

## 1 INTRODUÇÃO

- A ionosfera é uma das maiores fontes de erro no posicionamento GPS, afetando principalmente a componente vertical.
- A radiação solar eletromagnética, principalmente na faixa espectral do extremo ultravioleta (EUV) e dos raios X, produz uma grande quantidade de íons e elétrons livres, formando a ionosfera.
- O erro associado à ionosfera nas observáveis do GPS é proporcional ao conteúdo total de elétrons (TEC – *Total Electron Content*) presente na trajetória do sinal entre o satélite e a antena receptora.
- A ionosfera depende do nível de atividade solar, e por consequência também o erro no posicionamento com GPS. A fim de se fornecer informações sobre a atividade solar foram criados índices, tais como o índice de manchas solares (SSN) e fluxo solar (F10.7 cm).

## 2 OBJETIVO

- Analisar a correlação existente entre o erro na componente vertical obtido pelo posicionamento por ponto com GPS (somente L1) e os índices solares (SSN e F10.7 cm) e ionosférico (VTEC), considerando um período de 2002 até 2008.

## 3 CONJUNTO DE DADOS

### 3.1 ÍNDICES SOLARES

- O SSN, também conhecido como número de Zurich (Rz), é definido como:  
 $Rz = k (f + 10 g)$ , onde  $f$  é o número de manchas solares individuais visíveis sobre o disco solar,  $g$  é o número de grupos de manchas solares e  $k$  é uma constante de normalização para um observador particular (ECHER et al., 2003). O SSN utilizado nesse estudo provém da média mensal do número de manchas solares, e pode ser obtido no seguinte endereço eletrônico: <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/SOLAR/ftpsolarradio.html>.
- O fluxo solar F10.7 cm tem correlação com o fluxo solar no EUV (principal responsável pela produção de elétrons livres). Esse índice é medido pela varredura do disco solar no comprimento de onda 2800 MHz usando uma antena capaz de mapear as posições das regiões ativas (PERRONE e DE FRANCESCHI, 1998). Pode ser obtido em: <http://sidc.oma.be/sunspot-data/>.

### 3.2 VTEC

- Para o estudo do comportamento do TEC na região brasileira foram utilizadas as grades de valores de VTEC (TEC na direção vertical) dos mapas globais da ionosfera disponibilizados gratuitamente pelo *International GNSS Service* (IGS) em arquivos no formato IONEX (IONosphere map Exchange format).
- Os valores de VTEC foram extraídos referentes a posição de cada estação GPS. Com esses valores gerou-se um gráfico representando a série temporal de valores médios mensais de VTEC para a posição referente às cinco estações (A figura 3 mostra a série para POAL).

### 3.3 DADOS GPS

- Foram utilizados dados GPS das estações pertencentes a RBMC: POAL (RS), SMAR (RS), PARA (PR), VICO (MG) e IMPZ (MA).

## 4 POSICIONAMENTO POR PONTO GPS

- O processamento dos dados GPS (somente L1) das cinco estações foi realizado no site da NRCAN de forma on-line, obtendo-se para cada dia os valores estimados para as coordenadas cartesianas X, Y e Z das estações para o período de 2002 até 2008. Não foi usado modelo para correção da ionosfera, visando evidenciar a influência da ionosfera nos resultados.
- As coordenadas obtidas foram transformadas em coordenadas geodésicas locais. A componente vertical estimada foi comparada com a conhecida das estações, gerando uma série temporal do erro vertical de 2002 à 2008.

## 6 RESULTADOS

- As figuras 1 e 2 mostram as séries temporais referentes aos valores médios mensais de SSN e F10.7 cm de 2002 até 2008, caracterizando a atividade solar no período. A Figura 3 mostra a série temporal de VTEC médio mensal para a estação POAL (salienta-se que séries de VTEC foram também produzidas para as outras estações).
- A figura 4 apresenta a série temporal dos valores de erro na componente vertical (médias mensais) para o posicionamento por ponto realizado para a estação POAL (salienta-se que séries de erro vertical também foram produzidas para as outras estações).

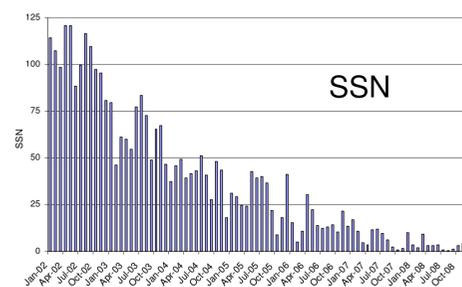


Figura 1. Série temporal de SSN

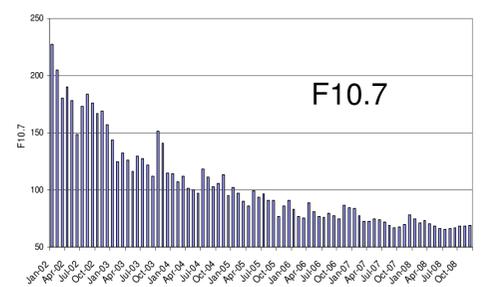


Figura 2. Série temporal de F10.7 cm

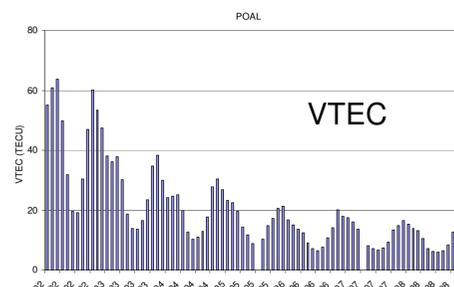


Figura 3. Série temporal de VTEC para POAL

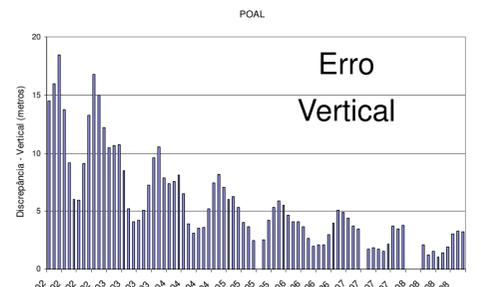


Figura 4. Série temporal de Erro Vertical para POAL

- Regressão Linear:** As figuras 5, 6 e 7 mostram os gráficos de dispersão e a reta ajustada entre os valores de erro vertical (POAL) e VTEC, SSN e F10.7 cm.

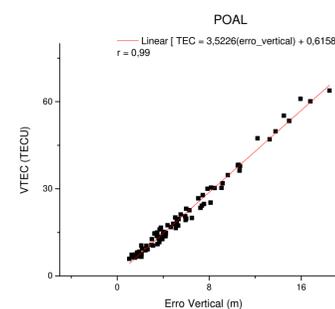


Figura 5. Gráfico de dispersão (Erro Vertical e VTEC)

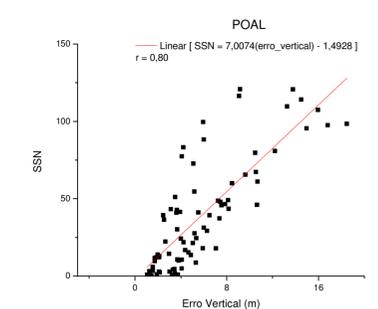


Figura 6. Gráfico de dispersão (Erro Vertical e SSN)

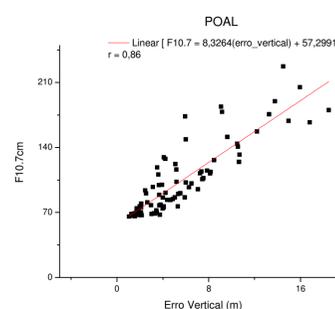


Figura 7. Gráfico de dispersão (Erro Vertical e F10.7 cm)

Tabela 1. Parâmetros da reta ajustada (a, b) e coeficientes de correlação (r)

| Estação | Erro Vertical X SSN |          |      | Erro Vertical X F10,7 cm |         |      | Erro Vertical X VTEC |        |      |
|---------|---------------------|----------|------|--------------------------|---------|------|----------------------|--------|------|
|         | a                   | b        | r    | a                        | b       | r    | a                    | b      | r    |
| IMPZ    | 7.668               | -18.0616 | 0.87 | 8.7484                   | 40.389  | 0.91 | 3.7179               | 1.4303 | 0.99 |
| SMAR    | 5.7367              | 2.159    | 0.74 | 7.2736                   | 60.2449 | 0.84 | 3.0086               | 2.8481 | 0.96 |
| PARA    | 6.8283              | -5.7388  | 0.83 | 7.9658                   | 53.4829 | 0.88 | 3.6342               | 1.062  | 0.99 |
| POAL    | 7.0074              | -1.4928  | 0.8  | 8.3264                   | 57.2991 | 0.86 | 3.5226               | 0.6158 | 0.99 |
| VICO    | 6.976               | -8.0281  | 0.81 | 8.1108                   | 50.9642 | 0.87 | 3.8065               | 0.6312 | 0.99 |

## 7 ANÁLISES E CONCLUSÕES

- Nas figuras 1 e 2 se verifica a diminuição da atividade solar desde o período de 2002 até 2008.
- Analisando a figura 4 pode-se verificar uma variação semi-anual do erro no posicionamento, com maiores valores nos solstícios de verão e equinócios. Também verifica-se uma diminuição do erro quando comparado período de alta atividade solar (2002) e baixa atividade solar, o que também se observa na série temporal do VTEC (figura 3).
- A partir das figuras 5, 6 e 7 e tabela 1 pode-se concluir que a atividade solar possui alta correlação com o posicionamento GPS na componente vertical, obtendo-se coeficientes de correlação linear superiores à 0,8 na maioria dos casos.

### REFERÊNCIAS

- ECHER, E. et al. O número de manchas solares, índice da atividade do Sol. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.25, n. 2, 2003.  
PERRONE, L.; DE FRANCESCHI, G. Solar, ionospheric and geomagnetic indices. Annali di Geofisica, v. 41, N. 5-6, November-December 1998.