

# Meteorologia Espacial

(Space Weather)

M. Tavares

*Instituto de Física, Universidade Federal Fluminense*

*24210-340, Niterói, Rio de Janeiro, Brasil*

Recebido em 12 de maio, 1999. Aceito em 9 de março, 2000

As pessoas estão mais familiarizadas com a meteorologia usual, relacionada com as variações do tempo que indicam o que vestir ou aonde ir, embora, em algumas ocasiões, possam ser dramáticas e causar graves danos e mesmo a perda de vidas. Desconhecida para muitos é a meteorologia espacial, de grande importância para a moderna tecnologia. Como a meteorologia ordinária, a espacial produz pequenos efeitos na vida humana, mas ocasionalmente, ocorre um evento dramático. O que determina essa espécie de clima é o Sol, cujo rendimento tem uma variação cíclica de onze anos. Neste artigo, descrevemos como as reações no Sol afetam a Terra, e como os cientistas estão tentando estudá-las de modo a precaver-se de seus efeitos danosos.

Most people are familiar with the effect of ordinary weather related to weather variations which determine what to wear and where to go, even though they could be dramatic provoking severe damages and even deaths. Unknown to most people, there is the space weather, of great importance to many modern technologies. Like ordinary weather, space weather produces frequent small effects on human life, but occasionally a dramatic event. Underlying the space weather is the Sun, which output varies over a 11 years period. In this paper, we describe some of these reactions at the Sun and how they affect the Earth and the way scientists are trying to study and prevent against damaging effects.

## I Introdução

A Terra é banhada em radiação e matéria (ou partículas) do Sol. O Sol é a única estrela perto o suficiente para vermos detalhes na superfície e detectarmos a sua emissão de matéria. A matéria está no estado de plasmas, principalmente prótons, elétrons e pequenas quantidades de átomos de hélio (partículas alfa) e traços de átomos mais pesados. O Sol também produz um largo espectro de radiação eletromagnética desde raios gama com energia alta até ondas de rádio de baixa energia. Enquanto a luz do Sol permanece constante, matéria e radiação invisível são altamente variáveis. Essa “variabilidade” solar está associada com manchas, explosões solares e buracos coronais. Períodos de alta atividade solar são de interesse espacial para cientistas e engenheiros envolvidos em satélites, construção de estação espacial e missões espaciais de lançamento de foguetes. O Brasil agora começa a ter cientistas que se interessam por essa área por ser importante para um conhecimento global do que acontece no espaço fora da atmosfera e como nossas vidas serão afetadas. Engenheiros, meteorologistas, geofísicos e astrônomos e todos aqueles que, em maior ou menor grau, dependem das comunicações devem estar a par

das condições espaciais para prevenção de efeitos que podem ser catastróficos sobre os satélites e a Terra. Na verdade o que podemos perguntar é: -Bem se as tempestades solares afetam apenas as altas camadas da atmosfera e magnetosfera que estão tão longe de nós porque nos preocuparmos com tais estudos? A resposta é que as tempestades magnéticas geradas pelo Sol podem produzir uma energia equivalente a 40 milhões de vezes a liberada pela bomba atômica de Hiroshima em 1945. No hemisfério Norte usualmente as tempestades ocorrem quando o campo magnético do vento solar, que é externo a magnetopausa, está dirigido na direção sul. Essa direção do campo interplanetário é oposta ao campo da Terra no lado diurno da magnetosfera da Terra (que aponta para o Norte). Assim o campo magnético da Terra fica interconectado com o vento solar do campo magnético. As tempestades solares produzem efeitos notáveis perto da Terra:

- i) a aurora boreal, as luzes do norte, e aurora austral, as luzes do sul. Veja as Figs. 1 e 2;
- ii) interferência em rádios e televisões;
- iii) perigo para astronautas e naves espaciais;
- iv) oscilações de correntes nas usinas de força das grandes cidades o que prejudica o fornecimento elétrico (principalmente no hemisfério Norte);



Figura 1. Imagem da Aurora vista da Terra.

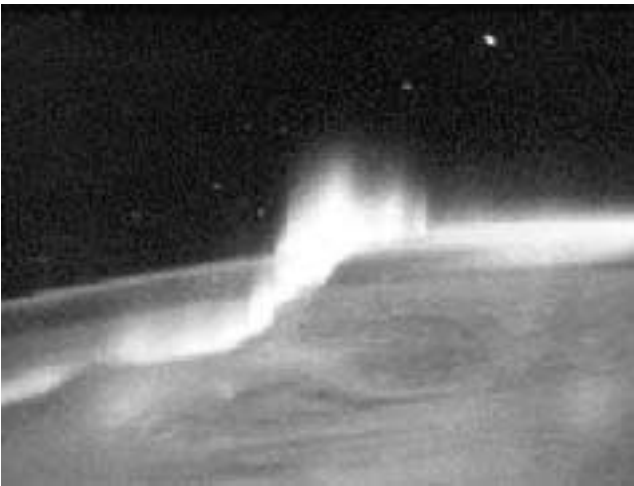


Figura 2. Imagem da Aurora vista do Espaço.

O que faz o Sol lançar tanto material no espaço? No interior do Sol, pressões imensas e altas temperaturas levam o plasma a desprender quantidades muito grandes de energia, principalmente na forma de raios gama. Essa reação é chamada fusão nuclear. A incrível energia produzida no interior do Sol, que se inicia na forma de raios gama se transforma em luz do Sol ao se mover até a superfície solar. A camada externa ao Sol, chamada *coroa* emite um feixe de plasmas chamado *vento solar* que afeta o sistema solar inteiro. O ciclo solar tem períodos de máximos e mínimos que dependem da atividade solar, que é usualmente medida pelo número de manchas solares na sua superfície. O tempo entre um máximo e um mínimo no número de manchas solares varia de 9,5 a 11 anos. Períodos com grande número de manchas solares são chamados de *máximos solares* (como o do ano 2000!) enquanto períodos de baixo número de manchas solares são chamados de períodos

de *mínimos solares*. Baixa atividade solar, também significa o período de baixas temperaturas, que é conhecido como o mínimo de Maunder.[1] Como bujões cheios de gasolina que queimam de repente, as faíscas solares explodem em clarões luminosos acima ou perto de regiões de manchas mais frias da fotosfera. Alguns relâmpagos se espalham por mais do que 90.000 km dentro da coroa. Tais descargas luminosas duram de poucos minutos até horas e estão entre os eventos mais impressionantes do sistema solar. O que ainda não se entende é porque a energia magnética é liberada de repente entre relâmpagos explosivos.

Nossa Terra está imersa em uma poderosa atmosfera proveniente do Sol chamada de vento solar. O vento solar é um gás totalmente ionizado proveniente de explosões ininterruptas na coroa solar, que é a região externa da atmosfera densa do Sol. O vento solar é dirigido para longe do Sol por pressão térmica de milhões de graus da coroa a uma velocidade supersônica média que varia de 300 a 600 km/s. Quando estamos longe da órbita da Terra, aproximadamente 150 milhões de km, o vento ainda é acelerado e continua a se afastar como verificaram as espaçonaves que atingiram maiores distâncias como as Pioneers 10 e 11 e as Voyagers 1 e 2. O vento solar atinge o campo magnético da Terra. Por que o vento solar, cheio de elétrons e prótons, não penetra facilmente no campo terrestre? Porque encontra uma barreira formando uma frente de choque de onde tentará escapar fluindo pelos lados de maneira análoga àquela de um avião supersônico movendo-se na atmosfera. O que acontece então? Ele comprime e confina o campo magnético do lado do Sol, alongando-se numa enorme cauda para o lado oposto conhecido como lado noite. A cavidade magnética através desse processo já foi discutida na Ref. [2] (veja, em particular, a Fig. 3 nesta referência). A seguir veremos os problemas causados pelo vento solar quando interage com a Terra. [3, 4, 5]

