

D. PEDRO II E A DETERMINAÇÃO DE ESTABELEECER A DISTÂNCIA TERRA-SOL

SCIENTIFIC AMERICAN

ANO 2 - Nº 23
ABRIL DE 2004
WWW.SCIAM.COM.BR

R\$ 8,90
PORTUGAL
€ 3,80

tt
Duetto

Brasil

COMO O **CÉREBRO**
SE ALTERA PARA
GARANTIR O
PRAZER DAS DROGAS

A TECNOLOGIA
PASSIVA QUE DEVE
CONSTRUIR A
CASA DO FUTURO

DIÁLOGO DE
BACTÉRIAS
DESVENDA
MECANISMOS DAS
INFEÇÕES

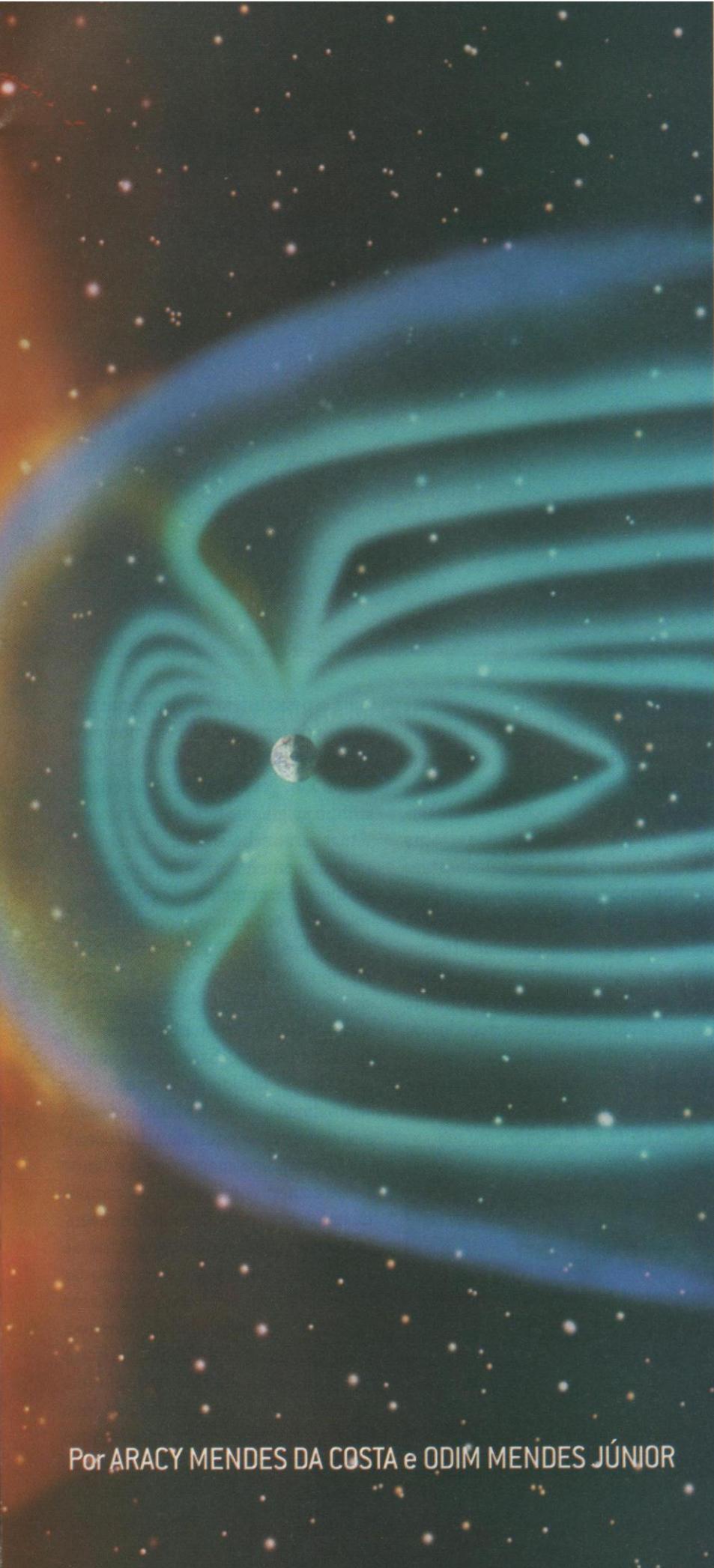
CRIMINALIDADE
EM QUEDA NOS
ESTADOS UNIDOS
PODE AJUDAR NA
PREVENÇÃO NO BRASIL



Anomalia Magnética

pouco conhecida afeta a
costa sudeste do Brasil





EXPLOSÕES NA SUPERFÍCIE DO SOL INTENSIFICAM O VENTO SOLAR, PRODUZEM TEMPESTADES MAGNÉTICAS NA TERRA, CRIAM AS AURORAS POLARES E AMPLIAM OS EFEITOS SOBRE A REGIÃO COSTEIRA SUDESTE

O SOL, UMA FORNALHA QUE ESTÁ continuamente sintetizando hélio a partir do hidrogênio, é nossa única fonte abundante e praticamente inesgotável de energia. Na forma de luz, calor, além de radiações e partículas, o Sol é a fonte da vida na Terra. Mas o Sol que normalmente se apresenta calmo pode tornar-se violento, irado mesmo, com acessos de humor capazes de provocar danos à vida, além de comprometer equipamentos e a habitabilidade do espaço. A Terra com sua atmosfera e campo magnético nos protege, até certo ponto, desses acessos de violência solar. Como entender esse cenário, ao mesmo tempo idílico e assustador? Que relação há entre esse Sol e uma vulnerabilidade à penetração de partículas e produção de radiação sobre uma região que se encontra praticamente sobre o território brasileiro: a Anomalia Magnética do Atlântico Sul? A seguir, vamos discutir, resumidamente, os diversos cenários que criam essa relação.

O Sol passa por máximos e mínimos de atividade em períodos de aproximadamente 11 anos. Devido a essa atividade, vários processos internos da própria matéria ionizada do Sol aprisionada pelos campos heliomagnéticos formam regiões de alta instabilidade que eventualmente se comportam

Por ARACY MENDES DA COSTA e ODIM MENDES JÚNIOR

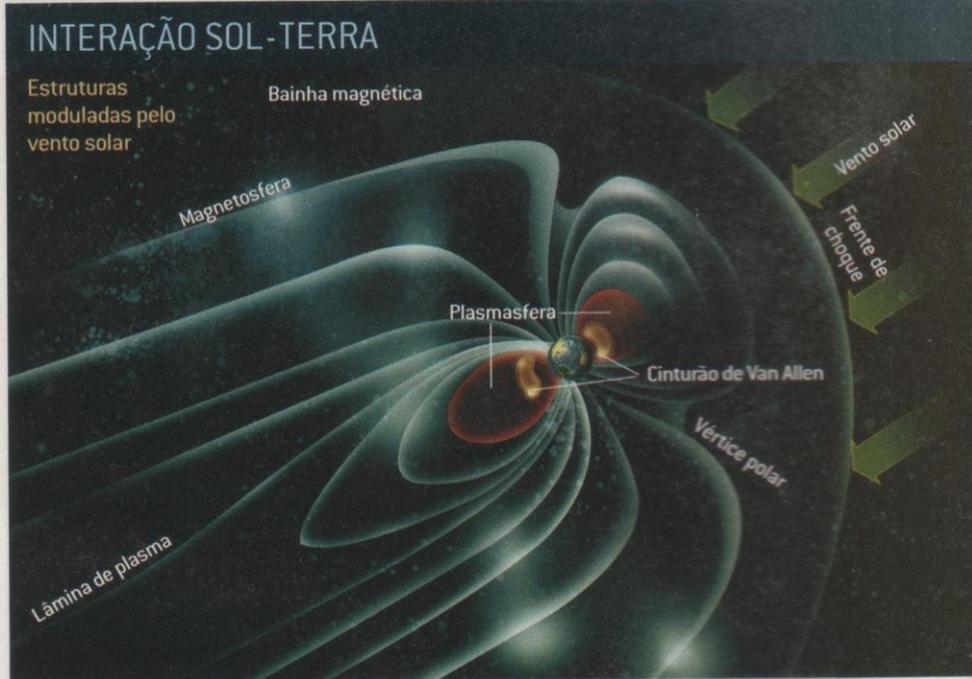
SPL-STOCK PHOTOS

como explosões equivalentes à de milhares de bombas atômicas, cujos resíduos são expelidos para o espaço na forma de plasma (matéria ionizada, macroscopicamente neutra e de comportamento coletivo) extremamente quente, rápido e que sob certas condições pode ser devastador, o vento solar.

