



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ

SIMONE DE SOUZA LIMA

TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS
Origem e consequências

FORTALEZA – CEARÁ
2012

SIMONE DE SOUZA LIMA

TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS
Origem e consequências

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Física do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. João Bosco Verçosa Leal Junior.

FORTALEZA – CEARÁ
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Estadual do Ceará
Biblioteca Central Prof. Antônio Martins Filho
Bibliotecário(a) Responsável – Thelma Marylanda Silva de Melo -CRB-3/623

L732t Lima, Simone de Souza
 Tempestades geomagnéticas: origem e consequências/ Simone de Souza
 Lima. — 2012.
 CD-ROM. 69 f. : il. (algumas color.) ; 4 ¾ pol.

 “CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico,
 acondicionado em caixa de DVD Slin (19 x 14 cm x 7 mm)”.

 Monografia (Graduação) – Universidade Estadual do Ceará, Centro de
 Ciências e Tecnologia, Curso de Física(Licenciatura) Fortaleza, 2012.

 Orientação: Prof. Dr. João Bosco Verçosa Leal Júnior.

 1. Tempestades geomagnéticas. 2. Ionosfera. I. Título.

CDD: 621.38411

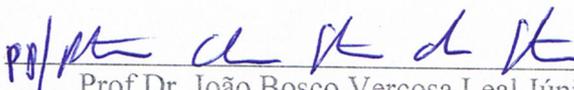
SIMONE DE SOUZA LIMA

TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS
Origem e consequências

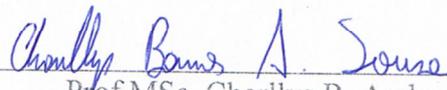
Monografia apresentada ao curso de Graduação em Física do Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de licenciado em Física.

Aprovada em 20/12/2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof.Dr. João Bosco Verçosa Leal Júnior(Orientador)
Universidade Estadual do Ceará – UECE



Prof.MSc. Charllys B. Andrade Sousa
Secretaria Municipal de Educação – SME – Fortaleza CE



Prof.Dra. Eloísa Maia Vidal
Universidade Estadual do Ceará - UECE

Dedico esta monografia como tudo mais em minha vida, ao meu querido Jesus, que me compreende, me conhece e me ama apesar de tudo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser meu pai, meu guia, meu protetor, meu ajudador, minha fortaleza, meu socorro em dias de angústia, minha torre forte em tempos de guerra, minha alegria, minha salvação, minha paz, e meu amado eterno.

Ao Professor Anísio Mesquita, que é exemplo pra mim, de ser humano, de boa conduta, de dedicação, de respeito e interesse em ajudar ao próximo, de boa vontade, sabedoria, e de amor à profissão e às pessoas.

Ao meu pai Victor Ribeiro Neto, que dedicou sua vida a ajudar ao próximo, inclusive a mim. Me doou paciência, amor, conhecimentos, e tudo que eu precisava para crescer. E à sua amada esposa Zulmira Vidal Ribeiro que me deu o alicerce necessário, amor e dedicação para o começo de uma vida.

À minha família (Osmarina Araújo Cunha, e Maurício Dênis Araújo), que contribuíram com tempo, dinheiro e muita paciência.

Ao meu filho Gabriel Pixuquinho que é minha motivação pra tudo.

Aos meus colegas de curso Samuel Guerra, Eduardo S.G, Ana Karine, Edson, Jardel M. Pessoa, que me incentivaram, que dispensaram parte de seus preciosos tempos para estenderem-me a mão e me ajudarem nessa caminhada.

Ao professor Bosco Leal, que mediante aceitação do convite em me orientar, dedicou parte de seu tempo, conhecimentos e simpatia, e não poupou esforços para que eu obtivesse todo o apoio necessário para conclusão desse trabalho.

“Ó profundidade das riquezas,
tanto da sabedoria, como da
ciência de Deus! Quão insondáveis
são os seus juízos, e quão
inescrutáveis os seus caminhos!”

Rm 11:33

RESUMO

Há uma variabilidade de interações de diversas intensidades no clima espacial, devida à influência do Sol, exercida nos planetas que fazem parte do sistema solar, principalmente nos mais próximos como a Terra. Tempestades geomagnéticas são interações entre a magnetosfera-ionosfera terrestre e os eventos solares, e esses fenômenos são caracterizados pelas energias envolvidas, tempo de propagação (no caso, do Sol à Terra), duração dos efeitos e impactos gerados. O Sol, estrela de grande magnitude, é possuidor de um poderoso campo magnético de alta complexidade, e atividade, onde há uma dinâmica em que são geradas manchas, proeminências, *flares* e ejeções de massa coronal, que são transportados pelo vento solar através das linhas de campo magnético e influenciam diretamente na dinâmica terrestre, proporcionando fenômenos ópticos de rara beleza como as auroras polares, mas também com uma preocupante influência no funcionamento de equipamentos tecnológicos que se tornaram essenciais para o atual estilo de vida terrestre. É evidente a necessidade de estudos mais aprofundados com respeito às causas e efeitos do clima espacial no nosso planeta. O que está sendo feito através de observatórios espaciais lançados, muitas vezes, em parceria entre países e/ou continentes, como por exemplo, a SOHO, que é uma parceria entre a ESA (*European Space Agency*) e a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). É necessário e de urgência importância, a continuidade, e aprofundamento destes estudos e monitoramentos, para o apontamento de soluções, ou mesmo para uma melhor prevenção, na intenção de uma melhora no convívio entre as causas dos fenômenos, e o atual estilo de vida tecnológico, para a melhoria de uma adaptação aos seus efeitos.

Palavras-chave: Tempestades geomagnéticas, Sol, Terra, ionosfera, magnetosfera, manchas solares, auroras.

ABSTRACT

There is a variability in interactions of various intensities in space weather, due to the influence of the Sun, the planets exerted that are part of the solar system, especially as the closest to Earth. Geomagnetic storms are interactions between the magnetosphere-ionosphere and terrestrial solar events, and these phenomena are characterized by the energies involved, propagation time (in the case of the Sun to the Earth), duration of effects and impacts. The Sun, a star of great magnitude, is possessed of a powerful magnetic field of high complexity, and activity, where there is a dynamic that generates spots, prominences, flares and coronal mass ejections, which are carried by the solar wind across the lines magnetic field and directly influence the terrestrial dynamics, providing optical phenomena of rare beauty as polar auroras, but also a disturbing influence on the functioning of technological equipment that have become essential to the current terrestrial lifestyle. Clearly the need for further studies regarding the causes and effects of space weather on our planet. What is being done through space observatories launched, often in partnership between countries and / or continents, such as SOHO, which is a partnership between ESA (European Space Agency) and NASA (National Aeronautics and Space Administration). It is necessary and urgent importance, continuity and deepening of these studies and monitoring, pointing to solutions, or even better prevention, intending to an improvement in living among the causes of phenomena, and current lifestyle technological for improving the adaptation of their effects.

Keywords: Geomagnetic Storms, Sun, Earth, ionosphere, magnetosphere, sunspots, auroras.

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| TABELA 1 | Classificação das Tempestades Magnéticas segundo o índice Dst..... | 48 |
|----------|--|----|

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| FIGURA 1 | Estrutura do sol..... | 20 |
| FIGURA 2 | Eclipses solares totais mostrando a coroa..... | 21 |
| FIGURA 3 | <i>Flares</i> e CME | 23 |
| FIGURA 4 | Buracos coronais e Manchas solares do ciclo 24, em 10/12/2012..... | 24 |
| FIGURA 5 | Evolução do campo magnético solar durante um ciclo de atividade | 25 |
| FIGURA 6 | O ciclo das manchas solares desde 1995 até 2009..... | 26 |
| FIGURA 7 | Diferença entre as manchas do ciclo solar 24 em 2012, e do pico do Ciclo solar 23 em 2001..... | 28 |
| FIGURA 8 | Vento solar e sua interação com a magnetosfera terrestre - deduzida Pela primeira vez por Chapman e Ferraro no começo da década de 1930 | 29 |
| FIGURA 9 | Camadas da atmosfera..... | 34 |
| FIGURA 10 | Esquema das camadas da Ionosfera..... | 39 |
| FIGURA 11 | Imagem de proeminência solar ou filamento, capturada por um dos Instrumentos à bordo do SDO, em setembro de 2012..... | 41 |
| FIGURA 12 | Regiões da Magnetosfera: A fronteira da magnetosfera, a magnetopausa, encontra-se a uma distância de ~ 10 raios terrestres no lado diurno, o lado noturno estende-se numa comprida cauda magnética.... | 42 |
| FIGURA 13 | Núcleos da Terra..... | 43 |
| FIGURA 14 | Eixos dos polos magnéticos e geográficos da Terra..... | 44 |
| FIGURA 15 | Localização do cinturão de Van Alle..... | 45 |
| FIGURA 16 | Anomalia magnética do Atlântico Sul - Campo magnético total da Terra, sobre o Brasil na área azul mais escura existe a AMAS, observar que as linhas de campo formam na região uma figura que se assemelha a uma cabeça de um pato, por isso é chamada "El Pato"..... | 46 |
| FIGURA 17 | Mapa de Auroras Kp..... | 51 |
| FIGURA 18 | Aurora rara em cor púrpura | 51 |

| | | |
|-----------|--|----|
| FIGURA 19 | Diagrama dos três principais tipos de fenômenos que afetam o geoespaço, constituindo o Clima Espacial..... | 52 |
| FIGURA 20 | Transformador danificado por uma tempestade magnética em Quebec, Canadá..... | 53 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|-----------|--|----|
| GRÁFICO 1 | Atividades do vento solar de 30 de agosto a 3 de setembro de 2012..... | 30 |
| GRAFICO 2 | Índice K _p de atividade solar, setembro de 2012..... | 50 |

LISTA DE SIGLAS OU ABREVIATURAS

| | |
|------|--|
| AMAS | Anomalia magnética do Atlântico Sul |
| CME | Ejeção de massa coronal |
| Dst | <i>Disturbance Storm Time</i> |
| GICs | Correntes geomagnéticas induzidas |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> (Sistema de posicionamento global) |
| HF | <i>Hight Frequency</i> (alta frequência) |
| IMF | <i>Interplanetary Magnetic Field</i> (Campo Magnético Interplanetário) |
| INPE | Instituto nacional de Pesquisas espaciais |
| Kp | Planetarische Kennziffer |
| SAA | <i>South Atlantic Anomaly</i> |
| SDO | <i>Solar Dynamics Observatory</i> |
| SOHO | <i>Solar and heliospheric observatory</i> |
| NASA | <i>National Aeronautics and Space Administration</i> |
| NOAA | <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> |
| MHz | MegaHertz |
| MSFC | <i>Marshall Space Flight Center</i> (Centro Espacial Marshall) |
| nT | Nano Tesla: unidade de medida de intensidade de campo magnético. 1 Nano-Tesla = 10^9 Tesla: |
| UA | Unidade Astronômica (1 UA = 149.597.870.700 m) |
| UT | Universal Time (tempo universal) |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA | 16 |
| 1.2 | OBJETIVOS | 16 |
| 2 | O SOL | 18 |
| 2.1 | INTRODUÇÃO | 18 |
| 2.2 | CLASSE ESPECTRAL | 19 |
| 2.3 | ESTRUTURA | 20 |
| 2.4 | A COROA SOLAR | 21 |
| 2.5 | EXPLOSÕES SOLARES (FLARES) | 22 |
| 2.6 | MANCHAS SOLARES | 24 |
| 2.7 | CICLO DE ATIVIDADES (RELAÇÃO COM AS MANCHAS SOLARES) | 25 |
| 2.8 | O VENTO SOLAR | 28 |
| 2.9 | TEMPESTADE SOLAR | 30 |
| 3 | A TERRA | 31 |
| 3.1 | A ATMOSFERA TERRESTRE | 31 |
| 3.1.1 | Troposfera | 31 |
| 3.1.2 | Tropopausa | 32 |
| 3.1.3 | Estratosfera | 32 |
| 3.1.4 | Estratopausa | 32 |
| 3.1.5 | A Mesosfera | 32 |
| 3.1.6 | Mesopausa | 32 |
| 3.1.7 | A Termosfera | 33 |
| 3.1.8 | Termopausa | 33 |
| 3.1.9 | Exosfera | 33 |
| 3.1.10 | Ozonosfera | 33 |
| 3.1.11 | Homosfera e Heterosfera | 33 |
| 3.1.12 | Camada limite planetária | 34 |
| 3.2 | A Ionosfera | 35 |
| 3.2.1 | Regiões ou camadas da ionosfera | 37 |
| 3.2.2 | Perturbações ionosféricas | 40 |
| 3.3 | A MAGNETOSFERA | 41 |
| 3.3.1 | Cálculo da localização de pólo geomagnético | 44 |
| 3.3.2 | Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS) | 44 |
| 3.4 | SUBTEMPESTADES MAGNÉTICAS | 46 |
| 3.5 | TEMPESTADES MAGNÉTICAS | 47 |
| 3.5.1 | Índices magnéticos | 48 |
| 3.6 | AS AURORAS POLARES | 50 |
| 3.7 | CONSEQUÊNCIAS DE TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS | 52 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 55 |
| | BIBLIOGRAFIA | 56 |
| | ANEXOS | 58 |

1 INTRODUÇÃO

A Terra, planeta em que vivemos, é constantemente palco de vários fenômenos físicos de grande impacto, e vivemos alheios a isso no nosso cotidiano, embora possamos sofrer muitas consequências de tais fenômenos. E um exemplo desses são as tempestades geomagnéticas, das quais resultam em outro fenômeno batizado por Galileu Galilei em 1619 de “aurora boreal”, em referência à deusa romana do amanhecer Aurora, e ao seu filho Bóreas, representante dos ventos nortes. Em latitudes do hemisfério sul é conhecida como aurora austral, nome batizado por James Cook, numa referência direta ao fato de estar ao Sul.

O fato de esses fenômenos serem de tão grande importância e beleza, e relativamente pouco conhecidos, falados ou estudados, me chamou a atenção para este assunto, pois apesar da aurora polar ser um fenômeno óptico de grande magnitude e beleza, é também de grande poder, visto que resulta de colisões de elétrons de energia de 1 a 15 keV, além de prótons e partículas alfa, com átomos da atmosfera do planeta onde predominam o oxigênio e o nitrogênio, tipicamente em altitudes entre 80 e 150 km.

Eventos solares (como por exemplo, explosões solares, ou *flares*) são responsáveis pela alteração dos parâmetros do vento solar (velocidade e densidade). E então conseqüentemente, ocorre uma alteração do campo geomagnético da nossa terra, que por sua vez contribui para a ocorrência das tempestades geomagnéticas. Estas por sua vez, implicam numa tempestade ionosférica, que é uma resposta à tempestade geomagnética. “Tempestades geomagnéticas ocorrem em conjunto com as tempestades ionosféricas e têm as mesmas causas, como por exemplo, as explosões solares” (McNamara, 1991).

A presente monografia foi elaborada tendo em vista não só a obtenção de créditos da disciplina: Trabalho de graduação do curso de Licenciatura Plena em Física da Universidade Estadual do Ceará, como também à divulgação de informações que espero eu, contribuam para um crescimento intelectual e acadêmico de quem se interessar pelos assuntos aqui abordados, e usufruir desse trabalho, estando assim,

informado sobre assuntos atualíssimos e que deveriam fazer parte do cotidiano dos estudantes, (pelo menos dos estudantes de física).

1.1 Justificativa

Desde a minha mais tenra infância o meu olhar é atraído para o mundo dinâmico e esteticamente deslumbrante que está muito acima das nossas cabeças.

Um mundo no qual é povoado por luzes, cores, sons, formas e movimentos inigualáveis, normalmente ignorados pela maioria, mas que é muitíssimo atraente para mim. É onde tudo é macro e ao mesmo tempo micro, com riquíssima vida pulsante e em todos os sentidos: perfeita!

E é por causa desse fascínio pelo grandioso, belo e desconhecido Universo que eu tomei a decisão de escrever sobre uma pequeníssima parte dele. Um pouco sobre o Sol, a Terra e sua interação na forma de Tempestades Geomagnéticas.

1.2 Objetivos

Ressaltar a necessidade de se estar informado sobre a importância do clima espacial, para predição da resposta do mesmo, com as contínuas mudanças da atividade solar. Pois o clima espacial tem uma direta influência sobre a Terra.

Explosões e ejeções solares de grande quantidade de massa e energia que formam o vento solar e alcançam a Terra, provocam tempestades geomagnéticas, afetando desde o funcionamento de satélites na órbita da Terra, até receptores GPS na superfície da Terra, podem fragilizar a camada de Ozônio, e provocar a variação da Ionosfera, e esta, recebe perturbação tanto de cima, da magnetosfera, quanto de baixo, como a propagação de ondas de gravidade na mesosfera, e atividade meteorológicas.

Essa informação e entendimento sobre essas interações de eventos solares, clima espacial, sistema de camadas atmosféricas, são de grande importância no desenvolvimento tecnológico da sociedade atual, devido à influência nos enlaces

ionosféricos de telecomunicações, e na superfície da Terra, como, por exemplo, em transformadores de linhas de transmissão de energia, e proteção catódica de dutos para transporte de óleo e gás.

E no Brasil, esses efeitos tem até mais relevância devido à grande extensão territorial do país, à declinação geomagnética máxima, e à AMAS (anomalia magnética do atlântico sul) que estão sobre nosso território. Como exemplo da consequência disso, no Brasil há uma frequência maior na ocorrência de bolhas de plasma. E então, deve-se reconhecer a importância da previsão de ocorrência de tempestades geomagnéticas, bolhas de plasma e perturbações ionosféricas.