## II Satélites

Satélites, em geral, operam em torno da Terra por anos. Eles estão preparados para os efeitos de exposição às tempestades solares. [5] As suas órbitas são polares ou equatoriais. Dependendo da sua altitude, os componentes eletrônicos, as baterias solares e os materiais que produziram os satélites podem ser danificados. O clima espacial afeta os satélites em missão de diversas formas, dependendo da órbita e da função do satélite. A sociedade atual depende de satélites para informações meteorológicas, comunicação, navegação, exploração de minas, procura e resgate, pesquisa e até mesmo defesa nacional. Qualquer falha no sistema de satélites tem mais impacto atualmente e existe uma tendência de aumentar a quantidade de satélites. Partículas energéticas provenientes do Sol, do espaço interplanetário, e da

magnetosfera da Terra colidem continuamente com as superfícies das naves. Partículas altamente energéticas penetram nos componentes eletrônicos causando problemas nos sinais que podem resultar em comandos anômalos dentro do satélite ou erro nos dados dos instrumentos. Esses comandos “fantasmas” têm causado as maiores falhas dos sistemas de satélite que poderiam ter sido evitados se os controladores do solo conhecessem melhor o ambiente espacial. Satélites de telecomunicações ou de transmissão de rádio parecem estacionários, quando vistos do solo, e são capazes de cobrir grandes áreas. Tais satélites não estão sujeitos aos problemas da ionosfera mas podem sofrer interferências provenientes do solo. O nível de interferência que ele sofrerá depende de fatores como a frequência de operação, o tipo de antena, e o nível de atividade solar naquele momento. Também os satélites são afetados por carregamento no casco da nave, ou seja, acúmulo de cargas elétricas como resultado do fluxo do vento solar. Essas perturbações podem crescer de tal forma que resultarão na quebra dos delicados instrumentos eletrônicos dos satélites. Alguns materiais são sensíveis à exposição, por longo tempo, de luz ultravioleta proveniente do Sol que se situa acima da camada de absorção protetora da atmosfera. Uma simples penetração de raios cósmicos pode mudar o estado dos componentes eletrônicos tais como a memória desses componentes. Acredita-se que elétrons energéticos ficam no interior do satélite aprisionados e devido à intensidade de radiação crescente através do aumento da velocidade do vento solar produzirá uma profunda descarga dielétrica nas partes não protegidas do satélite. As tempestades solares adicionam novos problemas porque acumulam todos os efeitos acima. Alguns satélites ficam carregados quando são subitamente imersos em meios radioativos como os anéis de Van Allen, a zona auroral, ou o espaço interplanetário. As superfícies dielétricas se carregarão gerando potenciais muito altos em relação às superfícies metálicas do satélite, e podendo ocorrer descargas elétricas. Tais descargas danificam o material do satélite e os transistores elétricos no interior da nave.[7] O que acontece, é que essas descargas podem causar um “mascaramento” nos comandos, como se comandos fantasmas aparecessem nos sistemas das naves. Essas transições elétricas em geral ocorrem entre a meia noite e o amanhecer seguindo o que parece ser uma injeção de elétrons para a Terra provenientes da cauda durante perturbações geomagnéticas.[10] Outra “zona de perigo” para as espaçonaves se encontra na região do Atlântico Sul onde as partículas energéticas no anel de radiação são encontradas em baixas altitudes devido ao fato de que o campo magnético da Terra nessa região é fraco, a conhecida anomalia do Atlântico Sul. A atmosfera superior é aquecida por uma energia de outras fontes tais como partículas aurorais acrescida de correntes ionosféricas resistivas, ficando altamente carregada. As densidades atmosféricas resultantes em

torno de 300 – 500 km de altitude crescem significativamente com o número de colisões microscópicas entre o satélite e as partículas de gás que o rodeiam. Este crescente “arraste no satélite” pode alterar uma órbita suficiente para o satélite ficar temporariamente perdido para comunicações. Isto também causará um desajuste prematuro na órbita do mesmo.

