

espacial



ISSN 0103 - 0795

ANO XVIII - Nº 75

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - OUTUBRO DE 1989

***PREVISÃO DO TEMPO
TERÁ SUPERCOMPUTADOR***

Complexidade e simplicidade da tecnologia espacial

Pouco a pouco a sociedade brasileira começa a reconhecer a importância da tecnologia espacial para o País, que pode e tem beneficiado diversos segmentos sociais e econômicos, e até mesmo auxiliar no salvamento de vidas humanas. Toda a parafernália sofisticada dos satélites e artefatos espaciais, pode hoje ser aceita e até compreendida pelos menos esclarecidos — um pequeno lavrador, nos interiores brasileiros, pode ter em sua propriedade um microcomputador que lhe transmite, diariamente, imagens de satélites meteorológicos, dando conta da situação presente do tempo e do clima, o que é importante para sua lavoura. Ou, ainda, pode receber estas informações através de uma máquina de fac-símile.

Esta questão da previsão do tempo e do clima, vai ficar ainda mais complexa e sofisticada, mas os quebra-cabeças a serem desvendados pelos meteorologistas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) durante os próximos anos, vão simplificar a vida de muitos brasileiros a partir do início da década que se aproxima. A matéria nesta edição sobre a implantação efetiva do CPTEC, a aquisição de um supercomputador e como tudo vai funcionar, mostra bem como não é nada fácil entender a dinâmica

do tempo e clima, e traz a mensagem de alento de que o Brasil, através de seus meteorologistas, vai logo poder entender com mais precisão o que ocorre acima do solo deste enorme território. E vão sair ganhando a agricultura, os transportes, a indústria — em suma, direta ou indiretamente, ganha todo mundo.

A tecnologia espacial, no Brasil, começa também a ter uma função mais premente — a busca e salvamento de pessoas acidentadas em aviões ou embarcações marítimas. A estação rastreadora dos satélites do sistema internacional Cospas-Sarsat entrou em ação durante o acidente ocorrido com um Boeing da Varig em Mato Grosso, no início de setembro, e conseguiu determinar com boa precisão o local onde o avião caiu. A estação, instalada no INPE em Cachoeira Paulista, ainda não é operacional, mas já provou que vai funcionar. A matéria nesta edição comprova.

No campo das Ciências Espaciais, um interessante artigo neste "Espacial" mostra as relações entre o transporte de partículas ejetadas por erupções vulcânicas e a ocorrência do inverno nuclear, que seria decorrente de uma guerra nuclear. Um estudo cuja importância ninguém vai querer conferir na prática.

Os especialistas brasileiros que estão trabalhando no desenvolvimento do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS) estão confiantes de que em setembro de 1993, conforme reza o atual cronograma, um foguete chinês da série Longa Marcha estará lançando da base de Shanxi, na República Popular da China, o primeiro dos dois satélites que integram o programa. A fase de especificações do CBERS e seus subsistemas, foi definida entre meados de setembro e início de novembro, quando quatro grupos de especialistas do INPE estiveram na China em períodos alternados. Durante cerca de 45 dias, a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST), responsável pelo lado chinês do programa CBERS, recebeu 27 brasileiros que constituem os grupos de Gerenciamento de Engenharia de Sistemas (9 pessoas), de Subsistemas de Planejamento e Controle (12), e de Negociação de Subcontratos (6).

Durante sua permanência na China, os especialistas do INPE e seus parceiros chineses, elaboraram e aprovaram uma série de documentos para o congelamento das especificações do satélite e seus subsistemas. Após esta fase do programa, poderá ser iniciada a fabricação dos modelos de engenharia do CBERS. Os chineses e brasileiros realizaram, ainda, a reunião semestral de gerenciamento do projeto.

A conclusão desta chamada "fase C" do programa sino-brasileiro também irá

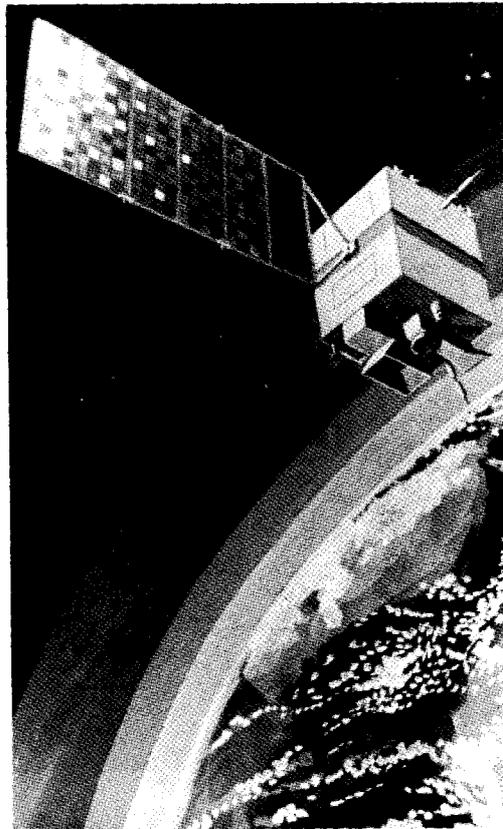
INPE iniciará contratações na indústria nacional para satélite sino-brasileiro

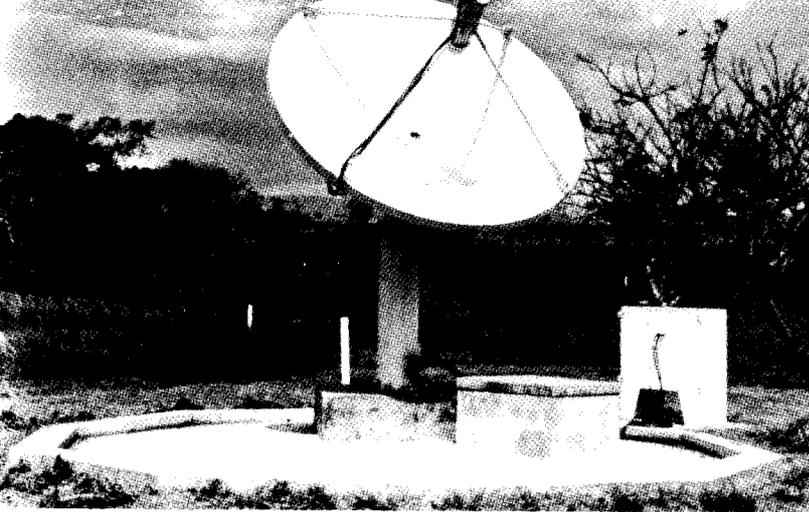
□ Fabíola de Oliveira

permitir que o INPE inicie o processo de contratações na indústria nacional, para fabricação de diversos equipamentos para o satélite. Estes equipamentos e componentes poderão ser buscados nas indústrias aeronáutica (estruturas com ligas leves e materiais compostos), de telecomunicações (transponders), de eletrônica embarcada (maior confiabilidade), e de computadores. As características fundamentais dessas indústrias são o alto grau de confiabilidade, especialização e tecnologia, imprescindíveis no desenvolvimento de artefatos espaciais como o satélite sino-brasileiros