As partículas do vento solar deslocam-se arrastando o campo magnético do meio interplanetário (CMI) a velocidades supersônicas de 200 a 800 km/s e chegam a ultrapassar as fronteiras do Sistema Solar. Esse plasma tênue, próximo à Terra, contém apenas cerca de seis partículas por centímetro cúbico. Apesar da velocidade, na Terra o vento solar não teria força para empurrar uma folha de papel. Mas no espaço chega a deslocar satélites de suas órbitas. Ele também é responsável por efeitos surpreendentes como a produção de auroras polares, a ocorrência de tempestades magnéticas e a definição das fronteiras da atmosfera terrestre.

Intensificado durante as erupções solares, esse vento solar pode produzir perturbações magnéticas na Terra e no espaço próximo, região que atualmente é conhecida como o ambiente espacial.

Numa primeira aproximação, a Terra pode ser considerada como uma esfera em cujo centro se encontra um dipolo magnético — como um ímã em barra, com que as crianças costumam brincar.



A configuração desse campo magnético lembra o formato de uma borboleta com as asas abertas. Quem primeiro chamou a atenção para essa característica do campo magnético foi Gilbert, na sua obra *De Magnete* de 1600. O domínio desse conhecimento forneceu bases seguras para o sucesso das grandes navegações globais do século 16 que fizeram as glórias de Portugal.

Quanto à sua origem, exatamente como os enrolamentos carregados da bobina de um dínamo geram um campo magnético quando em movimento,

uma espessa esfera eletricamente condutora de ferro e níquel em movimento no interior da Terra, entre 2.900 a 4.700 km, gera correntes que criam o campo magnético terrestre dominante. Atualmente sabe-se que a Terra não é perfeitamente esférica e que o centro do dipolo magnético está deslocado em relação ao seu centro geográfico cerca de 527 km na direção noroeste do Pacífico, com o eixo do dipolo inclinado de aproximadamente 11,3° em relação ao eixo de rotação do planeta (um dipolo excêntrico). Esse campo atinge cerca de 60 mil km pelo espaço fora (aproximadamente 10 raios terrestres – 1 raio terrestre equivale a 6.378 km).

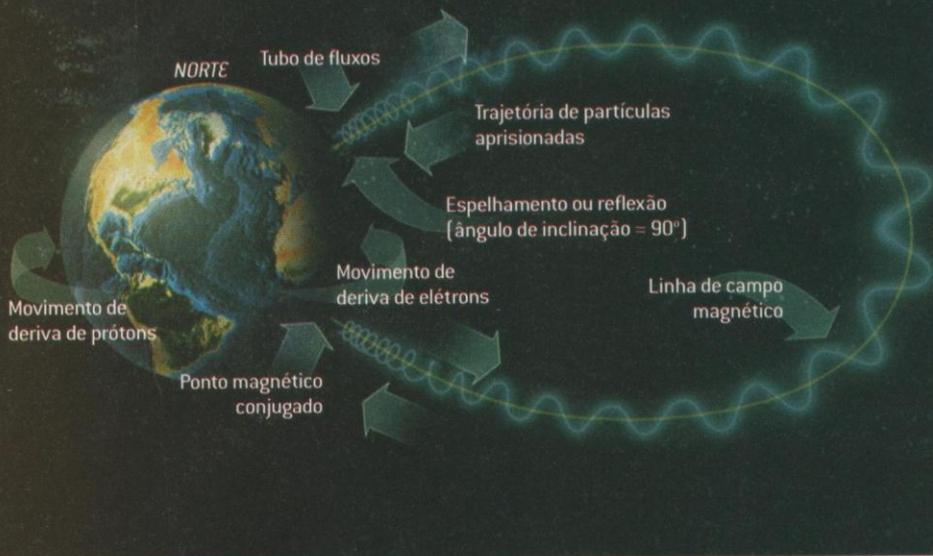
O campo geomagnético resultante desse campo dominante e de campos de fontes externas varia constantemente de lugar para lugar, em escalas de tempo que vão de segundos a décadas e milhares de anos. Na superfície, a sua intensidade é da ordem de 0,5 oersted, cerca de 20 vezes menos intenso que o campo magnético gerado por um ímã de geladeira – a unidade oersted é uma homenagem ao físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851),