### III Comunicações

Muitos sistemas de comunicação utilizam a ionosfera para refletir sinais de rádio a longas distâncias. Tempestades ionosféricas podem afetar a comunicação por rádio em todas as latitudes. Algumas frequências de rádio são absorvidas e outras refletidas, levando a uma rápida flutuação nos sinais e inesperadas trajetórias de propagação. TV e estações de rádio comerciais são pouco afetadas pela atividade solar, mas em alguns casos como transmissões de sinais do solo para o ar ou navio para a costa, em especial algumas rádios no Estados Unidos da América e na Europa, e radioamadores são freqüentemente interceptados pela atividade solar.[3] Radiooperadores, usando altas frequências, precisam dos alertas solares e geomagnéticos para a manutenção de seus circuitos de comunicação. Tais alertas funcionam nos Estados Unidos e na Europa para avisar aos interessados da proximidade de uma tempestade geomagnética.[3] Alguns detectores militares e outros sistemas de aviso podem também ser afetados pela atividade solar. Para isso existem radares que lançam sinais acima do horizonte diretamente na ionosfera servindo para monitorar o lançamento de naves e mísseis de longa distância. Em casos especiais, durante tempestades geomagnéticas, o sistema pode ser severamente obstruído pelo ruído no rádio.[10] A administração federal de aviação recebe rotineiramente alertas de tempestades no Sol por rádio. Deste modo, pode-se detectar quaisquer problemas de comunicação e realizar a manutenção necessária. Quando uma nave e uma estação no solo estão alinhadas com o Sol, pode haver a destruição de frequências de rádio. Isto também poderá acontecer no caso em que uma estação terrestre, um satélite e o Sol estejam em alinhamento.

### IV Sistemas de navegação

Exemplos de problemas em sistemas de navegação são encontrados, por exemplo, no sistema OMEGA. Esse sistema consiste de oito transmissores localizados em torno do mundo. Aviões e navios usam uma frequência de sinais muito baixa dos transmissores para determinar suas posições, em relação aos pontos de partida ou de chegada. Existe ao redor da Terra um sistema de satélites conhecido como GPS (Global Positioning System). São aproximadamente 16 satélites orbitando em uma órbita circular a uma distância de 4,2 raios terres-

tres e inclinados em relação ao Equador. Eles alcançam assim diferentes níveis do campo magnético da Terra – suponha que o campo magnético da Terra é um dipolo onde suas linhas são arrumadas como conchas ao redor da Terra. Medem o fluxo de elétrons que entram na magnetosfera. A ionosfera está entre esses satélites e o receptor no solo. Algumas vezes, quando a atividade solar aumenta subitamente, esses sinais podem ser afetados porque a ionosfera também aumentará a densidade de suas partículas energéticas. Durante eventos solares e tempestades geomagnéticas, o sistema pode dar informações imprecisas aos navegadores além de alguns quilômetros no solo. Se navegadores são alertados de que um evento de prótons ou tempestades geomagnéticas estão em progresso, podem trocar para um outro sistema de informações. Assim, sinais do GPS podem ser afetados quando a atividade solar causa variações súbitas na densidade da ionosfera. Veja, na Fig. 3, sistemas de navegação para auxílio na determinação das rotas.

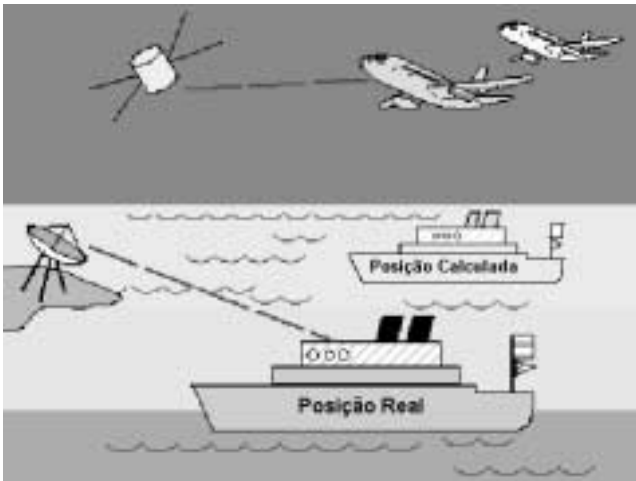


Figura 3. Sistemas de navegação e instrumentos que ajudam no desenvolvimento de suas rotas.

## V Riscos de radiação no homem

As intensas cargas solares liberam partículas com energias muito altas que podem ser prejudiciais aos homens como as baixas energias de radiação das rajadas nucleares. A atmosfera da Terra e a magnetosfera permitem uma proteção adequada para a Terra, mas astronautas no espaço estão sujeitos a doses letais de radiação. A penetração de partículas com alta energia em células vivas, tais como as radioativas levará à destruição de cromossomos e potencialmente ao câncer. Prótons com energias maiores que 30 Mev são particularmente perigosos. Ficar exposto a tal tipo de radiação acarretará morte imediata. Em outubro de 1989, o Sol produziu partículas com energia suficiente para matar um astronauta na Lua vestindo uma roupa espacial e que estivesse sob o impacto da tempestade (veja Fig. 4).

