

Evolução do GNSS Meteorologia no Brasil Beneficiando a Previsão Numérica de Tempo sobre a América do Sul

Luiz F. Sapucci¹, João F. Galera Monico², David K. Adams³, Guilherme Poleszuk S. Rosa²,
Derek V. Schubert¹, Icaro Vitorelo⁴.

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, CPTEC. Rodovia Presidente Dutra, Km. 40, Cachoeira Paulista - SP, Brasil. luiz.sapucci;derek.schubert@cptec.inpe.br.

²Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT, Presidente Prudente-SP, Brasil. galera@fct.unesp.br; gpoleszuk@gmail.com.

³Universidade do Estado do Amazonas – UEA e Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia - INPA, Manaus – AM, Brasil. dave.k.adams@gmail.com.

⁴Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Divisão de Geofísica Espacial - DGE. Av. dos Astronautas, 1758. São José dos Campos - SP, Brasil. icaro@dge.inpe.br

ABSTRACT: GNSS (Global Navigation Satellite System) is composed by all global navigation satellite systems available nowadays. The GNSS observables collected by ground-based receiver can be applied in several fields of research, among them GNSS Meteorology. With the developments of research projects that aim to investigate the potential of this research stream in the Numerical Weather Prediction (NWP), densification and improvements of the GNSS network available in Brazil will be implemented. The final configuration of the Brazilian GNSS network will be composed of about 163 receivers. Among other potential applications, the principal aim of GNSS Meteorology is the assimilation of such data in NWP models, specifically for Brazilian models at CPTEC/INPE. The aim of this paper is to discuss the potential benefits to the CPTEC/INPE NWP model with the evolution of the GNSS Meteorology in Brazil. The GNSS network resulting from the densification projects in Brazil will be the largest one in the South Hemisphere and will provide great potential to the monitoring of IWV (Integrated Water Vapor). CPTEC/INPE will be responsible for the operational integration of all products of meteorological/climatological interest generated in this process, which will be stored and made available to all interested users.

Palavras-chave: GNSS Meteorologia, Assimilação de dados, água precipitável, GPS.

1 – INTRODUÇÃO

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS - *Global Navigation Satellite System*) engloba os diversos sistemas de posicionamento por satélites existentes atualmente (Monico, 2008). Eles envolvem o Norte Americano, denominado GPS (*Global Positioning System*), o sistema russo, denominado GLONASS (*Global Navigation Satellite System*), o da União Européia, denominado Galileo, e o Chinês, denominado Compass. Os dois últimos ainda estão em fase de implantação. Como a atmosfera terrestre influencia a propagação dos sinais entre os satélites GNSS e os receptores, um atraso no tempo de propagação é gerado. A determinação desse atraso pode ser obtida com um apropriado processamento dos dados GNSS (Monico, 2008) e os mesmos podem ser convertidos no índice de refatividade atmosférica. Esse índice, por sua vez, pode ser convertido em medidas atmosféricas de importância para a Meteorologia (Sapucci et al. 2007). A partir dos dados dos receptores instalados em bases terrestres obtêm-se o valor do atraso projetado na direção zenital, e a partir deste, obtêm-se valores do conteúdo de vapor d'água integrado na coluna atmosférica com boa precisão e alta resolução temporal (Sapucci et al, 2007). Outra opção é o caso em que os receptores GNSS estão embarcados em bases espaciais, aplicados inicialmente para posicionamento de satélites LEO (*Low Earth Orbit*). Nesses casos, através da técnica

conhecida como rádio ocultação, obtém-se perfis do índice de refração que podem ser convertidos em perfis de temperatura e umidade. Ambas as técnicas fornecem informações do estado da atmosfera de importância para a Meteorologia, pois amenizam o impacto da deficiência da rede de estações observacionais convencionais. As aplicações das observações GNSS no monitoramento das variáveis atmosféricas de interesse para as ciências meteorológicas compõem um grupo de pesquisa denominado “GNSS Meteorologia”. Tais aplicações têm sido bastante exploradas em diversos países e os benefícios tem sido considerados expressivos mesmo em áreas onde há abundância de dados convencionais (Smith et al, 2007).

Embora a rede brasileira de coleta de dados convencionais tem se expandido significativamente nos últimos anos, ainda há áreas não observadas adequadamente devido à extensa área que compõem o território brasileiro. A existência de áreas desprovida de dados meteorológicos pode ser generalizada para todos os países da América do Sul, sem gerar inconsistência. Em consequência disso, nessa região do globo o desenvolvimento do GNSS Meteorologia em bases terrestres passa a ter especial importância, pois com poucos investimentos é possível adequar as redes de receptores já existentes para fins geodésicos para o monitoramento do vapor d’água atmosférico. Atentos a esse aspecto importante, diversos projetos que visam investigar o potencial operacional dessa linha de pesquisa sobre o território brasileiro tem sido incentivados pelas principais agências brasileiras de fomento à pesquisa. Exemplos disso são: o projeto temático financiado pela Fapesp intitulado “GNSS: investigações e aplicações no posicionamento geodésico, em estudos relacionados com a atmosfera e na agricultura de precisão” (Monico, 2006) (nesse trabalho identificado como Temático GNSS-SP) e o projeto denominado SIPEG, cujo título é “Sistema Integrado de Posicionamento GNSS para Estudos Geodinâmicos” (Vitarello, 2008) e conta com recursos provenientes de um Instrumento Contratual da Rede Temática de Estudos Geotectônicos CT-PETRO (PETROBRAS) e o INPE. Em ambos os projetos, a linha de pesquisa GNSS Meteorologia faz parte dos subgrupos de pesquisas que visam aplicações das redes GNSS para as aplicações em Meteorologia e Climatologia. Além de outras aplicações, o ponto principal do GNSS Meteorologia é a assimilação desses dados nos modelos de Previsão Numérica de Tempo (PNT). Nessa atividade, esses projetos contam com o envolvimento de pesquisadores do Grupo de Desenvolvimento em Assimilação de Dados (GDAD) do CPTEC/INPE o qual tem com meta melhorar o desempenho dos modelos de PNT ao gerar condições iniciais mais apropriadas para essa tarefa, considerando as imperfeições existentes na modelagem. O presente trabalho tem por principal objetivo apresentar os benefícios em potencial à PNT obtidos com a evolução do GNSS Meteorologia, com ênfase para a melhoria das previsões sobre a América do Sul. Para isso, na próxima seção são apresentados alguns detalhes mais significativos dos projetos mencionados acima, bem como suas respectivas densificações na rede de receptores GNSS sobre o território brasileiro. Na seção três são descritas as aplicações em potencial do GNSS Meteorologia para a PNT. Na seção 4 são apresentadas as considerações finais e perspectivas futuras para essa frente de pesquisa no Brasil e na América do Sul.

2 – STATUS ATUAL DA REDE DE RECEPTORES GNSS NO BRASIL E AS DENSIFICAÇÕES EM ANDAMENTO

A primeira e, portanto, a mais importante rede de receptores em operação no Brasil é a denominada RBMC, que é o acrônimo de Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos sinais GPS, a qual é administrada e mantida pela Divisão de Geodésia do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (para mais detalhes acesse: <http://www1.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm>). Essa rede está em funcionamento desde dezembro de 1996. Nos últimos anos ela passou por uma significativa densificação ao ser integrada com a

rede mantida pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). Inicialmente com apenas 9 estações, a RBMC conta hoje com um total de 67.

O projeto temático GNSS-SP é liderado por pesquisadores da UNESP de Presidente Prudente e objetiva implantar uma rede que densificará significativamente a rede de receptores sobre o estado de São Paulo, de forma que a aproximadamente 200 km existirá uma estação operando continuamente. Embora apenas 7 receptores estejam sendo adquiridos com os recursos desse projeto, o número final de receptores que irá compor essa rede será de 18, nos quais estão incluídos os 7 da RBMC localizados sobre o estado de São Paulo e outros 4 receptores adquiridos em projetos recentes em colaboração com outras instituições (mais detalhe sobre o projeto acesse: <http://gege.fct.unesp.br>).

O projeto SIPEG é liderado por pesquisadores da Divisão de Geofísica Espacial do INPE e visa implantar um sistema integrado para monitorar, processar, armazenar e distribuir dados GNSS bem como seus subprodutos de estações permanentes em um longo período de tempo de forma contínua e ininterrupta. Ele tem abrangência nacional e um total de 85 novos sistemas de coleta estão sendo adquiridos. Os equipamentos estão em fase de importação e o processo de integração de um protótipo para testes em laboratório está sendo desenvolvido. Pretende-se escolher os locais para a implantação das estações de forma que se crie uma rede uniforme sobre todo o território brasileiro. O grande desafio desse projeto é a instalação desses sistemas em áreas remotas como na região amazônica e em ilhas do oceano Atlântico.

Para a aplicação dos receptores dessa rede na PNT a exigência é que a coleta dos dados seja em tempo quase real e para que se tenham valores do IWV de melhor qualidade é necessário que medidas de temperatura, pressão e umidade sejam coletadas continuamente junto a antena GNSS. No caso da RBMC o número de estações com coleta quase em tempo real é de 26 e apenas 2 dessas estações estão equipadas com sensores meteorológicos. Já as densificações feitas tanto no projeto SIPEG como no GNSS-SP esses dois pré-requisitos serão atendidos. A figura 1 mostra o status da rede atualmente em operação e as densificações futuras depois de finalizados os projetos citados acima. A distribuição espacial dos receptores da rede mostrada nessa figura permite vislumbrar as aplicações em potencial para o monitoramento do vapor d'água sobre o território brasileiro com impacto significativo na PNT sobre toda a América do Sul.

3 – POTENCIALIDADES DA REDE GNSS NO BRASIL PARA A PNT

Do ponto de vista da Previsão numérica de Tempo as potencialidades dessa rede são:

- **Assimilação de dados:** Inquestionavelmente o maior potencial das medidas de umidade provenientes dessa rede sobre o Brasil é na assimilação de dados, pois comprovadamente a qualidade é semelhante aos valores integrados medidos por radiossondas (Sapucci et al, 2007) e com a resolução temporal de 30 minutos, em todas as rodadas da assimilação os valores da rede estarão disponíveis. Experimentos anteriores realizados na assimilação de dados operacional do CPTEC, utilizando valores do IWV provenientes de satélites, mostraram que a inclusão do IWV apresenta impactos positivos na correção dos perfis de umidade previstos pelo modelo (Sapucci et al, 2010). Com a operacionalização do LETKF (*Local Ensemble Transform Kalman Filter*), a qual se encontra em curso no CPTEC, o potencial dessa rede será mais bem aproveitado, pois como se trata de um sistema 4Dvar, todas as medidas com intervalo de uma hora serão assimiladas;
- **Integração com outras medidas de umidade:** Aproveitando a boa qualidade das medidas de IWV obtidas nessa rede, tais valores poderão ser utilizados como ponto de controle de qualidade de outras fontes de informações de umidade sobre a América do Sul. Um caso especial são os satélites sondadores de umidade que devido a problemas momentâneos podem gerar medidas errôneas e serem indevidamente assimiladas. Uma outra aplicação é a utilização dessa rede para a calibração de novos instrumentos ou técnicas.



Figura 1 – Configuração da rede GNSS no Brasil depois das densificações em andamento.

- **Avaliação de modelos:** Na previsão de tempo um fator importante é a adequada avaliação dos resultados obtidos nesse processo, a qual revela a confiabilidade das previsões e gera subsídios aos desenvolvedores para possíveis correções e aperfeiçoamento. Associado a isso, há dois pontos importantes: o desenvolvimento de ferramentas apropriadas para essa tarefa e observações com qualidade e disponibilidade. Com relação ao primeiro item, no GDAD está em desenvolvimento um software de avaliação que visa contribuir com o tema. Com relação ao segundo ponto, os valores do IWV disponíveis na rede GNSS, aplicados no software de avaliação do GDAD, podem contribuir na avaliação da PNT no que diz respeito aos valores de umidade sobre a América do Sul.
- **Melhoria das parametrizações físicas na modelagem:** Com medidas de umidade mais precisas e com boa disponibilidade temporal é possível avaliar adequadamente os esquemas de parametrização física dos modelos de PNT, e assim possibilitar que avanços nessa importante área sejam obtidos sobre a América do Sul. Especial atenção nesse aspecto deve ser dada para a Região Amazônica onde tais processos são deficitários. Os valores do IWV provenientes da rede GNSS podem contribuir ao tema, se considerara sua boa cobertura sobre a região Amazônica.

4 – COMENTÁRIOS FINAIS

Durante a fase de implantação das 85 estações previstas no projeto SIPEG, está em fase de planejamento que 25 receptores dessa rede sejam temporariamente instalados na região de Manaus-AM, de tal forma que uma rede densa (distância de 20 km entre receptores) seja configurada. Esse projeto é liderado por pesquisadores da Universidade Estadual do Amazonas e o objetivo é investigar o comportamento do IWV durante a formação e evolução de processos convectivos (Adams et al, 2010). Nessa rede todos os itens listados acima serão

aplicados em fase experimental. Essa configuração visa evidenciar os benefícios obtidos com uma rede densa, o que viabilizará a implantação definitiva de uma rede similar, a qual se encontra em fase de projeto (David Adams, 2010, comunicação pessoal).

A rede GNSS gerada por essas densificações será a maior do Hemisfério Sul e disponibilizará aos usuários dessa região o máximo potencial obtido com essa tecnologia, quer seja no desenvolvimento de algoritmos e metodologias, quer seja em aplicações específicas, como no monitoramento do vapor d'água atmosférico. Durante esse processo de execução dos projetos, os dados encontram-se disponíveis para pesquisas internas dos grupos envolvidos e seus responsáveis têm estado abertos para novas cooperações visando diferentes aplicações, com o objetivo de abrir o leque de possibilidades. O CPTEC/INPE será o responsável por integrar operacionalmente todos os produtos de interesse à Meteorologia e Climatologia gerados no processamento dos dados coletados nessa rede, os quais serão armazenados e estarão à disposição de todos os usuários interessados.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DAVID ADAMS, et al. A Dense GNSS Meteorological Network for Observing Deep Convection in the Amazon. In submission to Atmospheric Science Letters, May, 2010.

MONICO, J. F. G. GNSS: investigações e aplicações no posicionamento geodésico, em estudos relacionados com a atmosfera e na agricultura de precisão. Projeto FAPESP na modalidade temático. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, SP. 2006.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. 2.ed. São Paulo: UNESP, 2008. 476p.

SAPUCCI, L. F.; MACHADO, L. A. T.; MONICO, J. F. G.; PLANA-FATTORI, A. Intercomparison of Integrated Water Vapor Estimative from multi-sensor in Amazonian Regions. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, v. 24, p. 1880-1894, 2007.

SAPUCCI, L. F. et al. Os últimos avanços na previsibilidade dos campos de umidade no sistema global de assimilação de dados e previsão numérica de tempo do CPTEC/INPE. Revista Brasileira de Meteorologia (no prelo), 2010.

SMITH, T. L.; BENJAMIM, S. G.; GUTMAN, S. I.; SAHM, S. Short-Range Forecast Impact from Assimilation of GPS-IPW Observations into the Rapid Update Cycle. Monthly Weather Review, Vol. 135, N.8, pp. 2914-2930, 2007.

VITORELLO, ÍCARO. Sistema Integrado de Posicionamento GNSS para Estudos Geodinâmicos. Projeto aprovado e em andamento com recursos da PETROBRAS. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT. São José dos Campos. 2008.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo FAPESP (Processo número: 2006/04008-2) e ao Instrumento Contratual da Rede Temática de Estudos Geotectônicos CT-PETRO (PETROBRAS) e INPE (processo número 4600289299) pelo apoio financeiro a essa pesquisa.