

**IMPACTO DA TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA NA
IONOSFERA, NO POSICIONAMENTO COM GNSS E NO
GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS - ESTUDO DE CASO
PARA 06 DE SETEMBRO DE 2017 NA REGIÃO BRASILEIRA**

*Impact Of Geomagnetic Storm In The Ionosphere, Positioning With
GNSS and in the georeference of properties- Case Study
For September 6, 2017 In The Brazilian Region*

Deborah Rodrigues Barros

Universidade Federal Rural da Amazônia

Instituto Ciber Espacial

Av. Presidente Tancredo Neves, Nº2501

Deborahrb33@gmail.com

Igor Dos Santos e Silva

Universidade Federal Rural da Amazônia

Instituto Ciber Espacial

Av. Presidente Tancredo Neves, Nº2501

Igorssilva20@gmail.com

Mayara Cobacho Ortega Caldeira

Universidade Federal Rural da Amazônia

Instituto Ciber Espacial

Av. Presidente Tancredo Neves, Nº2501

Mayarac.ortega@gmail.com

Resumo: As análises acerca da influência que tempestades geomagnéticas exercem no posicionamento por GNSS (GPS) tendo como uma das principais fontes de erro sistemático das suas observáveis, a ionosfera. Por conta disso, estudos sobre os impactos da tempestade geomagnética ocorrida no dia 06 de setembro de 2017 foram feitos, onde se utilizou dados coletados por GPS de 5 estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), escolhidas de forma que estivessem especializadas geometricamente no território brasileiro. As análises dos resultados demonstraram que os maiores impactos sofridos foram às estações localizadas próximas à região Equatorial, e isso se dá devido a Anomalia Equatorial, dando destaque à estação de Belém, no Norte do Brasil, ocasionando alterações no posicionamento da RBMC, trazendo problemas para trabalhos cadastrais como georreferenciamento e imóveis rural e urbanos.

Palavras-chave: Posicionamento por Ponto Preciso, RBMC, GNSS, TEC, Explosões Geomagnéticas.

Abstract

Anais do COBRAC 2018 - Florianópolis –SC – Brasil - UFSC – de 21 a 24 de outubro 2018

The analyzes on the influence of the geomagnetic storms are not pointing to the GNSS (GPS) having as main sources of systemic error of its observables, an ionosphere. For example, data on the geomagnetic storm were developed on September 6, 2017, where data collected by GPS of the Brazilian Continuous Monitoring Network (RBMC) were used. Brazilian territory. As the measures of results demonstrate that the effects are significant for the Equatorial sequence, that is to say, due to an equatorial anomaly, they stand out for the station of Belém, in the north of Brazil, causing changes in the positioning of the RBMC, bringing problems to works such as geo-referencing and rural and urban properties

Keywords: Positioning by Precision Point, RBMC, GNSS, TEC, Geomagnetic Explosions.

1. INTRODUÇÃO

O sistema global de posicionamento, mais conhecido como GPS (sigla em inglês para *Global Positioning System*) vem a ser um sistema de posicionamento ou navegação por satélite com cobertura global, dando ao usuário sua posição no globo. Sua origem veio através do Departamento de Defesa dos Estados Unidos, originalmente tendo uso militar, posteriormente liberado para civis com limitações. Há variadas aplicações que se pode dar ao GPS, desde o posicionamento, até uso para agricultura de precisão assim como monitoramento ionosférico no que concerne a variações na precisão do posicionamento. (MONICO, 2008).

Com o passar dos anos, diferentes técnicas foram desenvolvidas de forma a facilitar a coleta de pontos, bem como a precisão para a aplicação de tais técnicas e sua aplicabilidade diversa. Os métodos podem variar, sendo esses: absoluto e relativo podendo ter aplicação de forma estática ou rápida com valores em tempo real ou pós-processado. Uma das técnicas mais utilizadas é o Posicionamento por Ponto Preciso e esta, diferente das demais, tem como diferencial o seu erro em centímetros e seu processamento usa como base as Efemérides Precisas. (MONICO, 2008).

Um dos principais erros presentes nas observáveis do GPS se dá devido à ionosfera apresentar o conteúdo total de elétrons livres e este erro é proporcional à presença dos mesmos nesta camada (TEC – *Total Electron Content*). Komjathy et al., (2003) observou que na região Brasileira apresenta um dos maiores valores e variações no TEC que afetam os dados da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) e por conta disso é importante analisar a ionosfera como um importante agente no posicionamento com GPS.

Além das variações que ocorrem devido à presença da ionosfera, outro componente que pode interferir e variar o TEC são os eventos solares, que podem ser ocasionados devido a explosões. Na ocorrência de tais explosões, um dos primeiros fenômenos a se analisar é a radiação solar eletromagnética na faixa de ondas dos raios X e se essa explosão tiver direcionamentos para a Terra, diversos serão os fenômenos que podem ocorrer na ionosfera mais conhecidos como DIS (Distúrbios Ionosféricos Simples) conforme observado por Davies (1990).

Outro evento que ocorre junto com as explosões solares é o CME (*Coronal Mass Ejection*) conhecido como ejeção de massa coronal. Este fenômeno afeta diretamente o campo geomagnético da terra, causando problemas para diversos campos da indústria incluindo o posicionamento via GPS, pois este quando muito intenso ocasionam tempestades na ionosfera, afetando o comportamento do TEC e gerando toda uma cadeia de problemáticas. (McNAMARA,

1991; H.Kunow et. al 2006).

Conforme observado por Matsuoka et al. (2008), as tempestades geomagnéticas causam variações no posicionamento por ponto preciso (GPS) na região brasileira bem como variações nos dados presentes na RBMC. O presente artigo tem como objetivo apresentar e discutir os resultados obtidos de experimentos com o propósito de verificar a influência dessas tempestades geomagnéticas e solares no Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) de forma cinemática e estática, usando os dados das estações da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) no ano de 2017 quando ocorreu no mês de Setembro a maior tempestade solar nos últimos 10 anos.

2. IONOSFERA

A região da atmosfera terrestre conhecida como ionosfera que tem por característica a formação de íons e elétrons livres e está localizada entre 50 e 1.000 km de altura (KIRCHHOFF, 1991), é a principal fonte de erro sistemático das observáveis do Sistema de Posicionamento Global (GPS). Sendo um meio dispersivo e denso, ela afeta a propagação das ondas eletromagnéticas, fazendo com que as ondas sofram retardos e avanços, respectivamente. Essa influência gera um erro na medida da distância entre o receptor e o satélite, que está diretamente relacionado ao TEC (Total Electron Content) o qual consiste na densidade de elétrons presentes na camada da ionosfera no caminho entre a antena receptora e o satélite. (LEICKE, 1995)

3. TEMPESTADES GEOMAGNÉTICAS/IONOSFÉRICAS

A variação da densidade de elétrons na ionosfera sofre grande influência do campo magnético da Terra. O campo geomagnético controla o movimento das partículas ionizadas e, por isto, qualquer perturbação no campo geomagnético gerará mudanças nas condições de transporte do meio ionizado (MATSUOKA, 2012).

Conforme Kirchoff (1991), um fluxo de partículas carregadas conhecido como vento solar, bem como a radiação eletromagnética, é liberado pelo Sol. Este vento solar ocorre de forma contínua, modificando o campo magnético da Terra em uma cavidade conhecida como Magnetosfera que possui uma cauda longa se estendendo por centenas de raios terrestres na direção anti-solar. (FEDRIZZI, 2003).

O vento solar através de intensos eventos solares sofre intensificação na sua velocidade podendo alcançar ventos de 300-400 para 1000 Km/s ou até mais. Os eventos solares são responsáveis pela alteração do campo geomagnético, visto que, causando essa perturbação nos ventos solares pode comprimir o limite da magnetopausa (linha de contorno da magnetosfera), podendo passar de 10 a 6 raios terrestres que por sua vez contribuem para a ocorrência das tempestades geomagnéticas. Estas por sua vez, implicam numa tempestade ionosférica, que é uma resposta à tempestade geomagnética. (FEDRIZZI, 2003).

As tempestades geomagnéticas são causadas pelos seguintes eventos solares: explosões solares (solar flares), corrente de vento solar de alta velocidade (HSSWS – High Speed Solar Wind Stream) provenientes de buracos na coroa solar (coronal holes) e desaparecimento súbito de filamentos (SDF's – Sudden Disappearing Filaments) (McNAMARA, 1991). Gonzáles et al.

(1999) afirmam que, as explosões solares e os SDF's são fenômenos de períodos de alta atividade solar, e os buracos na coroa estão presentes durante períodos de baixa e média atividade.

As explosões solares ocorrem em regiões do Sol denominadas ativas onde se encontram manchas solares (McNAMARA, 1991). A duração de uma explosão solar é de cerca de 3 minutos até várias horas, sendo o tempo médio de aproximadamente 30 minutos (DAVIES, 1990).

Durante a ocorrência dessas explosões vários fenômenos são observados. Alguns deles são: aumento da radiação solar eletromagnética na faixa do comprimento de onda dos raios X (McNAMARA, 1991), provocando elevação rápida na ionização (pelo processo de fotoionização) no lado iluminado da Terra. Esse aumento de ionização dá origem a uma série de fenômenos, denominados genericamente de “Distúrbios Ionosféricos Súbitos” (DIS). Outro fenômeno que pode ocorrer é a ejeção de uma corrente (fluxo) de prótons que pode alcançar a Terra no caso de ser ejetado na direção dela (McNAMARA, 1991).

