



Em que escala os efeitos do Clima Espacial afetam a sociedade?

Joaquim Eduardo Rezende Costa¹, Clezio Marcos De Nardin²

¹ Divisão de Astrofísica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP

² Divisão de Aeronomia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP

Os efeitos do Clima espacial afetam a sociedade em muitas maneiras. Muitas certamente ainda desconhecemos. Melhor portanto é conhecer as escalas que os efeitos que conhecemos nos afetam. Sabemos que são efeitos produzidos por radiação e partículas carregadas que carregam consigo campos elétricos e magnéticos.

Tempestades do clima espacial podem interromper comunicações em rádio. Isto inclui transmissões de sinais de televisão, comunicação de aeronaves e transmissões de celulares, etc. O sistema de GPS (Global Positioning Systems) também usa sinais de satélites cuja precisão de localização pode diminuir durante tempestades do Clima Espacial. A Ionosfera, uma região da atmosfera terrestre eletricamente carregada, tem sido usada a décadas para refletir sinais em rádio para grandes distâncias na Terra e o Clima Espacial altera a altura e a densidade de cargas dela modificando sua habilidade em refletir as ondas. O Clima Espacial também altera o campo magnético ao redor da Terra e pode mudar as correntes elétricas da atmosfera. As variações do Clima Espacial podem gerar correntes problemáticas em fios de transmissão elétrica causando sobrecargas e produzindo blackouts.



Problemas similares acontecer em dutos metálicos (oleodutos e gasodutos) causando aumento de erosão e levando à vazamentos devidos às correntes espúrias. Variações magnéticas também interferem nas prospeções geológicas, que usam instrumentos sensíveis chamados magnetômetros, para a detecção de depósitos de minérios.

Vários tipos de radiação são associados com o clima espacial, e podem produzir danos à saúde de humanos e outras espécies. Como pode se supor também, astronautas nos espaço estão com um risco muito maior do que as pessoas no solo. Porém, passageiros e tripulação de aeronaves (voos comerciais), especialmente aqueles próximos aos pólos e talvez sobre a anomalia magnética onde a radiação do espaço penetra mais devem tomar precauções na ocorrência das tempestades do clima espacial. Algumas formas de vida como os pombos correios e aves migratórias podem ser ainda mais afetados pelas perturbações do campo magnético associados a essas tempestades.

Satélites são vulneráveis à maiorias das perturbações do clima espacial. Radiação pode danificar a eletrônica de bordo, deteriorar a eficiência das células solares. Muita atividade solar pode aquecer e adensar a atmosfera superior gerando um arrasto maior para os satélites afetando a órbita e abreviando sua vida.

Radiação

Vem de duas maneiras: eletromagnética (fótons) e partículas energéticas (elétron, prótons e núcleos atômicos em geral). A radiação eletromagnética inclui tudo desde rádio-ondas até raios-X e gamas (altamente indesejados para seres e instrumentos). As partículas (raios cósmicos) são cargas sub-atômicas compostas basicamente de elétrons, prótons e núcleos de Hélio com alta velocidade. Exposição muito grande à radiação pode ser prejudicial aos humanos e outras espécies. Radiação de alta energia também destrói componentes eletrônicos.



Clima Espacial

É o termo que os cientistas usam para descrever as condições variáveis do espaço próximo à Terra.

Modelagem do Clima Espacial

Clima espacial é um campo científico muito complexo. Cientistas que estudam o clima espacial usam muitos computadores poderosos para cálculos numéricos das previsões (os modelos). Nesse sentido é muito parecido com a previsão do clima e tempo na Terra.

Os pesquisadores do clima espacial têm que combinar modelos diferentes desde o interior solar, a atmosfera solar, o meio interplanetário, a magnetosfera da Terra e a atmosfera da Terra para fazerem previsões.

Previsões geradas pelos modelos devem obter com certa similaridade os dados dos eventos medidos. Os cientistas comparam os resultados dos modelos com os eventos reais para verificar a precisão, fazendo um ajuste fino conforme os dados vão aparecendo.

Para que servem os modelos? Bem, para fazer as previsões. A ideia é ter algum tempo antes da chegada das perturbações para tentar evitar ou amenizar seus efeitos. Por exemplo, avisar antes de um astronauta sair para uma caminhada no espaço e receber uma chuva de radiação, desligar uma comunicação antes de um black-out, etc.



Escalas do Clima Espacial

As escalas do Clima Espacial foram geradas originalmente dentro do programa NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) para o clima espacial. Estas tem sido muito utilizadas e discutidas pelos centros de previsão do clima espacial em todo o mundo. O motivo para utilização dessas escalas são muitos. Servem para uma uniformização das medidas geradoras de alertas e também estabelecem uma forma quantitativa para comparação da intensidade dos vários fenômenos monitorados.

Tipo de fenômeno	Efeitos	Escala	Descritor
Tempestade Geo-magnética	Variações do vento solar causam distúrbios no campo geo-magnético.	G5	Extremo
		G4	Severo
		G3	Forte
		G2	Moderado
		G1	Fraco
Tempestade de Radiação Solar	Crescimento no número de partículas energéticas elevam os níveis de radiação.	S5	Extremo
		S4	Severo
		S3	Forte
		S2	Moderado
		S1	Fraco
Rádio blackouts	Emissões de raios-X do Sol causam distúrbios na Ionosfera.	R5	Extremo
		R4	Severo
		R3	Forte
		R2	Moderado
		R1	Fraco

Níveis de alerta da escala do NOAA para o Clima Espacial

WORKSHOP DO PROGRAMA DE CLIMA ESPACIAL DO INPE COM USUÁRIOS

Auditório Fernando de Mendonça - INPE, 20 de outubro de 2011

Escala NOAA para Tempestades Geo-magnéticas

Categoria		Efeito	Medida	Frequencia amostra(1 ciclo = 11 anos)
Escala	Descritor	Duração do evento influencia a severidade dos efeitos		
Tempestade Geo-magnética			Kp valores* determinados cada 3 horas	Número de tempestades quando nível Kp foi calculado; (número de dias com tempestades)
G 5	Extremo	<p>Sistemas Elétricos: : problemas gerais de controle de voltagem e problemas com sistemas de proteção, alguma malha do sistema pode experimentar colapso completo ou blackouts. Transformadores podem ser danificados.</p> <p>Operação de satélites: pode experimentar extensiva sobrecarga estática na superfície, problemas com orientação, problemas com o uplink/downlink e rastreamento dos satélites.</p> <p>Outros sistemas: correntes nos duto metálicos podem atingir centenas de ampéres, propagação em rádio HF (high frequency) pode ficar impossível em muitas áreas por um ou dois dias, navegação por satélite pode ficar degradadas por dias, navegação por baixa frequência pode ficar impossível por horas.</p>	Kp = 9	4 por ciclo(4 dias por ciclo)

WORKSHOP DO PROGRAMA DE CLIMA ESPACIAL DO INPE COM USUÁRIOS

Auditório Fernando de Mendonça - INPE, 20 de outubro de 2011



G 4	Severo	<p>Sistemas Elétricos: problemas gerais de controle de voltagem e problemas com sistemas de proteção que podem ser acionados erroneamente.</p> <p>Operações de Satélites: pode experimentar sobrecarga estática na superfície e problemas de rastreamento, correções podem ser necessárias para problemas de orientação.</p> <p>Outros sistemas: correntes induzidas nos dutos afetam medidas preventivas, produzem problemas esporádicos na propagação HF, navegação por satélite degradada por horas, navegação por baixa-frequência é perturbada.</p>	Kp = 8, incluindo o 9-	100 per ciclo(60 dias por ciclo)
G 3	Forte	<p>Sistema elétrico: correções de voltagens podem ser necessárias, alarmes falsos iniciando algum equipamento de proteção.</p> <p>Operação de satélite: sobrecarga estática de superfície nos componentes podem ocorrer, pode ocorrer aumento do arrasto sobre os de baixa órbita, e correções podem ser necessárias para os problemas de orientação.</p> <p>Outros sistemas: podem ocorrer problemas intermitentes na navegação do satélite e navegação em baixa-frequência, comunicação em rádio HF pode ficar intermitente.</p>	Kp = 7	200 por ciclo(130 dias por ciclo)

WORKSHOP DO PROGRAMA DE CLIMA ESPACIAL DO INPE COM USUÁRIOS

Auditório Fernando de Mendonça - INPE, 20 de outubro de 2011

G 2	Modera do	<p>Sistema elétrico: sistemas em alta latitude pode experimentar alarmes do nível de voltagem, tempestades de longa duração causam danos aos transformadores.</p> <p>Operação de satélites: podem ser requeridas ações corretivas da orientação pelos controles de solo; possíveis mudanças no arrasto podem afetar a previsão das órbitas.</p> <p>Outros sistemas: propagação em rádio HF pode enfraquecer em altas latitudes.</p>	Kp = 6	600 per ciclo(360 dias por ciclo)
G 1	Fraco	<p>Sistema elétrico: flutuações fracas na voltagem podem acontecer.</p> <p>Operação de satélite: possível impacto pequeno nas operações.</p> <p>Outros sistemas: animais migratórios são afetados neste nível e em níveis mais altos.</p>	Kp = 5	1700 por ciclo(900 dias por ciclo)

* O índice K usado para gerar as mensagens é derivado em tempo real do magnetometro de Boulder NOAA. O índice K de Boulder, na maioria dos casos, se aproxima do Planetário índice Kp referenciado nas escalas do Clima Espacial do NOAA. O índice planetário Kp não é disponível em tempo real.

WORKSHOP DO PROGRAMA DE CLIMA ESPACIAL DO INPE COM USUÁRIOS

Auditório Fernando de Mendonça - INPE, 20 de outubro de 2011

Escala NOAA para Tempestade de Radiação Solar

Categoria		Efeito	Medida	Frequencia amostra(1 ciclo = 11 anos)
Escala	Descritor	Duração do evento influencia a severidade dos efeitos		
Tempestade de Radiação Solar			Fluxo de partículas c/ energia ≥ 10 MeV(ions)*	Número de eventos quando o fluxo foi medido (número de dias da tempestade**)
S 5	Extreme	<p>Biológico: dano inevitável de alta dose de radiação em astronautas no EVA (extra-vehicular activity); passageiros e tripulação em vôos altos em altas latitudes pode ser expostos a riscos de altas doses.***</p> <p>Operação de satélite: satélites podem ser inutilizados, impactos na memória pode causar perda de controle, pode causar muito ruído nas imagens captadas, orientação por estrelas podem ficar sem visão das fontes; danos permanentes em painéis solares são possíveis.</p> <p>Outros sistemas: completo blackout de comunicações em HF (high frequency) são possíveis em regiões trans-polares, e erros de posições fazem as operações de navegação extremamente difíceis.</p>	10^5	Menos que 1 por ciclo

WORKSHOP DO PROGRAMA DE CLIMA ESPACIAL DO INPE COM USUÁRIOS

Auditório Fernando de Mendonça - INPE, 20 de outubro de 2011

S 4	Severo	<p>Biológico: dano inevitável de alta dose de radiação em astronautas no EVA (extra-vehicular activity); passageiros e tripulação em vôos altos em altas latitudes pode ser expostos a riscos de altas doses.***</p> <p>Operações de satélite: pode experimentar problemas com memórias de equipamentos, pode causar ruído nas imagens captadas, orientação por estrelas podem ter problemas; a eficiência dos painéis solares pode degradar.</p> <p>Outros sistema: blackout de comunicação em HF trans-polares e possíveis erros majorados na navegação por vários dias.</p>	10^4	3 por ciclo
S 3	Forte	<p>Biológica: danos por radiação pode ser evitados para astronautas em EVA; passageiros e tripulantes em vôos em alta altitude e alta latitude pode ser expostos à riscos de radiação.***</p> <p>Operações de satélites: são prováveis de ocorrer single-event upsets, ruído em sistemas imageadores, e pequena redução da eficiência nos painéis solares.</p> <p>Outros sistemas: propagação trans-polar em HF degradada e prováveis erros de navegação.</p>	10^3	10 por ciclo

WORKSHOP DO PROGRAMA DE CLIMA ESPACIAL DO INPE COM USUÁRIOS

Auditório Fernando de Mendonça - INPE, 20 de outubro de 2011

S 2	Moderado	<p>Biológico: passageiros e tripulantes em vôos de alta altitude e alta latitude podem ficar expostos à elevado risco de alta dose de radiação.***</p> <p>Operação de satélite: possível (infrequente) evento single-event upsets.</p> <p>Outros sistemas: pequeno efeito nas comunicações trans-polares em HF e navegação pela calota polar pode ser afetada.</p>	10^2	25 por ciclo
S 1	Fraco	<p>Biológico: nenhum.</p> <p>Operação de satélite: nenhum.</p> <p>Outros sistemas: pequeno impacto nas comunicações trans-polares em HF.</p>	10	50 por ciclo

* Fluxos são médias de 5 minutos. Fluxo em $\text{partícula}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ster}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$. Baseado nessas medidas, porém outras medidas físicas também são consideradas.

** Esses eventos podem durar mais que um dia.

*** Medidas de partículas de alta energia (>100 MeV) são indicadores melhores do risco de radiação ao passageiro e tripulantes. Grávidas são particularmente mais susceptíveis.

WORKSHOP DO PROGRAMA DE CLIMA ESPACIAL DO INPE COM USUÁRIOS

Auditório Fernando de Mendonça - INPE, 20 de outubro de 2011



Escala NOAA para Rádio Blackouts

Categoria		Efeito	Medida	Frequencia amostra (1 ciclo=11 anos)
Escala	Descritor	Duração do evento influencia a severidade dos efeitos		
Radio Blackouts			Pico de brilho em raios-X do GOES pela classe e pelo fluxo*	Número de eventos quando o fluxo foi medido; (número de dias da tempestades)
R 5	Extremo	<p>HF Rádio:Completo blackout em HF (high frequency**) no lado iluminado inteiro da Terra durando horas. Isto resulta em falta de contato com aviadores e marinheiros nestes setores.</p> <p>Navegação: navegação em baixa frequencia usado pela marinha e alguns sistemas de aviação experimenta falhas na área iluminada por horas, causando perda em posicionamento. Erros maiores em sistemas de navegação por satélites por horas na parte iluminada da Terra e que pode se propagar também para a parte da noite.</p>	$X20(2 \times 10^{-3})$	Menos que 1 por ciclo

WORKSHOP DO PROGRAMA DE CLIMA ESPACIAL DO INPE COM USUÁRIOS

Auditório Fernando de Mendonça - INPE, 20 de outubro de 2011



R 4	Severo	<p>HF Radio: : blackout de comunicação em HF na maioria da área iluminada por uma ou duas horas. Contacto em rádio HF é perdido durante este período.</p> <p>Navegação: falhas no sinal de navegação em baixa frequência causa aumento de erro no posicionamento por uma ou duas horas. Disrupção pequena na navegação por satélite na área iluminada da Terra.</p>	$X10(10^{-3})$	<p>8 por ciclo</p> <p>(8 dias por ciclo)</p>
R 3	Forte	<p>HF Radio: Grande área de blackout em comunicação em rádio HF, perda de rádio contatos por aproximadamente uma hora na região iluminada.</p> <p>Navegação: Navegação em baixa frequência degradada por aprox. uma hora.</p>	$X1(10^{-4})$	<p>175 por ciclo(140 dias por ciclo)</p>
R 2	Moderado	<p>HF Radio: Blackout limitado de comunicação em rádio HF na área iluminada, perda de contato em rádio por dezenas de minutos.</p> <p>Navegação: Degradação de sinal de navegação por baixa frequência por dezenas de minutos.</p>	$M5(5 \times 10^{-5})$	<p>350 por ciclo(300 dias por ciclo)</p>

WORKSHOP DO PROGRAMA DE CLIMA ESPACIAL DO INPE COM USUÁRIOS

Auditório Fernando de Mendonça - INPE, 20 de outubro de 2011



R 1	Fraco	HF Radio: Fraca ou pequena degradação de comunicação em HF na área iluminada da Terra, perda ocasional de rádio contato. Navegação: Sinal de navegação de baixa frequência degradado por breves intervalos.	M1(10^{-5})	2000 por ciclo(950 dias por ciclo)
-----	-------	--	-----------------	------------------------------------

* Fluxo, medido na banda de 0.1-0.8 nm, in $W \cdot m^{-2}$. Baseado nessa medida, porém outras medidas físicas são também consideradas.

** Outras frequências podem também ser afetadas por essas condições.