

TIPOS DE OBSERVAÇÕES E O CONTROLE DE QUALIDADE UTILIZADO NA ASSIMILAÇÃO DE DADOS NO CPTEC/INPE

**Rita Valéria Andreoli, Dirceu Luis Herdies, Rodrigo Augusto F. de Souza,
Luiz Fernando Sapucci , José Antonio Aravéquia, Sérgio Henrique S. Ferreira**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC)

Rodovia Presidente Dutra, km 39 SP-RJ, 12630-000, Cachoeira Paulista - SP, Brasil.

rita@cptec.inpe.br

A meteorologia e a prática da previsão de tempo melhoraram significativamente, sobretudo, nas últimas três décadas. Os melhoramentos ocorridos estão diretamente relacionados ao aumento significativo da habilidade de observar e modelar a atmosfera global. Como resultados desses avanços se têm alcançado um melhor entendimento de diversos processos atmosféricos e o desenvolvimento de modelos atmosféricos globais sofisticados que são utilizados tanto para fins de pesquisas como para a previsão numérica de tempo (PNT).

Atualmente, as observações atmosféricas incluem: as medidas diretas (*in situ*) e estimadas por satélites, de variáveis atmosféricas tais como, a velocidade do vento, pressão, temperatura e umidade. A combinação dessas observações proporciona uma extensiva base de dados para a inicialização e verificação dos modelos de PNT e para pesquisa da atmosférica de forma geral. No entanto, não há nenhum sistema que pode fornecer todas essas variáveis atmosféricas com a mesma cobertura espacial e temporal e com a precisão necessária. Também não há nenhum sistema de observação que fornece (no espaço e no tempo) uma distribuição uniforme destas medidas. Assim, um grande desafio na área de assimilação de dados e, conseqüentemente, na previsão numérica de tempo, é derivar esquemas de assimilação que consigam extrair o máximo de informação de cada sistema de observação, e ao mesmo tempo consigam amenizar suas limitações. É através dos sistemas de assimilação de dados e dos modelos de circulação geral atmosférica que uma descrição coerente da atmosfera será derivada a partir das informações adquiridas pelos diferentes sistemas globais de observação.

Todavia, significativas deficiências relacionadas às resoluções horizontal, vertical ou temporal, ainda persistem em relação aos subsistemas de observação global, e novos tipos de observações são continuamente propostos com a finalidade de melhorar a qualidade das análises e produtos de PNT. Neste sentido, avanços significativos têm sido alcançados, principalmente, em relação ao desenvolvimento e aperfeiçoamento de novos sensores/metodologias para recuperação de variáveis atmosféricas. Com isso tem-se uma melhor qualidade desses dados associada a uma cobertura espacial e temporal da atmosfera mais uniforme. Esse artigo faz uma breve descrição dos sistemas de observação atualmente utilizados na assimilação de dados no CPTEC/INPE, seu controle de qualidade e perspectivas futuras relacionadas à inclusão de novos sistemas observações.

SISTEMA GLOBAL DE OBSERVAÇÃO

O Sistema Global de Observação (SGO) é um sistema complexo por sua própria natureza e requer a cooperação internacional para que seja mantido. A parte central do SGO é o subsistema baseado em informações convencionais (estações de superfície) que é mantido, principalmente, por serviços meteorológicos e hidrológicos nacionais e por um subsistema que opera a bordo de satélites. Esse último complementa os sistemas de observação “*in situ*” e os principais fornecedores de observações da atmosfera inferidas por satélites para os centros de PNT são as agências espaciais americanas (do inglês NASA, *National Aeronautics and Space Administration*, e NOAA, *National Oceanic & Atmospheric Administration*), européias (do inglês ESA, *European Space Agency* e EUMETSAT, *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) e japonesa (do inglês JMA, *Japan Meteorological Agency*). O fornecimento dessas observações é feito através de um sistema de distribuição de dados da Organização Meteorológica Mundial, o Sistema Global de Telecomunicações de dados meteorológicos (do inglês GTS, *Global Telecommunication System*), que facilita a transferência de observações globais de forma contínua entre os diversos centros operacionais de previsão de tempo. Ainda no CPTEC, alguns tipos de observações são obtidos via cooperações diretas com as agências espaciais, via Sistema de Distribuição de Dados por Internet (Almeida et al. 2005) (do inglês IDD, *Internet Data Distribution*, Domenico, 2007) ou disponibilizadas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do próprio Centro (DSA/CPTEC).

- Tipos de observação e variáveis utilizadas na assimilação de dados no CPTEC

Uma informação utilizada pelo sistema de assimilação de dados no CPTEC, denominado sistema de análise estatística em espaço físico, cuja sigla em inglês é PSAS (*Physical-space Statistical Analysis System*) é a pressão em superfície (reduzida ao nível médio do mar) obtida a partir de estações em superfície (SYNOP), que tem uma distribuição espacial irregular. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) (<http://www.wmo.ch/web/www/OSY/gos-components.html>), a quantidade de subsistemas baseados em dados de superfície é cerca de 11000 estações, que fazem medidas próximas à superfície da Terra a cada três horas, de parâmetros meteorológicos como a pressão em superfície, velocidade e direção do vento, temperatura do ar e umidade relativa. Além de informações de estação de superfície, o PSAS assimila informações de pressão e vento coletados por bóias oceânicas, sensores a bordo de navios e plataformas oceânicas. O número de observações de navios é cerca de 7000 por dia. O programa operacional de bóias de deriva compreende um total de aproximadamente 900 bóias, que fornecem cerca de 12000 informações de temperatura da superfície do mar e pressão em superfície por dia. Uma fonte adicional de vento em superfície que é assimilada pelo PSAS refere-se às informações obtidas indiretamente por interferometria (do inglês, *SeaWinds scatterometer*) a bordo do satélite Quick Scatterometer da NASA (missão QuikSCAT) . Uma descrição desses dados pode ser encontrada em Leidner et al., 2000.

A fonte predominante de dados convencionais em ar superior para o PSAS é a radiossondagem, que fornece informações de altura geopotencial, temperatura, vento e umidade. No entanto, o PSAS assimila dados de altura geopotencial (não de temperatura), umidade e componentes do vento somente para níveis isobáricos padrões. Além disso, a distribuição espacial desses dados é irregular, favorecendo áreas continentais do Hemisfério Norte (HN). Informações adicionais dessas variáveis são obtidas a partir de aeronaves e balões piloto. Aproximadamente 900 estações fornecem informações a partir da superfície até alturas acima de 30 km, com medidas em ar superior incluindo as radiossondagens e balões piloto. Cerca de dois terços dessas estações fornecem observações nos horários das 00UTC e 12UTC. De 100 a 200 estações disponibilizam seus dados uma vez ao dia. Por outro lado, mais de 3000 aeronaves fornecem registros de pressão, ventos e temperatura durante vôo. A quantidade de dados de aeronave aumentou significativamente durante os últimos anos - de

78000 registros em 2000 para quase 300000 registros em 2005. Um grande potencial desse subsistema é que ele fornece medidas em lugares onde existe pouca ou nenhuma informação de radiossondagem, fato este que o coloca como um dos contribuintes principais de medidas de ar superior no SGO (<http://www.wmo.ch/web/www/OSY/gos-components.html>).