Resumo/Tempestades Magnéticas e a AMAS

- O Sol, a estrela mais próxima da Terra e a fonte de energia do planeta tem ciclos de explosão médio de 11 anos. Nesses períodos, mais que em intervalos de certa calma, as explosões liberam uma chuva de radiação sob a forma de plasma, o vento solar. Essa emissão provoca auroras polares e intensifica a radiação em uma área sobre o litoral sudeste do Brasil, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul.
- Descoberta ao final dos anos 50, a anomalia forma uma estrutura ovalada caracterizada por uma diminuição nos valores do campo magnético terrestre, com mínimo a 700 km da costa.
- A AMAS, sigla para Anomalia Magnética do Atlântico Sul, ainda é pouco conhecida do ponto de vista científico e seus efeitos no ambiente são praticamente ignorados.
- Tempestades magnéticas disparadas por explosões solares têm sido associadas a aumentos de casos envolvendo perturbações psíquicas e problemas cardíacos. Essas tempestades também podem acionar equipamentos como portões elétricos e outros sistemas de forma aleatória.

COMPORTAMENTO DAS PARTÍCULAS

Movimentos incluem vai-e-vem, giros em torno de linhas magnéticas e derivas



O VENTO SOLAR DEFORMA A MAGNETOSFERA COMPRIMENDO-A NA PARTE ANTERIOR VOLTADA PARA O SOL E ALONGANDO-A NA REGIÃO OPOSTA, DA MESMA FORMA COMO OCORRE COM COMETAS

descobridor da ação magnética de uma corrente elétrica. Essas mudanças podem afetar as atividades humanas, a saúde, a segurança e o ambiente.

Bloqueio Magnético

AS PARTÍCULAS DO VENTO SOLAR que se deslocam através do CMI não podem penetrar livremente nos domínios do campo magnético da Terra. A interação dessas partículas com o campo geomagnético forma uma região eletrodinâmica ativa, uma frente de choque, em torno da qual essas partículas são defletidas como a água ao encontro da quilha de um navio. O vento solar deforma a magnetosfera, comprimindo-a na parte anterior voltada para o Sol e alongando-a na parte oposta, da mesma forma como ocorre com os cometas. A cavidade formada por esse processo é chamada de magnetosfera e funciona como uma blindagem impedindo que partículas energéticas eletricamente carregadas atinjam a Terra di-

retamente. Mas essa blindagem apresenta brechas, como na região de linhas magnéticas abertas em torno dos pólos magnéticos e em regiões de ruptura eletrodinâmica na parte frontal da magnetosfera, nas partes turbulentas de seus contornos e na cauda magnetosférica. Dessa forma, algumas partículas conseguem penetrar na magnetosfera e podem afetar seletivamente várias camadas da atmosfera neutra e ionizada e, eventualmente, chegar até o solo.

