

## Inclusão de Dados ATOVS no Sistema de Assimilação de Dados GPSAS do CPTEC

Rosângela Saher Corrêa Cintra<sup>1</sup>  
Wagner Flauber de Lima<sup>1</sup>  
Elizabeth Silvestre Espinoza<sup>1</sup>  
Haroldo Fraga de Campos Velho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Previsão de Tempo e estudos Climáticos – CPTEC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Rod. Presidente Dutra, Km. 40 – Cachoeira Paulista – SP, Brasil.  
rcintra@cptec.inpe.br  
wagner@cptec.inpe.br  
elizabet@cptec.inpe.br

<sup>2</sup> Laboratório de Computação e Matemática Aplicada - LAC  
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil.  
haroldo@lac.inpe.br

**Abstract.** Thousands of meteorological observations collected from the meteorological services around the world and satellites data are used for operating systems for Numerical Weather Prediction (NWP) employing different techniques of data assimilation. The Center for Weather Forecast and Climatic Studies of the National Institute for Space Research (CPTEC-INPE) is implementing the global analysis system called PSAS (Physical-space Statistical Analysis System) (GPSAS) to generate initial conditions for its global model CPTEC/COLA. The data assimilation process requests measures of the real state of the atmosphere, these measurements are the meteorological observations received from Global Telecommunications System (GTS)/National Institute of Meteorology (INMET), from satellite data, and alternatively from the National Environmental Satellite Data and Information Service (NESDIS) and from Environment Satellite Division (DSA/CPTEC), for satellite data. The analysis system gives an indispensable adjust of the model state of weather forecast in agreement with the observations, once there are not observations for all the points of the domain of the models. These observations are processed using standard codes from the World Meteorological Organization (WMO), and they are prepared in agreement with the requirements of the assimilation system. In this paper methods used for selection and adaptation of satellite observations ATOVS will be presented, as well as a general view of the its space distribution and the impact in analysis between ATOVS from GTS and from INMET/DSA.

**Palavras-chave:** data assimilation, ATOVS data satellite, numerical weather forecast, assimilação de dados, dados de satélite ATOVS, previsão numérica de tempo.

### 1. Introdução

Diariamente executam-se sistemas operacionais globais de previsão numérica de tempo como o que está sendo implantado no Centro de Previsão de Tempo e estudos Climáticos (CPTEC), utilizando mais de 500.000 itens de informação sobre a atmosfera, milhares de observações meteorológicas coletadas pelos serviços meteorológicos de tempo no mundo e dados gerados por satélites. Atualmente, preferencialmente operacional, o CPTEC executa seu sistema de previsão numérica de tempo (PNT) com condições iniciais proveniente do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP).

Observações atmosféricas, atualmente, incluem: medidas diretas (*in situ*) de variáveis atmosféricas incluindo velocidade do vento, pressão, temperatura, e umidade; observações visuais de nuvens, visibilidade e tipo de precipitação; e observações de sensores remotos (medidas indiretas) de temperatura, umidade, nuvens e vento. Considera-se que observações

diretas tendem a ser mais informativa que as observações de sensoriamento remoto, e em contrapartida esta última tem uma cobertura melhor (especialmente para a América do Sul). Esta combinação de observações provê uma extensa base de dados para obter condições iniciais e verificar modelos de PNT e para pesquisa de futuros entendimentos da atmosfera.

O advento de satélites meteorológicos trouxe meios efetivos para completar a rede convencional de observações, não só provendo observações nas regiões pobres de dados dos oceanos, como no Hemisfério Sul e estratosfera, e também uma resolução horizontal mais refinada que as observações convencionais, devido a isto é muito importante a inclusão destes dados nos sistemas de assimilação.

Em Previsão Numérica de Tempo são necessários dois componentes básicos: um estado “real” da atmosfera, definido pelas observações meteorológicas, e a necessidade de um modelo atmosférico que possa ser integrado no tempo através de um procedimento numérico. Na estimação do estado inicial, a partir de um conjunto de dados de observação incompletos no espaço-tempo utiliza-se a técnica de assimilação de dados.

O PSAS (*Physical-space Statistical Analysis System*) é um sistema de assimilação de dados com a versatilidade e capacidade de acomodar desenvolvimentos futuros na metodologia de assimilação de dados de uma maneira consistente com a teoria de estimação; foi desenvolvido pelo *Global Modelling and Assimilation Office* (GMAO)/NASA e está sendo implantado no CPTEC. O PSAS desempenha uma grande parte de seus cálculos no espaço da observação, o que resulta em ganhos computacionais, pois a dimensão do espaço de observação é uma ordem de magnitude menor que o da previsão do estado. O GPSAS é o sistema de análise para o modelo global CPTEC/COLA Cintra (2002), Cintra et al (2004).

## 2. Aquisição de Dados

A WWW (World Weather Watch) mantida pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM) em níveis: *global, regional, e nacional*, possui elementos como o Sistema de Observação Global (GOS) e o Sistema de Telecomunicação Global (GTS). O GOS provê dados de observação para agrometeorologia, meteorologia aeronáutica, e climatologia, inclusive o estudo de clima e mudança global. Todos as observações coletadas pelo GOS trafegam pelo GTS, composto de uma rede automática, para a distribuição de dados de observação. No Brasil, o órgão da OMM é o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Brasília/DF, órgão este responsável por repassar as mensagens coletadas no mundo, através do GTS. E este órgão repassa ao CPTEC os dados de observação globais, disponíveis, fazem parte da rotina operacional de aquisição de dados do CPTEC. O CPTEC recebe outros dados não distribuídos pelo GOS, nesta categoria encontram-se: dados reconstituídos de satélite (ATOVS), provenientes do *National Environmental Satellite Data and Information Service* (NESDIS), e provenientes da Divisão de Satélites Ambientais (D.S.A.) do CPTEC/INPE.

## 3. Dados de Satélites

Em 2003, a rede de Satélite de Observação Ambiental incluiu cinco satélites operacionais circumpolares e seis satélites operacionais geoestacionários e vários satélites de Pesquisa e Desenvolvimento. Os satélites Geoestacionários, a cerca de 36 000 Km de altitude, tem órbitas à velocidade da rotação da Terra, (por isso permanecem sempre sobre o mesmo ponto) e os circumpolares, a 800-900 Km de altitude, descrevem órbitas que os levam aos Pólos Norte e Sul alternadamente. As estações terrestres recolhem e tratam os diversos dados enviados pelos satélites.

Vários satélites de órbita polar são equipados com instrumentos de sondagens que podem prover perfis verticais de temperatura e umidade em áreas livres de nuvem. Podem ser usados

satélites geoestacionários para medir velocidade de vento nos trópicos localizando nuvens e vapor de água. Técnicas de assimilação de dados estão evoluindo continuamente de forma do melhor uso desta quantidade vasta de dados de satélite. Melhorias em modelagem numérica, em particular, tornaram possível desenvolver métodos sofisticados de derivar a temperatura e informação de umidade diretamente das radiâncias (brilhos) de satélite.

### **3.1 ATOVS (Advanced TOVS) - sondagens de temperatura que são recuperadas das radiâncias medidas pelos satélites de órbita polar.**

Radiômetros de infravermelho e microondas a bordo de satélites de órbita polar NOAA (Administração Nacional do Oceano e da Atmosfera/EUA), são usados para observar radiâncias em 29 canais espectrais. Os dados de radiâncias são convertidos para perfis de temperatura usando um procedimento de recuperação baseado em física, estes dados reconstituídos ou “*retrievals*” são conhecidos como ATOVS (Advanced TOVS). A cobertura global é alcançada por cada satélite a cada 12 horas. A precisão das temperaturas médias entre os níveis mandatários está em torno de 2 K, mas varia consideravelmente com altitude, localização geográfica, e situação sinótica. Erros nos dados reconstituídos (*retrievals*) são correlacionados horizontalmente. Atlas (1997).

O satélite **T**iros **O**perational **V**ertical **S**ounder é atualmente um conjunto de três instrumentos completamente separados medindo radiação do topo da atmosfera: HIRS-3 (*High Resolutions InfraRed Sounder*), AMSU-A e AMSU-B (*Advanced Microwave Sounding Unit*), SSU (*Stratospheric Sounding Unit*). O HIRS, com 20 bandas espectrais, é utilizado para o cálculo do perfil vertical de temperatura para as regiões sem cobertura de nuvens. O AMSU-A permite obter informações em áreas de céu encoberto, apresenta apenas quinze canais em duas frequências para temperatura e AMSU-B, mais cinco canais para umidade ([www.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c3/sec3.htm](http://www.ncdc.noaa.gov/docs/klm/html/c3/sec3.htm)). Os dados obtidos deste satélite são: observações de radiâncias brutas; radiâncias pré-processadas (dados que tem procedimentos de calibração, ajustamento de emissividade, detecção de nuvens, detecção de precipitação, etc.) e produtos reconstituídos: perfis derivados de temperatura e umidade (geralmente dados de radiâncias pré-processadas). Os instrumentos TOVS observam radiâncias e não variáveis geofísicas. As radiâncias (HIRS) são muito sensíveis a nuvens. O problema da dado reconstituído é fundamentalmente mal-posto e requer a adição de informação “a priori” para obter a solução. Carvalho (1997)

Os dados produzidos são temperaturas e umidade em níveis de pressão, são assínóticos e com resolução horizontal de 80 km ou maior. Estes dados são muito importantes para completar a informação da atmosfera em todo o globo. A transmissão de dados ATOVS, via GTS/INMET, apresenta, na distribuição espacial global, falta de dados no quadrante (0° 90S – 0° 90W), quadrante onde está a América do Sul. Como fonte alternativa do recebimento destes dados de satélite ATOVS com a cobertura global completa, o CPTEC, através de participantes do grupo ITSC (*Internacional TOVS Studies Conference*), obteve uma fonte alternativa de recepção de dados. Através de acordo junto ao NESDIS, copiam-se os dados ATOVS do “*site*” [www.cemsc.noaa.gov](http://www.cemsc.noaa.gov). Estes dados teoricamente seriam os mesmos transmitidos para o GOS/GTS/INMET, são adquiridos no CPTEC, também pela rotina operacional de aquisição de dados, conforme figura 1.

A Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do INPE recebe radiâncias do satélite NOAA-15, NOAA-16 e NOAA-17, e utiliza o software ICI (*Inversion Coupled with Imager*) desenvolvido na MétéoFrance ([www.meteorologie.eu.org/ici/](http://www.meteorologie.eu.org/ici/)), para recuperar perfis de temperatura e umidade. Estes perfis são transformados para perfis de temperatura e razão de mistura como são recuperadas pelo software ICI, em 40 níveis, para ser codificada a exemplo

do arquivo recebido do GTS e do NESDIS, e serem incorporadas no sistema de assimilação global GPSAS, conforme figura 2.

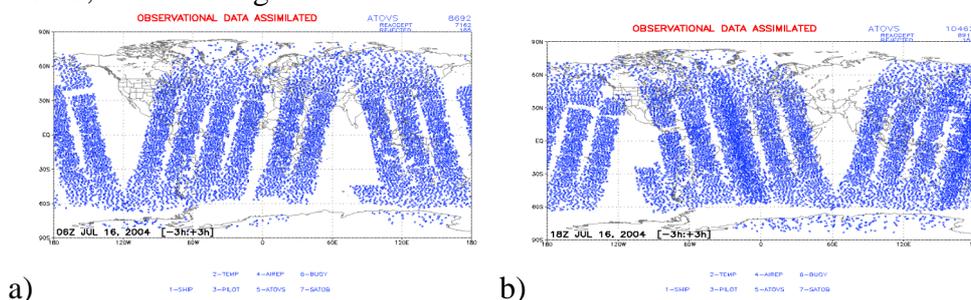


Figura 1- Dados ATOVS recebidos do NESDIS. a) 16/07/2004 06 GMT. b) 18 GMT.

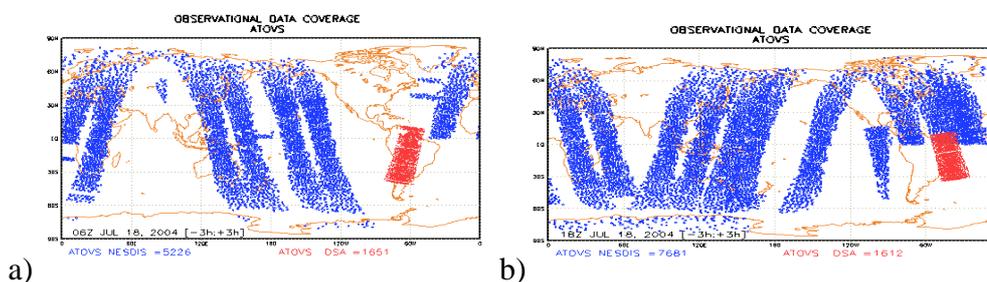


Figura 2 – Dados ATOVS recebidos do GTS/INMET e DSA. a) 18/07/2004 06GMT. b) 18 GMT.

#### 4. Método de preparação do Arquivo ODS

Para o sistema de assimilação de dados que está sendo implantado no CPTEC, o GPSAS, é necessário um conjunto de observações que disponibilizem variáveis de estado que possam compor o vetor observação para solução do problema de análise. Este conjunto de observações, que retrata a atmosfera medida num determinado momento, deve estar de acordo com os requisitos de entrada do sistema de assimilação de dados, para isto foram desenvolvidos programas-interface que preparam estas variáveis. Um novo formato de arquivo de dados de observação chamado ODS (*Observations Data Stream*) é utilizado especificamente pelo PSAS, deve ser suficientemente autodescritivo contendo todo tipo de informação adicional para caracterizar a observação. A ferramenta da autodescrição da observação é a lista de tipos de dados e fontes usadas no horário da sua criação, ou seja, cada observação possui o tipo de dado associada a sua fonte (instrumento) com os atributos que lhe acompanham. A implementação do conceito ODS foi feita em FORTRAN-90, usando a interface NetCDF para o “*Hierarchical Data Format*” (HDF), desenvolvido no “*National Center for Supercomputer Applications*” (NCSA).

O formato do arquivo ODS varia entre *pré-análise* e *pós-análise*. Um arquivo de pré-análise deveria ser produzido somente pela descompactação dos dados do sistema de pré-processamento e não conter os atributos que só podem ser providos pelo sistema de assimilação (por exemplo, a previsão de 6 horas, o valor de análise interpolado). Um arquivo pós-análise deve ser produzido pelo sistema de assimilação, tendo a mesma informação de arquivos ODS de pré-análise complementada pela informação específica de assimilação. Não obstante, um arquivo ODS pós-análise também deve ser uma contribuição válida para sistemas de assimilação de dados, que provê a mesma informação do arquivo ODS pré-análise adicionado das marcas de controle de qualidade da assimilação original. E deve possuir os atributos constantes da tabela 1.

#### 4.1 Arquivos de entrada para o GPSAS

Os arquivos de dados globais são reunidos em janelas de tempo de 6 horas, tendo a hora sinótica como hora central, o corte da recepção dos dados (cutoff) é feito com 2:30 horas depois do ultimo horário da janela de tempo, por exemplo, para reunir observações para gerar o arquivo da análise da hora sinótica 12Z, com janela de - 3 horas e + 3 horas, seria das 9:00 às 14:59 hs., o cutoff é feito às 17:30 horas, e todas as observações daquela janela de tempo que forem recebidas após este arquivamento, não entram para a análise. Existem dois programas distintos que criam arquivos ODS pré-análise, ambos partem de arquivos em formato BUFR: arquivo ODS de dados convencionais e dados de vento de satélite e arquivo ODS de dados atovs.

Nome do Atributo	Descrição	Fortran Interface	Unidades	Intervalo válido	Número de "bytes"
lat	Latitude	Real	degrees north	[-90,+90]	2
lon	Longitude	Real	degress east	[-180,+180]	2
level	Nível ou canal	Real	hPa/none		4
Julian	Dia juliano	Integer			1
time	Minutos do dia juliano	Integer	minutes	[180, 65354]	2
kt	Índice do tipo de dado	Integer		[1,255]	1
kx	Índice da fonte de dado	Integer		[1,65535]	2
ks	Índice da sondagem	Integer		[1,65535]	2
xm	Índice do metadado	Real			4
qcexcl	Flag de exclusão do controle de qualidade	Integer		[0, 255]	1
Qchist	Marca da história do controle de qualidade	Integer		[0, 65534]	2
obs	Valor da observação	Real	Depende do kt		4
omf	Observation menos previsão 6h	Real	Depende do kt		4
oma	Observação menos análise	Real	Depende do kt		4

Tabela 1 – Lista dos atributos de dados que formam o arquivo ODS.

Foi desenvolvido um programa que utiliza arquivo da rotina paralela de dados ATOVS adquiridos através do NESDIS, também agrupado em janela de 6 horas. Este arquivo, tem informações BUFR e atribuir o (*kx 33 a 56*) conforme tabela 4.1, verifica-se o perfil de acordo com o hemisfério, horário, continente, se é observação de céu claro ou com nuvens. Para cada perfil deve-se adicionar o atributo “*ks*” para identificar os pedaços de observação como sendo de determinado perfil. Estes perfis são dados reconstituídos de radiâncias de satélite, recebidos como temperatura (*T*), em graus Kelvin e razão de mistura (*r*), em gramas de vapor por gramas de ar úmido, para um determinado nível de pressão. Estas variáveis não são assimiladas no GPSAS então foram codificadas as necessárias conversões. As variáveis *T* e *r* são transformadas em espessura e em seguida em altura geopotencial, utilizando a equação hipsométrica, essa equação é uma aplicação importante da equação do balanço hidrostático. A equação hipsométrica relaciona a espessura entre duas superfícies isobáricas com a temperatura, verticalmente mediada entre esses dois níveis.

As transformações foram programadas para obter os perfis de altura geopotencial. Inicialmente obtendo os perfis de temperatura (*T*) e umidade (*r*), converte-se para *Temperatura Virtual* ( $T_v$ ) iniciando do topo (1.0 hPa) da atmosfera até 1000 hPa. A  $T_v$  é a temperatura do ar seco à mesma densidade do ar úmido, com a mesma pressão. O ar úmido é menos denso que o ar seco; portanto, a temperatura virtual é sempre maior que a temperatura real. Contudo, mesmo para ar seja muito quente e úmido, a temperatura virtual excede a temperatura real apenas por poucos graus. Calcula-se  $T_v$  utilizando a seguinte fórmula:

$$T_v = T(1 + 0.608 * r) \quad (4.1)$$

onde  $T$  e  $r$  são as variáveis informadas pelos perfis do ATOVS para um determinado nível de pressão, com  $T$  e  $T_V$  em graus K absolutos e  $r$  em (g/g). Não temos a informação de  $T_V$  para o nível de 925 hPa e este nível é requerido pelo GPSAS, então são feitas as interpolações do nível 920 hPa e 950 hPa, para obter a  $T_V$  do nível requerido. Deseja-se obter o perfil de *altura geopotencial* com o perfil de temperatura virtual calculado; a partir da superfície até ao topo da camada (ordem inversa), utiliza-se a equação hipsométrica (5.9), que descreve a relação entre a pressão e a altitude na atmosfera, e possibilita calcular a espessura de camadas atmosféricas que possuam perfil de temperatura virtual linear:

$$\ln \frac{p_{i+1}}{p_i} = - \frac{g \Delta h}{R * T_{VM}} \quad (4.2)$$

onde  $p$  é a pressão em hPa;  $g$  é a aceleração da gravidade (padrão), igual a 9,80665, de acordo com as normas da OMM;  $R^*$  é a constante dos gases para o ar seco, igual a 287,04 m<sup>2</sup> s<sup>-2</sup>K<sup>-1</sup>;  $T_{VM}$  é a temperatura virtual média da camada, igual a  $[T_V(i + 1) + T_V(i)] / 2$  em graus K; e  $\Delta h$  é a espessura da camada em metros; e  $i$  refere-se ao índice dos níveis.

A espessura é designada para cada nível superior da camada em metros geopotenciais e pode ser somada para se obter a altura geopotencial  $h_n$  para cada nível de pressão. Então,

$$h_n = \sum_i^n \Delta h_i . \quad (4.3)$$

Assim é calculada a altura geopotencial requerida pelo sistema de assimilação, faz-se o somatório do  $\Delta h_i$ , partindo do primeiro nível 950 hPa informado, até o topo do perfil 0,4 hPa, totalizando 40 níveis. Estes perfis recebem o  $kt = 23$ .

Com critérios de pré-seleção obtém-se aproximadamente de 300.000 observações de ATOVS para a assimilação. Com este método foram obtidos dados consolidados em arquivos ODS pré-análise.

## 5. Resultados e Conclusões

Com estes método e desenvolvimento para preparação dos dados observacionais apresentados, obtivemos arquivos consistentes e adequados para o inseri-los no ciclo de assimilação de dados que está sendo implantado no CPTEC. Estes arquivos são o componente observacional que propiciará ao CPTEC obter de análise própria para o centro, independência de condição inicial para o modelo e independência de dados para a de geração de suas análises. Não há como realizar assimilação de dados sem os dados, e deve ser capaz de manipular a entrada de dados para pesquisas em assimilação. Fez se uma comparação com as análises geradas com duas fontes de dados, uma proveniente do INMET juntamente com DSA e outra análise com dados proveniente do NESDIS. As figuras 3 e 5 abaixo apresentam a cobertura de dados dos arquivos ODS para análises de 06 GMT (Greenwich Mean Time) e 18 GMT, provenientes da primeira fonte (são os horários das passagens dos satélites sobre as antenas de aquisição de radiâncias do INPE).

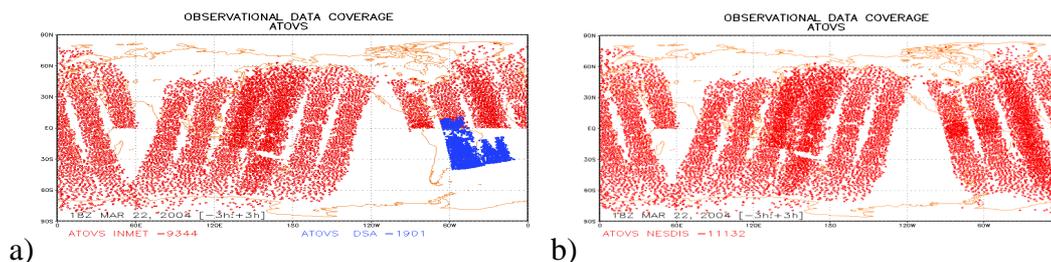


Figura 3 – Cobertura de dados ATOVS dia 22 de março de 2004, 18 GMT. A) fonte INMET e DSA e b) fonte NESDIS

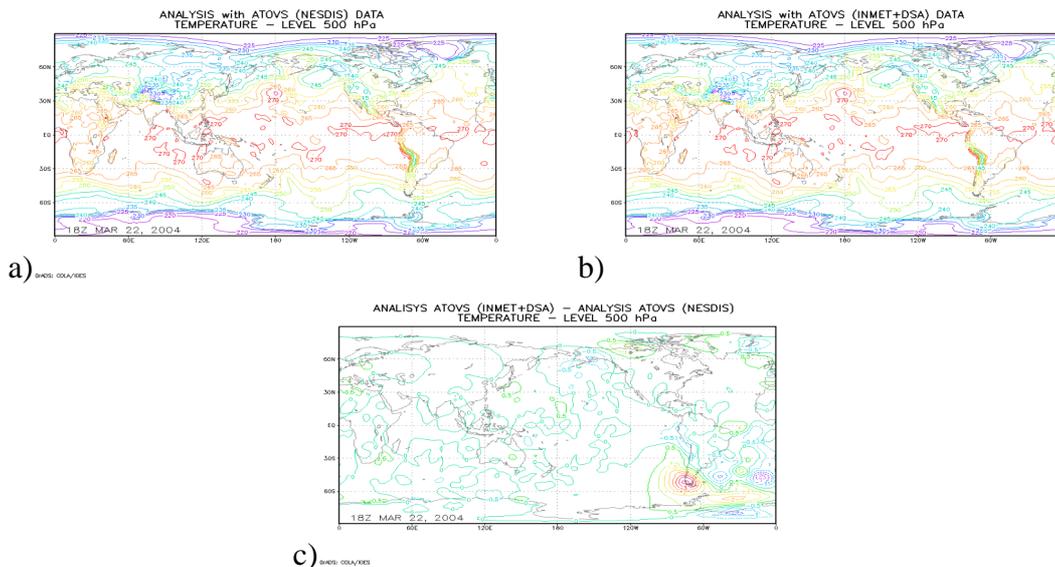


Figura 4 – Campo de temperatura ao nível de 500 hPa do dia 22/03/2004,18 GMT. a) análise com inclusão e dados ATOVS provenientes do NESDIS. b) análise com inclusão e dados ATOVS provenientes do INMET e DSA c) Campo de diferença das análises a) e b).

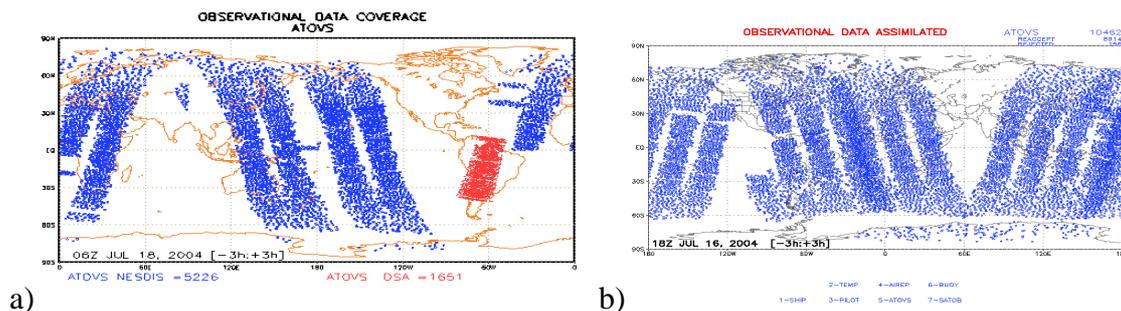


Figura 5 – Cobertura de dados ATOVS dia 22 de março 18 GMT. A) fonte INMET e DSA e b) fonte NESDIS

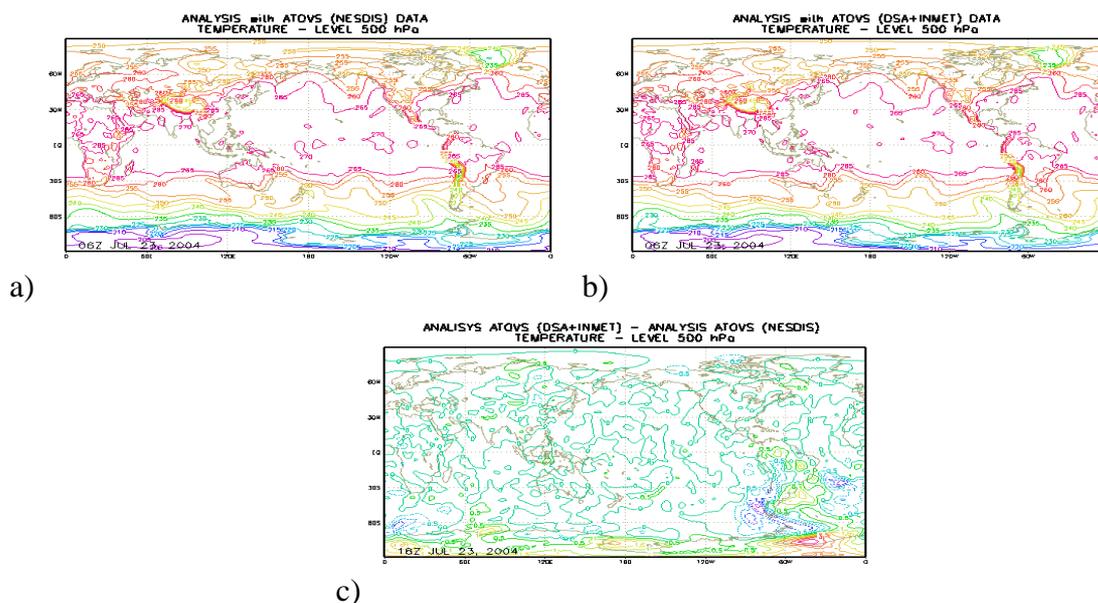


Figura 6 – Campo de temperatura ao nível de 500 hPa do dia 23/07/2004, 06 GMT. a) análise com inclusão e dados ATOVS provenientes do NESDIS. b) análise com inclusão e dados ATOVS provenientes do INMET e DSA c) Campo de diferença das análises a) e b).

## Referências

### Artigo em Revista:

Atlas, R.: Atmospheric Observations and Experiments to Assess Their Usefulness in Data Assimilation. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, 1997, v.75, no. 1B, pp.111-130.

Carvalho, J.C. Inferência de perfis verticais de temperatura, utilizando uma técnica iterativa Implícita de Inversão. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 17, n 2-3, p. 214-219, 1999.

da Silva, A.; Pfaendtner, J, Guo, J.; Sienkiewicz, M.; Cohn, S.E.; Assessing the effects of Data Selection with the DAO's Physical-space Statistical Analysis System, 1995. **Proceedings of the second international symposium on the assimilation of observations in meteorology and oceanography**, Tokyo, Japan, WMO and JMA

Joiner, J.; da Silva, A. M. Efficient methods to assimilate Satellite remotely sensed data Based on Information Content. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**. v. 124, n. 549, p. 1669-1694, July. 1998

Lorenc, A. **Analysis Methods for Numerical Weather Prediction**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 1986, v. 112, n. 474, 1177-1194.

### Livro:

Daley, R. **Atmospherics Data Analysis**, New York: Cambridge University Press, 1991.

### Tese:

Cintra, R.: **Implementação do Sistema Estatístico de Assimilação de Dados em Espaço físico para o Modelo Global do CPTEC**. São José dos Campos. Dissertação (Tese de mestrado em Computação Aplicada) – INPE, 2004.

Espinoza E.S., **Assimilação de Informação de radiancias em modelos de previsão numérica do tempo utilizando um sistema de análise objetiva estatístico em espaço físico**. São José dos Campos. Dissertação (Tese de doutorado em Meteorologia) – INPE, 2001.

### Eventos:

Cintra, R. e Aravéquia, J. A.: Apresentação do Método de Geração de Dados para Assimilação do Modelo ETA/CPTEC. **Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Brasília – DF, 1998.

Cintra, R., Bottino, M., Aravéquia, J. A., Bonatti, J. P.: Avaliação dos Campos de Pressão Ao Nível do Mar e Altura Geopotencial gerado pela Assimilação de Dados em Modelo Regional de Previsão Numérica de Tempo usando um Sistema Estatístico em Espaço Físico de Análise Objetiva. **Anais do IX Congresso Latino Americano e Ibérico de Meteorologia**. Buenos Aires, Argentina. 2001.

Cintra, R., Campos Velho, H. F. Preparação dos Dados de Observação para o Sistema de Assimilação de dados do CPTEC. **Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2004. Fortaleza - CE.

Derber, J. C. Assimilation of TOVS data at NMC. **Developments in the use of Satellite Data in Numerical Weather Prediction**. v. 1, p. 3-18, Sept. 1993. Proceedings of a Seminar held at ECMWF.