

## Assimilação de aerossóis atmosféricos por satélite no modelo de transporte químico CATT – BRAMS

Judith Johanna Hoelzemann<sup>1</sup>  
Karla Maria Longo<sup>1</sup>  
Saulo Ribeiro Freitas<sup>1</sup>  
Alexandre Correia<sup>1</sup>  
Hendrik Elbern<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos no Instituto Nacional de Pesquisas  
Espaciais - CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP, Brasil  
judith@cptec.inpe.br, longo@cptec.inpe.br, sfreitas@cptec.inpe.br, acorreia@cptec.inpe.br

<sup>2</sup> Instituto da Renânia de Pesquisa Ambiental - RIU, Projeto EURAD na Universidade de  
Colônia, Alemanha  
he@eurad.uni-koeln.de

**Abstract.** Every year during the South American burning seasons, deforestation and maintenance fires emit vast amounts of pollutants into the atmosphere. Satellite fire products provide an objective assessment of these fire occurrences and thus, quantitative emission estimates. However, despite all progress and evidence gained with satellite fire retrievals, derived information on aerosol and trace gas release is still uncertain. This paper presents the ongoing application of the three dimensional variational assimilation technique (3-DVAR) to the operational numerical model CATT-BRAMS from CPTEC/INPE, with the objective to assimilate aerosol remote sensing products of the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) into the model. We expect a considerably improved performance of the model with results that will (i) allow for studies of fire aerosol and tracer formation and transport in the southern hemisphere, and (ii) contribute to an enhanced performance of the operational chemical weather forecast by CPTEC/INPE.

**Palavras-chave:** fire emissions, aerosol remote sensing products, data assimilation, numerical atmospheric modeling, emissões de queimadas, produtos de aerossol de sensoriamento remoto, assimilação de dados, modelagem numérica da atmosfera

### 1. Introdução

A assimilação de dados vem sendo reconhecida como uma ferramenta poderosa para melhorar significativamente o desempenho de modelos atmosféricos que incluem nos seus cálculos a emissão, transporte, reação e deposição de gases traços e aerossóis na atmosfera. Os modelos, por um lado, fornecem informações regulares e completas em termos espaciais e temporais. Porém, podem gerar erros consideráveis na simulação, devido aos erros intrínsecos às suas parametrizações físicas. As observações, por outro lado, contêm informações mais acuradas, com um erro consideravelmente menor. No entanto, somente estão disponíveis para poucas das variáveis desejadas, e com falhas na distribuição espacial e temporal. Para extrair o máximo de informação destas duas fontes e otimizar o resultado, modelo e observação podem ser utilizadas em conjunto. Para tal, é necessário um método objetivo e estatisticamente correto: a assimilação de dados.

Neste trabalho, apresentaremos resultados preliminares da assimilação de dados de Concentração de Massa (CM) e profundidade óptica (AOD, do inglês: *Aerosol Optical Depth*) derivados das observações dos sensores MODIS a bordo dos satélites AQUA e TERRA e de observações in-situ da rede AERONET (*AERosol RobotiC NETwork*) no modelo numérico CATT-BRAMS (*Coupled Aerosol and Tracer Transport to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System*) (Freitas et al., 2005).

## 2. Ferramentas e metodologia

Sobre a América do Sul, a concentração de aerossóis no ar troposférico a nível regional, durante a estação seca, têm como principal fonte as atividades de queima de biomassa.

Para estas emissões serem bem representadas no modelo CATT-BRAMS, elas são calculadas diariamente pelo modelo 3BEM (*Brazilian Biomass Burning Emission Model*, CPTEC), (Freitas et al. (2005) e Longo et al. (2006a)) com base nos focos de calor identificados por sensoriamento remoto. Na versão operacional do modelo ([www.cptec.inpe.br/meio\\_ambiente](http://www.cptec.inpe.br/meio_ambiente)) os focos de fogo utilizados provêm dos satélites de órbita polar NOAA-AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) e MODIS-TERRA/AQUA e do satélite geo-estacionário, processados no CPTEC/INPE ([www.cptec.inpe.br/queimadas](http://www.cptec.inpe.br/queimadas)) e WF-ABBA/GOES (*Automated Biomass Burning Algorithm*, [cimss.ssec.wisc.edu/goes/burn/wfabba.html](http://cimss.ssec.wisc.edu/goes/burn/wfabba.html)) da Universidade de Wisconsin. As emissões de queimadas resultantes do 3BEM são introduzidas no modelo 3-D de transporte atmosférico CATT-BRAMS, acoplado à versão brasileira do modelo RAMS (Walko et al., 2000). A última versão do modelo CATT-BRAMS inclui várias inovações: (i) um módulo de iniciação da umidade do solo (Gevaerd e Freitas, 2006), (ii) o esquema de radiação inclui a interação explícita dos aerossóis com a radiação solar (Longo et al., 2006b), (iii) a profundidade óptica é agora uma variável diagnóstica do modelo, utilizando um modelo de aerossóis espectral derivado de observações das propriedades dos aerossóis de fumaça (Procópio et al., 2003), (iv) a deposição seca é acoplada com uma parametrização de superfície, e (v) foi incluída uma parametrização de cúmulos rasos e profundos (Freitas et al., 2006b). Encontra-se também em desenvolvimento uma parametrização de aerossóis minerais do solo em áreas desertificadas ou com vegetação esparsa (Longo, Hoelzemann e Freitas, em preparação).

Os produtos de aerossol que serão assimilados no modelo, são o AOD e a CM do MODIS. Pretende-se a utilização operacional de dados processados no CPTEC/DSA/INPE no Brasil (Correia et al., 2006). Será assimilada também a AOD de observações in-situ da AERONET na América Latina. Estes dados, embora pontuais, poderão corrigir as observações de satélite do MODIS nas áreas de representatividade individuais em torno de cada site da AERONET.

O método de assimilação a ser aplicado é o esquema de assimilação de dados variacional em três dimensões (3-DVAR), seguindo o trabalho de Elbern e Schmidt (2001), Hoelzemann et al. (2001) e Elbern e Strunk (2005). O 3-DVAR utiliza uma função de custos  $J$  que depende da diferença do estado do modelo  $x$  e a informação de fundo  $x_b$  e também depende da diferença entre a observação  $y_o$  e o equivalente do modelo  $Hx$  correspondente:  $J(x) = \frac{1}{2} (x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b) + \frac{1}{2} (Hx - y_o)^T R^{-1} (Hx - y_o)$ . Onde  $J$  depende do estado do modelo  $x$  e o operador de observação  $H$  interpola do espaço da grade do modelo para o espaço dos valores observacionais.  $x_b$  são os valores de fundo disponíveis para cada ponto de grade, derivados de previsões anteriores ou dados climatológicos.  $B$  é a matriz dos erros de fundo, enquanto  $R$  representa a matriz que inclui as covariâncias do erro de observação e dos erros de representatividade espacial. A função de custos  $J$  precisa ser minimizada, ao mesmo tempo em que é mantida alguma concordância com os valores de fundo  $x_b$ . Isto é feito calculando o gradiente da função de custo e descendo em direção ao mínimo. Os gradientes são obtidos utilizando uma aproximação iterativa.

## 3. Primeiros passos

Foi realizada uma comparação, inicialmente para o ano 2005, entre o produto de aerossol do MODIS (coleção 4, da NASA) e da AERONET (nível 2.0) calculando as médias diárias e mensais de profundidade óptica (AOD) de cada produto e suas correlações sazonais. Um pixel

