



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Avaliação e Comparação de Longo Prazo da Simulação Ionosférica do INPE com Modelos Ionosféricos e Dados Observacionais

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/INPE/CNPq)

Gabriel Sandim Falcão (Universidade Federal de Santa Maria, Bolsista PIBIC/CNPq)

E-mail: gsfalcao09@gmail.com

Adriano Petry (Tecnologista do INPE, Orientador)

E-mail: adriano.petry@inpe.br

Julho de 2019



SUMÁRIO

| | Pág. |
|--|------|
| 1. Lista de Ilustrações..... | 3 |
| 2. Lista de Símbolos e Abreviaturas..... | 4 |
| 3. Resumo..... | 5 |
| 4. Introdução..... | 6 |
| 5. Objetivos do Trabalho..... | 7 |
| 6. Fundamentação Teórica..... | 8 |
| 7. Materiais e Métodos Utilizados..... | 9 |
| 8. Análise e Resultados..... | 11 |
| 9. Conclusões..... | 13 |
| 10. Referências Bibliográficas..... | 14 |



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | Pág. |
|---|------|
| Figura 1: As duas classificações de TEC: STEC (Ns) e VTEC (Nv)..... | 6 |
| Figura 2: Mapas de TEC do INPE (A), de estações terrestres GNSS (B) e do IGS (B)... | 8 |
| Figura 3: Cluster Desenvolvimento..... | 9 |
| Figura 4: Cluster Operacional..... | 10 |
| Figura 5: Mapa de TEC gerado pelo SUPIM-DAVS..... | 11 |

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

DAVS – Data Assimilation and Visualization System

DLR–Centro Aeroespacial Alemão ou Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

eI/m² – Elétrons por Metro Quadrado

GNSS – Sistema Global de Navegação de Satélites Global Navigation Satellite System

GPS – Global Positioning System

IGS – International GNSS Service

IONEX – Ionosphere Exchange

RINEX - Receiver Independent Exchange

SIP – Solar Irradiance Platform

STEC – Slant Total Electron Content

SUPIM – Sheffield University Plasmasphere Ionosphere Model

TEC – Total Electron Content

VTEC – Vertical Total Electron Content

RESUMO

Além de manutenção dos da base de dados de previsões do comportamento da ionosfera, principal fonte de dados para a pesquisa, a comparação entre os dados previstos pelo modelo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, qu utiliza como base o Sheffield University Plasmasphere Ionosphere Model, dados observacionais de estações do Global Navigation Satellite System e previsões do modelo utilizado pelo International GNSS Service e além disso, foi finalizado mas ainda não publicado, uma comparação com o modelo utilizado pelo Centro Aeroespacial Alemão. As previsões são efetuadas através de diferentes métodos mas todas com o objetivo de prever o nível de intensidade do conteúdo total de elétrons sobre uma determinada área. Nosso modelo é um modelo físico, fazendo previsões de concentração eletrônica em vários pontos que depois são unificados para que o sistema de visualização e assimilação de dados realize um somatório das concentrações, obtendo o conteúdo eletrônico total, enquanto os outros modelos fazem uso de dados observacionais em suas previsões.

1. Introdução

Com a crescente quantidade de satélites dos dias atuais, prever o comportamento ionosférico com dados de alta confiabilidade e um modelo bem estabelecido torna-se imprescindível para que se conheça fontes de interferência em sinais que passam pela ionosfera e são afetados por possíveis anomalias. As simulações efetuadas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) são feitas com o foco na visualização de incidência do conteúdo total de elétrons, ou total electron content (TEC), um importante fator descritivo da ionosfera que de acordo com seus níveis pode causar grandes interferências nos sinais que passam pela mesma. Uma unidade de TEC é definida como $TECU=10^{16}el/m^2$ (B. Hofmann-Wellenhof; H. Lichtenegger & J. Collins (2001)). O TEC pode ser classificado como Slant TEC (STEC) ou Vertical TEC (VTEC), dependendo de como é feita sua análise, ambos os tipos são o somatório da concentração de elétrons entre satélites e Global Positioning Systems (GPS) ao longo de um caminho inclinado (Slant) ou ao longo de um caminho vertical. O model do INPE, o Sheffield University Plasmasphere Ionosphere Model (SUPIM), é um modelo físico prevendo o comportamento ionosférico através de equações físicas e químicas sem qualquer dado observacional (dados de estações, por exemplo) que influencia sua previsão. O único parâmetro levado em consideração pelo SUPIM são os dados de fluxo solar obtidos da SIP (Solar Irradiance Platform). Os mapas são gerados pelo SUPIM-DAVS, um sistema capaz de interpolar os dados gerados pelo SUPIM (previsões de concentração de elétrons em diversos pontos), e quando finalizado, o Data Assimilation and Visualization System (DAVS) faz sua parte realizando um somatório das concentrações previstas para que o TEC seja calculado, determinando assim a incidência de TEC sobre as coordenadas desejadas (Petry, A., et al. (2014)).

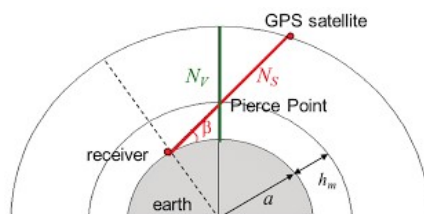


Figura 1. As duas classificações de TEC: STEC (N_s) e VTEC (N_v). Fonte:

<https://hal.sorbonne-universite.fr/hal-01504845/document>

2. Objetivos do Trabalho

Os objetivos definidos para a pesquisa foram o estudo e busca de arquivos Ionosphere Exchange (IONEX) e Receiver Independent Exchange (RINEX), a atualização constante da base de dados do INPE referente a simulações ionosféricas e verificação da integridade de simulações mais antigas constante devido a sua grande importancia. Além um estudo da linguagem R e do ambiente Rstudio para o desenvolvimento de um sistema de comparação das previsões do comportamento ionosférico entre as simulações do INPE e outros modelos.

3. Fundamentação Teórica

A operação do SUPIM-DAVS, ferramenta essencial para a pesquisa, é necessária a compreensão de seu manual (Puntel et al. 2015), o demonstra com clareza como o sistema deve ser utilizado, como por exemplo, como definir latitudes e longitudes e também dia, mês e ano para uma simulação, definido assim a área do mapa final assim como seu dia. Para a realização de futuras alterações e entendimento do seu funcionamento, é necessário uma compreensão do código do SUPIM, para que problemas possam ser isolados e resolvidos. Com o foco na finalização de alguns artigos que estão a ser publicados, um estudo do modelo International GNSS Service (IGS), foi feito para que pudessemos entender as principais diferenças entre esse modelo e o SUPIM. Sendo dois modelos diferentes, principalmente no fato do modelo IGS utilizar dados observacionais em suas previsões, notamos outros pontos de divergência entre modelos. A geração de mapas pelo IGS se dá através de uma análise de vários mapas que são combinados e uma média é obtida para uma comparação com TEC de sondas de dupla frequência e validação final (Hernández-Pajares, et al. (2009)). Os mapas do IGS também possuem uma resolução diferente comparado aos do INPE, com um intervalo entre mapas de duas horas e uma resolução de 2° de variação para longitude e 5° de variação para latitude (Hernández-Pajares, et al. (2009)). Na figura abaixo podemos ver as diferenças entre os diferentes mapas gerados por diferentes modelos e um mapa com dados de estações.

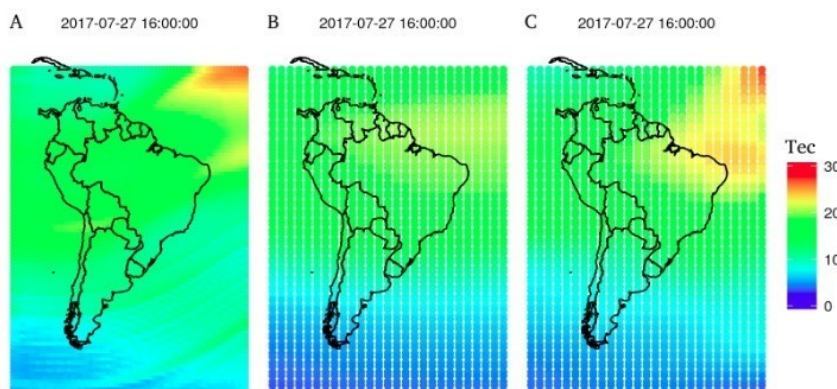


Figura 2. Mapas de TEC do INPE (A), de estações terrestres GNSS (B) e do IGS (C)

4. Materiais e Métodos Utilizados

Durante a pesquisa foram utilizados os dois clusters do Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais do INPE: o cluster de Desenvolvimento, que é utilizado para testar alterações feitas e é composto atualmente por 9 nós (computadores) mas atualmente dois estão desativados por problemas técnicos, e o cluster Operacional, que é maior, e é onde ficam os principais arquivos e onde fica a versão atual do SUPIM-DAVS e é composto por 29 nós.

As especificações de cada cluster são diferentes, com o de Desenvolvimento possuindo nós com processadores AMD Opteron 254 e Intel Xeon E-5-2609 e possuem uma memória com capacidade em torno dos 850 gigabytes. Já o Operacional possui alguns nós com as mesmas configurações do Desenvolvimento também possui nós com processadores Intel Xeon X5670 e Intel Xeon E5630 e uma memória em torno de 2 terabytes, além de ser mais novo e mais capacitado do que o Desenvolvimento.



Figura 3. Cluster Desenvolvimento

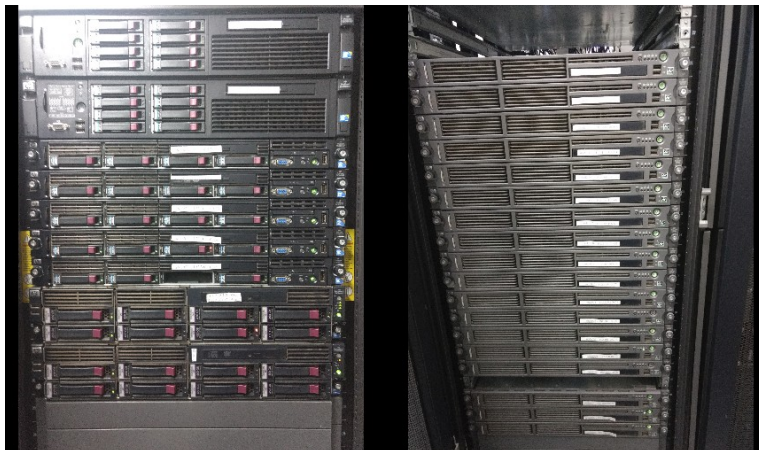


Figura 4. Cluster Operacional

5. Análises e Resultados

Com a atualização da base de dados bem encaminhada e as simulações diárias sendo feitas sem maiores problemas, que em grande parte foram devido a queda de energia no Centro Regional Sul (CRS), usamos nosso tempo para iniciarmos e conseqüentemente submeter artigos relacionados ao nosso projeto. Em relação aos mapas globais, hoje possuímos uma quantidade razoável de dados mas que será continuamente acrescida de simulações para que tenhamos dados suficientes para trabalhos num escopo maior do que somente a América do Sul fazendo com que se tenha uma ideia ainda melhor do desempenho do SUPIM quando comparado com outros modelos já que a área utilizada atualmente para análise torna-se muito específica e devido à utilização de dados observacionais de estações por outros modelos, os resultados ficam limitados pela quantidade de estações localizadas na América do Sul.

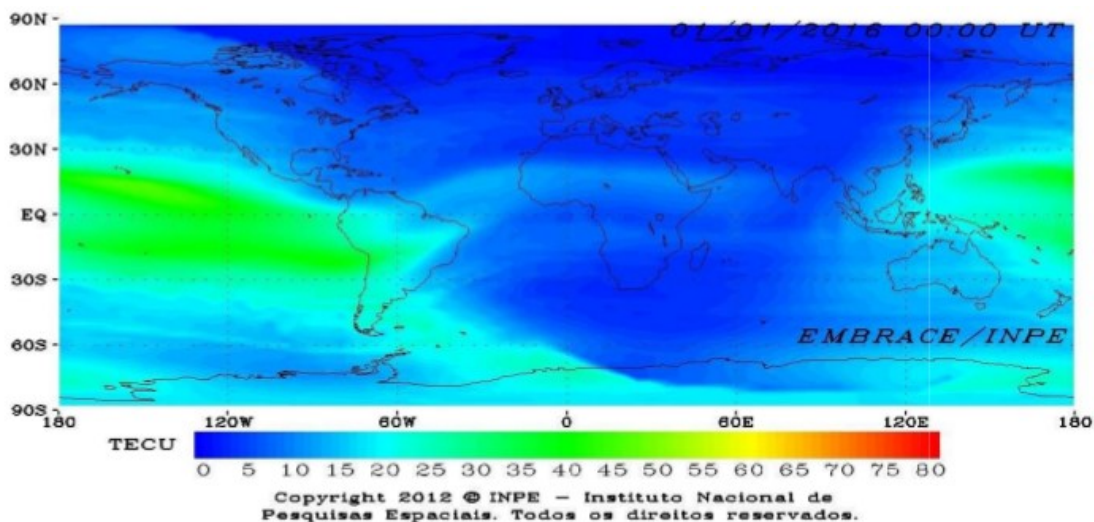


Figura 5. Mapa de TEC gerado pelo SUPIM-DAVS

Também foi realizado uma participação ao evento VII Simpósio Brasileiro de Geofísica Espacial e Aeronomia, evento que teve participações de pesquisadores estrangeiros e de outros estados brasileiros e que serviu também para um fortalecimento da relação do INPE com o Centro Aeroespacial Alemão (DLR), que enviou dois pesquisadores e proporcionou

uma excelente troca de ideias e experiências. Além disso palestras foram assistidas e foi feita a apresentação de um banner no evento, ocorrido no final de 2018 no INPE-CRS.

O trabalho apresentado foi intitulado Atualização e Expansão de Base de Dados para Simulações Ionosféricas, demonstrando os mapas de TEC do INPE e como são gerados, tanto da América do Sul quanto globais e também os arquivos IONEX gerados junto aos mapas por cada simulação. Atualmente o nosso foco tem sido na finalização de artigos em andamento para possamos dar o próximo passo na pesquisa, inclusive um artigo em parceria com os pesquisadores do DLR está muito bem encaminhado e num futuro próximo será publicado.

6. Conclusões

Como dito anteriormente a importância da previsão do clima espacial aumenta cada vez mais devido a crescente quantidade de sinais que percorrem a ionosfera. Sendo assim, causadores de interferência nas transmissões GPS que chegam à Terra poderão ser mais facilmente identificados através da previsão da incidência de TEC. A partir das comparações feitas com mapas da América do Sul podemos ter uma ideia razoável do desempenho do SUPIM, mas para que tenhamos ainda mais certeza de seu bom desempenho uma comparação de mapas globais se torna essencial.

7.Referências Bibliográficas

PETRY, A.; SOUZA, J. R.; VELHO, H. F. C.; PEREIRA, A. G.; BAILEY, G. J. First results of operational ionospheric dynamics prediction for the Brazilian Space Weather program. *Advances in Space Research*, v. 54, n. 1, p. 22-36, 2014.

DOI:<10.1016/j.asr.2014.03.017>. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2014.03.017>>.

Hernández-Pajares, et al. (2009). The IGS VTEC maps: a reliable source of ionospheric information since 1998. *J Geod* (2009) 83:263-275, DOI:<10.1007/s00190

Hofmann-Wellenhof; H. Lichtenegger & J. Collins (2001). *Global Positioning System: Theory and Practice*. New York: Springer

PUNTEL, F. E.; PETRY, A.; SOUZA, J. R.; CAMPOS VELHO, H. F. Sistema para previsão operacional da dinâmica da ionosfera baseado no Modelo SUPIM v2.

São José dos Campos: INPE, 2015. 34 p. IBI:

<8JMKD3MGP3W34P/3HFHJTB>. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2014/11.27.16.27-MAN). Disponível em:<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3HFHJTB>>.