



**Análise do Posicionamento Geodésico como  
Ferramenta para Monitorar as Variações do Nível de um Rio**  
Analysis of Geodetic Positioning as Tool for Monitoring Variations from the Level of a River

Fabricio dos Santos Prol<sup>1</sup>; José Marcato Junior<sup>2</sup> &  
Antonio Conceição Paranhos Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista – UNESP, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográfica, Rua Roberto Simonsen, 305. Presidente Prudente, SP, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia – FAENG,  
Av. Costa e Silva, Cidade Universitária. Campo Grande, MS, Brasil

E-mails: [fabricioprol@hotmail.com](mailto:fabricioprol@hotmail.com); [jrmarcato@gmail.com](mailto:jrmarcato@gmail.com); [antonio.paranhos@pq.cnpq.br](mailto:antonio.paranhos@pq.cnpq.br)

Recebido em: 25/08/2014      Aprovado em: 02/03/2015

DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2015\\_1\\_81\\_85](http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_81_85)

## Resumo

Muito embora o GPS (Sistema Global de Posicionamento) tenha sido primeiramente construído para o posicionamento geodésico e a navegação, o sistema possibilitou analisar diversos fenômenos terrestres, de forma que novas aplicações vêm surgindo nos últimos anos. No sentido de ampliar as aplicações do posicionamento geodésico, este trabalho investiga as possíveis relações entre as variações do nível de um rio em comparação com as altitudes estimadas a partir de soluções geodésicas, notadamente associadas a uma estação de monitoramento contínuo do GPS. As soluções geodésicas precisas do SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) foram confrontadas com as observações hidrológicas realizadas pela ANA (Agência Nacional de Águas). Duas estações foram selecionadas e são localizadas em uma região com grande extensão de área alagável, o complexo do Pantanal. Os resultados apresentaram que há uma forte anti-correlação entre o aumento do nível de água com a redução da altitude geodésica, mostrando que o posicionamento geodésico pode auxiliar no monitoramento das variações do nível de um rio.

**Palavras-chave:** SIRGAS; GNSS; Movimento Vertical

## Abstract

Although the GPS (*Global Positioning System*) has been built for geodetic positioning and navigation, the system enabled analyses a wide number of terrestrial phenomena. In this way, new applications have emerged in recent years. To expand the applications for the GPS users, this work explores the possible connections between changes in a river level in comparison to the precise estimated altitudes from geodetic solutions, particularly associated with a GPS station. The precise geodetic solutions from SIRGAS (*Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas*) were compared with the hydrological observations made by ANA (*Agência Nacional de Águas*). Two stations were selected and they are located in the Pantanal complex, where is a region with an expansive area of wetland. The results present a strong anti-correlation behavior, showing that the geodetic positioning can be used in monitoring changes in the level of a river.

**Keywords:** SIRGAS; GNSS; Vertical Movement

## 1 Introdução

O advento de satélites para medições geodésicas e o aprimoramento de técnicas de modelagem dos efeitos que afetam as medidas, desenvolveram a Geodésia em uma ciência de contribuição para diversos estudos do planeta Terra. A facilidade de se obter medidas por meios de sistemas de navegação, assim como o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS – *Global Navigation Satellite System*), torna a Geodésia uma ciência com grande variedade de aplicações. Além das aplicações amplamente empregadas, como a navegação e o mapeamento (Monico, 2008), as observações geodésicas permitem obter parâmetros utilizados em modelos climatológicos, de interesse em estudos de abastecimento de recursos naturais (Plag & Pearlman, 2009).

Explorar a potencialidade das técnicas geodésicas espaciais para a investigação de variações globais ou regionais, fenômenos sazonais ou seculares, requer a materialização de sistemas de referências com uma alta acurácia, consistência espacial, temporal e com estabilidade ao longo de muitas décadas. Para isto, Centros de Análise e Processamento devem utilizar padrões adotados internacionalmente para integrar os sistemas de referências regionais a um referencial global (Plag & Pearlman, 2009).

No que se refere ao sistema regional adotado pelo Brasil, o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS) disponibiliza três tipos de soluções para estações materializadas sobre a América Latina, referenciadas ao ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*): soluções semanais fracamente injuncionadas, soluções semanais ajustadas ao ITRF e soluções Multianuais (Ibge, 1997). Desta forma, o SIRGAS proporciona séries temporais das posições estimadas, com observações a cada semana.

