



Papel da assimilação de dados de Rádio Ocultação GNSS nos resultados do Local Ensemble Transform Kalman Filter

Autores: Luiz F. Sapucci^(1,2), Fábio L. R. Diniz⁽¹⁾, Carlos F. Bastarz⁽²⁾, Lucas A. Avanço⁽¹⁾

⁽¹⁾DMD-CPTEC/INPE ⁽²⁾PGMET-CPTEC/INPE

1. INTRODUÇÃO

A aplicação do **GNSS - Sistema Global de Navegação por Satélite**, em particular o **GPS - Sistema de Posicionamento Global**, no posicionamento de satélites **LEO - Satélites de Baixa Órbita Terrestre**, permitirão o uso da técnica de rádio ocultação de sinais de radiofrequência para recuperação de perfis atmosféricos (**Figura 1**). Nos últimos anos vários satélites **LEO** dedicados a essa aplicação foram lançados, os quais proporcionam uma boa distribuição espacial de tais perfis (**Figura 2**). O objetivo principal destes satélites é contribuir nas melhorias da previsão numérica de tempo, especialmente sobre regiões polares e oceânicas onde a cobertura de dados é pobre [1]. A assimilação de dados de rádio ocultação **GNSS (ROGNS)** mostrou ser útil para reduzir deficiências no sistema de coleta de dados meteorológicos. Vários centros operacionais mostraram que o uso desta fonte de dados adicional melhora qualidade das previsões.

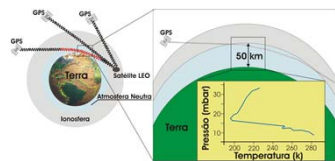


Figura 1 - Esquema ilustrativo do comportamento do sinal quando este atravessa a atmosfera terrestre, no momento em que acontece uma ocultação do satélite LEO (Figura adaptada de [2]).

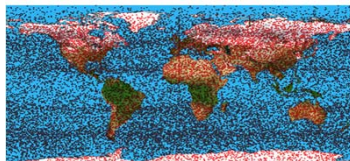


Figura 2 - Distribuição espacial dos perfis mensais de radiocutação GNSS observada durante o mês de setembro de 2011.

Nos últimos anos o **LETKF - Local Ensemble Transform Kalman Filter**, foi acoplado ao Modelo de Circulação Geral Atmosférico do CPTEC (**Figura 3**) e tem sido usado em modo de pesquisa para avaliar seu potencial em aplicações operacionais para previsões de tempo por conjunto e em método híbrido de assimilação de dados (ensemble-variacional). Em geral, dados de **ROGNS** usados em um processo de assimilação são a refratividade e dados de ângulo de curvatura que diferem pelo nível de processamento (**Figura 4**).

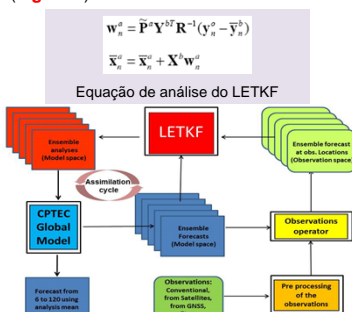


Figura 3 - Esquema ilustrativo do ciclo de assimilação do LETKF acoplado com o modelo AGCM do CPTEC em modo de ensemble.

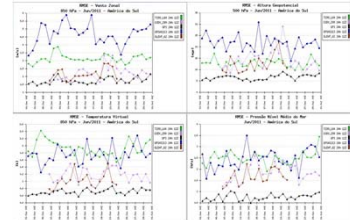


Figura 4 - Valores do RMSE do vento Zonal em 850 hPa, altura geopotencial em 500 hPa, da temperatura virtual em 850 hPa e da pressão ao nível médio do mar para a América do Sul, obtidos pelo modelo GFS (em preto), LETKF (em marrom), GSI-3DVAR (em roxo), modelo do CPTEC com análise do GFS (em verde) e pelo GPSAS (em azul).

OBJETIVO: assimilar dados de refratividade ROGNS usando o LETKF e avaliar seu papel na melhoria da qualidade das previsões do modelo global do CPTEC.

2. METODOLOGIA

O **LETKF** apresenta várias vantagens e sua implementação oferece muitas funcionalidades computacionais desejáveis, como portabilidade (entre modelos, resoluções e máquinas) e eficiência, porque é local e é baseada em ensemble. Consequentemente a paralelização é direta e mais fácil. O modelo estocástico é atualizado em cada passo de assimilação e os **erros do dia** são considerados para produzir a análise final. Uma vantagem adicional e importante fornecida pelo **LETKF** é a implementação direta de sistemas observacionais novos, porque o código de **LETKF** está totalmente baseado em módulos que não requerem modificações extensas do núcleo principal. Para atingir o objetivo proposto um operador completo de dados de rádio ocultação é apresentado aqui (**Figura 5**), no qual partes do **ROPP - Radio Occultation Processing Package**, são usadas para compô-lo. O **ROPP** é um dos produtos principais mantido pelo **GRAS SAF - Global Navigation Satellite System Receiver for Atmospheric Sounding Satellite Application Facility**, da EUMETSAT.

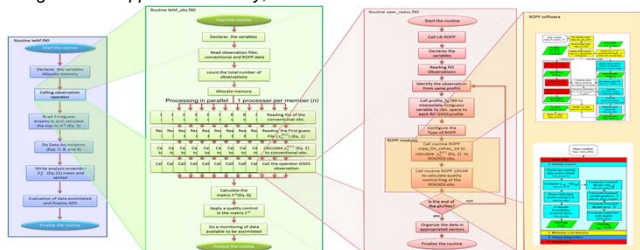


Figura 5 - Fluxograma do operador de observação ROGNS acoplado no LETKF usando os módulos do ROPP.

3. EXPERIMENTO

Um sistema de pré processamento dos dados foi desenvolvido (**Figura 6**), o qual é responsável por preparar os dados para a assimilação. A **Figura 7** mostra o número de perfis assimilados em cada um dos horários em que o processo foi executado. O modelo global do CPTEC (versão T213L42) com resolução de ~60km foi usado. Os dados adicionais usados são os convencionais do **GTS** com observação de ventos da missão **Quikscat**. O período foi setembro a outubro de 2011. Dados de radiancias não foram usados e sim dados de *retrievals* do sensor **AIRS**. O **LETKF** foi executado usando 40 membros.

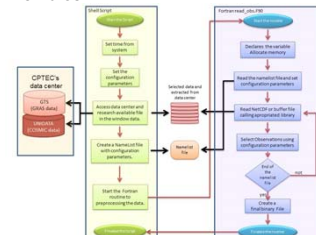


Figura 6 - Processos envolvidos no pré-processamento das observações de ROGNS no CPTEC para a assimilação no LETKF.

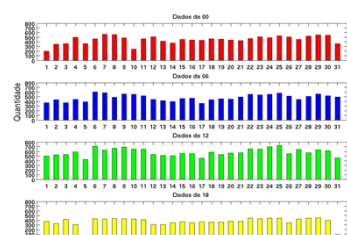


Figura 7 - Número total de perfis de ROGNS para cada dia do mês de janeiro de 2011 para as quatro rodadas diárias do LETKF.

4. RESULTADOS

A **Figura 8** mostra a distribuição espacial do ganho no RMSE da altura geopotencial em 250, 500 e 850 hPa com a inclusão de perfis de **ROGNS**. Os resultados mostram as regiões onde o maior impacto é observado, na qual a América do Sul se destaca. **Figura 9** mostra a correlação de anomalia dos experimentos com e sem a assimilação de refratividade nas diversas variáveis atmosféricas. Na **Figura 10** é apresentado os valores do RMSE dos campos de umidade relativa em 500, 850 e 925 hPa nos quais observa-se impacto significativo com a assimilação dos perfis de refratividade. Uma análise mais detalhada desses resultados pode ser obtida em [3].

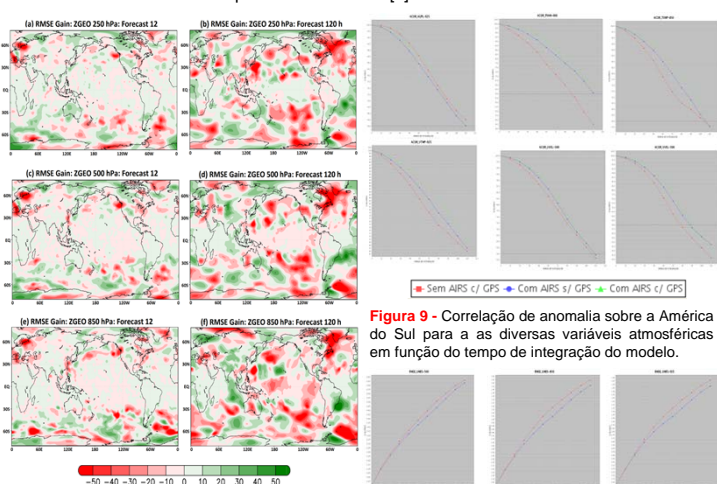


Figura 8 - Distribuição espacial do impacto positivo (verde) e negativo (vermelho) da assimilação da ROGNS no RMS da altura geopotencial em 250, 500 e 850 hPa para 12 e 120 horas de integração do modelo.

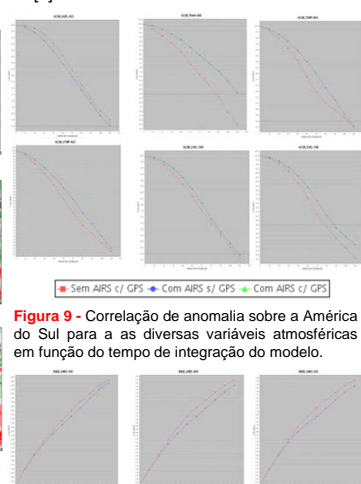


Figura 9 - Correlação de anomalia sobre a América do Sul para as diversas variáveis atmosféricas em função do tempo de integração do modelo.

5. CONCLUSÃO

A inclusão de dados de **ROGNS** no **LETKF** traz benefícios significantes para a melhoria de qualidade da previsão por conjuntos, em especial sobre a América do Sul. O papel desses dados nas variáveis de umidade foi mais significativo e a consequente uma melhoria nas previsões de precipitação deve ser avaliada em um futuro trabalho.

Referências:

- [1] Kursinski, E. R. et al., *Initial Results of Radio Occultation Observations of Earth's Atmosphere using the Global Positioning System (GPS)*. Science. 271(1): 1107-1110, Fevereiro 1996.
- [2] Lee, L.-C.; Rocken, C.; Kursinski, R. *Applications of Constellation: Observing System for Meteorology, Ionosphere & Climate*. Hong Kong: Springer-Verlag. 2000. 384p.
- [3] Sapucci, L. F., F. L. Diniz, C. F. Bastarz, et al. 2014: *Assimilation of GNSS Radio Occultation data Using Local Ensemble Transform Kalman Filter*. Submitted to Meteorological Applications. Outubro, 2014.

Agradecimentos: