

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Ciências Espaciais Atmosféricas  
Divisão de Aeronomia  
Ionosfera  
Relatório Parcial**

**Bolsista**

*Maurení Cristina de Faria*

**Orientadores**

*prof ° Dr. Polinaya Muralikrishna*

*prof ° Dr. Manghalatayl Ali Abdu*

**Título**

***“Estudos experimentais da Ionosfera Equatorial”***

**São José dos Campos  
2000**

# ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| <b>1- INTRODUÇÃO</b>                    | 4  |
| <b>2- CONCEITOS BÁSICOS</b>             |    |
| 2.1- A ionosfera terrestre              | 5  |
| 2.2- Regiões da atmosfera               | 6  |
| 2.3- Irregularidades da ionosfera       | 7  |
| 2.3.1- Eletrojato Equatorial            | 8  |
| 2.3.2- Bolhas ionosféricas              | 8  |
| 2.4- Equipamentos para coletas de dados | 10 |
| 2.4.1- Carga Útil                       | 11 |
| <b>3- REDUÇÃO DE DADOS</b>              | 12 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>       | 14 |

## **LISTA DE FIGURAS**

**FIGURA 1** - Localização da ionosfera através da ilustração das camadas atmosféricas em relação a temperatura

**FIGURA 2** - Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas em função da densidade eletrônica

**FIGURA 3** - Bolhas ionosféricas

**FIGURA 4** - Ionograma de Bogotá

**FIGURA 5** - Ionograma de Huncayo

# 1- INTRODUÇÃO

Pode-se dizer que se estuda a ionosfera pelas seguintes razões:

- 1- Para se entender melhor a climatologia espacial, cuja variabilidade nas vizinhanças da terra, afeta de forma direta ou indireta a vida do dia a dia;
- 2- Para se entender melhor os seus fortes efeitos nas telecomunicações via satélite em faixas de frequência da ordem de Gigahertz;
- 3- Para se estudar os fenômenos das instabilidades de plasma (Spread-F, bolhas ionosféricas, eletrojato, etc.);
- 4- Para fins bélicos: Blackout para as telecomunicações inimigas;
- 5- Aplicações tecnológicas. Os satélites artificiais podem ser parcialmente ou totalmente danificados pelo bombardeio de elétrons relativísticos ou pelos campos elétricos de alta intensidade.

## 2- CONCEITOS BÁSICOS

### 2.1- A IONOSFERA TERRESTRE

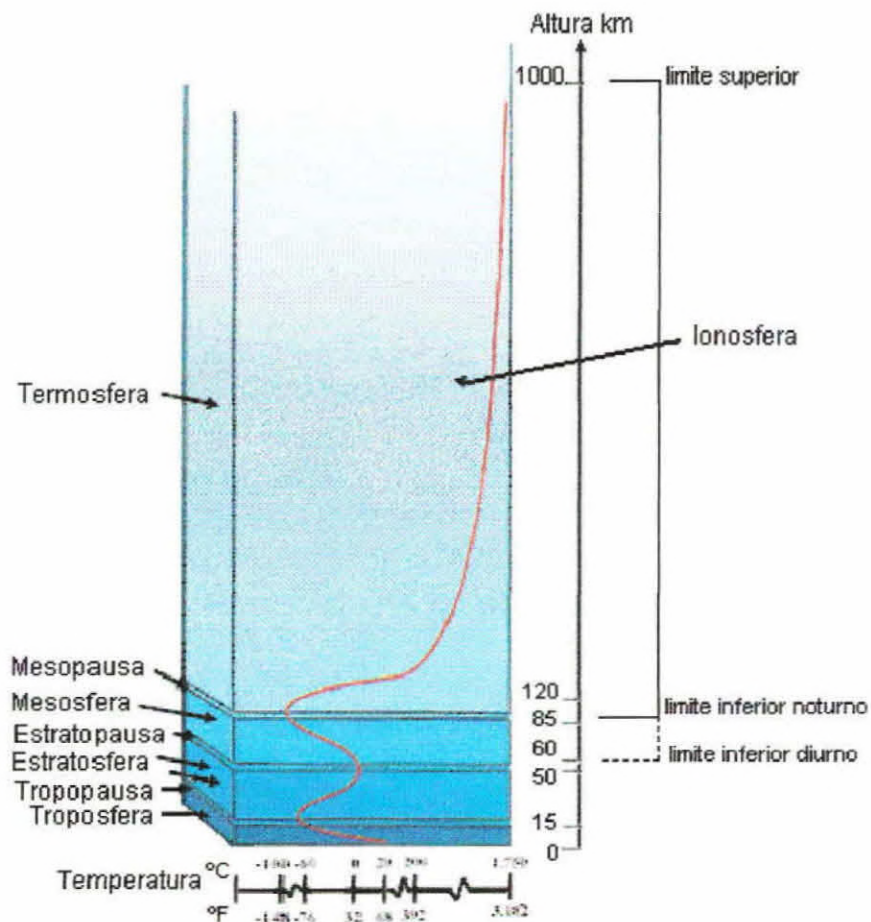
A *ionosfera* é uma camada da atmosfera que está aproximadamente de 50 à 1.000 km acima da crosta terrestre. É uma camada condutiva, por conter íons e elétrons. É definida como sendo a região da atmosfera superior onde íons e elétrons existem em quantidades suficientes para influenciar a propagação de ondas de rádio. Ela é o resultado da interação de radiação ionizante, eletromagnética e corpuscular, com os constituintes neutros da atmosfera, formando pares elétron-íon que, finalmente, se recombinam. Ela é mantida por um balanço de produção elétron-íon, mecanismos de perda físicos e químicos, e processos de transporte.

Por ser boa condutora e refletora de ondas eletromagnéticas, a ionosfera é muito utilizada nas comunicações e telecomunicações, via sinal de rádio.

Os limites inferior não são perfeitamente definidos, porém a concentração de íons se torna muito pequena, abaixo de 70 km e acima de 1.000 km. A essa região, entre 70 e 1.000 km, dá-se o nome de "**Plasma Ionosférico**".

São nas irregularidades do plasma ionosférico que se dá o maior problema de interferência nas transmissões. As interferências existem devido às alterações ocorridas na densidade eletrônica do plasma ionosférico, ou seja, há um aumento ou diminuição da densidade eletrônica. E estas flutuações da densidade são resultados dos processos dinâmicos e eletrodinâmicos da ionosfera. As bolhas são flutuações da densidade de grande escala.

A figura 1 ilustra as camadas da atmosfera da terra normalmente definidas em função do perfil de temperatura, localizando a ionosfera.



**FIGURA 1** - Localização da ionosfera através da ilustração das camadas atmosféricas em relação a temperatura

## 2.2- REGIÕES DA IONOSFERA

A ionosfera, por conveniência de estudo, está dividida em diversas camadas e cada uma delas com suas propriedades características (vide figura).

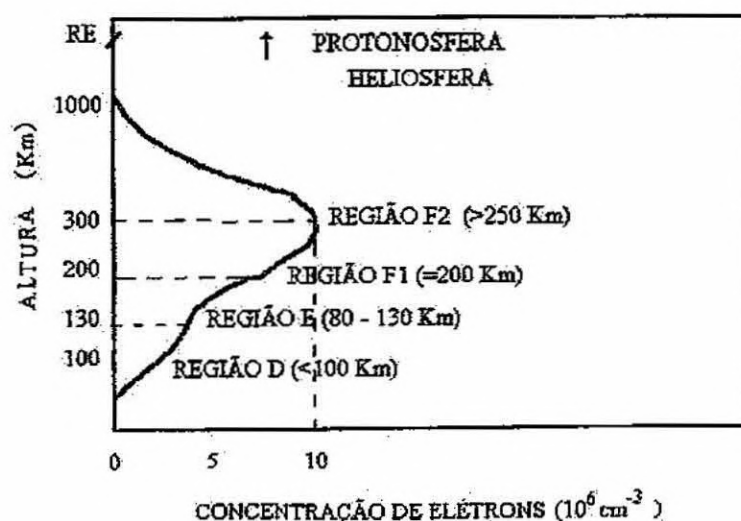
A região D, consiste na parte inferior da ionosfera, até cerca de 80 km. Devido à densidade atmosférica ser maior nesta região do que nas outras, a importância de colisões entre íons, elétrons, e partículas neutras é considerável.

A região E fica entre a região D e F, aproximadamente entre 80 e 130 km de altura. Esta região é importante pela presença de correntes elétricas que nela fluem e sua interação com o campo magnético.

A região F engloba as regiões superiores da ionosfera, inclusive o pico de densidade em torno de 300 km, com a região F1 em torno de 200 km e a região F2 acima. A região F1 é definida pela aparição esporádica de um

pequeno pico secundário na concentração eletrônica, ou de apenas uma inflexão na curva em torno de 180 km. A região F2 consiste de toda a região superior da ionosfera e é nessa região que se concentram os íons e elétrons da ionosfera.

Os estudos das regiões da ionosfera são interessantes por sustentar uma ampla área de fenômenos físicos. Muitos destes estudos tem como objetivo detectar e interpretar a variação de elétrons livres com a altura.



**FIGURA 2** – Nomenclatura e localização das camadas ionosféricas em função da densidade eletrônica

### 2.3- IRREGULARIDADES DA IONOSFERA

Devido a sua complexidade e variabilidade, a ionosfera necessita ser monitorada continuamente através de intensas atividades de medidas de modo a fornecer um quadro claro da dinâmica da região.

Com o advento dos satélites artificiais norte-americanos no início dos anos 60, como meio de comunicação, a ionosfera foi “substituída” pelos satélites de comunicação, os quais funcionam de forma muito mais eficiente pois recebem, amplificam e retransmitem em direção à Terra as ondas de rádio. As comunicações via satélite passaram então a ser feitas em frequências muito elevadas, da ordem de GHzertz ( $10^9$ ), em cujas frequências, as interferências ionosféricas deveriam ser desprezíveis. Entretanto, no início dos anos 70, para

a surpresa dos especialistas norte americanos, as comunicações via satélites sofreram altíssimas interferências ionosféricas na região equatorial.

Muitos pesquisadores consideram até hoje tal fenômeno como sendo a maior surpresa daquela década no campo de estudos da rádio propagação ionosférica. Inicialmente, tal interferência era inexplicável e representava um desafio para os cientistas. Descobriu-se depois, que tais interferências decorriam de fortíssimas irregularidades na distribuição de elétrons e íons no plasma ionosférico.

### **2.3.1- ELETROJATO EQUATORIAL**

A ionosfera como já se sabe possui grandes quantidades de cargas elétricas. O eletrojato equatorial é um sistema de correntes naturais das partículas carregadas que correm durante o dia numa faixa de latitude de aproximadamente 15° em torno do equador geomagnético, numa faixa de altura de 95-120 km (região E da ionosfera equatorial, na direção leste-oeste). Na região do eletrojato, o plasma ionosférico é altamente instável e irregularidades de plasma de vários tipos são gerados nesta região. Possui dimensões de dezenas de km na direção vertical e centenas de km na direção norte-sul.

Este fenômeno ocorre quando há o surgimento de "impulsos" dado aos íons pelos Ventos Neutros (Movimento Global das Partículas não Ionizadas). Diante deste fato pode-se afirmar que o eletrojato equatorial exhibe correntes elétricas.

Este fenômeno tem grande importância tanto para um entendimento da física da ionosfera, quanto para questões práticas de prospecção em **Geologia**, que utilizam o **campo magnético** como um parâmetro para estudos.

### **2.3.2- BOLHAS IONOSFÉRICAS**

Conhecidas na literatura científica como "Spread-F", as bolhas ionosféricas são regiões de baixa densidade de elétrons, que se estendem milhares de quilômetros ao longo do campo magnético terrestre, e centenas de quilômetros na direção leste-oeste.

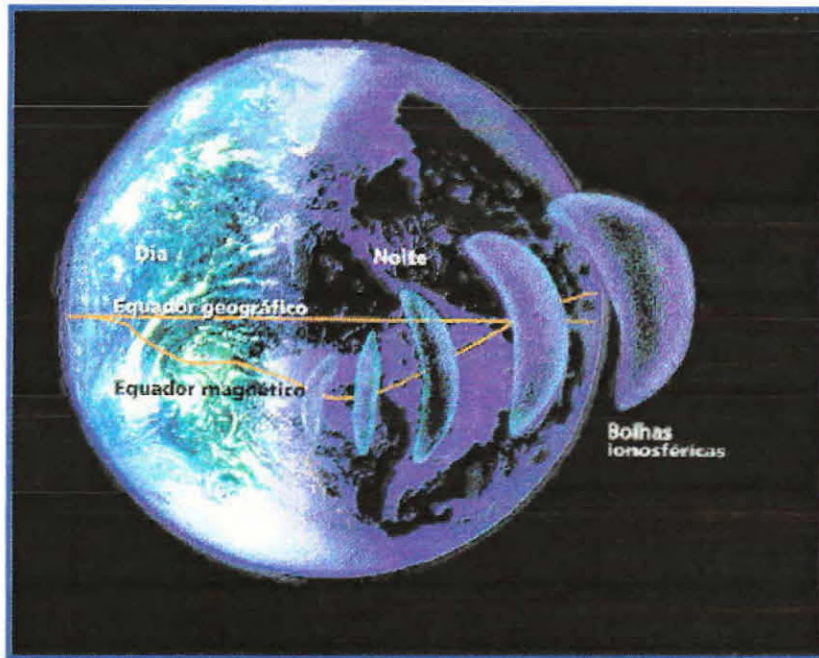


A geração das bolhas é atribuída à eletro-dinâmica da região-F da ionosfera. A instabilidade de Rayleigh-Taylor é um dos principais instabilidade conhecidas na física de Plasma, responsável pela geração das bolhas na base da região-F e pela sua subida e crescimento com altura, condições de plasma dentro das bolhas são geralmente favoráveis a geração de irregularidades de plasma de escala de alguns centímetros à dezenas de Km. Estas irregularidades são responsáveis para o fenômeno chamado de Spread-F, que é o aparecimento de traços de espalhamento nos ionogramas.

O Observatório Ótico da Divisão de Aeronomia do INPE, localizado em Cachoeira Paulista-SP, detectou pela primeira vez, utilizando técnicas óticas, a ocorrência das bolhas ionosféricas sobre o continente sul americano em 1976. Tais observações também foram as primeiras observações internacionais. Naquela época quase nada se conhecia cientificamente sobre o fenômeno.

Atualmente, já existem técnicas avançadas que permitem corrigir as distorções de fase e de amplitude que as bolhas causam nas ondas de rádio utilizadas nas telecomunicações via satélite.

A faixa de alta frequência assim como as faixas de frequências inferiores, entretanto, continuam sendo as mais afetadas pois tal correção é mais complexa. É possível também ocorrer tais interferências nos sinais recebidos por antenas parabólicas instaladas em residências causando desnecessários desentendimentos entre fornecedores e clientes de antenas parabólicas, dado que o problema geofísico pode ser interpretado como problema técnico.



**FIGURA 3 -Bolhas Ionosféricas**

## **2.4- EQUIPAMENTOS PARA COLETA DE DADOS**

Para monitorar continuamente a ionosfera é necessário descrever alguns equipamentos disponíveis para a obtenção dos dados, como:

- **POLARÍMETRO:** O equipamento recebe um sinal polarizado linearmente que atravessa as camadas ionosféricas e é transmitido por um satélite geoestacionário. A medida da fase e o ângulo de amplitude desse sinal permite o estudo da variação integral da densidade eletrônica das camadas, bem como das perturbações (variações irregulares da densidade) que causam o espalhamento do sinal enviado pelo satélite.
- **CARGA ÚTIL:** São sensores devidamente projetados acoplados aos foguetes com uma trajetória preestabelecida que quando expostos no Plasma Ionosféricas medem os campos elétricos e a densidade eletrônica in loco. Mais detalhes será descritos abaixo.

- **SATÉLITE:** Através de cargas úteis a bordo de satélites é possível efetuar sondagem do topo da ionosfera, vindo assim, completar as informações das digissonda já que estas mostram o perfil até a altura do pico.

- **IONOSSONDA:** É um dos instrumentos mais representativos para a medida de parâmetros ionosféricos. Trata-se de um sistema transmissor-receptor que emite pulsos de energia eletromagnética em frequência variável, em sequência, tipicamente de 1 a 5MHz. O sinal emitido, normalmente na vertical, é refletido pela ionosfera e em função do tempo decorrido entre a transmissão e recepção do pulso à frequência  $f$ , obtêm-se as chamadas curvas de  $h'(f)$  ou ionogramas.

- **DIGISSONDA:** Possui o mesmo princípio de funcionamento da ionossonda, mas é um equipamento digital mais moderno e preciso.

#### **2.4.1- CARGA ÚTIL**

Para se conceituar melhor sobre cargas úteis podemos dizer que são mecanismos (sensores) desenvolvidos para colherem dados específicos sobre determinadas ocorrências físicas, que tentam minimizar e melhorar os estudos da ionosfera e ainda que servem de suporte tecnológico para o desenvolvimento de satélites.

Seu funcionamento se dá com seus mecanismos acoplados aos foguetes que por sua vez possuem uma trajetória estabelecida com tempo determinado para a obtenção dos dados.

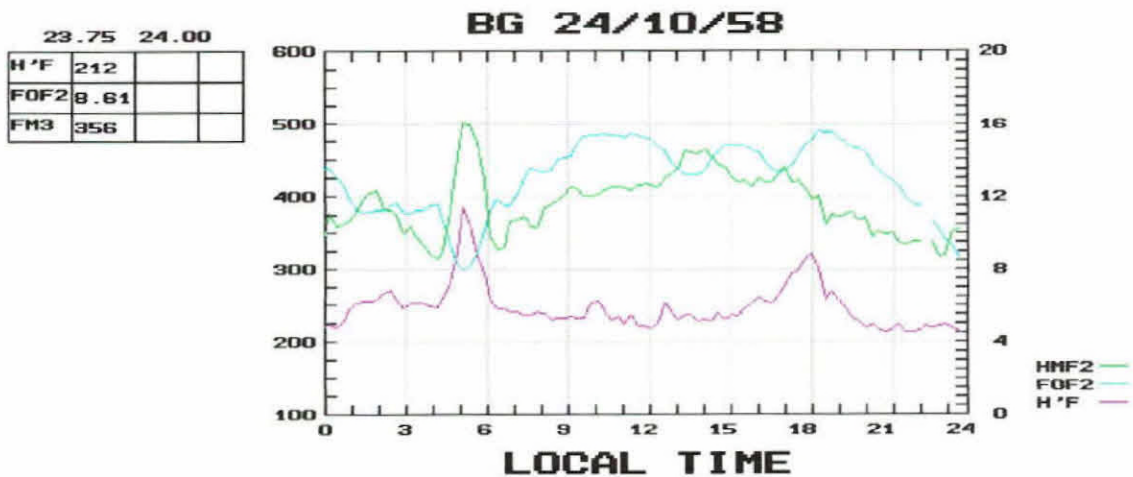
### 3- REDUÇÃO DE IONOGRAMAS

Dando continuidade ao trabalho anterior, foram reduzidos os dados coletados pelas estações de Porto Rico, Panamá, Talara, Chiclayo, Bogotá, Chimbote, La Paz, Tucuman e Concepcion.

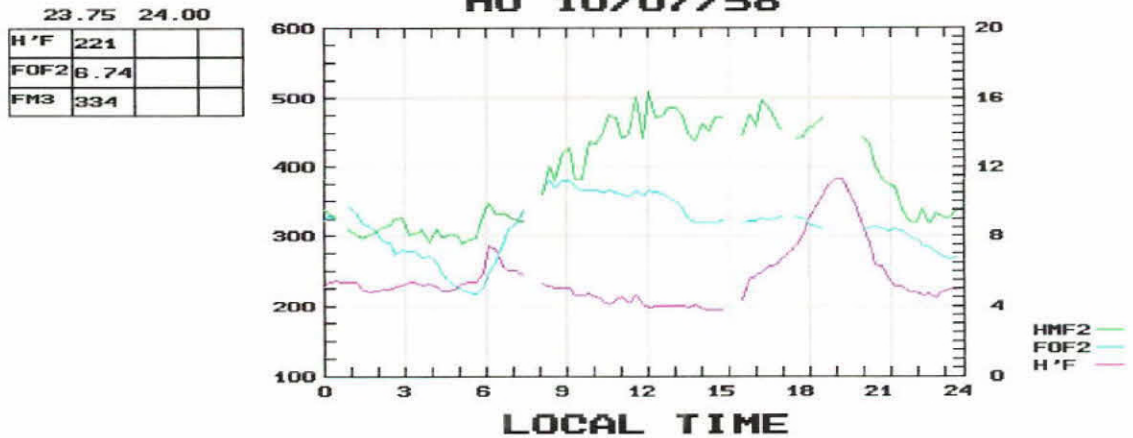
Estas estações são de médias e baixas latitudes. Os ionogramas são de 1958 e 1959 ( período de máxima atividade solar nos locais acima citados).

São reduzidos os seguintes parâmetros:

- $h'f$ : altura virtual mínima do traço extraordinário em toda região F;
- $f_o f_2$ : frequência crítica da onda ordinária da camada F2, a camada mais alta na região F;
- $fM3000$ : fator de MUF para um percurso de 3000 km, usando a camada F2.



**Figura 4-** Ionograma de Bogotá



**Figura 5-** Ionograma de Huncayo

Como se pode ver este trabalho é bastante demorado e como os ionogramas são do Data Center (EUA) e tem um prazo pré-determinado para ficar no Brasil, precisamos fazer cópias dos originais, isto gerou grande trabalho, pois foi preciso tirar parte do original e mandar via malote para serem copiados em Cachoeira Paulista; e quando retornados (cópia e original), estes eram conferidos e guardados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Kirchoff, V.W.J.H. Introdução à geofísica espacial. São Paulo: Nova Setella, EDUSP, 1991.
- Kelley, M.C. The Earth's ionosphere. San Diego: Academic Press, 1989.
- Lindzen, R. S.; Chapman, S. Atmospheric tides. Space Science Review, v. 10, n. 3, 1969.
- Abdu, M. A.; P. Muralikrishna and I. S. Batista, On the rocket induced wave disturbances in the daytime equatorial ionosphere, J. Geophys. Res. 93, 2758-2760, 1988.
- Abdu, M. A.; P. Muralikrishna and I. S. Batista, and J. H. A. Sobral, Rocket observation of equatorial plasma bubbles over Natal, Brasil using a High Frequency Capacitance probe, J. Geophys. Res. 96, 7689-7695, 1991.