A mais atual solução Multianual do SIRGAS (SIR11P01) apresenta que as posições foram estimadas com a precisão de 1 mm para planimetria e 2,4 mm em altimetria (Sánchez & Seitz, 2011). Visto a alta qualidade destas posições em coordenadas referenciadas a um elipsóide de revolução, é possível analisar os movimentos horizontais e verticais da crosta terrestre.

As variações da crosta terrestre podem ocorrer por diversos fenômenos que atuam sobre a Terra, como as cargas oceânicas, marés terrestres e pressão atmosférica. Além destes fenômenos, comumente correlacionados com as soluções geodésicas, este trabalho tem como objetivo investigar sobre a provável relação que existe entre as variações do nível de água de um rio com as posições verticais estimadas pelo SIRGAS, tornando o GNSS uma tecnologia alternativa para a análise de variações hidrológicas.

## 2 Material e Métodos

Uma vez que se pretende avaliar o movimento da crosta terrestre devido às variações do nível de água de um rio, estações localizadas sobre o complexo do Pantanal foram selecionadas. Isso, pois este é um bioma com uma das maiores extensões alagáveis do planeta, o que proporciona constantes movimentos verticais da crosta terrestre, conforme há variação no nível dos rios, principalmente do rio Paraguai e de seus afluentes.

Neste sentido, selecionou-se uma estação GNSS pertencente à rede do SIRGAS e uma estação medidora do nível de água, para confrontar as soluções geodésicas com observações do nível de água em um afluente do rio Paraguai. A estação GNSS para análise é localizada em Mato Grosso do Sul, identificada por MSCG (Campo Grande). A estação medidora do nível de água é identificada por Aquidauana, sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), em parceria com o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Tipicamente, as soluções semanais ajustadas ao ITRF do SIRGAS são obtidas por meio das soluções produzidas individualmente por centros de análise. Após a combinação destas soluções, o SIRGAS produz arquivos finais, que são identificados por *cccyPwww*. Em que *ccc* representa o centro de combinação, seja o IBG (IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) ou o SIR (SIRGAS), *yy* indica os últimos dígitos do ano, *P* representa a técnica GNSS, *www* é a semana GPS (*Global Position System*). As soluções finais são descritas por dois formatos de extensão: *crd*, que contém as coordenadas finais para a respectiva semana e *SUM*, que contém o relato da combinação para a semana correspondente (Ibge, 1997). Assim, neste trabalho,

as posições verticais foram obtidas por meio dos arquivos em formato *crd* do SIRGAS, para cada semana disponível.

No caso da estação Aquidauana, as observações são disponíveis em intervalos horários pela ANA e podem ser acessadas a partir do seguinte endereço *web*: <http://www.ana.gov.br/> (acesso em Julho de 2014).

A Figura 1 apresenta a localização das duas estações utilizadas no experimento, onde o comprimento da linha formada entre os equipamentos é de aproximadamente 137 Km.

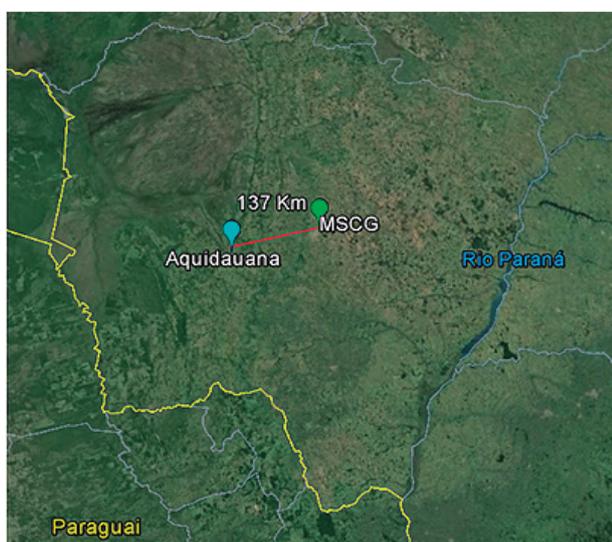


Figura 1 Localização da estação geodésica (MSCG) e hidrológica (Aquidauana) no Estado do Mato Grosso do Sul (Imagem Google, 2013).

