

**ANGELO ANTONIO LEITHOLD**

**UM BREVE RESUMO DA ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL**

**CURITIBA, MAIO DE 1997 – AGOSTO DE 2009**

## 1.AMAS

A Anomalia Magnética do Atlântico Sul (Figura 1), **AMAS ou SAA** (do inglês, **South Atlantic Anomaly**) é uma região onde a parte mais interna do cinturão de Van Allen, tem a máxima aproximação com a superfície da Terra. O resultado é que para uma dada altitude, a intensidade de radiação é mais alta nesta região do que em qualquer outra, observar que na figura 1 existem diferentes tonalidades de azul, estas indicam uma menor "blindagem" propiciada pelo campo magnético da Terra [1]. Observações das variações do ruído de fundo em diversas frequências realizadas no município de Paula Freitas, Paraná, no Campus de Pesquisas Geofísicas Major Edsel de Freitas Coutinho, sugerem que o nível de ruído tem uma variação significativa na região da anomalia, presume-se que isto ocorre devido campo magnético menor que o esperado para a região. Trabalhos de pesquisas estão monitorando este nível de ruído e comparando-o com dados provenientes dos satélites GOES que medem as partículas cósmicas que chegam do Sol.

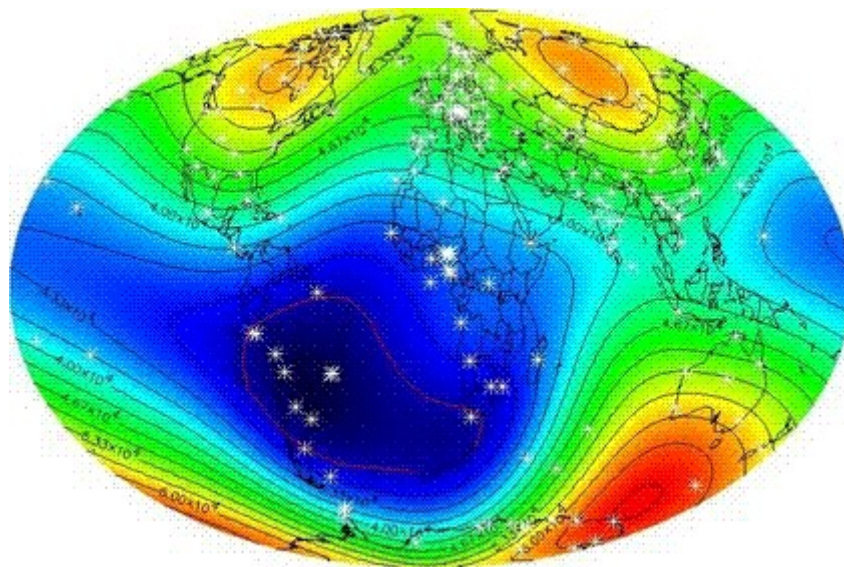


Figura 1: campo magnético da Terra (Cortesia NASA)

=> [Clique aqui para ver a animação](#) (Visualizar com o Realplayer)

A AMAS é produzida por um "mergulho" no campo magnético terrestre na região. Presume-se que é causada pelo fato do centro do campo estar deslocado em relação ao centro geográfico por 450 km aproximadamente [3]. Sabe-se que o campo magnético terrestre tem origem no núcleo externo da Terra onde interações geológicas do magma, composto de Ferro e Níquel, causam dois movimentos predominantes. O primeiro vertical, é provocado pelo gradiente de temperatura existente na camada do núcleo externo, fazendo a massa líquida subir e se resfriar, ocorrendo assim um adensamento, e por consequência a massa desce, gerando assim um movimento cíclico; o segundo, é um movimento horizontal, origina-se da rotação da Terra (força de Coriolis) apresentando movimentos cíclicos [6].

O sistema fluido compõe um conjunto de correntes térmicas no meio níquel-ferro (correntes de convecção térmicas) com uma tendência maior de giro no sentido de rotação da Terra, integrando uma corrente efetiva que dá origem ao campo magnético terrestre e sua magnetosfera.

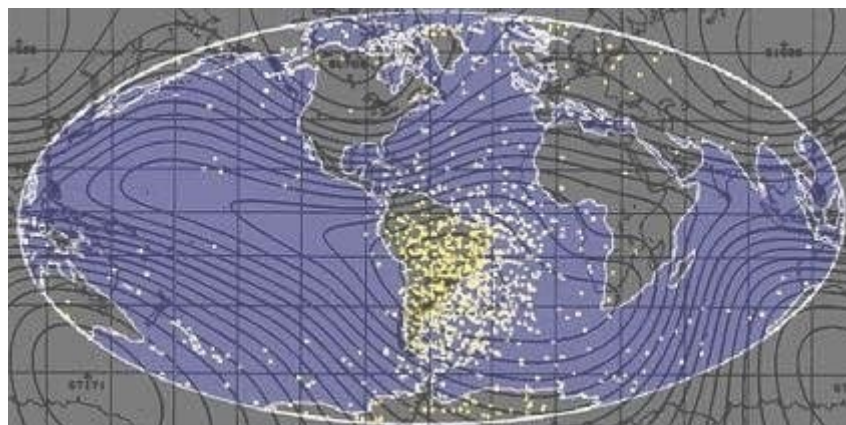


Figura 2: Locais onde espaçonaves em órbita sofreram danos (Cortesia NASA).

No caso da Ionosfera, composta basicamente pelas camadas D, E, F1 e F2, a variação diurna da altura da camada ionosférica "D", associada à Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul é menor [1]. A AMAS afeta satélites e outras espaçonaves com órbita a algumas centenas de quilômetros de altitude e com inclinações entre 35° e 60°. Nessas órbitas os satélites passam periodicamente pela região, "ficando expostos durante vários minutos às fortes radiações que ali existem.[1]". A "International Space Station", orbitando com inclinação de 51.6°, necessita de revestimento especial para suportar as fortes radiações oriundas do Sol, o Space Telescope Hubble tem limitadas as observações durante sua passagem sobre o Sul do Brasil. A AMAS sofre um deslocamento para oeste, sua velocidade é 0.3° por ano. A taxa de deslocamento é muito próxima da rotação diferencial entre o núcleo da Terra e sua superfície, estimada estar entre 0.3° e 0.5° por ano.

[DERIVA\\_AMAS\\_de\\_1600\\_até\\_2005\\_py5aal.320 kB .pdf](#) (Visualizar com o acrobat reader)

## 2. O Sol

O Sol é a estrela que domina o sistema planetário em que se encontra a Terra. A energia irradiada é aproveitada por seres fotosintéticos que constituem a base da cadeia alimentar, assim é a principal fonte de energia que mantém a vida. Os processos climáticos são afetados de forma significativa pelo Astro Rei [2].

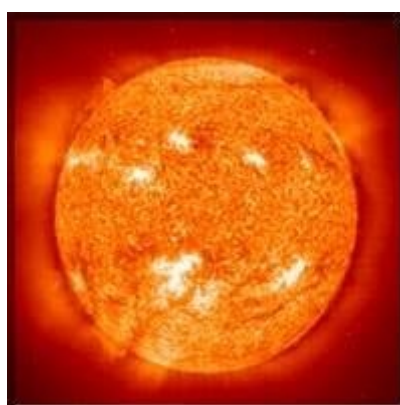


Figura 3: Sol (Fonte:NASA)

Sua idade gira em torno de 4,5 bilhões de anos, sua fase atual é denominada seqüência principal, cujo tipo espectral é "G2". Quase a metade de todo o combustível, o Hidrogênio, já foi

consumida, mas, presume-se, continuará brilhando por cerca de cinco bilhões de anos. A luminosidade do Sol então será cerca de duas vezes maior que a atual. Na Tabela 1, abaixo, estão demonstradas as principais características da estrela.

TABELA 1 – Principais Características do Sol.  
Fonte: NASA Goddard Laboratory for Atmospheres

Grandeza Física	Valor Aproximado
Massa	$M = 1,989 \times 10^{30}$ kg
Raio	$R = 6,96 \times 10^5$ km
Densidade média	$\rho = 1409$ kg/m <sup>3</sup>
Densidade central	$\rho_c = 1,6 \times 10^5$ kg/m <sup>3</sup>
Distância	1,02 - 0,98 UA, (1 UA = $1,496 \times 10^8$ km)
Luminosidade	$L = 3,9 \times 10^{26}$ watts = $3,9 \times 10^{33}$ ergs/s
Temperatura efetiva (corpo negro)	$T_{ef} = 5785$ K
Temperatura central	$T_c = 1 \times 10^7$ K
Composição química principal (Nº)	Hidrogênio = 91,2 %
Hidrogênio	92,1000%
Hélio	7,8000%
Oxigênio	0,0610%
Carbono	0,0300%
Nitrogênio	0,0084%
Néon	0,0076%
Ferro	0,0037%
Silício	0,0031%
Magnésio	0,0024%
Enxofre	0,0015%
Todos os restantes	0,0015%
Período rotacional no equador	25,67 d
na latitude 75º	33,40 d

Após o próximo período de 5 bilhões de anos, ocorrerão transformações que poderão resultar na destruição de todos os planetas do sistema solar e provavelmente na criação de uma nebulosa planetária ou uma anã branca conforme sugerido na figura 4.

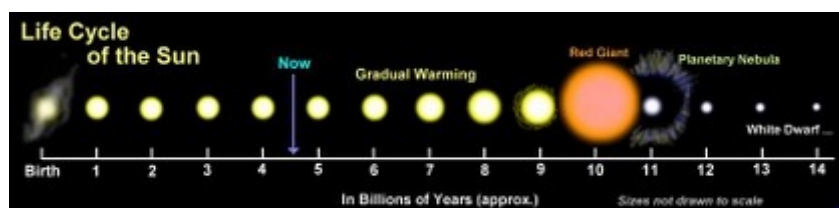


Figura 4: Ciclo de vida do Sol (Cortesia Tablizer [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Sun\\_Life.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ea/Sun_Life.png))

Basicamente o Astro Rei consiste numa esfera gasosa incandescente em cujo núcleo ocorre a geração energética através de reações termo - nucleares. Seu estudo serve de base para o conhecimento do Cosmo, seu brilho aparente é cerca de 200 bilhões de vezes maior do que o de Sírius, estrela mais brilhante do céu noturno [2].

## 2.1 Fotosfera

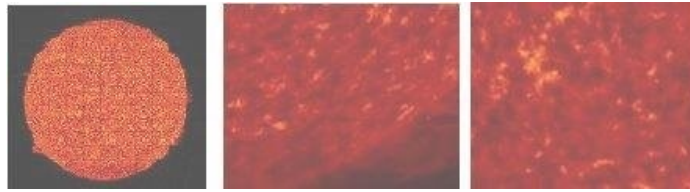


Figura 5: Fotosfera Solar (Fonte: NASA)

A fotosfera solar (Figura 5) tem a aparência de um líquido em ebulição com grânulos ou bolhas com aproximadamente 5.000 km de diâmetro, ao fenômeno se nomina “granulação fotosférica”. O período de duração dos grânulos, é de aproximadamente 10 minutos entre a formação e o escoamento, estes são as partes superiores de colunas de gás que sobem devida convecção. A “zona convectiva” está localizada abaixo da fotosfera e entre os grânulos existem regiões mais escuras, nestas, o gás é mais frio e mais denso, portanto se escoa para dentro, fechando assim as correntes de convecção.

## 2.2 Cromosfera

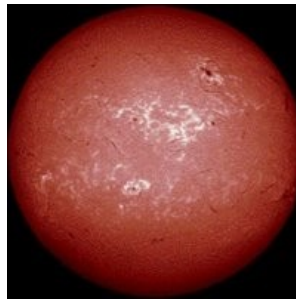


Figura 6: A Cromosfera Solar. (Fonte: NASA)

A cromosfera do Sol (Figura 6) normalmente não é visível, porque sua radiação é muito mais fraca do que a da fotosfera. Pode ser observada no entanto, durante os eclipses solares, quando a Lua esconde o disco solar. É uma região de transição entre a fotosfera e a coroa solar cuja temperatura varia de 4 mil Kelvin e 20 mil Kelvin. Na região são observadas algumas linhas espectrais de hidrogênio e de cálcio.

## 2.3 Coroa

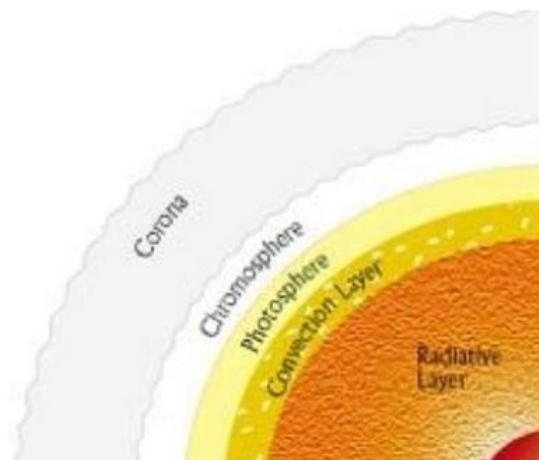


Figura 7: A Coroa Solar (Cortesia NASA)

É possível separar a coroa solar em três regiões:

- 1 - Coroa interna, cuja espessura é cerca de 1,3 raios solares a partir da cromosfera;
- 2 - Coroa intermediária, estende-se de 1,3 até 2,5 raios solares;
- 3 - Coroa externa, vai desde a coroa intermediária 2,5 até 24 raios solares.

A Coroa Solar (Figura 7) é a camada que abrange praticamente todo o Sistema Solar. Sua densidade de matéria diminui na medida em que se afasta do Sol, e é cerca de 10 milhões de vezes menor que a fotosfera. Não se pode enxergá-la em condições normais, isso ocorre porque a emissão de luz da região é cerca de um milhão de vezes menor que a luz emitida da fotosfera. Uma maneira prática de se verificar a sua existência, é durante as observações solares, quando ocorrem os eclipses totais. Existe outra forma de observá-la com um instrumento óptico chamado coronógrafo. Durante todo o movimento de translação a Terra está imersa na coroa solar, a radiação provinda do Sol atinge-a continuamente.

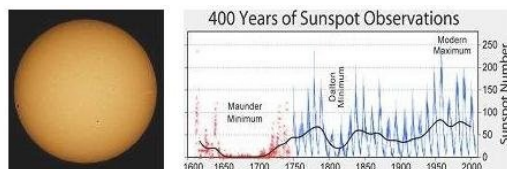
## 2.4 Zona de Irradiação

A Zona de Irradiação, é a região do Sol onde a energia se propaga em ondas eletromagnéticas e o lugar onde o meio atenua sua propagação, assim, quanto mais denso for o meio, mais a energia será atenuada.

## 2.5 Zona de Convecção

A chamada “Zona de Convecção” é a região do Sol em que a energia se propaga através de movimentos convectivos. Assim, a parte que está interagindo com a “Zona de Irradiação” se aquece diretamente, neste processo há uma redução de densidade da matéria aquecida, esta tende a subir para a superfície e a matéria que está na superfície tende a descer, entrando assim em contato com a “Zona de Irradiação”, aquecendo-se e repetindo o ciclo.

## 2.6 Manchas Solares



-Figura 8 a) - Mancha Solar (parte escura lado esquerdo próximo ao Equador solar) observada durante o trânsito de Mercúrio (Ponto negro quase ao centro, abaixo do equador solar) em 08 de novembro de 2006. Fonte: Mila Zinkova <http://home.comcast.net/~milazinkova/Fogshadow.html> Figura 8 b) - 400 anos de ciclos de manchas solares registradas.

Fonte: Robert A. Rohde - Global Warming, Art project

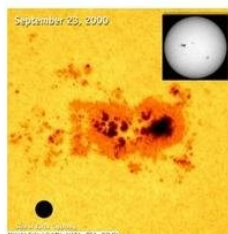


Figura 8 c) Mancha Solar e Comparação ao tamanho da Terra (Fonte: SOHO - NASA - ESA)

Mancha solar [2] é uma região onde ocorre uma redução de temperatura e pressão das massas gasosas no Sol (Figura 8 c), possuem intensos campos magnéticos, cerca de 1000 vezes mais intensos que a superfície solar normal, 0,1 T contra 10-4 T, quando de sua ocorrência, parcialmente bloqueiam a

energia transmitida para cima pelas células de convecção na região sub fotosférica, quanto maior suas quantidades, maiores são as alterações na ionosfera terrestre, assim, influi nas comunicações de rádio e condições climáticas do planeta, entre outros efeitos. Aparecem ciclicamente seus tamanhos variam de poucos milhares de quilômetros até centenas de milhares de quilômetros. São regiões mais frias (cerca de 2000 K) e mais escuras em contraste com a fotosfera solar circunvizinha. Emitem menos energia do que a fotosfera em geral, são geradas por campos magnéticos toroidais que são trazidos à superfície solar, por efeito de empuxo. As manchas solares vem sendo monitoradas desde 1610, são os sinais de atividade solar mais antigos observados por estudiosos e estão presentes por quase todo o tempo. Não surgem de forma aleatória em qualquer ponto da superfície do Sol, normalmente aparecem primeiro nas latitudes médias, acima e abaixo do equador. As manchas podem surgir isoladas ou em grupos, o campo magnético associado é bem mais intenso no período conhecido como ciclo solar (de onze anos). O seu tamanho é bem diversificado, geralmente maiores que o nosso planeta. São medidas 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 registrada foi em 1947, com 6.132 milionésimos - quase 1/7 do disco solar. À medida que a atividade solar vai aumentando, vai aumentando a sua ocorrência e esta se desloca em direção ao equador solar, até formar o chamado “diagrama de borboleta” [2].

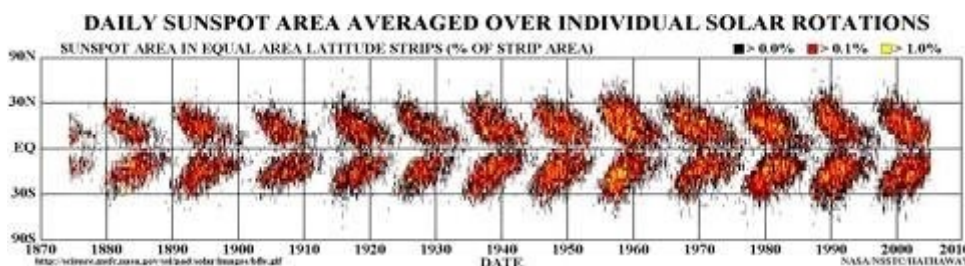


Figura 9: Diagrama da Borboleta (Cortesia: NASA)

## 2.7 Campo magnético do Sol

Para se detectar o campo magnético solar, é necessária a utilização de um instrumento chamado “espectrógrafo de alta dispersão”, este aparelho possibilita a observação de linhas duplas triplas de emissões espectrais produzidas nas proximidades das manchas solares. Assim, se pode notar que no lugar de uma linha espectral com certo comprimento de onda, aparece uma linha à direita e outra à esquerda daquela que era esperada. Ao fenômeno de duplicação de linhas de campo é dado o nome de “efeito Zeeman”, e este ocorre quando a fonte emissora de luz está submetida a um forte campo magnético. Assim, presumindo-se que a fonte emissora é a mancha solar, foi possível calcular que o campo nessa região está em torno de 5.10-8 nT, e que o campo magnético geral, produzido pelo Sol é da ordem de 1 a 2.10-13 nT, também se observou que está orientado no sentido norte – sul. Outro fato interessante, é que nas regiões onde se medem campos magnéticos intensos (10-8 nT), sua orientação se dá na direção leste-oeste. A explicação seria que o estado de plasma da matéria Solar, ofereceria uma baixa resistência à corrente elétrica, isso faria a estrela se comportar como um indutor elétrico. Outra possibilidade seria que as linhas de força do campo magnético estariam confinadas no plasma, e se comportariam como se as partículas que compõem o plasma acompanhariam o fluxo de matéria. Assim, a rotação diferenciada acabaria deformando as linhas como se fossem fitas a girar. As linhas de campo magnético provavelmente sofrem um processo de condensação, até assumir uma forma espiralada. As espirais através de todos os meridianos e todas as direções seguiriam a rotação leste-oeste. Esse efeito explicaria a chamada “saia de bailarina”.

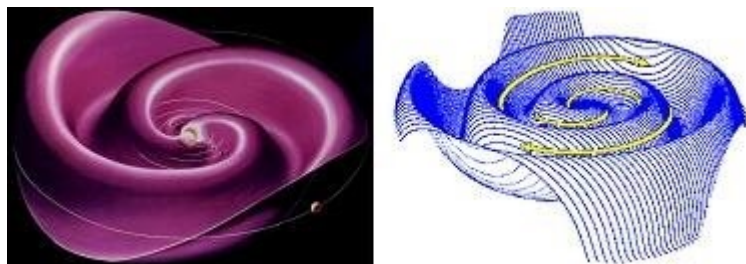


Figura 10: Saia da Bailarina (Fonte: NASA)

A concentração das linhas de campo equivale a uma maior intensidade dos campos magnéticos em relação à sua situação inicial, e como a rotação não é uniforme cada espiral pode ser esticada até formar uma espécie de laço. De tempos em tempos os laços se rompem e afloram para a superfície. Assim se formam as manchas solares.

### 2.7.1 Radiação Solar

A radiação pode ser definida como a propagação da energia por meio de partículas ou ondas e pode ser identificada da seguinte forma:

- Pelo elemento condutor de energia:
  - Radiação corpuscular - partículas (prótons, nêutrons, etc.);
  - Radiação eletromagnética – fótons;
  - Radiação gravitacional - grávitons.
- Pela fonte de radiação:
  - Radiação de Cerenkov - causada por partículas com a velocidade superior a da luz no meio;
  - Radiação solar - causada pelo Sol;
  - Radioatividade - núcleos instáveis.
- Pelos seus efeitos:
  - Radiação ionizante - capaz de ionizar moléculas; e
  - Radiação não ionizante - incapaz de ionizar moléculas.

Também se podem citar a constante solar e a irradiação. A primeira é a quantidade de energia recebida no alto da atmosfera da terra perpendicularmente orientada em relação aos raios solares, esta é em torno de 1.368 W/m<sup>2</sup>, este valor é proveniente de uma média anual medida em órbita da Terra. A irradiação pode ser definida como a quantidade incidente de energia eletromagnética numa superfície por unidade de tempo, e por unidade de área. Antigamente se nominava “fluxo solar”. Ao mensurá-la (em órbita), se tem uma medida de energia eletromagnética incidente numa superfície perpendicular à radiação provinda do Sol na atmosfera da terra.

### 2.8 O Vento solar



Figura 11: Chegada do vento solar à Magnetosfera da Terra. Note-se que o Campo magnético da Terra tem um "formato de cauda de cometa" devida interação vento solar-magnetosfera.(Fonte: ESA)

Como a Massa Coronal Ejetada interage com a Terra e a reconexão => [Clique aqui](#) (Atenção 12 Mb Movie, visualizar com Realplayer)

O vento solar é a emissão contínua de partículas carregadas provenientes da coroa solar. Essas partículas podem ser elétrons e prótons além de sub-partículas, neutrinos, por exemplo. Próximo da Terra a velocidade das partículas é em torno de 400 km/s no equador a 800 km/s nos pólos, sua densidade gira em torno de 10 partículas por centímetro cúbico. As variações na coroa solar devida rotação do Sol e



sua atividade magnética tornam o vento solar variável e instável, exercendo influência nos gases ao redor da estrela e planetas próximos a ela. As caudas cometárias, por exemplo, tem sua orientação conduzida pela sua direção que também influi nos campos magnéticos planetários, pois defletem as partículas, impedindo-as de chegar às superfícies dos planetas. A deflexão das partículas do vento solar varia conforme o campo magnético do planeta: quanto maior a intensidade magnética, tanto maior o desvio.

### 3. A Terra

Terceiro planeta do Sistema Solar considerando a distância do Sol, e quinto dos planetas segundo seu tamanho, a Terra é o único que se conhece existir vida. Presume-se ter a mesma idade do Sol e Sistema Solar, (4,570 bilhões de anos). Devida rotação não tem uma forma esférica perfeita, a região dos pólos achatada, lhe propicia uma forma elipsoidal. Na sua forma real chamamo-la "Geóide", pelo fato de ser irregular e ondulada.



Figura 12: A Terra, (Fonte: NASA/Google Earth)

Internamente, a Terra, da mesma forma que demais planetas "terrestriais", é dividida através de critérios químicos e físicos. Se pode dizer formada por uma camada externa chamada crosta, praticamente composta de silício, a seguir possui um manto de alta viscosidade, e mais internamente um núcleo sólido envolvido por uma pequena camada líquida que dá origem a um intenso campo magnético devida convecção do material eletricamente condutor. Quando ocorrem erupções vulcânicas, se pode, através da análise do material ejetado, verificar as condições internas do planeta. A superfície tem a idade aproximada de 100 milhões de anos; as partes mais velhas da crosta terrestre têm até 4,4 bilhões de anos [10], [11].

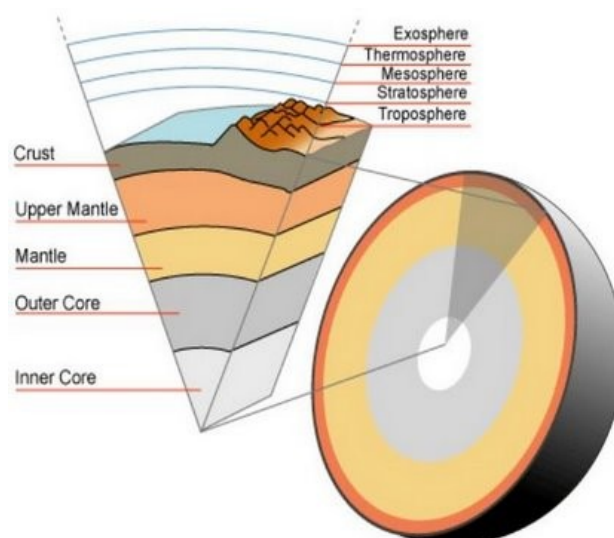


Figura 13: As camadas internas da Terra e da atmosfera da Terra (Fonte:<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/07/Earth-crust-cutaway-english.png>)

Camadas internas:

- \* Litosfera (de 0 a 60,2km)
- \* Crosta (de 0 a 30/35 km)
- \* Manto (de 60 a 2900 km)
- \* Astenosfera (de 100 a 700 km)
- \* Núcleo externo (líquido - de 2900 a 5100 km)
- \* Núcleo interno (sólido - além de 5100 km)

Composição química:

- \* 34,6% de Ferro
- \* 29,5% de Oxigênio
- \* 15,2% de Silício
- \* 12,7% de Magnésio
- \* 2,4% de Níquel
- \* 1,9% de Enxofre
- \* 0,05% de Titânio

Tabela 2: Características da Terra (Fonte: ESA)

Características orbitais		Características físicas	
Raio orbital Médio	149.597.870,691 km	Diâmetro equatorial	12.756,27249 km
Periélio	0,983 UA	Área da superfície	5,10072×10 <sup>8</sup> km <sup>2</sup>
Afélio	1,017 UA	Massa	5,9742×10 <sup>24</sup> kg
Excentricidade	0,01671022	Densidade média	5,515 g/cm <sup>3</sup>
Período orbital	365 dias, 6 horas e 9 minutos 9,548 segundos (sideral)	Aceleração gravitacional à superfície	9,8062 m/s <sup>2</sup> (lat. 45°, alt. 0)
Velocidade orbital média	29,7847 km/s	Velocidade de escape	11,18 km/s
Inclinação	0,00005°	Período de rotação	23h 56m e 4,09966s (sideral)
Satélites naturais	1 (a Lua)	Inclinação axial	23,45°
Satélite natural do	Sol	Albedo	37-39%
Características atmosféricas		Temperatura à superfície	min méd máx 184 K 282 K 333 K
Pressão atmosférica	101,325 kPa		
Nitrogênio	78%		
Oxigênio	21%		
Argônio	1%		
Dióxido de carbono Vapor de água	vestígios		

TABELA 2 : CARACTERÍSTICAS  
GERAIS DA TERRA

### 3.1 Interior

A temperatura no interior da Terra é em torno de 5.270 K. Presume-se que seu calor interno provém da sua formação e o adicional gerado pelo decaimento de elementos radioativos como urânio, tório, e potássio. É o planeta que possui a maior massa específica média do Sistema Solar, cerca de 5.515 quilogramas por metro cúbico. Contudo não é superior à 3.000 quilogramas por metro cúbico à superfície, assim, conclui-se que materiais mais densos devam existir em maiores profundidades, cuja densidade é cerca de 8.000 quilogramas por metro cúbico [10]. Inicialmente formada por materiais líquidos ou pastosos, e devida ação gravitacional, a matéria mais densa está contida no interior da Terra, e, os materiais menos densos na superfície. Assim, o núcleo se compõe de 80% de ferro, o níquel e o silício, materiais também abundantes, estão mais acima. O chumbo e o urânio, presume-se, acabaram por permanecer na crosta devida sua escassez. É sabido que o estado físico de muitos materiais é dependente não só da temperatura mas da pressão, desta forma, o manto terrestre em determinada profundidade é sólido, se liquefazendo no momento em que ocorre um alívio de pressão devida alguma ruptura na crosta. Assim o material silicático do manto se liquefaz, e passa a ser chamado de "magma", este, ao se solidificar, forma a chamada rocha ígnea plutônica ou intrusiva. Ao acontecer fissuras na crosta, ocorre o extravasamento do magma para a superfície. Assim, ao entrar em contacto com a atmosfera e/ou hidrosfera, passa a ser chamado "lava", se líquido. Após esfriar, o material se transforma em rocha "ígnea vulcânica" ou extrusiva.

Acredita-se, que o centro da Terra seja formado por ferro envolto de uma camada sólida de ferro e níquel com raio de aproximadamente 1.250 km [10], sendo este envolvido por um núcleo líquido, cuja composição seria ferro líquido e níquel líquido. Assim, a matéria interior é sólida, e os elementos líquidos metálicos se movimentam, a convecção do núcleo líquido, associada ao movimento de rotação, gera o campo magnético por um processo chamado "teoria do dínamo" [3], [10], [11], desta forma, são geradas correntes elétricas e o campo magnético da Terra [3]. Sabe-se porém, que o núcleo sólido possui altas temperaturas que não permitiriam a formação de um campo magnético elevado, porém, este faria estabilizar o campo magnético gerado pelo núcleo líquido. Entre o manto e o núcleo existem zonas intermediárias de separação, nominadas "descontinuidades", a descontinuidade de Mohorovicic é a mais conhecida.

### 3.2 O Manto e a Crosta da Terra

A partir de 30 km até 2.900 km de profundidade se estende o Manto Terrestre. A pressão nesta região chega até aproximadamente 1,4 milhões de atmosferas. A sua composição é em grande parte de ferro e magnésio. Devidas altas pressões, tem características sólidas e viscosas ao mesmo tempo, mas com escoamento semelhante a um líquido, isso ocorre devida alta densidade. O motivo da solidez do núcleo interno é a compactação propiciada pela alta temperatura e pressão que faz a força de repulsão entre os átomos ser vencida pela pressão e alta densidade do meio. A viscosidade da astenosfera gira em torno 10<sup>21</sup> a 10<sup>24</sup> pascais segundo. O manto superior desloca-se vagarosamente suas temperaturas variam entre 100° C na "junção" com a crosta até cerca de 3.500° C na região do núcleo [10].

A crosta Terrestre forma a maior parte da litosfera, sua extensão é variável de acordo com a posição geográfica. Nalguns lugares chega atingir cerca de 70 km de profundidade, contudo, presume-se que a média é cerca de 30 km, cuja composição provável, é silicato de alumínio, esta é a razão pela qual se nomina "Sial". Está dividida em doze tipos, contudo dois são os principais, ou, a "crosta oceânica" e "crosta continental". São diferentes em diversos aspectos, a oceânica, devido processo de expansão do fundo rochoso oceânico e da subducção de placas, é relativamente jovem, cuja datação mais antiga é cerca de 160 Ma (milhões de anos), no oeste do pacífico. Tem composição basáltica coberta por sedimentos pelágicos, possui cerca de 7 km de espessura [11].

A crosta continental, composta de rochas félsicas a ultramáficas, de composição média granodiorítica, tem espessura variável entre 30 e 40km estáveis (crátons) nas regiões tectônicas estáveis, contudo, é sabido que nos Himalaias e Andes, cadeias montanhosas instáveis, tem espessuras variando entre 60 a 80km. Presume-se que as rochas mais antigas, em termos de idade, giram em torno 3,96 Ma, mas, existem ainda rochas em formação. Na região fronteira A fronteira entre manto e crosta envolve dois eventos físicos distintos. O primeiro é a descontinuidade de Mohorovicic (ou Moho) que ocorre em virtude da diferença de composição entre camadas rochosas (a superior contendo feldspato triclinico e a inferior, sem o mesmo). O segundo evento é uma descontinuidade química que foi observada a partir da obdução de partes da crosta oceânica [11].

## 4. Interação Terra – Sol

A observação solar em todos os comprimentos de onda pode ser considerada de fundamental importância para a compreensão do Cosmos. Pode-se afirmar que sua compreensão é o primeiro passo em direção ao conhecimento do Espaço. O Sol é, e sempre será, laboratório para a obtenção “in situ” dos fenômenos da física espacial. Emissões nos mais diversos comprimentos de onda, desde radiação até partículas lançadas e trazidas pelo vento solar atingem a Terra e demais corpos do Sistema Solar. As radiações e Massa Coronal Ejetada (CME) provindas do Sol causam impactos dos mais diversos na Terra, podendo gerar desde tempestades magnéticas até alterações significativas no nível de eletrização da atmosfera e da ionosfera. No caso das tempestades magnéticas, foram criados índices geomagnéticos [10], [11].

### 4.1 Índices Geomagnéticos

Os índices geomagnéticos são medidas cuja finalidade é fornecer informações sobre o nível de atividade geomagnética. Têm grande importância na pesquisa da interação Terra-Sol na área da física magnetosférica, geomagnetismo, climatologia, telecomunicações, etc. Os mais utilizados são o “índice Kp” e o “índice Ap”; “Dst e “AE”. O Kp estima a entrada global de energia na magnetosfera, é chamado índice planetário, o Dst, e o AE, medem a corrente de anel e o eletrojato auroral, respectivamente.

A atividade solar, representada pelas explosões, pelos ventos entre outros eventos que ocorrem no Sol, causa diversas alterações na Terra e Sistema Solar. Alguns efeitos dignos de nota são: a variabilidade climática, as tempestades, as variações ionosféricas, geomagnéticas, além da modulação dos raios cósmicos entre outros que também seguem as periodicidades do nosso Astro Rei. A chamada conexão Terra-Sol é estreita e complexa, sua causa e efeitos são estudados e mapeados para posterior entendimento dos processos que ocorrem no ambiente espacial que interconecta o nosso Planeta à sua Estrela.

Entre os processos utilizados na compilação de dados, estão técnicas de sensoriamento das mais diversas. Através destas, podemos obter informações dos objetos que compõem a superfície solar e ambiente espacial (Manchas, chamadas, a ejeção de massa coronal, etc). Desta forma, temos o chamado "fluxo solar", que é mapeado através da recepção direta dos "sinais" emitidos pelo Sol em 2,8 Ghz, e compilado de forma a fornecer um dos diversos índices solares. Estes, fornecem dados, que interpretados adequadamente, nos dão com relativa precisão as condições planetárias de uma forma geral, desde a propagação eletromagnética até a quantificação da eletricidade atmosférica e condições ionosféricas.

A propagação das ondas eletromagnéticas na Terra, está intimamente ligada às condições solares, ou seja, à atividade do Sol de uma forma geral, em especial ao número de manchas solares, cujas áreas ao seu redor emitem grandes quantidades de radiações ionizantes. Entre estas estão a radiação ultravioleta em todas as gamas de frequência, também os raios X, em especial as radiações Lyman-alfa, e outras dos mais diversos comprimentos de onda, além de íons e partículas ejetadas e aceleradas em altíssimas velocidades trazidas pelo vento solar. Desta forma, se torna necessário compreender os processos físicos básicos envolvidos na determinação do clima espacial, de maneira que se permita criar modelos e fazer previsões do ambiente Terra-Sol, e, por consequência, a determinação não somente das condições de propagação de ondas eletromagnéticas, mas de todo um sistema interativo [10], [11]. A quantidade de manchas solares pode ser considerada determinante das condições ionosféricas e eletromagnéticas a nível mundial. É sabido que em épocas de maior atividade solar, a radiação e partículas diversas são lançadas ao espaço e chegam na ionosfera terrestre interagindo e influenciando em todo o sistema atmosférico e iônico. As ondas de rádio ao se propagar através da atmosfera terrestre, acabam refletindo e/ou refratando nas partículas ionizadas que formam verdadeiras nuvens, melhorando, ou piorando assim a propagação de rádio frequência. O número de manchas é calculado por amostragem observada na superfície solar visível, levando-se em consideração também a sua área. Para termos uma leitura precisa em tempo real das condições solares, atualmente existem gráficos publicados na Internet, nos mais diversos sites que oferecem estes serviços, em especial pode-se consultar o endereço: <http://www.sec.noaa.gov/today.html>.

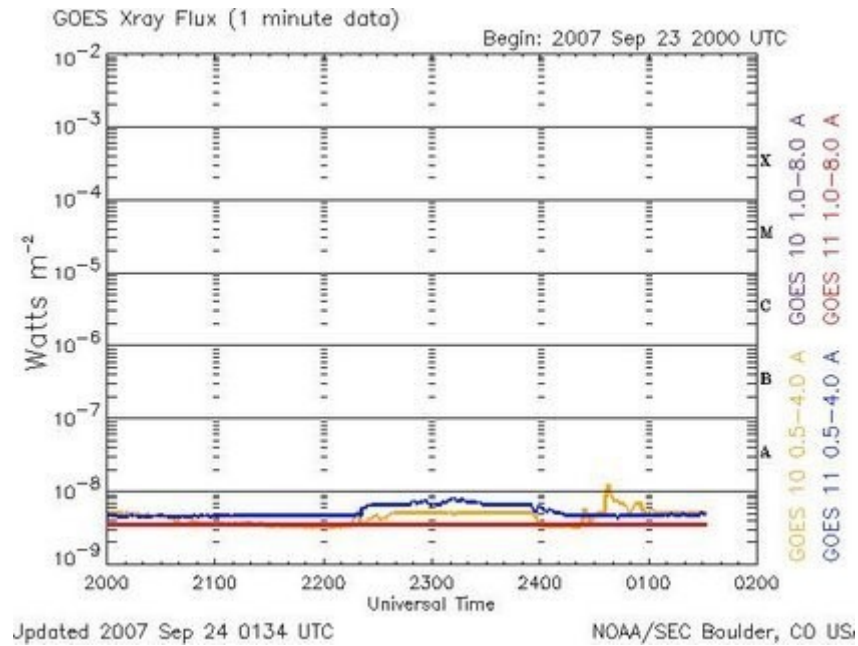


Figura 14: Índices Solares (Fonte: NOAA)

Os dados são compilados por observações que incluem a monitoração do fluxo solar na faixa de comprimento de onda de 10,7 cm (2,8 Ghz), que forma os índices Boulder A e Boulder K . O fluxo solar em 10,7 cm é a medida da radiação térmica que contribui no processo de ionização. Este é lido em muitos quadrantes da terra. Um exemplo é Penticton, Columbia Britânica. Para obter as condições em tempo real, é utilizada uma antena apontada diretamente para o Sol, conectada a um receptor sintonizado em 2,8 Ghz. Em 12 meses de observação e compilação de dados, se obtém a média de manchas solares que é chamada de número plano de spots (SSN) . Este número é conhecido como SFI ( Solar Flux Index).

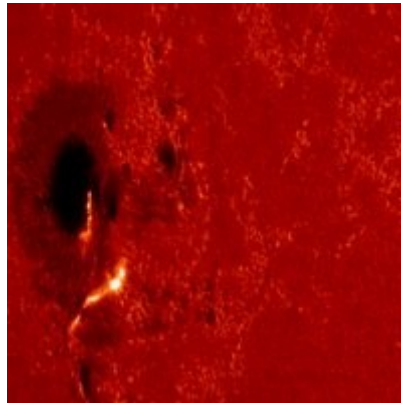


Figura 15: Solar Flare (Fonte: NOAA)

Outros tipos de atividades solares interessantes são os "Solar FLARES" ( dilatação solar ) e os "Solar Holes" ( buracos solares ) , estes podem emitir alta energia em prótons e raios X causando assim significativo aumento na velocidade do vento solar. Os prótons podem causar o fenômeno do aparecimento da coroa polar e eventos de absorção em altas latitudes. Os raios-X podem causar black-out no lado diurno da terra devido aumento da absorção eletromagnética na região D. O aumento da velocidade do vento solar pode resultar em tempestades geomagnéticas que geralmente tendem a piorar os números MUF ( Máxima Frequência Utilizável ) degenerando assim as comunicações em Ondas Curtas em todo globo terrestre. O índice Boulder A é a média quantitativa da medida da atividade geomagnética derivada de uma série de medidas físicas, é por natureza linear e tem uma escala entre 0 e

400, é de sua compilação nas últimas 24 horas que é derivado do índice K das últimas 3 horas gravado em Boulder no estado do Colorado, Estados Unidos. O índice K é logarítmico e tem uma escala de 0 a 9, é o resultado das medidas das últimas 3 horas magnetométricas medidas, comparadas com o campo geomagnético orientado e sua intensidade que são obtidos sob condições geomagnéticas calmas. A atividade geomagnética, ou, tempestades solares, raios - X, Flares ( dilatações solares ) podem causar uma reação adversa na propagação de ondas eletromagnéticas na Terra. O índice A nos mostra a estabilidade geomagnética. Magnetômetros em diversos pontos do planeta são usados para gerar o número chamado "Índice Planetário K". Quando lido abaixo de 3, geralmente indica na média, estáveis e boas condições de propagação eletromagnética. Qualquer número acima de 3 indica absorção nas ondas de rádio. A cada ponto mudado, reflete-se significantes mudanças nas condições. Geralmente as medidas mais elevadas são encontradas nas altas latitudes do globo terrestre. Quando se obtém uma leitura de valores altos de A e K, estes podem ser devidos efeitos de instabilidade geomagnética que tendem a ser mais concentradas nas regiões polares. Em geral, para longa distância, a regra para manuseio será sempre: mais alto SFI e os mais baixos números A e K nos darão as melhores condições em altas frequências. O índice A deverá preferencialmente estar abaixo de 14, e a atividade solar baixa ou moderada. Se o índice A declina abaixo de 7 por alguns dias, e o SFI (Solar Flux Index) é alto, haverá melhora na propagação intercontinental. Pode-se escutar o SFI e os índices A e K na WWV aos 45 minutos de cada hora, nas frequências de 5, 10 e 15 MHz. Ou observar nos sites específicos da internet. Para gráficos a cada 5 minutos, na internet <http://www.sec.noaa.gov/today.html>

## 5. Atmosfera da Terra

A atmosfera é fina camada presa a Terra pela força da gravidade. Segundo Barry e Chorley, sua composição e estrutura vertical possibilitaram o desenvolvimento da vida. Não existe um limite definido entre o espaço exterior e a atmosfera, presume-se que esta tenha cerca de mil quilômetros de espessura, 99% da densidade está concentrada nas camadas mais inferiores, cerca 75% está numa faixa de 11 km da superfície, à medida em que se vai subindo, o ar vai se tornando cada vez mais rarefeito perdendo sua homogeneidade e composição. O estudo da evolução térmica segundo a altitude revelou a existência de diversas camadas superpostas, caracterizadas por comportamentos distintos. Como sua densidade vai diminuindo gradualmente com o aumento da altitude, os efeitos que a pressão atmosférica exerce também diminuem na mesma proporção. A temperatura varia entre camadas em altitudes diferentes, portanto, a relação matemática entre temperatura e altitude também varia, sendo uma das bases da classificação das diferentes camadas. A estrutura atmosférica está dividida em três camadas relativamente quentes, separadas por duas camadas relativamente frias. Os contatos entre essas camadas são áreas de descontinuidade, e recebem o sufixo "pausa", após o nome da camada subjacente [4], [5].



Figura 16: Atmosfera da Terra. (Cortesia NASA)

A Troposfera é a camada que se estende da superfície do planeta até a base da estratosfera (0 - 7/17 km). Esta camada responde por oitenta por cento do peso. A sua espessura média é de aproximadamente 12km, atingindo até 17km nos trópicos e reduzindo-se para em torno de sete quilômetros nos pólos. Acima da troposfera temos a tropopausa, situada a uma altura média em torno de 17km no equador. A distância da Tropopausa em relação ao solo varia conforme as condições climáticas da troposfera, da temperatura do ar, a latitude entre outros fatores. Se existe na troposfera uma agitação climática com muitas correntes de convecção, a tropopausa tende a subir. Isto se deve por causa do aumento do volume do ar na troposfera, este aumentando, aquela aumentará, por consequência, empurrará a tropopausa para cima. A estratosfera cuja temperatura aumenta com a altitude se caracteriza pelos movimentos de ar em sentido horizontal está acima da Tropopausa, fica situada entre 7 e 17 até 50 km de altitude aproximadamente, sendo a segunda camada da atmosfera, a temperatura aumenta à medida que aumenta a altura. Apresenta pequena concentração de vapor d'água e temperatura constante até a região limítrofe, denominada estratopausa. É nesta camada que existe a camada de ozônio e onde começa a difusão da luz solar (que origina o azul do céu). É próximo a estratopausa que a maior parte do ozônio da atmosfera situa-se. Isto é em torno de 22 quilômetros acima da superfície, na parte superior da estratosfera. Na mesosfera a temperatura diminui com a altitude, esta é a camada atmosférica onde há uma substancial queda de temperatura chegando até a  $-90^{\circ}$  C em seu topo, está situada entre a estratopausa em sua parte inferior e mesopausa em sua parte superior, entre 50 a 85 km de altitude. É na mesosfera que ocorre o fenômeno da aeroluminescência das emissões da hidroxila e é nela que se dá a combustão dos meteoróides. A mesopausa é a região da atmosfera que determina o limite entre uma atmosfera com massa molecular constante de outra onde predomina a difusão molecular. Na termosfera (80/85 - 640+ km) a temperatura aumenta com a altitude e está localizada acima da mesopausa, sua temperatura aumenta com a altitude rápida e monotonicamente até onde a densidade das moléculas é tão pequena e se movem em trajetórias aleatórias tal, que raramente se chocam .

## 5.1 Ionosfera

A ionosfera se localiza entre sessenta e aproximadamente quatrocentos quilômetros de altitude, é composta de íons, plasma ionosférico, e, devida sua composição, reflete ondas de rádio até aproximadamente 30 MHz. Seu maior agente de ionização é o Sol, cuja radiação nas bandas de raios-X, e ultravioleta, insere grandes quantidades de elétrons livres em seu meio. Os meteoritos e raios cósmicos também são responsáveis pela presença secundária de íons na região, e a densidade de elétrons livres é variável de acordo com a hora do dia, estação do ano, e variações da composição química da alta atmosfera. A cada 11 anos, obedecendo ao ciclo das manchas solares, a densidade de elétrons e a composição da ionosfera sofrem mudanças radicais, podendo inclusive bloquear totalmente as comunicações [1] , [2].

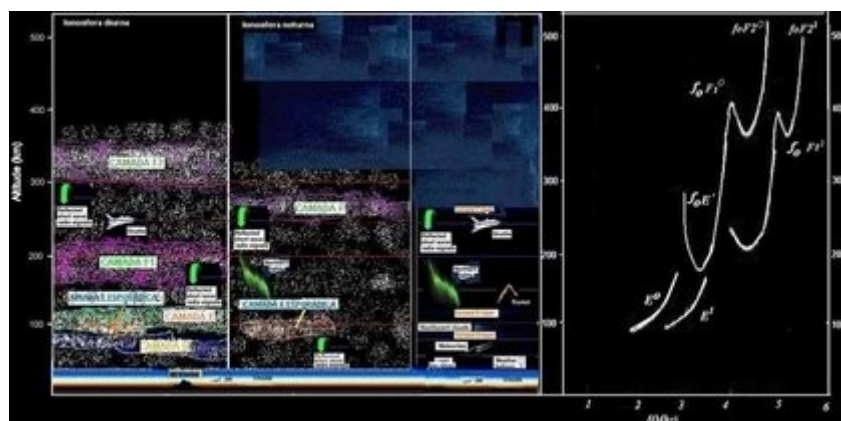


Figura 17: Ionosfera e atmosfera e a ionosfera. À direita um ionograma (Crédito Angeloleithold: [http://br.geocities.com/atmosfera\\_ionosfera/IonogramLayerIonosphere\\_py5aal\\_angeloleithold.jpg](http://br.geocities.com/atmosfera_ionosfera/IonogramLayerIonosphere_py5aal_angeloleithold.jpg)).

A partir dos cem quilômetros de altitude os gases estratificam-se. Por exemplo os gases, O<sub>2</sub>, O, N<sub>2</sub>, N, absorvem radiações quantitativamente, uma vez que o nível de absorção varia conforme a densidade destes, a densidade de ionização varia proporcionalmente com a altura formando assim

camadas de absorção distintas e variáveis, conforme a hora do dia, são as "camadas ionosféricas". Nas zonas mais baixas, os elétrons livres e íons desaparecem, pois sempre a recombinação prevalecerá sobre a ionização, devida maior densidade de partículas. Nas zonas mais altas é muito baixa a densidade de gases, moléculas e átomos e a quantidade de radiação, ou seja a energia provinda do espaço é muito alta, porém, não existem gases, átomos, ou moléculas livres o suficiente para ser ionizadas, portanto só haverá ionização à medida que mergulhamos na atmosfera, até uma certa profundidade. A propagação de ondas eletromagnéticas no plasma ionosférico, se comporta analogamente como ondas sônicas dentro de fluidos de diferentes densidades. Ora refletindo, ora refratando, ora sem oferecer resistência alguma, e ora refletindo e refratando. Num plasma com N colisões elétron - partículas (íons, átomos, moléculas, elétrons, neutrinos, etc), levando-se em conta o movimento térmico dos elétrons, pode-se dizer que tem ora características fluidas, ora características sólidas, pois o plasma não é líquido, nem sólido, tampouco gasoso [2], [3].

A densidade da ionosfera se mede por N elétrons por metro cúbico. Despreza-se na prática (Neste caso) os efeitos térmicos, e efeitos gravitacionais por esses serem desprezíveis para o entendimento dos mecanismos de propagação e reflexão ionosférica, embora sejam de suma importância para as comunicações de rádio, principalmente nas altas frequências. A ionosfera, dependendo da hora do dia ou da insolação, isto é da quantidade de energia eletromagnética provinda do sol, principalmente nas bandas de raios x e raios ultra-violeta, separa-se em camadas. Isso ocorre devida absorção de energia, que vai fazer separar as camadas de acordo com o nível energético que o plasma ionosférico absorveu. No plasma ionosférico encontramos condutividade e permissividade elétrica, isto é, em alguns momentos se comporta como um condutor elétrico, por exemplo, como se fosse uma placa metálica, porém sintonizada em determinadas frequências, onde uma vez se comportando como tal, pode perfeitamente refletir determinados comprimentos de onda sem problema algum, e praticamente sem perdas, absorver outros comprimentos de onda inutilizando totalmente a propagação destas.

A reflexão é exatamente uma das propriedades exploradas pesquisa de prospecção ionosférica para a pesquisa da AMAS, daí a importância de se conhecer os fenômenos ionosféricos e atmosféricos. As camadas ionosféricas, uma a uma, refratam as ondas eletromagnéticas em si propagadas. Durante a noite as camadas "D" e "E", perdem sua densidade em elétrons livres, devida diminuição da ionização solar, não deixam de existir, mas perdem a densidade e aumentam a altitude. Durante o dia o aumento de densidade é significativo, conseqüentemente, a altitude diminui. Existe também, durante o dia, uma atenuação maior dos sinais, mas ao mesmo tempo que o sinal se atenua pelo aumento da densidade, também refletirá mais, justamente devido à este aumento [4], [10].

## 5.2 Camadas Ionosféricas

As radiações solares, ultravioleta (UV) e os Raios-X, são responsáveis pela ionização em todas as camadas ionosféricas [1], [2]. A atividade solar ditada pelo Ciclo Solar, logo associada ao ciclo das manchas solares, demonstra que quanto mais manchas, maior atividade, ou maiores são as radiações emanadas. Na Terra, regiões geográficas diferentes, (polares, zonas de auroras, médias-latitudes, e regiões equatoriais), têm variações eletro-iônicas diferentes. Há mecanismos que perturbam a ionosfera e diminuem a sua ionização de formas diversas. Há perturbações, como chamadas solares, que liberam partículas carregadas pelo vento solar. Estas chegam à Terra e interagem com seu campo geomagnético. Existe também em todas as camadas, segundo a natureza de cada uma, o efeito sazonal da ionização [1], [2], por exemplo: o hemisfério de inverno local, é inclinado de modo a ficar mais distante do Sol, do que o hemisfério de verão. Assim, na ionosfera local, a quantidade eletro-iônica é menor no inverno que no verão. A radiação eletromagnética propagada num meio plasmático ionosférico de densidade eletro-iônica distribuída em camadas, tem, de forma simplista, analogia à propagação de raios luminosos dentro de líquidos com diferentes densidades num mesmo recipiente (Água e óleo, por exemplo). A Ionosfera está sujeita a variações geográficas, temporais e à dinâmica terrestre e celeste. Exerce um efeito sobre as características de propagação das ondas eletromagnéticas abaixo de si e no próprio meio, está sujeita às variações ocasionadas pelas anomalias geomagnéticas, à exemplo das anomalias Equatorial e do Atlântico Sul [1]. A propagação de RF é sobretudo influenciada pela densidade eletrônica, e/ou iônica, que à noite em geral, é mais baixa do que durante o dia. A densidade de elétrons livres é proporcionalmente direta à densidade iônica, portanto, quanto mais elétrons livres, mais íons. Pode ser observada a distribuição de densidades eletrônicas diferentes em alturas diferentes. Na medida em que as horas do dia e da noite avançam, ocorrem variações eletro-iônicas quantitativas e qualitativas, havendo inclusive uma separação em regiões conforme o nível energético. Conforme descrito anteriormente, a composição iônica é determinada pelas influências das radiações e partículas solares e cósmicas energéticas incidentes. Levando-se em conta a distribuição e densidade iônica, a atmosfera é dividida por



camadas (ou regiões) desde a mesosfera até termosfera, ou seja, até aproximadamente 550 km de altitude, suas separações são determinadas segundo a natureza físico química e densidade iônica, Appleton denominou as regiões de diferentes quantidades eletro-iônicas de camadas (Layer's):

Camada D: A mais próxima ao solo, fica entre os 50 e 80 km;

Camada E, acima da camada D, embaixo da camada F, altitude média é entre 80 e 100-140km. Semelhante à camada D;

Camada E Esporádica, fica mais ativa quanto mais perpendiculares são os raios solares que incidem sobre si;

Camada F, está acima da camada E, se subdivide em até 3 sub-camadas, F1, F2 e F3.

### **5.2.1 Camada D**

Na camada D, os átomos geram no processo de ionização, fótons nos mais diversos comprimentos de onda, é a mais próxima da superfície da Terra, fica entre 50 km e 80-90 km de altitude. A atenuação das ondas de rádio é causada pela alta densidade de elétrons-livres gerada pela radiação solar, que é pronunciada durante o dia. À noite, a ionização cessa, e conseqüentemente a atenuação.

#### **5.2.1.1 A ionização**

A ionização é devida à radiação do Hidrogênio  $\alpha$ -Lyman (Lyman series-alpha hydrogen radiation), num comprimento de onda de 121.5 nanômetros (nm) que ioniza o óxido nítrico. A radiação absorvida é capaz de desalojar um elétron de um átomo de gás neutro ou molécula durante uma colisão. Na ionosfera, existem ânions, cátions e elétrons livres, a ionização depende principalmente do Sol, que no ciclo ativo, com mais de 50 manchas solares, os Raios-X "duros", (comprimento de onda  $< 1$  nm), ionizam a alta atmosfera, (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>). O processo de ionização inicia ao nascer do Sol, durante o dia, aumenta a quantidade de íons. Também ocorre a união entre os elétrons livres e as moléculas neutras, formando assim íons negativos. Nota-se na parte inferior da camada D, abaixo dos 70 Km, a ionização é produzida principalmente pelos raios cósmicos energéticos que ocorrem durante todo o dia. Ao anoitecer o processo se inverte, ocorrendo assim uma oscilação ionização/recombinação dia/noite respectivamente, ou seja, durante o dia existe uma maior ionização, e durante a noite maior recombinação.

#### **5.2.1.2 A recombinação.**

Uma vez que a densidade dos gases aumenta nas menores altitudes, o processo de recombinação das moléculas na camada D ocorre mais facilmente, pois, os átomos estão mais próximos do que nas altas altitudes devida maior pressão atmosférica, assim, as ligações iônicas são desta forma mais comuns. O ponto de equilíbrio entre os dois processos, determina o grau de ionização do meio em determinado momento. Se um elétron livre se desloca aleatoriamente próximo a um íon positivo, ou cátion, que também está se deslocando, existe grande possibilidade de ambos se atrair, portanto, se recombinar. Ao diminuir a energia provinda do Sol ao anoitecer, os elétrons são "atraídos" pelos íons positivos, formando moléculas neutras. Uma vez que não existe o "agente energizador" (O Sol), devida densidade atmosférica mais alta na altitude da camada D, a recombinação é mais alta que nas outras regiões, ou camadas, assim, o efeito de ionização é muito baixo, e como resultado, as ondas de rádio de altas-freqüências (HF) não são refratadas da mesma forma que em altitudes maiores. Os elétrons livres gerados pelos raios cósmicos tendem a se colidir e se unir a moléculas para formar íons negativos à noite, sendo desprendidos pela radiação solar durante o dia novamente. A freqüência de colisão entre elétrons e outras partículas na região D durante o dia, é aproximadamente 10 milhões de colisões por segundo. Esta camada é a principal responsável pela absorção em Alta Freqüência (Chamada HF, High Frequency), particularmente abaixo de 10 MHz, com um aumento menor da absorção quanto maior a freqüência. A

absorção à noite na camada D é pequena e maior quando o Sol está a pino. A região tem sua quantidade de íons bastante reduzida após o pôr-do-sol, mas ficam resquícios devidos raios cósmicos vindos do espaço exterior. Um exemplo comum do que ocorre na camada D, é o desaparecimento dos sinais de radiofrequência a partir de uma certa distância em Ondas Médias (Também chamadas MF).

### 5.2.1.3 Densidade eletro-iônica

Os elétrons também podem sair de um determinado volume por difusão ou se deslocar para longe sob as influências dos gradientes de temperatura, de pressão, das forças gravitacionais ou dos campos elétricos e magnéticos estabelecidos por ionizações próximas e seus movimentos. De todas camadas iônicas, a camada D é a menos estudada, demonstra grande variabilidade e sua estrutura é fina [2], [3]. As prováveis reações químicas responsáveis por sua formação envolvem principalmente o óxido nítrico e outros constituintes da atmosfera, pouco se conhece ainda qual a influência do campo geomagnético na região [3]. A densidade eletro-iônica na parte superior da camada D, é aparentemente encadeada com a camada E, pois existem variações sistemáticas latitudinais, temporais e de ciclos solares em absorção[4]. São constatadas variações de absorção irregulares de forma aparentemente aleatória (Acredita-se que aí podem haver influências do geomagnetismo ou dos clarões solares, ou ambos [3]). Nas latitudes médias são notadas altas absorções anormalmente em certos dias durante o inverno. Provavelmente estas anomalias estão relacionadas ao aquecimento da estratosfera e provavelmente está associada às modificações na composição química devida relativa baixa altitude da camada D [1].

### 5.2.1.4 Absorção

Sabe-se que a camada D é a principal responsável pela absorção da RF devidas colisões de elétrons na altitude onde esta ocorre. A ionização na camada D inferior e também a da sua parte superior, é muito maior durante o dia do que à noite. No entanto, a densidade eletrônica na camada D inferior, estando relacionada à incidência de raios cósmicos, é reduzida com o aumento no número de manchas solares. Existe uma ionização adicional da camada D, presume-se, que é produzida nas altas latitudes pelas partículas que chegam dirigidas ao longo das linhas de força do campo geomagnético [3]. Os elétrons energéticos e partículas presas [3] produzem os eventos de absorção auroral característica sobre uma faixa estreita em latitudes de cerca de 10°, estes associados às regiões aurorais visuais.

## 5.2.2 Camada E

A camada ionosférica E é chamada também de "camada ou região Kennelly-Heaviside", é uma região de gás ionizado que ocorre aproximadamente nas altitudes entre 80 e 100-140 km (Alguns autores utilizam 90-120 km) [1]. Reflete ondas de rádio abaixo de 10 MHz, e afeta a propagação eletromagnética a partir do amanhecer. No decorrer do dia, o vento solar comprime-a para baixo, limitando assim a distância das ondas refletidas. Sua existência foi predita em 1902 por Arthur Edwin Kennelly e pelo físico britânico Oliver Heaviside separadamente. Em 1924, Edward V. Appleton confirmou a sua existência. Em 1899, Nikola Tesla, emitiu ondas eletromagnéticas em frequências muito baixas (ELF Extremely Low Frequencies) para a Ionosfera nas suas experiências de Colorado Springs. Tesla através de cálculos matemáticos, se baseando nas suas experiências, descobriu a frequência ressonância da camada E num valor de 15% do valor experimental aceito atualmente. Nos anos cinquenta, foi confirmada que a frequência ressonância da camada E é 6.8 Hz [2]. A camada de E fica entre a camada D e a Camada F. Basicamente sua ionização ocorre por radiação solar devido aos raios-X suaves (1-10 nm) e ultravioleta distante (UV) do oxigênio molecular (O<sub>2</sub>) [1]. Esta camada pode refletir radiofrequência abaixo de 10 MHz. Tem um efeito negativo em frequências acima de 10 MHz devida absorção parcial naquele comprimento de onda. A estrutura vertical da camada de E é principalmente determinada pelos efeitos de ionização e recombinação que competem entre si. À noite começa a desaparecer porque a fonte primária de sua ionização já não está presente (O Sol). Isto resulta num aumento da altura porque a recombinação é mais rápida nas camadas mais baixas. Sua concentração eletrônica gira em torno de 100.000 el/cm<sup>3</sup>. A densidade iônica aumenta ao nascer do Sol, subindo gradativamente, atingindo o pico em torno do Sol a pino (Meio dia), tendo após um comportamento linear no decorrer do dia e desaparecendo ao anoitecer. Nas altitudes compreendidas entre 90 a 120 Km

ocorrem variações na densidade eletrônica, quando isso ocorre, gera uma sub-camada (E esporádica) cuja espessura é de poucos quilômetros.

### **5.2.3 Camada E Esporádica**

A camada "E esporádica" ou "Es" ocorre com certa raridade na ionosfera, é dependente principalmente do ciclo solar. Pode ser considerada uma espécie de "nuvem iônica" de gases atmosféricos em torno de aproximadamente 90 a 160 km de altitude. O fenômeno ocasionalmente permite a propagação de VHF e UHF a longas distâncias, cuja variabilidade depende de uma série de fatores, incluindo a altura da nuvem e sua densidade. A máxima Frequência Utilizável (MUF) também varia com o surgimento da camada E esporádica, propiciando assim a possibilidade das reflexões de ondas de rádio na ordem de 27 até 110 MHz.

### **5.2.4 Camada F**

A região F da ionosfera, também chamada de "camada Appleton", contém uma concentração de plasma ionosférico, ou gases ionizados numa altitude em torno de 150-800 km, isto é, na região da termosfera. Possui maior concentração de elétrons livres e íons que as outras regiões, também se subdivide em duas camadas F1 e F2. Está localizada logo acima da região E (chamada região Kennelly - Heaviside) e abaixo da protonosfera. Reflete eficientemente os sinais de rádio, uma vez que não é afetada por condições atmosféricas. A sua composição iônica varia com o ciclo solar.

#### **5.2.4.1 Sub-Camada F1, ou camada F1.**

A camada F1 se forma em torno de 150 a 220 km de altitude, só ocorre durante o dia. É composta por íons  $O_2^+$  e  $+NO$ , e íons  $O^+$ . Acima da camada F1 o oxigênio atômico se torna dominante. Tem cerca de 500.000 e/cm<sup>3</sup> (elétrons livres por centímetro cúbico) quando há pouca atividade solar, e aumenta para cerca de 2.000.000 e/cm<sup>3</sup> durante a máxima atividade. À noite a densidade cai para aproximadamente 100.000 e/cm<sup>3</sup>, quando a F1 e F2 se fundem.

#### **5.2.4.2 Camada F2**

A camada F2 ocorre entre 220 a 800 km de altitude. É a principal refletora de ondas eletromagnéticas até cerca de 30 MHz. O Alcance de cada "salto" pode chegar até 4.000 km. Tem cerca de 1.000.000 e/cm<sup>3</sup>. No entanto, as variações são geralmente grandes e irregulares, e particularmente acentuada durante tempestades magnéticas.

### **5.3 Estudo da Ionosfera no Brasil.**

No Brasil, a pesquisa da ionosfera é principalmente executada pela Divisão de Aeronomia do INPE. Iniciou em 1963, através da recepção de sinais de satélites. Em 1973 iniciou-se em Cachoeira Paulista, SP, a pesquisa através de ionosondas. Em 1975 foi a vez de Fortaleza, CE. Em 1984 o Ministério da Aeronáutica autorizou o CTA a efetuar experiências e sondagens com foguetes e equipamentos desenvolvidos pelo INPE. A Universidade Estadual do Maranhão juntamente com o INPE recentemente, construíram um observatório espacial em São Luis, MA. Onde está instalada uma digissonda, e está sendo terminado um radar de espalhamento coerente (ESCO) cuja prioridade é estudar o comportamento da ionosfera e seus fenômenos sobre o Brasil, dentre eles é executado o estudo do comportamento dos processos dinâmicos, eletrodinâmicos e químicos do plasma ionosférico. Os dados de sensoriamento remoto da ionosfera são obtidos utilizando foguetes, satélites, sistemas de modelagem e simulação dos processos ionosféricos e termosféricos.

## 5.4 Campo magnético terrestre

A Terra (Figura 18) é cercada por um campo magnético, a magnetosfera é gerada pelo efeito dínamo que ocorre em seu interior, onde metais líquidos bons condutores são mantidos em movimento pelas forças de convecção devida troca de calor, das forças de Coriolis, forças centrífugas e gravitação, entre outros efeitos. Pode-se dizer que a massa interna do Planeta se comporta como enrolamentos de uma bobina de um dínamo, e que geram campos elétrico e magnético quando movida [3], [10].

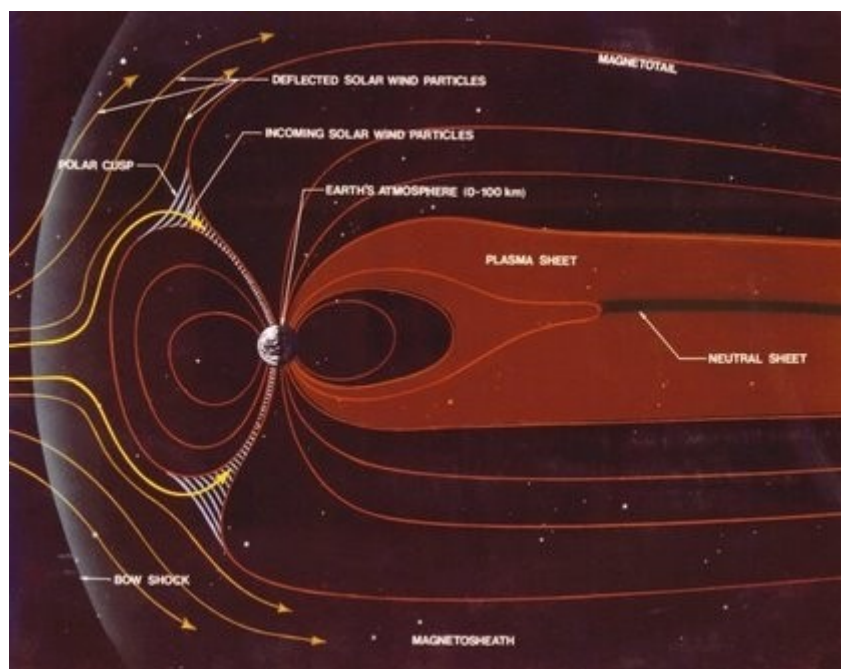


Figura 18: Magnetosfera da Terra (Fonte: NASA)

As massas do núcleo da Terra são as principais responsáveis pela existência do campo magnético do planeta. Sem ele, a bússola não funcionaria, não haveria auroras, nem estaríamos protegidos das radiações providas do espaço cujas partículas de alta energia não seriam deflexionadas, neutralizadas, ou capturadas pelos dois cinturões (Van Allen) [3] que blindam a Terra contra as altas energias providas do Cosmos e do Sol. Estes, descobertos pelo primeiro satélite norte-americano, o Explorer 1, lançado em 1958. O campo magnético da terra não é completamente simétrico, pode ser representado como um ímã compacto que não está centrado, mas possui uma determinada distância em relação ao centro geométrico, o que lhe causa uma espécie de excentricidade. Assim, existe uma região mais distante “do ímã fonte” onde o campo é forte, e uma região onde é relativamente fraco. As partículas, por esta razão, não alcançam a atmosfera na região de maior intensidade onde são repelidas ou capturadas pelo campo magnético forte. Na região do campo fraco ocorre uma situação anômala da altitude e da intensidade do campo permite que partículas de alta energia “caiam” na superfície da Terra. Os cinturões descritos acima, são chamados de “Cinturões de Radiação de Van Allen” cercam a Terra em forma de dois toróides que mergulham nos Pólos magnéticos [1], [3].

## 6. Anomalia Magnética do Atlântico Sul

Sobre uma determinada região no Atlântico Sul, mais precisamente no sul do Brasil, o efeito de proteção da magnetosfera perde parte de sua eficiência pelo fato de haver uma espécie de “mergulho” nos cinturões. A este efeito anômalo se dá o nome de Anomalia Magnética do Atlântico Sul. Alguns cientistas explicam que o mergulho dos campos ocorre em consequência do deslocamento excêntrico do centro do campo magnético da Terra em relação ao seu centro geográfico. A altitude do cinturão mais próximo é entre 200 a 800 Km da superfície na região. Para as órbitas de naves espaciais inclinadas entre 35 e 60 graus, em relação ao equador, e alturas entre 180 até aproximadamente 200 Km [3].

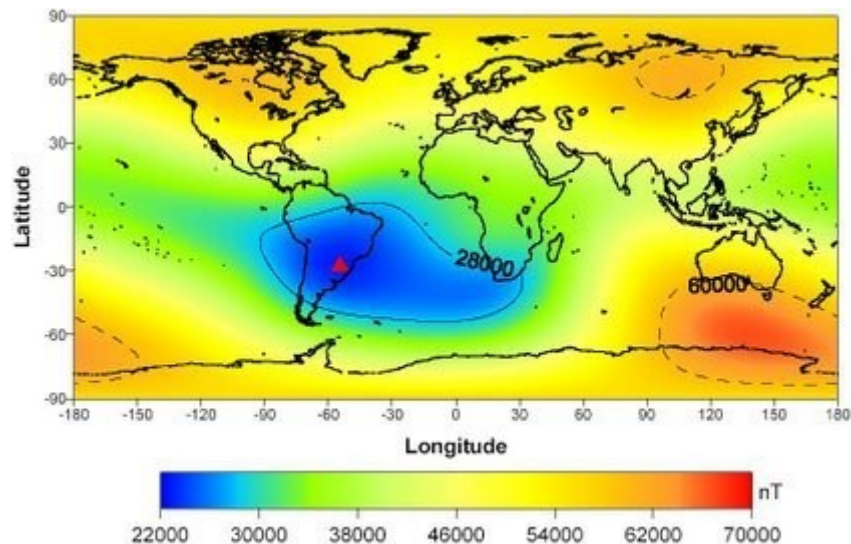


Figura 19: Mapa magnético da Terra. A AMAS (El Pato, em azul) Anomalia Magnética do Atlântico Sul. O triângulo vermelho mostra a localização de seu centro no ano 2000.(Cortesia NASA)

## 6.1 Fluxo Reverso

Quando artefatos passam periodicamente na zona onde a blindagem natural propiciada pelo campo magnético da Terra é reduzida, durante o tempo de trânsito, há a um fluxo elevado de partículas de alta energia atingindo-os. Isso requer uma proteção maior dos equipamentos e das baterias fotovoltaicas que são degradadas mais rapidamente pelos fluxos mais elevados de partículas. O projeto original da Estação Espacial Internacional, por exemplo, que voa numa inclinação de 51.6 graus, não previa proteções para a passagem na AMAS, foi necessária assim a execução de medidas a fim de resolver os problemas ocasionados pela alta radiação da região [1]. O fluxo reverso acontece quando o campo magnético se comporta fora dos padrões [4], este foi detectado em diversos pontos na região de encontro do manto e do núcleo terrestre, e se reflete na área da Anomalia Magnética do Atlântico Sul [3], [4], os pesquisadores Chapman e Bartels, em 1940, observaram os baixos índices de campo magnético na região. Naquela década, o mapa do campo magnético da Terra começou a ser montado. A figura 19 mostra com detalhes as variações em todo o planeta. Note-se que o centro da AMAS no ano de 2000 estava sobre o Brasil. Também, de acordo com as medições, se pode observar que a intensidade magnética é em torno da metade do que se esperaria (Comparando com o Hemisfério Norte). Na região da AMAS, o campo magnético tem baixa intensidade, partículas energéticas penetrarão na atmosfera da Terra com mais facilidade (Figura 20), pois existe um verdadeiro "buraco" no escudo protetor do planeta em função da baixa altitude do cinturão interno. Assim, o fluxo de partículas normal provindo do Sol e do Universo [4] atinge por exemplo, os astronautas, que ficam mais expostos à radiação. Também há maior chance de ocorrer interferências eletromagnéticas e problemas na transmissão de energia elétrica devidas altas taxas de ionização na alta atmosfera, que geram correntes parasitas em elementos condutores paralelos às correntes geradas em altas altitudes. Quando ocorrem as explosões solares, é ejetada massa coronal, esta composta dos mais diversos tipos de partículas (prótons, elétrons, etc. [4]), devida baixa intensidade do campo magnético, as partículas atingem com facilidade a alta atmosfera, causando assim um aumento na ionização da região. Os cinturões de Van Allen se comportam como armadilhas que capturam partículas do vento solar [3], na região da AMAS, o efeito de proteção é menor porque a captura e o desvio dos raios cósmicos não é tão eficiente. Os cinturões são alinhados com a linha central magnética da Terra, que é inclinada por 11,5 graus da linha central de rotação, e não estão posicionados simetricamente com respeito à superfície do Planeta [3]. Sua superfície interna está em torno de 1200 - 1300 quilômetros do solo na maior parte do Planeta. Estão entre 200 a 800 quilômetros sobre a região Sul do Brasil. Sobre a América do Sul, a menor altitude chega entre 200 a 300 quilômetros (Figura 20), ficando desta maneira a superfície do planeta na região exposta à grandes taxas de radiação, pois é bombardeada por prótons de alta energia. Satélites de baixa órbita, quando passam pela região, chegam a receber energias de 10 MeV numa taxa de 3.000 impactos por centímetro quadrado por segundo. Isto pode produzir "pulsos aleatórios", causar problemas de operação dos sistemas eletrônicos embarcados, e envelhecimento prematuro dos computadores [5]. Sensores, detectores e outros componentes da nave

espacial sofrem com os impactos ocasionados pelos prótons. O telescópio espacial Hubble passa cerca de 10 órbitas sucessivas a cada dia na AMAS, e gasta quase 15 por cento de seu tempo nesta região hostil. Os astronautas também são afetados, pois ocorre um fenômeno chamado “das estrelas que piscam” vistas no seu campo visual.

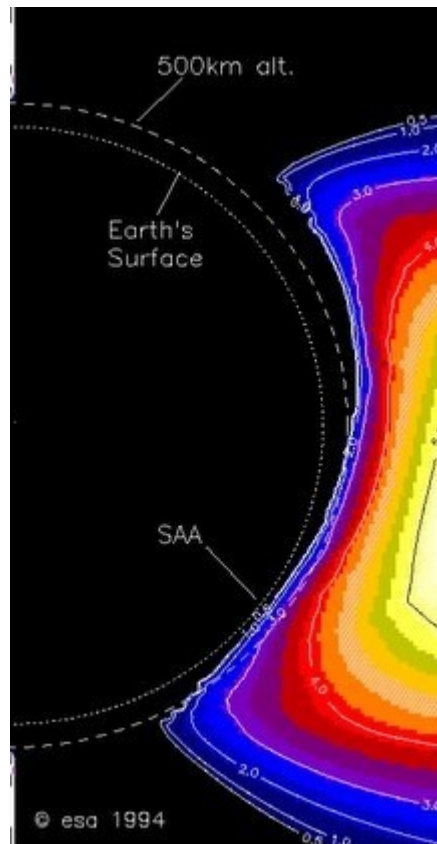


Figura 20: O cinturão de Van Allen mais interno e sua proximidade com a superfície da Terra (Fonte: ESA)

A Anomalia do Atlântico Sul é de especial interesse da astrofísica de alta energia. Pois é uma região cuja radiação é muito densa pelo fato de haver um “fluxo elevado de partículas” é um laboratório "in situ" da radiação espacial. A NASA afirma que seu epicentro é sobre o Oceano Atlântico Sul, fora da costa brasileira, mas é sabido que os efeitos ocasionados pela alta energia podem estar concentrados em alguns momentos principalmente na região sul do Brasil. O fato do fluxo de partículas ser tão elevado obriga que freqüentemente os detectores dos satélites devam ser fechados ou pelo menos colocados numa modalidade de trabalho “segura” para protegê-los das fortes radiações [3], [6].

## 6.2 Missão Terra



Figura 21: Missão Terra (Fonte NASA)

A equipe de operações de vôo do satélite Terra foi surpreendida quando uma antena de elevado ganho entrou em modo de segurança inexplicavelmente. O sistema é usado para comunicações rotineiras com os satélites chamadas TDRSS, incluindo os sistemas de downlink de dados científicos do artefato. Após a pane foi executada uma série de testes de diagnóstico para encontrar o que estava causando o erro operacional. Os satélites de observação são dotados de sistemas eletrônicos nas antenas de alto ganho que monitoram constantemente as correntes elétricas que estão sendo consumidas pelos conjuntos da movimentação dos motores. Estes controlam o sentido de rotação e apontam a antena para o melhor ganho de sinal. Se a corrente elétrica exceder ou cair de um determinado limite, o sistema é programado para diagnosticar o problema e decidir, se for o caso, se estaciona o movimento ou ação até que a equipe de operações de vôo decida o que fazer. Os dados de telemetria da nave espacial, indicaram uma corrente anômala passando através do conjunto de movimentação do motor. No início, somente uma linha central no sistema de guia da antena foi afetada e a outra linha central manteve-se normal. Em seguida, ocorreu uma detecção de falha adicional que fechou linha central. O problema não era devida falha da antena. Assim iniciou uma averiguação buscando todas as razões possíveis de defeito. Foi observado que um acoplador óptico do sistema eletrônico de alto ganho era susceptível a transientes ocasionados por pulsos eletromagnéticos gerados por radiação [8], [9].

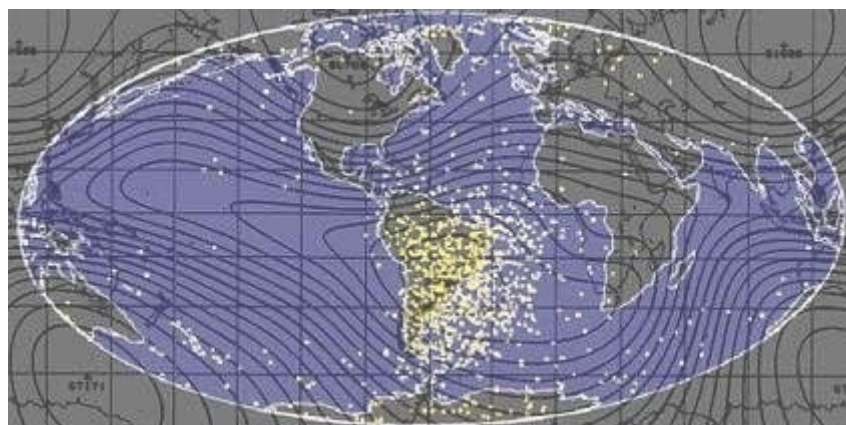


Figura 22: Locais onde ocorreram maiores quantidades de defeitos em artefatos espaciais de diversas nacionalidades (Cortesia NASA - Missão Terra)

O satélite esteve exposto a uma dose elevada de radiação de prótons do campo magnético da Terra na região da AMAS. Os dispositivos eletrônicos estão a ser construídos cada vez menores, portanto, são mais suscetíveis à interferência ou danos por radiação. A antena de alto ganho do satélite Terra, possui um prato parabólico responsável pela comunicação de dados científicos de cinco instrumentos para Terra (Planeta) através de um satélite de comunicações auxiliar. Sem este sistema, os dados da Terra (Nave) retardam a transmissão de imagem e vídeo [8], [9]. Há três regiões sobre o Planeta onde os cientistas observam tipicamente níveis elevados radiação, sobre os dois pólos, norte e sul, e sobre o Brasil. Em especial, nesta região, os pesquisadores de ciências espaciais observam níveis muito elevados da radiação de prótons. A equipe de operações de vôo do Terra apelidou a região “o pato” porque quando se observa o contorno do mapa, na parte central da Anomalia do Atlântico Sul, os níveis

de radiação são mais elevados, se assemelha ao perfil de um pato. A exposição à radiação na região da Anomalia “enganou” o sistema eletrônico da antena de alto ganho, o sistema interpretou uma condição de falha existente no conjunto de movimentação do motor que na realidade não existiu. O computador de bordo respondeu desligando-se a fim impedir que danos possíveis ocorressem. Imagens do Espectro Radiômetro Multiangular, ou MISR, instrumento de bordo do Terra, confirmaram que a nave espacial estava exposta à níveis elevados da radiação sobre a AMAS. Embora as portas de abertura estivessem fechadas e blindadas, o MISR estava ativo para operação de leitura. Cada vez que o Terra voou através da AMAS, o MISR mediu números muito elevados de prótons que golpeavam seus detectores altamente sensíveis. Assim, foi iniciada uma contagem das “batidas” foi montada a primeira imagem do MISR antes mesmo de se abrirem as blindagens de proteção [8], [9]. As câmeras CCD do MISR, foram projetadas para detectar a luz visível, a sua sensibilidade para prótons energéticos na atmosfera superior da terra foi um "efeito colateral" inesperado, pois mesmo com a blindagem fechada, os níveis de fundo de prótons altamente energéticos foram detectados, isto é, a tampa de proteção estava transparente para o CCD. Assim foi processado um mapa a partir dos dados “escuros” do MISR de em 3 a 16 de fevereiro de 2000. Cada elemento no mapa mostrou um ou mais tens de impactos de prótons. Na mesma região mapeada pela equipe do Terra, houve danos em outros satélites que tinham inexplicavelmente danificados seus computadores de bordo ao passar pela AMAS. Em dias de tempestades magnéticas foi diagnosticado que a causa dos defeitos das espaçonaves estavam na região da AMAS. No caso do Terra, os engenheiros modificaram o programa do computador para reiniciar o recolhimento da antena subsequente a um evento de radiação [8], [9].

### 6.3 Plasma Ionosférico na região da AMAS

Num meio com "n" colisões por segundo de partículas, íons, átomos, moléculas, elétrons, dentre outras, os movimentos do plasma têm características ora fluidas, ora sólidas (Para a radiofrequência), ora gasosas, e, ao mesmo tempo ressonam nos mais diferentes comprimentos de onda [3], [4]. Os elétrons, por exemplo, podem "absorver" a energia em determinada frequência, e "devolvê-la" sem que tenha ocorrida recombinação detectável. Analogamente se pode afirmar que houve, a grosso modo, uma "retransmissão". Havendo uma pequena "perda" em recombinação, o comprimento de onda do sinal retransmitido ficará mais longo, pois haverá um comportamento similar a uma refração ou uma alteração somente com redução de frequência, a exemplo da luz verde em objeto vermelho [6]. A ressonância pode ser considerada, nestes casos, também responsável pela "impressão" de reflexão, refração e absorção de determinados comprimentos de onda. Dependendo da "quantidade" de energia "absorvida" pelo elétron, esta pode ser "aproveitada", a recombinação iônica atua assim "estabilizando" a região, ou, dependendo da quantidade de energia provinda do Sol e do comprimento de onda adicional, ocorrerá a reionização. A ionosfera, dependente da insolação nas bandas de Raio-X e luz ultra-violeta, separa-se em camadas e ressona em diversos comprimentos de ondas, refrata ou absorve a radiofrequência propagada no meio. Em especial, na região da AMAS, a energia do vento solar é menos atenuada pelos cinturões de Van Allen [3]. Em geral, no plasma ionosférico encontramos maior condutividade iônica e permissividade eletromagnética, isto é, em alguns momentos parece se comportar como um condutor elétrico ou placa metálica que "reflete" determinados comprimentos de onda, em outros pode se comportar como uma espécie de placa metálica que, em determinadas frequências pode inclusive refletir (Na verdade é uma refração) o sinal de RF. Também pode refratar outros comprimentos de onda ao mesmo tempo, e praticamente sem perdas, ou em outros momentos, absorver a RF inutilizando totalmente a propagação. Um efeito que pode ser descrito como uma espécie de "blindagem", ou "filtro natural" para determinadas frequências, este é estritamente dependente das condições "magnéticas" da região [4], [5].

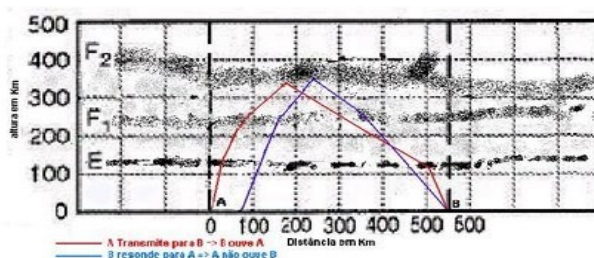


Figura 23: Transmissão de sinais via ionosfera onde somente uma estação capta a outra ([http://br.geocities.com/atmosfera\\_ionosfera/Monotransmissao\\_Angelo\\_Leithold\\_1975.jpg](http://br.geocities.com/atmosfera_ionosfera/Monotransmissao_Angelo_Leithold_1975.jpg))



Na figura 23 , se observa um fato bastante comum que ocorre entre duas estações transeptoras, onde a primeira ouve a segunda, mas a segunda não ouve a primeira , em geral este fenômeno ocorre pela ductificação do sinal. No caso da região da AMAS, ainda não se tem estudos conclusivos sobre os efeitos da diminuição do campo magnético e sua influência na ionização das camadas ionosféricas [3]. Conforme descrito anteriormente, durante o dia, pela ação do Sol, acontece o aparecimento de camadas segundo a densidade de íons. A região "D", por exemplo, mais próxima do solo, é a menos energética, e é a que ressona nos maiores comprimentos de ondas (Frequências menores). É sabido que não reflete radiofrequência de HF na banda alta, é a principal responsável pela maior quantidade de absorção de energia eletromagnética, justamente devida absorção nos comprimentos de onda longos.

### **6.3.1 A Camada D e a magnetosfera na região da AMAS**

O aparecimento da camada D é ao amanhecer, indo acumulando energia por absorção até o pôr do Sol. Na medida em que o horário avança, aumenta significativamente o número de íons, permanecendo até após o anoitecer [3]. A quantidade de íons atinge o pico no final da tarde, a região D é a camada que menos refrata e praticamente não reflete os sinais de rádio que passam por si. As frequências mais afetadas pela absorção camada estão situadas abaixo dos 10 Mhz, portanto, quando está muito ionizada pode causar o fechamento de propagação naqueles comprimentos de onda durante o dia. Acima da camada D, está a camada E e a camada E esporádica, que estão localizadas embaixo das camadas F1 e F2 (durante o dia), sua altitude média é entre os 80 e os 100~140 km [1], [2], [3]. A magnetosfera terrestre apresenta a parte frontal a aproximadamente 10 raios terrestres, uma espessura de 30-50 raios terrestres e uma cauda que se alonga a mais de 100 raios terrestres [4]. Mesmo um astro sem campo magnético pode apresentar uma magnetosfera induzida, que é consequência das correntes elétricas sustentadas pela ionosfera existente [3] [5]. A Terra aparentemente se comporta como um dipolo perfeito - transmissão ideal de forças entre os dois pólos- porém , já se sabe que, devida inclinação de 11,5 graus [3] em relação ao eixo de rotação, os pólos são assimétricos. Para medir a intensidade do campo magnético vertical, na profundidade de 2.900 quilômetros, na interface manto-núcleo, foi desenvolvida uma técnica de cálculo convencionalmente usada na superfície [4]. Além dos pontos de fluxo reverso é possível perceber o movimento de duas colunas de convecção (representativas, que fazem parte dos modelos teóricos de geração do campo), que rotacionam em torno do eixo de rotação terrestre, influenciando na geração do campo que se observa na superfície, isso é facilmente perceptível em paleomagnetismo. [3], [4], [5]. A camada D é rica em ruídos de baixas frequências, estes se propagam por milhares de quilômetros, podem ser utilizados para se verificar a influência da ionização do Sol. A Magnetosfera é a região definida pela interação do plasma magnetizado do Sol com a região magnetizada da Terra em que os processos eletrodinâmicos são basicamente comandados pelo campo magnético intrínseco do planeta e sua interação com a estrela, conforme descrito anteriormente. Sua morfologia, numa visão simples, é semelhante à uma bolha comprimida na parte frontal ao fluxo estelar incidente no astro e distendida no sentido do afastamento desse fluxo [1], [2], [3].

### **6.4 Comportamento do plasma ionosférico.**

As radiações eletromagnéticas propagadas no meio plasmático ionosférico, se comportam analogamente às ondas sônicas dentro de fluidos de diferentes densidades, ou mesmo de forma similar à propagação de raios luminosos dentro de um líquido. Num aquário, por exemplo, para quem olha de baixo para cima, muitas vezes vê a própria imagem refletida sem enxergar o lado de fora dependendo do ângulo de observação. As ondas eletromagnéticas, se comportam portanto, ora refletindo, ora refratando, ora sem receber resistência alguma no meio onde se propagam. Logo, a energia propagada deverá variar conforme a variação das condições físicas [3], [4]. Devido comportamento da ionosfera, ora semelhante a um meio tênue, ora denso, ora dutificando os sinais de RF, é possível se obter muitas informações da alta atmosfera, principalmente na região da AMAS. Na ionosfera, a propagação de RF, é sobretudo influenciada pela densidade eletrônica, e/ou iônica, que à noite em geral, é mais baixa do que durante o dia. Fato interessante a se observar, é a densidade de elétrons livres que é proporcionalmente direta à densidade iônica, portanto, quanto mais elétrons livres, mais íons. Podemos observar facilmente, a

distribuição de densidades eletrônicas diferentes em alturas diferentes. Na medida em que as horas do dia e da noite avançam, ocorrem variações eletro-iônicas quantitativas e qualitativas, havendo inclusive uma separação em regiões conforme o nível energético. Appleton denominou as regiões iônicas com diferentes quantidades de elétrons livres e íons por camadas (Layer's), D, E, E Esporádica, F1, F2. A radiação eletromagnética propagada num meio plasmático ionosférico tem um comportamento análogo à propagação de raios luminosos dentro de líquidos com diferentes densidades num mesmo recipiente (Água e óleo, por exemplo). As radiações solares, ultravioleta (UV) e os Raios-X em comprimentos de onda mais curtos, são responsáveis pela ionização em todas as camadas ionosféricas. Também a atividade solar (Ciclo Solar) é associada ao ciclo das manchas solares, ao ciclo de 27 dias entre outros. Também é sabido que quanto mais manchas, maior atividade, ou maiores são as radiações emanadas [3], [4], [10]. Outro ponto importante, são as regiões geográficas (polares, zonas de auroras, médias-latitudes, e regiões equatoriais) que têm variações eletro-iônicas diferentes conforme o local [1], [4]. Há mecanismos que perturbam a ionosfera e diminuem a ionização, no caso da região da AMAS, há perturbações, como chamadas solares, que liberam partículas carregadas pelo vento solar. Estas chegam à Terra e interagem com seu campo geomagnético, muitas são presas a este [3]. Existe também em todas as camadas, segundo a natureza de cada uma, o efeito sazonal da ionização. Por exemplo: o hemisfério de inverno local, é inclinado de modo a ficar mais distante do Sol, do que o hemisfério de verão. Assim, na ionosfera local, a quantidade eletro-iônica é menor no inverno que no verão. Na camada D, os átomos geram no processo de ionização, fótons nos mais diversos comprimentos de onda, uma vez que é a mais próxima da superfície da Terra, a atenuação das ondas de rádio é causada pela alta densidade de elétrons-livres gerada pela radiação solar, que é pronunciada durante o dia. À noite, a ionização cessa, e conseqüentemente a atenuação, esta é uma forma de se conseguir medir indiretamente o nível de ionização na região da AMAS, isto é, fazendo um levantamento do ruído de fundo, o que propicia uma forma simples de se medir as variações iônicas na região da Anomalia do Atlântico Sul de forma indireta [3]. Uma vez que a ionização é devida em grande parte às radiações alfa-Lyman (Alpha-Lyman series-alpha hydrogen radiation), num comprimento de onda de 121.5 nanômetros (nm) que ioniza o óxido nítrico. Esta absorvida é capaz de desalojar um elétron de um átomo de gás neutro ou molécula. Na ionosfera, existem ânions, cátions e elétrons livres, e a ionização depende principalmente do Sol, que no ciclo ativo, com mais de 50 manchas, os Raios-X "duros", (comprimento de onda < 1 nm), ionizam o ar, (N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) [1], [5]. O processo de ionização inicia ao nascer do Sol, durante o dia aumenta a quantidade de íons, assim, o "chiado", ou ruído de fundo em VLF aumenta proporcionalmente. Também ocorre a união entre os elétrons livres e as moléculas neutras, formando assim íons negativos. Nota-se na parte inferior da camada D, abaixo dos 70 Km, que a ionização é produzida principalmente pelos raios cósmicos energéticos que ocorrem durante todo o dia. Ao anoitecer o processo se inverte, ocorrendo assim uma oscilação ionização/recombinação dia/noite respectivamente, ou seja, durante o dia existe uma maior ionização, e durante a noite uma maior recombinação [1], [2], [3], [4]. Como a densidade dos gases aumenta nas menores altitudes, o processo de recombinação das moléculas na camada D ocorre mais facilmente, pois, os átomos estão mais próximos do que nas altas altitudes devida maior pressão atmosférica, conseqüentemente maior densidade iônica, assim, as ligações iônicas são desta forma mais comuns.

O ponto de equilíbrio entre os dois processos, recombinação e ionização, que determina o grau iônico do meio. Se um elétron livre se desloca aleatoriamente próximo a um íon positivo, que também está se deslocando, existe grande possibilidade de ambos se recombinar. Ao diminuir a energia provinda do Sol ao anoitecer, os elétrons são "atraídos" pelos íons positivos, formando moléculas neutras uma vez que não existe o "agente energizador". A recombinação na região D é mais alta que nas outras regiões, ou camadas, assim, o efeito de ionização é muito baixo, e como resultado, as ondas de rádio de altas-freqüências (HF) não são refletidas, ou se ocorre a reflexão é em freqüência muito baixa. Os elétrons livres gerados pelos raios cósmicos na camada D, tendem a se unir a moléculas para formar íons negativos à noite, sendo desprendidos pela radiação solar durante o dia. A freqüência de recombinação entre elétrons e outras partículas na região D durante o dia, conforme já visto anteriormente, é aproximadamente 10 milhões de colisões por segundo. Assim com um aumento menor da absorção quanto maior a freqüência, existe a possibilidade de se medir a ionização na alta atmosfera na região da AMAS o que poderia propiciar também uma leitura a partir do ruído de fundo nas faixas abaixo dos 10 MHz [3], [4]. A absorção na camada D à noite é pequena e maior quando o Sol está a pino. A região fica bastante reduzida após o pôr-do-sol, contudo ficam resquícios devidos raios cósmicos. Um exemplo comum do que ocorre na camada D, é o desaparecimento dos sinais a partir de uma certa distância em Ondas Médias. A densidade de elétrons livres e de íons na parte superior da região D, é aparentemente encadeada com a camada E, pois já foram observadas variações sistemáticas latitudinais, temporais e de ciclos solares em absorção.

## 7. Monitoramento da camada "D"

Sabe-se que a camada D é a principal responsável pela absorção da RF, e que a ionização na sua região inferior e superior, é muito maior durante o dia do que à noite. Também é sabido que a densidade eletrônica na camada D inferior, estando relacionada à incidência de raios cósmicos, é reduzida com o aumento no número de manchas solares. Existe uma ionização adicional na região, que se presume, produzida nas altas latitudes pelas partículas aprisionadas que chegam dirigidas ao longo das linhas de força do campo geomagnético [3]. Os elétrons energéticos provindos do Sol, produzem os eventos de absorção auroral característica sobre uma faixa estreita em latitudes de cerca de 10°, estes associados às regiões aurorais visuais. A propagação de RF é influenciada pela densidade eletrônica e iônica, portanto, a RF e a influência da radiação Lyman  $\alpha$  na região D e radiações eletromagnéticas em frequências muito baixas, entre 10 kHz até cerca de 50 kHz, na faixa denominada VLF (Very Low Frequency) são facilmente mensuráveis e o ruído gerado captado há milhares de quilômetros. [3]. É de vital importância na pesquisa de regiões de menor altitude da Ionosfera, sabidamente na banda de frequência muito baixa do espectro eletromagnético. É possível detectar desde fenômenos correlatos à Atmosfera, radioastronomia, astronomia dentre outros. De todas as camadas ionosféricas, é sabido que a D é a mais próxima do solo, é a que oferece as melhores possibilidades do estudo das radiações solares e das suas influências sobre a Terra, principalmente no estudo da AMAS [3]. A camada D, devida suas características, é importante tanto para o estudo de propagação de energia eletromagnética emitida por sondas que trabalham em comprimento de onda quilométrico, quanto para o estudo do ruído atmosférico natural. Portanto, através da observação na faixa alguns quilohertz, é possível verificar as flutuações das condições iônicas e características físico-químicas da região D, e assim, indiretamente, é possível mensurar as condições solares de emissão de raios-X, das radiações denominadas Lyman  $\alpha$ .

### 7.1 Prospecção ionosférica em VLF

O modelamento e compilação de dados da camada D da ionosfera podem fornecer não só a composição físico-química da região, também se pode observar os distúrbios geomagnéticos, as ocorrências das auroras polares, "fade-out's" nas propagações de ondas curtas em frequências maiores. As perturbações geradas pela atividade solar, podem ser facilmente detectadas pela rádio observação no espectro de VLF, e esta é de fundamental importância para o desenvolvimento de instrumentos e dispositivos de física moderna e radioastronomia. A observação em baixa frequência propicia o desenvolvimento de técnicas e ferramentas que possibilitam a detecção inclusive dos chamados "flares" solares por via indireta a partir de seus efeitos na ionosfera. Também é possível o estudo de fenômenos que podem demonstrar a estrutura da região que intervém nos processos físico-químicos da alta atmosfera na altitude compreendida entre 60 e 90 km [3], [4], [5].

Durante a noite, na camada D, a concentração iônica média não ultrapassa 50 a 100 íons/cm<sup>3</sup>, desta forma não intervém no mecanismo de propagação, assim, o estudo da região para os fenômenos relativos à energia provinda do Sol são desprezíveis, porém, durante o dia, devido aumento de densidade iônica, a região reflete os sinais de VLF, portanto, ao nascer do Sol e durante todo o passar do dia, se pode verificar as condições de ruído de fundo nas frequências de ELF, VLF e LF [3]. Após o nascer do Sol, a ionização da camada D aumenta e atinge o seu pico em torno do meio dia local. Desta forma, ao se detectar os ruídos de fundo provenientes da alta atmosfera, se poderá mapear através de gráficos sua variação. Dentre estes, dependendo das condições de emissão solar, há um pico de ionização que se dá logo após o amanhecer chamado PSRH (Post Sun Rise Hump), em seguida, há um decréscimo do sinal-ruído acompanhado novamente de um crescente aumento até em torno das 13:00 horas locais, para novamente ocorrer um decréscimo que seguirá até o pôr do Sol. Após o pico começa ocorrer a diminuição da ionização, porém, poderão ser captados sinais provenientes de fenômenos atmosféricos meteorológicos de regiões próximas à recepção do ruído ionosférico. Uma vez que os sinais VLF não têm sua reflexão influenciada após o pôr do Sol na camada "D", à noite não se torna interessante o seu monitoramento, contudo, podem ser captados efeitos provocados pela radiação gerada pela desintegração de meteoros, apitos, chiados, etc. A densidade iônica aumenta ao amanhecer, e este aumento se dá até logo após o meio dia local, a curva típica do sinal/ruído ionosférico recebido em VLF, tem assim um decréscimo, este pode ser medido por um equipamento adequadamente calibrado para a recepção de RF na faixa de 20 kHz. Isso ocorre porque o coeficiente de reflexão da camada mais baixa é bem menor que o índice das camadas de maior altitude. Provavelmente o efeito descrito se deve pela menor densidade

eletrônica, fato a ser investigado. Em geral, ocorre um acréscimo do nível do ruído de fundo ao amanhecer, este acaba por atingir um pico após o meio-dia local para linearizar em seguida. Se poderá observar também que a volta do nível iônico se deve ao tempo necessário para que os íons formados durante o dia se recombinem entre si, conforme descrito anteriormente. Após o pôr do Sol, devida recombinação ocorre um aumento abrupto do nível do sinal, a absorção da região D é proporcional à sua concentração iônica, assim, o equilíbrio iônico oscila entre ionização, dominante a partir do nascer do Sol, no início do dia, que chega a um pico, até o início da recombinação que ocorre imediatamente à diminuição do fluxo solar. É possível, através da recepção dos sinais oriundos da região D, constatar alguns efeitos, dentre estes um fenômeno chamado "Sudden Enhancements of Atmospherics", SEA. Este é gerado por perturbações ionosféricas correlacionadas com erupções cromosféricas solares (Oriundas da fáculas e manchas solares) que após ocorrer, a massa coronal ejetada atinge a magnetosfera da Terra. Uma boa parte da massa coronal ejetada, chega a alterar as condições de ionização, o que é facilmente detectável na faixa de frequência VLF, mais especificamente em torno dos 20 kHz [3]. A denominação SEA é oriunda dos registros de nível de sinal/ruído atmosférico que ao ser atingida a camada D, tem uma súbita elevação para em seguida haver um decréscimo lento e gradual. Quando se tem uma estação transmissora em VLF, no momento da ocorrência de um SEA, também se verifica na estação receptora que os sinais emitidos têm o incremento abrupto, para logo após haver uma redução da recepção que retorna aos níveis anteriores, a este efeito se denomina SES, que significa "Sudden Enhancement of Signals" [1]. Friedman investigou a emissão de Raios-X solares, e demonstrou que a emissão pelos centros de atividade solares é cerca de 70 vezes maior que nas regiões não perturbadas, assim foi estudado que as emanações de raios-X são as responsáveis por uma boa parte da ionização da "Camada D"[1]. Ou, quando ocorre um "flare" solar, no momento em que a radiação ionizante atingir a Terra, ocorrerá um acréscimo no valor do coeficiente de reflexão da região "D", assim, haverá um aumento do ruído e dos sinais daquela camada captados por receptores sintonizados na faixa de 20 KHz ou abaixo. Também, no momento em que cessa o fluxo dos raios-X ocorrerá um declínio exponencial do nível do sinal/ruído recebido. Isso acontece devida recombinação do excesso dos íons formados durante o fenômeno [3]. É sabido que no início do dia, as radiações-X provenientes do Sol atingem a alta atmosfera ionizando-a, também já foi visto que a principal responsável por tal efeito a radiação denominada Lyman alfa. Também já se sabe que a propagação de sinais em frequências em torno de 20 até 30 kHz se processa de modo semelhante a de uma propagação de rádio num guia de ondas constituído pela ionosfera e pela superfície do Planeta.

## 8. Referências

- [1] - CARDOSO, A. H., Análise de Alguns Parâmetros Ionosféricos na Anomalia Geomagnética do Atlântico Sul Mediante Ondas "VLF", Revista Brasileira de Física, Vol. 12, NP 2, (1982).
- [2] Sunspot number, solar activity index; Echer, Ezequiel e outros;
- [3] Coutinho, E.F. , "Introdução às Partículas Presas e à Anomalia Geomagnética Brasileira" , 'Ciência e Cultura', 26, 329-339 (1974)
- [4] Hartmann, G., Anomalia Magnética do Atlântico Sul, fluxo reverso no núcleo da Terra (2006),
- [5] Guimarães, R. C.; Silva, C. E., ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL : ORIGEM INTERNA E VISÃO ESPACIAL, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ.
- [6] Saboia, A. M. ; Marques, G. C. , ANOMALIA MAGNÉTICA DO ATLÂNTICO SUL, Universidade Brasília, Instituto de Geociências.
- [7] S.K. SOLANKI and M. FLIGGE, 2000, RECONSTRUCTION OF PAST SOLAR IRRADIANCE Institute of Astronomy, ETH, CH-8092 Zürich, Switzerland, Max Planck Institute of Aeronomy, D-37191 Katlenburg-Lindau, Germany
- [8] Terra Mission NASA ( <http://terra.nasa.gov/> )
- [9] Terrestrial Observatory - NASA ( <http://earthobservatory.nasa.gov/>)
- [10] The Great Magnet, the Earth - NASA ( <http://pwg.gsfc.nasa.gov/earthmag/dmglist.htm>)
- [11] Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências ( <http://www.igc.usp.br/instituto/>)

## 9. LINKS

\* [Cinturões de Radiação de Van Allen](#).

\* [Antenas](#)

[Licença Creative Commons](#) 04 de novembro de 2007 às 21:30. O trabalho será atualizado, alterado ou eliminado da forma em que o autor determinar, a qualquer tempo, sem prejuízo para si, para mais informações clique no ícone abaixo.



#### HISTÓRICO:

Migração para o Googlesites em 23/04/2009- > Atualização Googlepages: 05/03/2009 -> Atualização Googlepages: 10/02/2009 -> Atualização Googlepages: 25/01/2008 -> Atualização Googlepages: 04/11/2007. -> Publicação no Googlepages: 23/09/2007. -> Encerramento de atualizações no Geocities 23/09/2007. -> Publicação Geocities 09/11/2003. -> Retirada do Ig em 09/11/2003. -> Data da publicação no Ig (Página salva do back-up 22/01/1999).-> Data de publicação no BOL 03/05/1997 (Apagada do Bol-Uol).

Última revisão: 908171702