

Sondagem Atmosférica e Simulação do Sinal de Satélite.

Nicolas M. Cruz Salvador¹
Jurandir Ventura Rodrigues¹
Luiz Gonzaga Barbedo¹
Simone M. S. Costa¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/DSA
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil
nicolas.salvador, jurandir, simone@cptec.inpe.br

Abstract. O presente estudo tem como objetivo principal, apresentar uma abordagem sobre o uso do análise variacional (1-DVAR) unidimensional como pré-processador de radiâncias observadas por satélite (infravermelho e micro ondas) e sondagem atmosférica. Este pre-processador acoplado a um sistema de simulação de sinal de satélite, poderá ser utilizado para monitorar a qualidade dos dados de satélite e recuperar os perfis atmosféricos e propriedades de superfície. Estas informações visarão estabelecer um conjunto de novas entradas no sistema de assimilação de dados para que o modelo de previsão e numérica de tempo melhore quantitativamente. Os testes iniciais sobre o uso de 1DVar foram realizados com base nas informações tomadas a partir de dados gerados pelo modelo de tempo global do CPTEC e observação ATOVS/NOAA.

Keywords: Sondagem por satélite, Infêrencia, 1DVar .

1. Introdução

Implementar um novo sistema de assimilação que inclua radiâncias observadas ver Fig. 1 e sondagem por satélite, tem sido uma das prioridades do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Assim o uso do método variacional é um primeiro ensaio para por em prática o uso dos dados de satélite principalmente no preparo das condições iniciais dos modelos de previsão numérica de tempo. Existem alguns desafios a fim de maximizar a utilização das radiâncias observadas no sistema de assimilação de dados do CPTEC, portanto, a utilização do modelo 1DVar é a proposta inicial para fazer parte do sistema de otimização (Fig. 1). Esses dados otimizados serão usados na assimilação de dados usando o métodos variacional tridimensional G3DVar(Global 3DVar), filtro de Kalman ou um esquema híbrido.

Parte desta assimilação consiste no monitoramento e avaliação contínua de radiâncias medidas por satélites diretamente no sistema. O fluxo de dados dentro da assimilação de dados é parte fundamental de esse processo, aqui quantidade e qualidade interferem muitas vezes na geração da análise, refletindo na geração das previsões.

O objetivo principal desta pesquisa é apoiar à consolidação da assimilação de dados para o modelo de previsão numérica de tempo do CPTEC a partir de dados provenientes de sensores de satélite, visando melhorar a previsibilidade nos modelos de tempo.

2. METODOLOGIA E DADOS

Para monitorar as radiâncias observadas por satélite de orbita polar antes do processo de assimilação de dados, são necessárias dois códigos como ferramentas que resolve a equação de transferência radiativa que em suas siglas em ingles Radiative Transfer for (A)TOVS (RTTOVS), agora na versão 11.2. Por outro lado quem resolve o sistema indeterminado não linear por inversão via método variacional, denominado 1DVar.

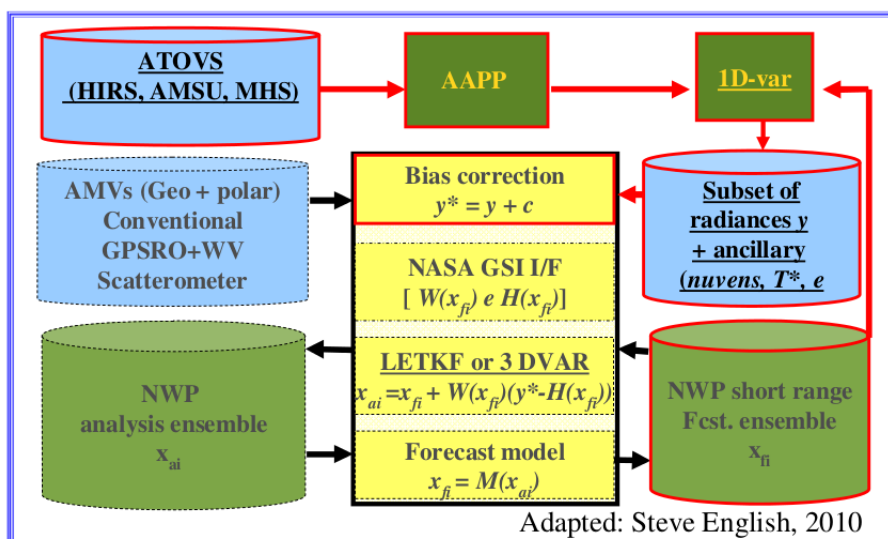


Figura 1: Diagrama de Sistema de assimilação de dados usando 1-DVAR como pré-processamento.

2.1. Dados Observacionais

A técnica proposta para a assimilação de radiâncias nos canais infravermelho e microondas (Fig. 2) é baseada em ferramentas como o software do ITWG que em inglês significa International TOVS Working Group e os dados de observações do CPTEC/INPE. Neste quadro, observações de radiâncias regionais em tempo real (Fig. 2, através do sistema de High Rate Picture Transmission HRPT) e global (através do Regional ATOVS Retransmission Services RARS via Global Telecommunications System GTS) são processadas usando ATOVS e AVHRR Pre-processing Package AAPP, desenvolvido pela EUMETSAT. Radiâncias observadas e saídas do modelo CPTEC (T213L42), são usados como condição de entradas para o modelo 1DVar (versão 3.5). Inferindo essas variáveis, juntamente com funções estatísticas “o modelo ajusta as observações” que logo após são passados para o sistema de assimilação de dados do modelo de tempo do CPTEC.

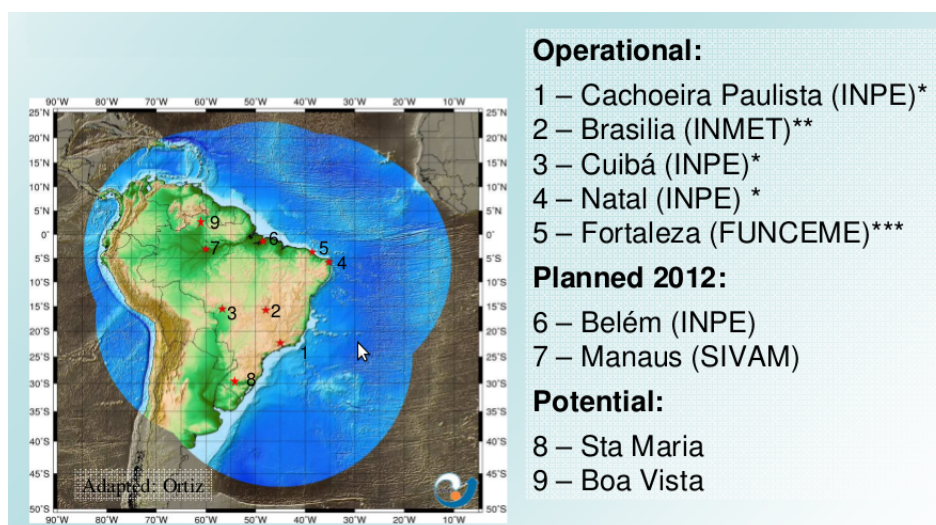


Figura 2: Distribuição de antenas do sistema RARS (INPE) e área de cobertura.

Os dados ATOVS são provenientes dos satélites de órbita polar NOAA, eles são recebidos e

operados pelo INPE. Os dados recepcionados abrangem uma vasta região da América do Sul e Oceano Atlântico (Fig. 2). Os dados locais ATOVS produtos de satélites NOAA são adquiridos em tempo real através de transmissão digital de alta resolução de imagem.

Dados de ATOVS (Regional e RARS) são processados através do esquema AAPP, e depois usado como dados de entrada (nível 1D) no 1DVar.

2.2. Modelo de Inversão (1DVar)

O sistema 1-DVar é um software de inferência autônoma, a abordagem consiste em encontrar o perfil atmosférico mais provável, a partir de dados de observação de nadir tomadas por instrumentos passivos de satélite. Com base na técnica de estimativa ótima Bayesiana, em que a estimativa estatisticamente ótima do vector de estado atmosférico X é consistente com observações Y , em qualquer estado X_0 de condição inicial, obtido através da minimização da função de custo (RODGERS, 1976):

$$J(X) = [Y^m - Y(X)]^T E^{-1} [Y^m - Y(X)] + (X - X_0)^T H (X - X_0). \quad (1)$$

Onde H e E são as matrizes de covariância dos erros observacionais medidos por satélite e da condição inicial respectivamente e $Y(X)$ representa as radiâncias simuladas correspondentes ao estado X . Neste trabalho, as radiâncias foram simuladas utilizando o RTTOV (v 11.0), as condições de estado são provenientes do modelo do CPTEC(T213L42).