Apartir das medidas geodésicas e hidrológicas, fez-se um ajustamento das observações de forma a descrever a periodicidade com a série de Fourier, expandida em 8 argumentos (Cooley & Tukey, 1965).

O processo de ajustamento foi realizado a partir do *software* Matlab, com o intuito de verificar se há correlação entre as variações das posições estimadas pelo SIRGAS com a variação do nível de água medido pela ANA.

### 3 Resultados e Discussão

As altitudes determinadas pelas soluções do SIRGAS foram convertidas do sistema cartesiano (X, Y, Z) para altitude geométrica a partir dos

parâmetros da forma da Terra recomendados pelo IERS (*International Earth Rotation and Reference System Service*). As Figuras 2 e 3 apresentam as observações utilizadas no ajustamento, em que foram utilizadas todas as medidas entre os anos de 2010 à 2012 (épocas em que há coincidência nas observações).

A partir da análise das Figuras 2 e 3, nota-se que há uma anti-correlação nos dados, indicando a possibilidade em avaliar o nível dos rios a partir de soluções geodésicas. Este fato ocorre, pois ao passo que o nível do rio aumenta, há um aumento na carga

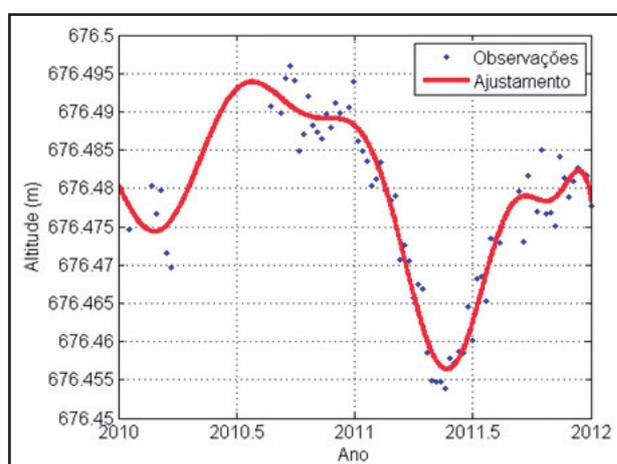


Figura 2 Ajustamento das observações da altitude da estação MSCG.

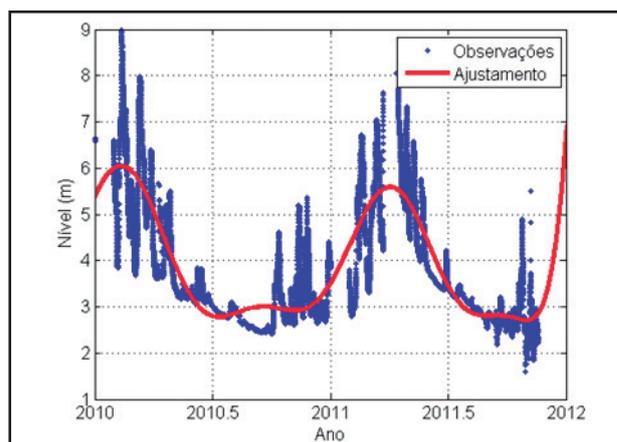


Figura 3 Ajustamento das observações do nível da estação Aquidauana.

sobre a crosta terrestre e, então, a altitude da estação receptora próxima ao rio diminui. Em contrapartida, quando o nível do rio diminui, a carga sobre a crosta é minimizada, de forma que a estação geodésica retorna a maiores altitudes.

No entanto, a resposta elástica da Terra à carga proveniente do aumento do nível de água não ocorre instantaneamente. Isso pode ser percebido na Figura 4, onde ocorre uma translação temporal na comparação entre os ajustamentos realizados.

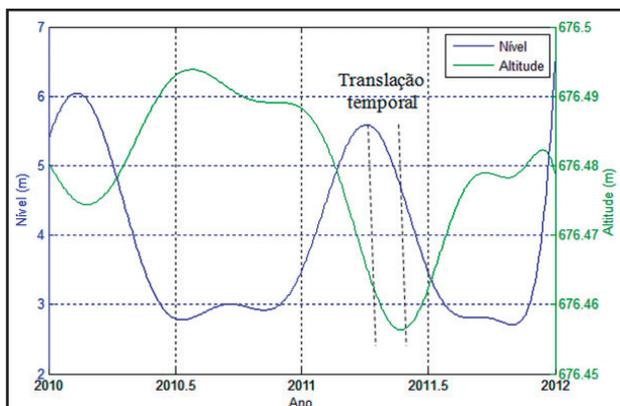


Figura 4 Translação temporal no ajustamento, devido à resposta elástica da terra à carga dos rios não ocorrer instantaneamente.