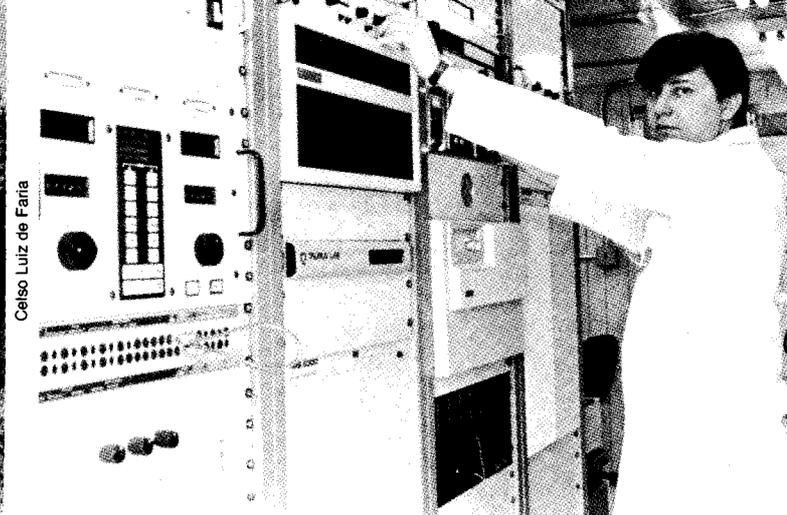
Concepção artística do satélite sino-brasileiro em sua órbita a 778 km de altitude.

□ Desenho de Idelfonso de Oliveira Filho





Vista interna da estação de processamento dos dados Cospas Sarsat, em Cachoeira Paulista



Antena de recepção dos satélites Cospas-Sarsat instalada em Cachoeira Paulista

Salvamento por satélites entrará em fase operacional

■ Pedro Orlando

Termina neste mês a fase experimental da Estação Rastreadora de Satélites (LUT), que faz parte do Sistema Internacional de Busca e Salvamento por Satélite (Cospas-Sarsat), e está instalada no INPE, em Cachoeira Paulista (SP). Ela foi doada pelo governo canadense em 1987 e opera em fase de testes desde abril do ano passado, tornando-se nacionalmente conhecida após auxiliar na localização do Boeing 737-200 da Varig, que fez um pouso de emergência no Mato Grosso, no último dia 3 de setembro.

A Comissão Brasileira de Atividades Espaciais (Cobae) deve definir brevemente a regulamentação do funcionamento do sistema no Brasil, que hoje já reúne 17 países em todo o mundo. Esta regulamentação pode criar legislação que obrigue todas as aeronaves e embarcações do país a levarem no seu interior um equipamento conhecido como Emergency Location Transmitter (ELT), ou beacon, que emite sinais de rádio ao ser acionado, manual ou automaticamente, quando o avião ou navio que o conduz sofrer um acidente.

Estes sinais são transmitidos a um dos satélites — americanos e soviéticos — que

integram o Sistema Cospas-Sarsat. O sistema inclui satélites que orbitam a altitudes de 800 a mil quilômetros, captando emissões em três frequências de onda, 243, 406 e 121,5 megahertz. A cada duas horas em média, cada ponto do globo terrestre é coberto por um desses satélites. São necessárias pelo menos duas passagens de satélite para a exata determinação do local em que os sinais estão sendo emitidos. O local é calculado através da variação da frequência dos sinais em função da velocidade relativa entre a fonte emissora e a fonte receptora. Este tipo de tecnologia permite a localização de aviões ou navios acidentados com uma precisão de aproximadamente 5 quilômetros.

Sistema internacional

O Sarsat foi criado pelos Estados Unidos e Canadá em 1976. Aderiram depois ao sistema a França, em 1977, e a União Soviética, com o Cospas, em 1980. Em julho do ano passado, o Conselho Cospas-Sarsat, que se reúne periodicamente para avaliar o sistema, aprovou um acordo internacional determinando que o uso dos satélites rastreadores por outros países é livre e gratuito.

Centenas de vidas já foram salvas pelos satélites de busca e salvamento. Os acidentes em que a ação dos satélites têm sido mais importante ocorrem no mar. Estima-se que cerca de um milhão de pessoas trabalham ou passeiam no mar, em todo o mundo, seja nos 25 mil barcos com capacidade de 100 ou mais toneladas, seja nas 15 mil plataformas de perfuração e exploração de petróleo.

A Estação Rastreadora de Cachoeira Paulista é toda automatizada. Ela funciona 24 horas por dia, todos os dias da semana, e é operada por cinco técnicos que trabalham em sistema de revezamento, chefiados pelo engenheiro Gonzalo Del Carlo Valenzuela. O responsável pela instalação da estação no Brasil, também representante do INPE no Conselho Cospas-Sarsat, é o engenheiro José Borges Escada Júnior, que gerencia o segmento solo da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB). Durante esses meses de experiência, foram feitos diversos testes para demonstrar e avaliar o funcionamento do sistema no Brasil. Com base nos resultados obtidos, a Cobae poderá tomar uma decisão sobre a continuidade do serviço no País, de forma operacional.

Acidente com Boeing comprovou eficiência da estação instalada no INPE

O acidente com o Boeing 737-200 da Varig, quando fazia o voo 254 entre Marabá e Belém (PA), na noite do dia 3 de Setembro, um domingo, foi o primeiro grande teste da Estação Cospas-Sarsat que o INPE opera em Cachoeira Paulista (SP). Foi a primeira vez que a base (única no gênero em toda a América Latina) foi usada em uma operação de salvamento.

A primeira passagem de satélite que determinou o sinal do "beacon" do avião ocorreu às 2h45m da madrugada de segunda-feira, seis horas após o pouso de emergência no município de São José do Xingu, no Mato Grosso. O local onde o piloto foi obrigado a pousar, na Fazenda Curunaré, a 750 quilômetros ao sul de Belém, está

numa rota oposta à original. A segunda passagem do satélite que também detetou o sinal ocorreu às 9h45m de segunda-feira. Devido à presença de sinais espúrios na frequência de 121,5 MHz, foi feita uma "limpeza" através de procedimentos padronizados internacionalmente. Estes procedimentos foram concluídos às 14h40m da segunda, quando as coordenadas do local do acidente foram informadas ao Salvaero.

A localização do acidente em um prazo menor só teria sido possível se a aeronave transportasse um transmissor que emitisse sinais na frequência de 406 MHz, cujo uso não é ainda regulamentado no Brasil.

O avião decolou de Marabá em direção a Belém e os sinais vinham de um rumo quase oposto à capital do Pará. Por esse

motivo, os engenheiros do INPE tiveram de eliminar todas as possibilidades e filtrar todas as informações para oficializar os dados sobre a localização do avião.

Depois de transmitidas as informações, dois aviões da FAB foram para a direção indicada enquanto as buscas continuavam na posição da rota original. Na terça-feira, até as 9 horas, 14 passagens dos satélites haviam confirmado o ponto onde caiu o avião. Após um passageiro conseguir entrar em contato através de um radioamador de uma fazenda próxima ao local do acidente, a FAB intensificou as buscas, encontrando o avião acidentado às 16h25. Ele estava a cerca de três quilômetros das coordenadas calculadas pelo INPE. (P.O.)

INPE terá supercomputador para previsão do tempo

■ Carmen Deia

Após trabalharem durante um ano e meio nas especificações para um computador científico adequado às necessidades do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), os técnicos do projeto entram agora em contagem regressiva para que este equipamento importado esteja funcionando em Cachoeira Paulista dentro de 18 meses.

Em 07 de agosto, o INPE publicou no Diário Oficial da União edital de concorrência pública internacional para aquisição de um supercomputador capaz de realizar de 200 a 300 milhões de operações por segundo, e que irá marcar uma nova era nas previsões meteorológicas no País. Com a operação desta máquina, o Brasil passará a processar informações meteorológicas de todo o planeta, coisa que hoje seria impossível devido ao grande número de dados, capazes de saturar qualquer computador de menor porte.

"No Brasil não existe nada parecido com este supercomputador, que tem velocidade efetiva semelhante ao da máquina utilizada atualmente pelo Centro Europeu de Previsão do Tempo", afirma Benício Pereira de Carvalho, técnico que integra a Comissão Especial de Licitação do Sistema de Computação do CPTEC.

Em 30 de outubro foram abertas as propostas de três empresas concorrentes para fornecimento do sistema computacional: a Cray Research Inc., dos Estados Unidos; IBM do Brasil Ltda; e a NEC Corporation do Japão. Numa segunda reunião a ser marcada em novembro serão abertas propostas técnicas e comerciais, incluindo ofertas de financiamento para aquisição do sistema.

A expectativa é que até o início de 1990, já esteja assinado contrato de compra entre o

INPE e o fornecedor escolhido. A partir da data de vigência do contrato, o fornecedor terá prazo para entrega da máquina. Serão necessários outros 30 dias para instalação do equipamento, que em seguida passa por testes de aceitação para iniciar operação definitiva, possivelmente no segundo semestre de 1991.

Para definir as características do equipamento, alguns integrantes do Grupo de Trabalho de Especificações do Sistema de Computação do CPTEC realizaram diversas visitas e estágios no Centro Europeu de Previsão do Tempo (ECMWF), na Inglaterra; Centro Nacional de Meteorologia, nos Estados Unidos; e na Agência Meteorológica do Japão, a fim de conhecer os equipamentos utilizados nos mais modernos centros de previsão do mundo.

Adaptação de sistemas

Através de um contrato de cooperação com o Centro Europeu firmado em 88, o INPE vem utilizando uma adaptação do software "Magics", para geração de cartas meteorológicas. Por este acordo, coube ao INPE transferir para microcomputador o sistema de visualização de dados meteorológicos do supercomputador usado pelo ECMWF, e desenvolver uma interface de fácil entendimento pelo usuário.

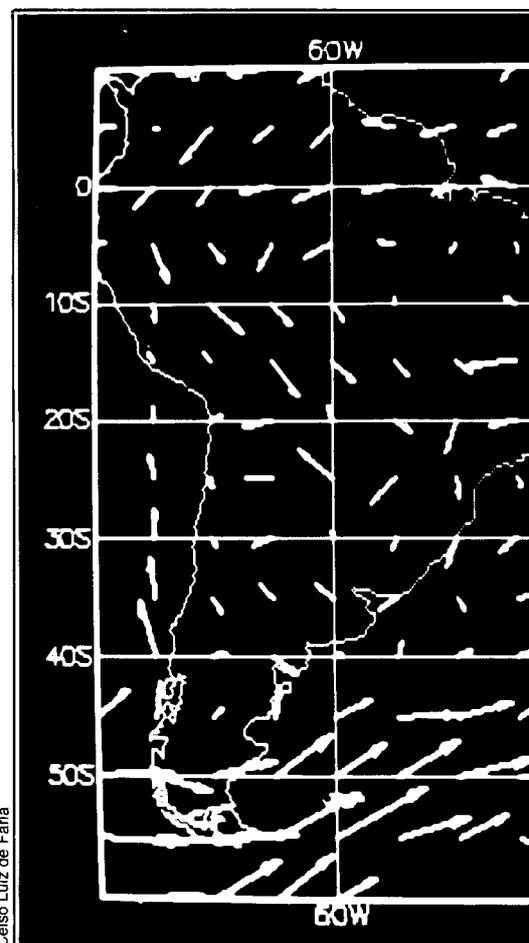
A nova versão denominada Micro-Magics já está sendo testada pelo CPTEC, seguindo padrões gráficos meteorológicos adotados internacionalmente. O emprego deste software tem permitido o treinamento de especialistas para operação do modelo integral, quando o supercomputador estiver instalado em Cachoeira Paulista. A primeira versão do software já foi aceita pelo ECMWF e vem sendo utilizado em diversos países membros da Comunidade Euro-

Máquina simula movimento da atmosfera com 200 milhões de operações/segundo

Ao contrário do que o nome parece sugerir, supercomputador nem sempre é grande fisicamente. O que conta mesmo é sua capacidade de realizar operações complexas no menor tempo possível.