Astronautas, sob a proteção de um escudo no solo da Lua, absorveriam apenas pequenas quantidades de radiação.[7, 8, 9]

Prótons solares podem também produzir alta radiação a bordo de um avião supersônico em altitudes acima das calotas polares. Para diminuir esse risco, previsões rotineiras e alertas são enviados através da competente administração federal de aviação. Deste modo, o avião em risco potencial, pode alterar o seu curso e reduzir a altitude para minimizar os riscos de exposição à radiação.

## VI Exploração geológica

O campo magnético da Terra é usado por geólogos para determinar a estrutura das rochas subterrâneas. Em geral, a maior parte da procura dos geólogos se concentra em gás, óleo ou depósitos minerais. [11] Eles podem fazer isso apenas se o campo magnético estiver em repouso, pois assim os verdadeiros sinais magnéticos serão detectados. Outros pesquisadores preferem trabalhar durante as tempestades solares, quando as variações sob a superfície normal da Terra das correntes elétricas ajudam a descobrir o óleo ou estruturas minerais. Por essas razões, muitos pesquisadores usam alertas geomagnéticos e previsões para o mapeamento de suas atividades.

## VII Rede elétrica

Quando os campos magnéticos mudam na vizinhança de um condutor, uma corrente elétrica será induzida no interior do condutor. Isto acontece, em grande escala, durante as tempestades geomagnéticas. Companhias de força e luz transmitem correntes alternadas para seus contribuintes através de longas linhas de transmissão. As correntes diretas induzidas nessas linhas, provenientes de tempestades geomagnéticas, são prejudiciais para o equipamento de transmissão elétrica (veja a Fig. 5). Em 13 de março de 1989, em Montreal, seis milhões de pessoas ficaram sem luz por nove horas, como resultado de uma imensa tempestade geomagnética. Mas, se tivessem recebido os avisos de alerta, as companhias de distribuição de energia elétrica poderiam diminuir o perigo e os cortes de manutenção da energia.[9]

## VIII Clima

O Sol é um engenho de aquecimento que dirige a circulação da nossa atmosfera. Em geral, acreditamos uma fonte de energia constante. No entanto, medidas recentes mostram que essa constância solar pode mudar cerca de 20% em um ciclo solar de 11 anos. Decréscimos temporários de 0,5% têm sido observados. Cientistas atmosféricos dizem que esta variação é significativa e

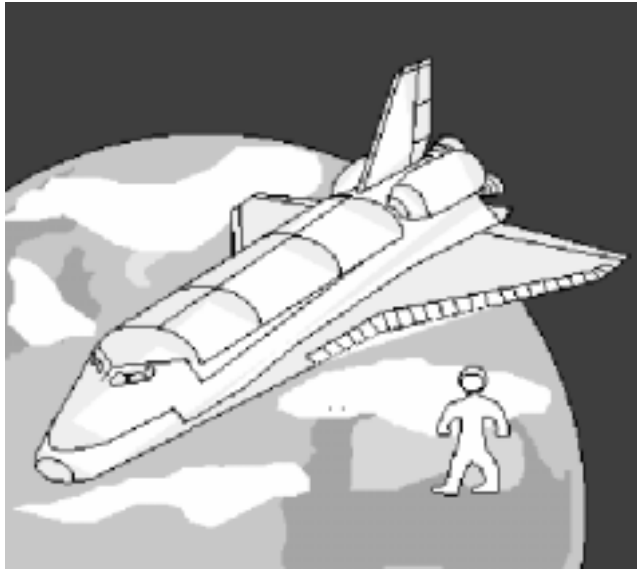


Figura 4. Radiação prejudicial para o ser humano.



Figura 5. Problemas no sistema de transmissão de energia principalmente no hemisfério norte.

que isto pode modificar o clima de alguma forma. O crescimento das plantas pode variar nos ciclos de 11 anos de manchas e nos ciclos magnéticos de 22 anos do Sol como evidenciam as gravações de três anéis nas árvores. Enquanto o ciclo solar tem sido aproximadamente regular durante os últimos 300 anos, houve um período de 70 anos nos séculos *XVII* e *XVIII* quando se observaram poucas manchas solares coincidindo com o tempo da pequena idade do gelo na Europa, implicando na conexão do Sol com o clima [8, 10], como ilustrado na Fig. 6. Recentemente uma conexão mais direta entre clima e variabilidade solar tem sido

procurada. Ventos estratosféricos perto do Equador sopram em diversas direções, dependendo temporalmente do ciclo solar. Investiga-se de que forma a reversão desses ventos afetaria a circulação global e o clima. Durante eventos de prótons, muito mais partículas alcançam a atmosfera da Terra. Aqui elas são as causas da ionização molecular onde criam a química necessária para destruir o ozônio na atmosfera que permite o crescimento de quantidades cada vez maiores da perigosa radiação ultravioleta. Um evento de prótons, em 1982, resultou em temporário decréscimo nas densidades de ozônio.



Figura 6. Idade de gelo na Europa durante o conhecido Maunder Mínimo.

## IX Biologia

Existe evidência crescente que mudanças no campo geomagnético afetam os sistemas biológicos. Estudos indicam que tais sistemas respondem a flutuações no campo magnético. Um efeito curioso é a desorientação dos pombos durante tempestades geomagnéticas. Pombos e outros animais migratórios, tais como delfins e baleias, têm compassos biológicos internos compostos de magnetita mineral envolvidos nas suas células nervosas. [4, 6] Naturalmente esta capacidade própria não constitui um método primário de navegação e muitos pombos falham ao tentar voltar a seu ponto de origem. Mesmo um pequeno número de aves retorna ao lar por uma trajetória que seria proibida. Para escapar destes casos, as aves têm aprendido de alguma forma a recorrer a alertas geomagnéticos e avisos biológicos internos que ajudarão à preservação das espécies.

## X Conclusões

Nossa compreensão sobre o clima espacial está ainda em num nível primitivo, análoga àquela da meteorologia tradicional nos anos 50, embora muito progresso tenha sido obtido, a partir de 1960, como resultado

dos instrumentos carregados em naves espaciais. Atualmente, os instrumentos nos satélites nos possibilitam fazer previsões e análises algum tempo antes de que qualquer efeito possa danificar irreversivelmente as delicadas aparelhagens dos satélites que orbitam em nosso espaço. Como exemplo, temos o satélite TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission) que possibilita a detecção de chuvas, que não tinha sido possível com os antigos satélites, como o GOES, que apenas dão a previsão de nuvens. Os instrumentos no interior de cada satélite mandam os dados para a Terra, que são analisados através de recursos gráficos e computacionais para análise dos cientistas. Hoje, os modelos mais realísticos do ambiente espacial e o aumento da capacidade observacional que detecta as condições de perturbação no espaço, tornam possível a aplicação dos mesmos para prever os fatos que ocorrerão no espaço. No entanto, essa análise de dados requer uma estrutura por meio da qual especialistas, em um grande número de instituições, deverão dispor de aparelhos para obter análises mais detalhadas sobre as consequências de qualquer evento na superfície solar.[1] Somente através de um grande esforço será possível prevenir e remediar quaisquer problemas que surjam com a variabilidade da atividade solar.

#### Agradecimentos

Agradeço ao meu colega Dr. M. A. M Santiago na correção do trabalho.

## XI Glossário

### Aurora

Um fenômeno de luminosidade esporádica associado à atividade geomagnética nos céus em altas latitudes. Auroras ocorrem dentro de uma banda de latitudes conhecida como oval auroral e sua localização depende da atividade geomagnética. Auroras são o resultado de colisões entre gases atmosféricos e precipitação de partículas (principalmente elétrons) guiadas pelo campo geomagnético vindo da cauda magnética da Terra. Cada gás (moléculas de oxigênio e nitrogênio) aparecerá com suas próprias cores quando bombardeados, e a composição atmosférica variará com a altitude. A altitude auroral alcança de 80 até 1000 km, mas auroras típicas estão entre 100 até 250 km acima do chão. A cor típica da aurora é o verde amarelado devido a transições específicas do oxigênio. As formas da aurora incluem, arcos quiescentes, raios que se movem rápido como cortinas ou véus.

#### Atividade geomagnética

Variações naturais no campo geomagnético classificadas como calmas, inconstantes, ativas e níveis de tempestades geomagnéticas.

#### Buraco coronal

Uma região extensa na coroa solar com densidade excepcionalmente baixa e associada com regiões fo-

toesféricas magnéticas tendo a topologia de campo magnético com linhas abertas. Buracos coronais são maiores e mais estáveis perto dos polos solares, e uma fonte de vento solar com alta velocidade.

#### Correntes geomagnéticas induzidas

De acordo com a lei de Faraday da indução eletromagnética, uma mudança temporal de um campo magnético sempre é acompanhada por um campo elétrico. Então um campo elétrico está associado com a atividade geomagnética. A variação geomagnética e o campo geoeletrico observado na superfície da Terra dependem das correntes na ionosfera e magnetosfera e também das correntes e cargas induzidas na Terra.

#### Cauda Magnética

A extensão da magnetosfera na direção contrária a do Sol é resultado da interação com o vento solar. Na parte interna, o campo mantém uma configuração dipolar. Mas, para distâncias maiores, na direção oposta a do Sol, as linhas são esticadas em duas camadas de norte e sul, separadas pela cauda de plasma. Existem traços da cauda até 1.000 raios terrestres.

#### Jato Auroral

Uma corrente que flui na ionosfera e na zona auroral.

#### Magnetopausa

A superfície de contorno entre o vento solar e a magnetosfera, onde a pressão do campo magnético da Terra é igual à pressão dinâmica do vento solar.

#### Magnetosfera

A cavidade magnética que rodeia a terra, modelada pelo vento solar, a qual impede a entrada direta do vento solar de plasmas proveniente do Sol na cavidade da mesma.

#### Mínimo de Maunder

É a chamada pequena idade do gelo da Europa (1645-1715) que foi um período no qual as manchas solares foram muito raras. Para aqueles que perguntam qual as variações no Sol durante o mínimo de Maunder, alguns cientistas acreditam que o Sol tinha um diâmetro maior e por isso estava mais frio transmitindo menos calor para a superfície da Terra de acordo com as mudanças climáticas. O Sol se expande e se contrai em um período de centenas de anos e age enigmáticamente.[12]

#### Vento solar

O fluxo de partículas e o campo magnético que o Sol lança sobre a Terra. As velocidades do vento solar estão próximas de 450 km/s e as densidades de prótons e elétrons são próximas de  $5 \text{ cm}^{-3}$ . A intensidade total do campo interplanetário é nominalmente 5 nT. O vento solar rápido se origina dos buracos coronais e supõe-se que o vento solar lento provém das regiões próximas da linha coronal neutra.

## References

- [1] N. Calder, *The Manic Sun - the weather theories con-*

- founded*, Pilkington Press, London, (1997).
- [2] M. Tavares, *Aprendendo sobre o Sol*, Rev. Bras. Ens. Fis. **22** (1), 78 (2000).
- [3] K. Davies, *Ionospheric Radio*, Peter Peregrinus, (1990).
- [4] R. H. Eather, *Majestic Lights*, AGU, Washington , D.C., (1980).
- [5] H. B. Garrett, C. P Pike ., *Space System and their interactions with Earth's Space Environment*, New York ,American Institute of Aeronautics and Astronautics, (1980).
- [6] S. Gauthreaux Jr., *Animal migration: orientation and navigation*, Academic Press, New York (1980).
- [7] R. Hardings, *Survival in Space*, Routledge, New York, (1989).
- [8] J. A. Joselyn, *The impact of solar flares and magnetic storms on humans*, EOS **17** (7): 81 (1992).
- [9] N. L. Johnson and D. S. McKnight, *Artificial Space Debris*, Orbit Book Co., Malabar, Florida (1987).
- [10] L .J. Lanzerotti, *Impacts of ionosphere/magnetospheric processes on terrestrial science and technology. In solar plasmas physics III*, North Holland, New York, (1979).
- [11] W. D. Parkinson, *Introduction to Geomagnetism*, Elsevier, New York( 1983).
- [12] E. Ribes et al., *Evidence for a Larger Sun with a Slower Rotation during the Seventeenth Century*, Nature, 326:52, (1987).
- [13] Daly L.John, *Waiting for Greenhouse*, submission to National Greenhouse Response Strategy Review, Canberra, (1996).