2 O SOL

2.1 Introdução

Os gregos chamavam de *Helios* e os romanos de Sol. Na antiguidade, entre várias culturas pagãs pré-históricas, o Sol foi objeto de adoração, e isso foi um aspecto central nessas civilizações, como por exemplo, os Incas na América do Sul, e entre os Astecas no México. Os fenômenos solares foram o motivo de vários monumentos, e estes monumentos megalíticos podem ser encontrados em *Nabta Playa* (no Egito) em *Mnajdra* (em Malta) e em *Stonehenge* (no Reino Unido). Também há um monte pré-histórico na Irlanda chamado de *Newgrange*, que foi construído para detectar o solstício de inverno. Nos equinócios de primavera e outono, a pirâmide de Templo de *Kukulcán* em *Chichén Itzá* (México) lançava sombras em forma de serpentes.

Durante o Império Romano, logo após o solstício de inverno, celebravam um feriado denominado “Sol Invictus” (Sol não conquistado), provavelmente um antecedente do Natal.

Astrônomos gregos consideravam o Sol como um dos sete planetas (*planetes* em grego, que significa “perambulador”) etimologia que explica o nome dos sete dias da semana em alguns idiomas.

O Sol formou-se cerca de 4,57 bilhões (4,567 mil milhões) de anos atrás, é a estrela central do nosso sistema planetário, e apesar de tantos outros corpos celestes (planetas, planetas anões, asteroides, cometas, satélites e poeira) girando ao seu redor, é responsável por 98,86% da massa do sistema solar, (sendo Júpiter praticamente o resto), é 332 900 vezes maior que a massa da terra, com volume 300 000 vezes maior. E a distância da terra ao Sol varia com o ano, de no mínimo 147,1 milhões de quilômetros (0,9833 UA) no Periélio ou a um máximo de 152,1 milhões de quilômetros (1,017 UA) no Afélio. A luz do Sol demora aproximadamente 8 minutos e 18 segundos para chegar à Terra. A temperatura efetiva (a temperatura que um corpo negro do mesmo tamanho precisa ter para emitir a mesma potência) do Sol é de 5 778 K (5 505 C°).

A energia do Sol é responsável pelos fenômenos meteorológicos e o clima na Terra. Dentro de aproximadamente 5 bilhões de anos, como parte de sua evolução, o Sol se tornará uma gigante vermelha, devido à sua expansão prevista pelos modelos físicos, que poderá atingir até 250 vezes o seu raio atual, cerca de 1UA, e então o destino da Terra será incerto, pois como gigante vermelha o Sol perderá cerca de 30% de sua massa quando atingir o seu raio máximo, e a Terra perderá os efeitos das marés, e irá se deslocar para uma órbita a 1,7 UA do Sol.

2.2 Classe espectral

Possui a classe espectral de G2V: G2 indica que a estrela possui uma temperatura de superfície de aproximadamente 5778 K (5505 C°), Ou seja, o sol tem uma cor branca, no entanto, a dispersão dos seus raios na atmosfera nos faz avistá-lo como amarelo no céu terrestre.

O V (5 em números romanos) na classe espectral indica que o Sol, como a maioria das estrelas, faz parte da sequência principal. Isto significa que gera sua energia através da fusão de núcleos de hidrogênio para a formação de hélio, ou seja, o Sol é uma usina nuclear gigante.

Existe mais de 100 milhões de estrelas da classe G2 na Via Láctea. Considerado anteriormente uma estrela pequena, acredita-se atualmente que o Sol seja mais brilhante do que 85% das estrelas da Via Láctea, sendo a maioria dessas, anãs vermelhas. O espectro do Sol contém linhas espectrais de metais ionizados e neutros, bem como linhas de hidrogênio muito fracas.

O Sol orbita o centro da Via Láctea a uma distância de cerca de 24 a 26 mil anos-luz do centro galáctico, movendo-se geralmente na direção de *Cygnus* e completando uma órbita entre 225 a 250 milhões de anos (um ano galáctico). A estimativa mais recente e precisa da velocidade orbital do sol é da ordem de 251 km/s.

Visto que a Via Láctea move-se na direção da constelação *Hidra*, com uma velocidade de 550 km/s, a velocidade do Sol relativa à radiação cósmica de fundo em micro-ondas é de 370 km/s, na direção da constelação *Crater*.

2.3 Estrutura

O Sol pode ser dividido em interior solar e atmosfera solar. O interior é composto de Núcleo, Zona radiativa e Zona convectiva. A atmosfera solar, a parte mais externa do Sol, é composta de três camadas: a fotosfera, a cromosfera e a coroa, conforme se vê na Figura 1 abaixo:

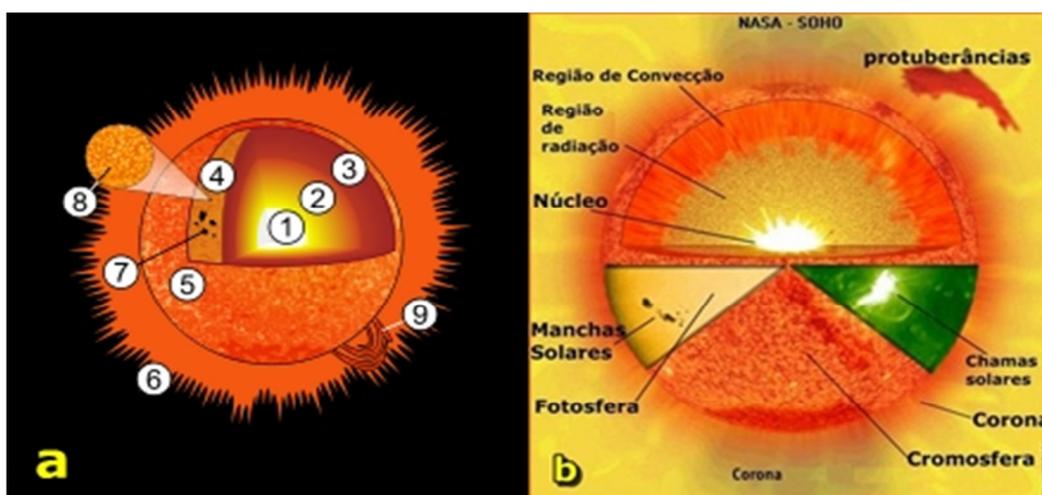


Figura 1 – Estrutura do sol

(fontes: a) <http://pt.wikipedia.org/wiki/Sol> e b) <http://www.nasa.gov/> - 2012)

As áreas indicadas na Figura 1a correspondem a:

- 1) Núcleo;
- 2) Zona de radiação;
- 3) Zona de convecção;
- 4) Fotosfera;
- 5) Cromosfera;
- 6) Coroa;
- 7) Mancha solar;
- 8) Grânulos; e
- 9) Proeminência solar.

2.4 A coroa solar

Também chamada de coroa branca, coroa de Fraunhofer ou corona, a coroa é a parte mais externa da atmosfera solar, que se expande continuamente no espaço, criando o vento solar, numa corrente de partículas carregadas que se estende até a heliopausa (fronteira entre as regiões do vento interestelar e do vento solar), a cerca de 100 UA do Sol. Pode-se observar melhor a coroa durante os eclipses totais do Sol, pois apesar de ter um brilho equivalente ao da lua cheia, ela fica obscurecida quando a fotosfera é visível. Então, durante o eclipse, o disco solar fica ocultado pela Lua, e é possível observar e estudar a coroa solar, como podemos observar na FIGURA 2.

A Coroa tem densidade mais baixa do que a da cromosfera, cerca de 2-3 ordens de grandeza mais baixa, mas a temperatura é extremamente alta emitindo grande quantidade de raios-x e gás, que se encontra em forma de plasma – gás ionizado – produzindo assim os elétrons e íons que formam o chamado vento solar, que se propaga por todo o sistema solar, e ocasionalmente atinge a terra.

É nesta camada que são observadas as regiões ativas do Sol, e é nessas regiões que se observam vários fenômenos como os as CME (ejeções de massa coronal) e os “flares” (explosões solares) por exemplo, que ocorrem com maior frequência nos períodos de máxima atividade do ciclo solar.

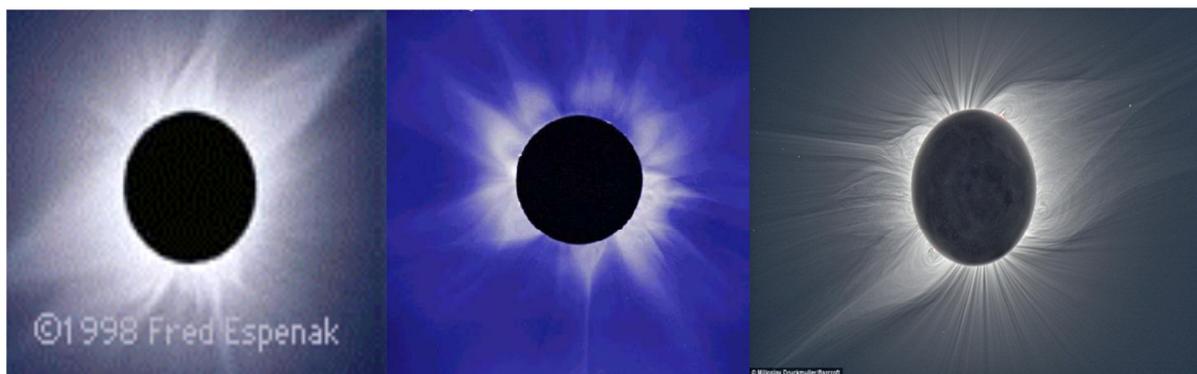


Figura 2 - Eclipses solares totais mostrando a coroa
(fonte: <http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html> - 2012)

2.5 Explosões solares (*flares*)

As explosões solares são caracterizadas pela emissão de grandes quantidades de energia (10²⁶ – 10³² erg) que variam em curtos intervalos de tempo, de alguns segundos até a algumas horas para fenômenos mais intensos. Foram observadas pela primeira vez por C. Carrington e R. Hodgson, em 1 de setembro de 1859.

No interior das regiões ativas, na atmosfera solar, estão armazenadas energia magnética, e são dessas regiões que provém a energia cinética/ térmica liberada pelos *flares*, que não chega a 10% de toda energia emitida pelo Sol durante 1 segundo, mas provoca o aquecimento e aceleração de partículas mais pesadas que estão presentes na vizinhança e nos locais de liberação de energia.

Essa interação de partículas energizadas com o meio, é que provoca a emissão de energia em forma de radiação que é distribuída pelo espectro eletromagnético estendendo-se em ondas de rádio quilométricas, raios-x, raios gama, e também partículas (elétrons e íons) energéticos.

Podem ser apresentadas três fases diferentes numa explosão solar:

Primeira fase – é a precursora, a liberação de energia é ativada nesse período, e são emitidos raios-x moles.

Segunda fase – é a impulsiva, onde podem ser observadas 90% das explosões, pois as partículas (elétrons e prótons) são energizados até energias acima de 1 MeV.

Terceira fase – de decaimento, onde podem ser observados aumentos e decaimentos graduais em raios-x moles.

Os *flares* podem ser observados através de instrumentos científicos, que durante uma explosão solar registram a característica da radiação emitida, como por exemplo, o *flare* (ver FIGURA 3) registrado pelo observatório heliosférico SOHO, lançado em 2 de dezembro de 1995. E os instrumentos utilizados para observação em solo terrestre são radiotelescópios e telescópios ópticos. Mas também são feitas observações à bordo de balões estratosféricos e de satélites espaciais utilizados para observações das emissões em ultravioleta, raios-x e raios gama; Esses comprimentos

de onda não chegam até a superfície porque são bloqueados pelas faixas de alta e média atmosfera terrestre.

Os *flares* podem ser classificados segundo a intensidade do seu brilho, ou clarão, observados dentro do espectro de raios-x, entre 1 e 8 Angstroms.

Os *flares* de **classe X** são classificados como os mais intensos, e preocupantes, pois podem provocar blackouts de radiopropagação, que podem durar de horas a dias, podem chegar a causar panes em satélites, colapsos em sistemas de distribuição de energia elétrica, pela destruição de transformadores e circuitos eletrônicos.

Os de **classe M**, de tamanho médio, afetam diretamente as regiões polares, causando blackout de radiocomunicação.

E existem as de **classe C**, que são fracas e quase imperceptíveis na Terra.

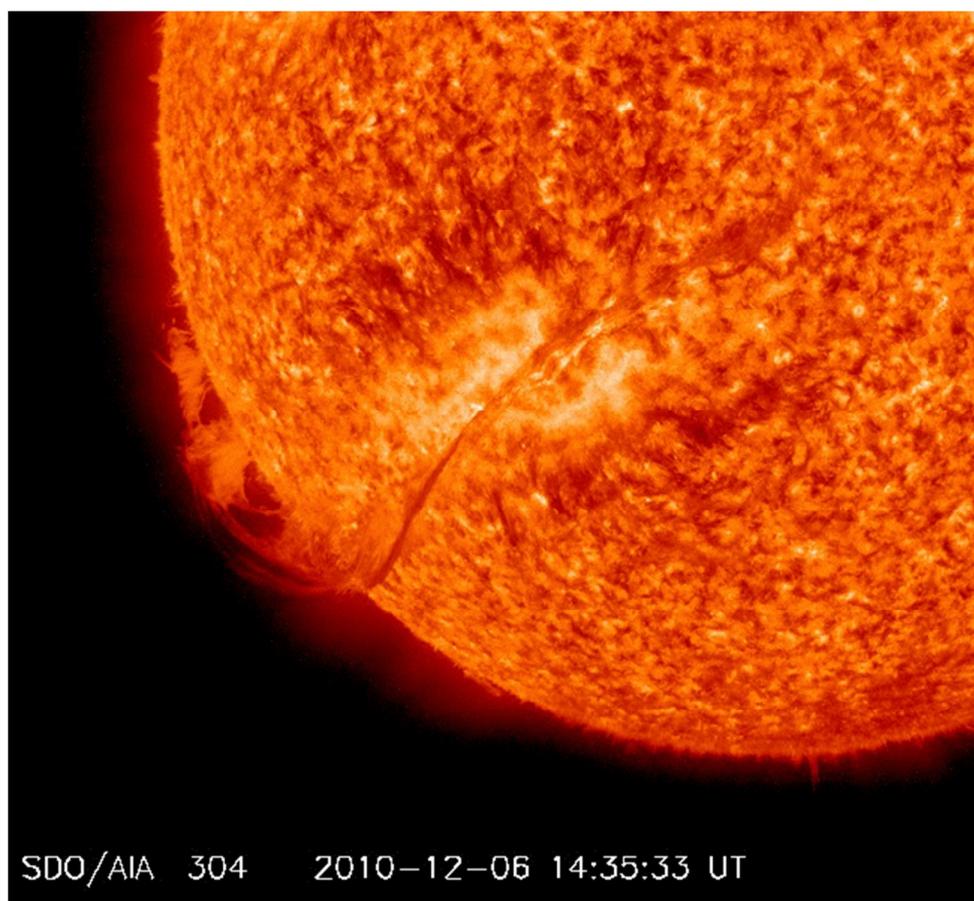


Figura 3 – *Flares* e CME (fonte: <http://sdo.gsfc.nasa.gov/>- 2012)

2.6 Manchas solares

As manchas solares são regiões na superfície do Sol, especificamente na fotosfera, elas são concentrações de fluxo magnético que ocorrem geralmente em grupos bipolares, e são caracterizadas por uma temperatura menor do que em seus arredores e com uma intensa atividade magnética, as suas temperaturas giram em torno de 4000 a 4500 K, em contraste com a região circunvizinha que é em torno de 5778 K, e essa variação causa uma ilusão de ótica de que as manchas são escuras em relação ao seu meio, mas a luz emitida das regiões internas às manchas solares é mais brilhante do que um arco voltaico.

O número de manchas solares visíveis no Sol não é constante, elas variam ao longo de um ciclo médio de 11 anos onde no início pouca ou nenhuma mancha é avistada.

As manchas solares podem ser divididas em: UMBRA, onde o campo magnético é mais intenso (temperaturas em torno de 2200 °C) e PENUMBRA, onde o a componente horizontal do campo é maior, mas o campo magnético é mais fraco, (temperaturas em torno de 3000 °C).

Elas raramente se formam a mais de 40 graus ou a menos de 10 graus de distância do equador solar. A maior parte dos grupos dura 10 dias. O campo magnético permanece até as manchas desaparecerem.

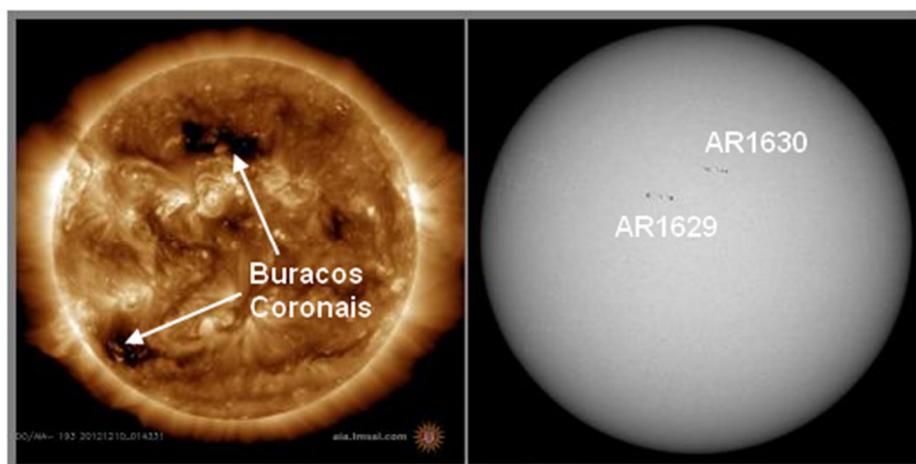


Figura 4: Buracos coronais e Manchas solares do ciclo 24, em 10.12.2012
(Fonte: <http://sdo.gsfc.nasa.gov/gallery/main.php> - 2012)

2.7 Ciclo de atividades (relação com as manchas solares)

Simon Marius (1573-1624), astrônomo alemão, foi um dos primeiros a observar as manchas solares.

Samuel Heinrich Schwabe Abgelaufen em suas observações do Sol por 17 anos (de 1826 a 1843) na tentativa de descobrir um novo planeta na órbita de Mercúrio, notou a variação regular no número de manchas solares e publicou suas descobertas em um artigo curto intitulado “Observações solares durante 1843”. Sugerindo então a existência de um ciclo solar relativo ao número de manchas solares, e o deduziu com um período de 10 anos, mas Rudolf Wolf, que era na época o diretor do observatório de Berna, ficou impressionado com o artigo e então, em 1852 deduziu um período mais preciso: 11.1 anos. Este período é ligado a uma variação no campo magnético solar que muda a polaridade, ou seja, as manchas solares ocorrem em pares de polaridades opostas, e esta polaridade magnética vai alternando a cada ciclo solar, e tem uma relação com a posição do par, tendo em um ciclo, um polo magnético norte e no outro ciclo um polo magnético sul. A FIGURA 5, abaixo, sintetiza o processo de origem dos campos magnéticos evoluindo para formação das manchas solares.

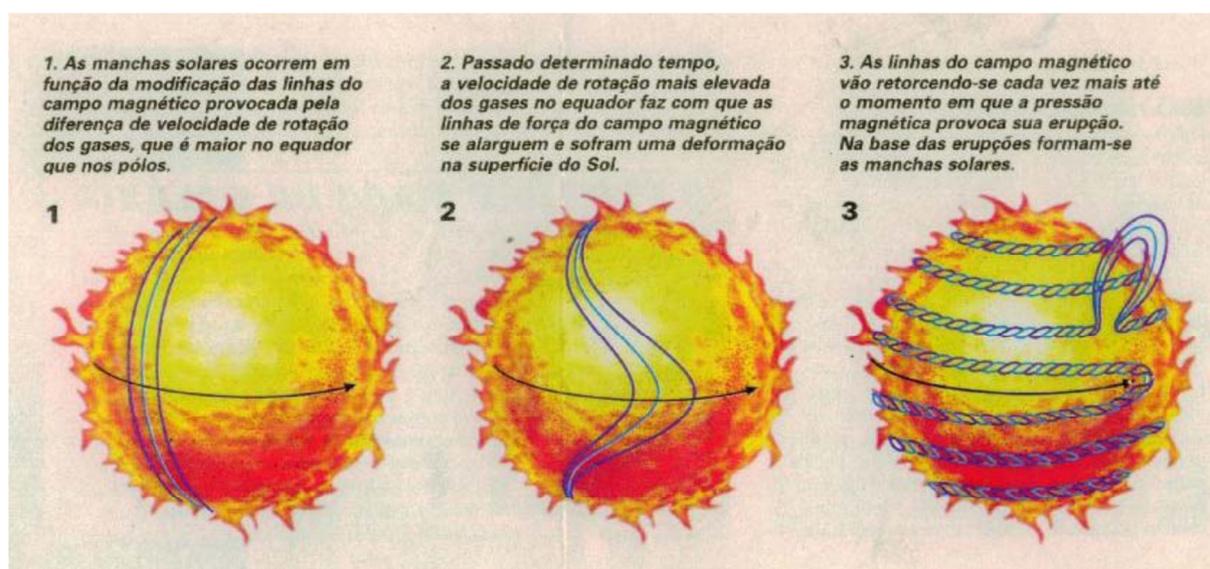


Figura 5: Evolução do campo magnético solar durante um ciclo de atividade (fonte: revista ciência hoje)

Desde George Ellery Hale, 1914, que se sabe que há uma alternância nas polaridades magnéticas das manchas, concluindo-se por isso hoje, que o *ciclo magnético* solar é de 22 anos, cobrindo duas reversões polares do campo magnético solar do dipolo (lei de polaridade de Hale).

No início de um ciclo, manchas pequenas surgem em pequeno número, em latitudes solares mais elevadas e então vão se formando cada vez maiores e aumentando em número, mais próximas do equador solar, conforme o ciclo vai evoluindo à atividade máxima, e decresce gradativamente em direção ao fim, e é esse período que dura em média 11 anos, mas, como uma mesma polaridade magnética do Sol se repete apenas a cada 2 ciclos de atividade, então o *ciclo magnético* solar é de cerca de 22 anos.

O máximo período de duração de um *ciclo de atividade solar* foi durante o ciclo solar 4, e durou 13 anos, e 8 meses: de setembro de 1784 a maio de 1798. E o menor ciclo foi o de número 2, e durou exatamente 9 anos: de junho de 1766 a junho de 1775.

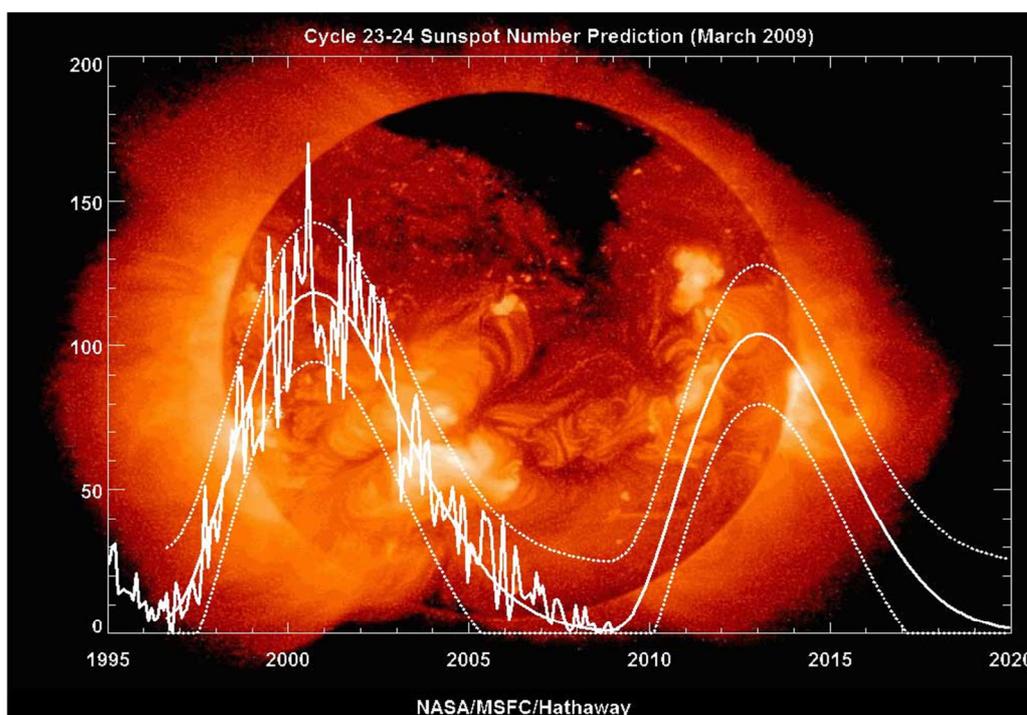


Figura 6: O ciclo das manchas solares desde 1995 até 2009.
(Crédito: David Hathaway, NASA / MSFC)

A curva de contagens de manchas irregulares, em traços reais. Curvas suaves são ajustes aos dados de previsões de atividade futura.

As manchas solares aparecem nos períodos de atividade mais elevada, conhecidos como “máximo solar”, e o período com menor atividade é conhecido como “mínimo solar”.

O ciclo solar 24, no qual o sol está no momento, parece ter começado efetivamente em 22 de setembro de 2008, embora o início estivesse previsto pelo NOAA pra março de 2008, devido a um alarme falso em janeiro daquele mesmo ano em que uma mancha solar detectada era remanescente do ciclo 23. Então o máximo solar do ciclo 24 só iniciou realmente pelo meio de 2010, e atingirá o ápice em 2013 ou até mesmo 2014.

Horace W. Babcock propôs um modelo qualitativo para a dinâmica das camadas exteriores do Sol. O modelo Babcock explica o comportamento descrito pela lei de Spörer, (que diz que à medida que o ciclo solar continua, o número de manchas aumenta, e as manchas movem-se em direção ao equador solar), e que os efeitos, em geral são devido aos campos magnéticos que são torcidos pela rotação do Sol. O campo magnético da Terra e o Sol deveriam estar alinhados no pico do ciclo solar 24, agora em 2012 , mas até o momento (setembro - 2012) ainda é muito baixo o contraste das manchas solares, como podemos ver na foto tirada pelo SDO no dia 06 de dezembro de 2012 (FIGURA 7).

O ciclo solar tem grande influência sobre o clima na Terra, porque a luminosidade solar está diretamente relacionada à atividade magnética do Sol.

Quando a atividade do Sol está em um período mínimo, então na Terra, há registros de temperaturas mais baixas do que o normal, e nos ciclos solares mais longos, como por exemplo: o ciclo solar 4, há temperaturas médias mais altas do que o normal.

Durante o século XVII, poucas manchas solares foram observadas por várias décadas, e a Europa experimentou temperaturas mais baixas nesse período, e esse fenômeno foi denominado “Mínimo de Maunder” ou “Pequena idade do gelo”.

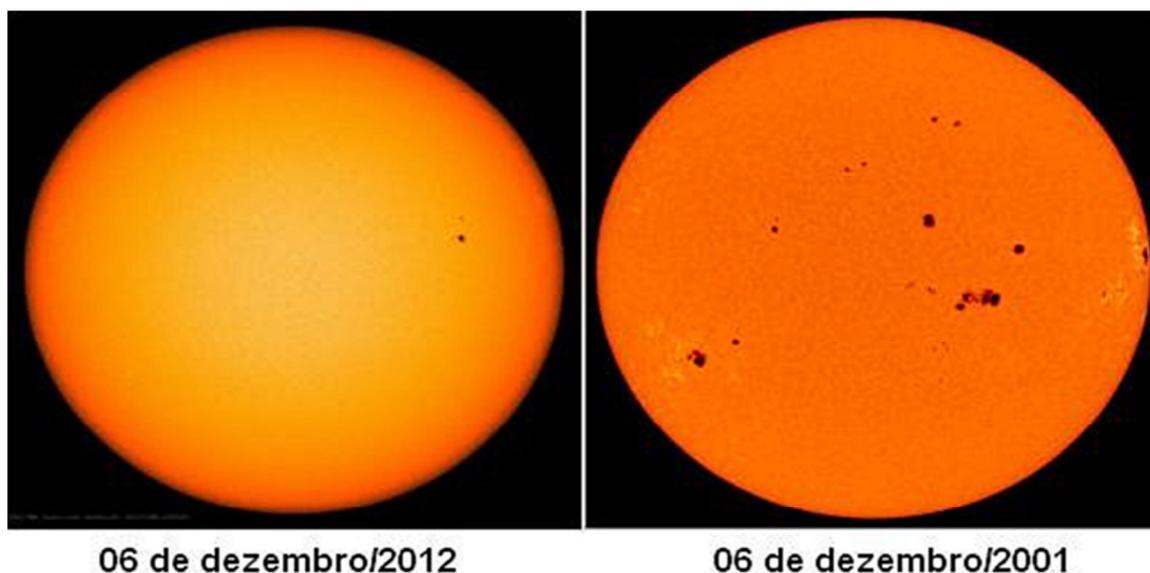


Figura 7: Diferença entre as manchas do ciclo solar 24 em 2012, e do pico do ciclo solar 23 em 2001. (Fonte: adaptação <http://sdo.gsfc.nasa.gov/>)

2.8 O vento solar

O motivo pelo qual o vento solar começou a ser estudado foi inicialmente explicar as auroras polares e as inclinações das caudas dos cometas.

Imaginado pela primeira vez pelo físico Eugene Newman Parker em 1958, foi observado pela primeira vez pela espaçonave Russa Luna II em 1959, e depois Explorer 10 em 1961.

O vento solar é composto por plasma de átomos ionizados mais pesados emitidos pela coroa solar. Devido à altíssima temperatura da coroa, essas partículas (que podem ser elétrons e prótons, ou até subpartículas, como os neutrinos) provêm dos buracos coronais (ver FIGURA 4), e escapam através das linhas abertas do campo magnético e são acelerados pelas reações termonucleares do Sol à velocidades elevadas (cerca de 600 km/s) e em todas as direções do espaço interplanetário.

Hannes Alfvén em 1957, postulou que o vento solar era magnetizado, há ocasionalmente uma interação do vento solar com a magnetosfera da Terra, dando origem ao fenômeno óptico conhecido como Aurora polar, e essas partículas carregadas influem também na propagação de ondas de rádio e no comportamento da

atmosfera da Terra, pois alteram a ionização na alta atmosfera, e isso aumenta a possibilidade de tempestades magnéticas.

Quando o vento solar interage com a magnetosfera terrestre, causa uma deformação no espaço entre o Sol e Terra, e na direção do espaço exterior, formando uma espécie de cauda, com formato semelhante a dos cometas, como podemos ver na FIGURA 8 .

Essas partículas ionizadas que formam o vento solar são atraídas para as proximidades das regiões dos polos magnéticos, penetram na atmosfera terrestre em altas latitudes (em média a 100 Km) e então se recombina e formam um átomo neutro, e quando isso acontece, uma luz característica desse átomo é emitida, e a cor da luz depende também dos vários gases da atmosfera terrestre, pois a energia das partículas incidentes não é fixa, então há variados padrões difusos em variadas cores. Para esse fenômeno foi dado o nome de Aurora.

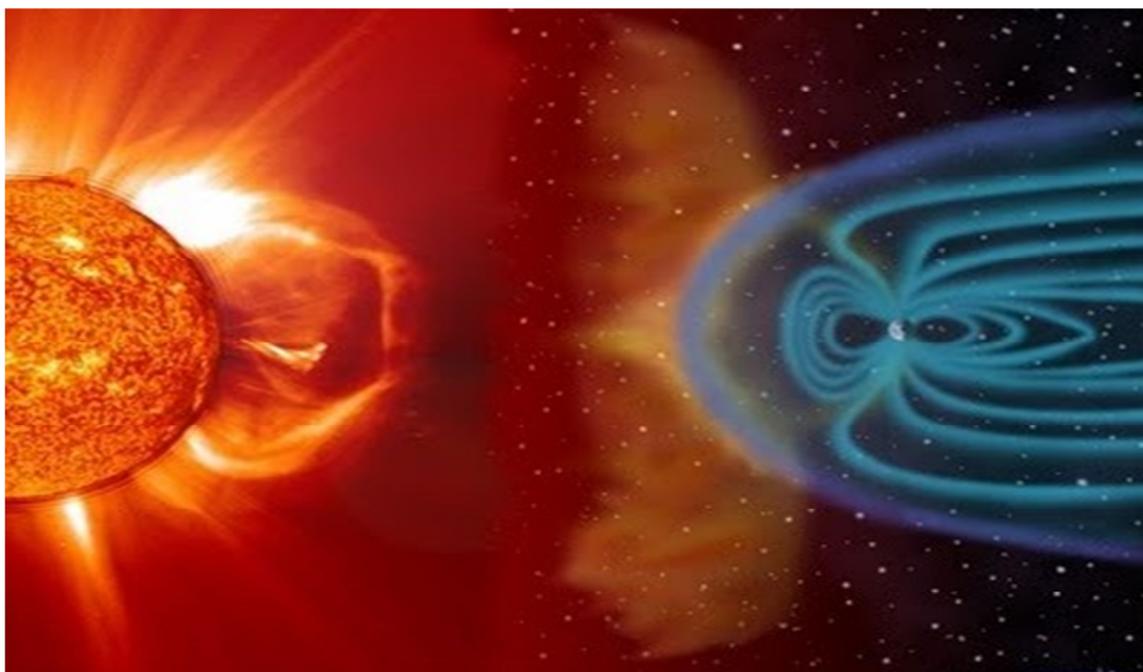


Figura 8: Vento solar e sua interação com a magnetosfera terrestre - deduzida pela primeira vez por Chapman e Ferraro no começo da década de 1930.

(fonte: <http://ventossolares.blogspot.com.br>)

Houve uma grande atividade do vento solar no dia três de setembro de 2012, como podemos observar pelo gráfico abaixo:

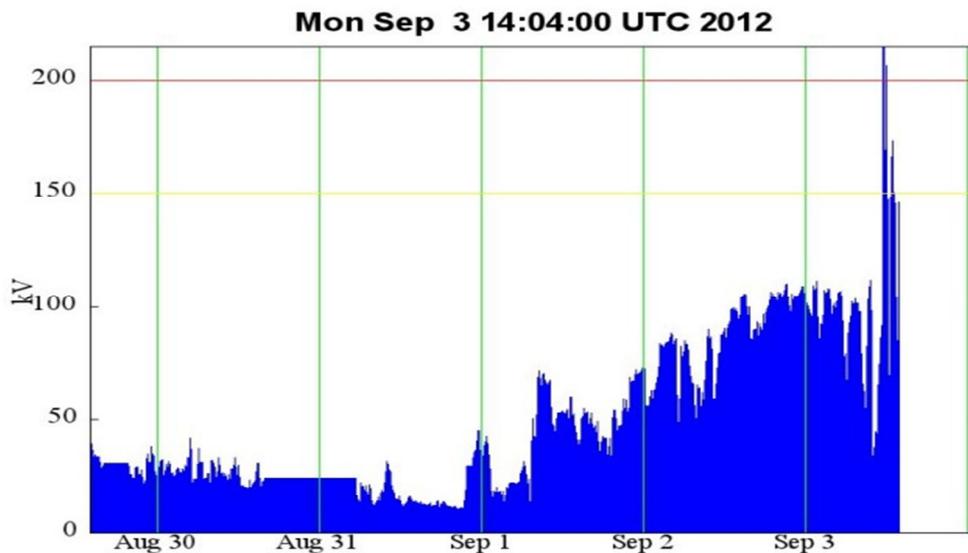


Gráfico 1 - Atividades do vento solar de 30 de agosto a 3 de setembro de 2012
(fonte: <http://www.noaa.gov/>)

O vento solar e suas características são analisados também, através da coleta de dados realizada pelo satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*), semelhante ao SOHO, e que foi lançado em agosto de 1997 e ainda tem combustível suficiente para manter a sua órbita até 2024, o ACE atualmente está operando em uma órbita de *Lissajous* perto da L1, ponto de *Lagrange*, que fica entre o Sol e a Terra.

2.9 Tempestade solar

É a expressão usual para se referir aos eventos solares, característicos da intrincada dinâmica da atividade magnética do Sol, relacionados aos ciclos de atividade solar, e estes, ao vento, manchas, filamentos desaparecidos, ECMs, e flares, geralmente em um pico de atividade solar. Como por exemplo, no dia 14 de julho de 2012, a Terra foi bombardeada diretamente por uma CME (ejeção de massa coronal) que chegou à Terra por volta de 17 horas, e foi ejetada por uma explosão solar (ou *flare*) no dia 12 de julho, na região da mancha solar ativa AR 1520, que estava voltada em direção à Terra, e esse evento teve tão grande magnitude que chegou a atingir a classe X1.4 no espectro de raios X, e causando Auroras de incomparável beleza.

3 A TERRA

3.1 A atmosfera terrestre

Vista do espaço, a Terra é avistada com uma coloração azul brilhante, e esse efeito cromático é devido à dispersão da luz do Sol sobre a atmosfera terrestre, ou seja, a atmosfera é uma camada de gases relativamente fina que está presa à Terra pela força da gravidade.

Não há um limite definido entre a atmosfera terrestre e o espaço exterior, porque a atmosfera vai ficando cada vez mais tênue conforme a altitude aumenta, mas a linha *Kármán*, a 100 km de altitude, é considerada frequentemente como sendo este limite.

A atmosfera é uma mistura de gases que envolve a Terra acompanhando seus movimentos, de rotação e translação, e foi estruturada convencionalmente em cinco camadas, conforme variam a altitude e a temperatura, e essa relação entre essas duas grandezas é uma das bases da classificação dessas camadas, sendo duas camadas relativamente quentes e três frias, e entre essas camadas existem áreas de descontinuidade, e recebem o sufixo "pausa" após o nome da camada subjacente, como por exemplo a tropopausa, que está entre troposfera e a estratosfera. São essas cinco camadas: Troposfera, Estratosfera, Mesosfera, Termosfera, e Exosfera.

A troposfera, que é a camada mais próxima do solo, é onde se encontram a maior parte dos gases atmosféricos.

3.1.1 Troposfera

Situa-se até cerca de 15 km de altitude, contém 80% em massa dos gases atmosféricos e varia sua altitude, com 8 km nos polos e chegando até 15 km no equador, quanto à sua temperatura, ela vai decaindo com a altitude, chegando até aos -60°C . A zona que faz limite denomina-se tropopausa, e sua temperatura é constante.

3.1.2 Tropopausa

É a camada intermediária entre a troposfera e a estratosfera.

3.1.3 Estratosfera

Situa-se de 15 km a 50 km de altura. Nessa camada há uma variação no aumento da temperatura, desde -60°C até 0°C , ocasionado pelas interações químicas e térmicas entre a radiação solar e os gases atmosféricos, e essas radiações são responsáveis pelas radiações UV, de energia que está entre $6,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ e $9,9 \times 10^{-19} \text{ J}$. Tem como zona limite, a estratopausa.

3.1.4 Estratopausa

Camada intermediária entre a estratosfera e a mesosfera.

3.1.5 A Mesosfera

Situa-se de 50 km a 80 km. Nessa camada a temperatura diminui novamente, podendo atingir -100°C , e por esse motivo é a camada mais fria da atmosfera, porque tem uma absorção de radiação solar muito fraca. Tem como zona limite a mesopausa.

3.1.6 Mesopausa

Camada que determina o limite entre uma atmosfera com massa molecular constante de outra onde predomina a difusão molecular.

3.1.7 A Termosfera

Situa-se de 80 km a 800 km. Nessa camada, a temperatura sobe bastante, atingindo até 2000°C, devido à grande absorção de radiação solar, acima de $9,9 \times 10^{19}$ J, novamente devido às interações químicas e térmicas das radiações.

3.1.8 Termopausa

Também chamada de exobase, é a camada que limita a termosfera e a exosfera, e onde a atmosfera é tão tênue que os fenômenos ópticos ocorridos nessa camada não são percebidos, pois toda radiação solar incidente ocorre abaixo da termopausa.

3.1.9 Exosfera

Parte exterior da atmosfera que se mistura com o espaço a mais de 800 km acima do nível do mar.

3.1.10 Ozonosfera

Essa região fica na estratosfera, e é chamada assim porque contém aproximadamente 90% do ozônio atmosférico, e fica localizada entre 15 e 35 quilômetros de altitude e tem cerca de 10 km de espessura, e esse gás é produzido à baixas latitudes e migram para altas latitudes, e é muito rarefeito.

3.1.11 Homosfera e Heterosfera

Nessas camadas estão incluídas as outras camadas. A atmosfera da Terra está assim classificada com relação à mistura dos gases pela turbulência, e a homosfera inclui a troposfera, a estratosfera e a mesosfera, ou seja, as camadas mais baixas. Os

gases mais pesados como o oxigênio e o nitrogênio estão presentes apenas próximos da parte inferior da heterosfera. Elementos mais leves, como o hidrogênio estão presentes na parte superior dela, e a compõem quase totalmente, pois a composição varia com a altitude, os gases estratificam-se pelo peso molecular, porque a distância que as partículas tem para se moverem sem colidir umas com as outras é bem maior em relação ao tamanho da turbulência que misturam esses gases.

3.1.12 Camada limite planetária

É a parte inferior da troposfera e é a mais próxima à superfície da Terra, sendo assim diretamente afetada por ela através da difusão turbulenta. À noite essa camada é estratificada, e durante o dia é bem misturada, variando sua profundidade em 100 m nas noites claras a 3.000 m, ou até mais, nas tardes das regiões secas. Abaixo, pode-se observar melhor a divisão das camadas na FIGURA 9.

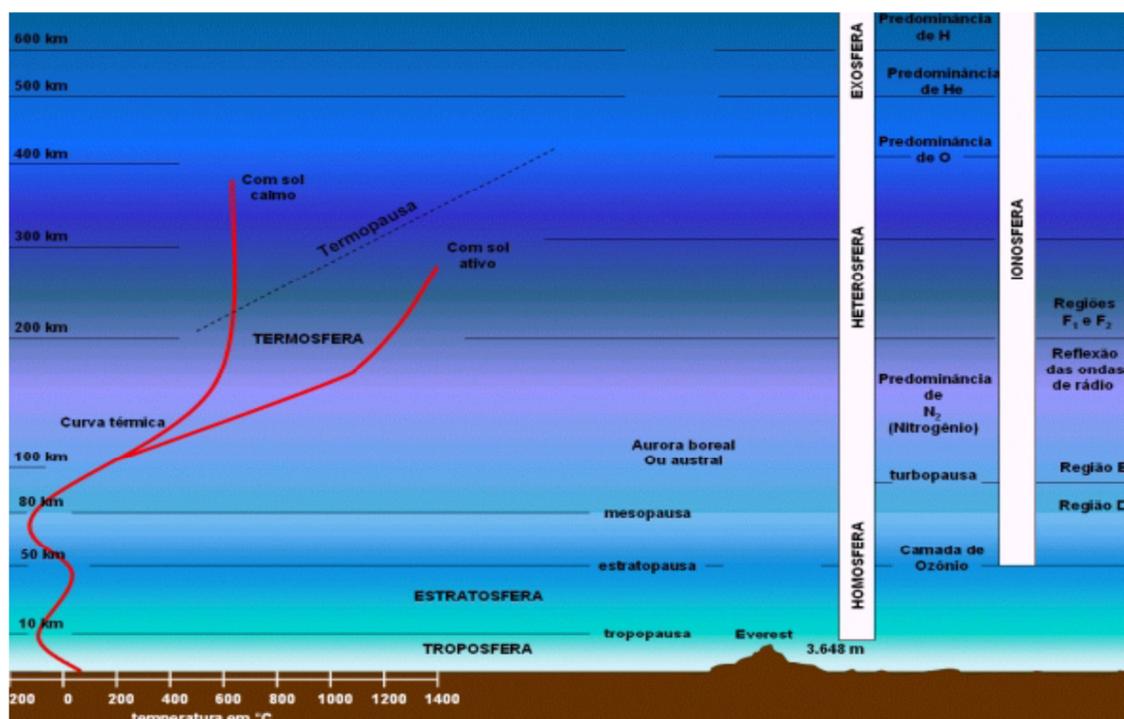


figura 9 - Camadas da Atmosfera

(fonte: http://www.ufrgs.br/museudetopografia/Artigos/Anomalia_Magnetica_do_Atl%C3%A2ntico_Sul.pdf)

3.2 A Ionosfera

É nessa camada que ocorrem os fenômenos ópticos mais famosos citados anteriormente: As Auroras Polares.

A mesosfera superior e a termosfera formam a Ionosfera. Esse termo foi utilizado pela primeira vez em um trabalho pelo cientista Sir Robert Alexander Watson-Watt, um dos pioneiros a estudar sobre o radar.

Em 1902 foram publicados dois artigos científicos independentes, sugerindo, em teoria, que a atmosfera superior da Terra fosse composta por uma região condutora de energia, e os dois autores dos artigos foram: *Arthur Kennelly* dos EUA e *Oliver Heaviside* da *Grã-Bretanha*. Um ano antes, ocorreram experiências de transmissões transatlânticas, e seria essa camada, a que defletiria os sinais de rádio agindo como obstáculo, e só após duas décadas, em 1924, é que esta hipótese foi verificada experimentalmente pelo cientista inglês *Edward Appleton*.

Essa região da atmosfera terrestre, a Ionosfera, é assim chamada porque possui muitas partículas carregadas eletricamente por fotoionização, como íons, elétrons livres arrancados das moléculas dos gases atmosféricos. E o maior responsável por essa ionização é o Sol, a fonte de energia necessária para arrancar esses elétrons, através da radiação nas bandas de raios-x e ultravioleta, e em pequena parte contribuem também os meteoritos e raios cósmicos.

Hoje temos a descrição da atmosfera superior como sendo composta principalmente de nitrogênio, oxigênio e seus compostos e em pequena quantidade hidrogênio, hélio e outros gases, pois ao longo das últimas décadas, foram utilizados balões atmosféricos, foguetes e satélites para fazerem medições experimentais e então obtendo essa comprovação, e comprovando também a teoria de que a radiação solar de maior importância na formação da ionosfera é a radiação ultravioleta, que é a fonte necessária para a ionização (indução de corrente elétrica), devido à grande quantidade de energia associada.

A radiação ultravioleta, nas camadas mais externas da ionosfera, é primordial, mas a radiação do tipo raios-x, raios cósmicos e outras frequências de radiação, tem grande importância nas camadas mais baixas da Ionosfera.

A Ionosfera se localiza entre 60, e 1000 km de altitude. Há uma grande variação na densidade dos elétrons livres, e muitos são os fatores responsáveis por essa variação, como por exemplo, a hora do dia, estação do ano, a localização geográfica e composição química da alta atmosfera, essa densidade e a composição da Ionosfera também variam radicalmente a cada onze anos, de acordo com o ciclo das manchas solares, e como consequência pode ocorrer até o bloqueio total de comunicações em ondas curta de rádio (HF- High Frequency), e de acordo com essa variação, a Ionosfera foi estruturada em camadas D, E, F1, e F2, a partir do solo para cima. Essas camadas refletem as ondas de rádio na faixa HF e devolvem à Terra em uma trajetória que percorre grandes distâncias.

A densidade eletrônica da Ionosfera diminui em menor velocidade do que quando aumenta, devido ao nascer do Sol, porque há uma diferença de velocidade entre a ionização e a recombinação, ou seja, se a radiação solar desaparece, à noite ou em um eclipse, então os elétrons e íons se recombina formando átomos e moléculas eletricamente neutros, e quando nasce o Sol, o processo de ionização recomeça novamente.

Tendo como referencial o espaço exterior, nas camadas mais externas da atmosfera, onde estão os gases mais rarefeitos, a ionização ocorre primeiro, devido ao fato da radiação vir do exterior, e à medida que ela vai penetrando mais na atmosfera, vai encontrando uma densidade crescente de gases, e então, a ionização vai aumentando, mas a ionização depende de energia, e enquanto essa radiação vai sendo dissipada, o processo de ionização acaba, então conclui-se que há uma região de máxima ionização em certo ponto, com regiões de densidades eletrônicas menores abaixo dessa região.

A ionização tende a ocorrer em diferentes camadas devido à variação no topo da atmosfera quanto à altitude, e às diferentes frequências dos diversos gases, e essas camadas estão aproximadamente entre 50 a 650 km acima da superfície da Terra. O termo camada é usado, mas não são necessariamente separadas uma da outra, e essas camadas se sobrepõem formando uma área ionizada contínua, mas não uniforme, com ao menos quatro picos de intensidade de densidade iônica. São essas as regiões já

citadas, D, E, F1 e F2, e uma melhor visualização e entendimento dessa divisão está na FIGURA 10.

As diferenças entre os perfis das camadas com relação às estações do ano é devido ao ângulo de zênite solar, posição do Sol no céu, quanto mais alto ele se posiciona, maior é a densidade eletrônica.

Edward Appleton baseou-se na descoberta da camada *Kenelly-Heaviside* em 1924, para nomear as camadas da ionosfera com letras, e a letra E foi utilizada para esta camada porque essa simbologia já era utilizada para designar o vetor campo elétrico, e deixou as outras letras acima e abaixo para designar futuras descobertas.

3.2.1 Regiões ou camadas da ionosfera:

Camada D: Camada que se estende de 65 a 100 km acima da superfície da Terra, e só existe durante o dia, enquanto há iluminação do Sol, e apesar de intensivos estudos sobre essa camada nas décadas de 60 e 70, ela ainda continua sendo um enigma para comunidade científica, pois mesmo utilizando as modernas técnicas experimentais, foi muito difícil determinar sua composição química, pois a essa altitude, que em relação às outras é baixa, a pressão ainda é grande para ser produzida uma alta frequência de colisões entre as partículas elementares que constituem a alta atmosfera, então sendo assim, os estudos convencionais não podem ser usados, e por consequência, a composição química da camada D é a menos conhecida.

A camada D absorve os sinais de HF que passam através dela, e à noite é possível transmissões em O.M. (*skywave* – onda de céu) pois ao pôr do Sol a camada D se recombina e as baixas frequências passam a ser refletidas pelas camadas superiores.

Camada E: Essa camada se mistura com o limite superior da camada D. A camada E se encontra entre 100 a 125 km, e ocorre principalmente durante o dia, com 5 a 10 km de espessura, então é uma fina camada mas existem diversos tipos de

ionização que operam essa faixa mas depende da latitude, estações do ano, e nível de atividade solar.

Houve experimentos no início da década de 80, durante o pico do ciclo solar 21, que demonstraram que a camada E não desaparece à noite como antes se acreditava. Ela não desaparece, mas apresenta uma fonte de propagação noturna ineficiente, mas permanente, e nessa série de medidas experimentais feitas, comprovou-se a extrema turbulência da Ionosfera, pois qualquer variável medida, modifica-se de valor a cada 2 minutos.

Camada E esporádica: Existem regiões ionizadas que ocorrem esporadicamente em adição à camada E normal da Ionosfera, elas vão e vem irregularmente, e a respeito dessa irregularidade há diversas teorias. A sua altura é variável e elas ocorrem na maior parte das vezes aos 100 km, contanto que apresente a mesma altitude da camada E, por isso o nome: E esporádico.

Essa região é intensamente ionizada, e em termos de extensão, bastante limitada, uma nuvem dessa camada pode permanecer apenas algumas horas e depois se dissipa, podem ter de 80 a 170 km de diâmetro, e se deslocam a centenas de quilômetros por hora. E a respeito dessa ionização, é sabido que meteoros se desintegram nas altitudes da camada E, e os resíduos dos íons metálicos criam “caminhos” de alta ionização, mas a ionização dessa camada ainda não é totalmente entendida. Essa forma de ionização através de meteoros pode ser um fator envolvido na esporadicidade dessa camada. Mas em regiões equatoriais, a E esporádica é um fenômeno diurno, e ao redor do equador geomagnético, o E esporádico pode permanecer por 90% das horas do dia, pois existem correntes de convecção de altíssimas velocidades associadas às altas altitudes, e essas altas altitudes podem criar densos “caminhos”.

Camadas F₁ e F₂: Essas regiões da Ionosfera são as mais importantes, e por causa delas, a comunicação de ondas curtas em alta distância estão relacionadas. A F₁ e a F₂ estão bem definidas durante o dia.

A camada F_1 começa, em um dia de inverno, um pouco acima do limite superior da camada E, cerca de 150 km e se estende até 250 km, mas durante um dia de verão ela pode ser encontrada em altitudes maiores. Através de experimentos foi verificado que a camada F_1 desaparece durante a noite, mas é ela que suporta as transmissões de curto e médio alcance, e se comporta semelhante à camada E.

A camada F_2 , no inverno, varia de 350 km, e pode chegar até 500 km no verão, é através da F_2 que a maioria das transmissões em ondas curtas são acompanhadas, e ao contrário de todas as outras camadas, a camada F_2 existe independentemente de ser dia ou noite, e sempre sustenta propagação em alguma frequência, o seu comportamento é predito pela maioria de programas de computador que fazem previsões sobre condições de propagação, como o MINIMUF por exemplo, e por isso é considerada a mais importante das camadas.

Acima da região F: Medidas utilizando satélites indicam que é muito pequena a densidade eletrônica entre 650 a 1000 km de altitude, pois cerca de 95% dos átomos e moléculas que formam a Ionosfera estão contidos abaixo dos 1000 km de altitude.

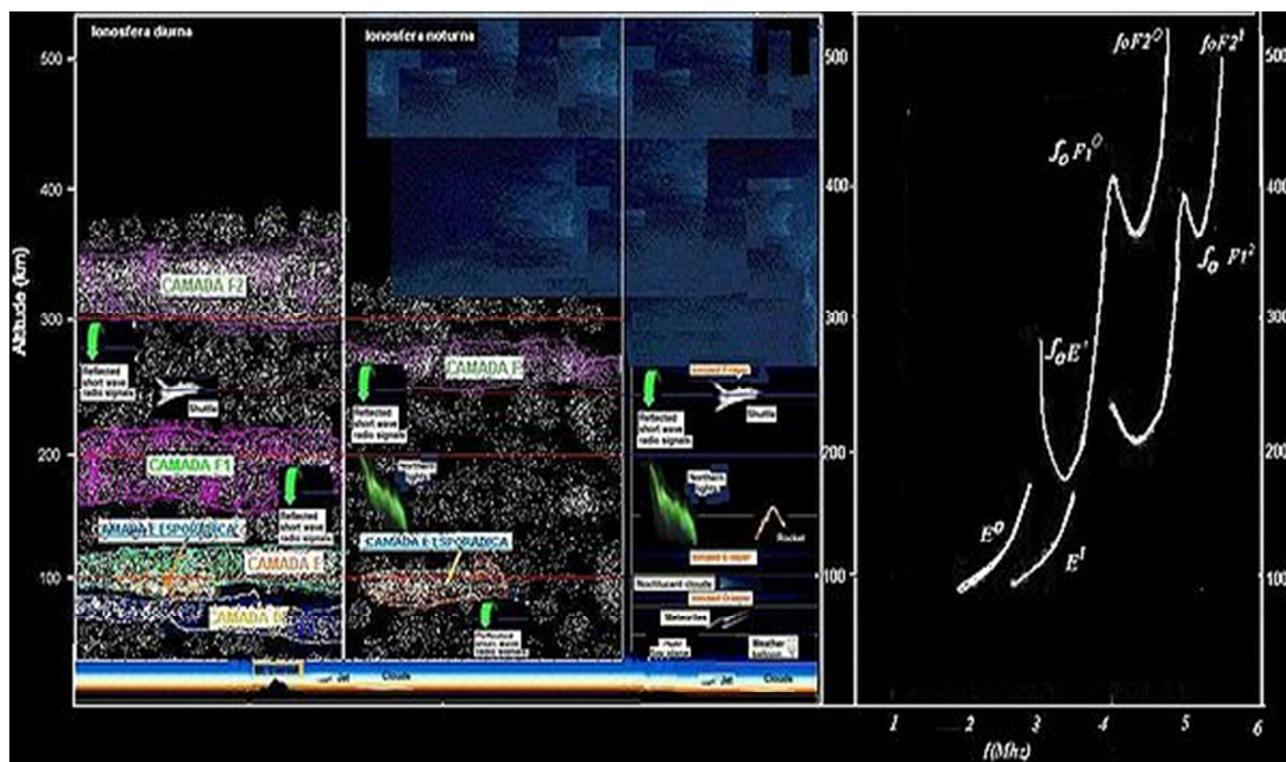


Figura 10 – Esquema das camadas da Ionosfera (fonte: <http://www.tiosam.com>)

3.2.2 Perturbações ionosféricas

Esporadicamente, ocorrem anormalidades na Ionosfera, e estas são chamadas de “perturbações ionosféricas”. São caracterizadas pelo aumento de ionização da camada D. A fonte dessas perturbações ionosféricas é a radiação proveniente de *flares* (explosões solares) que ejetam significativa quantidade de massa coronal proveniente na maioria das vezes das regiões ao redor das manchas solares. Mas não são apenas os *flares* os responsáveis por essas perturbações, como se acreditou durante anos, mas com a chegada da moderna tecnologia, agora é sabido que também são responsáveis as nuvens de partículas de baixa energia emitidos pelo Sol (ver FIGURA 19), e não relacionadas com *flares*. Sobre estes eventos podemos citar:

- Ventos solares de alta velocidade, (HSSWS - *high speed solar wind system*): Aos quais a partir de manchas na coroa solar, emitem correntes de partículas.
- Filamentos eruptivos (ou proeminência solar): São correntes gasosas, ou arcos de gás, mais frias que desaparecem, mas que perturbam o campo magnético da Terra. Surgem a partir da superfície do sol, e são mantidas acima da superfície solar por fortes campos magnéticos. Proeminências podem se transformar em uma CME (ver FIGURA 11).
- CME (ejeção de massa coronal): Estas, teorizadas como *flares* que não tem brilho ótico mas, com potência suficiente para ejetar partículas de baixa energia.

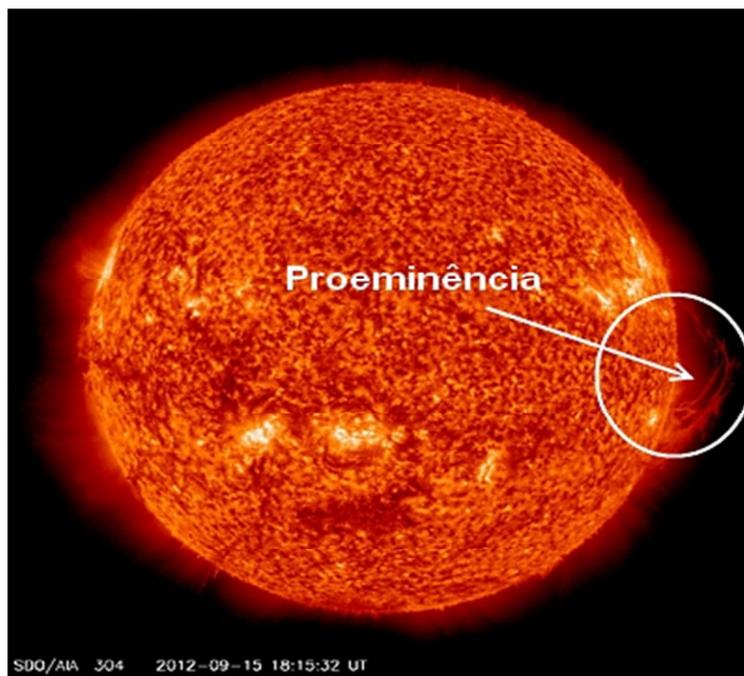


Figura 11 – Imagem de proeminência solar ou filamento, capturada por um dos instrumentos à bordo do SDO, em setembro de 2012.

(fonte: - <http://sdo.gsfc.nasa.gov/>)

De todos esses eventos, os que mais propiciam impactos potentes e profundos no campo magnético da Terra e na Ionosfera, são os *flares*. Ocasionalmente, quando uma região ativa do Sol, entra em erupção ocorrendo um *flare*, ele pode ser emitido a uma velocidade de 200 km/s juntamente com radiação, mas pode ocorrer também que algum *flare* alcance a velocidade de escape do Sol, cerca de 700 km/s, e então a nuvem de plasma vai para o espaço interplanetário, e isso pode trazer graves efeitos sobre a Terra.

3.3 A Magnetosfera

O planeta Terra possui um campo magnético interno, e este campo dá origem à Magnetosfera, que é a área acima da Ionosfera, dominada pelo campo magnético terrestre e limitada pela magnetopausa é, portanto, uma cavidade magnética formada pela interação do campo magnético terrestre com o plasma que compõe o vento solar (ver FIGURA 12).

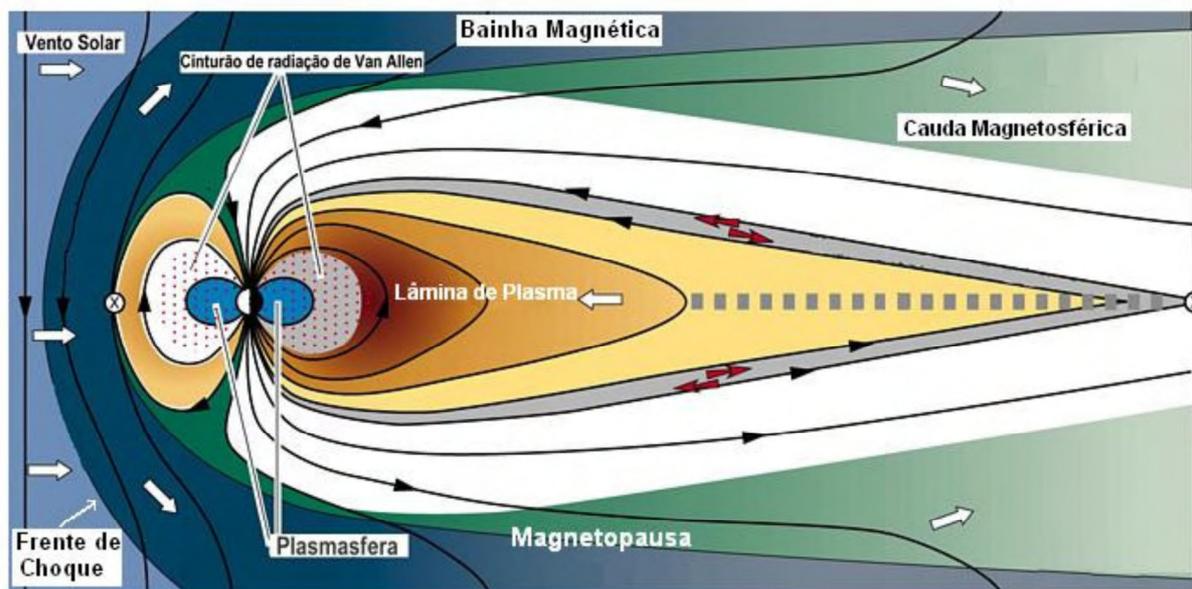


Figura 12: Regiões da Magnetosfera: A fronteira da magnetosfera, a magnetopausa, encontra-se a uma distância de ~ 10 raios terrestres no lado diurno, o lado noturno estende-se numa comprida cauda magnética. (fonte: www.inpe.br – 2012)

A antiga civilização chinesa já conhecia seus efeitos, e na época dos descobrimentos, ela foi usada para orientação na navegação. Gilbert (William Gylberde) físico e médico inglês de Elizabeth I e James I, no seu livro “De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure” (Sobre os ímãs, os corpos magnéticos e o grande ímã terrestre) de 1600, considerou, pela primeira vez que a Terra comportava-se como um gigantesco ímã permanente, assemelhando-se a um dipolo magnético com um conjunto de linhas de força que saem de um extremo do ímã, denominado polo norte e reentram no outro, no polo Sul. O eixo desse dipolo faz um ângulo aproximado de $11,3^\circ$ com o eixo geográfico da Terra, (FIGURA 14) e a sua localização não é estática, pois chega a oscilar vários quilômetros por ano (cerca de 55 km/ano) devido ao movimento do núcleo líquido da Terra, e esses polos oscilam independentemente um do outro, também não estão em posições diretamente opostas no globo, e podem distanciar-se de modo desigual do polo geográfico, como por exemplo, em 2005, quando o polo sul magnético distanciou-se mais do polo norte geográfico que o polo norte magnético do polo sul geográfico. Atualmente (outubro de 2012), o polo magnético norte se encontra próximo à ilha canadense de *Ellesmere* e o polo sul na ilha de Vitória na Antártida.

Mas essa semelhança a um ímã é superficial, porque o campo magnético de um ímã é criado dentro dos átomos do ferro pelo movimento organizado por partículas negativamente carregadas (elétrons) e isso não se aplica à Terra pois o seu núcleo tem uma temperatura acima de 1043 K, ou seja, esta é a temperatura de Curie, na qual os orbitais do elétron dentro do ferro perdem sua orientação, se tornam aleatórias, e isso faz a substância perder seu campo magnético, e então o campo magnético da Terra é o resultado da geração de correntes elétricas pelo núcleo externo terrestre, é o “efeito dínamo”, com a rotação da Terra, agregada à convecção do ferro superaquecido no núcleo externo. (Ver FIGURA 13).

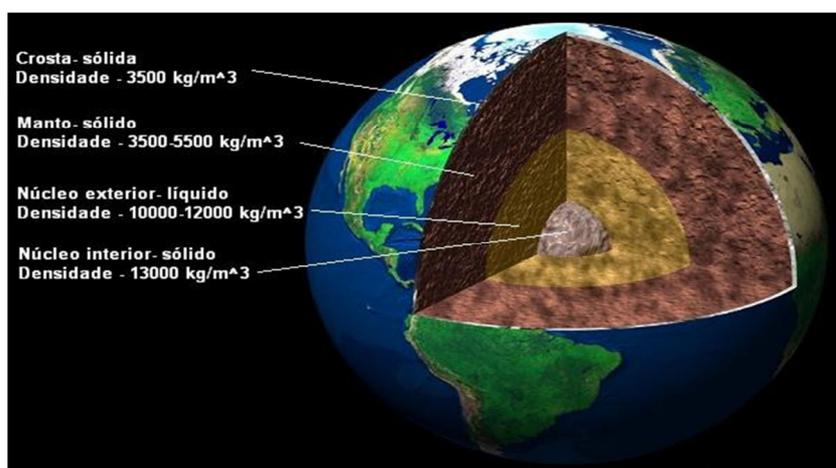


Figura 13 – Núcleos da Terra (fonte: infoescola)

As primeiras observações da magnetosfera terrestre foram efetuadas pelo satélite IMAGE (*Imager for Magnetopause to Aurora Global Exploration*) entre Março de 2000 e Dezembro de 2005.

A magnetosfera protege a Terra (é uma espécie de escudo) contra a radiação de partículas do espaço. Existe uma interação entre os campos magnéticos da Terra e do Sol na qual o campo magnético da terra sofre uma deformação devido às constantes e cíclicas explosões solares, nas quais há violenta CMEs (ejeção de massa coronal).

Pode-se monitorar o campo magnético da Terra através de alguns sites, e entre eles, podemos indicar com segurança o site do INPE:

<http://www.inpe.br/climaespacial/campomag.php> (acessado em 10.12.2012).

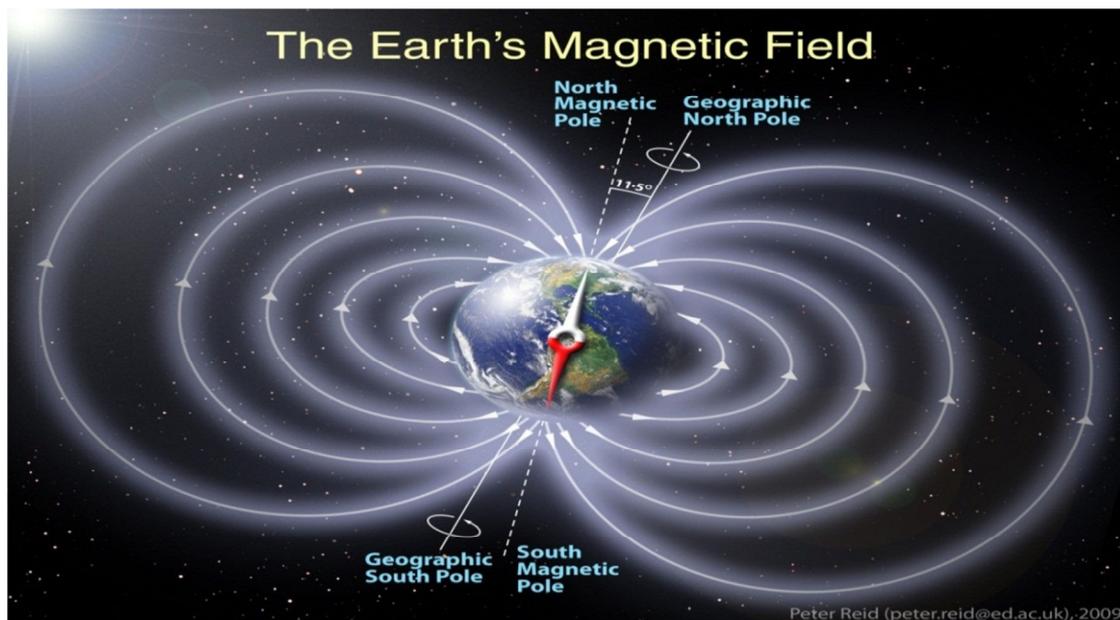


Figura 14 – Eixos dos polos magnéticos e geográficos da Terra (fonte: www.nasa.gov)

3.3.1 Cálculo da localização de polo geomagnético:

Neste endereço eletrônico pode-se calcular a localização dos polos geomagnéticos: http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/geom_util/gmpole.shtml (acessado em 05.11.2012).

3.3.2 Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS)

A magnetosfera protege a Terra dos fenômenos solares, como por exemplo das poderosas CMEs, age como escudo que protege a Terra dessas rajadas de massa coronal, carregadas de densas partículas provindas de “flares”, entre outros fenômenos. No Atlântico Sul, esse escudo é menos forte do que em outras regiões da Terra, a parte mais interna do cinturão de Van Allen (ver FIGURA 15) tem a máxima aproximação com a superfície da Terra, então as radiações vindas do espaço tem uma maior penetração na atmosfera. Essa região é conhecida como Anomalia Magnética do Atlântico Sul, ou SAA (*South Atlantic Anomaly*).

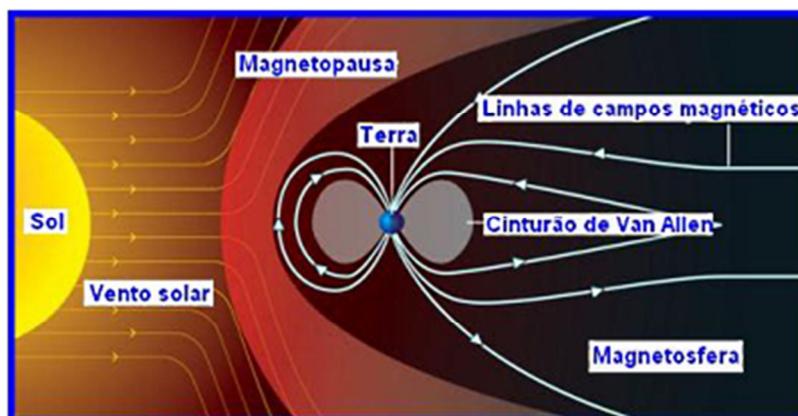


Figura 15 – Localização do cinturão de Van Allen
(fonte: : <http://bussoladeplasma.wordpress.com>)

Essa anomalia tem como causa o fato de que o campo magnético terrestre está deslocado por 450 km em relação ao centro geográfico. Os satélites ou espaçonaves com inclinações orbitais em torno de 35° e 60° são afetados pela AMAS, são expostos por vários minutos à radiação, o *Hubble Space Telescope*, não faz observações durante esse período em que transita essa região, e a *Internacional Space Estation*, que orbita numa inclinação de $51,6^\circ$ precisou de um revestimento especial.

No momento, a AMAS está sofrendo um deslocamento com velocidade de $0,3^\circ$ ao ano para oeste, essa taxa é bastante aproximada da rotação diferencial entre o núcleo da Terra e sua superfície, que é de $0,3^\circ$ a $0,5^\circ$ ao ano.

Na superfície da Terra, grandes estruturas mecânicas, elementos metálicos de grande extensão, como linhas de transmissão de alta potência, estradas de ferro, e tubulações metálicas, podem obter campos elétricos induzidos por correntes que fluem na Ionosfera. Então, ao ocorrer uma tempestade geomagnética de grande magnitude, pode ocorrer consequências catastróficas e imprevisíveis ao sistema que fluem, devido à ionização (indução) de corrente elétrica que nesse caso poderá exceder centenas de *Ampères*.

Usando modelos físicos da magnetosfera e da Ionosfera, da condutividade global, os vários institutos de pesquisa estão desenvolvendo métodos de previsão das correntes geomagnéticas induzidas (GICs), que poderão ser alertadas com antecedência sendo o campo magnético e o campo elétrico analisado através de leitura feita por satélites, lembrando que as mudanças do campo estão condicionadas às

variações do ciclo solar, essas variações podem ser úteis na investigação da física terrestre mas esse perigo geomagnético pode causar danos em equipamentos e sistemas de alta tecnologia.

O epicentro da AMAS está bem próxima ao município de Paula Freitas, estado do Paraná, Sul do Brasil (como podemos ver no mapa da FIGURA 16), e afeta a Ionosfera desde a Cordilheira dos Andes, até a África do Sul, no sentido Oeste-Leste, e no sentido Norte-Sul, em toda a América do Sul.

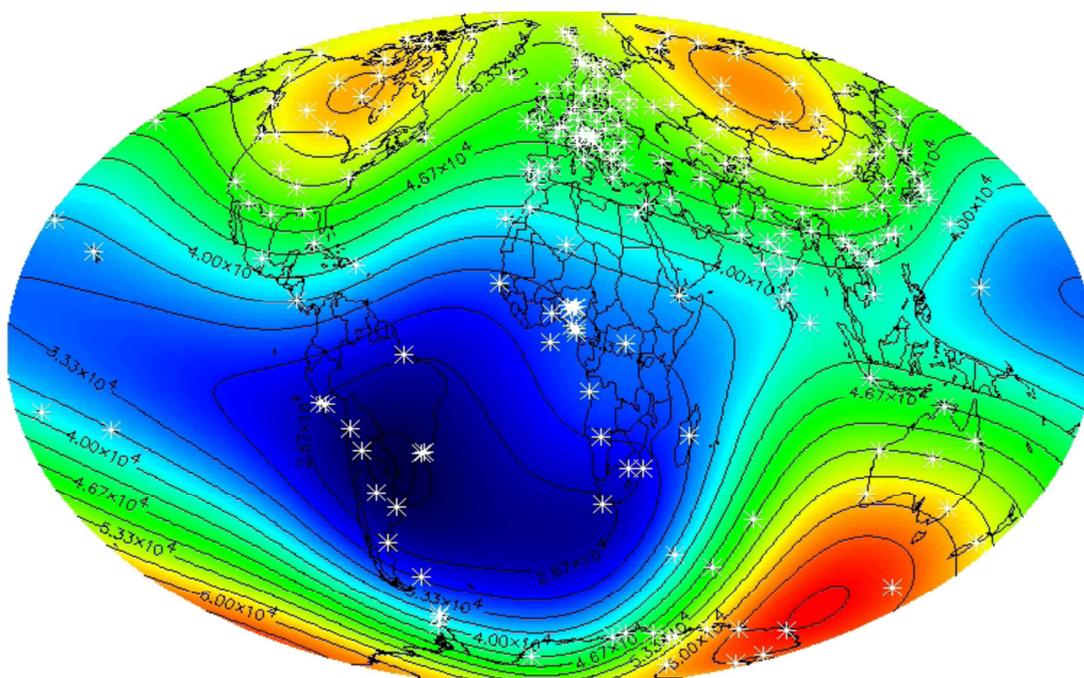


Figura 16 - Anomalia magnética do Atlântico Sul - Campo magnético total da Terra, sobre o Brasil na área azul mais escura existe a AMAS, observar que as linhas de campo formam na região uma figura que se assemelha a uma cabeça de um pato, por isso é chamada "El Pato".

(fonte: <http://south.atlantic.anomaly.saa.googlepages.com/AMAS>)

3.4 Subtempestades magnéticas

São caracterizadas pela injeção de partículas energéticas, provenientes do vento solar, na corrente de anel e no cinturão externo de Van Allen, essas partículas ficam na bainha de plasma da magnetosfera.

Associados à subtempestades, são sugeridos importantes processos, como por exemplo: uma rápida penetração do campo elétrico de convecção na magnetosfera interna, o que resulta numa injeção de plasma da bainha de plasma na região de aprisionamento.

As subtempestades geomagnéticas ocorrem em três fases:

- a) Fase de crescimento: Nesta fase, ocorre uma energização da magnetosfera. Em virtude da reconexão magnética, o fluxo magnético sofre um processo erosivo na região diurna da magnetosfera, e o fluxo é transportado em direção à cauda, acumula-se nos lóbulos, onde há uma intensificação do campo próximo à Terra, e então, há um aumento na magnitude do campo, e do raio da cauda, produzido pelo aumento da corrente na cauda. Há um afinamento na lâmina de plasma.
- b) Fase expansiva: A característica dessa fase é a liberação explosiva da energia que foi sendo armazenada na cauda magnética durante a sua fase de crescimento. Há um decréscimo tanto no raio da cauda, como na magnitude do campo magnético dos lóbulos da cauda. Através da lâmina de plasma, uma parte da corrente da cauda é desviada (normalmente está orientada para oeste), ao longo das linhas de campo em direção à Ionosfera, então há precipitação de partículas na região auroral.
- c) Fase de recuperação: Nessa fase há um relaxamento para o estado fundamental da magnetosfera.

3.5 Tempestades geomagnéticas

As tempestades geomagnéticas são normalmente detectadas na forma de intensas variações no fluxo do campo magnético terrestre, expressas em nanoteslas (nT). Estão com muita frequência, relacionadas com as CMEs, provenientes de flares nos buracos coronais, e que aumentam a velocidade do vento solar, resultando

subitamente em deformações na Magnetosfera terrestre, e choques de partículas na alta atmosfera gerando auroras polares.

“De acordo com Gonzalez et al (1994), a tempestade magnética é definida como um intervalo de tempo quando um campo elétrico de convecção interplanetário de longa duração e suficientemente intenso produz, através de uma substancial energização no Sistema Magnetosfera-Ionosfera, uma corrente de anel suficientemente intensa para exceder o limiar da magnitude do índice Dst, será definido posteriormente, o qual quantifica a intensidade da tempestade.”

(Canabarro, M. dos Santos, 2005, p. 24)

3.5.1 Índices magnéticos

São índices que nos fornecem informações sobre as tempestades magnéticas, como por exemplo, sua intensidade e duração. Os mais utilizados são o Dst (*Disturbance Storm-Time*), o Kp (*Planetarische Kennziffer*), ou código planetário em português, e o AE (*Auroral Electroject*).

Índice Dst (Disturbance Storm Time) - Monitora a variação da corrente de anel na Magnetosfera da Terra, e representa a perturbação no equador do campo magnético dipolar. É obtido a partir de magnetogramas de baixa latitude, com unidade em nano Tesla (nT), com resolução temporal de hora em hora.

| Intensidade da Tempestade | Dst (nT) |
|----------------------------------|-----------------|
| Muito Intensa | < -250 |
| Intensa | -100 a -250 |
| Moderada | -50 a -100 |
| Fraca | -30 a -50 |

Tabela 1: Classificação das Tempestades Magnéticas segundo o índice Dst (Fonte: Canabarro, M. dos Santos, 2005)

Índice AE (*Auroral Electroject*) – É uma medida terrestre do campo magnético associado ao eletrojato auroral, que é uma corrente ionosférica que flui a aproximadamente 100 km de altitude (onde ocorrem as Auroras) e em latitudes aurorais, a 63 – 68 de latitudes magnéticas, e durante as tempestades geomagnéticas, essa corrente se desloca em direção ao equador.

Índice Kp (Índice K planetário estimado) da atividade solar - É um gráfico cujos valores são derivados do tradicional índice K, e são informados por uma série de magnetômetros instalados ao redor do planeta, principalmente no Canadá e Estados Unidos. O índice representa a intensidade do fluxo solar, e em consequência, as perturbações causadas na alta atmosfera, principalmente na Ionosfera terrestre.

Assim como, a variação na Ionosfera, e na quantidade de manchas solares, o índice Kp também varia conforme a hora do dia, época do ano, e também com a posição da Terra em relação ao Sol, pois há uma relação direta: quanto mais alto está o índice, mais intensos estão os eventos solares, e mais radiação ionizante atinge a Terra.

As condições da Ionosfera estão relativamente calmas quando o índice está abaixo de 5, valores acima ou igual a 5 já indica atividade geomagnética que sinaliza tempestade solar, e acima de 6 já é preocupante, e há possibilidade de danos e interferências em equipamentos tecnológicos, devido à fortes tempestades geomagnéticas, então diversas empresas e instituições precisam ser alertadas. Mas valores altos de Kp, podem indicar apenas rearranjos repentinos do campo magnético devido ao vento solar. O GRÁFICO 2, é atualizado pelo NOAA / Space Center a cada 3 horas, durante esse intervalo, são medidas as mudanças magnéticas de maior amplitude registradas pelos magnetômetros, e o valor médio dessas medidas é utilizado para produzir um índice, que nos diz sobre as perturbações no campo magnético, numa escala de 9 pontos.

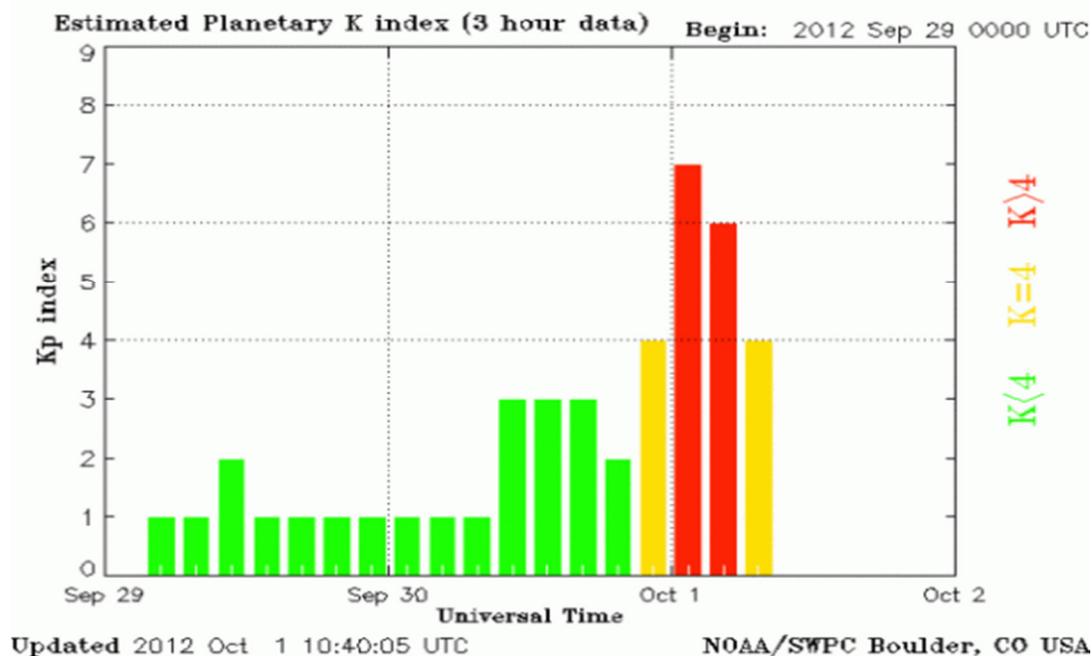


Gráfico 2: Índice Kp de atividade solar, setembro de 2012
(fonte: <http://www.noaa.gov/> - 2012)

3.6 As auroras polares

As auroras polares, citadas ao longo do desenvolvimento deste trabalho, são consequências das tempestades e subtempestades geomagnéticas, que normalmente ocorrem aproximadamente entre 80 a 150 km de altitude, na base da Ionosfera. A intensidade das auroras é diretamente proporcional à atividade solar, e recebem o nome boreais quando ocorrem ao Norte e austrais ao Sul.

Após serem ejetadas, as partículas solares, levam aproximadamente três dias para cruzar 1 UA que separam a Terra e o Sol, e ao atingirem 60 mil km de altitude, elas são desviadas pela magnetosfera terrestre em direção aos polos, e ocorre então o choque com as partículas de oxigênio e nitrogênio na atmosfera superior e produzem radiação nos comprimentos de onda do verde e do vermelho.

A ferramenta Mapa de Auroras Kp, mostra a conexão entre o índice Kp e a borda sul da aurora na América do Norte, foi desenvolvida pela NOAA em Boulder, Colorado, e pode ser usada para determinar os locais de possíveis visualizações de auroras. Para valor de Kp = 3, estima-se ocorrência de aurora ao sul da linha azul, valor 5, ao sul da linha verde, valor 7, ao sul da linha amarela, e valor 9, ao sul da linha vermelha.

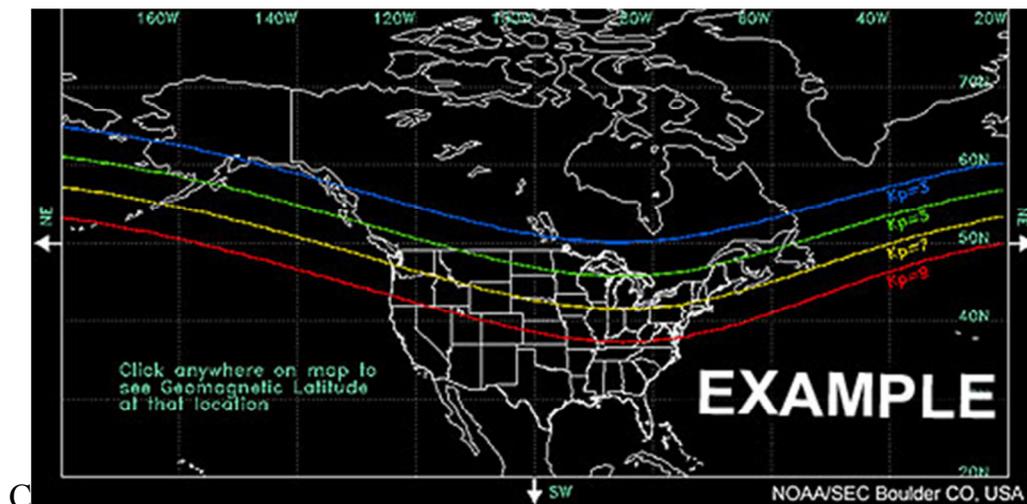


Figura 17: Mapa de Auroras Kp (fonte: <http://www.noaa.gov/>)

Em julho de 2004, inesperadamente uma grande região de manchas solares atravessou o Sol. E essa região ativa foi um local onde havia rios de plasma quente, proeminências solares explosivas, fortíssimos campos magnéticos, uma poderosa ejeção de massa coronal (EMC) e um grupo de manchas solares de tal tamanho que pôde ser observado a olho nu. Essa região era maior do que o planeta Vênus na data de 8 de junho de 2004. Esse grupo de manchas solares foi nomeado AR 10652, e os íons energéticos desse grupo 652 quando impactaram na atmosfera, criaram auroras púrpuras, que são muito raras.



Figura 18: Aurora rara em cor púrpura
(Por Marianne Bergli em 11 de outubro, 2012. Ringvassøya, Noruega)

3.7 Consequências de tempestades geomagnéticas:

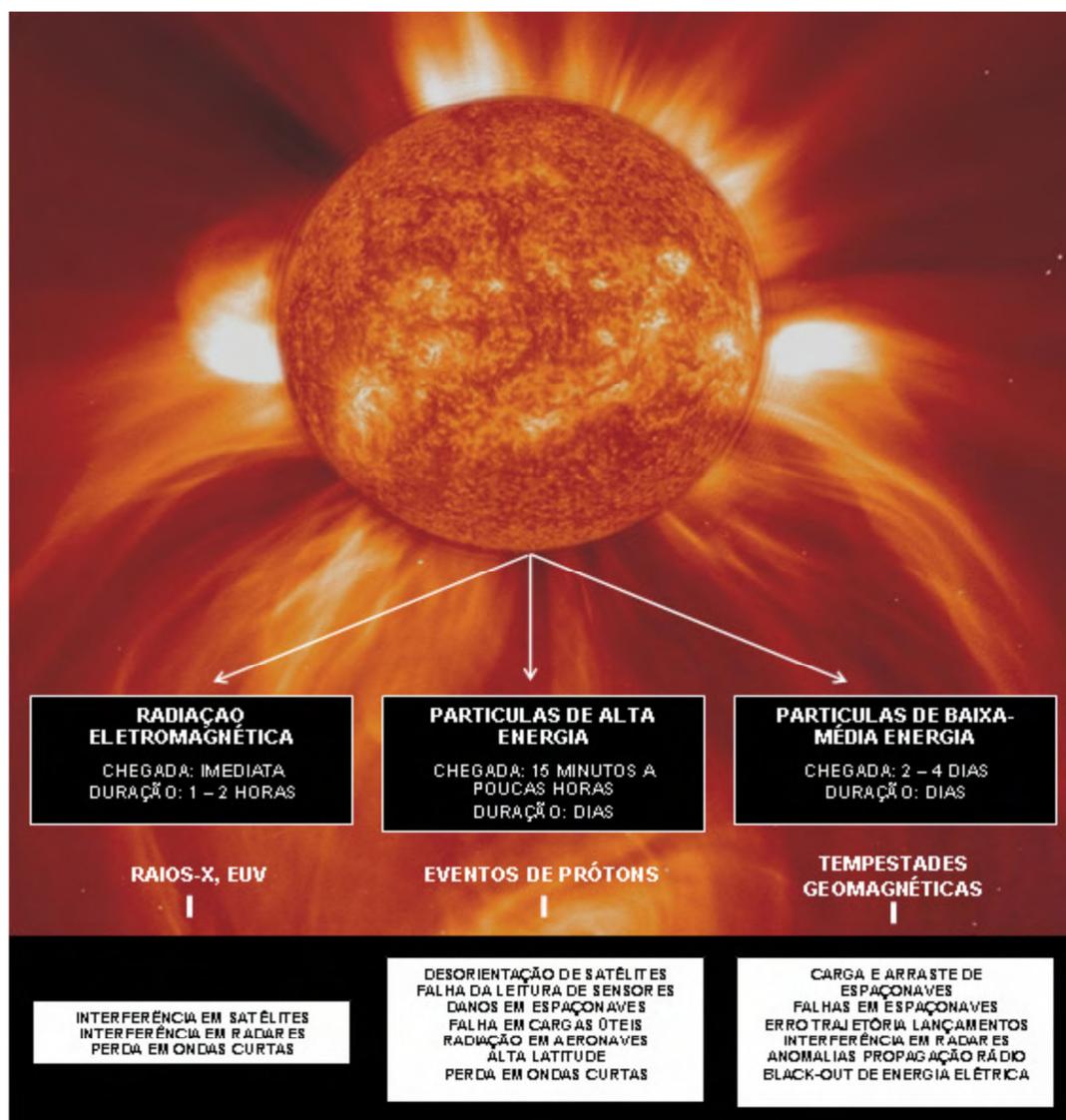


Figura 19: Diagrama dos três principais tipos de fenômenos que afetam o geoespaço, constituindo o Clima Espacial. (fonte: Muralikrishna - 2009).

3.7.1 Índice Kp associado aos efeitos de tempestades geomagnéticas.

Ocorrências nos sistemas de potências na superfície terrestre onde:

- Kp = 5: fraco - flutuações fracas na rede elétrica, sem prejuízos no funcionamento.

- $K_p = 6$: moderado - tempestades desse tipo prolongadas, podem danificar transformadores. E redes elétricas localizadas em latitudes elevadas podem sofrer alertas sobre variação de tensão.
- $K_p = 7$: forte - Poderão ser disparados falsos alertas nos dispositivos de proteção, e poderão ser feitas correções nas tensões.
- $K_p = 8$: severo - Mal funcionamento na rede de distribuição elétrica, alguns sistemas detectam informação incorreta.
- $K_p = 9$: extremo – problemas de proporções alarmantes acionando sistemas de proteção, colapso de redes de distribuição provocando blackouts, transformadores danificados.



Figura 20: Transformador danificado por uma tempestade magnética em Quebec, Canadá. (Fonte: <http://bussoladeplasma.wordpress.com>)

Ocorrências nos sistemas de funcionamento de tecnologia espacial:

- $K_p = 5$: fraco - podem ocorrer pequenos impactos nas operações envolvendo satélites.
- $K_p = 6$: moderado – Podem ser necessárias correções nas órbitas dos satélites, mas o aumento do arrasto da atmosfera pode interferir no cálculo orbital.
- $K_p = 7$: forte - Os sistemas de satélites podem ser afetados devido às correntes induzidas, é necessário correções no posicionamento das órbitas. Com o aumento do arrasto, satélites de órbita baixa podem ser danificados.

- $K_p = 8$: severo - Satélites podem experimentar surtos de tensões induzidas, devido ao forte arrasto na atmosfera superior, é necessário correções no posicionamento.
- $K_p = 9$: extremo - Operações de orientação de dados são seriamente afetados, devido ao fortíssimo aumento do arrasto ocorrem erros de rastreamento, devido às intensas correntes induzidas nos circuitos dos satélites.

Outras ocorrências, igualmente importantes:

- $K_p = 5$: fraco - Animais que fazem migração podem ser afetados, auroras em altas latitudes
- $K_p = 6$: moderado - Em latitudes elevadas poderá ocorrer fechamento de propagação em ondas curtas (HF), ocorrências de auroras em baixas latitudes, em torno de 55° .
- $K_p = 7$: forte - problemas na orientação por satélites ou através de sinais de baixa frequência, comunicações em HF podem ser irregulares, ocorrência de auroras com latitudes em torno de 50° .
- $K_p = 8$: severo - radionavegação em ondas médias e longas se tornam corrompidas, e as de ondas curtas se tornam esporádicas, medidas preventivas devem ser tomadas quanto às tensões induzidas nas tubulações. Navegação por satélite pode permanecer horas degradada.
- $K_p = 9$: extremo - As correntes induzidas chegam a alcançar centenas de amperes, ocorrência de blackout na navegação por satélites, que podem permanecer horas sem acesso à navegação, ocorrência de auroras em latitudes muito baixas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foram apresentados: O clima espacial, o Sol, no qual hoje, através de exaustivos estudos, de alguns dedicados homens ao longo dos anos, podemos ter acesso a preciosas informações a respeito, que dentre as quais estão as que nos dizem que o Sol é uma estrela de quinta grandeza, ou seja, de classe V; Foi formado a 4,57 bilhões de anos atrás e é responsável por 99,86% da massa do sistema solar, com uma temperatura efetiva de 5778 K. O Sol é uma usina nuclear gigante que orbita o centro da Via-Láctea e a sua energia é responsável pelos fenômenos meteorológicos e o clima espacial na Terra. A Terra, planeta em que vivemos, possui um complexo sistema atmosférico, que para maior compreensão, foi dividido em camadas, e estas lhe conferem uma agradável cor azulada fotografada do espaço, e nas quais há um destaque para a camada ionosférica, que por sua vez interage com o “escudo” magnético terrestre, e o clima espacial, proporcionando delicados e poderosos fenômenos onde há um destaque, por sua beleza, para as Auroras polares originadas das tempestades geomagnéticas, e estas originadas dos eventos solares. Mas também, foi destacado que, além de encantar, esses eventos podem também preocupar, devido à grande influência destas interações Terra-Sol em nosso atual estilo de vida tecnológico; Ou seja, procurou-se destacar neste trabalho essa interação e sua grande importância e consequência, entre Ionosfera-campo magnético da Terra, e campo magnético do Sol, ou seja: Entre o Sol e a Terra.

BIBLIOGRAFIA

Apolo 11 - www.apolo11.com
(acessado outubro/2012)

Balmaceda, Laura Antonia - **Estudo das possíveis causas solares de tempestades geomagnéticas**. 2008. Dissertação (mestrado em geofísica espacial) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Canabarro, M. dos Santos, **Estudo dos efeitos das tempestades magnéticas nas irregularidades ionosféricas utilizando sinais gps**. 2005. Relatório final (projeto de iniciação científica. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Cecatto, José Roberto - **O Sol**. 2003. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Cláudio, B.S. 2012. <http://bussoladeplasma.wordpress.com>

Corrêa , Iran C. Stalliviere. 2012. Museu de topografia prof. Laureano Ibrahim Chaffe departamento de geodésia – ufrgs. Disponível em http://www.ufrgs.br/museudetopografia/Artigos/Anomalia_Magnetica_do_Atl%C3%A2ntico_Sul.pdf (acessado outubro/2012)

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) disponível em: <http://www.inpe.br/> (acessado outubro/2012)

Jacobs, George; Theodore J. Cohen e Robert B. Rose - **The New Shortwave Propagation Handbook**. 2005.

Mendonça, Lucinda ; Dantas, M^a da Conceição ; Ramalho, Marta Duarte - **Jogo de Partículas, Química, Ciências Físico-Químicas**

Muralikrishna , Amita - **Previsão do índice geomagnético Dst utilizando redes neurais artificiais e árvore de decisão**. 2009. Dissertação (mestrado em computação aplicada) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

NASA (National Aeronautics and Space Administration) disponível em: <http://www.science.nasa.gov/> (acessado outubro/2012)

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) disponível em: <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/GeomagneticPoles.shtml> (acessado outubro/2012)

Paes Leme, Neusa- **Química da atmosfera**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Paiva, João ; Ferreira, António José ; Ventura, Graça ; Fiolhais, Manuel ; Fiolhais, Carlos - **Química, Ciências Físico-Química**

Nascimento, Marcelo Henrique; Júnior, Odim Mendes; Rosa, Reinaldo Roberto. 2007. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais A física das tempestades geomagnéticas: origem e mecanismos

Terra Mission NASA disponível em: <http://terra.nasa.gov/> (acessado em outubro/2012)

ANEXOS

ANEXO A - TEMPO UNIVERSAL (UT)

Fonte: <http://www.astro.com> - 2012

UT refere-se a uma escala de tempo denominada "Tempo Universal Coordenado" (UTC) que tem como base o sistema mundial do tempo civil, e que é por isso o padrão internacional do tempo. Esta escala de tempo é determinada pelo recurso a sofisticados e precisos relógios atômicos à volta do mundo. "Tempo Universal" é o termo para aquilo a que chamamos *Greenwich Mean Time* (GMT). Zero (0) horas UTC é meia-noite em Greenwich Inglaterra, que se situa no meridiano longitudinal zero. (O padrão UT substituiu o GMT em 1926 porque existiam demasiadas definições diferentes de GMT).

O Tempo Universal baseia-se nas 24 horas do relógio, e assim, as horas da tarde como 4 pm UTC são apresentadas como 16:00 UTC.

Mais acerca do fuso horário:

O estabelecimento dos fusos horários surge do facto de em cada momento o Sol estar a nascer num local da Terra, a culminar ao meio-dia em outro local, e a pôr-se num terceiro local. Considerando estes factos astronómicos faz sentido usar diferentes escalas de tempo civil em diferentes lugares da Terra.

E a partir do momento que o dia tem 24 horas, o mundo pode ser dividido em bandas longitudinais de 15 graus (360 graus/24 horas) ou em fusos horários. Cada banda representa uma hora. E por isto o o tempo local de uma zona difere em algumas horas do Tempo Universal, que coincide com o tempo local na longitude zero. A diferença entre "tempo local" menos "Tempo Universal" é positiva (+) para as zonas a este de Greenwich e negativa (-) para as zonas a oeste.

Algumas zonas de fuso horário frequentemente mencionadas são:

Hora Padrão Europa Ocidental (= Tempo Universal, diferença 0 horas)

Hora Padrão Europa Central (+1 hora) nos Estados Unidos:

Hora Padrão Atlântico (-4 horas)

Hora Padrão Oriental (- 5 horas, costa este)

Hora Padrão Central (-6 horas)

Hora Padrão Montanha (-7 horas)

Hora Padrão Pacífico (-8 horas)

Hora Padrão Moscovo (+ 3 horas)

Hora Padrão Tóquio (+9 horas)

ANEXO B – CONSTRUÇÃO DE UM MAGNETÔMETRO DE GARRAFA PARA REGISTRO DE TEMPESTADES MAGNÉTICAS - PARTE 1

Fonte: www.apolo11.com - 2012

Já imaginou em ter em sua casa um instrumento muito simples, capaz de detectar as tempestades geomagnéticas no momento em que estão acontecendo? Já pensou em ter seu próprio detector de tempestades solares e auroras boreais?

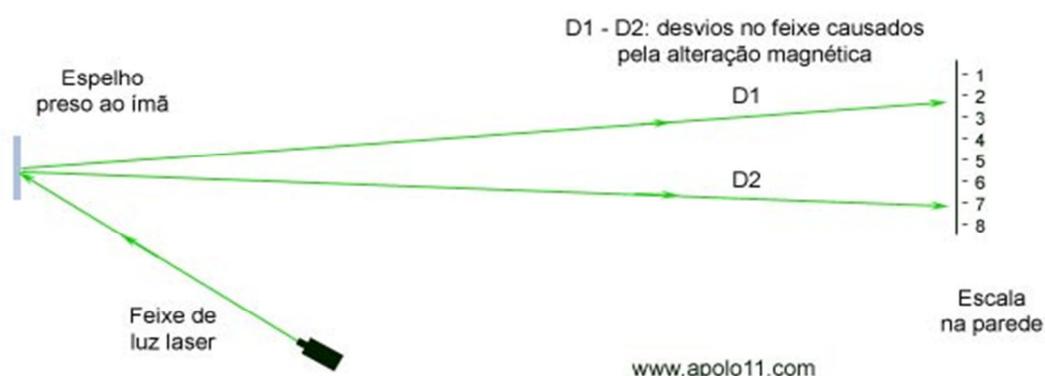


Apesar da aparente simplicidade, o magnetômetro aqui descrito é bastante sensível, capaz de detectar delicadas perturbações sutis no campo magnético da Terra que ocorrem devido às tempestades solares.

O instrumento opera como uma bússola altamente sensível e pode registrar anomalias menores que 0.1 grau na "componente D" do campo magnético terrestre local, que indica o desvio do norte magnético em relação ao norte verdadeiro.

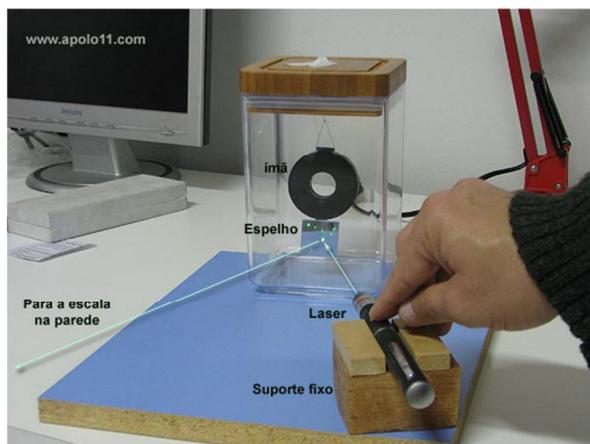
Funcionamento

A ideia básica para a detecção da anomalia magnética consiste em refletir um feixe de luz laser em um espelho preso a um ímã, suspenso no interior de uma redoma. O reflexo fará o ponto do laser incidir sobre uma escala fixada a uma parede a cerca de 1 ou 2 metros de distância.



Sem interferências externas, o ímã se orientará com o campo magnético natural e o feixe luminoso permanecerá praticamente estático sobre a escala. No entanto, a presença de anomalias magnéticas fará o ímã se deslocar e rotacionar imperceptivelmente. No entanto, devido à geometria do reflexo de um feixe luminoso, pequenos desvios angulares se traduzirão em desvios maiores à longa distância. Esses desvios podem ser calculados através da seguinte fórmula:

$$\text{Desvio (em graus)} = 57.307 * (\text{deflexão em cm/distância até a escala})$$



Assim, um deslocamento de apenas 0.57° produzirá um desvio de 1 cm em uma escala localizada a 100 centímetros de distância. Se a escala estiver a 2 metros (200 cm) o mesmo deslocamento provocará um desvio de 2 cm, o que tornará o instrumento ainda mais sensível!

No entanto, segundo a Lei da Reflexão, "quando um espelho plano gira um ângulo qualquer em torno de um eixo comum ao plano de incidência, o raio refletido gira no mesmo sentido, mas em um ângulo que é o dobro daquele que o espelho girou". Isso significa que a deflexão em graus será o dobro daquela mostrada pela fórmula acima, bastando multiplicar o resultado obtido por 2.

$$\text{Deflexão (em graus)} = 0.5 * 57.307 * (\text{deflexão em cm/distância até a escala})$$

PARTE 2

Para construir o magnetômetro básico você vai precisar:

- 1 ímã de Neodímio de +/- 5cm x 1 cm
 - 1 espelho de +/- 4x4 cm
 - 1 porca de 1/4 de polegada
 - 1 fio de nylon bem fininho
 - 1 garrafa ou pote de plástico transparente
 - 1 tubinho de cotonete
 - 1 apontador laser (chaveiro laser)
- Alguns pedaços pequenos de madeira, supercola e papelão



Sobre os materiais

Aqui vai a primeira observação. Teoricamente, você pode usar qualquer tipo de ímã ou formato, desde que se conheça com absoluta certeza a posição dos seus polos magnéticos. No entanto, o ímã de neodímio em forma de barra é recomendado por ser muito forte e se alinhar com bastante facilidade ao campo magnético terrestre.

Em nosso protótipo utilizamos um ímã de neodímio em forma de anel, pois era o que tínhamos disponível, mas o ideal é que seja feito com ímã em forma de barra ou bastão.

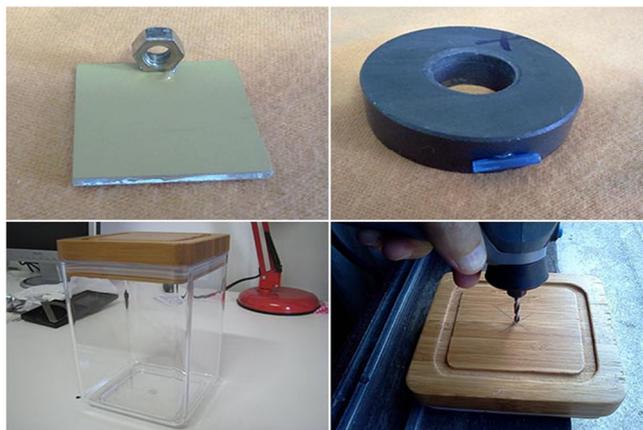
Sobre o ponteiro laser, recomendamos que você compre um somente para essa finalidade. Não precisa ser do mesmo tipo que apresentamos em nosso protótipo, com intensidade tão forte. O motivo de comprar uma unidade exclusiva para o magnetômetro é que ele precisa ficar fixado em um suporte. So mesmo for retirado para outras finalidades, fatalmente vai acabar apresentando folgas no encaixe.

Mais tarde falaremos sobre este dispositivo.

Montagem

Comece por colar a porca metálica em uma das laterais da parte traseira do espelho. Cuide para que a porca fique bem rente à lateral do espelho. Em seguida corte um pedaço de cerca de 2.5 cm do tubinho de cotonete e cole este pedaço na borda superior do ímã de neodímio.

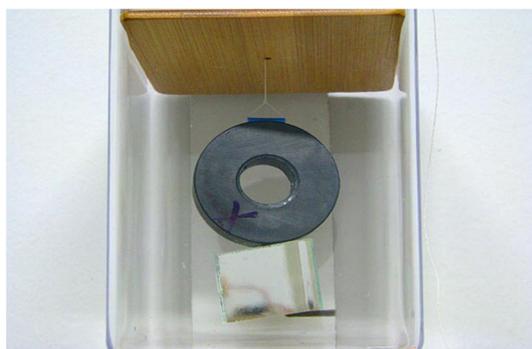
Se você comprou um ímã em forma de barra ou tubo, cole o tubinho bem no centro, no sentido do comprimento.



Corte um pedaço da linha de nylon e passe-a pelo tubinho do topo do ímã. Em seguida faça uma amarra em forma de triângulo com 2 centímetros de comprimento.

Prenda magneticamente o espelho ao ímã.

Faça um pequeno furo no topo da garrafa ou pote de plástico e passe por ele o fio que está preso ao ímã. Puxe o fio e suspenda o conjunto ímã-espelho mantendo-o pendurado. Para prender o fio de nylon no topo da garrafa utilize um pedaço de fita crepe ou então o enrole em um palitinho, travando-o com fita adesiva.



Certifique-se de que todo o conjunto esteja bem firme e que a cola usada não se desgrudará.

A próxima etapa será a construção do suporte do ponteiro laser e as possíveis alternativas para incrementar ainda mais seu magnetômetro

PARTE 3

Para que a leitura do magnetômetro seja feita com a melhor exatidão possível, é fundamental que o feixe do laser incida no espelho sempre na mesma posição, lembrando que alterações microscópicas da posição serão facilmente percebidas na escala localizada na outra parede.



Para ter uma ideia, até mesmo o andar de pessoas nas proximidades do instrumento fará o ponto de luz se mover. Assim, quanto mais rígida estiver a montagem do ponteiro laser, melhor, afinal você vai querer pressionar o botãozinho toda hora para ver como anda o campo magnético!

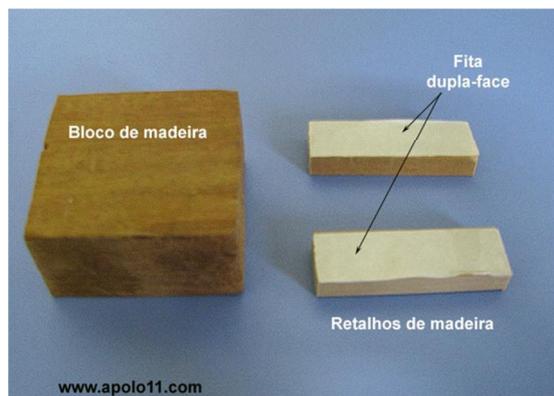
A construção do suporte é uma tarefa muito simples e tem a finalidade de manter o ponteiro laser alinhado com o espelho e sempre na mesma posição, mesmo que você pressione o botãozinho diversas vezes ao dia.

Você vai precisar de:

- 1 Ponteiro Laser
- 1 bloco quadrado de madeira
- 2 Retalhos de madeira ou plástico
- Fita adesiva dupla-face



Com relação aos materiais, o bloco de madeira deverá ter a altura ligeiramente menor que a metade da altura do espelho do magnetômetro, considerando que ambos ficarão apoiados no mesmo plano. O objetivo é fazer a luz do laser bater no meio do espelho. Os retalhos de madeira devem ter o mesmo comprimento do bloco e servirão como encosto para o ponteiro, que deverá ficar rigidamente prensado entre eles. Os retalhos são fixados no bloco com auxílio de fita-dupla-face, com o ponteiro apoiado pressionado entre eles. Dessa forma ficará garantido que o ponteiro não se moverá entre os encostos.



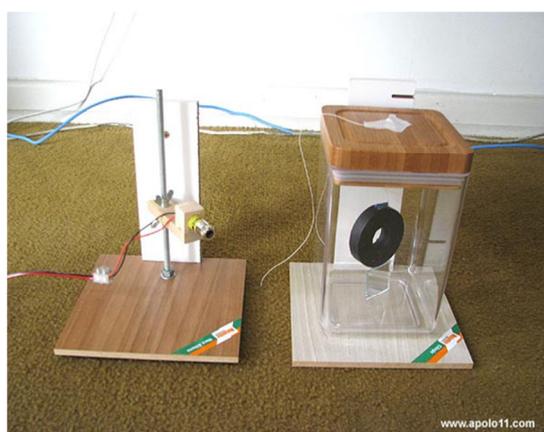
Quando o magnetômetro estiver pronto você poderá fixar o suporte com auxílio de fita dupla-face colada na parte de baixo.

Alternativa

Futuramente você poderá querer mudar seu magnetômetro de lugar e colocá-lo em um local alto, para que ninguém mexa. Quando isso acontecer você também vai precisar ligar e desligar o laser de uma forma mais prática.

Neste caso sugerimos a montagem de um suporte de parede, como o mostrado abaixo. O laser usado é um módulo industrial de 5 mW (5 miliwatts), facilmente adquirido nos classificados por um preço similar ao de um ponteiro laser comum.

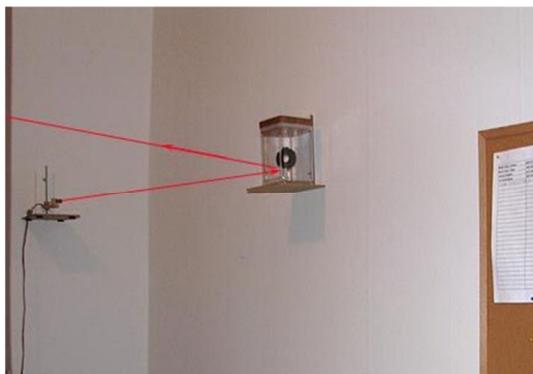
A vantagem desse laser é que ele possui dois fios externos para ligação e pode ser alimentado por duas pilhas. Para acender basta usar um pequeno interruptor comum. Dessa forma o magnetômetro pode ficar bem alto, longe de campos magnéticos ou de mãozinhas, paninhos e vassouras indesejáveis que sempre andam pela casa!



O parafuso visto no suporte do laser tem a finalidade de facilitar o posicionamento do feixe, mas pode ser omitido, bastando usar calços até obter a altura correta do feixe. A única observação é com relação à fixação do suporte do lado do magnetômetro, que não pode ter peças ferromagnéticas (parafusos comuns) em sua montagem. Use cola e parafusos de latão.

PARTE 4

Depois de construído o magnetômetro é hora de achar um local adequado para instalar o instrumento. Mas acredite: isso não é tão fácil como parece! O magnetômetro deve ser instalado em um local sem campos magnéticos que possam interferir na leitura. Além disso, deve ser de fácil acesso ao interessado e ao mesmo tempo longe do local de passagem de pessoas ou animais. Um bom lugar seria na parte superior de estantes ou armários, mas nunca se esqueça que você deverá apertar o botãozinho do laser para fazer a leitura. Logo, não pode ser muito alto.



Além das condições mencionadas acima é necessário que ambas as peças do instrumento - magnetômetro e suporte do laser - sejam posicionados de tal forma que o ponto luminoso seja refletido em uma parede próxima, dotada de uma escala. No nosso caso o instrumento foi instalado em uma das paredes do laboratório, com o espelho do ímã posicionado para refletir o laser a uma parede paralela ao instrumento, a cerca de 4 metros de distância. A foto acima mostra bem o local da instalação. Nesta montagem optamos por acionar o laser à distância através de um interruptor, conforme mostra a foto.

Uma vez que o local tenha sido escolhido e o feixe do laser já esteja batendo em uma parede a mais de 1 metro, é hora de fazer as primeiras observações.

A primeira coisa que você vai notar é que o ponto luminoso vai balançar bastante, mas depois de algumas horas ele vai estar quase estabilizado. Com ajuda de uma bússola, confira se o ímã está orientado com o campo magnético da Terra. Se você optou por construir o instrumento com um ímã em forma de barra ou bastão, provavelmente o alinhamento estará correto, já que esse formato age como um ponteiro imantado suspenso pelo fio de nylon.

Se o ímã usado for em forma de anel, como o nosso instrumento, pode ser que o alinhamento não esteja correto. Neste caso, dê uma forcinha ao instrumento e alinhe manualmente as faces grandes do ímã no mesmo sentido mostrado pela bússola. Se precisar, retoque o espelho e espere estabilizar.

Escala

Cole na parede onde o ponto está sendo refletido uma faixa de fita crepe e anote nela um "X" no ponto médio onde o feixe luminoso está incidindo. Esse ponto "X" será o zero da escala e os desvios magnéticos serão contados a partir dele.

(VER VÍDEO):

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=Lk_kY3gMnzw#

Repare que a passagem de automóveis ou acionamento de aparelhos elétricos nas proximidades fazem o ímã oscilar. O truque aqui é compreender seu magnetômetro e saber sob quais interferências ele está normalmente sujeito e como se comporta. Isso ajudará a desvincular uma possível anomalia geomagnética de uma interferência próxima. Esse estudo pode levar vários dias, mas faz parte do experimento.

Para usar o magnetômetro você precisa conhecer a distância entre o espelho e a parede próxima, onde será afixada a escala. O objetivo é medir o desvio da "componente D" do campo magnético, que reflete a diferença em graus entre o norte magnético e o norte verdadeiro no local da estação. Como explicado no início do artigo, esse desvio é dado pela equação:

Desvio da Componente D (em graus) = $0.5 * 57.307 * (\text{Desvio do ponto em cm}/\text{distância até a escala em cm})$

Exemplo 1

Qual o desvio da "componente D" para um desvio de 3 cm, sabendo que a escala está a 1.5 metros do espelho?

$0.5 * 57.307 = 28.6535 * 3/150 = 0.02 = 0.57$ grau (pouco mais de meio grau)

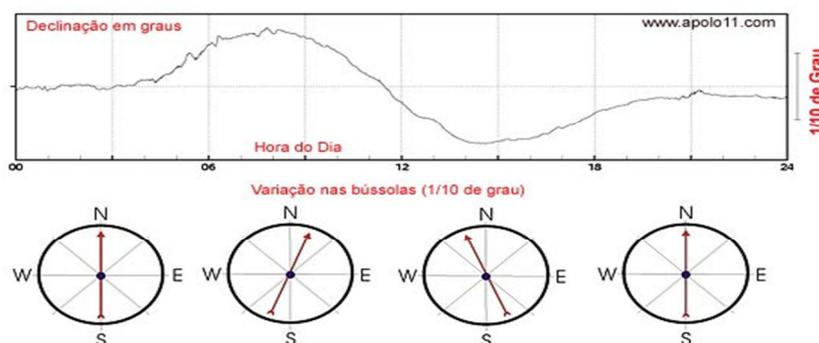
Exemplo 2

Qual o desvio da "componente D" para um desvio de 12 cm, sabendo que a escala está a 3.5 metros do espelho?

$0.5 * 57.307 = 28.6535 * 12/350 = 0.034 = 0.98$ grau (quase 1 grau)

Flutuação Diária

Uma observação bastante interessante se refere à variação diária do campo magnético terrestre, provocada pela ionização das camadas superiores da atmosfera.



Essas flutuações são causadas pelas correntes elétricas na ionosfera, uma camada que começa a de 100 km de altitude. Ali, emissões altamente energéticas provenientes do Sol no comprimento de onda do ultravioleta e dos raios-x deslocam os elétrons das moléculas neutras do ar (ionização), produzindo partículas carregadas que são conduzidas pelo ar.

Nos momentos próximos ao meio-dia, o Sol age com muita intensidade e gera mais correntes elétricas na ionosfera. Nos períodos noturnos, a ausência da radiação ionizante faz as cargas se recombinarem nas moléculas neutras, reduzindo a habilidade do ar em conduzir as correntes.

Esse processo, somado aos vórtices ciclônicos na ionosfera produz flutuações diárias no campo magnético, que se repetem ciclicamente todos os dias.

Durante os períodos de baixa atividade solar, esse fenômeno pode ser detectado em nosso magnetômetro na forma de desvios angulares próximos a 0.1 grau, ou 1 décimo de grau. Naturalmente, para que essa detecção seja possível é necessário que o instrumento esteja o mais afastado possível da interferência de campos magnéticos, o que não é tão fácil ser obtido.

Tempestades Magnéticas

Durante as atividades geomagnéticas de grande intensidade nosso magnetômetro poderá apresentar desvios de vários centímetros, dependendo da distância entre o espelho e a escala e também da intensidade da tormenta.

Distúrbios geomagnéticos de nível KP-7 e KP-8 podem resultar em desvios de até 20 centímetros em uma escala situada a 3 metros de distância, o que significa um desvio na "componente D" de quase 2 graus, um erro bastante significativo que deve ser levado em consideração em embarcações que usam bússolas para orientação.

É isso. Espero que tenham gostado desse experimento!