

# Influência da carga hídrica na altitude geométrica da Estação RBMC de Inconfidentes/MG

## RESUMO

Há diversos métodos para a realização do posicionamento com o GNSS, dentre elas encontra-se o PPP, que na atualidade, é um método de posicionamento, que vislumbra como uma grande potencialidade para obtenção de coordenadas com um alto nível de qualidade, utilizando apenas um receptor. Podendo assim, ser utilizado em aplicações precisas, como a geodinâmica, especificamente em monitoramento da crosta terrestre. O presente trabalho tem como objetivo a análise da influência da carga hídrica na altitude geométrica obtida através do processamento PPP da estação da rede de monitoramento contínuo, denominada MGIN. Nestas análises utilizaram-se dados de temporada de seca e cheia do Rio Mogi-Guaçu e dados de altitude geométrica. A relação entre estes dados mostrou as implicações da carga hídrica sobre as altitudes geométricas, acentuando o soerguimento da crosta. Estes deslocamentos da crosta causados pela influência hídrica, afetam de forma direta as estações GNSS. Isto implica que mesmo com uma distância de 484 metros e uma diferença de nível de 35 metros do rio, o carregamento hídrico influencia diretamente na altitude geométrica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Altitude Geométrica. Carga Hídrica. Deslocamento da Crosta. PPP.

**João Paulo Stach Giacometti**

[jp\\_giacometti@live.com](mailto:jp_giacometti@live.com)

[orcid.org/0000-0002-5047-8294](https://orcid.org/0000-0002-5047-8294)

Instituto Federal do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Inconfidentes, Minas Gerais, Brasil.

**Fabio Luiz Albarici**

[fabio.albarici@ifsulde Minas.edu.br](mailto:fabio.albarici@ifsulde Minas.edu.br)

[orcid.org/0000-0003-4436-0561](https://orcid.org/0000-0003-4436-0561)

Instituto Federal do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), Inconfidentes, Minas Gerais, Brasil.

**Jorge Luiz Alves Trabanco**

[trabanco@fec.unicamp.br](mailto:trabanco@fec.unicamp.br)

[orcid.org/0000-0002-2558-2858](https://orcid.org/0000-0002-2558-2858)

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, São Paulo, Brasil.

**Gabriel do Nascimento**

**Guimarães**

[gabriel@ig.ufu.br](mailto:gabriel@ig.ufu.br)

[orcid.org/0000-0003-4380-4650](https://orcid.org/0000-0003-4380-4650)

Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

## INTRODUÇÃO

As aplicações de alta precisão no posicionamento vêm aumentando com a utilização de receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*), que disponibiliza a localização por meio de rastreamento de sinais transmitidos pelos satélites artificiais. Segundo Monico (2008), há diversos métodos para a realização do posicionamento, tais como, posicionamento relativo, posicionamento absoluto, posicionamento relativo a partir do código C/A, posicionamento por ponto preciso (PPP), RTK (*Real Time Kinematic*) e DGPS (*Differential GPS*).

Dentre essas diversas técnicas de posicionamento com GNSS, o PPP é na atualidade, um método de posicionamento, que vislumbra como uma grande potencialidade para obtenção de coordenadas com um alto nível de qualidade utilizando apenas um receptor (PERDIGÃO; SANTOS, 2010). Podendo assim, ser utilizado em aplicações precisas, como a geodinâmica (MONICO, 2008).

Para alcançar melhores precisões, efeitos, como a carga oceânica, deve ser levada em consideração. A carga que as marés oceânicas exercem sobre a crosta terrestre produz deslocamentos periódicos sobre a superfície, podendo alcançar cerca de 10 cm na componente vertical em determinadas partes do globo (MONICO, 2008).

Segundo os autores Costa, Matos e Blitzkow (2012), em um estudo feito na bacia amazônica à variação da componente vertical, causado devido a carga exercida pela massa d'água, podem chegar de 5 a 7 centímetros por ano nas áreas alagadas da região. Com a alta variação na componente vertical devido à carga hídrica, há a necessidade de se estudar essa variação em um local distante desta carga e imune a inundações.

Esta pesquisa tem como objetivo a análise da influência da carga hídrica na altitude geométrica da estação RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) da cidade de Inconfidentes/MG, denominada MGIN. Nas análises utilizaram-se dados GNSS, para obtenção da altitude geométrica, e dados coletados das estações fluviométrica e pluviométrica do município, referentes ao Rio Mogi-Guaçu, a fim de mensurar a carga hídrica.

## ESTAÇÃO GNSS DA RBMC DE INCONFIDENTES/MG

Segundo Zumberge *et al.* (1996), quando se realiza um posicionamento com o período de 24 horas de coleta de dados e uma taxa de gravação de 30 segundos, torna-se possível alcançar valores milimétricos de precisão. E uma das maneiras de obter 24 horas de dados, é utilizando uma estação RBMC.

Essas estações desempenham justamente o papel do ponto de coordenadas conhecidas pertencentes ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), disponibilizando dados de diversas estações pelo território brasileiro (IBGE, 2016a).

Segundo o IBGE (2016a) as estações RBMC são centralizadas através de pinos de centragem forçada, especialmente projetados e cravados em pilares estáveis como mostra a Figura 01. E cada estação possui um receptor e antena geodésica, com conexão de internet e fornecimento constante de energia elétrica, tornando possível a operação contínua das estações. Os receptores são capazes de rastrear

satélites GPS e GLONASS, sendo que algumas estações rastreiam apenas satélites GPS.

As coordenadas destas estações são outro componente importante na composição dos resultados finais dos levantamentos a ela referenciados. Nesse aspecto, a grande vantagem da RBMC é que todas as suas estações fazem parte da Rede de Referência SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Outro papel importante da RBMC é que suas observações vêm contribuindo, desde 1997, para a densificação regional da rede do IGS (*Internacional GNSS Service*), garantindo uma melhor precisão dos produtos deste – tais como órbitas precisas – sobre o território brasileiro (IBGE, 2016a).

A estação de Inconfidentes, denominada MGIN pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) está localizada no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes, com a latitude de 22°19'6,8233"S, longitude de 46°19'40,8866" W e Altitude Geométrica de 883,72 metros (IBGE, 2016b).