Na Figura 4, fica ainda mais evidente a anti-correlação entre os dados, onde, enquanto ocorrem variações métricas no nível de água, variações centimétricas são percebidas na estação GNSS. Além disso, verifica-se que a resposta à carga da variação do nível de água ocorre após poucas semanas.

Ao realizar sucessivas translações no ajustamento do nível de água para os anos entre 2011 e 2012, estimou-se que o tempo para resposta da crosta terrestre indicado no evento na Figura 4 como “Translação Temporal”, foi de aproximadamente 7 semanas.

A Figura 5 apresenta os ajustamentos após a translação temporal, onde a translação foi realizada

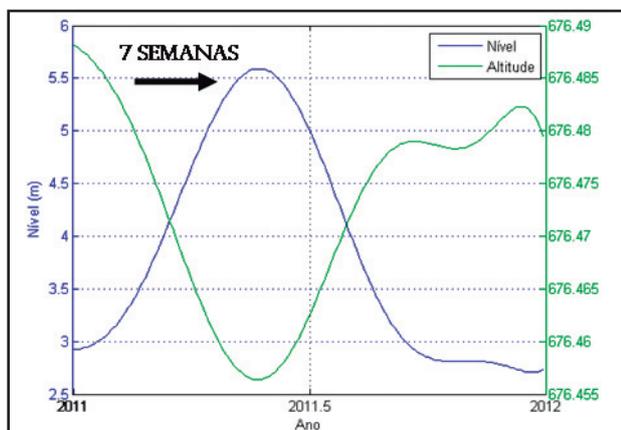


Figura 5 Translação temporal para coincidências das séries entre os anos de 2011 e 2012.

para coincidir as observações realizadas para o meio do ano de 2011.

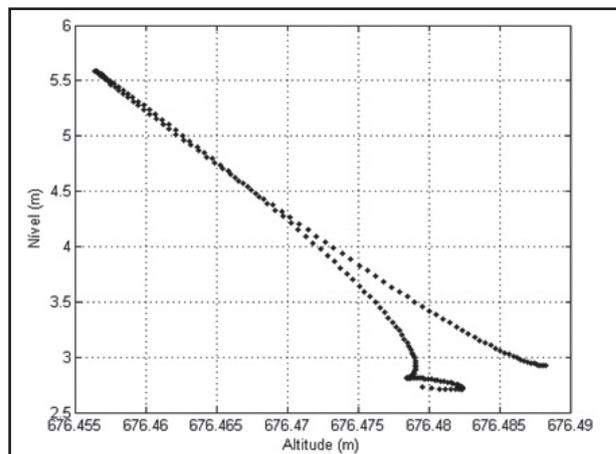


Figura 6 Anti-correlação entre os ajustamentos das observações geodésicas e hidrológicas de 2011 e 2012.

Maiores detalhes da coincidência das observações são apresentados na Figura 6, que traz o gráfico de correlação entre os ajustamentos.

É possível notar que a anti-correlação é menor nas altitudes maiores. Isto ocorre, pois estas altitudes foram observadas para os dias próximos ao início e fim de 2011, observações distantes do instante considerado o centro da translação. Em contrapartida, a correlação entre os ajustamentos foi calculado com -96%, mostrando uma forte anti-correlação.

Ao realizar o mesmo procedimento, para os dias entre os anos de 2010 e 2011, obtiveram-se os resultados apresentados nas Figuras 7 e 8.

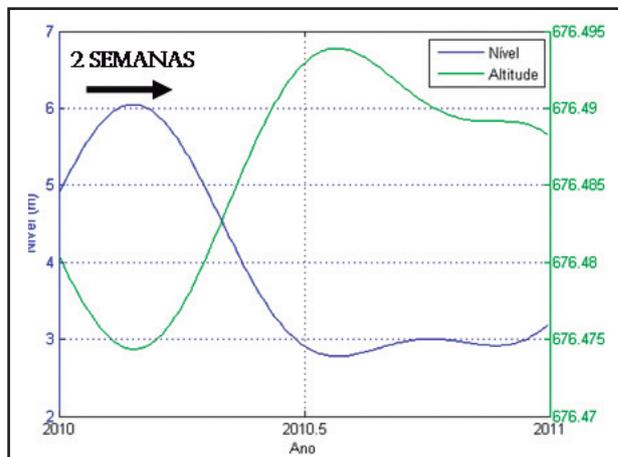


Figura 7 Translação temporal para coincidências das séries entre os anos de 2010 e 2011.