McNamara (1991) também afirma que próximo ao equador as linhas de força do campo geomagnético são horizontais e verticais próximas aos pólos. O que leva os prótons na direção do equador não conseguem penetrar diretamente na ionosfera, e dessa forma, a ionosfera equatorial é livre dos efeitos dos prótons provenientes de explosões solares. Já no caso das regiões polares, por terem linhas de força do campo geomagnético verticais, os prótons girando ao redor dessas linhas, penetram diretamente na ionosfera polar.

Tem-se o terceiro fenômeno, caso a explosão solar seja muito intensa: a ejeção de uma “nuvem” de plasma, conhecida também como ejeção de massa coronal (CME – Coronal Mass Ejection) (DAVIES, 1990; McNAMARA, 1991). As tempestades geomagnéticas mais intensas são frequentemente relacionadas à ocorrência de uma CME. Ejeção de massa coronal é a denominação dada a grandes quantidades de plasma que são subitamente expelidas a partir do Sol. Os parâmetros do vento solar são drasticamente intensificados durante esse fenômeno, podendo causar uma tempestade geomagnética/ionosférica (McNAMARA, 1991).

3.1. Índices Geomagnéticos

Segundo o Serviço Internacional de Índices Geomagnéticos (ISGI), os índices geomagnéticos descrevem as atividades geomagnéticas ou alguns de seus componentes, sendo que cada índice está relacionado a um tipo de fenômeno que ocorre na magnetosfera, ionosfera e nas profundezas da Terra. Dessa forma, o local onde se é medido, o momento que é medido e a forma como se mede esses índices e se realiza o cálculo afeta o tipo de fenômeno no qual o índice se refere. (ISGI, 20018).

Os mais conhecidos índices são: *aa* (mede a amplitude geomagnética global, num intervalo de 3h), *am* (dá uma caracterização da atividade geomagnética global usando um conjunto de estações), *Kp* (caracteriza a intensidade da atividade geomagnética em escala planetária), *Dst* (realiza um monitoramento da assinatura magnética axial-simétrica das correntes

magnéticas), *Polar Cap (PC* – monitora as atividades geomagnéticas sobre as calotas polares causadas por mudanças no campo magnético interplanetário (FMI)). (ISGI, 2018).

Para o presente trabalho, os índices utilizados para determinar a intensidade e duração das tempestades geomagnéticas serão: *Kp (Planetarische Kennziffer)* e o *Dst (Disturbance Storm Time)*. O primeiro tem por objetivo classificar a intensidade da atividade geomagnética para o Brasil, já o segundo monitora a assinatura magnética obtida por uma cadeia de magnetômetros que ficam na região equatorial se estendendo ao longo do globo terrestre, dado em nanotesla (nT). Além disso, o índice Dst define melhor a tempestade magnética por conta de seu padrão, tendo visto que antes do início da tempestade, o índice Dst apresenta um pico de intensidade conhecido como fase inicial (*sudden commencement*). Pós pico temos o desenvolvimento da fase principal (*main fase*) e após o alcance do mínimo, o índice apresenta elevação nos valores e esta fase é conhecida como fase de recuperação (*recovery phase*) até atingir aproximadamente o valor de repouso. (YAMASHITA, 1999). A tabela 1 apresenta a classificação da atividade geomagnética em função dos valores de *Kp* e *Ap* (BATISTA, 2003), já a tabela 2 mostra a classificação da tempestade geomagnética em função do índice Dst (FEDRIZZI, 2003):

Atividade Geomagnética	Índices Kp	Índice Ap
Calma	0-2	< 8
Transição	3	8-15
Ativo	4	16-29
Tempestade Fraca	5	30-49
Tempestade Intensa	6	50-99
Tempestade muito intensa	7-9	100-400

Tabela 1 – Classificação da atividade geomagnética em função dos índices *Kp* e *Ap*.

Fonte: Batista (2003), adaptado de Matsuoka (2008)

Condição da Tempestade Geomagnética	Valor do índice Dst (nT)
Fraca	$-50 < Dst \leq -30$
Moderada	$-100 < Dst \leq -50$
Intensa	$-250 < Dst \leq -100$
Muito intensa	≤ -250

Tabela 2 – Classificação da atividade geomagnética em função do índice Dst.

Fonte: Fedrizzi (2003)

4. VARIAÇÃO NO TEC

O Conteúdo Total de elétrons livres (TEC – Total Electron Content) presente na trajetória do sinal entre o satélite e a antena receptora é proporcional ao erro associado à ionosfera nas observáveis GNSS. Segundo Matsuoka, as variações temporais regulares do TEC compreendem as variações diurnas, sazonais e ciclos de longos períodos. As Variações Diurnas ocorrem principalmente devido à radiação solar e são causadas por mudanças que acontecem em algumas regiões da ionosfera e então desaparecem à noite. No Brasil, seu valor máximo ocorre por volta das 14h local e ao por do sol. Já a Variação Sazonal está relacionada às estações do ano, as quais influenciam na variação da densidade de elétrons. Os maiores valores do TEC ocorrem em março, abril, setembro e outubro (equinócio), e os menores valores em junho, julho (solstício de inverno). (MATSUOKA, 2007).

Ciclos de Longos Períodos são ciclos que duram aproximadamente 11 anos e estão associados às ocorrências de manchas solares, logo, o aumento do TEC é proporcional ao número de manchas. As manchas solares são regiões mais frias e escuras que aparecem na superfície do sol. Atualmente, o Sol está no ciclo denominado “ciclo 23” (KUNCHES, 2000), e o período de máxima atividade solar compreendeu os anos de 2000 e 2001, o que ocasionou um aumento do número de manchas solares e, em consequência disso, o número de elétrons presentes na ionosfera também aumentou. O valor do TEC é proporcional ao aumento da atividade solar. Fedrizzi (2003) afirma que em períodos de máxima atividade, o TEC máximo diurno pode atingir valores até 50 % maiores do que em períodos de mínima atividade.

Já a Anomalia Equatorial possui o efeito fonte que é um movimento de elevação do plasma na região equatorial e posterior descida ao longo das linhas do campo geomagnético até baixas latitudes. Nome dado devido a similaridade do movimento de uma fonte, chafariz, de água (MATSUOKA, 2007). Uma consequência da combinação dos movimentos de subida e descida do plasma é que dois picos de ionização são formados nas regiões subtropicais ao norte e ao sul

do equador geomagnético, entre 10° e 20° de latitude. No equador geomagnético a ionização fica menos intensa. Tal distribuição latitudinal de ionização é denominada de anomalia equatorial.

5. EXPERIMENTOS, RESULTADOS E ANÁLISES

No dia 06/09/2017 foi registrada uma variação no índice Kp, e mostrado pela NASA a ocorrência de uma forte atividade geomagnética. Sua ordem em Kp estava em 3 enquanto que o Ap apresentava uma ordem definitiva de 15, indicando uma atividade geomagnética de transição por volta das 13:30 UT (Hora Universal). Além dessa atividade, pode-se verificar uma injeção de massa coronal (CME), mas essa não esteve em direção à terra.

Posteriormente, no dia 7/09/2017 ocorreu um padrão nos índices Ap e Kp, com resultados de ordem 22 (Ap) e ordem 4 (Kp) iniciando às 04:30 UT e indo até às 10:30 UT, indicando que a atividade geomagnética está na ordem ativa com base a Tabela 1. Após isso houve uma baixa nas atividades geomagnéticas e após isso ocorreu um pico no dia 08/09/2017, data essa que apresentou maior atividade geomagnética na Terra. Sua primeira variação ocorreu na noite do dia 07/09/2017, apresentando Ap definitivo na ordem de 179 e Kp definitivo na ordem de 8 indicando uma tempestade geomagnética muito intensa. Posteriormente, os maiores picos estiveram no dia 08/09/2017, iniciando às 01:30 UT com Ap da ordem de 207 e Kp na ordem de 8 e seu maior registro ocorreu às 13:30 UT, quando o Ap atingiu a ordem de 236 e o Kp atingiu a ordem de 8+ indicando atividade geomagnética muito intensa e após isso, os índices apresentaram baixas. A figura 1 mostra o gráfico de variação nos índices Ap e Kp no intervalo dos dias 05/09/2017 até o dia 09/09/2017.

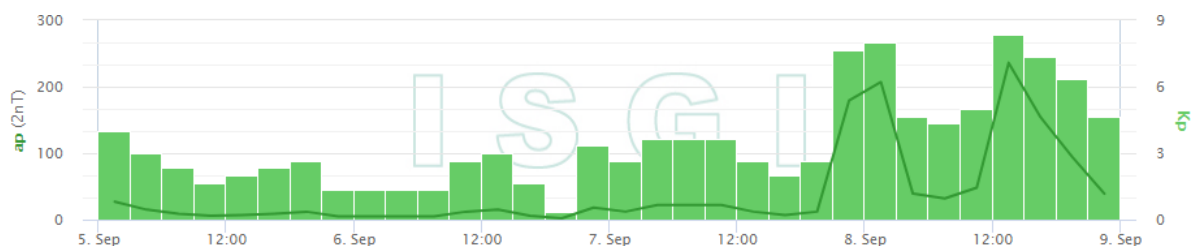


Figura 01 – Variações dos índices Ap e Kp ao longo dos dias.