Pode-se obter as coordenadas das estações RBMC através do relatório fornecido pelo IBGE. Neste documento contém várias informações relevantes para atividades de posicionamento, tais como, tipo de antena, receptor, altura da antena, sistema de referência, etc. Estes dados são fornecidos de forma gratuita, e disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq\\_googlemaps.php](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php). Onde é permitido o download do arquivo em formato .PDF.

Já os dados de observação GNSS são compactados, contendo basicamente, os arquivos RINEX de observação e navegação, e dados metrológicos.

A Figura 01 mostra a estação de monitoramento contínuo de Inconfidentes (MGIN), fixada no prédio principal do setor da Agrimensura e Cartografia do Instituto.

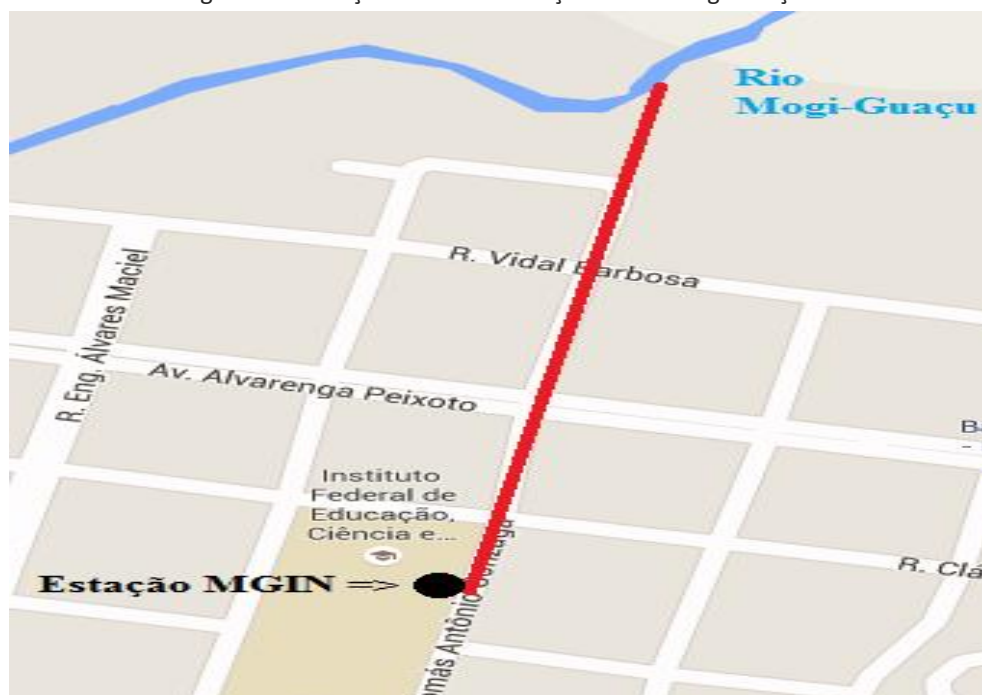
Figura 01 – Estação MGIN



Fonte: Autoria própria (2016).

Nesta pesquisa utilizou-se a estação 93940, outra denominação utilizada pelo IBGE para identificar a estação de monitoramento contínuo da cidade de Inconfidentes. Escolheu-se esta estação, pois a mesma encontra-se localizada a 448 metros do Rio Mogi-Guaçu, e com uma diferença de nível de 35 metros, tornando-a imune a alagamentos causados pelas cheias deste curso d'água. A Figura 02 ilustra a situação da estação em relação ao rio Mogi-Guaçu.

Figura 02 – Estação MGIN em Relação ao Rio Mogi-Guaçu



Fonte: Adaptado de Google Maps (2016).

As condições apresentadas pela estação MGIN, tornam interessante o estudo da influência da carga hídrica na altitude geométrica, como mostra a Figura 02, o receptor e antena geodésica não estão próximos à carga hídrica estudada. Segundo Monico (2008) o afastamento da carga hídrica resulta em uma menor influência desta na componente vertical, por exemplo, no litoral a carga oceânica pode causar uma variação de até 10 cm na componente vertical, mas conforme a distância aumenta em relação ao litoral essa variação diminui para 1 cm.

### **ESTAÇÕES DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA)**

“À Agência Nacional de Águas (ANA) cabe disciplinar a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos de gestão criados pela Política Nacional de Recursos Hídricos. Dessa forma, seu espectro de regulação ultrapassa os limites das bacias hidrográficas com rios de domínio da União, pois alcança aspectos institucionais relacionados à regulação dos recursos hídricos no âmbito nacional” (ANA,2016). Sendo responsável também por outras atribuições, tais como, promover a coordenação das atividades desenvolvidas no âmbito da Rede Hidrometeorológica Nacional, em articulação com os órgãos e entidades públicas e privadas que a integram, ou que dela sejam usuárias,

cabendo então, à ANA, manter e disponibilizar o cadastro atualizado das estações hidrometeorológicas do País (ANA, 2016).

De acordo com o CBH (2016) o município de Inconfidentes encontra-se citado na lista de cidades banhadas pela Bacia Mogi-Guaçu, com um comprimento total de 473 km e área de drenagem total de 17.450 km<sup>2</sup>.

Segundo ANA (2016), ao longo de todo o rio Mogi-Guaçu, há várias estações hidrometeorológicas, entre elas encontra-se a estação 61861000 e estação 02246056, estas estações possuem diferentes responsabilidades, sendo caracterizadas como estação fluviométrica e estação pluviométrica, respectivamente.

Todos os dados hidrometeorológicos coletados pelas estações de monitoramento são armazenados e disponibilizados no portal HidroWeb, tornando-o um importantíssimo banco de dados para a sociedade, pois os dados coletados pelas estações de monitoramento são utilizados para produzir estudos, definir políticas públicas e avaliar a disponibilidade hídrica (ANA, 2016).

### ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Segundo a ANA (2016), as estações pluviométricas têm a capacidade de mensurar o volume de chuva decorrente em determinado local.

Nesta pesquisa utilizou-se a estação pluviométrica 02246056, codificação dada pela ANA. Localizada no município de Inconfidentes/MG com as seguintes coordenadas: Latitude 22°19'06,98"S e Longitude 46°19'17,79"W. A Figura 03 mostra a estação pluviométrica utilizada nesta pesquisa.

Figura 03 – Estação Pluviométrica de Inconfidentes/MG



Fonte: Autoria própria (2016).

As leituras nesta estação são realizadas por um observador contratado, que possui obrigação de realizar leituras diárias, às sete horas da manhã. Onde estes



dados devem ser consolidados, consistidos e posteriormente encaminhados à ANA (ANA, 2007).

### ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA

O nível d'água do rio Mogi-Guaçu, ou de qualquer outro rio, segundo a ANA (2016), é medido pelas estações fluviométricas, espalhadas no decorrer de sua escoação, podendo ser automatizadas, ou manuais.

A ANA possui uma estação no município de Inconfidentes/MG, cujo seu código é 61861000, e encontra-se localizada nas seguintes coordenadas: Latitude 22° 19' 05,35" S e Longitude 46° 19' 18,46" W.

Segundo ANA (2016), são realizadas duas leituras diárias nesta estação, uma sendo às sete horas da manhã e outra as dezessete, feitas também por um observador contratado e tendo o mesmo procedimento das leituras pluviométrica.

A Figura 04 mostra a estação fluviométrica do município de Inconfidentes/MG referente ao rio Mogi-Guaçu, localizada no bairro Monjolinho, e situada montando em relação à estação MGIN.

Figura 04 – Estação Fluviométrica de Inconfidentes/MG



Fonte: Autoria própria (2016).

Esta estação é basicamente composta por réguas graduadas, cravadas com duas estacas de apoio fixadas no chão, a fim de fornecer uma maior estabilidade. As réguas são intercaladas com uma diferença de nível de um metro, e possui uma graduação de 0 a 100 centímetros cada uma.

## POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO

O posicionamento por ponto simples ou posicionamento absoluto associa diretamente as coordenadas ao geocentro, ou seja, a posição do ponto é determinada no referencial vinculado ao sistema que está sendo usado. Na utilização do sistema GPS o referencial é o WGS84, e no caso do sistema GLONASS utiliza-se o referencial PZ90. Este tipo de posicionamento apresenta a vantagem de ser executado com apenas um receptor (MONICO, 2008).

No entanto há também a possibilidade de se utilizar as efemérides precisas juntamente com as correções dos relógios dos satélites para efetuar os cálculos das coordenadas. Neste caso o posicionamento absoluto é denominado de posicionamento por ponto preciso, e o referencial vinculado ao posicionamento é referente às efemérides precisas, podendo ser umas das realizações do ITRS (*International Terrestrial Reference System*) (MONICO, 2008).

As efemérides e as correções dos relógios são disponibilizadas pelo IGS, responsáveis pela produção de três tipos de produtos, denominados IGS (efeméride precisas), IGR (efemérides rápidas) e IGU (efemérides ultra-rápidas), disponibilizadas num período de 13 dias, 17 horas e 3 horas, respectivamente (PERDIGÃO; SANTOS, 2010).

E o referencial a ser utilizado pode ser umas das diversas realizações do ITRS, nos quais estão vinculadas as coordenadas dos satélites nas efemérides precisas (MATSUOKA *et al.*, 2009). Onde o ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) é a realização do ITRS, através de sua origem, orientação dos eixos e escala, e suas variações no tempo (PETIT; LUZUM, 2010). A realização mais antiga, segundo o IERS (2016) é o ITRF89, e tendo como atual o ITRF2014.

As informações, efemérides precisas e as correções dos relógios dos satélites, podem ser usadas tanto no processamento de observações de pseudodistância, como de fase da onda portadora ou em ambos os casos, as observáveis podendo ser coletadas por receptores de simples (L1) ou dupla frequência (L1/L2) (ALVES *et al.*, 2010).

O procedimento em que se adotam as observações de pseudodistância, seja de receptores de uma ou duas frequências, tem sido utilizado há algum tempo pelo Sistema de controle Ativo Canadense (*Canadian Active Control System*) do *Natural Resources Canada* (NRCan), que é um dos colaboradores do IGS (HÉROUX.; KOUBA, 2001).

O PPP também elimina a necessidade de aquisição simultânea de dados de rastreamento a partir de uma estação de referência (base) e os problemas dependentes das distâncias que envolvem as linhas de base (GEODETIC SURVEY DIVISION, 2016).

## METODOLOGIA

A fim de detectar a influência da carga hídrica no deslocamento da crosta, realizaram-se duas análises, a primeira, observou-se a relação entre os dados fluviais e dados pluviiais, verificando as temporadas de estiagem e de cheia do rio Mogi-Guaçu, e também a relação de quantidade precipitada com a variação do nível d'água do rio. Na segunda análise, relacionaram-se os dados fluviais e os

dados de altitudes geométricas obtidas pelos dados GNSS, observando-se o deslocamento da crosta em relação à variação do volume de água existente no rio.

#### DADOS FLUVIAIS E DADOS PLUVIAIS

A ANA disponibiliza de forma gratuita os dados de todas as estações do seu regime. Os dados pluviais e fluviais foram coletados das estações citadas anteriormente.

A obtenção dos dados se deu pelo portal HidroWeb, disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Onde há a possibilidade de se coletar séries históricas das estações, mas deve-se colocar as informações das estações de interesse, tais como, código, tipo de estação, município, bacia, rio, etc.

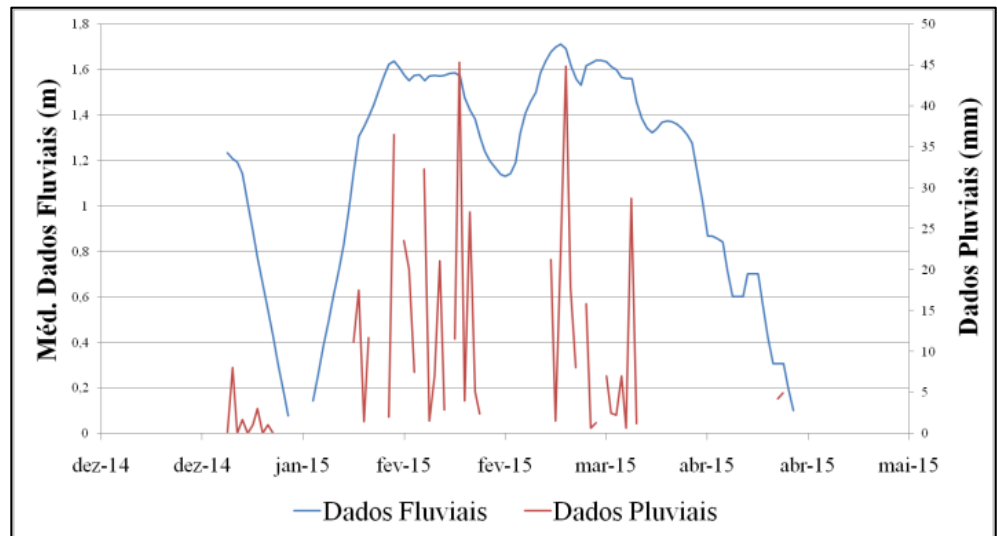
Obeve-se primeiro os dados pluviais, onde informou-se no portal o tipo de estação pluviométrica e o rio Mogi-Guaçu. Resultando em lista das estações pertencentes a este, com as séries históricas de cada estação. Portanto, realizou-se o download da série histórica da estação 02246056, no qual utilizou-se apenas os dados entre 01 de janeiro de 2015 a 31 de janeiro de 2016.

Utilizou-se também dados fluviais deste mesmo período, onde realizou-se o mesmo procedimento anterior, alterando apenas o tipo de estação. Mas como foi mencionado anteriormente, na estação fluviométrica são realizadas duas leituras. A fim de compatibilizar os dados, realizou-se uma média, no qual somou-se os dois valores de nível d'água (Leitura das 7 horas da manhã + Leitura das 17 horas) e as dividiu por dois, obtendo um valor médio diário.

Então, relacionou-se a média dos dados fluviais e dados pluviais, com intuito de detectar as temporadas de estiagem e temporadas de cheias e certificar a influência da precipitação na elevação das águas do rio, que logicamente, quanto maior o volume precipitado maior deve ser a elevação do rio, como mostra as Figuras 05, 06 e 07, onde os 396 dias de estudos foram divididos em três períodos.



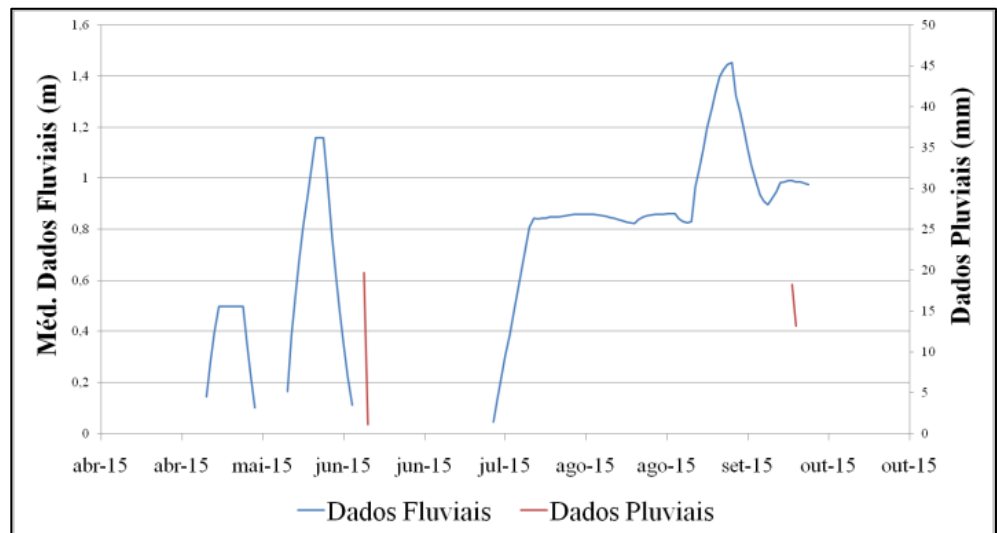
Figura 05 - Relação entre Dados Pluviais e a Média dos Dados Fluviais no Período 01



Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 05 observa-se que no Período 01, correspondente a dezembro de 2014 a 23 de abril de 2015 as variações da precipitação e da carga hídrica do rio Mogi-Guaçu estão diretamente relacionadas, no qual o volume precipitado influenciou na elevação das águas do rio. Neste período a precipitação teve um volume total de 593,3 mm, e o nível d'água do rio chegou a 1,7 metros.

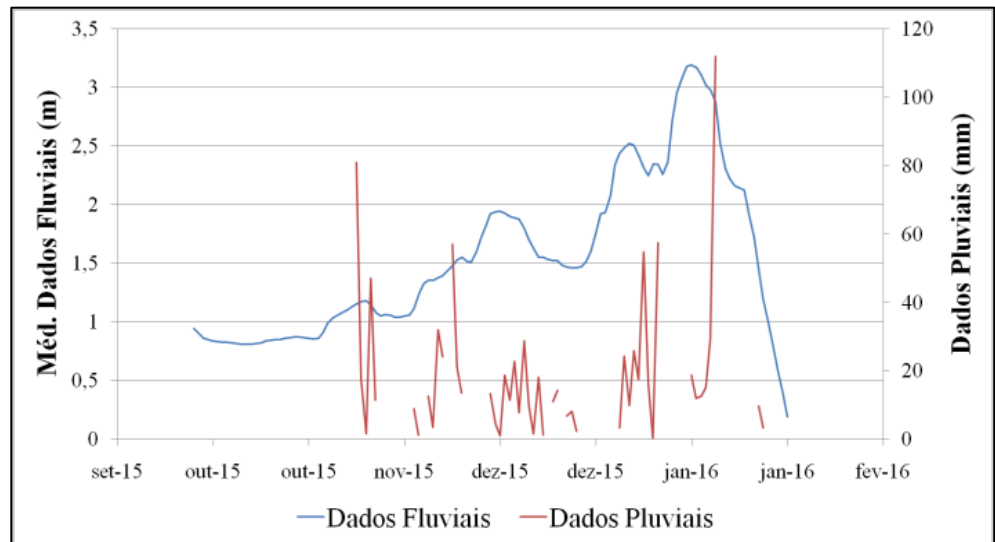
Figura 06 - Relação entre Dados Pluviais e a Média dos Dados Fluviais no Período 02



Fonte: Autoria própria (2016).

O Período 02 (Figura 06) houve um registro de precipitação baixa, onde o volume totalizado, durante 24 de abril a 28 de setembro, foi de 276,04 mm, abaixo da metade do Período 01. Já a altura das águas do Rio Mogi-Guaçu teve uma variação de 1,45 metros, onde o pico se deu exatamente na data de 09 de setembro. E o maior volume precipitado foi de 19,7 mm, no dia 10 de junho.

Figura 07 - Relação entre Dados Pluviais e a Média dos Dados Fluviais no Período 03



Fonte: Autoria própria (2016).

A maior cheia do rio deu-se no Período 03 (Figura 07), de 29 de setembro a 31 de janeiro de 2016, onde o somatório do volume de precipitação foi de 1049,34 milímetros, com pico de 112 mm, e o nível d'água do rio chegou a 3,20 metros. O mês de janeiro de 2016 se caracterizou como um mês chuvoso, em relação aos outros meses estudados, onde o somatório do volume de precipitação chegou ao valor de 362,1 mm, volume maior do que todo o Período 02.

#### DADOS GNSS

Utilizou-se os dados GNSS da estação MGIN, dados coletados em um período de 24 horas com uma taxa de gravação de 15 segundos. Obteve-se estes dados pelo site do IBGE (2016c), de forma gratuita, disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmcpesq.shtm?c=9>. Realizou-se então, o download dos dados referente à mesma data dos dados hidrológicos (fluviais e pluviais).

Para o processamento dos dados GNSS, utilizou-se o serviço da NRCAN, denominado de CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning*), disponível na forma online desde novembro de 2003. Por meio dele, é possível processar dados GNSS tanto de receptores de simples, quanto de dupla frequência, e no modo estático e cinemático, ambos pós-processados. Após o cadastramento, o usuário envia o arquivo de dados GNSS (em formato RINEX) disponível em <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php?locale=en>, informando se a ocupação é estática ou cinemático, e o referencial a ser utilizado, podendo ser o ITRF ou NAD83 (MATSUOKA *et al.*, 2009)

Segundo Abreu (2007), o processamento é realizado no modo absoluto, aceitando os seguintes tipos de compressão: .zip, .gzip, .gz, .Z, etc. E no processamento dos dados GPS utiliza o programa GPSPACE. Utiliza-se também arquivos de órbita precisa e de correção dos relógios fornecidos pelo IGS, e na

falta das efemérides precisas, o serviço utiliza para o processamento as efemérides rápidas ou ultra-rápidas.

Realizou-se então o processamento de todas as observações individualmente, no modo estático e com o referencial ITRF08, pois a ferramenta CRSS-PPP realiza o processamento de apenas um dado por vez. No qual o resultado do processamento é enviado para o e-mail do usuário em aproximadamente dois minutos, e apresenta as coordenadas colocadas diretamente no e-mail e os relatórios completos do processamento (ABREU, 2007).

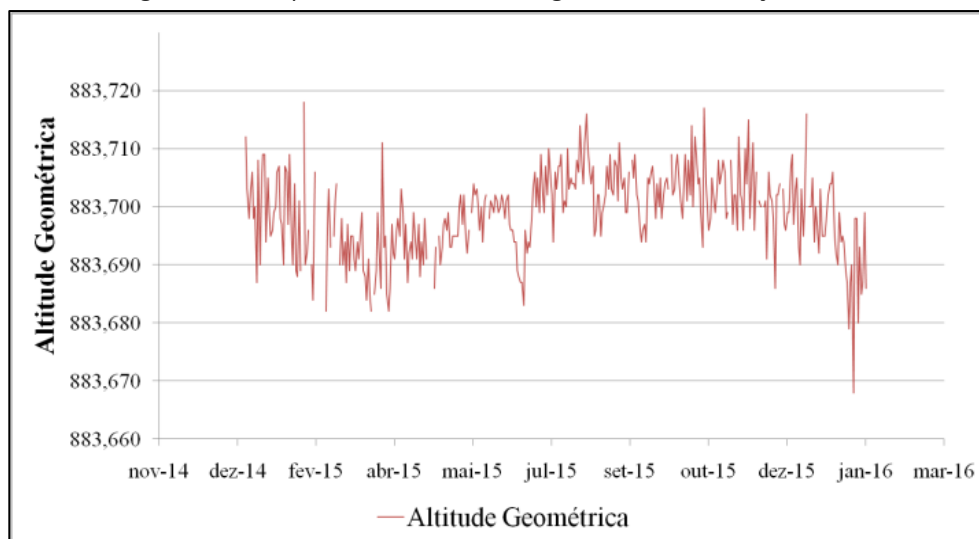
A ferramenta CSRS-PPP não abre ao usuário a escolha da realização do ITRF. No período em que realizou-se a pesquisa, o processamento utilizou o referencial ITRF08, mas já se tem o ITRF2014, que segundo ITRF (2016), seu desenvolvimento se deu pelos mesmos procedimentos utilizados nas realizações ITRF08 e ITRF05, mas com algumas inovações, como por exemplo, a inserção de modelos de *Post-Seismic Deformation* (PSD), em que essas inovações fez com que o ITRF2014 se tornasse uma versão melhorada das realizações anteriores.

A qualidade dos resultados depende do tipo de equipamento utilizado pelo usuário, da dinâmica atmosférica e da duração da sessão observada (GEODETIC SURVEY DIVISION, 2016).

Segundo o IBGE (2016b), a estação MGIN possui um receptor de dupla frequência da marca TRIMBLE e modelo NETR5, e o tipo de antena é TRM55971.00. Este conjunto de equipamentos possibilita alcançar altas precisões, cujas coordenadas finais têm precisão da ordem de  $\pm 5$  mm.

Com o processamento dos dados GNSS obteve-se a altitude geométrica de todos os dias de estudo, possibilitando a visualização da variação da componente vertical, como mostra a Figura 08.

Figura 08 - Comportamento da altitude geométrica da estação MGIN



Fonte: Autoria própria (2016).

Para melhor visualização dos dados realizou-se uma manipulação destes, onde aplicou-se média móvel na discrepância da altitude geométrica obtida pela equação (1).

$$Discr. = H_{atual} - H_{ref}. \quad (1)$$

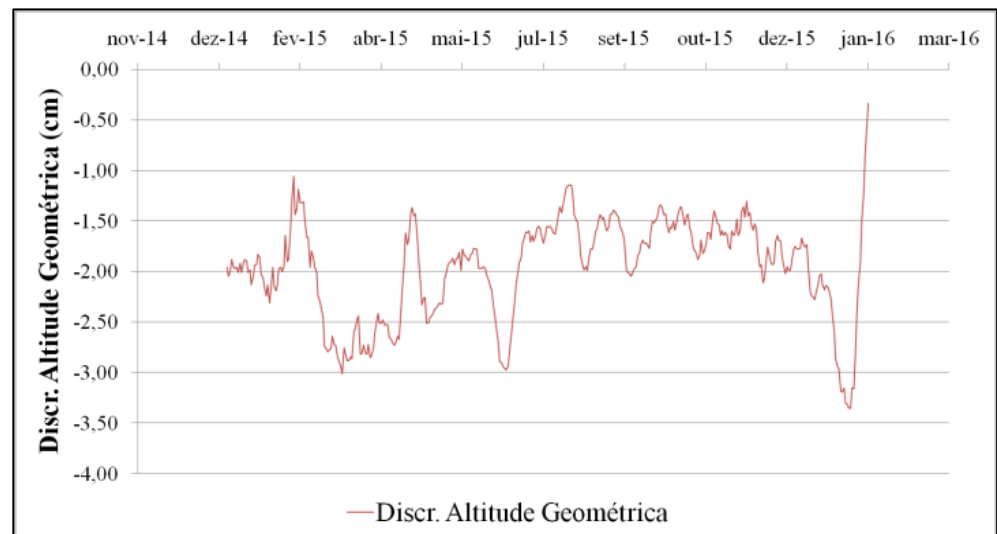
Onde o  $H_{atual}$  é a altitude coletada do processamento PPP dos dados GNSS. Já  $H_{ref.}$  é a altitude geométrica constatada no relatório do IBGE, neste caso referente à estação MGIN.

Com a discrepância obtida pela equação (1), aplicou-se média móvel, que segundo Abreu (2007), reduz a variação de um conjunto de dados e conserva o movimento de tendência. O nome média móvel é utilizado porque, a cada período, a observação mais antiga é substituída pela mais recente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da variação da discrepância da altitude, é possível visualizar o deslocamento da crosta a nível local, como mostra a Figura 09. Onde essa movimentação é devido a diversos fatores externos, tais como, as cargas causadas pela alteração de pressão atmosférica, as flutuações de maré oceânica, e as variações na distribuição de água influenciando principalmente a componente vertical (BEVIS *et al.*, 2005).

Figura 09 - Variação da Discrepância da Altitude Geométrica da estação MGIN

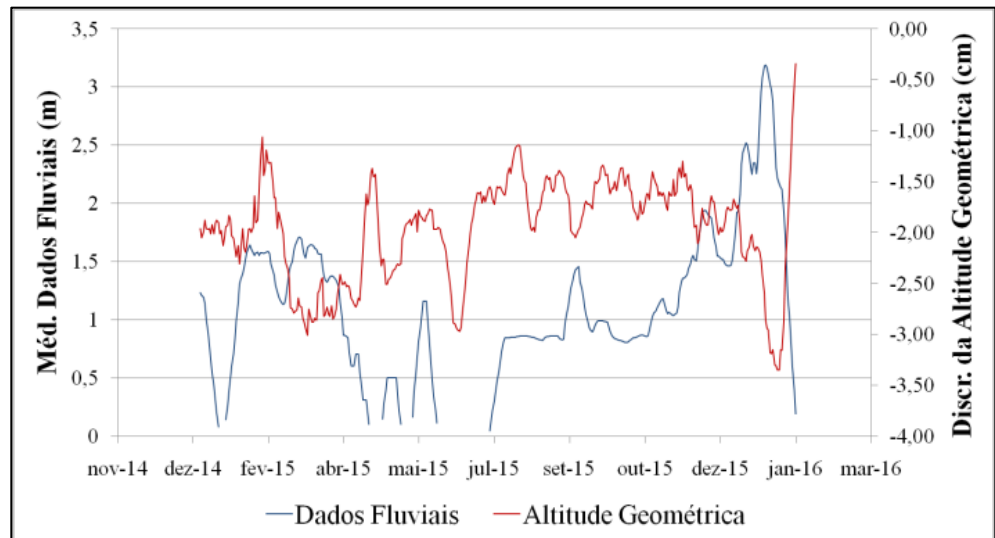


Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 09, verifica-se que o deslocamento vertical, estudado através da discrepância da altitude geométrica, variou absolutamente 3,01 cm, tendo uma maior variação entre dezembro de 2015 e janeiro de 2016.

A detecção da possível existência da influência da carga hídrica na componente vertical se deu pela análise entre os dados fluviiais e os dados da discrepância da altitude geométrica, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Relação entre Dados Fluviais e a Discrepância da Altitude Geométrica



Fonte: Autoria própria (2016).

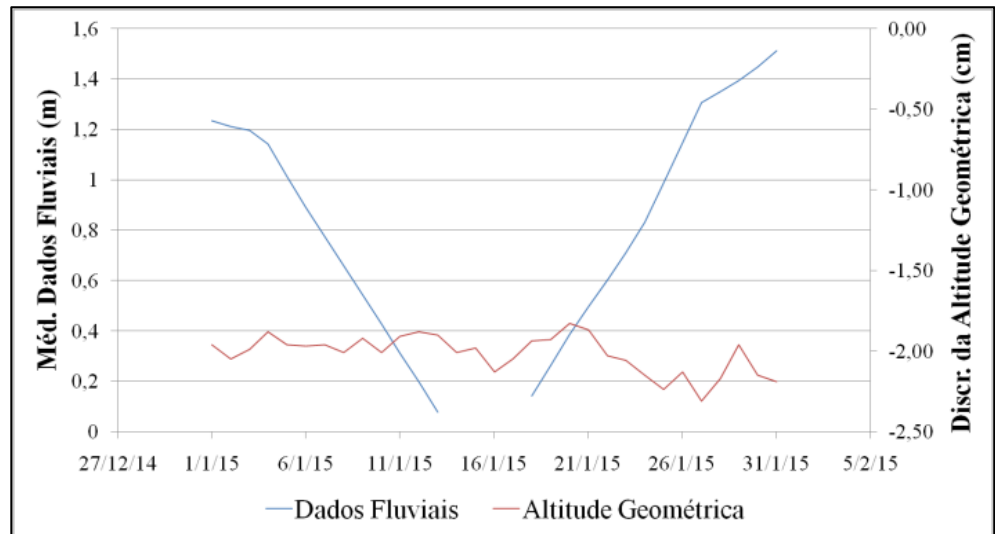
A Figura 10 relaciona os dois dados de natureza diferentes, e o resultado mostra que a maior variação da altitude geométrica coincidiu exatamente na maior variação do nível d'água do rio. Observou-se também, que a visualização do deslocamento da crosta em relação à carga hídrica é mais nítida analisando dados em temporadas de estiagem e temporadas de cheia, no qual foram obtidas pelas análises dos dados fluviais e pluviais.

A comparação entre estes dados resultou na escolha das melhores datas para a realização da análise da relação entre o deslocamento da crosta e os dados fluviais. Com o alto volume precipitado no mês de janeiro de 2016, verificou-se que no mês de janeiro de 2015 a precipitação não teve o mesmo comportamento, caracterizando como um mês onde houve vários dias com ausência de chuvas, em que seu volume total de precipitação foi de apenas 77 mm, muito inferior quando comparado com o mês de janeiro de 2016. Sendo assim, realizaram-se análises nestes dois meses, comparando-os, a fim de verificar o comportamento da crosta em relação à carga hídrica envolvida em cada um destes.

As Figuras 11 e 12 mostram o comportamento da crosta em relação aos dados fluviais dos meses de janeiro de 2015 e janeiro de 2016, respectivamente.



Figura 11 - Relação entre Discrepância da Altitude Geométrica e Dados Fluviais de janeiro de 2015



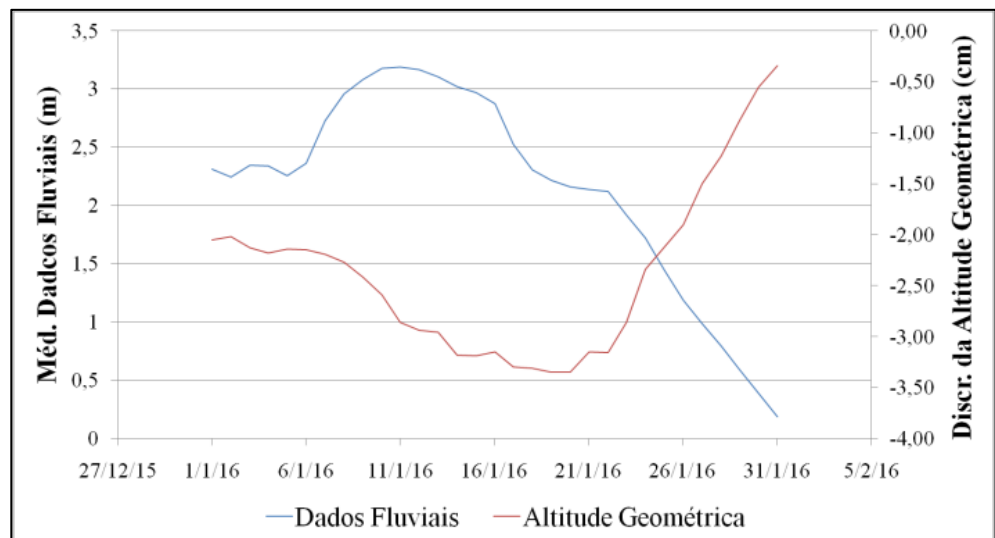
Fonte: Autoria própria (2016).

Na Figura 11 verifica-se que a variação da crosta foi mínima, em janeiro de 2015 não ultrapassando 0,48 cm, absolutamente, possuindo então um comportamento praticamente estável com o nível d'água do rio variando 1,511 metros.

A descontinuidade dos dados fluviais no período entre os dias 13/01/2015 e 18/01/2015, se deu pela estiagem ocorrida neste mês, que influenciou diretamente no nível d'água do rio. No qual houve ausência de leituras nestas datas, pois as águas do Mogi-Guaçu se deslocaram para a margem oposta da estação fluvial.

Já a Figura 12 mostra relação entre os dados fluviais e discrepância da altitude geométrica do mês de janeiro de 2016.

Figura 12 - Relação entre a Discrepância da Altitude Geométrica e Dados Fluviais em janeiro de 2016



Fonte: Autoria própria (2016).

A Figura 12 mostra a relação entre um mês caracterizado como chuvoso e a variação da discrepância. Onde observa-se que quanto maior a carga hídrica do rio, maior foi a variação da altitude geométrica.

Neste período houve os maiores valores de variação dos dois dados analisados, citados anteriormente, em que o nível d'água alcançou seu nível máximo de 3,20 metros e a discrepância variou 3,01 cm, absolutamente. Detectando a influência da carga hídrica na altitude geométrica.

A carga hídrica do rio exerce uma força peso na crosta, causando certo deslocamento, onde afetou-se diretamente a componente vertical. Este peso da carga hídrica fez com que a altitude geométrica da estação MGIN apresentasse valores mais baixos, como mostra a Figura 08 no mês de janeiro de 2016, em que antes da cheia do rio, os valores de altitude geométrica variavam de 883,699 a 883,706 metros, já na cheia, a partir do dia 10, a altitude geométrica apresentou valores decrescente, variando de 883,695 a 883,668 metros, resultando então em uma variação absoluta de 3,8 cm. Valor maior que a variação da discrepância, isto porque não aplicou-se média móvel nos dados de altitude geométrica.

## **CONCLUSÃO**

A relação entre os dados fluviométricos e pluviométricos apresentou um resultado esperado, pois a elevação do nível d'água do rio é causada em épocas onde houve maior precipitação. Já a comparação entre a altitude geométrica e os dados fluviais mostra uma correlação inversa, onde se observa as implicações da carga hídrica sobre as altitudes geométricas, acentuando o soerguimento da crosta. Estes deslocamentos da crosta causados pela influência hídrica, afetam de forma direta as estações GNSS, tendo a necessidade de serem modeladas de tempos em tempos. Isto implica que mesmo com uma distância de 484 metros e uma diferença de nível de 35 metros do rio, o carregamento hídrico influencia diretamente na altitude geométrica.

Comprovando também a eficiência do processamento dos dados GNSS pelo método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), em que observou-se o deslocamento da crosta por meio da altitude geométrica obtida pelo processamento.

## Water load influence in Ellipsoidal Height of the Inconfidentes/MG RBMC Station

### ABSTRACT

There are several methods for performing positioning with the GNSS among them is PPP, which in actuality is a positioning method, which sees as a great potential for obtaining coordinates with a high quality level, using a single receptor. It can thus be used in specific applications such as geodynamics, specifically in monitoring the earth's crust. This study aims to analyze the influence of water load on geometric altitude achieved through the PPP process of continuous monitoring network station called MGIN. In these analyzes we used dry and wet season data from Mogi-Guaçu and geometric altitude data. The relationship between these data showed the implications of water load on the geometric altitude, accentuating the uplift of the crust. These crustal displacements caused by water influences affect directly the GNSS stations. This implies that even with a distance of 484 meters and a difference of level of 35 meters from the river, the water loading influence directly on geometric altitude.

**KEYWORDS:** Geometric Altitude. Water Load. Displacement Crust. PPP.

## REFERÊNCIAS

ABREU, M. A. de. **Análise da qualidade dos dados GPS: estudo de caso da estação de Cananéia**. 2007. 180 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

ALVES, C. M. D.; ROMÃO, V. M. C.; MONICO, J. F. G.; GARNÉS, S. J. A. Avaliação da Qualidade do Posicionamento por Ponto Preciso na sua Forma ON-LINE. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife - PE, p.001-007, jul. 2010.

ANA. AGENCIA NACIONAL DE AGUAS. **Sobre a ANA**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em 22 de mar.. 2016.

ANA. Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional. **Agência Nacional de Águas**, v. 1, n. 1, abr. 2007.

BEVIS, M.; ALSDORF, D.; KENDRICK, E.; FORTES L.; FORSBERG, B.; SMALLEY, R.; BECKER, J.. Seasonal fluctuations in the mass of the Amazon River system and Earth's elastic response. **Geophys Res Lett**, 32:L16308. 2005. <http://dx.doi.org/10.1029/2005GL023491>.

CBH. COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA. **Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Mogi-Guaçu e Pardo**. Disponível em: <http://www.cbhmogipardo.com.br/>. Acesso em 03 de maio, 2016.

COSTA, S. M. A.; MATOS, A. C. O. C. de; BLITZKOW, D. Validação da avaliação pelo GRACE do acúmulo de água no subsolo da bacia amazônica com base em dados de linígrafos. **Bol. Ciênc. Geod.**, Curitiba , v. 18, n. 2, p. 262-281, 2012 .

CSRS-PPP. **Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positionin**. Disponível em: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-ouils/ppp.php?locale=en>. Acesso em: 15 fev., 2016.

GEODETTIC SURVEY DIVISION, NATURAL RESOURCES CANADA. **CSRS - PPP**. Disponível em <http://www.geod.nrcan.gc.ca/>. Acesso em: 29 de mar., 2016.

GOOGLE MAPS. **[Estação MGIN em relação ao Rio Mogi-Guaçu]**. [2016]. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/@-22.3170181,-46.3270182,17z>. Acesso em 25 de março, 2016.

IBGE. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC)**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>. Acesso em 22 de mar., 2016a.

IBGE. **Banco de Dados Geodésicos**. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq\\_googlemaps.php](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/bdgpesq_googlemaps.php). Acesso em: 20 mar., 2016b.

IBGE. **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS – RBMC**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmcpesq.shtm?c=9>. Acesso em 19 mar., 2016c.

IERS. **International Earth Rotation and Reference Systems Service**. Disponível em: <https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ITRF/itrf.html>. Acesso em: 26 out., 2016.

ITRF. **International Terrestrial Reference Frame**. Disponível em: [http://itrf.ign.fr/ITRF\\_solutions/2014/](http://itrf.ign.fr/ITRF_solutions/2014/). Acesso em: 26 out., 2016.

HÉROUX, P.; KOUBA, J. GPS Precise point positioning using IGS Orbit Products. **Physics and Chemistry of the Earth, part A: Solid Earth and Geodesy**, [s.l.], v. 26. N. 6-8, p.573-578, 2001.

HidroWeb. **Portal de dados Hidrométricos da ANA**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?Tocltem=1070&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=false>. Acesso em 20 de fev., 2016.

MATSUOKA, M. T.; AZAMBUJA, J. L. F.; SOUZA, S. F.; VERONEZ, M. R. Potencialidades do serviço on-line de Posicionamento por Ponto Preciso (CSRS-PPP) em aplicações geodésicas. **Gaea - Journal Of Geoscience**, v. 5, n. 1, p.42-48, jun. 2009.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. 2 ed. São Paulo, Editora UNESP, 2008.

PERDIGÃO, T. D.; SANTOS, A. P. Avaliação da Acurácia a partir de diferentes tempos de rastreamento utilizando a solução PPP On-Line do IBGE. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife - PE, p.001-007, jul. 2010.



PETIT, G.; LUZUM, B. **IERS Conventions (2010) – IERS Technical Note 36**. IERS. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, p. 179. 2010.

ZUMBERGE, J. B.; BERTIGER, W. I. Ephemeris and Clock Navigation Message Accuracy, In: PARKINSON, B. W.; SPILKER, J. J., **Global Positioning System: Theory and Applications**, v.1, Cambridge, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996.

**Recebido:** 14 jul. 2016

**Aprovado:** 06 mar. 2017

**DOI:** 10.3895/rbgeo.v5n1.5425

**Como citar:** GIACOMETTI, J. P. S.; ALBARICI, F. L.; TRABANCO, J. L. A.; GUIMARÃES, G. N. Influência da carga hídrica na altitude geométrica da estação RBMC de Inconfidentes/MG. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 043-061, jan/mar. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

João Paulo Stach Giacometti

Praça Tiradentes, 416, CEP 37.576-000, Inconfidentes, Minas Gerais, Brasil

**Direito autoral:** Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