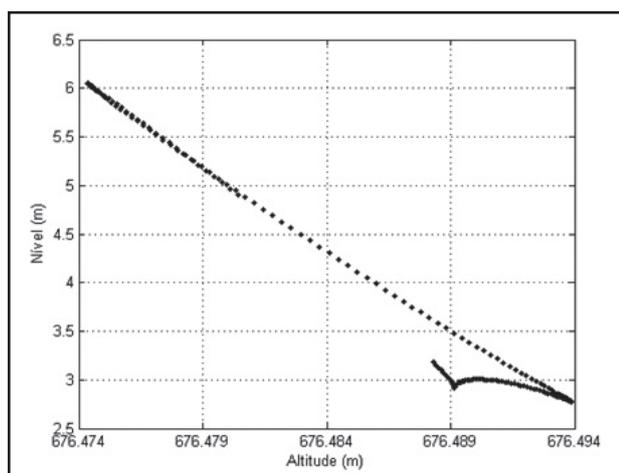


Figura 8 Anti-correlação entre os ajustamentos das observações geodésicas e hidrológicas de 2010 e 2011.

De forma que a correlação calculada foi de -98%, mostrando uma maior concordância na translação, em relação aos dias entre 2011 e 2012.

#### 4 Conclusões e Sugestões

Neste trabalho, apresentou-se as soluções do SIRGAS, obtidas por meio de estações GNSS, como uma técnica alternativa no estudo da variação do nível de água. Os resultados apresentaram que a variação do nível de água possui uma anti-correlação com a variação das altitudes, que pode ser explicada, pois quando o nível dos rios aumenta, uma carga sobre a crosta terrestre ocorre. Ademais, notou-se que a resposta elástica da crosta terrestre ocorre algumas semanas após a variação do nível de água.

Desta forma, percebe-se a viabilidade em monitorar o nível de água a partir de soluções precisas (desvio-padrão) obtidas por estações GNSS, mostrando que há possibilidade em estimar coeficientes que relacionem as observações geodésicas e hidrológicas. Em trabalhos futuros, recomenda-se uma investigação sobre possíveis métodos da estimativa destes coeficientes, que, uma vez estimados, permitem

uma relação direta entre o nível de qualquer rio com a altitude de uma estação GNSS próxima. Assim, quando houver soluções SIRGAS pode-se realizar uma estimativa do nível do rio, mesmo quando não há observações hidrológicas, mostrando a potencialidade do GNSS no monitoramento do nível de alagamento de uma região.

Desta forma, uma maior quantidade de estações GNSS no entorno do Pantanal proporcionaria novas perspectivas de pesquisa, uma vez que esta é uma das maiores extensões alagáveis do planeta. Ademais, devido sua grande extensão, é notório o interesse da comunidade no uso de diferentes equipamentos capazes de realizar o monitoramento do nível de água.

#### 5 Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de Mestrado e ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa) pela bolsa Pq de ACPF (processo 305300/2012-1).

#### 6 Referências

- Cooley, J.W. & Tukey, J.W. 1965. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Mathematics of Computation*, 19: 297-301.
- Google. *Google Earth*. Imagens e programa de computador. versão 7.1.2. 10/07/2013. Disponível em [www.google.com](http://www.google.com).
- Monico, J.F.G. 2008. *Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações*. São Paulo, Editora Unesp. 476 p.
- Plag, H.P. & Pearlman, M. 2009. *The Global Geodetic Observing System: Meeting the Requirements of a Global Society on a Changing Planet in 2020*. Berlin, Springer Verlag, 332 p.
- Ibge. 1997. *Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul: Relatório Final, Grupos de Trabalho I e II*. Rio de Janeiro, IBGE, 99 p.
- Sánchez, L. & Seitz, M. 2011. *DGFI Report No. 87: Recent activities of the IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS (IGS RNAAC SIR)*. Munich, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut.