenómeno da reflexão.
- Para que a reflexão ocorra, a espessura da camada ionizada não pode ser maior que um comprimento de onda; dado que as camadas têm uma grande espessura, a reflexão acontece apenas com ondas de maior comprimento de onda.

## 8. Refracção ionosférica

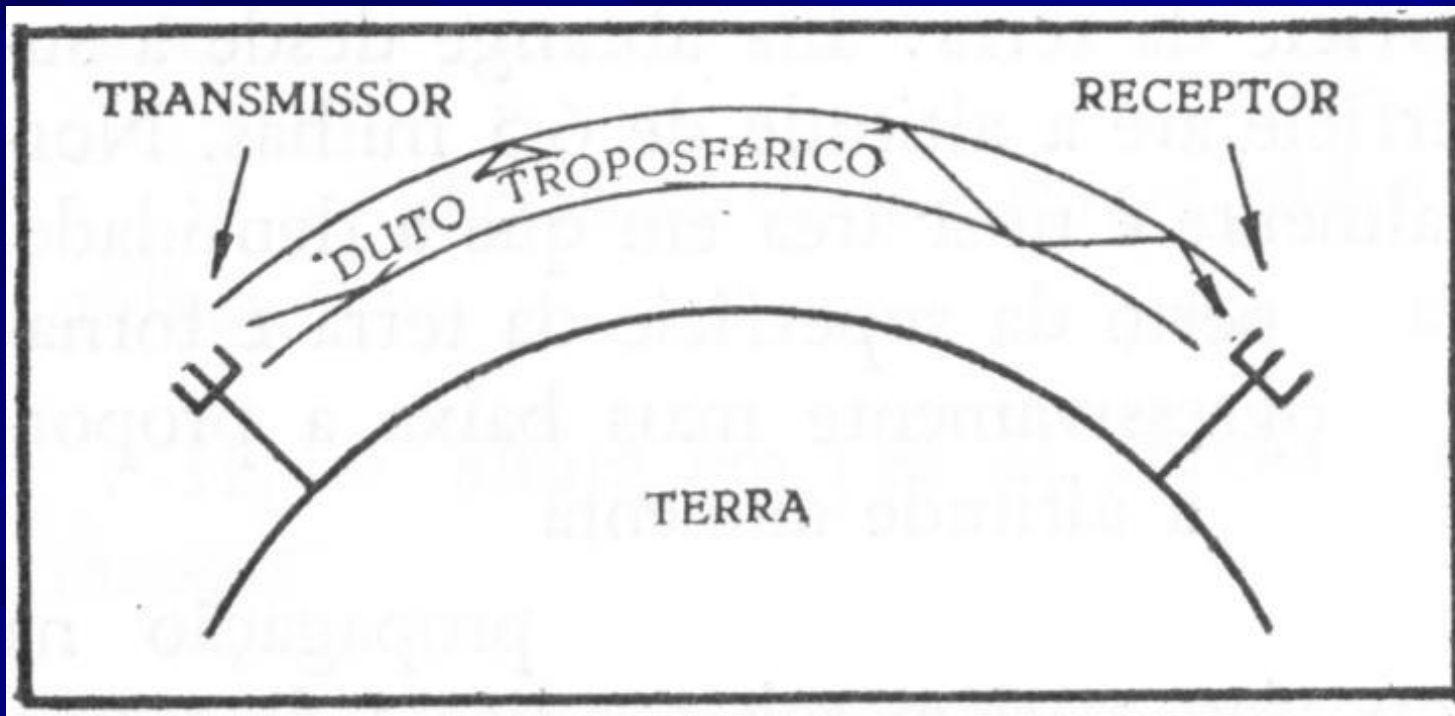
- A onda passa de um meio para outro cujas velocidades de propagação são diferentes e sofre, portanto, um desvio na direcção da sua propagação.
- As ondas rádio transmitidas através de camadas ionizadas são sempre refractadas, ou dobradas.
- Uma vez que a velocidade de propagação nas camadas mais externas aumenta abruptamente, a onda é desviada novamente em direcção à Terra; este desvio é sempre em direcção ao meio de propagação onde a velocidade de propagação é mais baixa.
- O valor da refracção que uma onda de rádio sofre depende:
  - da densidade de ionização da camada;
  - da frequência da onda de rádio;
  - do ângulo de incidência na camada.

## 9. Variações sazonais da ionosfera

- Resultam do movimento de translação da Terra em torno do Sol (inclinação dos raios solares varia).
- Nas camadas D, E e F1 as variações sazonais estão directamente relacionadas com a inclinação dos raios solares: a ionização é máxima durante o Verão.
- Na camada F2 a ionização é máxima no Inverno; como consequência as frequências propagadas por esta camada são mais elevadas no Inverno que no Verão.

# 10. Inversão de temperatura na Troposfera

- Camadas de ar quente formam-se por cima de camadas de ar frio, originando 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 deste canal ou se uma onda de rádio entrar com um ângulo de incidência muito baixo, as emissões de VHF e UHF podem ser propagadas para além da linha do horizonte.
- Estas distâncias são possíveis devido às diferentes densidades e propriedades refractivas do ar quente e do ar frio.
- A mudança brusca de densidade quando a onda entra no ar quente acima da conduta faz com que a onda seja refractada 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 mesma.
- Esta conduta é conhecida como ducto troposférico.

# Tabelas de previsão de propagação

| Sol                           | K | A         |
|-------------------------------|---|-----------|
| Inactivo                      | 0 | 0         |
| Muito Calmo                   | 1 | 1 a 7     |
| Calmo                         | 2 |           |
| Incerto                       | 3 | 8 a 15    |
| Activo                        | 4 | 16 a 29   |
| Tempestade fraca              | 5 | 30 a 49   |
| Tempestade                    | 6 | 30 a 49   |
| Tempestade forte              | 7 | 50 a 99   |
| Tempestade muito forte        | 8 | 100 a 400 |
| Tempestade extremamente forte | 9 |           |

Nota: O índice **K** representa a variação do campo medida a cada 3 horas, enquanto o índice **A** é a média de 8 índices **K** consecutivos.

| Propagação | SFI (F)   |
|------------|-----------|
| Má         | 60 a 120  |
| Razoável   | 120 a 180 |
| Boa        | 180 a 240 |
| Muito boa  | > 240     |

Nota: Índice SFI (Solar Flux Index) é também chamado índice F. Este índice tem como base a medição da radiação solar com comprimento de onda de 10,7 cm (2,8 GHz) que atinge a Terra e dá uma indicação da ionização da camada F, estando directamente relacionado com o MUF.

# Links

- <http://sunspotwatch.com/>
- <http://dx.qsl.net/propagation/>