No caso do CPTEC, por exemplo, ele deverá executar de 200 a 300 milhões de operações matemáticas por segundo, per-

mitindo mapear todo o globo terrestre registrando sete variáveis meteorológicas básicas (pressão, geopotencial, temperatura, os três componentes do vento e umidade), em 19 altitudes diferentes. "O comportamento da atmosfera é simulado por equações, e o seu estado representado por uma imensa malha, que tem em cada ponto os valores correspondentes das variáveis me-



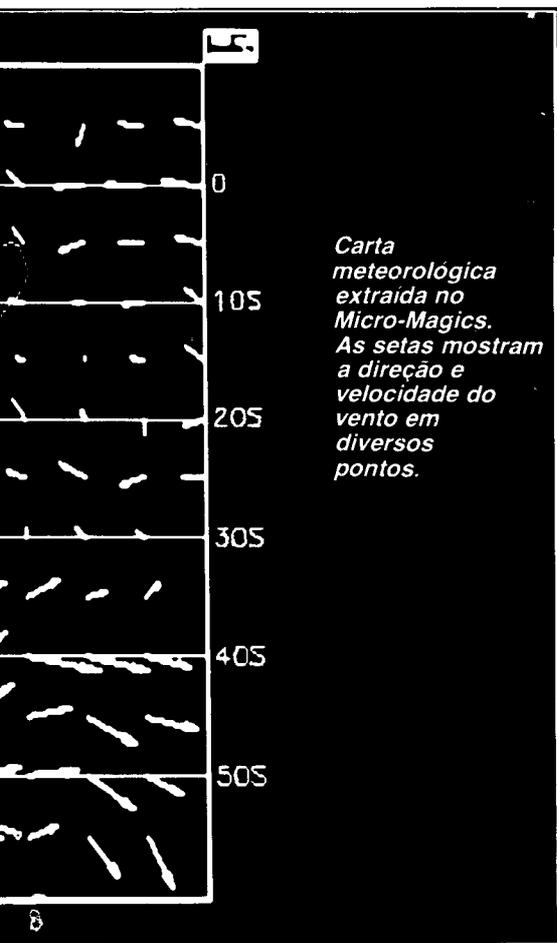
Celso Luiz de Faria

eteorológicas. Para que essa simulação se processe mais rapidamente do que evolui a atmosfera, é necessário o uso de computadores ultra-velozes", explica Benício Carvalho, do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

Para obter os números que indicam a situação e a previsão do tempo, o supercomputador é alimentado continuamente com milhões de informações (40 MBytes/dia) enviadas pelo Sistema de Telecomunicações Global — rede mundial de informações meteorológicas interligadas por computadores operados pelos serviços meteorológicos de cada país que integra o sistema. Além dos dados deste sistema, o CPTEC irá contar também com dados coletados pelo Centro de Aplicação de Satélites Ambientais (CSA) que o INPE também está instalando em Cachoeira Paulista.

Os dados recebidos passam por uma etapa de pré-processamento e são armazenados em dois sistemas idênticos de arquivo, que operam no padrão exigido pela Organização Meteorológica Mundial. Operações rápidas e contínuas elaboram um quadro completo de informações vitais para a análise e previsão do tempo. Esses resultados pré-processados são imediata e integralmente arquivados e distribuídos aos usuários através de produtos meteorológicos (gráficos, mapas, cartas).

Esses produtos serão em seguida analisados por técnicos do CPTEC e usuários setoriais em 41 estações de trabalho (computadores com vídeo de alta definição e velocidade bem maior que a de microcomputador) e ainda em 36 micros. Os usuários ▶



Centro deverá entrar em operação efetiva em 1991

Em 1987, o governo federal aprovou a implantação no Brasil de três centros especializados, incumbidos de promover a integração entre pesquisa e operação meteorológica no País. Enquanto o setor de pesquisa mantém um nível equivalente ao de países avançados, a área de previsão numérica do tempo padece de um atraso da ordem de 30 anos.

Na área de operação, um dos organismos criados foi o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), que está em fase de estruturação, providenciando a tramitação necessária para importar um supercomputador capaz de simular os movimentos da atmosfera, e assim poder executar previsões de tempo bastante confiáveis (veja box).

A aquisição deste computador científico irá permitir que o CPTEC inicie suas atividades no estágio de desenvolvimento já alcançado pelos melhores centros de previsão numérica existentes, colocando o País em condições semelhantes às do Japão, Estados Unidos e da Europa neste setor. A implantação efetiva deste Centro também irá possibilitar que o Brasil assumira responsabilidades provenientes de acordos internacionais, fornecendo previsões para diver-

sos fins, não só para o território nacional e América do Sul, como também para boa parte do continente africano, Europa Ocidental, metade da América do Norte e Pacífico Oriental.

Em 1991, quando se planeja sua plena operação em Cachoeira Paulista, o CPTEC contará com um quadro de 150 funcionários, sendo cerca de 40 meteorologistas de todos os níveis; 40 analistas e programadores; e pessoal técnico e administrativo, incluindo operadores do sistema de computação. Para efetivar a implantação, o INPE está cumprindo um programa de especialização no exterior, junto aos centros mais modernos de meteorologia, tais como o Centro Europeu de Previsão do Tempo, Centro Nacional de Meteorologia dos Estados Unidos e do Japão.

O treinamento de pessoal no exterior tem sido feito através de bolsas de estudo para especialistas da área de Meteorologia, dentro do Programa de Formação de Recursos Humanos para Áreas Estratégicas, da Secretaria Especial da Ciência e Tecnologia, em vigor desde 88. O Programa destina 15 bolsas de doutoramento e 31 estágios no exterior, especificamente para aprimorar pessoal em interpretação de produtos de previsão numérica e em interpretação de imagens de satélites. (C.D.)

► setoriais do CPTEC são o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Vôo (DEPV) e Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), que também são os órgãos regionais encarregados de fornecer os serviços de previsão do tempo aos setores específicos.

Através de cálculos científicos realizados pelo supercomputador, o CPTEC irá fornecer a previsão do tempo três vezes ao dia — uma válida para todo o globo para até 8 dias — e outra previsão limitada, para a região da América do Sul, por exemplo, com validade para até 72 horas. (C.D.)

Análise de carta sinótica para monitoramento do tempo



Caetano Luiz de Faria

Sol ou chuva: a difícil arte de prever o tempo

Os meteorologistas de todo o mundo têm diariamente uma missão nada fácil: vigiar o comportamento da atmosfera do planeta. Absolutamente inconstante e sujeita a inúmeras variações de pressão, umidade, ventos, formação de nuvens e outros fatores, é quase um desafio querer antecipar a evolução do tempo, mesmo numa escala pequena.

Pelas características de dinâmica da atmosfera, a dificuldade de previsão do tempo aumenta nas regiões tropicais. Segundo Prakkī Satyamurti, meteorologista do CPTEC, isso se deve à própria rotação e inclinação da Terra, além da uniformidade na incidência de raios solares na região equatorial, que geram complexidades adicionais na dinâmica nessa área.

Os gases que compõem a atmosfera têm seus estados e dinâmica governados pe-
espacial

los princípios físicos como qualquer outro fluido. Além dessa mistura, a atmosfera também tem água em qualquer de suas fases. Segundo Satyamurti, são as mudanças de estado físico da água que produzem grande parte dos fenômenos do tempo, principalmente nas regiões tropicais. Quando a água passa do estado gasoso para o líquido, formam-se as nuvens, neblina, nevoeiros e até os fenômenos ópticos como arco-íris e coroados ao redor do Sol e da Lua, cita o meteorologista como exemplo.

De satélites às medidas em superfície

Mesmo com toda a complexidade da atmosfera, os meteorologistas não se cansam de buscar novos meios de entender seus fenômenos através de satélites, radares e estações de coleta de dados espalhadas pela superfície terrestre, além de sondas lançadas todos os dias para detectar como estão se portando os componentes da atmosfera

num determinado período, e assim poder se traçar um perfil do que poderá acontecer nas próximas horas e até mesmo dias.

Há 50 anos, a previsão do tempo baseava-se no conhecimento histórico da atmosfera em determinado local. Durante as duas grandes guerras mundiais, aumentou a necessidade de conhecer as condições meteorológicas com maior antecedência para garantir o sucesso de ataques aéreos e batalhas estratégicas. Nessa época surgiram os balões e instrumentos de bordo para aviões, e mais tarde os computadores. Com esse último recurso foi possível confirmar uma teoria da década de 20, de que o comportamento da atmosfera pode ser descrito por equações matemáticas. Nascia assim a Previsão Numérica do Tempo (PNT), que obtém valores numéricos de variáveis atmosféricas em pontos definidos para o tempo futuro. ►

► Para realmente conseguir prever o tempo é fundamental ter acesso a um grande número de observações do estado da atmosfera tanto na superfície como na vertical, em altitudes de até 30 quilômetros. Entretanto, a disponibilidade real de informações está muito abaixo das necessidades, até porque grande parte da superfície terrestre está coberta por oceanos ou por áreas remotas de difícil acesso.

Celso Luiz de Faria

Mescla de informações

Os satélites meteorológicos permitem uma cobertura mais ampla das condições do tempo, mas essas informações também precisam ser complementadas. Para isso, os países que coletam e processam as informações meteorológicas fazem um intercâmbio desses dados, que gradualmente ampliam o conhecimento das características da atmosfera de todo o planeta, e permitem previsões mais confiáveis.

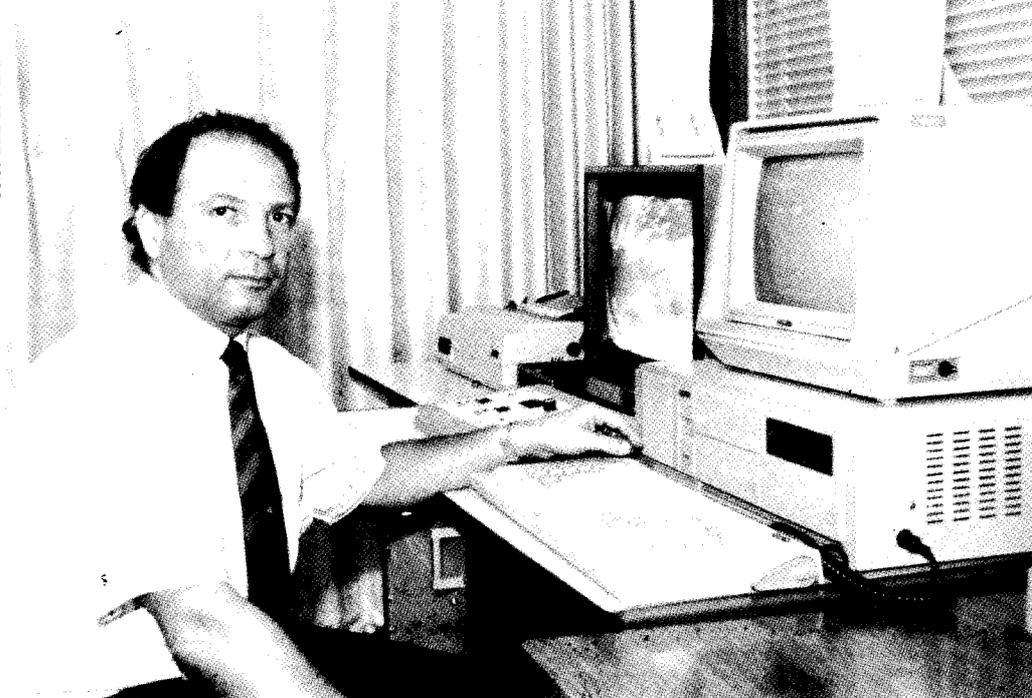
No caso específico do Brasil, e enquanto não se pode contar com a agilidade de cálculos e grande número de informações armazenadas pelo supercomputador, o Instituto Nacional de Meteorologia faz observações da superfície em cerca de 200 estações espalhadas pelo território nacional. A DEPV coleta informações do ar superior em cerca de 25 estações através de lançamento diário de balões equipados com radiossondas, apoiada por aviões de rotas comerciais, enquanto que a Marinha coleta dados da costa brasileira. Os dados meteorológicos são coletados segundo critérios estipulados pela Organização Meteorológica Mundial, e seguem todos por telex ou telefone para o Inemet, em Brasília, que por sua vez os retransmite ao INPE por computador.

Essa gama de dados é anotada em diagramas (plotada em cartas sinóticas), num trabalho que manualmente consome em média duas horas, mas que pode ser feito em apenas 10 minutos por computador. Feitos esses mapas, pode-se analisar a posição e intensidade de frentes frias, centros de alta e baixa pressão, direção do movimento do ar etc. Em seguida, esses dados alimentam computadores para definição dos parâmetros derivados como advecção de temperatura (transporte de calor pelos ventos); vorticidade (rotatividade), divergências (tendência do ar convergir ou divergir), e assim por diante.

Com auxílio de imagens animadas de satélites, a situação atual é avaliada e faz-se então a previsão do tempo qualitativamente para cada região, ou seja, define-se se há frente fria chegando, se trará chuvas, quantos graus deve baixar a temperatura, e outras características.

O INPE tem feito a previsão do tempo em caráter experimental com base nos dados disseminados pelo Inemet, somando essas informações com informações de satélites norte-americanos (GOES) e dados enviados pelos centros de meteorologia dos Estados Unidos e da Europa.

A previsão feita pelo INPE tem validade de 24 a 48 horas, com precisão de até 90%, conforme a região do País. Com a implantação definitiva do CPTEC, essa confiabilidade deverá ser superior a 60% para previsões de até 5 dias, e confiabilidade razoável para até 7 dias. (C.D.)



Gérard Szejwach com imagem do satélite Meteosat no monitor de vídeo

Meteorologia receberá imagens de satélite europeu

A partir de novembro, o Brasil passará a contar com um novo reforço para a previsão do tempo. A Organização Européia para Utilização de Satélites Meteorológicos (Eumetsat) está deslocando desde agosto o satélite goestacionário Meteosat-3 para se posicionar sobre o território brasileiro, mais precisamente sobre a ilha de Marajó, no Pará. O satélite ficará a 50° Oeste, numa altitude de 36 mil quilômetros da Terra.

O anúncio foi feito pelo diretor técnico da Eumetsat, Gérard Szejwach, durante o II Encontro de Usuários de Produtos de Satélites Ambientais, realizado em setembro pelo Centro de Aplicação de Satélites Ambientais (CSA) do INPE, em São José dos Campos.

Melhor visualização

O deslocamento do Meteosat-3 permitirá a visualização completa do território nacional, que ficará no centro da imagem, abrangendo as regiões costeiras e o Atlântico Sul. Atualmente, o Brasil só tem se servido de imagens enviadas pelo satélite norte-americano GOES-7.

Durante o verão no Hemisfério Norte, o satélite GOES-7 é posicionado em 98° para monitorar a costa leste dos Estados Unidos. Já no inverno no Hemisfério Norte, ele é deslocado a 108°

para monitorar a costa oeste. Essas mudanças de posição no espaço são necessárias para acompanhar a formação de furacões que se formam nos dois oceanos nas proximidades dos Estados Unidos.

As dificuldades para obtenção das imagens sobre o Brasil começaram em fevereiro passado, com a desativação em órbita do GOES-6. Com a "cegueira" deste satélite, os Estados Unidos deslocaram o GOES-7. Essa mudança de órbita prejudicou as previsões do tempo no Brasil, uma vez que a América do Sul ficou deformada (de lado), impedindo um monitoramento satisfatório das massas de ar frio que sobem do pólo Sul.

Os dados enviados pelo Meteosat-3 já estão sendo recebidos em caráter experimental pela estação do INPE de Cachoeira Paulista desde setembro. O INPE possui a antena de recepção do Meteosat desde o início do ano, que agora está sendo reposicionada para 50° Oeste para captar os sinais na nova órbita.

A faixa espectral do satélite europeu é a mesma do GOES-7 no infravermelho termal e um pouco maior no canal visível. Isto significa que a imagem a ser fornecida diariamente pelo Meteosat terá a mesma qualidade daquela enviada pelo GOES-7, só que com um enquadramento melhor da América do Sul. (C.D.)

Estudo de transporte de partículas busca compreender efeitos climáticos de um inverno nuclear

■ Barclay Robert Clemesha
e Dale Martin Simonich(*)

Nos últimos cinco anos têm surgido muito interesse nos possíveis efeitos decorrentes de uma guerra nuclear sobre o clima da Terra. No entanto, a melhoria recente do clima político entre leste e oeste tem diminuído os receios de tal ocorrência, mas, ainda assim, o assunto do "inverno nuclear" continua a chamar bastante atenção.

O estudo dos possíveis efeitos sobre o clima de uma guerra nuclear é de especial interesse aos habitantes do hemisfério sul, uma vez que esta parte do planeta provavelmente escaparia dos efeitos imediatos de um conflito geral entre leste e oeste. Ainda assim, não se sabe até que ponto os efeitos climáticos de uma guerra nuclear resultariam em mudanças indesejáveis no clima ao sul da Terra.

A detonação de um grande número de bombas nucleares causaria incêndios, resultando na injeção de volumosas quantidades de gases e partículas na atmosfera. Uma parte desta injeção entraria na estratosfera a alturas em torno de 20 quilômetros onde seu tempo de

vida seria muito grande, de tal maneira que seus efeitos sobre o equilíbrio radioativo da Terra poderiam influenciar o clima.

Radar de laser

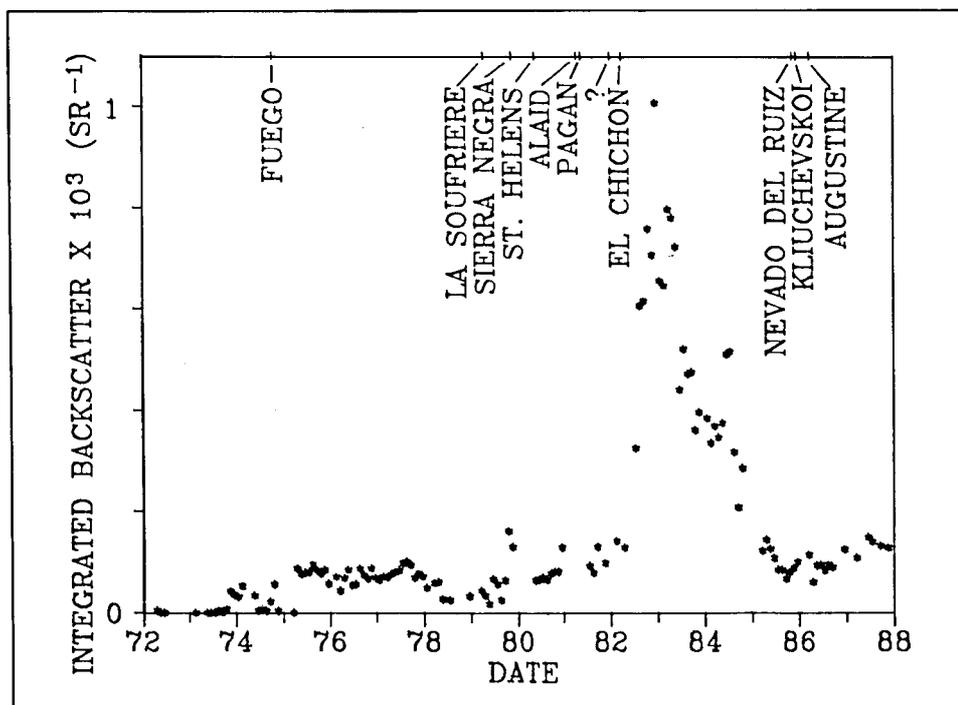
Os efeitos de um inverno nuclear sobre o clima do hemisfério sul dependeriam do grau de transporte inter-hemisférico do material injetado na estratosfera. É possível fazer estimativas deste transporte através de modelos de circulação atmosférica global, mas também existem meios de investigá-lo experimentalmente. Ocasionalmente uma grande erupção vulcânica chega a injetar gases e partículas na estratosfera. Um dos gases injetados é dióxido de enxofre (SO_2), rapidamente convertido na atmosfera em gotas minúsculas de ácido sulfúrico com diâmetros em torno de um milésimo de um milímetro (1 μm). A presença destas partículas, ou aerossóis, pode ser detectada por várias técnicas, entre as quais uma das mais convenientes é o radar de laser.

O INPE opera um radar de laser desde 1970, e possui um dos mais com-

pletos conjuntos de dados sobre espalhamento estratosférico existentes. Em 1982 aconteceu uma grande erupção do vulcão El Chichón, no México. Estima-se que esta erupção injetou algo da ordem de 10 milhões de toneladas de gases na estratosfera. Os deslocamentos globais das partículas produzidas por estes gases foram rastreados por radares de laser, satélites e experimentos em balões e aviões. Desta maneira foi possível determinar como e com que velocidade os aerossóis foram transportados para outras partes do globo.

No hemisfério sul, os pesquisadores que estudam o assunto procuram respostas para três perguntas principais: 1) quanto tempo demora para que os aerossóis cheguem até aqui; 2) qual a fração do material injetado na estratosfera que chega às latitudes do sul; e 3) quanto tempo permanecem os aerossóis na estratosfera? As medidas feitas pelo radar de laser do INPE dão respostas imediatas às perguntas 1 e 3. Na figura 1, pode-se observar a variação do efeito óptico dos aerossóis medido em São José dos Campos (SP) entre 1972 e 1988. O parâmetro plotado nesta figura — o retroespalhamento integrado — é aproximadamente proporcional ao conteúdo total de partículas na estratosfera. A erupção do El Chichón aconteceu em abril de 1982 e os primeiros efeitos foram observados pelo radar de laser, em São José dos Campos, no mês de julho, indicando um atraso da ordem de 3 meses no transporte de 17°N, a latitude da erupção, até 23°S, a latitude de SJCampos. O efeito máximo da erupção, no entanto, só foi sentido nesta latitude sul no final do ano, com um atraso de 9 meses.

Fig. 1 Retroespalhamento estratosférico integrado; proporcional ao conteúdo estratosférico de aerossóis.



espacial

Comportamento dos aerossóis

O transporte inter-hemisférico na estratosfera é resultado de uma célula de circulação meridional conhecida como a célula tropical Hadley. A célula tropical Hadley desloca-se mais para o norte ou mais para o sul de acordo com a estação do ano. Como resultado deste deslocamento o transporte do hemisfério norte para o hemisfério sul é rápido entre abril e julho, e mais lento no fim do ano. A erupção do vulcão Fuego

► (15°N) fornece um bom exemplo, desta diferença. A erupção do Fuego aconteceu em outubro de 1974, mas os aerossóis somente chegaram aqui em abril do ano seguinte, com um atraso de quase 6 meses.

A demora no transporte de aerossóis estratosféricos do hemisfério norte para o hemisfério sul depende não somente da época do ano, mas também da latitude da injeção. A célula tropical Hadley se estende a 30°N no máximo. As injeções de material na estratosfera que acontecem em latitudes maiores têm um efeito muito menor no hemisfério sul. Um exemplo disto foi a erupção do vulcão Saint Helens, no norte dos EUA, em 1980. Essa erupção, que teve um efeito muito grande no hemisfério norte, quase não foi sentida no sul.

Com referência ao tempo de permanência do material na estratosfera, novamente o radar de laser fornece informações valiosas.

Na figura 2 aparecem os resultados para a erupção do El Chichón com mais detalhes. Nesta figura mostram-se, numa escala logarítmica, as variações do retroespalhamento integrado medido por radar de laser em SJCampos e em Garmisch-Partenkirchen (48°N), na Alemanha Ocidental. Pode-se ver que há pouca diferença entre as duas localidades. O tempo de permanência, definido como o tempo para cair por um fator de 1/e, é da ordem de 1 ano em ambos os casos. Outras observações confirmam que este prazo é praticamente independente da localidade.

Possíveis efeitos

É mais difícil determinar qual a fração do material injetado que chega ao hemisfério sul, mas pode-se fazer uma estimativa aproximada deste parâmetro. Considerando que a erupção do vulcão El Chichón demorou em torno de 9 meses até ter seu efeito máximo no hemisfério sul, e que o prazo de permanência dos aerossóis na atmosfera é da ordem de 1 ano, estima-se que algo em torno de 30% do material teria chegado ao hemisfério sul. É im-

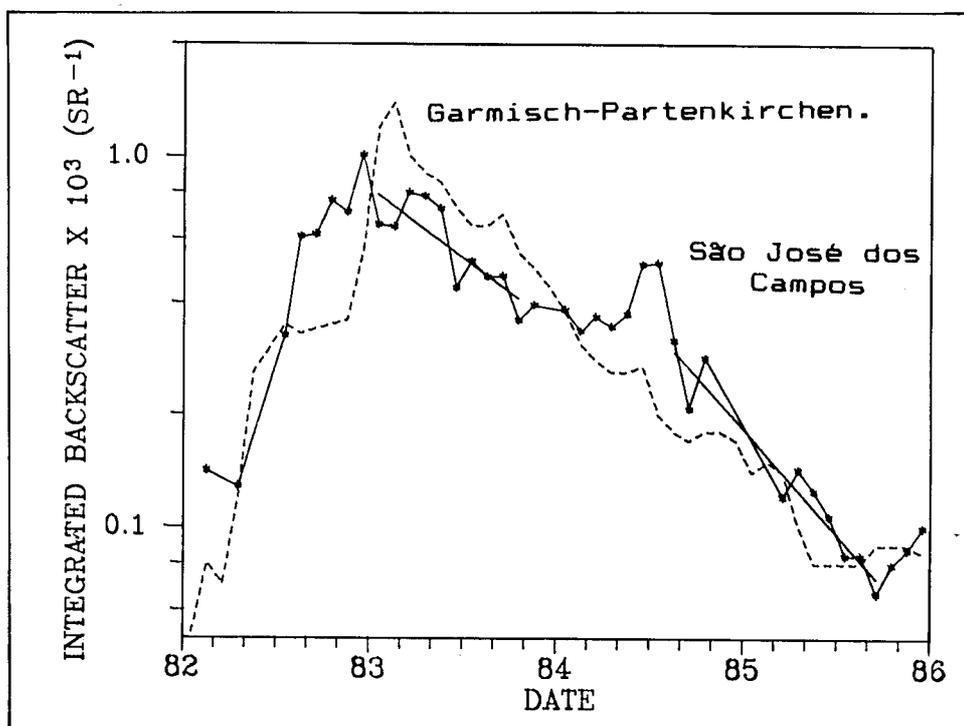


Fig. 2 Decaimento dos aerossóis do El Chichón observado em São José dos Campos e em Garmisch-Partenkirchen.

portante observar que esta fração é válida somente para injeções acontecendo em baixas latitudes. Para injeções em latitudes mais altas, como a de St. Helens, por exemplo, a fração seria bem menor.

O mais difícil de determinar é o efeito sobre o clima. As erupções vulcânicas dos últimos 25 anos, aproximadamente o período durante o qual passou a existir a capacidade técnica de monitorar seus efeitos atmosféricos, foram pequenas demais para terem efeitos óbvios sobre o clima. Foi estimado, porém, que a erupção do El Chichón causou uma variação de temperatura da ordem de 1°C na estratosfera, e 0.1°C na superfície da Terra. As quantidades de aerossóis estratosféricos que resultariam de uma guerra nuclear, e suas conseqüências climáticas, certamente seriam bem maiores, mas uma avaliação destas conseqüências é uma tarefa bastante complexa, e foge dos propósitos deste artigo.

A conclusão dos estudos do tipo aqui descrito é que o hemisfério sul não

estaria livre dos efeitos climáticos de um conflito nuclear no hemisfério norte, mas o grau de importância deste efeito dependeria da época do conflito e da distribuição em latitude das grandes queimadas resultantes. Finalmente, deve-se mencionar que numa análise mais completa, teriam de ser levados em conta os efeitos das explosões nucleares sobre a própria circulação atmosférica. Um estudo experimental que, certamente, ninguém quer ter a oportunidade de fazer. ●

Observação: Os dados do radar de laser do INPE apresentados neste artigo fazem parte de um trabalho a ser publicado no *Journal of Geophysical Research*. Outras informações sobre efeitos climáticos de uma guerra nuclear estão contidos no artigo "Inverno nuclear. E o Brasil?", por Lício da Silva, publicado em *Ciência Hoje*, abril de 1987.

(*) Pesquisadores do Departamento de Aeronomia do INPE.



Presidente da República:
José Sarney
Secretário Especial da Ciência e Tecnologia: Décio Leal de Zagottis

Instituto de Pesquisas Espaciais

Diretor Geral: Marcio Nogueira Barbosa. **Vice-Diretor-Geral de Pesquisa, Desenvolvimento e Operações:** Múcio Roberto Dias. **Vice-Diretor-Geral de Administração:** Adail Carlos Pereira. **Diretores:** Clóvis Solano Pereira (Engenharia e Tecnologia Espacial), Luiz Gylvan Meira Filho (Meteorologia), Roberto Pereira da Cunha (Sensoriamento Remoto), Volker Kirchoff (Ciências Espaciais e Atmosféricas). **Chefe de Gabinete:** Paulo Roberto Martins Serra.

espacial

Publicação do Instituto de Pesquisas Espaciais — INPE

ANO XVIII/ N° 75/ OUTUBRO DE 1989

Editora: Fabíola de Oliveira (MTb 11402/SJPESP 6292). **Redatores:** Carmen Deia M. Barbosa (MTb 15557/SJPESP 8917) e Pedro Orlando B. Abib (MTb 18226/SJPESP 7354). **Fotografia:** Celso Luiz de Faria. **Arte-Final:** Carlos Alberto Vieira e José Domínguez Sanz. **Diagramação:** Hugo Nozaki. **Composição e Fitolitos:** JAC Editora Ltda. — SJC/SP. **Impressão:** Gráfica do INPE.

Correspondência: Caixa Postal 515 — CEP 12.201 — São José dos Campos — SP — Brasil. Tel. (0123) 22-9977 — Telex (123) 3530 — Fax (0124) 21-8743.

Srs. Editores: No caso de aproveitamento de matérias publicadas no "Espacial", solicitamos seja dado o devido crédito a este jornal.

CAPA: Carta com previsão meteorológica para a América do Sul no nível de pressão de 500 hPa (hectoPascal). A carta foi gerada por computador e visualizada através do Micro-Magics.

As linhas cheias e tracejadas delimitam faixas de altura naquele nível de pressão. As setas indicam velocidade e direção dos ventos. As cores identificam variáveis como faixas de temperatura e de altura.

FOTO: Celso Luiz de Farias