

ASSIMILAÇÃO DE INFORMAÇÃO DE DADOS DE SATÉLITE EM MODELOS DE PREVISÃO NUMÉRICA DO TEMPO

Elizabeth Silvestre Espinoza¹

José Paulo Bonatti²

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC

Endereço : Rodovia Presidente Dutra Km, 40

Cachoeira Paulista, CEP 12630-000

São Paulo, Brasil

¹ elizabet@cptec.inpe.br

² bonatti@cptec.inpe.br

RESUMO

Existem duas formas de assimilar as radiâncias obtidas a partir de satélite. A primeira é a forma mais tradicional, na que se assimila parâmetros geofísicos obtidos a partir das radiâncias (“retrievals”), esta recuperação dos parâmetros geofísicos, é um processo de estimação não linear que é frequentemente mal-posto e requer uma informação à priori (estimativa inicial). A outra forma é a utilização das radiâncias diretamente no sistema de assimilação de dados (DAS), esta aproximação se apresenta como uma melhoria da assimilação de dados recuperados de satélite. Neste trabalho são usadas as Técnicas Variacionais de assimilação: unidimensional (1D-VAR) e tridimensional (3D-VAR), para comparar os dois processos de assimilação. As técnicas Variacionais permitem esta comparação pois facilita a obtenção do Erro da Análise ou Erro de Assimilação. O trabalho foi realizado para uma região compreendida entre 10°N a 35°S e 35°W a 80°W. Para isto utilizou-se dados simulados (através de um Modelo de Transferência Radiativa) para os sensores do TOVS 15 (HIRS e MSU) que são sensores que nos dão o perfil vertical da atmosfera em forma de radiâncias; foram utilizadas também dados de geopotencial e razão de mistura provenientes do Departamento de Assimilação de Dados (DAO) da NASA. Os resultados deste trabalho baseiam-se principalmente na análise dos Erros de Análise ou Erros de Assimilação, para cada tipo de Assimilação (Direta e de Dados Recuperados), foi obtido que os Erros da Análise para a Assimilação Direta, tanto no caso Unidimensional (1D-VAR) como para o caso Tridimensional (3D-VAR), são menores que os obtidos na Assimilação de dados recuperados; também foi observado que o processo de Assimilação de Dados Recuperados envolve dois passos a mais que a Assimilação Direta, o que influencia no aumento do custo computacional, sendo que o custo para assimilação Direta de Radiâncias foi menor que para assimilação de dados recuperados.

INTRODUÇÃO

A assimilação de dados é um procedimento que combina dados meteorológicos de diferentes fontes, tais como de plataformas, de estações meteorológicas, de satélite com a finalidade de dar uma melhor estimação da atmosfera num tempo dado e assim poder obter uma melhor condição inicial para os Modelos de Previsão Numérica do Tempo.

Atualmente existem muitas técnicas que assimilam dados convencionais, mas possui erros intrínsecos, os quais, poderiam ser melhorados com a assimilação de outro tipo de informação, que represente o estado real da atmosfera. Este tipo de informação poderia ser as radiâncias, que são valores do fluxo radiante de uma superfície medidas por um satélite. Essas radiâncias representam o estado atual da atmosfera e podem ser obtidas tanto em forma digital como em forma de imagem.

Existem duas formas de assimilar as radiâncias obtidas a partir de satélite (Joiner and da Silva, 1996). A primeira é a forma mais tradicional, na que se assimila parâmetros geofísicos

obtidos a partir das radiâncias (retrievals). Nesta aproximação as radiâncias são processadas para obter um conjunto de parâmetros geofísicos tais como perfis de temperatura e umidade que são usadas no DAS. Esta maneira de recuperação de parâmetros geofísicos é um processo de estimação não linear que é freqüentemente mal-posto e requer uma informação à priori (estimativa inicial). Os erros de recuperação, algumas vezes, são considerados como isotrópicos, estacionários e não estão correlacionados com os erros de prognóstico. Em muitos casos, algumas dessas hipóteses são incorretas como mostra Sullivan et. Al (1993). A outra forma é a utilização das radiâncias diretamente no DAS. Esta aproximação se apresenta como uma melhoria da assimilação de dados recuperados de satélite. Neste caso, a consideração de que os erros de radiância são estados independentes, estacionários e não correlacionados com os prognósticos são mais justificáveis que para a assimilação de dados recuperados.

METODOLOGIA

Mostra-se de maneira sucinta a Teoria das Técnica Variacionais aplicada ao problema da Assimilação. Considera-se um vetor a ser estimado (\mathbf{w}^t), chamado vetor estado de dimensão n e componentes w_i^t ($i=1,2,\dots,n$) que corresponde às observações meteorológicas e um vetor observação (z), com m componentes z_j ($j=1,2,\dots,m$). Considera-se que estejam relacionados por uma combinação linear dada por:

$$z = \Gamma \mathbf{w}^t + \zeta \quad (1)$$

onde Γ é a matriz observação com dimensão $m \times n$, e ζ é o erro da observação. Considerando que os erros são não correlacionados e estatisticamente não viciados, isto é, $E(\zeta) = 0$ e $E(\zeta \zeta^T) = \Sigma$ tem-se:

$$\mathbf{w}^a = A z \quad (2)$$

onde A é uma matriz de $n \times m$ a ser estimada. Quer-se obter \mathbf{w}^a não-viciada, tal que $E(\mathbf{w}^a - \mathbf{w}^t) = 0$, então se verifica que:

$$A \Gamma = I_n \quad (3)$$

Onde I_n é a matriz unitária de ordem n . Quer-se uma matriz que minimize a variância dos erros estimados e esta matriz é $P^a = E[(\omega^a - \omega^t)(\omega^a - \omega^t)^T]$ dada por:

$$A = [\Gamma^T \Sigma^{-1} \Gamma]^{-1} \Gamma^T \Sigma^{-1} \quad (4)$$

e
$$P^a = [\Gamma^T \Sigma^{-1} \Gamma]^{-1} \quad (5)$$

onde P^a contem os erros de covariância de todos as componentes ω^t . Assim o inicio da estimativa de ω^t corresponde à minimização da função objetiva dada por:

$$J(\mathbf{w}) = [\Gamma \mathbf{w} - z]^T \Sigma^{-1} [\Gamma \mathbf{w} - z] \quad (6)$$

Em forma particular o vetor pode ser descomposto em duas componentes. A estimativa inicial (ω^f) do vetor ω^t e um conjunto de observações (ω^0) de dimensão p , dadas por:

$$\mathbf{w}^f = \mathbf{w}^i + \mathbf{z}^b \quad (7)$$

$$\mathbf{w}^o = H \mathbf{w}^f + \mathbf{e} \quad (8)$$

donde \mathbf{z}^b é o erro da estimativa inicial e \mathbf{e} é o erro de observação. Vemos que \mathbf{w}^o está associado com a matriz de observação H.

Em todo processo não-viciado para simplificar é suposto que os erros \mathbf{z}^b e \mathbf{e} são estatisticamente não correlacionados. A matriz $E(\mathbf{z}^f \mathbf{z}^{fT})$ seria denotada por P^f e a matriz $E(\mathbf{e} \mathbf{e}^T)$ seria denotada por R . Com estas notações, as equações 4,5 e 6 podem ser colocadas nas seguintes formas:

$$\mathbf{w}^a = \mathbf{w}^f + P^f H^T [HP^f H^T + R]^{-1} (\mathbf{w}^o - H\mathbf{w}^f) \quad (9)$$

e

$$P^a = P^f - P^f H^T [HP^f H^T + R]^{-1} HP^f \quad (10)$$

Considerando a equação 9 nota-se que se define o estado analisado como a soma da estimativa inicial \mathbf{w}^f e de um termo de correção, sendo proporcional ao vetor $\mathbf{w}^o - H\mathbf{w}^f$, chamado de vetor de resíduos ou vetor de inovação, pois descreve efetivamente toda a nova informação contida no vetor adicional de observação \mathbf{w}^o . A matriz $K = P^f H^T [HP^f H^T + R]^{-1}$, a qual é chamada *Matriz Ganho* é simplesmente a matriz que leva em conta as respectivas precisões da estimativa inicial e das observações, ela está em função das matrizes de covariância P^f e R .