Outros tipos de observação utilizados pelo PSAS são os não convencionais obtidos a partir de informações de satélites. Satélites de órbita polar ou geoestacionários são normalmente equipados com instrumentos que operam na faixa espectral do visível, infravermelho e microondas, a partir dos quais se podem inferir variáveis meteorológicas tais como, temperatura, umidade, vento, entre outras. Essas informações apresentam uma distribuição espacial mais uniforme do que aquelas dos dados convencionais. Atualmente, o PSAS utiliza três tipos de dados de satélites: os perfis de geopotencial gerados a partir do sistema avançado de sondagem vertical operacional dos satélites da série NOAA, cuja sigla em inglês é ATOVS (*Advanced TIROS-N/NOAA Operational Vertical Sounder*), composto pelos sondadores que operam um na faixa espectral do infravermelho (do inglês HIRS, *High Resolution Infra Red Radiation Sounder*) e o outro na faixa espectral das microondas (do inglês AMSU, *Advanced Microwave Sounding Unit*), e do sistema de sondagem do satélite AQUA composto pelo sondador com alta resolução espectral de radiação infravermelha (do inglês AIRS, *Atmospheric Infrared Sounder*) e o sondador AMSU que opera na faixa das microondas; o vento estimado a partir do deslocamento de nuvens em imagens do satélite geoestacionário GOES (do inglês CTW, *Cloud Track Wind*) e o total de água precipitável integrada numa coluna (do inglês TPW, *Total Precipitable Water*) a partir de informações dos sondadores AIRS/AMSU.

Como mencionado acima, as informações utilizadas pelo sistema ATOVS e AIRS/AMSU são oriundas dos satélites de órbita polar NOAA e AQUA, respectivamente, e tipicamente, uma órbita desses satélites cobre diferentes regiões do globo. As informações de vento inferidas por satélite geoestacionário possuem uma cobertura espacial quase global, limitada entre as latitudes de 60°S e 60°N. No caso de TPW, as informações são também obtidas a partir dos sondadores AIRS/AMSU, abordo do satélite AQUA. Para se ter uma idéia da quantidade total de dados utilizados pelo PSAS, a Tabela 1 apresenta de forma resumida a fonte de observação, a variável atmosférica utilizada e a quantidade de dados assimilados para o dia 20/06/2007. É evidente nessa tabela que a maior parte das informações utilizadas por

sistemas de assimilação de dados são oriundas de satélites. Atualmente, os dados de satélite assimilados no CPTEC correspondem a aproximadamente 75% de todas as informações utilizadas no PSAS. Uma ilustração da distribuição espacial desses dados pode ser encontrada em Herdies, et al. (2007).

TABELA1 – FONTE DE OBSERVAÇÃO, VARIÁVEL E QUANTIDADE DE INFORMAÇÕES ACEITAS PELO PSAS PARA O DIA 20/06/2007

Fonte de observação	Variável	Quantidade de informações (integradas para todos os níveis)
Estação em superfície	<i>geopotencial</i>	3.124
Navios	<i>geopotencial</i>	419
Bóias oceânicas	<i>geopotencial</i>	1679
QuickScat	<i>u, v, componentes</i>	1535*
Radiossondas	<i>geopotencial</i>	5869
	<i>u, v componentes</i>	5580*
	<i>umidade</i>	2650
Aeronaves	<i>u, v componentes</i>	5051*
Satélites Geoestacionários	<i>u, v componentes</i>	9446*
Satélites de Órbita-Polar	<i>geopotencial</i>	79588
	<i>TPW</i>	6383

(*) valor correspondente a cada componente

CONTROLE DE QUALIDADE DAS OBSERVAÇÕES

Todos os sistemas de observação têm suas limitações, problemas e/ou falhas, tendo como resultado medidas que são, eventualmente, incorretas. Tais dados devem ser identificados e rejeitados pelo sistema de assimilação de dados a fim evitar a utilização de dados que contém erros, gerando assim um campo de análise de qualidade inferior. Devido à grande quantidade de dados manipulados para identificação de dados espúrios utilizam-se rotinas automáticas na fase de pré-processamento dos dados e durante o processo de assimilação de dados.

Além da decodificação dos dados, na fase de pré-processamento as observações passam por um processo de seleção e adequação, que consiste na extração e conversão das variáveis meteorológicas existentes para as variáveis que são efetivamente assimiladas pelo PSAS: a altura geopotencial, as componentes zonal e meridional do vento e a umidade específica. Esse processo inclui ainda o controle de qualidade das observações. Neste caso, busca-se eliminar informações não confiáveis obtidas a partir de medidas feitas por estações convencionais (processo manual de observação meteorológica) ou estações automáticas, sendo que no caso das estações automáticas, o controle de qualidade difere das convencionais devido às características de erros inerentes a cada tipo de observação. Para os dados obtidos via satélite, os perfis atmosféricos e o TPW inferidos pelo sistema de sondagem AIRS/AMSU também são pré selecionados tomando como base o controle de qualidade da observação descritos em Fetzer et al. (2004).

O sistema usado para controle de qualidade dos dados no PSAS, descrito mais detalhadamente em Bloom et al. (2005), é basicamente estatístico e busca identificar as observações que são provavelmente contaminadas por valores espúrios. Seus algoritmos envolvem testes estatísticos dos dados observados de encontro às suposições a cerca dos erros da observação e sobre os erros do modelo de circulação geral utilizado. Essencialmente, uma análise estatística local é realizada para cada ponto de observação onde o valor da observação difere significativamente de uma previsão de curto prazo do modelo (*first-guess*). Em um passo seguinte, se essa análise preliminar indicar que a observação é inconsistente com os dados circunvizinhos, essa observação é então rejeitada.

Assim, de maneira simplificada, a análise estatística abrange duas etapas: uma associada ao desvio entre a observação e a previsão de curto prazo, denominada em inglês “*background check*” e numa etapa seguinte as observações são verificadas de encontro às observações mais próximas, etapa essa denominada em inglês por “*buddy check*”. Na primeira etapa, se o desvio for extremamente grande, ou seja, maior que um valor de tolerância pré-definido, então a observação será rejeitada. Por outro lado, se o desvio for grande, mas dentro da tolerância previamente especificada, esta observação é marcada como “suspeita”, para ser reexaminada na verificação do de encontro às observações vizinhas (*buddy check*). As tolerâncias, para a verificação de encontro à previsão de curto prazo (*background check*), são definidas em termos dos desvios padrão obtidos a partir das

estatísticas de erros prescritos pelo sistema global da análise. A verificação com as observações vizinhas (*buddy check*) é aplicada então ao subconjunto de observações consideradas como suspeitas. Essa verificação tenta prever o valor de uma observação suspeita a partir de observações vizinhas consideradas não suspeitas. Se o valor previsto estiver razoavelmente concordante com a observação, então essa observação não será mais considerada suspeita, caso contrário essa observação é rejeitada. Se um número suficiente de observações próximas é disponível nessa análise, a tolerância para essa etapa (*buddy check*) é ajustada com base na estimativa local do desvio padrão entre a observação e a previsão.

Estas verificações são aplicadas para os dados de vento, geopotencial e umidade. No caso do vento, as componentes zonal e meridional são avaliadas para certificar-se de que as mesmas passam pelo controle de qualidade em pares. Caso, uma das componentes seja rejeitada, a outra componente também será rejeitada automaticamente. No caso de sondagens verticais, particularmente ATOVS, a verificação elimina a sondagem inteira caso a observação em um único nível seja rejeitada. No caso da umidade, um tratamento diferente é adotado. O campo de análise para a umidade no PSAS é a umidade específica, que é altamente variável no espaço e tempo. Isso dificulta a verificação de encontro às observações vizinhas (*buddy check*), que pressupõe que o campo é espacialmente coerente. Assim, para essa variável, testes estatísticos são aplicados ao campo residual de umidade específica. Esse campo residual é calculado de duas maneiras: uma usando a razão de mistura e a temperatura observada, e a outra, usando a razão de mistura observada e a temperatura prevista pelo modelo. Isto impede a situação em que um valor umidade relativa, aparentemente correto, pode ser encontrado mesmo quando a razão de mistura e a temperatura apresentem valores espúrios. Os testes são aplicados em ordem a ambos os tipos de resíduos, e as observações serão aceitas somente se nenhum dos testes falharem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos 20 anos, alcançou-se um progresso considerável na recuperação de variáveis atmosféricas a partir de sondadores que operam a bordo de satélites. Paralelamente, significativos progressos foram alcançados em relação à exploração e utilização das informações fornecidas pelo Sistema Global de Observação para melhorar os produtos de previsão numérica de tempo. Atualmente, aproximadamente 75% de todos os dados usados

para a geração da condição inicial (fase de análise) que vai ser utilizada para inicializar o modelo global de previsão de tempo no Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) são oriundos de satélites. Mesmo assim, estes dados representam uma pequena fração dos dados de satélites disponíveis e, novas observações estão continuamente sendo incorporadas no sistema operacional de assimilação de dados, a fim de melhorar a cobertura de dados, principalmente, sobre a América do Sul. Isso se torna possível agora com a disponibilidade de informações obtidas a partir do satélite meteorológico operacional geostacionário, cuja sigla em inglês é GOES-10 (*Geostationary Operational Environmental Satellite*).

O Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do INPE, tem gerado imagens da América do Sul a cada 15 minutos e também irá fornecer perfis de temperatura e umidade da atmosfera a cada quatro horas, informações estas fundamentais para a geração da análise e conseqüentemente para a previsão de tempo. Este aumento significativo de dados e imagens meteorológicas foi possível graças ao acesso integral do INPE ao satélite GOES-10, controlado pela NOAA, dos Estados Unidos. Com esse aumento na quantidade de informações da atmosfera sobre a América do Sul a partir do GOES-10 espera-se conseguir uma melhora significativa da previsão de tempo e clima do continente através, principalmente, do uso de modelos numéricos regionais.

Finalmente, as técnicas de assimilação de dados estão continuamente evoluindo, de forma que um melhor aproveitamento das informações de satélite se torna possível. Com a implantação de um novo sistema de assimilação de dados no CPTEC/INPE, (Herdies et al. 2007) novos tipos de observação passarão a ser utilizados. Dentre essas novas observações citam-se medidas diretas de radiâncias de diferentes sondadores a bordo de satélites meteorológicos operacionais (NOAA, GOES, AQUA, METOP).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processo 476129/2006-0) pelo apoio financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, W. G.; CARVALHO, L. A.; FERREIRA, S. H. S.; COELHO, D. G.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; CUTRIM, E.; YOKSAS, T. IDD-Brasil: Distribuição de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 33-38, 2005.

BLOOM, S.; DA SILVA, A.; DEE, D.; ET AL. Documentation and Validation of the Goddard Earth Observing System (GEOS) Data Assimilation System – Version 4. **Technical Report Series on Global Modeling Data Assimilation**. NASA/TM-2005-104606, v. 26, 2005.

DOMENICO, B. Unidata Internet Data Distribution: An overview of the IDD, 2003. Disponível em <<http://www.unidata.ucar.edu/software/idd/sisic/idd.html>>. Acesso em 30 de agosto de 2007, 10:40:00.

FETZER, E. J. **Validation of AIRS/AMSU/HSB core products for Data Release Version 4.0**. 60f. JPL D-31448, 2005.

HERDIES, D. L.; ARAVÉQUIA, J. A.; FERREIRA, S. H.; ANDREOLI, R. V.; SAPUCCI, L. F.; MATTOS, J.G.F. Assimilação de dados no CPTEC/INPE. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, no prelo, 2007.

LEIDNER, S. M.; HOFFMAN, R. N.; AUGENBAUM, J. **Sea Winds Scatterometer real-time BUFR Geophysical data product**. 45f. User's Guide Version 2.3.0, NOAA/NESDIS, 2000.