de AOD do MODIS equivale a uma área de 10x10 km. As médias do MODIS foram calculadas considerando diferentes raios em torno do sítio da AERONET para comparação: foi calculada uma média para a.) somente o pixel de 10x10 km, b.) para uma área de 30x30 km (9 pixels), c.) 50x50 km (25 pixels), e d.) 150x150 km (225 pixels). Conforme a correlação destas médias, as áreas de representatividade de cada site da AERONET foram determinadas. Os primeiros resultados mostram que valores de AOD de muitos sites da AERONET são representativos para pelo menos uma área de 50x50 km durante a estação de queima. Portanto, para cada observação da AERONET, em média 25 pixels do produto de AOD do MODIS podem potencialmente ser corrigidos. Porém no ano 2005 para vários sites não existem observações de AOD, nível 2.0. Espera-se resultados estatisticamente mais significativos da exploração dos dados da AERONET do nível 1.5, seguindo o método de eliminação de pixels contaminados de Pires et al. (2006). Será investigada também a variabilidade interanual e intersazonal (estação seca/estação úmida) destas correlações. Em breve estarão disponíveis dados de AOD do MODIS processados pelo CPTEC/DSA/INPE no Brasil da coleção 5. A avaliação da assimilação destes dados no modelo CATT-BRAMS com o esquema de 3-DVAR será concluída no primeiro semestre de 2007.

## Referências

- Correia, A.L.; Castanho, A.D.A.; Martins, J.V.; Longo, K.M.; Yamasoe, M.A.; Artaxo, P. Inferência de Aerossóis. In: Rudorff, B.F.T.; Shimabukuro, Y.E.; Ceballos, J.C. (Org.) **O Sensor MODIS e suas Aplicações Ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Bookimage, ISBN85-8739329-4, p.297-314, 2006.
- Elbern, H., and H. Schmidt, Ozone episode analysis by four-dimensional variational chemistry data assimilation, **J. Geophys. Res.**, 106(D4), 3569-3590, 2001.
- Elbern, H. and A. Strunk, Chemical data assimilation for air quality forecasting, **ECMWF seminar proceedings on Global Earth-system Monitoring**, Reading, UK, 2005.
- Freitas, S., K. Longo, M. Silva Dias, P. Silva Dias, R. Chatfield, E. Prins, P. Artaxo, G. Grell and F. Recuero. Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. **Environmental Fluid Mechanics**, DOI: 10.1007/s10652-005-0243-7, 5 (1-2), p. 135 – 167, 2005.
- Freitas, S. R.; Longo, K. M.; M. Andreae. Impact of including the plume rise of vegetation fires in numerical simulations of associated atmospheric pollutants. **Geophys. Res. Lett.**, 33, L17808, doi:10.1029/2006GL026608, 2006b.
- Gevaerd, R. e S. R. Freitas, Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte I: Descrição da metodologia e validação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, volume especial do LBA, em impressão, 2006.
- Hoelzemann J. J., Elbern, H., and Ebel, A., PSAS and 4D-var assimilation for chemical state analysis by urban and rural observation sites, **Physics and Chemistry of the Earth**, Part B, Vol. 26/10, 2001
- Longo, K. M.; Freitas, S. R.; Silva Dias, M.A.F. Dias, P. Silva Dias. Numerical modeling developments towards a system suitable to a real time air quality forecast and climate changes studies in South America. **Newsletter of the International Global Atmospheric Chemistry Project**, Taiwan, v. 33, p. 12-16, 2006a.
- Longo K. M., S. R. Freitas, et al. Numerical modelling of the transport of biomass burning emissions – Part II: Aerosol direct radiative effects on the thermodynamic structure of the atmosphere and precipitation, **manuscript under preparation**, 2006b.
- Pires, C., A. Correia, M. A. Paixão, e P. Artaxo, Estudo da climatologia regional de coeficiente de Angstrom como extensão do procedimento de cloud-screening da AERONET, **trabalho a ser apresentado no Congresso Brasileiro de Meteorologia, SBMET**, Florianópolis, Novembro 2006.
- Procópio A. S., L. A. Remer, P. Artaxo, Y. J. Kaufman e B. N. Holben, Modeled Spectral optical properties for smoke aerosols in Amazonia, **Geophys. Res. Lett.**, 30, 24, 2265, doi:10.1029/2003GL018063, 2003.
- Walko R., Band L., Baron J., Kittel F., Lammers R., Lee T., Ojima D., Pielke R., Taylor C., Tague C., Tremback C., e Vidale P, Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for Environmental Modeling, **J. Appl. Meteorol.**, 39: (6) 931-944, 2000.