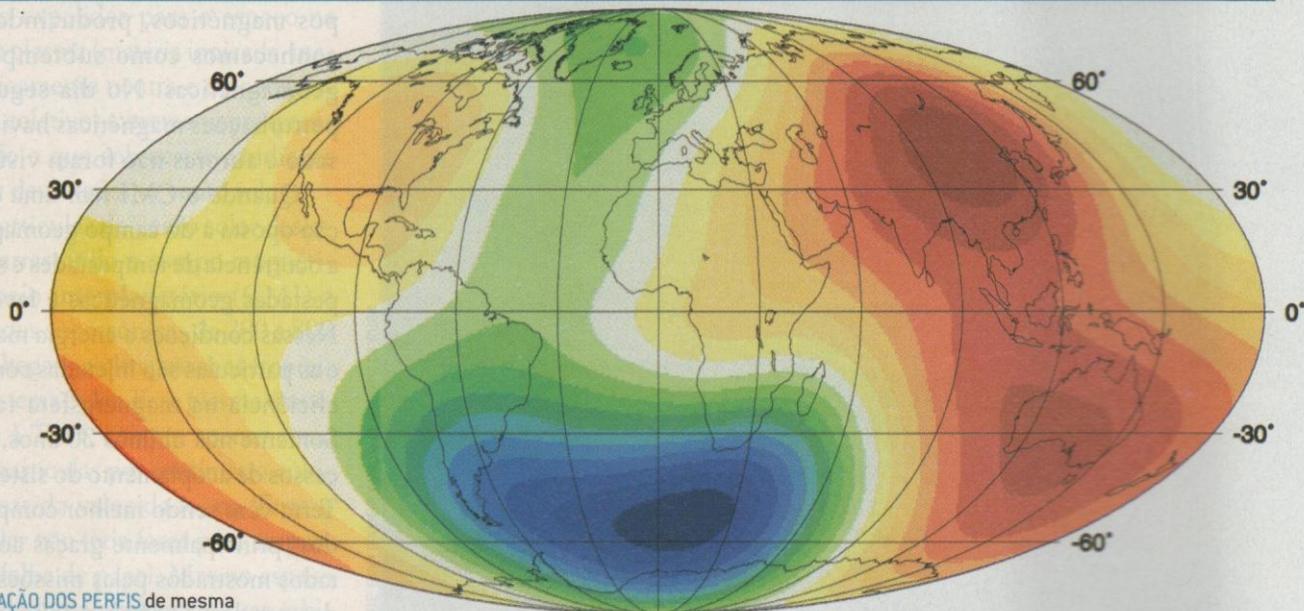
Por um período de mais de um ano (maio de 1806 a junho de 1807), o Barão Alexander von Humboldt observou sistematicamente, em sua própria casa em Berlim, a direção indicada pela agulha de uma bússola. Em 21 de dezembro de 1806, ele descobriu casualmente que essa direção apresentava variações. Foi ele o primeiro a fazer o registro de uma tempestade magnética intensa. Na mesma noite ele observou brilhos aurorais no céu, associados à deposição de partículas na atmosfera da

região polar. Essas partículas geram correntes elétricas que induzem campos magnéticos, produzindo o que conhecemos como subtempestades geomagnéticas. No dia seguinte as perturbações magnéticas haviam cessado e auroras não foram vistas.

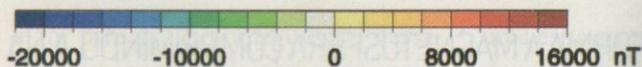
Quando o CMI tem uma orientação oposta à do campo geomagnético, a ocorrência de tempestades e subtempestades geomagnéticas é favorecida. Nessas condições a energia magnética e as partículas são injetadas com maior eficiência na magnetosfera terrestre. Somente nos últimos 30 anos, os processos de acoplamento do sistema Sol-Terra vêm sendo melhor compreendidos, principalmente graças aos resultados mostrados pelas missões solares das sondas *Yohkoh* e *Ulysses*. Essa

ARTE: ERIKA ONDERKA A PARTIR DE ORIGINAIS DO AUTOR

A TERRA SOB BOMBARDEIO DO SOL

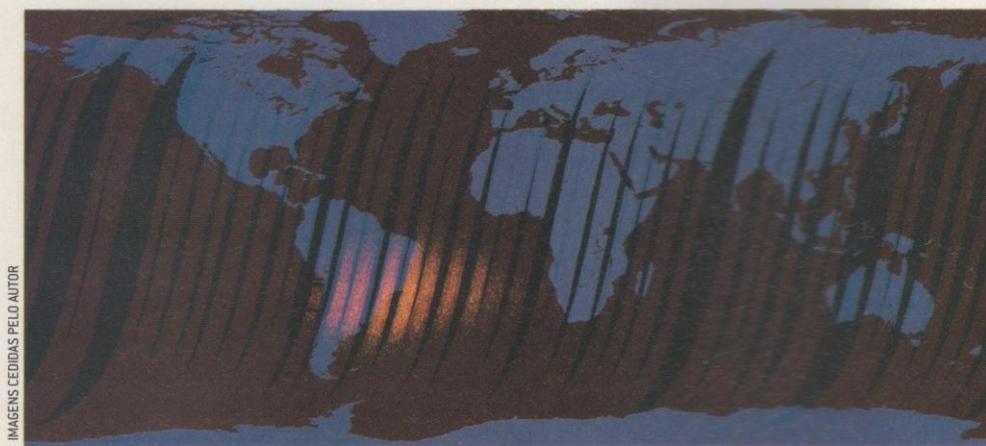


CONFIGURAÇÃO DOS PERFIS de mesma intensidade de campo varia com altitude. A menor altitude ela é visível sobre o sudeste brasileiro. Na arte a formação representada a 1000 km está deslocada para o sul da África.



tende de cerca de 400 km até 12 mil km acima da superfície terrestre, e outro externo, cuja fonte são as partículas energéticas solares e as reações da atmosfera com os raios cósmicos galácticos, que vai de 12 mil até cerca de 60 mil km. Raios cósmicos são íons positivos rápidos, provenientes de todas as direções do espaço, provavelmente preenchendo toda a Galáxia, e que bombardeiam a Terra constantemente. Embora o número seja pequeno, a energia de cada partícula é bastante alta, de modo que quando esses íons colidem com núcleos de gases atmosféricos, os fragmentos se distribuem em diferentes direções. Como essas partículas são eletricamente carregadas, como elétrons ou íons, uma boa parte fatalmente acabará aprisionada pelas linhas de campo magnético terrestre.

Superpondo-se aos cinturões de radiação, existe uma corrente elétrica anelar que circunda a Terra no plano equatorial entre quatro e oito raios terrestres. O movimento das partículas



IMAGENS CEDIADAS PELO AUTOR

IMAGEM DE SATÉLITE da Nasa de fevereiro de 2000 mostra AMAS exatamente sobre a costa brasileira

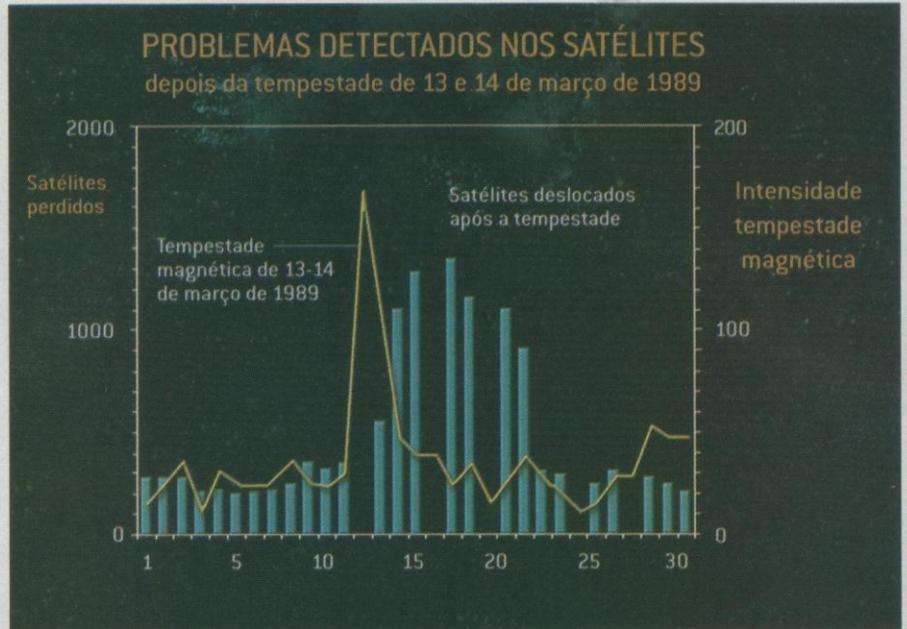
aprisionadas pelas linhas invisíveis do campo geomagnético faz com que as partículas se desloquem de acordo com suas cargas: prótons para oeste e elétrons para leste, gerando uma corrente elétrica. É este o mecanismo responsável pelas tempestades geomagnéticas. Durante tempestades, a intensidade da corrente anelar pode chegar a 1 milhão de ampères, demorando de três a 12 horas para atingir seu valor máximo, o

que corresponde a uma redução do campo geomagnético a um valor mínimo. Em seguida, os fluxos de partículas vão sendo reduzidos por meio de vários processos de perdas, fazendo com que essa corrente retorne aos seus níveis normais após dois ou três dias. Em tempestades intensas, esse período de perturbação geomagnética pode demorar até um mês.

Entre as várias camadas que com-

põem a atmosfera, a ionosfera é onde estão elétrons livres em quantidade suficiente para produzir um efeito apreciável na propagação de ondas eletromagnéticas na faixa de rádio. Situada aproximadamente entre 40 e 1 mil km de altitude, essa ionização é produzida e modulada pela atividade solar, com características que variam temporal e localmente. A maior parte dessa ionização é produzida pela radiação ultravioleta, por raios X e por radiação corpuscular do Sol. Uma pequena contribuição provém dos raios cósmicos galácticos.

Os sinais de rádio de frequências mais baixas são refletidos pelas camadas inferiores da ionosfera e retornam



DE FORMA PARECIDA COM A REGIÃO DAS AURORAS, AS PARTÍCULAS ELETRICAMENTE CARREGADAS PENETRAM COM MAIS FACILIDADE NA ÁREA DA ANOMALIA, ATINGINDO CAMADAS MAIS PROFUNDAS

à Terra, enquanto as frequências mais altas conseguem atravessá-las. Isso faz com que as primeiras sejam úteis na comunicação de longas distâncias e as últimas na transmissão de sinais de estações no solo até satélites em órbita da Terra e vice-versa. Estas ondas, no entanto, ao atravessarem camadas com densidades eletrônicas elevadas, sofrem atrasos na fase e no tempo de propagação. Isso pode levar, por exemplo, a uma determinação imprecisa do posicionamento por satélites, que nos últimos anos vêm sendo muito utilizado em navegação marítima e aérea, como no caso dos sinais transmitidos pelos satélites GPS (sistema americano), Glonass (sistema russo) e futuramente pelo sistema europeu, Galileo.

Nas regiões polares, prótons e elétrons, com energias maiores que a energia dissipada por um relâmpago (20 milhões de ampères a 50.000 volts) são canalizados para a base da ionosfera auroral, fazendo com que os gases da atmosfera brilhem como lâmpadas de iluminação pública. Essa in-

teração produz uma cortina ondulante de luzes no céu, as auroras. Durante tempestades mais intensas auroras podem ser observadas em latitudes menores como o sul da Califórnia, no Norte e até a cidade de Buenos Aires, no Hemisfério Sul. Há uma outra região em latitudes mais baixas no Hemisfério Sul que se comporta como uma pseudo região auroral. Essa região tem se revelado de grande importância neste cenário eletrodinâmico, cujos processos físicos são afetados pelos humores do Sol, com uma série de conseqüências na atmosfera a serem desvendadas.

Anomalia Magnética

QUANDO FOI DESCOBERTA, NO FINAL da década de 1950, seu perfil deli-

neava-se principalmente sobre o Atlântico Sul, por isso foi denominada Anomalia Magnética do Atlântico Sul (AMAS). É uma região de forma ovalada que se caracteriza por uma diminuição nos valores do campo magnético terrestre. O valor mínimo situa-se atualmente sobre o Sudeste brasileiro, a cerca de 700 km da costa. As linhas geomagnéticas dessa região podem ser vistas ilustrativamente como uma superfície de borracha deformada pela ação de uma esfera pesada sobre ela. Essa depressão no campo magnético é causada pela excentricidade do dipolo magnético da Terra. Assim, de forma semelhante à região auroral, as partículas eletricamente carregadas penetram com mais facilidade na região da

OS AUTORES

ARACY MENDES DA COSTA, doutora em ciência espacial/radioastronomia e física solar pelo INPE em 1989, tem trabalhado com propagação de sinais de rádio na baixa ionosfera, conteúdo eletrônico e da ionosfera e plasmasfera e tempestades geomagnéticas em baixas latitudes e na Anomalia Magnética do Atlântico Sul. ODIM MENDES JR. é doutor em ciências espaciais pelo Inpe [1992]. Atualmente desenvolve pesquisas na área de eletrodinâmica planetária, envolvendo atividades de pesquisas sobre o acoplamento Sol-Terra, a Anomalia Magnética do Atlântico Sul e descargas elétricas atmosféricas em atmosferas planetárias.