2.3. O Modelo de Transferência radiativa RTTOV

O RTTOV é um modelo de transferência radiativa rápida para ATOVS, originalmente desenvolvida pelo Centro Meteorológico Europeu (ECMWF) nos inícios dos anos 90. O modelo original passou por varias melhorias e recentemente faz parte das ferramentas do EUMETSAT operando nos satélites NOAA e METOP. A faixa espectral no IR do modelo é de 3-20 μ m. Entre as últimas atualizações estão a melhora dos na definição dos coeficientes para o infravermelho e microondas sendo que a função de referência é bidirecional para a superfície alem de ter uma melhor interpolação de perfis desde os níveis utilizados ate os níveis padrões do código e outras melhoras referentes a aerossóis, parâmetros para partículas de gelo etc.

O modelo de transferência radiativa é necessário para resolver a equação de transferência radiativa e simular os valores de radiâncias observadas (Y da equação 1) sendo utilizado durante o processo de minimização, logo neste operador se transporta o First Guess para compara-las com as radiâncias observadas no satélite na forma de temperatura brilho.

O modelo de transferência radiativa é conhecido em assimilação de dados e sensoriamento remoto como modo direto. O processo de simulação de radiâncias, consiste em calcular as temperaturas de brilho de um modo sistemático e compará-las com dados de TB observados por satélite. A finalidade da comparação é ajustar estatisticamente as observações através de pesos ponderados nos coeficientes, isto se determina com vários dados de entrada entre eles o ângulo de visada, densidade de massa encontrada e da performance de cada canal do sondador.

O modelo RTTOV resolve a equação de transferência radiativa, onde a radiância incidente no sensor do satélite é escrita na sua forma integral da seguinte forma:

$$L^{TOA}(\lambda, \theta) = \epsilon(\lambda, \theta) B(T_s, \lambda) \tau_s(\lambda, \theta) + \int_{\tau_s}^1 B(\lambda, T) d\tau + (1 - \epsilon(\lambda, \theta)) \tau_s^2(\lambda, \theta) \int_{\tau_s}^1 \frac{B(\lambda, T)}{\tau^2(\lambda, \theta)} d\tau. \quad (2)$$

em que $\epsilon(\lambda, \theta)$ é emissividade que depende do comprimento de onda e do ângulo de visada θ ; $B(T, \lambda)$ é a radiância espectral para corpo preto a uma temperatura T como descrito pela

distribuição de Planck, e $\tau_s(\lambda, \theta)$ é a transmitância que dependem do comprimento de onda e do ângulo de visada.

O modelo de avaliação para determinar a solução da equação de transferência radiativa foi o RTTOV na versão 11.1, disponível na página web da EUMETSAT com endereço em EUMETSAT (2013). Nela pode ser obtida a documentação que foi baseada nos artigos do Eyre (1991) e Eyre e Woolf (1988), os valores obtidos não foram comparados com a versão 9.0 que tem sido usado para avaliar o modelo 1-DVAR

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho foi realizado fazendo um conjunto de testes para modelar as radiâncias observadas do satélite. Os testes consistirão em realizar a inferência dos perfis verticais utilizando o 1-DVAR. Os dados observacionais foram tomados do satélite NOAA e as condições iniciais do modelo global do CPTEC serviram como condição inicial no código 1-DVAR.

Para avaliar o impacto das observações no processo de inferência, os perfis do modelo(condição inicial) e aqueles inferidos foram usados como dados de entrada para o código RTTOV, isto com o fim de estimar a temperatura de brilho. As simulações e resultados destes 2 testes são apresentados a seguir.

3.1. Simulação de Imagem de Satélite

A idéia principal deste teste foi comparar dados obtidos a partir da saída do modelo de previsão de tempo do CPTEC, sendo usados como condição inicial (background) para recuperar perfis com o modelo 1-DVAR. Comparar radiâncias observadas pelos sensores AMSU-A, MHS e HIRS e radiâncias calculadas utilizando modelo de transferência radiativa RTTOV. Dessa maneira, pretende-se comparar as radiâncias calculadas com os dados providos pelo modelo do CPTEC. As melhoras nesses canais do sensor pode ser aproveitado para realizar a assimilação desses dados e também para calcular a correção de viés.

Os dados para a inferência foram tomados para o dia 24 de Agosto as 06:57 e 17:09 UTC, o domínio é apresentado na Fig. 3. Nesta figura se mostra as condições de entrada correspondente a condição inicial (background), observação e os condições inferidas (retrievals). Na Fig. 3 mostra as saídas para o canal 8 do infravermelho do sensor HIRS, que segundo o Jun et al. (1999) junto aos canais 10 e 11 representam os valores mas representativos de superfície.

Os dados de sondagem utilizados neste experimento são de radiância infravermelha e microondas observadas por sensores de sondagem a bordo de satélites de órbita polar. Principalmente foram utilizados os dados dos sensores que compõem o sistema ATOVS (Advanced Tiros Operational Vertical Sounder). O ATOVS foi desenvolvido pela NOAA, e recentemente tem a colaboração da EUMETSAT. A vantagem do uso deste sistema deve-se a disponibilidade de dados em diversos satélites de orbita polar, especificamente aqueles da série NOAA (NOAA-15, 16, 17 e 18). Estes sensores a bordo em diferentes plataformas orbitais ampliam a frequência das observações.

Os dados utilizados possuem duas fontes: dados regionais ingestados pelas antenas da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais, e dados globais (outros centros de recepção) através do projeto RARS. O RARS é um projeto da Organização Mundial de Meteorologia, e consiste em um sistema de aquisição em tempo real de dados de satélite de orbita polar e de disponibilização para a comunidade através dos centros regionais de processamento. O objetivo principal do RARS é disponibilizar dados ATOVS globais em menos de 30 minutos desde a aquisição dos dados na estação. Estes dados já foram requisitados pelos centros responsáveis do RARS e estão sendo recebidos na DSA.

Como mostrado na Fig. 3 a temperatura de brilho do retrieval mostra uma melhor

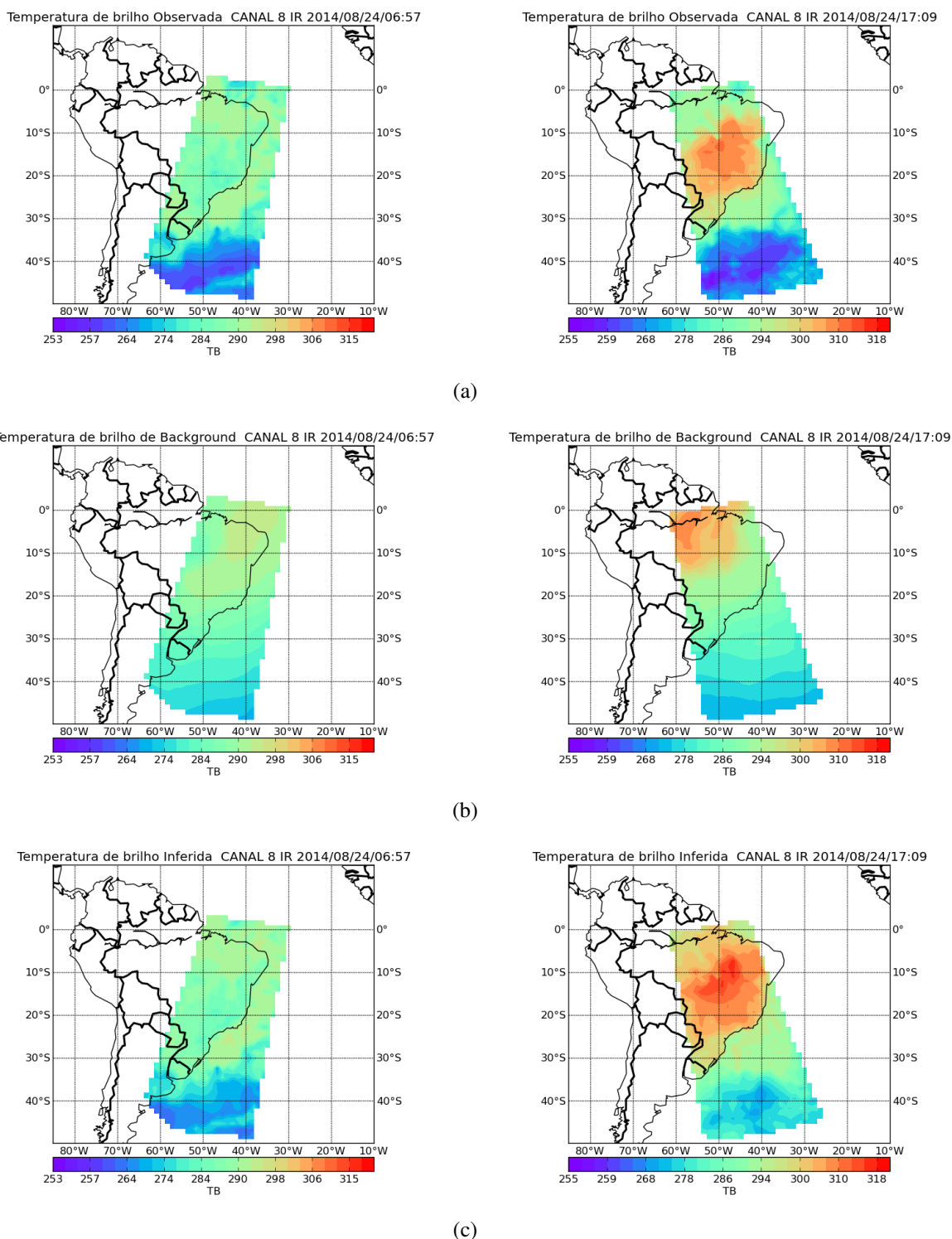
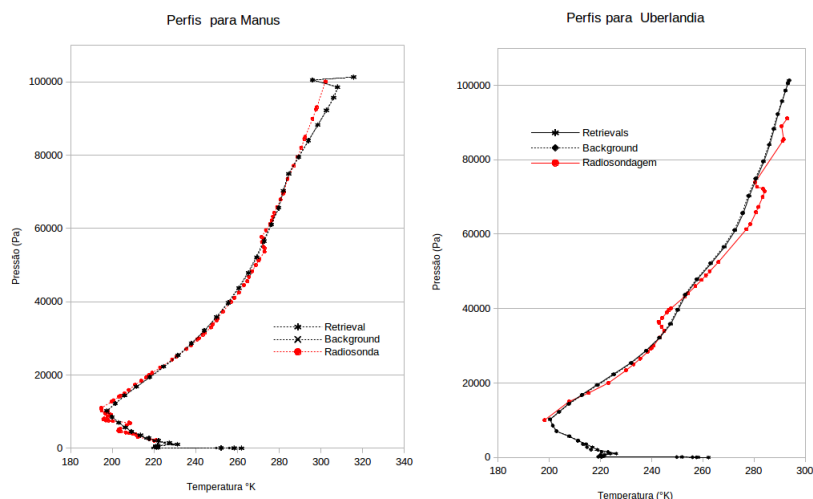


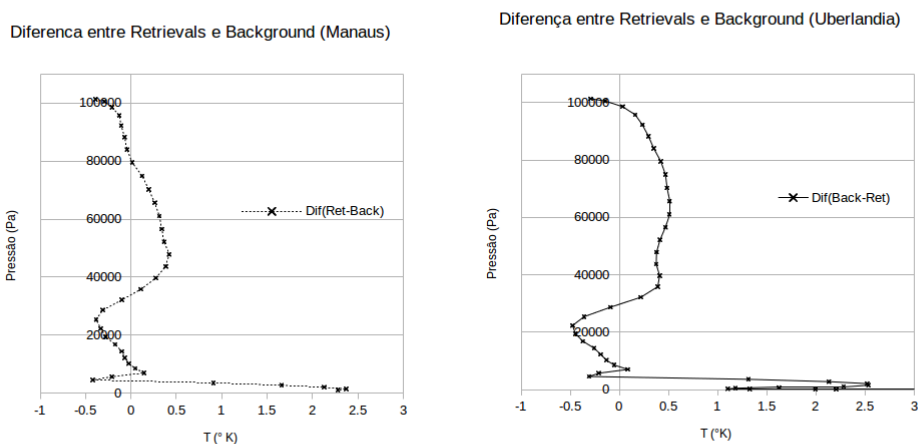
Figura 3: Diferenças para saídas de temperatura de brilho (a) observada, (b) condição inicial (background) e (c) inferida (retrievals), para o canal 8 do sensor HIRS, para o dia 24 de Agosto de 2014 as 06:57 e 17:09 UTC.

aproximação ao observado pelo satélite, principalmente nas regiões do mar onde a temperatura de mar está mais fria no sul aproximadamente a 40S e 40W e no continente mais quente entorno de 10S e 50W. Erro característico não observado pelo modelo de previsão.

Perfis de temperatura para são mostrados Fig. 4 (a), para aeroporto de Uberlândia no estado



(a)



(b)

Figura 4: Perfis verticais de temperatura por radiossondagem, de condição inicial (background) e inferida (retrievals), para o dia 24 de Agosto de 2014 as 06:57 UTC. (b) Diferença entre sondagem por satélite e dados do modelo de previsão (Background) para Manaus e Uberlândia.

de Minas Gerais (-18.88 -48.22), e o correspondente a Manaus em ponta pelada (-03.15 -59.98) para mostrar concordância entre sondagem por satélite e a radiossondagem, no entanto para cada estação se tem uma variação diferente, o que dá passo para num futuro fazer análise de sensibilidade para cada região como mostraram Eyre et al. (1993) para o hemisfério norte. Perfis de diferença entre dados inferidos e obtidos por sondagem por satélite e os dados do modelo são mostrados na Fig. 4 (b) esta diferença é menor a 1 °K nas camadas acima de 1000 Pa, no entanto perto da superfície elas divergem e mais de 2.4°K em Manaus e 2.5 em

Uberlândia. Isto é concordante com os valores para o error médio de temperatura obtido por Jun et al. (1999).

3.2. Análise de erro de sondagem

Para ver como melhora o campo de temperatura de brilho, se faz a comparação de um canal (canal 1 IR) entre dados observados menos dados condição inicial e dados obtidos por inferência. Em um segundo análise fizemos o mesmo experimento com dados mensais para 40 canais (HIRS, MSU-A e MSU-B).

Os valores do viés para os meses de Janeiro (estação de verão) e Julho (estação de inverno) são apresentados aqui como um erro entre média observada e as médias dos valores obtidos a partir dos dados recuperados e aqueles utilizados como condição inicial, como pode ser apreciada na fig. 5 os valores em azul representam o valor da média dos valores do modelo de previsão menos os valores observados diariamente. As barras em vermelho representam os valores médios observados menos os valores inferidos (retrievals), todos eles pertence ao canal um para o mês de janeiro (lado esquerdo). Como pode ser verificado os valores recuperados com 1-DVAR ficam com um viés bem menor do que aqueles que foram tomados do modelo de previsão, o mesmo ocorre com o mês de Julho (lado direito) que apresenta um maior viés em cor azul que corresponde ao valor médio da diferença entre o valor observado e o background.

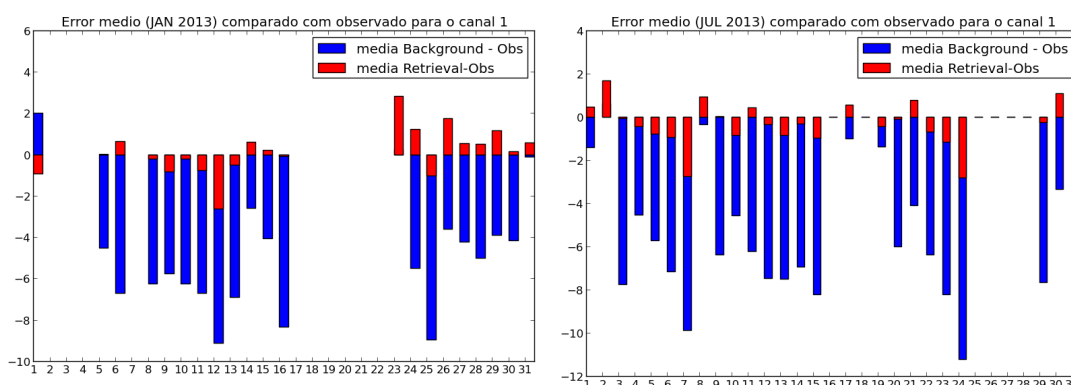


Figura 5: Viés medio diario entre temperatura de brilho observada e simulada através do RTTOV (janeiro e julho 2013). A radiancia simulada usa duas condições atmosféricas: condição inicial (saída do modelo de previsão do CPTEC) e inferidos utilizando 1-DVar.

Também se mostra os viés por canais, 40 em total, para ver as relações dos viés para cada canal para os meses de Janeiro e Julho, como pode ser apreciado na fig. 6 ele também mostra uma maior tendência de viés para os valores obtidos pelo modelo de previsão. no entanto em alguns canais a situação é ao contrario como ocorre nos canais 35, 36, 37 e 38 no mês de janeiro e para os canais 4, 6, 7, 10 e 19 para o mês de julho.

3.3. Conclusões

O sistema de inversão e inferência de perfis para ATOVS é um método apropriado para assimilar radiancias e outros parâmetros como condição inicial para modelos de previsão de tempo. Os valores mostrados nos viés confirmam que os perfis inferidos são melhores o mais próximos dos valores observados pelo satélite e estes por sua vez tem uma melhor aproximação com valores de radiossondagem, mas ainda é necessário um método que vise determinar que partes dessa sondagem são melhores para que o modelo de previsão numerica do tempo melhore. Outros sensores da nova geração de satélites estão aprimorando a sondagem com

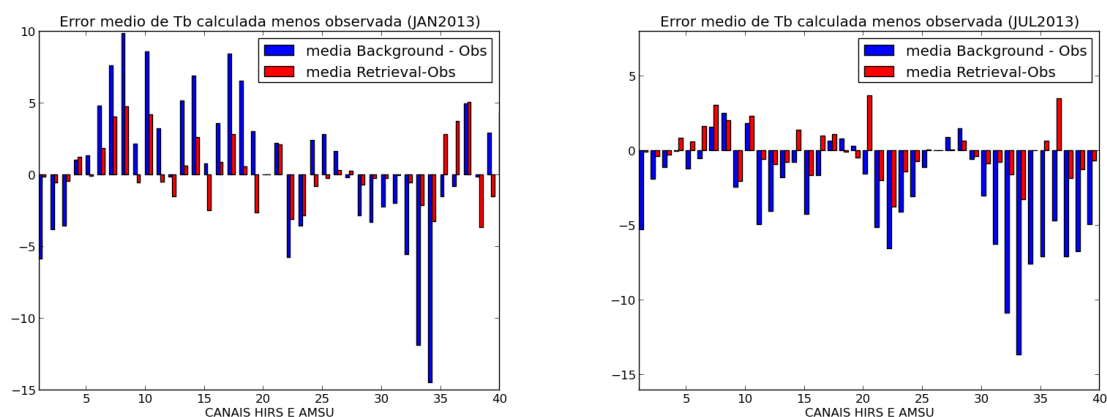


Figura 6: Viés mensal para 40 canais relativo a média observada e medias usando 1-DVAR e background.

mais canais hiper espectrais como é o caso dos satélites NPP-SUOMI, sendo esse é o próximo passo para a assimilação de dados por satélite.

Referências

EUMESAT. *RTTOV v11 resources*. [S.l.], 2013. Site do EUMESAT RTTOV. Disponível em: <<http://research.metoffice.gov.uk/research/interproj/nwpsaf/rtm/rtmv11.html>>. Acesso em: 08 abril. 2013.

EYRE, J. R. *A fast radiative transfer model for satellite sounding systems*. [S.l.], 1991. ECMWF Research Dept. Tech. Memo. Disponível em: <<http://www.ecmwf.int/publications/library/ecpublications/0/tm176.pdf>>. Acesso em: 08 abril. 2013.

EYRE, J. R. et al. Assimilation of TOVS radiance information through one-dimensional variational analysis. v. 119, p. 1427–1463, 1993.

EYRE, J. R.; WOOLF, H. M. Transmittance of atmospheric gases in the microwave region: a fast model. *Applied Optics*, v. 27, p. 3244–3249, 1988.

JUN, L. et al. Global Soundings of the Atmosphere from ATOVS Measurements: The Algorithm and Validation. *Journal of Applied Meteorology*, v. 39, n. 14, p. 1248–1268, 1999.

RODGERS, C. D. Retrieval of atmospheric temperature and composition from remote measurements of thermal radiation. *Rev. Geophys. Space Phys.*, n. 14, p. 609–624, 1976.