No caso unidimensional considera-se só a dimensão vertical e se introduz uma correlação entre o erro de Observação e o Erro da Estimativa Inicial. Nesse caso, a introdução deste tipo de correlação pode causar problemas quando o previsto para a sexta hora é usado outra vez como estimativa inicial para análises subsequentes (Eyre, 1993). O problema desaparece num esquema tridimensional onde os dados recuperados e a análise são combinados e então a estimativa inicial é usada só uma vez (Andersson, et al, 1994). As radiâncias são usadas então diretamente junto com todas as observações e o campo de estimativa inicial

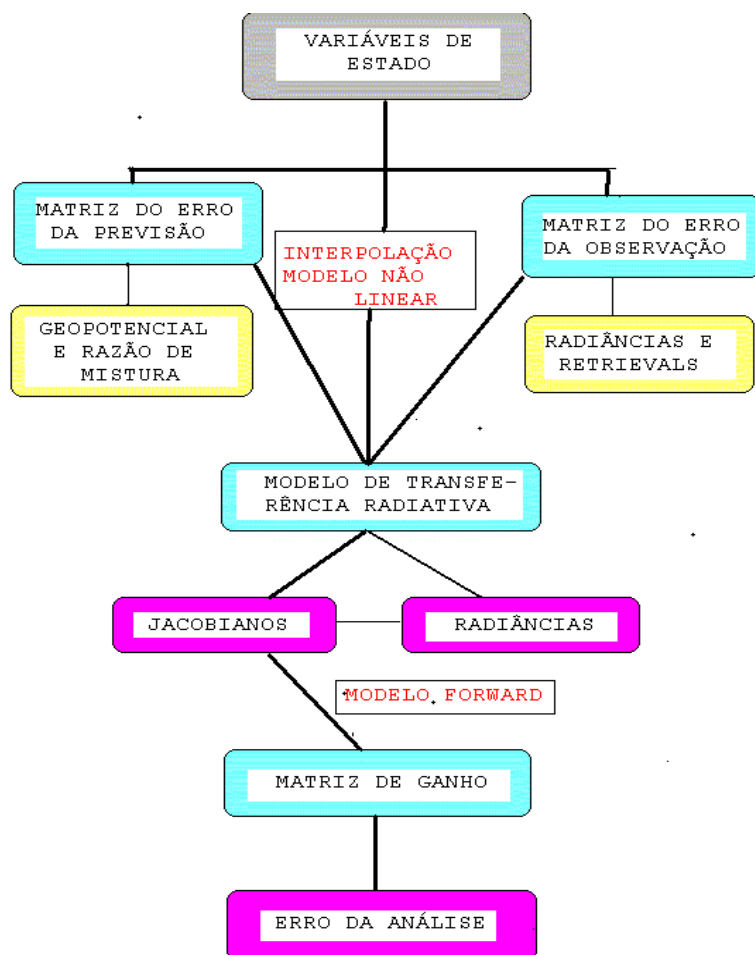
A equação 10 expressa de forma geral os Erros de Análise para qualquer tipo de observação. Para o caso da Assimilação Direta de Radiâncias adota-se a seguinte forma:

$$P^a \approx (I - K^{y_0} FI) P^f (I - K^{y_0} FI)^T + K^{y_0} R^y (K^{y_0})^T \quad (11)$$

E para o caso da Assimilação de Dados recuperados a equação adotada é:

$$P^a \approx (I - K^z D_y FI) P^f (I - K^z D_y FI)^T + K^z D_y R^y (K^z D_y)^T \quad (12)$$

Para Assimilação Direta de radiâncias, o Erro da Análise mostrado na equação 11 depende da matriz de ganho K^{y_0} e o erro das radiâncias R^y , enquanto que na equação 12 para Assimilação de Dados Recuperados o Erro da Análise depende da matriz de ganho de retrievals, K^z , a matriz que envolve o processo de retrievals D_y que utiliza como entrada as radiâncias e do erro dos retrievals, R^z , que é o erro que envolve o processo de recuperação. Com estas considerações o seguinte fluxograma resume o processo de obtenção dos Erros de Análise para os dois tipos de Assimilação:



RESULTADOS

Os resultados apresentados são para a região entre 10°N a 35°S e de 35°W a 80°W, utilizando dados de geopotencial e razão de mistura, obtidos do DAO/NASA, para 18 níveis de pressão. As radiancias foram simuladas para a mesma região de estudo utilizando um Modelo Rápido de Transferência Radiativa. Dos resultados obtidos foram escolhidos dois pontos, cada um representando um Hemisfério: ponto 1 (4°N, 60°W), ponto 2 (26°S, 75°W). Neste trabalho apresentam-se os resultados para geopotencial.

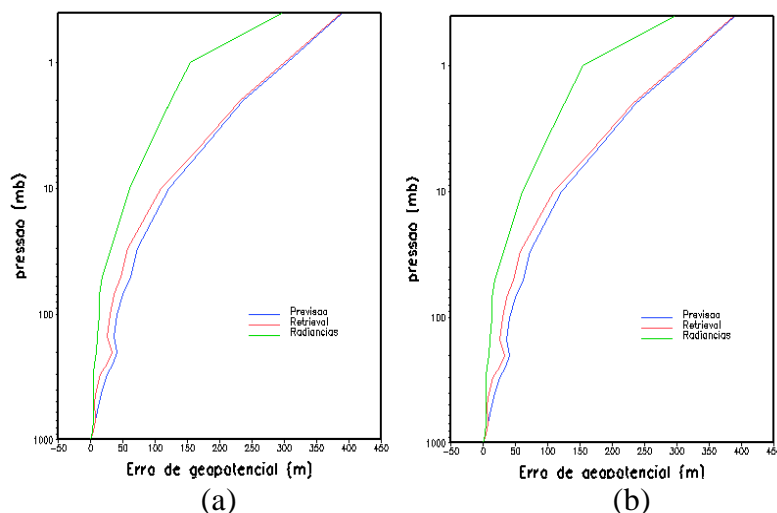


Fig. 1 - Desvio-Padrão do Erro da Análise para Geopotencial em 1D-Var: (a) ponto 1, (b) ponto 2.

Na figura 1, mostra-se os Erros da Análise para geopotencial, usando a técnica 1D-VAR, tanto para Assimilação Direta como para Assimilação de Retrievals, estes Erros estão expressos em forma de desvio-padrão. Observa-se que os Erros de Análise para Assimilação Direta de Radiancias são menores que os Erros de Análise para Assimilação de Dados Recuperados. Para os mesmos pontos, apresentam-se os resultados obtidos para o caso unidimensional para razão de mistura.

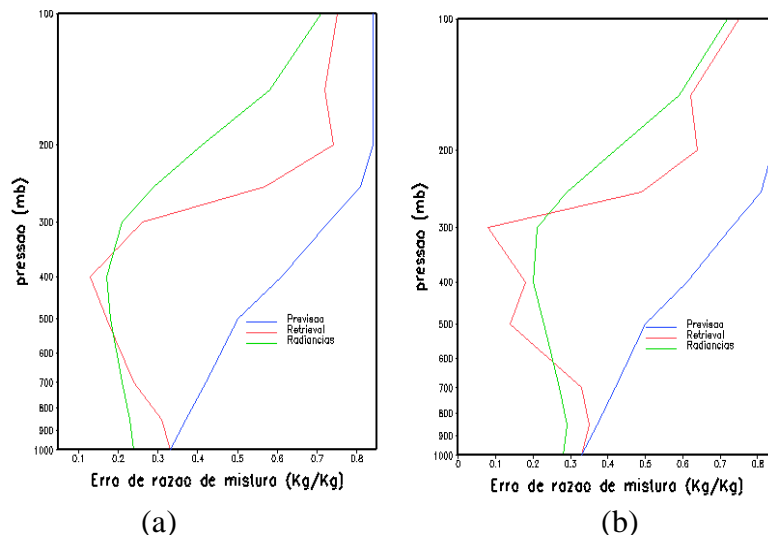


Fig.2-Desvio-Padrão do Erro da Análise para Razão de Mistura em 1D-Var: (a) ponto 1, (b) ponto 2

Nota-se que na figura 2, a distribuição dos Erros da Análise não são homogêneas, mas pode-se observar também que na figura 1 correspondente ao Hemisfério norte nos níveis baixos e altos os Erros da Análise para radiancias são menores com exceção dos níveis intermediários. No caso do Hemisfério Sul acontece a mesma situação, de maneira mais irregular.

Do mesmo modo na figura 2 mostra-se a distribuição dos Erros de Análise expressos também como desvio-padrão, para a técnica 3D-VAR, para os mesmo pontos da figura 1. Podem-se observar que também para o caso 3D-VAR os erros da Análise para Assimilação Direta são menores que os da Assimilação de Dados recuperados (retrievals).

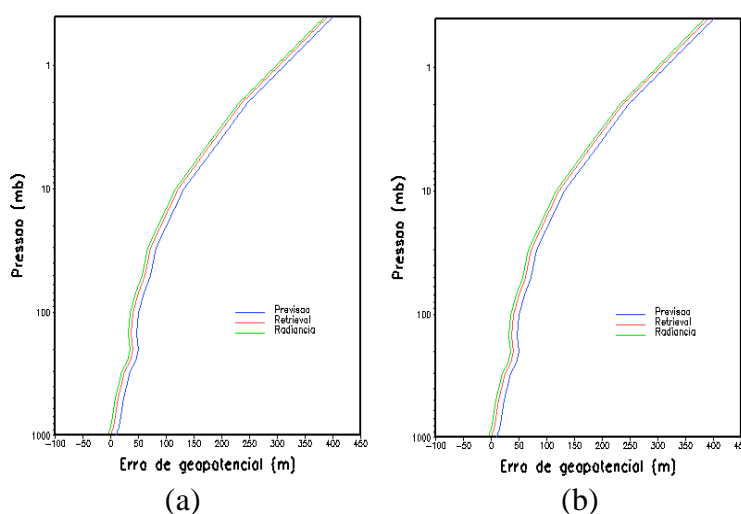


Fig. 3 - Desvio Padrão do Erro da análise para Geopotencial, em 3D-VAR: (a) ponto 1, (b) ponto 2.

O caso da razão de mistura utilizando a 3D-VAR é mostrado na figura 4, onde pode-se observar que a distribuição ao contrario da 1D-VAR é mais homogênea, assim como também que

os Erros da Análise para Assimilação Direta são menores que os Erros de Análise para Assimilação de Dados recuperados.

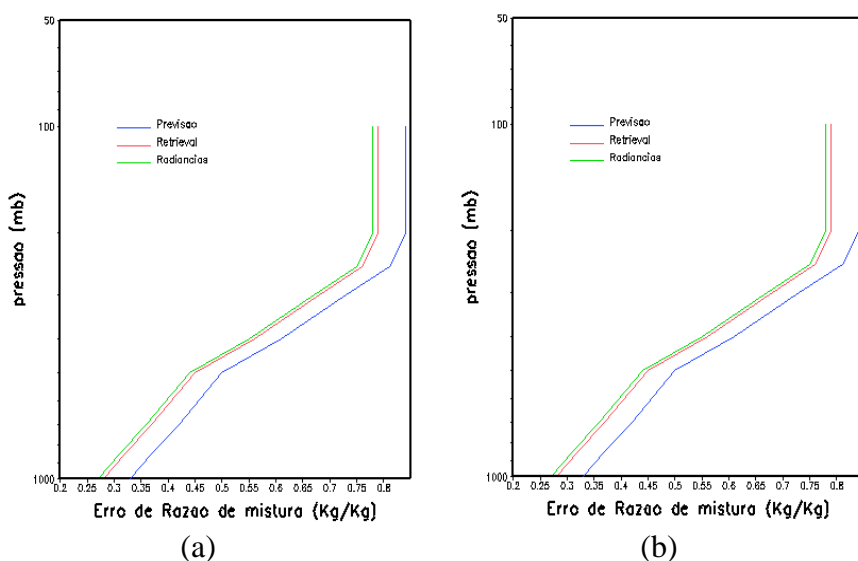


Fig.2-Desvio-Padrão do Erro da Análise para Razão de Mistura em 3D-Var: (a) ponto 1, (b) ponto 2

CONCLUSÕES

Os valores do Erro da Análise para Assimilação Direta de tanto no 1D-VAR como no 3D-VAR, analisando as variáveis de geopotencial e razão de mistura, são sempre menores que os Erros da Análise para Assimilação de Dados Recuperados (retrievals).

As diferenças nos valores e distribuição da 1D-VAR e 3D-VAR, se devem principalmente ao fato que na 3D-VAR, são consideradas as correlações horizontais e verticais, além de fatores como distância entre os pontos da grade, e processo de interpolação para os pontos de grade do processo de Assimilação.

O cálculo do Erro da Análise para Assimilação Direta de Radiâncias, envolve principalmente a obtenção da matriz de ganho que está em função da matriz de Covariância do Erro da Previsão e a Matriz de Covariância do Erro da Observação. Sendo estas bem especificadas, o Erro da análise é obtido com aplicação de equação 11, dando neste caso para uma matriz de 3800x3800 30 minutos de CPU em uma ALPHA Digital 600 5/266. Para o caso da Assimilação de Dados Recuperados a obtenção do Erro da Análise implica dois termos a mais, como visto na equação 12, o que neste caso com o mesmo tamanho da matriz leva aproximadamente 50 minutos de CPU.

Considerando o custo computacional, e os valores do Erro da Análise obtidos, concluí-se finalmente que a Assimilação Direta de Radiâncias seria uma boa alternativa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andersson, E., Pailleux, J., Thépaut, J.N., Eyre, J.R., McNALLY, ^aP., Kelly, G. A. and P. Courtier. Use of cloud-cleared radiances in three/four-dimensional Variational Data Assimilation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 120(1), 627-653,1994

- Atlas R. Atmospheric Observation and experiments to assess their usefulness in data assimilation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 75(1B),1-20, 1997
- Courtier P. Variational Methods. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 75(1B)101-108, 1997
- Daley R. Atmospheric Data Assimilation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 75(1B)209-219, 1997
- Daley, R. *Atmospherics Data Analysis*, Cambridge University Press, New York,1991.
- Eyre, J.R. Variational Assimilation of remotely-sensed observations of the atmosphere. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 75(1B)221-228, 1997
- Eyre, J.R., Kelly, A. P., McNally, A. P. Andersson, E., and A. Person. Assimilation of TOVS radiance information through one-dimensional Variational analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 119, 1427-1463, 1993
- Eyre J.R. Assimilation of remotely-sensed observations. *Proceedings of a Workshop held at ECMWF on Data Assimilation 2-6 sept. And Non-linear aspects of Data Assimilation 9-11 sept.* 31-46, 1996
- Ghill, M. Meteorological data assimilation for oceanographers. Part I Description and theoretical framework. *Dynamical Atmospheric and Oceans.*, 13, 171-218, 1989
- 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.* (124), 1669-1694, 1998.
- Lorenç, A. A Global three-dimensional Multivariate Static Interpolation scheme. *Monthly Weather Review*, (109), 701-721, 1960
- Pailleux, J. Assimilation of Satellite Data using Variational Techniques. *European Centre for Medium-Range Weather forecasts.* ECMWF Technical. Memo. 174, 1988
- Pailleux, J. Assimilation of satellite data using variational techniques. *Proc. ECMWF/EUMETSAT Seminar on Development in the use of satellite data in numerical weather Prediction" Reading UK, 6-10 sept 1993*, ECMWF Report, 1994.
- Rodgers, C.D., Characterization and error analysis of profiles retrieved from remote sounding measurement *Journal of Geophysical Research*, 95, 5587-5595,1990
- Smith, W.L., and H.Woolf. The use of eigenvectors of statistical covariance matrices for interpreting satellite sounding radiometer observations. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 33, 1-7, 1976
- Sullivan, J., Gandin, L., Gruber, A., and W. Baker. Observation error statistics for NOAA-10 Temperature and height retrievals. *Monthly Weather Review*, 121, 2578-2587, 1993
- Talagrand O. Assimilation of Observations, An introduction. *Journal Meteorological of Society of Japan* 75(1B), 191-209, 1997