Fonte: ISGI, 2018

Quanto ao índice Dst, é verificado na imagem 2 sua variação ao longo dos dias 05/09/2017 até o dia 08/09/2017. Os maiores resultados podem ser observados ao final do dia 07/09/2017, iniciando às 23:00 UTC (Horário de Brasília) com valor de ordem -69 nT e tendo seu pico às 02:00 UTC com valor de ordem -124 nT, sendo o primeiro registro indicando uma condição de tempestade geomagnética moderada enquanto que o segundo apresenta registro de tempestade geomagnética intensa. A figura 2 mostra o gráfico com variação do índice Dst para os dias 05/09, 06/09, 07/09 e 08/09.

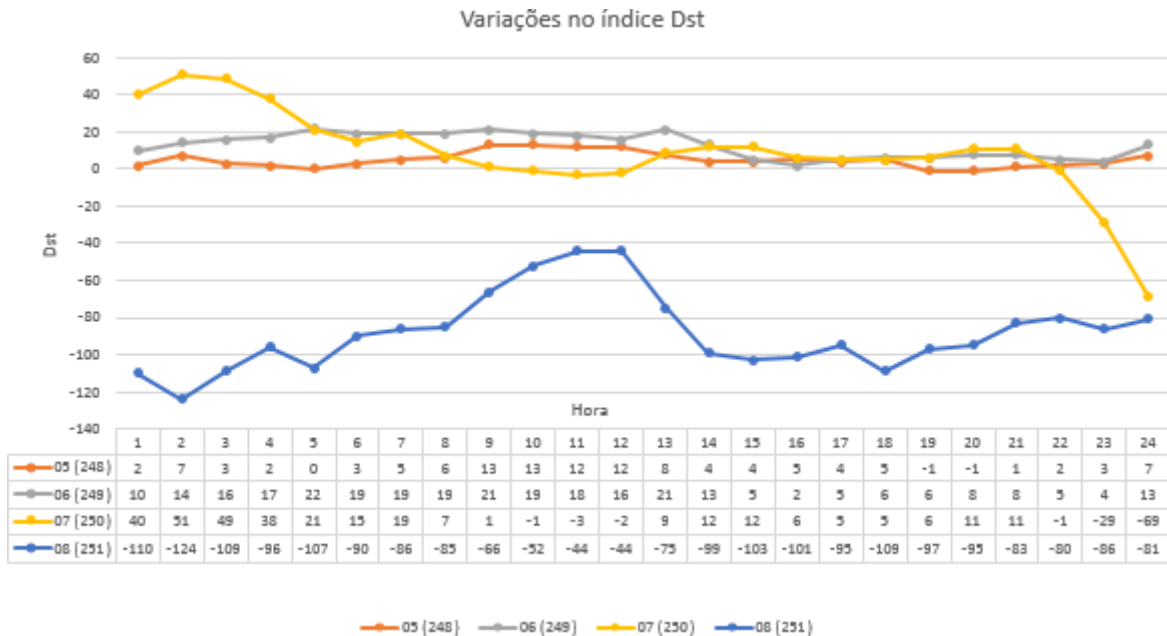


Figura 02 – Variação do índice Dst ao longo dos dias.

Fonte: Elaborado pelos autores.

5.1. Dados utilizados

Para os experimentos realizados a seguir, os dados foram obtidos das estações RBMC do IBGE para análise do PPP durante o período da explosão geomagnética no mês de setembro de 2017. As estações escolhidas foram as seguintes: Campina Grande (PBCG), Fortaleza (BRFT), Belém – SIPAM (BELE), Presidente Prudente (PPTE), Imbituba (IMBT). Foi feito o download dos dados das estações e posteriormente foram processados e analisados referente ao período de 05/09/2017 a 08/09/2017 que são os dias que abrange o início da tempestade geomagnética até o momento em que ela pôde ser sentida na Terra. O processamento das observáveis foi feito para o Posicionamento Por Ponto em modo estático e posteriormente foi analisado o arquivo .sum de cada dia das estações para obter os dados da discrepância das coordenadas e seu desvio padrão e assim realizar o cálculo do Erro Médio Quadrático (EMQ) para se obter o erro médio posicional cometido no posicionamento por ponto para cada dia durante a tempestade geomagnética. Este cálculo se dá pela fórmula 1:

$$EMQ = \sqrt{\Delta X^2 + \sigma X^2}$$

Onde:

ΔX é a discrepância da coordenada

σ_X é o desvio padrão da coordenada

5.2 Resultados e Análises

Ao observar a Figura 3, o EMQ3D calculado mostra o erro decorrente das estações ao longo dos dias em que ocorreu a explosão geomagnética até o momento em que esta pôde ser sentida na Terra. As estações RBMC escolhidas estão distribuídas ao longo do Brasil, nas regiões do Norte, Nordeste, Centro Oeste, Sudeste e Sul.

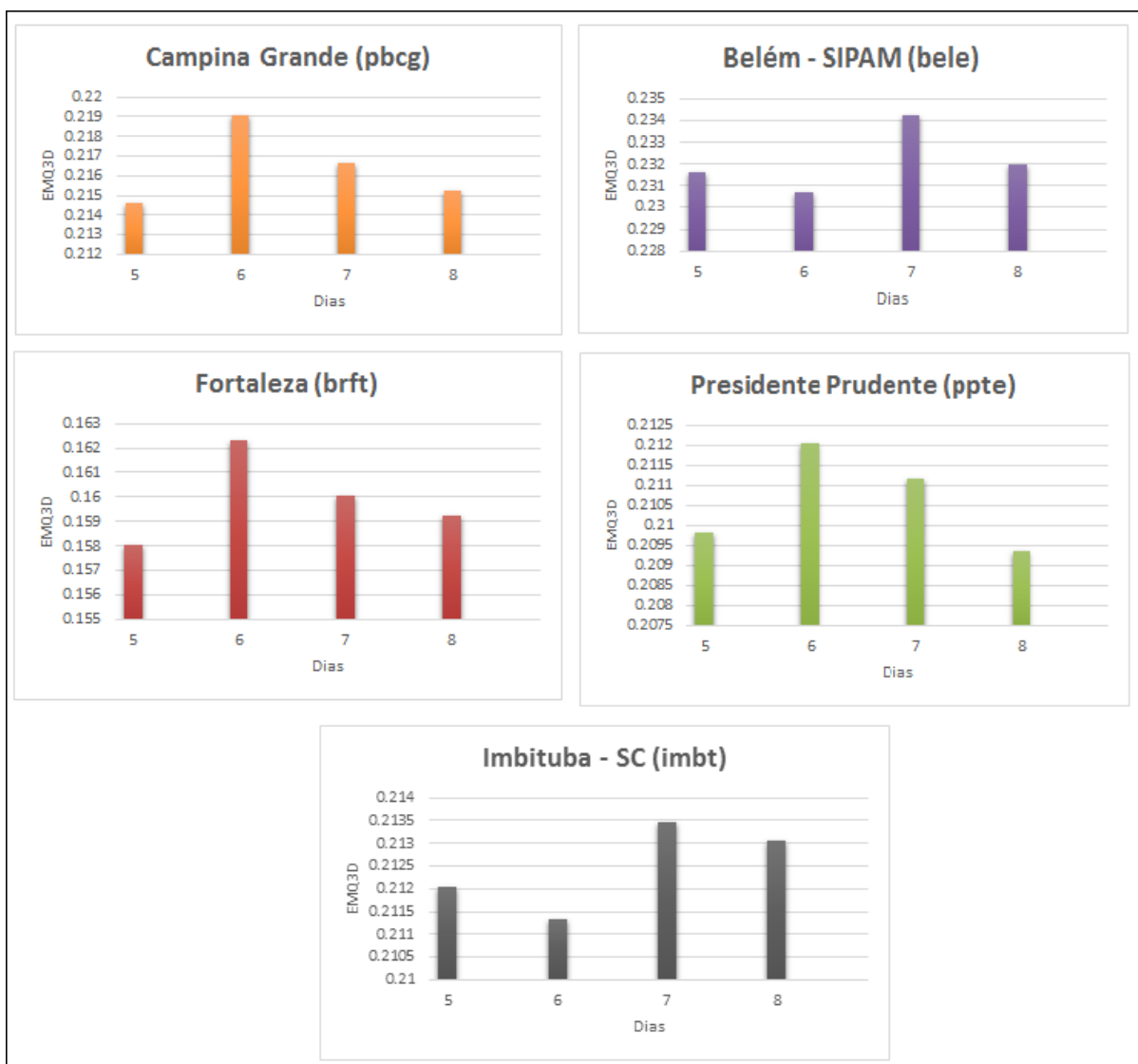


Figura 03 – Erro Médio Quadrático 3D das Estações Escolhidas.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observando as estações de Campina Grande, Belém e Presidente Prudente apresentou um EMQ acima de 0.2 no dia 6, data que ocorreu a explosão geomagnética, com destaque para a estação de Belém que apresentou EMQ próximo de 0.23, para as demais estações o EMQ no mesmo dia apresentou resultados inferiores a 0.2. No dia 7, data que a explosão apresentou variações na Terra podemos observar, com exceção de Fortaleza, todas as estações apresentaram EMQ acima de 0.2 com Belém apresentando os maiores valores, acima de 0.234, seguido de Campina Grande com EMQ próximo a 0.216, Imbituba próximo de 0.2135 e Presidente Prudente com valores de 0.211.

Interessante notar que o maior erro ocorreu na estação de Belém, no Norte do Brasil próximo a região Equatorial, e isso se dá devido a Anomalia Equatorial, e a localização geográfica da estação de Belém apresenta forte presença de elétrons e devido à perturbação ocasionada pela tempestade, o erro foi maior. Quanto às demais estações, sofreram da mesma anomalia, porém com menor intensidade devido a sua localização serem próximas a regiões de média latitude. A Figura 04, 05, 06 mostra os valores de VTEC para a estação de Belém, Imbituba e Presidente Prudente no dia 07/09/2017.

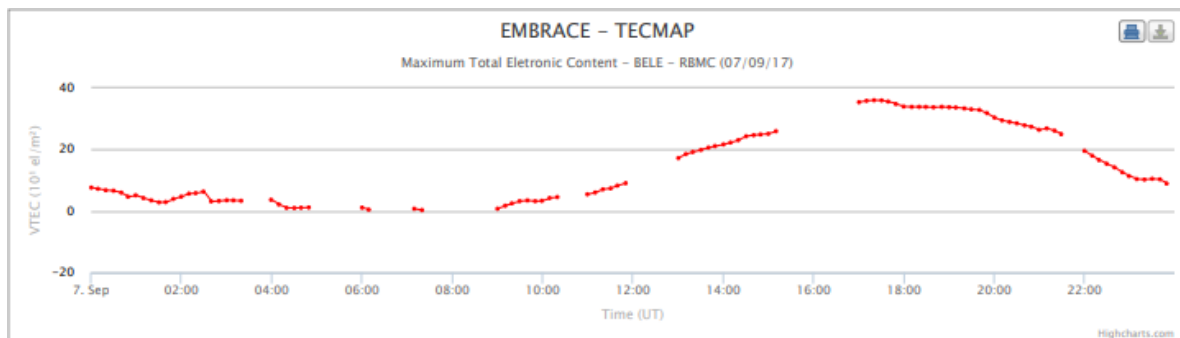


Figura 04 – Valores de VTEC para a Estação de Belém.

Fonte: INPE, 2018

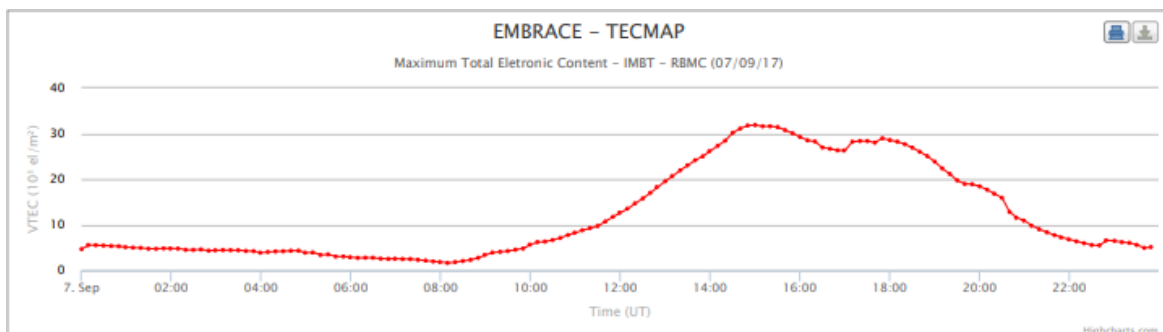


Figura 05 – Valores de VTEC para a Estação de Imbituba (Autor, 2018)

Fonte: INPE, 2018.

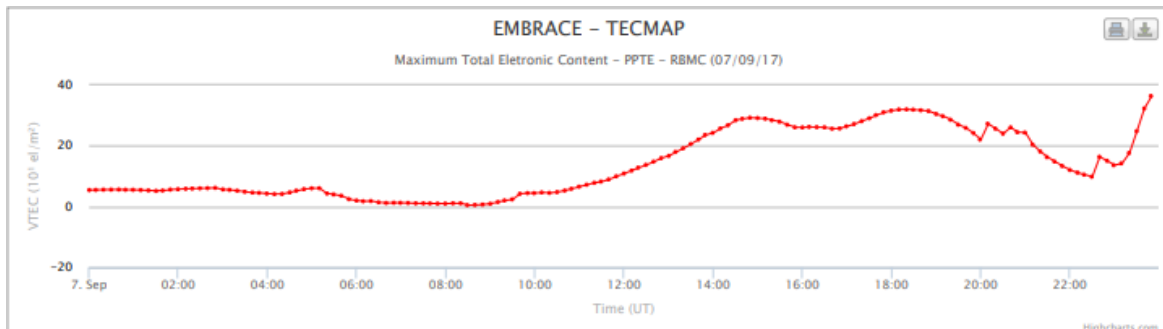


Figura 06 – Valores de VTEC para a Estação de Presidente Prudente (Autor, 2018).

Fonte: INPE, 2018

Para o dia 07/09 o maior valor atingido no VTEC (10^1 el/m²) foi de 36,02 para a estação de Belém, para Presidente Prudente o valor VTEC atingindo foi de 36,38 enquanto que Imbituba apresentou valor de 31,88. Presidente Prudente apresentou maior variação no conteúdo total de elétrons, seguido de Belém e com Imbituba apresentando os menores valores das três estações com maior erro médio quadrático apresentado.

Podemos ver que apesar do valor de VTEC ter sido maior na estação de PPTe, a estação BELE apresentou um maior valor de erro médio quadrático. Isso se dá principalmente devido a anomalia equatorial que está mais atuante na região Norte, além de que as regiões Sul e Sudeste possuem influência por se encontrarem em regiões de Média Latitude que não sofrem de tanta influência ionosférica.

6. CONCLUSÕES

O presente artigo se propôs analisar e colaborar com o entendimento da relação que envolve a ionosfera e o posicionamento por GNSS, no âmbito do cadastro de imóveis no que tange ao georreferenciamento urbano, rural e demais aplicações que envolvem o posicionamento GNSS, tendo em vista que o Brasil é um país com grandes dimensões continentais e a influência de ações externas ocasionam mudanças no posicionamento. Podemos ver que ao longo dos últimos anos ocorreram grandes tempestades geomagnéticas, tendo a do ano de 2007 como a maior nos últimos 10 anos e esses eventos de escala global exercem grandes influências no posicionamento, principalmente na RBMC tendo visto que o Brasil se encontra em uma região do globo com constante influência de atividades ionosféricas.

Para as estações analisadas da RBMC no Posicionamento Por Ponto Preciso, em modo estático, as regiões que mais apresentaram variações se encontram nas regiões norte, centro oeste e sudeste. Isso se dá devido ao Brasil ser uma região no qual ocorrem intensas atividades na região da ionosfera e por mais que a região sudeste apresentou valores de erro médio quadrático abaixo dos valores de outras estações, a estação nessa região apresentou altos valores no VTEC.

Dentro do âmbito do georreferenciamento urbano, as interferências no posicionamento por GNSS fazem com que o ponto no espaço físico tenha modificações, alterando seu posicionamento. Para o georreferenciamento rural o problema é mais profundo tendo visto que para o cadastro de imóveis rurais, é preciso o implante de marcos geodésicos e o posicionamento

via GNSS é utilizado. Com as anomalias na ionosfera, explosões solares, o posicionamento é afetado, tendo modificações no mesmo e afetando na qualidade técnica do levantamento e cadastro.

Por fim, o trabalho tende a mostrar as variações decorrentes das explosões geomagnéticas, analisou regiões afim de analisar os impactos, seus efeitos e como tais podem afetar o posicionamento e alterar dados utilizados. Por conta disso, é importante analisar e acompanhar o comportamento e valores das estações da RBMC e buscar fazer o comparativo do posicionamento para o dia em que ocorreu, analisando possíveis erros e buscar soluções práticas para evitá-los.

Referências Bibliográficas

FEDRIZZI, M.. **Estudo do efeito das tempestades magnéticas sobre a ionosfera utilizando dados do GPS**. 2003. 223p. Tese (Doutorado em Geofísica Espacial) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos

ISGI (International Service of Geomagnetic Indices) – online – endereço eletrônico: http://isgi.unistra.fr/about_indices.php, acesso em junho de 2018.

KOMJATHY, A.; SPARKS, L.; MANNUCCI, A.J.; XIAOQING, P.. **An assessment of the current WAAS ionospheric correction algorithm in the south American region**. *Journal of the Institute of Navigation*, v.50, n.3, p.193-218, Fall/2003.

KUNOW, H. et. al. **Coronal Mass Ejections**. 1ed. Netherlands: Springer, 2006. 484 p.

McNAMARA, L.F.. *The ionosphere: communications, surveillance, and direction finding*. Florida: Krieger Publishing Company, 1991. 237p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Editora UNESP. No prelo. 2008. 472 p.

TOMIO MATSUOKA, MARCELO, *et al.* **IMPACTO DE TEMPESTADE GEOMAGNÉTICA NA IONOSFERA E NO POSICIONAMENTO COM GNSS: ESTUDO DE CASO PARA 20 DE NOVEMBRO DE 2003 NA REGIÃO BRASILEIRA**. Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 19, núm. 1, enero-marzo, 2013, pp. 14-33 Universidade Federal do Paraná Curitiba, Brasil.

TOMIO MATSUOKA, MARCELO, *et al.* **DECLÍNIO DO NÚMERO DE MANCHAS SOLARES DO CICLO SOLAR 23: REDUÇÃO DA ATIVIDADE IONOSFÉRICA E MELHORA DA PERFORMANCE DO POSICIONAMENTO COM GPS**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 10, no 2, p.141-157, jul-dez, 2004.

YAMASHITA, C.S.. *Efeito das tempestades magnéticas intensas na ionosfera de baixa latitude*. 1999. 75p. Dissertação (Mestrado em Geofísica Espacial) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.