

LÉCIO ALVES NASCIMENTO

**INFLUÊNCIA DA CARGA HIDROLÓGICA NA ALTITUDE GEOMÉTRICA A
PARTIR DE ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS ESTIMADAS NO MÉTODO
PPP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

Nascimento, Lécio Alves, 1982-
N244i Influência da carga hidrológica na altitude geométrica a
2016 partir de análise de séries temporais estimadas no método PPP /
Lécio Alves Nascimento. – Viçosa, MG, 2016.
xiii,73f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: William Rodrigo Dal Poz.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.59-73.

1. Análise de séries temporais. 2. Programas de
computador. 3. Altitudes - Medição - Metodologia. 4. IBGE.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil.
II. Título.

CDD 22 ed. 519.55

LÉCIO ALVES NASCIMENTO

**INFLUÊNCIA DA CARGA HIDROLÓGICA NA ALTITUDE GEOMÉTRICA A
PARTIR DE ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS ESTIMADAS NO MÉTODO
PPP**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 15 de dezembro de 2016.

Haroldo Antonio Marques

Afonso de Paula dos Santos
(Coorientador)

William Rodrigo Dal Poz
(Orientador)

“A única maneira de se fazer um bom trabalho é amando o que se faz. Se ainda não encontrou, continue procurando e não se desespere. Assim como no amor, saberá quando *tiver encontrado*.”
(Steve Jobs)

AGRADECIMENTOS

A Deus, o autor da vida, pela sabedoria, paz, consolo e por estar sempre ao meu lado em cada momento da minha vida.

Aos meus pais Rozilda e Florisval pela família, coragem, apoio, compreensão, dedicação e por acreditar sempre em mim; À minha irmã Greice por todo incentivo, confiança e esforço; A todos os familiares, sem vocês esta conquista não teria tanto valor.

A minha esposa Nilcélia pelo incentivo, compreensão, carinho, amizade, motivação e por me fazer determinado a cada etapa da dissertação. Obrigado por estar o meu lado, em cada passo dado em direção a essa conquista.

Ao professor Dr. William Rodrigo Dal Poz pelo apoio, força, incentivo, companheirismo, amizade e pelas valiosas contribuições.

Aos professores doutores Paulo César Emiliano e Afonso de Paula dos Santos pela coorientação e pelas contribuições direcionadas ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Viçosa (UFV) pela amizade, ajuda e ensinamentos, em especial ao Professor doutor Júlio César de Oliveira e à Professora doutora Nilcilene das Graças Medeiros.

A Cilene Knauf pela ajuda, dedicação e amizade.

Ao amigo Willian Reis por toda ajuda e contribuição.

Ao amigo Alessandro (Lambari) pelas longas conversas e contribuições.

Aos eternos amigos Alessandra, Francisco, Fabrício e Fabiano pelo companheirismo, preocupação, pelas longas conversas, parceria e ensinamentos. Vocês foram cruciais neste processo.

A todos do IFNMG – Campus Araçuaí pelo companheirismo e incentivo.

A CAPES, pela a bolsa de mestrado.

Ao IBGE pela disponibilidade dos dados, mantenedor do projeto RBMC e do serviço IBGE-PPP.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta conquista.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTAS DE TABELAS.....	ix
RESUMO	x
ABSTRACT.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO	5
1.1.1 Objetivo geral.....	5
1.1.2 Objetivos específicos	5
1.2 JUSTIFICATIVA.....	6
1.3 CONTEÚDO DO TRABALHO	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1 Posicionamento por Ponto Preciso (PPP).....	8
2.1.1 Serviços de PPP online	12
2.2 SIRGAS e ITRF	18
2.3 Efeitos de carga atmosférica e hidrológica.....	23
2.4 Séries temporais	28
2.4.1 Tendência	29
2.4.2 Sazonalidade	30
2.4.3 Estacionariedade.....	32
3 MATERIAL E MÉTODO	33
3.1 Área de estudo	33
3.2 Materiais utilizados	35
3.3 Metodologia.....	36
3.3.1 Implementação do software RINEX EDITION	36

3.3.2	Construção das séries temporais posicionais	39
3.3.3	Construção das séries temporais fluviométricas	40
3.3.4	Análise da influência da carga hidrológica na altitude geométrica.....	41
4	RESULTADOS E ANÁLISES	42
4.1	Análise das séries de componentes cartesianas	42
4.2	Influências da carga hidrológica na altitude geométrica	45
4.2.1	Análises sobre as correlações.....	45
4.2.2	Análises sobre as características das séries temporais.....	49
4.2.2.1	Séries linimétricas da estação MANAUS-ANA.....	50
4.2.2.2	Séries de altitudes geométricas da estação NAUS.....	51
4.2.2.3	Séries linimétricas da estação SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA-ANA ..	53
4.2.2.4	Séries de altitudes geométricas da estação SAGA.....	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APPS	Automatic Precise Positioning Service
BeiDou	<i>China's Global Navigation Satellite System</i>
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
CGS	Canadian Geodetic Survey
CSRS-PPP	Canadian Spatial Reference System - PPP
DGFI	Geodätisches Deutsches Forschungsinstitut
DORIS	Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite
ERP	Earth Rotation Parameter
FTP	File Transfer Protocol
Galileo	<i>Europe's Global Satellite Navigation System</i>
GAPS	GPS Analysis and Positioning Software
GDGPS	Global Differential GPS System
GIPSY	GNSS Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software
GLONASS	Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya System
GMF	Global Mapping Function
GMVA	Geospace and Defense
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning System
GRACE	Gravity Recovery and Climate Experiment
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBGE-PPP	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - PPP
IERS	International Earth Rotation and Reference Systems Service
IGS	International GNSS Service
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
JPL	Jet Propulsion Laboratory
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NGA	National Geospatial-Intelligence Agency
NGS	National Geodetic Survey

NIMA	National Imagery US and Mapping Agency
NRCan	Natural Resources Canada
NTGIR	Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
SGL	Sistema Geodésico Local
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SLR	Satellite Laser Ranging
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
TEQC	Translation, Editing and Quality Check
UNB	University of New Brunswick
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
VTEC	Vertical Total Electron Content

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rede SIRGAS 1995.	20
Figura 2: Rede SIRGAS 2000.	21
Figura 3: Rede SIRGAS-CON.	22
Figura 4: RMS (Root Mean Square) dos deslocamentos de superfície devido a variações continentais de carga atmosférica, calculados pelo modelo de Petrov e Boy (2004), para o período de 1994-2008. Os círculos retratam as estações GPS utilizadas.....	24
Figura 5: RMS (Root Mean Square) dos deslocamentos de superfície devido a variações continentais de carga hidrológica para o período de 1994-2008. Os círculos retratam as estações GPS utilizadas.....	26
Figura 6: Disposição das estações em São Gabriel da Cachoeira.	34
Figura 7: Localização das estações em Manaus.	35
Figura 8: Fluxograma de funcionamento do RINEX EDITION.	37
Figura 9: Série de informações posicionais geradas com o RINEX EDITION.	43
Figura 10: Séries temporais das componentes cartesianas X, Y e Z e suas linhas de tendência linear para as estações NAUS (à esquerda) e SAGA (à direita).	44
Figura 11: Comparativo entre a série de altitude geométrica da estação NAUS e a série linimétrica da estação MANAUS – ANA.	47
Figura 12: Comparação entre a série de altitude geométrica da estação SAGA e a série linimétrica da estação SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA – ANA.	48

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das características dos serviços PPP online.....	15
Tabela 2: Informações referentes aos cinco arquivos internos ao comprimido resultante do processamento no serviço IBGE-PPP.	18
Tabela 3: Soluções IGS adotadas pelo IBGE-PPP.	40
Tabela 4: Correlações entre as séries de cotas linimétricas e as séries de altitudes geométricas.....	46
Tabela 5: Características apresentadas pelas séries temporais referentes às estações situadas em Manaus.	52
Tabela 6: Características apresentadas pelas séries temporais referentes às estações situadas em São Gabriel da Cachoeira.....	54

RESUMO

NASCIMENTO, Lécio Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2016. **Influência da carga hidrológica na altitude geométrica a partir de análise de séries temporais estimadas no método PPP.** Orientador: William Rodrigo Dal Poz. Coorientadores: Paulo César Emiliano e Afonso de Paula dos Santos.

Estudos que utilizam séries temporais são realizados em diversas áreas do conhecimento, como: economia, geofísica, geodésia etc. Dados específicos são associados a cada área supracitada, possibilitando efetuar análises sobre as séries, e avaliar as influências temporais de diversos fatores que interferem nos dados. No âmbito da Geodésia Espacial, vários estudos são desenvolvidos, de forma direta ou indireta, sobre séries temporais de dados posicionais (coordenadas), permitindo investigar a influência, por exemplo, da ionosfera, da troposfera, da geodinâmica, de cargas etc. No entanto, a construção de uma série temporal posicional apresenta alguns empecilhos, que tornam esse procedimento moroso e, em muitos casos, inviável. Nesse contexto, desenvolveu-se uma metodologia e implementou-se no software RINEX EDITION, cujo objetivo foi a geração de séries temporais posicionais de forma automatizada, utilizando dados das estações da RBMC, editáveis com o TEQC também automatizado, em conjunto com o serviço de processamento online IBGE-PPP. Séries temporais posicionais (coordenadas cartesianas X , Y , Z ; elipsoidais φ , λ , h e as precisões de ambas) foram geradas considerando um período de seis anos (2010-2015), para as estações NAUS e SAGA. O tempo destinado à construção dessas séries foi de 48 horas, utilizando uma conexão de internet de banda larga de 5MB, confirmando assim a eficiência do programa, quando se compara ao tempo demandado no procedimento manual. Efetuando-se uma análise exploratória sobre as séries de componentes cartesianas pode-se observar que a componente Z referente à estação NAUS apresentou um deslocamento entre os anos de 2013 e 2014, o que não foi observado nas séries das demais componentes. Quando consideradas as séries de dados fluviométricos e de altitudes geométricas filtradas com médias móveis, observou-se uma correlação inversa muito forte para as séries referentes às estações localizadas em Manaus, enquanto as séries referentes às estações localizadas em São Gabriel da Cachoeira apresentaram correlação inversa moderada, mostrando que Manaus sofre maior influência da carga hidrológica. A estação NAUS apresentou amplitude considerável em sua série de altitude geométrica, superando amplitudes encontradas por

outros autores. Mesmo com uma distância considerável entre as estações da RBMC e a diferença entre a vazão nas estações linimétricas, as estações RBMC (NAUS e SAGA) apresentaram uma correlação direta forte entre suas altitudes geométricas. A partir da aplicação dos testes de hipóteses de: Cox-Stuart (para tendência); Kruskal-Wallis (para sazonalidade) e Dickey-Fuller (para estacionariedade) verificou-se que as séries de cotas linimétricas e altitudes geométricas das estações localizadas em Manaus apresentaram ocorrência de tendência, sendo que somente a primeira apresentou sazonalidade, o que não ocorreu com a segunda. Considerando as séries das estações localizadas em São Gabriel da Cachoeira inferiu-se que a série de cotas linimétricas não apresentou tendência, o que não se repetiu para a série de altitudes geométricas, ou seja, esta série apresentou tendência. A série de cotas linimétricas apresentou sazonalidade, o que não foi apresentado pela série de altitudes geométricas.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Lécio Alves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2016. **Influence of the hydrological load on the geometric altitude from the analysis of time series estimated in the PPP method.** Advisor: William Rodrigo Dal Poz. Co-Advisors: Paulo César Emiliano and Afonso de Paula dos Santos.

Researches that use time series are accomplished in several fields of studies, such as economy, geophysics, geodesy, etc. Specific data are associated to each field of study, making possible to do analyses over the series and evaluate the time influences of several factors that affect the data. Within the scope of Spatial Geodesy, many studies are developed, directly or indirectly, about time series of positional data (coordinates), allowing to explore the influence of: the ionosphere, the troposphere, the geodynamics, loads, etc. However, the construction of a positioning time series shows some limitations, that make this process slow, and many times, impracticable. In this sense, it was developed a methodology to be implemented in the software RINEX EDITION, which goal was to create positioning time series in an automated way, using the data from the RBMC stations, editable with TECQ, also automated, along with the online processing service IBGE-PPP. Positioning time series (Cartesian coordinates X, Y, Z; ellipsoidal coordinates ϕ , λ , h and their precisions) were created, considering a six years' period (2010-2015), to the stations NAUS and SAGA. The time consumed to build theses series was 48 hours, using a 5 MB internet connection, confirming the efficiency of the software, when compared to the time demanded at the manual process. By doing an exploratory analysis about the cartesian components series, is noticed that the Z component of the NAUS station showed a drift between the years of 2013 and 2014, what was not observed at the others components. When considering the series of fluviometric data and geometric altitudes filtered with moving averages, a very strong inverse correlation was observed for the series referring to the stations located in Manaus, while the series referring to the stations located in São Gabriel da Cachoeira presented a moderate inverse correlation, showing that Manaus suffers greater influence of the hydrological load. The NAUS station presented considerable amplitude in its geometric altitude series, surpassing amplitudes found by other authors. Even with a considerable distance between the RBMC stations and the difference between the flow in the linimetric stations, RBMC stations (NAUS and SAGA) showed a strong direct correlation between their geometric altitudes. From the application of the hypothesis tests of: Cox-Stuart (for trend); Kruskal-Wallis (for seasonality) and Dickey-Fuller (for

stationarity), it was verified that the series of linimetric dimensions and geometric altitudes of the stations located in Manaus presented a tendency occurrence, only the first showing seasonality, which did not occur with the second. Considering the series of the stations located in São Gabriel da Cachoeira it was inferred that the series of linimetric dimensions did not present a tendency, which was not repeated for the series of geometric altitudes, that is, this series presented a tendency. The series of linimetric dimensions presented seasonality, which was not presented by the series of geometric altitudes.

1 INTRODUÇÃO

Alguns métodos para processamento de dados GNSS (Global Navigation Satellite Systems) têm se destacado por possibilitarem a realização do posicionamento com acurácia cada vez melhor (ALMEIDA, 2015). Dentre esses se evidencia o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), apresentado como um método eficiente, globalmente empregado em diversas aplicações e investigações científicas (GRINTER e ROBERTS, 2011; RAJNER e LIWOSZ, 2012; GRINTER e JANSSEN, 2012; BANVILLE, 2014; CHOY et al., 2016; NISTOR e BUDA, 2015).

Seu conceito foi introduzido pela primeira vez na década de 70 por Richard. J. Anderle, porém, só despertou o interesse da grande comunidade GNSS a partir dos anos 1990 (noventa) (CHOY, 2009; RAMOS, 2015). Destaca-se que a fundamentação teórica do PPP foi desenvolvida por Zumberge et al. (1997a), o qual utilizou em seus estudos o termo PPP pela primeira vez. Trata-se de um método de posicionamento por ponto de alta acurácia (centimétrica) que possibilita ao usuário a utilização de apenas um receptor, reduzindo assim o custo e o trabalho quando comparado a outros métodos (LEICK, 2004; GAO, 2006; KOUBA, 2015).

Normalmente, o PPP refere-se à obtenção da posição de um ponto baseando-se em observações não diferenciadas do código e da fase de batimento da onda portadora, coletadas por receptores de dupla frequência (L1L2) e atreladas às efemérides precisas (órbitas dos satélites propriamente ditas e erros dos relógios dos respectivos satélites) (WITCHAYANGKOON, 2000; LEICK, 2004; HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008; CHOY, 2009; IBGE, 2013). As efemérides precisas têm sido produzidas e disponibilizadas pelo IGS (International GNSS Service) e centros associados, sem nenhum custo (IGS, 2016).

É importante salientar que o PPP também pode ser realizado com dados de receptores de simples frequência (L1), porém, os resultados apresentam menor acurácia (CHEN e GAO, 2005; CHOY, 2009; AFIFI e EL-RABBANY, 2014; AZAMBUJA, 2015).

Diversos serviços de PPP são disponibilizados online atualmente, tais como: CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System - PPP), disponibilizado pelo NRCan (Natural Resources Canada); GAPS (GPS Analysis and Positioning Software), da UNB (University of New Brunswick); APPS (Automatic Precise Positioning Service) do JPL (Jet Propulsion Laboratory); magicGNSS da GMV (GMV Aerospace and Defense), e o

IBGE-PPP (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - PPP) (ALMEIDA, 2015; RAMOS, 2015).

Ventorim e Dal Poz (2016) destacam que apenas os serviços CSRS-PPP e MagicGNSS-PPP são capazes de processar dados GNSS referentes às constelações GPS (Global Positioning System) (GPS, 2016a) e GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya System) (GLONASS, 2016). Adicionalmente, o serviço GAPS possibilita o processamento (integrado ou individual) de dados referentes às constelações GPS, Galileo (*Europe's Global Satellite Navigation System*) (Galileu, 2016) e BeiDou (*China's Global Navigation Satellite System*) (BeiDou, 2016).

O serviço IBGE-PPP faz uso do sistema CSRS-PPP e, portanto, também processa dados GPS e GLONASS. Trata-se de uma adaptação desenvolvida para uso no Brasil, possibilitando aos usuários de GNSS obterem coordenadas precisas e referenciadas ao SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000), sistema oficialmente adotado no país, e aos ITRFs (International Terrestrial Reference Frame), tanto na época do levantamento, quanto na data da realização SIRGAS2000, época 2000,4 (COSTA et al., 2012; IBGE, 2013; COSTA et al., 2013).

Um aspecto relevante quando se trata do PPP e que deve ser considerado como chave para se alcançar o nível de acurácia centimétrica, consiste na eliminação/redução dos impactos gerados por diversas fontes de erros sistemáticos, que variam de centímetros a metros (WITCHAYANGKOON, 2000). Tais erros devem ser considerados e tratados, quando possível, através de modelos matemáticos e estão associados: aos satélites; aos receptores; a atmosfera e a eventos geofísicos e geodinâmicos (HÉROUX e KOUBA, 2001; LEICK, 2004; GRINTER e ROBERTS, 2011; KOUBA, 2015). Neste caso, as fontes de erros que atingem o PPP bem como a modelagem utilizada para suas correções seguem as recomendações estipuladas nas convenções do IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) e podem ser verificadas em Petit e Luzum (2010). Será dada ênfase aos erros relacionados a eventos geofísicos e geodinâmicos devido ao propósito investigativo desta pesquisa.

Dentre os erros relacionados aos eventos geofísicos e geodinâmicos pode-se considerar: marés terrestres e polares, carga oceânica, carga da atmosfera, movimento de placas tectônicas, carga hidrológica etc. Todos esses efeitos podem interagir de maneiras diferentes com os movimentos da Terra (rotação, nutação etc.), degradando os resultados obtidos no PPP (WITCHAYANGKOON, 2000).

MacLeod e Tétreault (2014) e Choy (2009) destacam que correções para os efeitos das marés terrestres, marés polares e carga do oceano são modelados no CSRS-

PPP. Consequentemente, como o IBGE-PPP faz uso do sistema CSRS-PPP, também utiliza dessa modelagem (IBGE, 2013; COSTA et al., 2013). Contudo, há evidências da existência de outros efeitos transitórios (sazonais) que ainda não são levados em consideração no PPP, caso das cargas atmosférica e hidrológica (ROSA, 2008).

Os deslocamentos da crosta terrestre causados pela carga de pressão atmosférica é resultado do movimento dos sistemas de pressão sobre a Terra. Embora este efeito seja conhecido há muito tempo, foi apenas recentemente que ele pôde ser quantificado usando técnicas geodésicas espaciais. Ocasionalmente, esses deslocamentos podem atingir 2 a 3 centímetros na direção vertical devido ao movimento de sistemas de pressão sobre a Terra. No entanto, as reduções oriundas da aplicação de alguns modelos para a correção desse efeito são de aproximadamente 3,6 a 5,9%. Isto se traduz em uma redução de aproximadamente 2 a 3 milímetros. Portanto, a inclusão das correções de carga de pressão atmosférica em uma rotina de processamento de PPP não parece necessária devida a sua magnitude (URQUHART, 2009).

Moreira (2010) evidencia que as convenções apresentadas em Petit e Luzum (2010) não destacam informações acerca da modelagem para a correção e/ou eliminação de efeitos da carga hidrológica, o que está em desenvolvimento em diversos centros de estudos. Neste caso, recomenda-se não incluir tais modelagens em soluções operacionais que suportam produtos e serviços do IERS (PETIT e LUZUM, 2010).

Os efeitos causados pela carga hidrológica ocorrem devido à transferência sazonal da água entre os continentes e os oceanos, gerando alterações de carga superficial, o que causa uma deformação elástica da superfície da Terra. Estas deformações na superfície da crosta são detectáveis usando técnicas geodésicas espaciais (TREGONING et al., 2009; ALTAMIMI et al., 2016).

Assim, é possível verificar, considerando algumas simplificações (ver seção 2.3, pág. 25), a influência da carga hidrológica na deformação elástica da Terra associando séries temporais de dados fluviométricos (cotas linimétricas) com séries temporais de deformações tridimensionais (3D) determinadas a partir de séries temporais de posição (coordenadas cartesianas X , Y , Z ; elipsoidais ϕ , λ , h e as precisões de ambas) obtidas com observações GNSS. Tais deformações são mais expressivas na componente vertical (BEVIS et al., 2005).

No Brasil, as séries temporais de dados fluviométricos são disponibilizados pela ANA (Agência Nacional de Águas) e pelo SNIRH (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos) em seu banco de dados HidroWeb (ANA, 2016; SNIRH, 2016).

Diversos estudos vinculados à geofísica e geodinâmica tem utilizado o método PPP para a construção das séries temporais posicionais a partir dos dados coletados por redes ativas e disponibilizados pelos órgãos mantenedores, como se pode observar em Moreira (2010), Rajner e Liwosz (2012), Fu et al. (2015), Zou et al. (2015), Altamimi et al. (2016) dentre outros.

Para investigações cujo foco são os eventos ocorridos sobre o território brasileiro, é comum que se utilizem dados referentes à RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) em conjunto com o serviço IBGE-PPP, ambos mantidos e disponibilizados, gratuitamente, pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em seu portal eletrônico (IBGE, 2016a; IBGE, 2016b).

Cabe ressaltar que os dados diários das estações da RBMC disponibilizados compõem longos períodos de tempo (anos), constituindo assim séries temporais extensas. Por serem suficientemente longas, estas séries temporais posicionais permitem avaliar e analisar episódios de deformação crustal (ROSA, 2008; ROSSI et al., 2016).

A construção deste tipo de série se resume a quatro etapas (download, edição e processamento de dados GNSS e extração de informações posicionais após o processamento), apresentam alguns empecilhos tais como: demanda significativa de tempo destinado ao processamento dos dados GNSS utilizando os serviços de PPP online; morosidade na edição de dados GNSS e na extração das informações posicionais após o processamento etc. Dessa forma, trabalhos que envolvam análises de séries temporais de dados posicionais se tornam difíceis, tornando o procedimento de construção moroso e exaustivo.

Em vista ao exposto, a contribuição deste trabalho se deve ao desenvolvimento de um programa computacional (RINEX EDITION) destinado à geração de séries temporais posicionais, de forma automatizada, utilizando dados das estações da RBMC bem como o serviço IBGE-PPP, com o intuito de auxiliar pesquisas científicas com diversas abordagens, principalmente, as que investigam as implicações da deformação crustal em resposta ao fenômeno de carga hidrológica (por exemplo, estações pertencentes à região amazônica).

Usuários, em geral, podem utilizar o programa RINEX EDITION com interface para efetuar a edição de dados GNSS utilizando o TEQC (Translation, Editing and Quality Check) bem como o processamento automatizado de dados GNSS através do serviço IBGE-PPP, em modo estático, utilizando dados pertencentes à RBMC ou coletados em campanhas pessoais.

Análises sobre as séries temporais posicionais e fluviométricas (cotas linimétricas) foram aplicadas com a finalidade de identificar e analisar suas características, tais como: tendência, sazonalidade e estacionariedade. Nesse contexto, aplicaram-se algumas transformações (diferenças, descritas na seção 2.4.3, pág. 32) com o intuito tornar as séries ajustadas para a tendência e sazonalidade, o que permite analisar cada uma das características de forma independente. Todas as características foram constatadas a partir da aplicação dos testes de hipóteses de: Cox-Stuart (para tendência); Kruskal-Wallis (para sazonalidade) e Dickey-Fuller (para estacionariedade). A estacionariedade consiste na série temporal após a eliminação das características de tendência e sazonalidade, o que dá subsídios para o ajuste de modelagem ARIMA, por exemplo.

Estas investigações poderão dar subsídios para pesquisas futuras, visto que as estações situadas na região amazônica, como destacado por (Bevis et al., 2005), sofrem com maiores deformações em suas coordenadas verticais devido ao ciclo hidrológico intenso. Tal fato leva a manifestar maiores preocupações para correções destas deformações nessa região, de forma a garantir a qualidade dos levantamentos geodésicos.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a influência dos efeitos provocados por cargas hidrológicas na altitude geométrica obtida com o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) através de análises de séries temporais.

1.1.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

1. Implementar uma metodologia para geração de séries temporais de informações posicionais (coordenadas cartesianas e elipsoidais com suas respectivas precisões) em um programa computacional de interface simples e amigável, cuja finalidade é automatizar as etapas do processo de geração de tais séries (download, edição e processamento de dados GNSS e extração de informações posicionais após o processamento). Os dados GNSS utilizados para download

foram coletados por estações da RBMC; a edição de dados GNSS será efetuada utilizando o TEQC; e, o processamento se dará no serviço IBGE-PPP;

2. Determinar séries temporais de posição e suas precisões para cada estação da RBMC escolhida utilizando o programa desenvolvido analisando sua eficiência e, de forma concomitante, construir séries temporais de dados fluviométricos (cotas linimétricas) utilizando os dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) em seu banco de dados HidroWeb;
3. Proceder a uma análise exploratória sobre as séries de posição, de altitudes geométricas e de dados fluviométricos por meio de gráficos de dispersão e análise de correlação, com a aplicação de testes estatísticos de hipóteses para identificação de características como tendência, sazonalidade e estacionariedade nas séries em estudo.

1.2 JUSTIFICATIVA

O processo de construção de uma série temporal posicional utilizando dados das estações de redes ativas em conjunto com os serviços de PPP pode ser subdividido em quatro etapas: download de dados GNSS; edição dos dados; processamento utilizando o serviço PPP e; extração das informações posicionais.

Neste caso, pode-se afirmar que a construção deste tipo de série, seguindo as quatro etapas supracitadas, apresentam algumas dificuldades tais como: conhecimento e utilização das linguagens de programação; demanda de tempo considerável para processamento dos dados GNSS utilizando os serviços de PPP; morosidade na edição de dados GNSS e na extração das informações posicionais após o processamento etc. Tais fatores tornam o procedimento de construção das séries exaustivo e, em muitos casos, inviável.

Particularizando para usuários que utilizam longas séries de dados das estações da RBMC as dificuldades iniciam já no download, devido à organização e disponibilidade dos dados em arquivos diários. Devido a este fato, os arquivos devem ser adquiridos dia a dia utilizando o servidor do IBGE, consumindo assim bastante tempo (o usuário “baixa” os arquivos um por vez através da área de download do IBGE).

A segunda dificuldade vem da utilização do TEQC para a edição dos arquivos RINEX. Este programa é 100% não interativo, ou seja, permite apenas a introdução de

linhas de comando via prompt. Trata-se de um software para execução automática de scripts (UNAVCO, 2016), o que em alguns casos, limita o interesse dos usuários.

A terceira dificuldade se dá no processamento dos dados utilizando o serviço IBGE-PPP, em que se permite o envio de mais de um arquivo RINEX dentro de um arquivo comprimido (WINZIP, GZIP ou TAR-GZIP), porém, o arquivo submetido pelo usuário (comprimido ou não) deve ter tamanho menor que 20 MB (IBGE, 2016a).

A quarta e última dificuldade, e talvez a maior delas, consiste na extração das informações geradas pelo IBGE-PPP após o processamento e disponibilizadas em arquivos PDF ou SUM (ver seção 2.1.1, pág. 18).

Nesse contexto, justifica-se a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia automatizada que permita a construção de séries temporais de forma simples e objetiva. A metodologia proposta é executada de forma automatizada implementada no programa computacional RINEX EDITION, onde cada etapa funciona de forma independente, proporcionando ao usuário subdividir a construção das séries posicionais da forma mais adequada. Outra consideração relevante consiste na minimização, ou eliminação, dos erros que podem ocorrer na etapa de edição manual dos dados, bem como, na etapa de extração das informações posicionais após o processamento.

As dificuldades apresentadas são minimizadas com a utilização do programa em questão (RINEX EDITION), permitindo a geração de séries temporais posicionais de forma rápida e segura. Cabe ressaltar que o tempo gasto na geração das séries aumenta na proporção direta ao número de estações RBMC utilizadas, da velocidade de transferências dos dados para processamento (upload) e, da velocidade de download (arquivos RINEX e processados).

As séries temporais de posição, como destacado em Amiri-Simkooei, Tiberius e Teunissen (2007) têm sido utilizadas há alguns anos para a estimativa da deformação crustal com base nos deslocamentos posicionais da superfície. As séries posicionais obtidas no processamento dos dados GNSS tem proporcionado avaliar e confirmar a ocorrência e consequência de episódios de deformação crustal, como os ocasionados por eventos transitórios como a carga hidrológica (ROSA, 2008; ROSSI et al., 2016).

Dessa forma, efetuando uma simplificação e desconsiderando alguns fatores (ver seção 2.3, pág. 25), é possível analisar a influência da carga hidrológica sobre a crosta através de análises das séries temporais das altitudes geométricas e de nível de água (cotas linimétricas) que está associado, de forma significativa, ao escoamento superficial. Nesse contexto, tal avaliação se torna interessante devido à boa correlação

do nível de água com o escoamento e ao fato de o escoamento ser o principal causador da deformação crustal em algumas regiões da Terra.

Assim, é importante que se utilize de ferramentas estatísticas para identificação das características associadas às séries em questão, como tendência, sazonalidade e estacionariedade, de forma a investigar as implicações da deformação sofrida pela crosta em resposta ao fenômeno de carga hidrológica na altitude geométrica. Salienta-se que, o simples movimento da crosta pode ocasionar diferenças significativas em um mesmo levantamento, dependendo da época de realização, degradando assim a qualidade dos levantamentos geodésicos.

1.3 CONTEÚDO DO TRABALHO

O conteúdo desse trabalho está dividido em 5 Capítulos de modo a alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa. No Capítulo 2 é apresentada a revisão de literatura contendo uma breve introdução ao PPP, onde são descritos os serviços de PPP online disponíveis; uma breve introdução ao sistema de referência terrestre moderno adotado oficialmente no Brasil (SIRGAS2000), com uma abordagem sobre suas realizações e materializações; uma breve introdução aos efeitos de carga atmosférica e hidrológica; uma breve introdução às séries temporais, com uma abordagem sobre as características inerentes como tendência, sazonalidade e estacionariedade bem como aos testes de hipótese aplicados para verificação da existência de tais características. No Capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos, evidenciando as informações dos experimentos realizados e o desenvolvimento da metodologia aplicada. No Capítulo 4 são apresentados os resultados e análises. As considerações finais, conclusões e recomendações são apresentadas no Capítulo 5.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

O PPS (Posicionamento por Ponto Simples) ou, posicionamento absoluto, consiste em uma técnica em que se utiliza apenas um receptor GNSS para determinação da posição (coordenadas) de um ponto qualquer sobre a superfície terrestre ou em sua proximidade. Pode-se afirmar que se trata do método mais utilizado para fins civis em aplicações distintas como, por exemplo, a navegação ou posicionamento de baixa precisão (MONICO, 2008; VANI et al., 2013).

Neste caso, a determinação da posição ocorre de forma instantânea (em tempo real) utilizando as observáveis de pseudodistância derivada do código C/A presente na portadora L1, das posições dos satélites e do sistema de tempo contido nas efemérides transmitidas (SEEBER, 2003; LEICK, 2004; MONICO, 2008; HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008).

Zumberge et al. (1997a) afirmam que o PPP se difere do uso clássico (PPS) em alguns aspectos. Normalmente o PPP se refere à obtenção da posição de um ponto baseando-se em observações não diferenciadas do código e da fase de batimento da onda portadora, coletadas por um único receptor GNSS, de dupla frequência, em conjunto com órbitas precisas dos satélites, correções de relógios dos satélites (e de outros erros modelados), gerando soluções com alta acurácia (centimétrica) (MONICO, 2008; IBGE, 2013; AZAMBUJA, 2015; CHOY et al., 2016).

Para se atingir este nível de acurácia é necessário que se considere como observável no processamento, a combinação linear das observáveis GNSS denominada “livre de ionosfera” (ionospheric free signal ou simplesmente ion-free) para a fase da onda portadora e/ou código, o que justifica o uso de receptores de dupla frequência (LEICK, 2004; CHEN e GAO, 2005; HOFMANN-WELLENHOF et al., 2008; BANVILLE, 2014; RABBOU e EL-RABBANY, 2015; SILVA e MARQUES, 2016).

Cabe salientar que o PPP também pode ser realizado com dados de receptores de simples frequência, porém, neste caso, as coordenadas são estimadas com menor acurácia em comparação com o uso de receptores de dupla frequência. Essa degradação se deve à impossibilidade de formação da observável ion-free, implicando em maior influência do efeito resultante da ionosfera. Nesse caso, a minimização (e não eliminação dos efeitos de primeira ordem) dos efeitos da ionosfera é efetuada com o uso de algum modelo da ionosfera como, por exemplo, o modelo de Klobuchar e o modelo Global da Ionosfera disponibilizado pelo IGS (International GNSS Service) (CHOY, 2009; RAMOS, 2015; AZAMBUJA, 2015).

Outro fator importante, destacado por Monico (2008), é a alta precisão em que são estimadas as órbitas (posição) e os erros dos relógios dos satélites. As órbitas precisas dos satélites e correções de relógios disponibilizadas pelo IGS são determinadas com precisão de ordem centimétrica, enquanto o erro do relógio dos satélites tem precisão na ordem de nanosegundos (KOUBA e HÉROUX, 2000; HÉROUX e KOUBA, 2001; IGS, 2016).

O modelo matemático utilizado no PPP para receptores de dupla frequência, aplicando-se a combinação linear ion-free das observáveis GPS para a fase da onda portadora é apresentado por Leick (2004) e Monico (2008) segundo a Equação 1.

$$\varphi_{r(IF)}^s = \frac{f^1}{c} \rho_r^s + f^1(dt_r - dt_s) + N_{(IF)} + \frac{f^1}{c} T_{r0}^s + \frac{f^1}{c} dT_z m(E) \quad (1)$$

em que:

$\varphi_{r(IF)}^s$ = fase obtida da combinação linear ion-free;

ρ_r^s = distância geométrica entre o centro de fase da antena do satélite e do receptor;

dt_r = erro do relógio do receptor com relação ao tempo GPS, no instante da recepção;

dt_s = erro do relógio do satélite com relação ao tempo GPS, no instante da transmissão;

$N_{(IF)}$ = ambiguidade da observável ion-free;

T_{r0}^s = atraso troposférico aproximado, calculado por algum modelo disponível;

dT_z = atraso zenital troposférico residual a ser estimado no modelo;

$m(E)$ = função de mapeamento em função do ângulo de elevação E do satélite;

c = velocidade da luz no vácuo;

f^1 = frequência da observável ion-free (igual a da portadora L1).

A redução dos efeitos da refração troposférica se dá através da aplicação dos vários modelos disponíveis (ver SILVA et al., 1999; KATSOUGIANNOPOULOS et al., 2006; ELSOBEIEY e EL-DIASTY, 2016) em conjunto com alguma técnica de parametrização. Dentre os modelos clássicos utilizados para a estimativa do atraso troposférico aproximado tem-se: o de Hopfield e o de Saastamoinen (RAMOS, 2015; RABBOU, 2015). Adicionalmente, o atraso troposférico residual deve ser modelado como um parâmetro a ser estimado junto aos demais parâmetros no ajustamento (KOUBA e HÉROUX, 2000; CHEN e GAO, 2005).

Monico (2008) afirma que o método PPP apresenta grande potencialidade para ser empregado em aplicações que exijam alta precisão, além de apresentar grandes vantagens, se comparado com o processamento de redes GNSS.

Chen e Gao (2005) e Navipedia (2016) ressaltam que o método PPP oferece benefícios significativos em comparação com técnicas diferenciais de posicionamento preciso, dentre eles: envolve apenas um único receptor GNSS e, portanto, não há necessidade de estações de referência, o que reduz o trabalho e o custo com

equipamentos, além de simplificar a logística operacional do trabalho de campo; possibilita apoio a outras aplicações além do posicionamento como, por exemplo, a estimativa do relógio do receptor e dos parâmetros do efeito troposférico, constituindo outra maneira para a transferência precisa de tempo e estimativa troposférica usando um único receptor GNSS; e, pode ser considerado como uma abordagem de posicionamento global, pois suas soluções de posição são atreladas a um sistema de referência global.

Moreira (2010) destaca que a não necessidade de outras estações terrestres como referência torna as soluções obtidas no PPP independentes, o que pode ser considerado um grande benefício, principalmente em estudos que demandem a determinação de variações locais das coordenadas da estação com alta precisão, como por exemplo, em aplicações geodinâmicas.

A principal desvantagem do PPP se refere ao tempo de convergência (conhecido na literatura inglesa como warm-up time ou como convergence time), tempo necessário para a solução da ambiguidade de modo a garantir a acurácia centimétrica do posicionamento (ELSOBEIEY e EL-RABBANY, 2011; GRINTER e JANSSEN, 2012; RABBOU, 2015).

Com a introdução de uma terceira frequência tal como a portadora L5 na constelação GPS e terceira frequência equivalente nas constelações Galileo, GLONASS e BeiDou, existe o potencial para se reduzir o tempo necessário para a resolução das ambiguidades no PPP para tempos comparáveis às técnicas diferenciais de posicionamento (GRINTER e ROBERTS, 2013).

A modernização do sistema GPS com a inserção dos satélites do Bloco IIF, com doze veículos em operação atualmente (20/10/2016) transmitem, além do código L2C uma terceira portadora, a L5. Nesse contexto, a constelação GPS está em fase de transição, com satélites antigos (Bloco IIA) e novos (Bloco IIR, IIRM e IIF). No futuro, por volta de 2020, os satélites da constelação denominados GPS-III transmitirão os três sinais (L1, L2 e L5) (MONICO, 2013; GPS, 2016b).

Outro fator significativo para a redução no tempo de convergência é a realização do PPP utilizando as observáveis oriundas das constelações GPS, GLONASS, Galileu e BeiDou de forma integrada, possibilitando que a acurácia centimétrica seja atingida com menor tempo de coleta de dados (AFIFI e EL-RABBANY, 2014; RABBOU e EL-RABBANY, 2015; VENTORIM e DAL POZ, 2016; AFIFI e EL-RABBANY, 2016; LAURICHESSE, 2016). No caso da integração entre GPS e o GLONASS no PPP, um parâmetro adicional deve ser estimado devido à diferença entre os sistemas de tempo adotado pelas duas constelações (CAI e GAO, 2007).

O PPP vem ganhando espaço entre os métodos de posicionamento, onde tem se mostrado uma poderosa ferramenta para várias aplicações. A NTGIR (Norma Técnica de Georreferenciamento de Imóveis Rurais), através do manual técnico de posicionamento, define o PPP como um dos métodos a ser utilizado para a determinação das coordenadas dos vértices definidores dos limites dos imóveis (INCRA, 2013). Tem sido largamente empregado em estudos desenvolvidos no âmbito da geodinâmica, deformação crustal e geodésia, como se pode observar em Fu et al. (2012), Zamora et al. (2014), Chen et al. (2016), Altamimi et al. (2016), Rossi et al. (2016) dentre outros.

O processamento de dados utilizando a técnica de PPP pode ser efetuado de duas formas: a primeira é utilizando softwares científicos como, por exemplo, o GIPSY (GNSS-Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software) (GIPSY, 2016) desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), através do JPL (Jet Propulsion Laboratory). A utilização destes softwares requer, por parte do usuário, conhecimento aprofundado dos parâmetros e da modelagem utilizada no posicionamento. A segunda consiste na utilização de serviços de PPP disponibilizados de forma online e gratuita disponibilizados por instituições e centros de pesquisa de diversos países.

Estes serviços de PPP online constituem uma alternativa relevante para usuários que necessitem executar o processamento de dados GNSS e serão descritos na sequência.

2.1.1 Serviços de PPP online

Algumas universidades e centros de pesquisa têm desenvolvido pacotes de softwares de PPP e/ou lançado serviços de processamento PPP online, disponíveis de forma gratuita aos usuários, 24 horas por dia. Nos serviços online os usuários só precisam enviar arquivos de dados de observação GNSS, oriundos de receptores de simples ou dupla frequência, em formato RINEX (Receiver Independent Exchange) padrão ou Hatanaka (comprimido) para os servidores designados especificando o modo de processamento (estático ou cinemático) (ZUMBERGE, 1998; GHODDOUSI-FARD e DARE, 2006; GUO, 2014).

O processamento dos dados de observação GNSS enviados pelo usuário aos serviços de PPP online é efetuado utilizando as efemérides precisas e correções para o relógio dos satélites baixadas automaticamente do site do IGS. Os resultados do

processamento dos dados podem ser disponibilizados no website do próprio serviço ou enviados para o email cadastrado pelo usuário (ZUMBERGE, 1998; DOW et al., 2009; GUO, 2014).

Almeida (2015) e Ramos (2015) destacam que atualmente, pelo menos 5 (cinco) serviços de PPP online estão disponíveis: GAPS (GPS Analysis and Positioning Software), APPS (Automatic Precise Positioning Service), MAGIC-GNSS, CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System - PPP) e IBGE-PPP (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - PPP). Destaca-se que o IBGE-PPP faz uso do serviço CSRS-PPP.

O GAPS, desenvolvido em 2007 pela UNB (Universidade de New Brunswick), tem a finalidade de fornecer aos usuários uma ferramenta de PPP online gratuita, capaz de estimar posições e outros parâmetros de interesse. Embora usado principalmente para o posicionamento, foi projetado e construído para prover diversas configurações de processamento de dados GNSS, possibilitando ao usuário estimar atrasos da ionosfera/troposfera, erro do relógio do receptor, multicaminho nas mensurações de código etc. (GAPS, 2016).

Oferece dois modos de processamento: básico (GAPS Basic User Submission) e avançado (GAPS Advanced User Submission). No modo avançado o usuário tem várias possibilidades de configuração, enquanto no modo básico o processo de interferência do usuário é limitado. Para utilização do serviço não é necessário cadastro, no entanto, o usuário deverá fornecer um endereço de email válido para o recebimento dos dados processados. Mais informações sobre este serviço podem ser consultadas em Leandro et al. (2007), Leandro et al. (2010) e Urquhart et al. (2014).

APPS é um serviço desenvolvido pelo GDGPS (Global Differential GPS System) do JPL (Jet Propulsion Laboratory) e que utiliza o software científico GIPSY (GIPSY, 2016), o que o faz conhecido também como Auto-GIPSY service. É disponibilizado gratuitamente e aceita apenas arquivos de observações GPS, onde se aplica a mais avançada tecnologia de posicionamento GPS produzida pelo JPL para estimativa de posição do receptor GPS (APPS, 2016).

Duas formas de acesso são disponibilizadas por este serviço através de sua página eletrônica para: usuários cadastrados e não cadastrados. Os resultados após processamento podem ser baixados diretamente no site do serviço, onde a posição da estação de usuário é exibida diretamente no Google Maps. Para usuários cadastrados também é disponibilizada as opções de utilização via email ou ftp (File Transfer Protocol) sendo esta última para utilização em empresas (APPS, 2016). Maiores

informações acerca deste serviço bem como sobre o GIPSY são apresentadas em Zumberge et al. (1997a), Zumberge et al. (1997b), Zumberge (1998), Witchayangkoon (2000), Guo (2014), GIPSY (2016) dentre outros.

MAGIC-GNSS foi desenvolvido e introduzido pela GMV (GMV Aerospace and Defence) em 2008. Fornece um conjunto de ferramentas para processamento de dados GNSS com alta precisão e integridade. Tem como aplicação principal a determinação das posições da estação/receptor, bem como o cálculo das órbitas e relógios dos satélites, atraso troposférico etc. Trata-se de um serviço via email, ou seja, os resultados após processamento são enviados para o email cadastrado.

Neste caso, a utilização do serviço está condicionada ao cadastramento prévio do usuário, possibilitando assim o envio de arquivos de dados de observação para processamento. Também é oferecida uma versão do serviço denominada de pro, com características avançadas destinadas a aplicações empresariais (GMV, 2016). Para maiores detalhes sobre este serviço deve-se consultar Píriz et al. (2009a), Píriz et al. (2009b), Anquela et al. (2013).

CSRS-PPP é um serviço desenvolvido pelo CGS (Canadian Geodetic Survey) do NRCan (Natural Resources Canada) e disponibilizado aos usuários através de sua página eletrônica. O acesso ao serviço é gratuito, mas exige um cadastro simplificado do usuário (NAVIPEDIA, 2016).

Além do acesso através da página eletrônica, é disponibilizado um aplicativo denominado PPP-direct que permite, após configuração (email, senha e modo de processamento - estático ou cinemático) enviar arquivos de observação para processamento diretamente do computador do usuário, sem necessidade de acesso à página eletrônica do serviço. Os resultados após processamento são enviados para o email cadastrado pelo usuário (HÉROUX et al., 1993; NRCan, 2016). Informações adicionais sobre tal serviço podem ser consultadas em Tétreault et al. (2005), Mireault et al. (2008), Choy (2009), Song et al. (2015) dentre outros.

Algumas características dos quatro serviços supracitados são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo das características dos serviços PPP online.

Características	APPS	GAPS	CSRS-PPP	Magic-PPP
Desenvolvedor	Jet Propulsion Laboratory (JPL)	University of New Brunswick (UNB)	Natural Resources Canada (NRCan)	Spain GMV Company
Web site	http://apps.gdgps.net/	http://gaps.gge.unb.ca/	http://www.geod.nrcan.gc.ca/	http://magicgnss.gmv.com/ppp
Última versão	GIPSY 6.4	GAPS v6.0.0 r587	CSRS-PPP V1.05_34613	Magic GNSS 5.5
Modo de processamento	Usuários não registrados: Estático Usuários registrados: Estático ou Cinemático	Estático ou Cinemático	Estático ou Cinemático	Estático ou Cinemático
Dados de observação	Usuários não registrados: Dupla frequência Usuários registrados: Simples ou Dupla frequência	Simples ou Dupla frequência	Simples ou Dupla frequência	Dupla frequência
Limitação para envio de arquivo	Usuários não registrados: $\leq 5\text{Mb}$ Usuários registrados: $\leq 10\text{Mb}$	-----	$\leq 100\text{ Mb}$	$\leq 10\text{ Mb}$
Constelações	GPS	GPS, Galileo e BeiDou	GPS e GLONASS	GPS, Galileo e GLONASS
Sistemas de referência	ITRF2008	ITRF2008/NAD83	ITRF2008/NAD83 – CSRS	ITRF2008
Produtos precisos dos satélites	JPL rapid/final/real-time	IGS ou NRCan	IGS ou NRCan	IGS ou GMV

Fonte: Guo (2014).

Como já destacado, o serviço IBGE-PPP faz o uso do programa CSRS-PPP e é disponibilizado pelo IBGE (IBGE, 2013). Trata-se de uma adaptação do CSRS-PPP para uso no Brasil e permite aos usuários, com receptores GPS e/ou GLONASS, obterem coordenadas de boa precisão no SIRGAS2000 (Sistema de Referência

Geocêntrico para as Américas 2000) e no ITRF (International Terrestrial Reference Frame) tanto na época do levantamento, quanto na data da realização SIRGAS2000, época 2000,4. Cabe ressaltar que o SIRGAS2000 foi oficialmente adotado no Brasil dia 25 de fevereiro de 2005, com período de dez anos para transição (2005 - 2015) (COSTA et al., 2012; IBGE, 2013; COSTA et al., 2013; GOMES et al., 2014). A utilização deste serviço não exige o cadastro do usuário, porém um endereço de email válido deve ser informado.

Costa et al. (2012) afirmam que as informações necessárias para a obtenção de coordenadas precisas utilizando o serviço IBGE-PPP são:

- órbitas precisas ou rápidas IGS;
- correções dos erros dos relógios dos satélites IGS;
- mapas globais de ionosfera (somente para processamentos com observações de uma frequência, L1); e,
- informações das correções do centro de fase (absoluto ou relativo) das antenas dos receptores e satélites.

Todos estes produtos e informações são disponibilizados e atualizados constantemente pelo IGS e são inseridos automaticamente no processamento dos dados. Os parâmetros de calibração de antenas são disponibilizados pelo NGS (National Geodetic Survey) também de forma gratuita (COSTA et al., 2012; IBGE, 2013).

Correções locais também são consideradas no processamento, como os erros provenientes da carga oceânica, utilizando o modelo FES2004 (Finite Element Solutions 2004) (LYARD et al., 2006; PETIT e LUZUM, 2010). A modelagem para determinação do atraso troposférico também é aplicada (COSTA et al., 2012).

Os parâmetros de transformação entre o referencial das órbitas dos satélites (atualmente IGB08(ITRF2008)) e o SIRGAS2000 são determinados pelo IBGE e aplicados para se obter coordenadas em SIRGAS2000 na época do levantamento (COSTA et al., 2012; IBGE, 2013). O ITRF2008 e o IGB08 são equivalentes ao nível global, no sentido de que eles compartilham a mesma origem, escala e orientação (ALTAMIMI et al., 2011; REBISCHUNG et al., 2012; BRUYNINX et al., 2013).

Atualmente já está disponível o ITRF2014 que, pela primeira vez na história, foi materializado utilizando uma modelagem avançada de movimentos não lineares das estações, incluindo sinais sazonais (anuais e semestrais) de posições de estações e deformação ocorridas após eventos sísmicos para locais que foram afetados por grandes terremotos (ALTAMIMI et al., 2016). Os parâmetros de transformação que relacionam o ITRF2014 com os ITRFs anteriores podem ser encontrados em

<http://itrf.ensg.ign.fr/doc_ITRF/Transfo-ITRF2014_ITRFs.txt0>. Detalhes sobre a aplicação desses parâmetros, considerando o relacionamento entre os ITRF2014 (época 2010) e o ITRF2000 (época 2000.4) podem ser encontrados em Almeida et al. (2016).

O modelo de velocidades SIRGAS-VEMOS2009 (DREWES e HEIDBACH, 2012; SIRGAS, 2016a) é aplicado para se obter as coordenadas na época 2000,4 (época SIRGAS2000). Está disponível atualmente o modelo de velocidades VEMOS2015, calculado a partir de mensurações GNSS (GPS e GLONASS) registradas após os fortes terremotos ocorridos no Chile e México em 2010 (SIRGAS, 2016a; SÁNCHEZ e DREWES, 2016a; SÁNCHEZ e DREWES, 2016b). Porém, este modelo pode ser utilizado pelo IBGE-PPP futuramente.

Costa et al. (2013) apresentam as principais características do IBGE-PPP, modificações e as atualizações pelo qual passou desde seu lançamento em 2009 até a versão implementada em 2013. Dentre as diversas melhorias inseridas nesta versão destacam-se: correções dos efeitos troposféricos calculados em função dos atrasos na componente seca ou hidrostática (modelo Davis - GPT (Global Pressure and Temperature)) e da componente úmida (modelo Hopfield - GPT) e função de mapeamento GMF (Global Map Function) (BOEHM et al., 2006); a correção de primeira ordem da ionosfera, incluindo estimativa de VTEC (Vertical Total Electron Content) (apenas para receptores de uma frequência - L1) (PETIT e LUZUM, 2010); correções do centro de fase para as antenas das constelações GLONASS e GPS (IGS antena, 2016); correções de marés (polares e terrestres) através dos ERP (Earth Rotation Parameter) oriundos das órbitas precisas (PETIT e LUZUM, 2010).

Após o processamento dos dados enviados é disponibilizado ao usuário um arquivo compactado no formato ZIP, baixado diretamente na página eletrônica do serviço. Interno a este são encontrados cinco arquivos cujas informações são descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Informações referentes aos cinco arquivos internos ao comprimido resultante do processamento no serviço IBGE-PPP.

Extensão dos arquivos	Descrição
PDF	Relatório resumido dos resultados do processamento estático em SIRGAS2000.
SUM	Relatório detalhado do processamento.
POS	Estimativa das coordenadas e outros parâmetros calculados época a época, ao longo do tempo de rastreamento.
KML	Para a visualização da posição do ponto em uma imagem do Google Earth.
Leia-me	Informa o conteúdo de cada arquivo de saída do processamento.

Fonte: Costa et al. (2012).

Os resultados não incluem só as coordenadas, mas também atraso ionosférico, atraso troposférico, e correções dos relógios do receptor. Informações adicionais sobre o serviço de PPP online IBGE-PPP são dadas por Costa et al. (2012), Costa et al. (2013) e IBGE (2013).

Salienta-se que neste trabalho foi utilizado o IBGE-PPP para realização do processamento de dados GNSS por tratar-se de uma aplicação disponibilizada por uma instituição brasileira, que permite o posicionamento tanto no sistema de referência global (ITRF) quanto no sistema oficial do país (SIRGAS2000), abordado na sequência.

2.2 SIRGAS e ITRF

O projeto SIRGAS foi iniciado na Conferência Internacional para Definição de um Datum Geocêntrico para a América do Sul, ocorrida de 04 a 07 de outubro de 1993, em Assunção, Paraguai (SIRGAS, 1997). Tem como objetivo estabelecer um sistema de referência compatível com a precisão proporcionada pelos métodos atuais de posicionamento e com os sistemas geodésicos de referência modernos adotados em diversos locais do mundo (IBGE, 2016c).

Os sistemas de referência terrestre modernos devem ser apropriados, precisos e consistentes. O ITRS (International Terrestrial Reference System) e o ITRF possuem tais características. Destaca-se que o ITRS consiste na determinação das propriedades matemáticas e físicas específicas da Terra, enquanto o ITRF é a materialização do ITRS, efetuada utilizando técnicas espaciais de observações e disponibilizados aos usuários através de valores numéricos (ALTAMIMI et al., 2011).

A adoção do ITRS como sistema de referência, além de garantir a homogeneização de resultados internamente ao continente, permite uma integração consistente com as redes dos demais continentes, contribuindo cada vez mais para o desenvolvimento de uma geodésia "global" (IBGE, 2016d).

O SIRGAS é definido de forma idêntica ao ITRS e sua realização é uma densificação regional da rede global ITRF na América Latina e Caribe. Suas coordenadas de alta precisão estão associadas a uma determinada época de referência, considerando a sua variação temporal determinada pelas velocidades individuais das estações SIRGAS ou por um modelo de velocidade contínuo que recobre o continente (SIRGAS, 2016b).

A primeira campanha GPS do projeto SIRGAS foi realizada no período de 26 de maio a 4 de junho de 1995 e contou com 58 estações distribuídas pela América do Sul, como apresentado na Figura 1. Sua realização foi possível devido à combinação dos esforços de entidades sul-americanas, europeias e norte-americanas. O processamento dos dados coletados foi executado de forma independente pelo DGFI (Geodätisches Deutsches Forschungsinstitut) e NIMA (National Imagery US and Mapping Agency, atualmente NGA: National Geospatial-Intelligence Agency). As coordenadas finais desta realização estão referenciadas à estrutura de referência internacional mais precisa da época (o ITRF94, época 1995,4), estabelecendo, desta forma, a realização SIRGAS1995 (SIRGAS, 2016c).

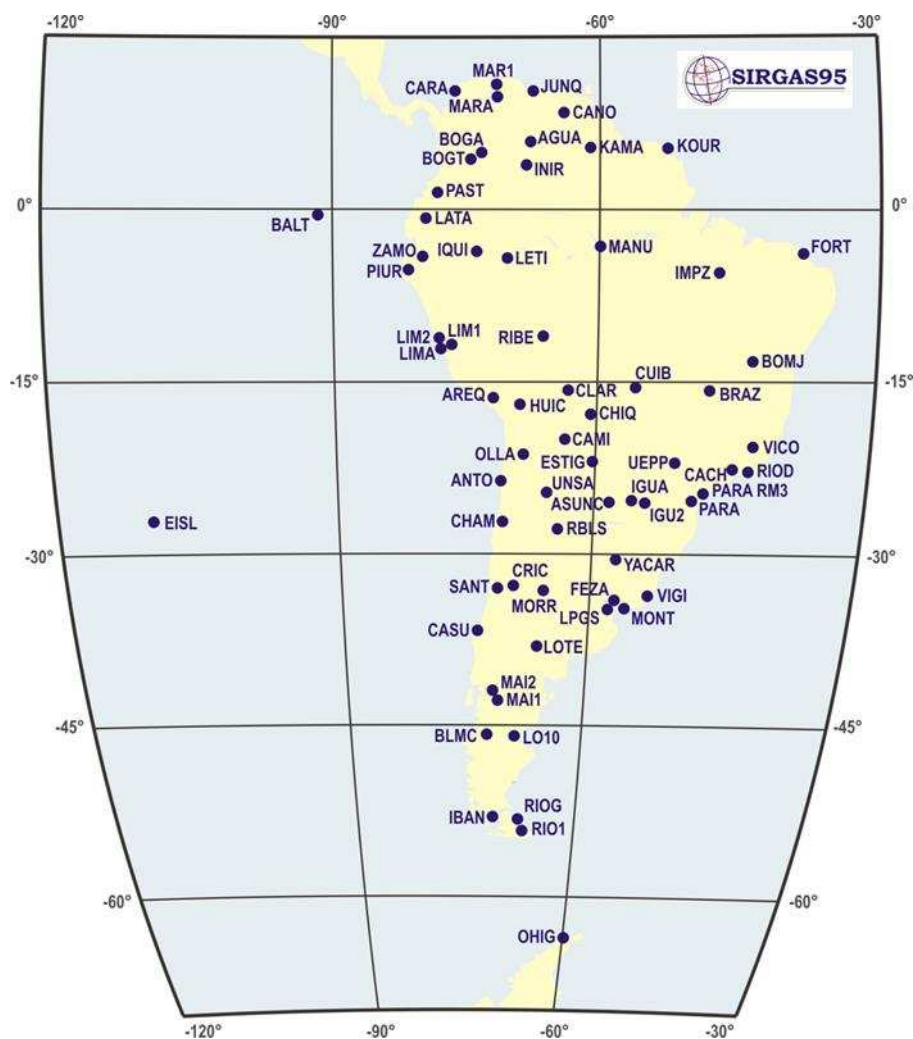


Figura 1: Rede SIRGAS 1995.

Fonte: SIRGAS (2016c).

A segunda campanha do projeto SIRGAS ocorreu no período de 10 a 19 de maio de 2000 ao qual foram utilizadas 184 estações distribuídas nas Américas do Sul e Central, como mostra a Figura 2. De forma semelhante à primeira campanha, os dados coletados foram processados por 3 (três) centros de processamento SIRGAS: o IBGE no Brasil; o DGFI e o BKG (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) na Alemanha. As coordenadas finais desta realização estão referenciadas ao ITRF2000 na época 2000,4 (SIRGAS, 2016d).

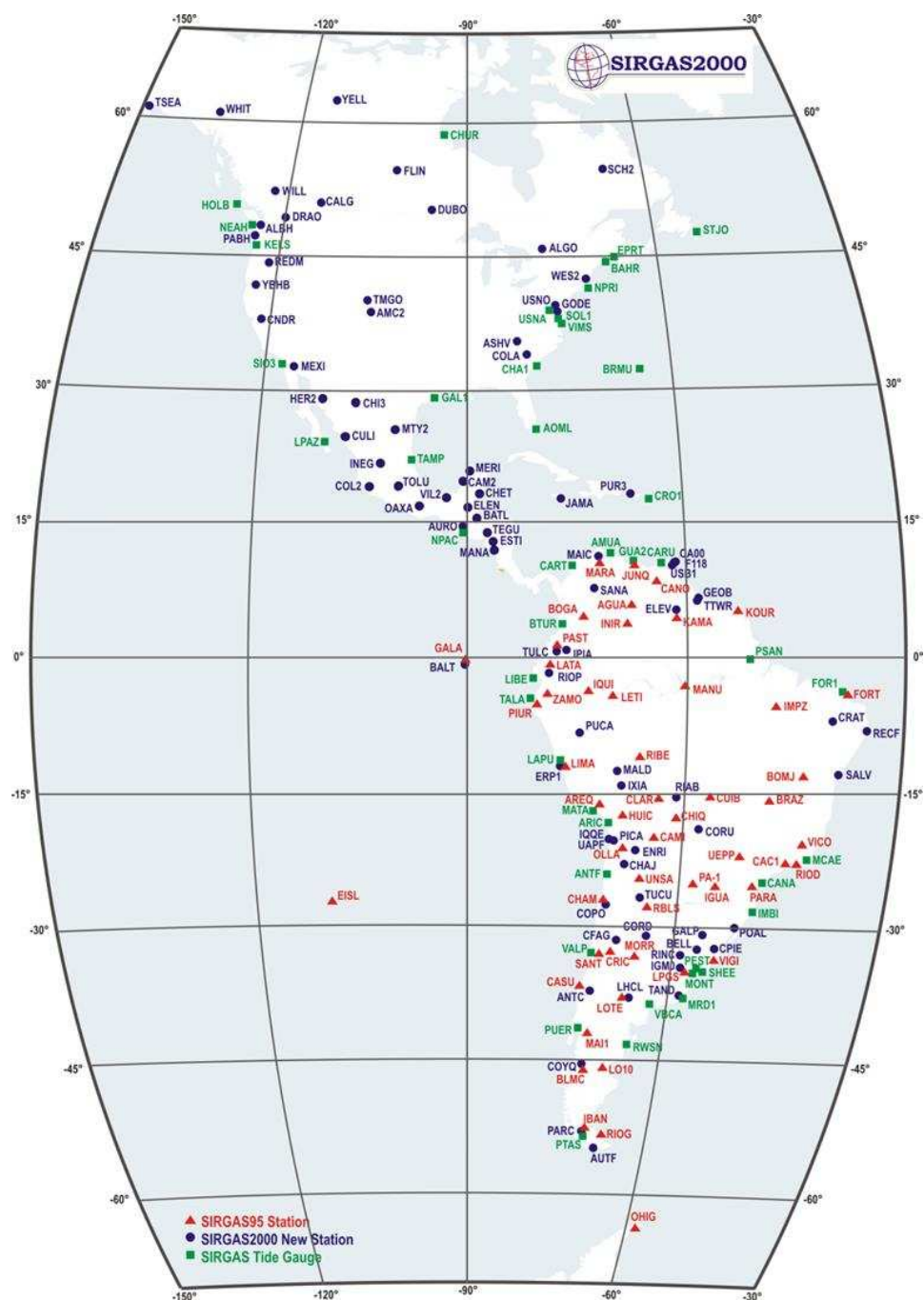


Figura 2: Rede SIRGAS 2000.

Fonte: SIRGAS (2016d).

A terceira e atual realização do SIRGAS conta com uma rede GNSS de Operação Contínua denominada SIRGAS-CON, composta por cerca de 400 estações, das quais 59 destas pertencem à rede global do IGS (SIRGAS, 2016e), como se pode observar na Figura 3. No Brasil, adota-se o sistema SIRGAS realizado em 2000,4 (SIRGAS2000, época 2000,4) como a materialização oficial para as atividades geodésicas e cartográficas (IBGE, 2016e). Tal realização corresponde a uma densificação do ITRF2000 na época de referência 2000,4 (GT2, 2003; SIRGAS, 2016b).

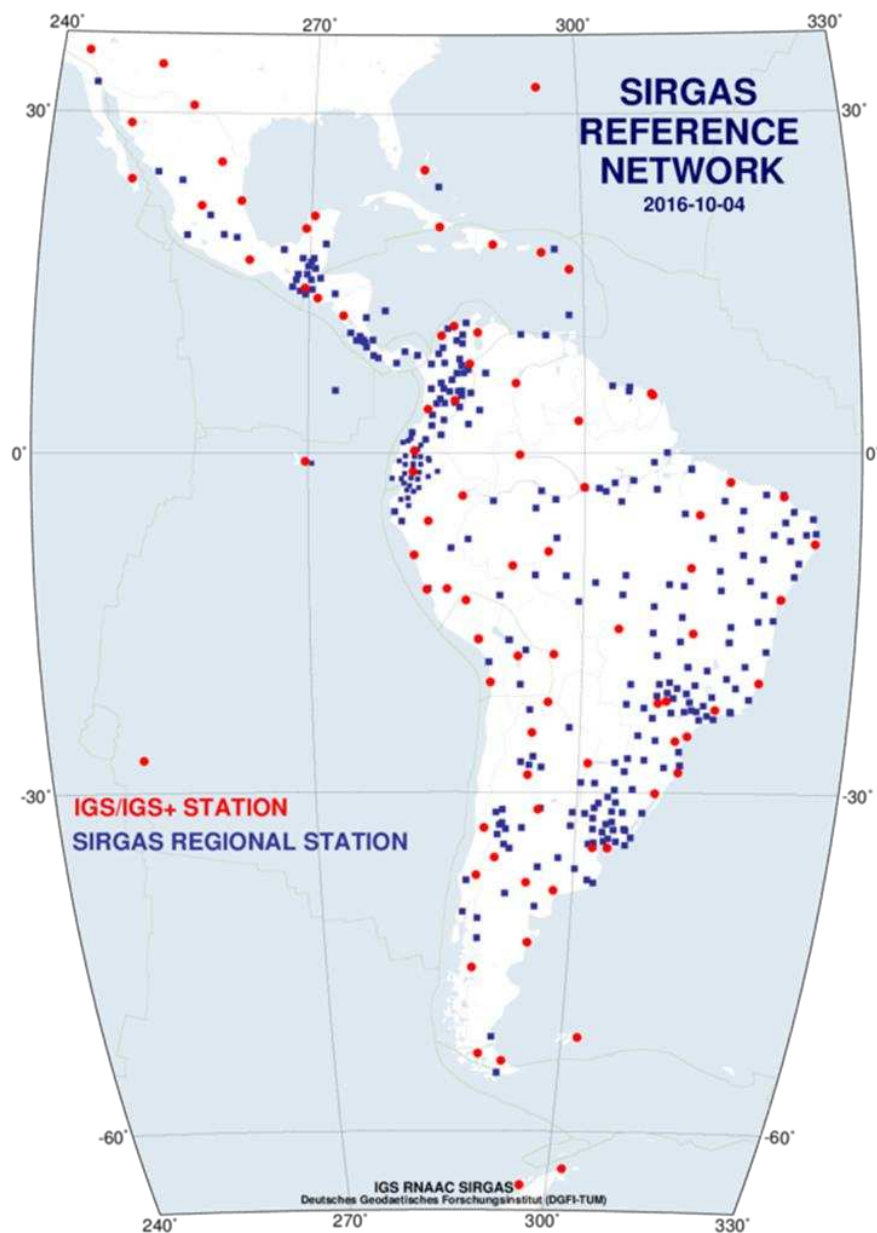


Figura 3: Rede SIRGAS-CON.
Fonte: SIRGAS (2016b).

A rede SIRGAS-CON tem contribuído para a melhoria dos referenciais geodésicos da América através do incremento no número de estações GNSS, ou seja, várias estações estão sendo constantemente integradas ao sistema de referência continental (SIRGAS, 2016f). Cabe destacar que todas as estações da RBMC fazem parte da rede de referência SIRGAS (IBGE, 2016b).

Zamora et al. (2014) afirmam que uma das aplicações mais importantes feitas com os dados gerados a partir de estações pertencentes à redes GNSS de operação contínua é a quantificação dos movimentos e deformações da crosta terrestre,

determinados basicamente através de suas direções e magnitudes. Nesse contexto, Rossi et al. (2016) ressaltam que vários estudos tem se concentrado nos efeitos hidrológicos sazonais (transitórios), cuja amplitude pode apresentar variações temporais de alguns milímetros a vários centímetros, considerando o período de duração do evento (de algumas semanas a vários anos).

2.3 Efeitos de carga atmosférica e hidrológica

Entre os fenômenos que causam variações temporais de coordenadas, destacam-se efeitos de carga sobre a crosta terrestre, movimento das placas tectônicas e eventos sísmicos. Atualmente, o monitoramento de parte desses fenômenos é realizado pelo IERS e seus centros associados utilizando informações da rede IGS, a partir de suas várias estações GNSS e de diferentes técnicas de geodésia espacial como DORIS (Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite), VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging) dentre outras (MOREIRA, 2010; IGS, 2016).

Rajner e Liwosz (2012) afirmam que algumas mudanças nas coordenadas são determinadas com precisão (caso das marés terrestres, movimentos tectônicos, carga do oceano) e têm suas modelagens consolidadas. As respostas da crosta terrestre aos efeitos de cargas são dependentes da distribuição e movimentação de massa sobre a mesma, implicando em alterações na forma da placa ao longo de um eixo coincidente ao vetor gravidade. Portanto, as estações GNSS apresentam maiores variações na componente vertical (BEVIS et al., 2005).

Efeitos de cargas atmosféricas apresentam maior amplitude na componente vertical (dez vezes menores na componente horizontal) em regiões de latitude alta, justificável devido ao regime climático intenso. Tal amplitude é menor em regiões de latitude média e próximas ao oceano devido à resposta barométrica inversa dada pelo oceano. Ambas as situações podem ser observadas na Figura 4. Em determinados casos, os efeitos apresentados se equiparam aos efeitos de carga oceânica devendo, portanto, ser considerados e modelados (VAN DAM et al., 2001; TREGONING e WATSON, 2009; PETIT e LUZUM, 2010). Para isso, a recomendação convencional do IERS para o ano de 2010 (em vigência atualmente) é utilizar o modelo desenvolvido por Ray e Ponte (2003) para calcular o deslocamento causado por cargas atmosféricas nas estações (PETIT e LUZUM, 2010; GGFC, 2016).

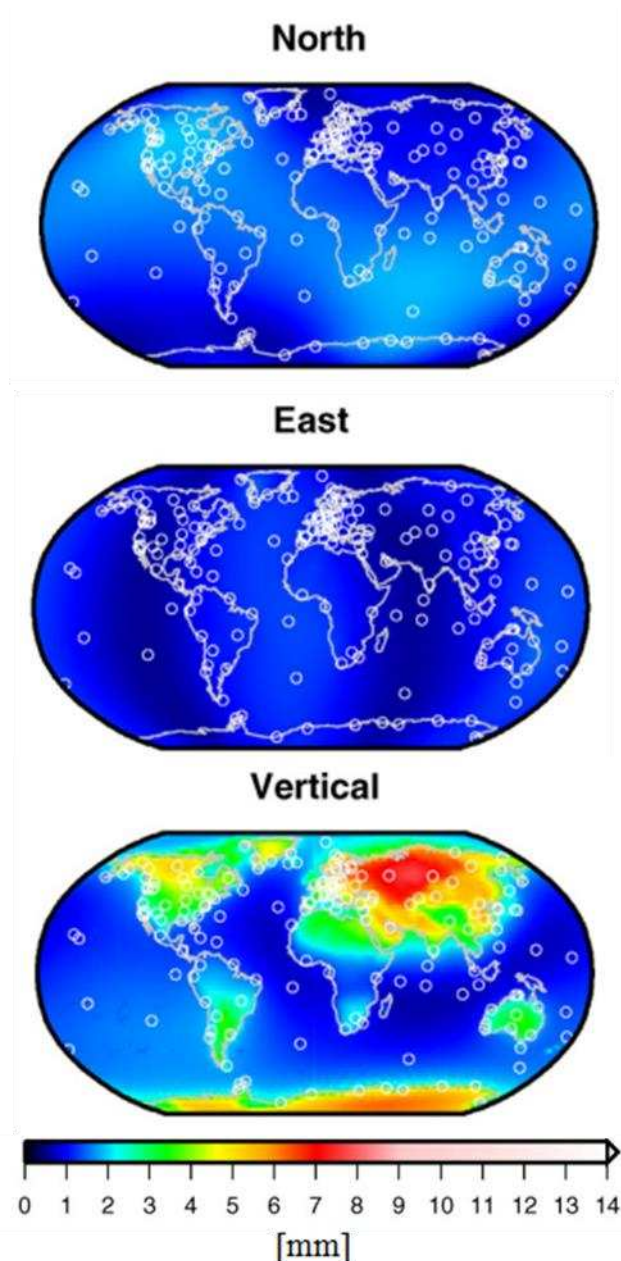


Figura 4: RMS (Root Mean Square) dos deslocamentos de superfície devido a variações continentais de carga atmosférica, calculados pelo modelo de Petrov e Boy (2004), para o período de 1994-2008. Os círculos retratam as estações GPS utilizadas.

Fonte: Fritsche et al. (2012).

Observa-se que os RMS dos deslocamentos originários dos efeitos da carga de pressão da atmosfera atingem ordem centimétrica em algumas localidades (milimétrica para o Brasil), afetando principalmente a componente vertical como se pode observar na Figura 4. Nesse contexto, Urquhart (2009) afirma que as reduções oriundas da aplicação de alguns modelos para a correção desse efeito são de aproximadamente 2 a 3 milímetros, o que justifica a não necessidade da inclusão de um modelo para as correções de carga de pressão atmosférica em uma rotina de processamento de PPP.

Contudo, salienta-se que em estudos que examinem outros parâmetros relacionados com a pressão, devem ser consideradas as correções de carga atmosférica.

Kouba e Héroux (2000) destacam que grande parte dos fenômenos, principalmente os de maiores amplitudes como os efeitos de maré e tectônica de placas é modelada seguindo as convenções e modelos descritos em Petit e Luzum (2010). Alguns destes modelos foram implementados por meio de algoritmos em linguagem Fortran (IBM Mathematical Formula Translation System) e podem ser acessados gratuitamente em <<ftp://maia.usno.navy.mil/conv2010/>>.

Por outro lado, deformações causadas por carga hidrológica (water storage e hydrological load), até o momento, não apresentam modelagem consistente em escala global e, dessa forma, não são consideradas (PETIT e LUZUM, 2010; RAJNER e LIWOSZ, 2012). Nesse contexto a carga hidrológica representa efeitos em escala local ou regional, porém significativos, que não são inteiramente modelados devido à dificuldade de compreensão da variação temporal dos fenômenos causadores e também pela dificuldade de estimar sua distribuição espacial com as correspondentes amplitudes (MOREIRA, 2010).

No que concerne à carga hidrológica, é importante destacar que esta se deve à variação de massa de água, causada pelo ciclo hidrológico, que envolve: a chuva, evaporação, infiltração e os escoamentos superficial e subterrâneo. O nível de água por sua vez, está associado, de forma significativa, ao escoamento superficial.

No entanto, o volume escoado superficialmente é dependente, além do nível de água, da área da seção transversal do rio e da velocidade do curso de água. Acentua-se que foi feita uma simplificação, no âmbito da comparação das altitudes geométricas com o nível de água (cotas linimétricas), desconsiderando alguns dos fatores supracitados como: evaporação, infiltração, os escoamentos superficial e subterrâneo, umidade do solo etc.

Um exemplo da distribuição das deformações causadas pela carga hidrológica pode ser observado na Figura 5, em que se pode inferir que apenas um pequeno número de estações está localizado em regiões onde o efeito de carga hidrológica atinge suas maiores amplitudes vertical (por exemplo, na Amazônica, Canadá, Sibéria etc.). Estes efeitos são observados também na componente norte, porém em menor amplitude.

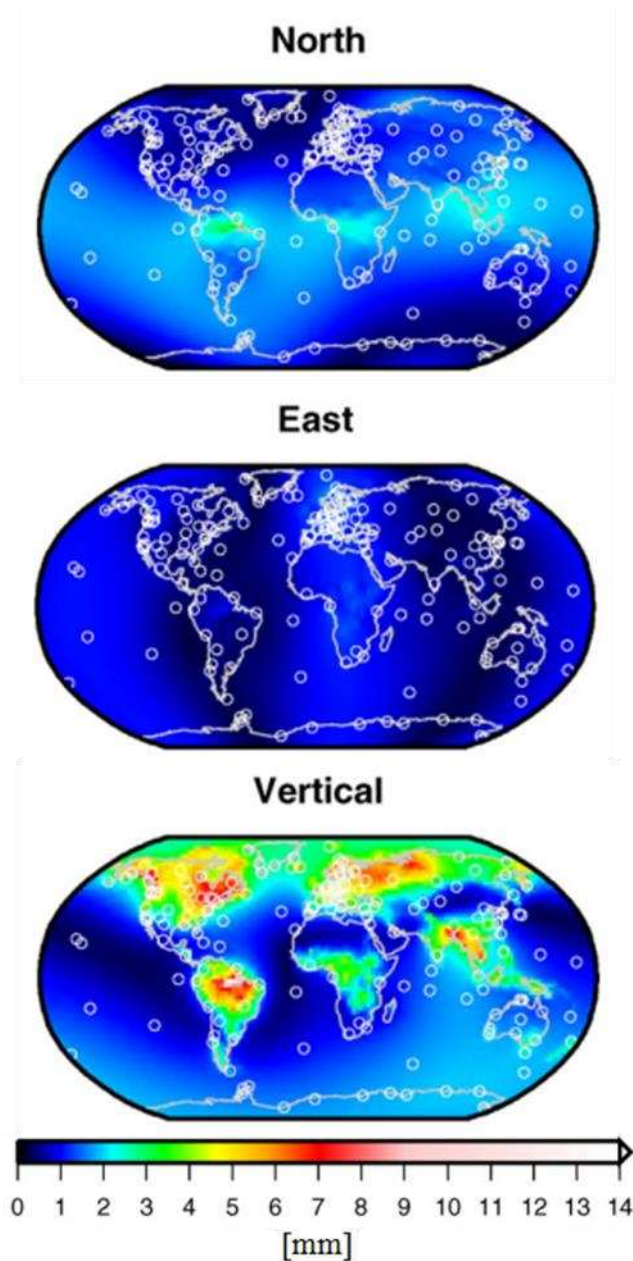


Figura 5: RMS (Root Mean Square) dos deslocamentos de superfície devido a variações continentais de carga hidrológica para o período de 1994-2008. Os círculos retratam as estações GPS utilizadas.

Fonte: Fritsche et al. (2012).

Grandes esforços têm sido feitos por diversos grupos de pesquisa no intuito de definir um modelo que contemple os efeitos da carga hidrológica, a partir de dados reais em escala global como o descrito por Dill e Dobslaw (2013), porém nenhum deles obteve sucesso em oficializar a correção no IERS.

As alterações na carga hidrológica são causadas pela transferência sazonal de água entre os continentes e os oceanos, correspondentes ao ciclo hidrológico. Tais alterações provocam deformações elásticas temporais (transitórias) na superfície da Terra, mostrando que esta não pode ser considerada como corpo rígido (TREGONING

et al., 2009). Estas deformações têm sido monitoradas por diversos centros de pesquisa através das séries temporais posicionais oriundas das observações GNSS.

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas utilizando as séries temporais de posição como ferramenta investigativa das implicações dos efeitos causados por diversos fenômenos, dentre eles hidrológicos e sísmicos, como se pode observar em Van Dam et al. (2001), Bevis et al. (2005), Rosa (2008), Silva et al. (2010), Rajner e Liwosz (2012), Chen et al. (2016), Gruszczynska et al. (2016).

Devido à correlação entre as deformações da crosta e as variações do campo de gravidade terrestre, tem-se associado dados gravimétricos (como os derivados da missão GRACE - Gravity Recovery and Climate Experiment) às séries temporais posicionais. Isso constitui uma ferramenta complementar para análises de deformações crustais causadas por carga hidrológica de forma a auxiliar na interpretação dos movimentos e de sua distribuição espacial, como demonstrado por Tregoning et al. (2009), Moreira (2010), Costa et al. (2012); Fu et al. (2013); Fu et al. (2015), Zou et al. (2015) dentre outros.

Atualmente existem algumas metodologias para identificação e correção dos efeitos (anuais e semianuais) causados por eventos transitórios locais e regionais (terremotos, carregamento hidrológico, acúmulo de neve) desenvolvidos a partir de análises aplicadas às séries temporais de dados: gravimétricos, climatológicos e de posição, como as estabelecidas por Chamoli et al. (2014) e Rossi et al. (2016).

Salienta-se que efeitos transitórios foram considerados na realização do ITRF2014 através de uma modelagem avançada de movimentos não lineares, incluindo sinais sazonais (anuais e semianuais) de posições de estações e deformação ocasionada por eventos sísmicos, que não foram considerados em realizações anteriores. Os modelos de deformação foram estimados a partir de séries temporais de posição obtidas por GNSS/GPS (ALTAMIMI et al., 2011; ALTAMIMI et al., 2016).

As séries temporais posicionais, como acima citadas, tem se caracterizado como uma ferramenta importante no desenvolvimento de diversas pesquisas permitindo a observância das características de eventos que ocorrem no decorrer do tempo e tornando possível identificar os fatores que, de alguma maneira, regem o seu comportamento (ROSA, 2008).

Alguns conceitos e formulações referentes às séries temporais bem como aos testes estatísticos de hipóteses apresentados a seguir foram retirados, em sua maioria, de Morettin e Toloi (2006).

2.4 Séries temporais

Define-se uma série temporal como um conjunto de valores de uma variável, ordenados no tempo. Tal série pode ser determinada seguindo algum modelo matemático como o apresentado na Equação 2 e constituem uma série determinística. Séries em que esses valores só possam ser descritos em termos de uma distribuição de probabilidades são denominadas de não-determinísticas ou estocásticas (BOX et al., 2008).

$$Z(t) = \cos(2\pi ft) \quad (2)$$

em que: $Z(t)$ é a série temporal; f é a frequência; e, t é o tempo.

Morettin e Toloi (2006) ressaltam que os modelos utilizados para descrever séries temporais são processos estocásticos, isto é, processos controlados por leis probabilísticas. Nesse contexto, a construção de tais modelos depende de diversos fatores, tais como: o comportamento do fenômeno; o conhecimento a priori que temos de sua natureza; e, do objetivo da análise.

A análise de séries temporais se baseia no desenvolvimento de técnicas que permitam analisar e modelar a dependência entre as observações adjacentes da série, registradas em instantes distintos e sucessivos (BOX et al., 2008).

De acordo com Morettin e Toloi (2006), quando se analisa uma série temporal pode-se estar interessado em:

- investigar o mecanismo gerador da série temporal; por exemplo, analisando uma série de alturas de ondas, podemos querer saber como estas ondas foram geradas;
- fazer previsões de valores futuros da série; estas podem ser a curto prazo, como para séries de vendas, produção ou estoque, ou a longo prazo, como para séries populacionais, de produtividade etc.;
- descrever apenas o comportamento da série; neste caso, a construção do gráfico, a verificação da existência de tendências, ciclos e variações sazonais, a construção de histogramas e diagramas de dispersão etc., podem ser ferramentas úteis;
- procurar periodicidades relevantes nos dados; aqui, a análise espectral, pode ser de grande utilidade.

Em todos os casos, modelos probabilísticos são construídos no domínio do tempo ou da frequência. Esses modelos devem ser simples e obedecer ao princípio da parcimônia (o número de parâmetros deve ser o menor possível) e, se possível, sua utilização não deve apresentar dificuldades às pessoas interessadas em manipulá-los (MORETTIN e TOLOI, 2006).

Um modelo clássico para séries temporais supõe que a série $\{Z_1, \dots, Z_n\}$ para os instantes $t_1, \dots, t_n$ pode ser escrita como apresentado na Equação 3:

$$Z(t) = T(t) + S(t) + \varepsilon(t), \quad (3)$$

em que: $Z(t)$ é a série temporal original; $T(t)$ é a tendência; $S(t)$ é a sazonalidade; e, $\varepsilon(t)$ é um componente aleatório ou um ruído branco de média zero e variância constante (KENDALL, STUART, 1983; MORETTIN e TOLOI, 2006).

2.4.1 Tendência

Para Ehlers (2005) a tendência $T(t)$ pode ser entendida como uma mudança que descreve o comportamento da variável retratada na série temporal no longo prazo, ou seja, consiste em um aumento ou uma diminuição gradual das observações ao longo de um determinado período.

Existem três objetivos básicos que norteiam a identificação da tendência em séries temporais: avaliar o seu comportamento para utilizá-lo em previsões; removê-la da série para facilitar a visualização das outras componentes; ou ainda identificar o nível da série, definido como o valor ou faixa típica de valores que a variável pode assumir se não for observado comportamento crescente ou decrescente no longo prazo.

Segundo Montgomery et al. (2008) e Morettin e Toloi (2006) existem alguns métodos para se estimar o componente de tendência $T(t)$ em uma série temporal, sendo que os mais utilizados consistem em: ajustar uma função do tempo, como um polinômio, exponencial (modelos de regressões); suavizar (ou filtrar) os valores das séries ao redor de um ponto (médias ou medianas móveis); e, suavizar os valores das séries através de sucessivos ajustes de retas de mínimos quadrados (lowess).

O primeiro passo para a análise de uma série temporal contendo N observações é a construção de um gráfico, no qual se pode observar características importantes como por exemplo, tendência, sazonalidade, variabilidade, observações atípicas, etc. Porém,

acompanhado de uma análise gráfica sempre é importante a aplicação de um teste de hipótese. Para identificação da componente tendência em uma série pode-se utilizar os testes estatísticos de hipóteses: de sequências (Wald-Wolfowitz), do sinal (Cox-Stuart) e o baseado no coeficiente de correlação de Spearman.

Neste trabalho utilizará apenas o teste de Cox-Stuart (COX e STUART, 1955), descrito conforme Morettin e Toloi (2006).

Neste teste agrupam-se as observações aos pares $(Z_1, Z_{1+c}), (Z_2, Z_{2+c}), \dots, (Z_{N-c}, Z_N)$ em que $c = \frac{N}{2}$, se N for par e $c = \frac{N+1}{2}$, se N for ímpar. A cada par (Z_i, Z_{i+c}) é atribuído o sinal $\{+\}$ se $Z_i < Z_{i+c}$ e o sinal $\{-\}$ se $Z_i > Z_{i+c}$, eliminando os empates. Seja n o número de pares em que $Z_i \neq Z_{i+c}$.

Para testar a hipótese bilateral devemos considerar:

$$H_0 = P(Z_i < Z_{i+c}) = P(Z_i > Z_{i+c}), \forall i : \text{não existe tendência};$$

$$H_1 = P(Z_i < Z_{i+c}) \neq P(Z_i > Z_{i+c}), \forall i : \text{existe tendência}.$$

Um teste unilateral considerando H_0 : não existe tendência positiva, contra H_1 : existe tendência positiva, é obtido substituindo $=$ por $\leq$ e $\neq$ por $>$, respectivamente, em H_0 e H_1 acima.

Seja T_2 o número de pares com sinal $\{+\}$. Então, para uma série em que o número de pares seja $n \leq 20$, a regra de decisão é baseada na distribuição binomial e para $n > 20$ pode-se usar a aproximação normal.

2.4.2 Sazonalidade

Não há consenso a respeito da definição de sazonalidade (ou periodicidade). Alguns autores a caracterizam de forma empírica, como sendo a ocorrência regular de um determinado fenômeno dentro de um período de tempo (dias, semanas, anos etc.). Uma análise sobre eventos sazonais permite identificar as flutuações e oscilações aleatórias ocorridas no período considerado.

Os procedimentos mais utilizados para a estimação da componente sazonal $S(t)$ de uma série temporal, segundo Morettin e Toloi (2006) são: método de regressão (para

sazonalidade determinística); e, método de médias móveis (para sazonalidade estocástica).

A componente sazonal das séries temporais deve ser identificada, além de análises gráficas, através da aplicação de testes estatísticos de hipóteses. Neste caso os testes encontrados para a confirmação desta componente são os de Kruskal-Wallis, de Friedman e F para análise de variância.

A aplicação dos testes para verificação da sazonalidade está condicionada à eliminação da componente de tendência $T(t)$, caso esta esteja presente na série. Este procedimento pode ser efetuado a partir da aplicação de diferenças sucessivas, descrito posteriormente.

Será enfatizado o teste de Kruskal-Wallis (KRUSKAL e WALLIS, 1952) devida a sua aplicação neste trabalho. Este teste é utilizado para verificar se k amostras independentes provêm de populações distintas. Neste caso, os valores amostrais pouco diferem entre si, sendo necessário verificar se essas diferenças entre as amostras são efetivas entre as populações, ou se representam variações casuais, previsíveis entre amostras aleatórias de uma mesma população. O teste supõe que a variável em estudo tenha distribuição contínua e exige mensuração no mínimo ao nível ordinal.

Tomando um exemplo hipotético onde k amostras do tamanho n_j cujas observações são dadas conforme Equação 4:

$$Y_{ij}, j = 1, \dots, k, i = 1, \dots, n_j, N = \sum_{j=1}^k n_j. \quad (4)$$

As observações Y_{ij} são distribuídas por seus postos R_{ij} , obtidos ordenando-se todas as N observações. Seja $R_{.j}$ a soma dos pontos associados a j -ésima amostra, como apresentado na Equação 5:

$$R_{.j} = \sum_{i=1}^{n_j} R_{ij}, j = 1, \dots, k. \quad (5)$$

A hipótese H_0 de não existência de sazonalidade é rejeitada se a estatística determinada pela Equação 6:

$$T_1 = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{j=1}^k \frac{R_j^2}{n_j} - 3(N+1) \quad (6)$$

for maior ou igual ao valor crítico T_{1c} , onde T_{1c} é tal que $P_H(T_1 \geq T_{1c}) = \alpha$, em que α é igual ao nível de significância do teste. Para n_j suficientemente grande, ou $k \geq 4$, sob H_0 , a distribuição de T_1 pode ser aproximada por uma variável χ^2 com $k-1$ graus de liberdade.

A aplicação do teste de Kruskal-Wallis recebe críticas por considerar que as variáveis dentro de cada amostra são independentes e que as amostras são independentes entre si, o que muitas vezes não ocorre.

2.4.3 Estacionariedade

Uma série temporal $Z(t)$ é dita estacionária quando se desenvolve no tempo ao longo de uma média constante, refletindo possíveis formas de equilíbrio estável. Todavia, a maior parte das séries que se encontra na prática apresenta alguma forma de não-estacionariedade, como por exemplo, as componentes de tendência $T(t)$ e sazonalidade $S(t)$.

Como diversos procedimentos de análises estatísticas de séries temporais supõe que estas sejam estacionárias, há a necessidade de se aplicar uma transformação aos dados originais caso estes não formem uma série estacionária. A transformação mais comum consiste em tomar diferenças sucessivas da série original até se obter uma série estacionária, por exemplo, livre da tendência e sazonalidade. Tais diferenças podem ser simples, quando considera cada observação da série ($\text{lag} = 1$) ou sazonal, quando se considera um período fixo igual a 12 meses ($\text{lag} = 365$).

A primeira diferença de uma série $Z(t)$ é dada por

$$\Delta Z(t) = Z(t) - Z(t-1), \quad (7)$$

a segunda diferença é

$$\Delta^2 Z(t) = \Delta[\Delta Z(t)] = \Delta[Z(t) - Z(t-1)], \quad (8)$$

ou seja

$$\Delta^2 Z(t) = Z(t) - 2Z(t-1) + Z(t-2). \quad (9)$$

De forma generalizada tem-se

$$\Delta^n Z(t) = \Delta[\Delta^{n-1} Z(t)]. \quad (10)$$

Em condições normais bastam duas transformações para que a série já seja considerada estacionária. Para Box et al. (2008) o número de diferenças necessárias para uma série se tornar estacionária chama-se ordem de integração da série.

Após a aplicação das diferenças para eliminação das componentes de tendência e sazonalidade (verificadas com aplicação de testes de hipóteses), devem-se aplicar testes estatísticos para a verificação da estacionariedade da série. De modo geral são utilizados para tal fim os testes de raízes unitárias, pois são capazes, em geral, de detectar se a série foi suficientemente diferenciada para se tornar estacionária. Para tanto, testa-se as hipóteses

H_0 : a série não é estacionária, ou seja, possui raiz unitária;

H_1 : a série é estacionária, não possui raiz unitária.

Dentre os testes clássicos de raízes unitárias, utilizados para testar essas hipóteses pode-se destacar o teste de Dickey-Fuller, cujos detalhes e formulações podem ser consultados em Dickey e Fuller (1979), Dickey e Fuller (1981) e Morettin e Toloi (2006).

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Área de estudo

A bacia Amazônica é formada por todos os rios, córregos e demais tipos de mananciais que deságuam suas águas no rio Amazonas. Essa bacia abrange estados brasileiros (Amazonas, Roraima, Rondônia, Mato Grosso, Pará e Amapá). Nela existe um grande número de rios, sendo sua maioria detentora de um grande volume de água. O rio que dá nome à bacia (Amazonas) tem sua nascente nos Andes, mais precisamente

no Peru. Durante o seu percurso, o rio é denominado de maneiras distintas. No Brasil, por exemplo, seu primeiro nome é Solimões, mas passa a ser chamado de Amazonas quando converge com o Rio Negro. Em razão dos rios serem caudalosos, a bacia Amazônica é muito rica em volume de água (FREITAS, 2016).

Devido a grande distribuição hídrica da bacia Amazônica, escolheram-se como área de estudo para a verificação da influência da carga hidrológica na altitude geométrica através das estações GNSS e Linimétricas, localizadas em Manaus e São Gabriel da Cachoeira. A localização/disposição das estações utilizadas pode ser verificada nas Figuras 6 e 7.

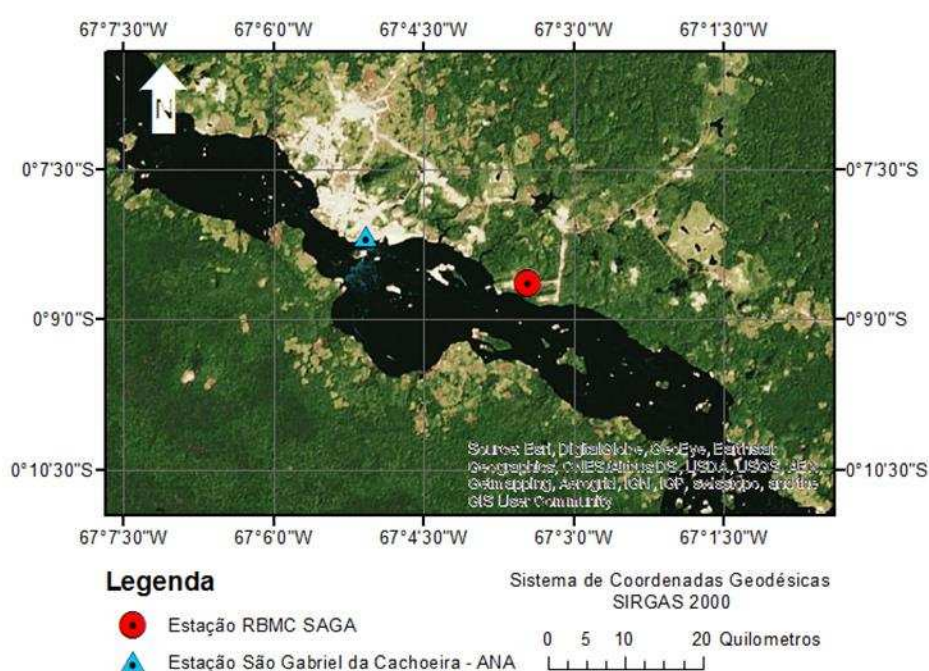


Figura 6: Disposição das estações em São Gabriel da Cachoeira.

O município de São Gabriel da Cachoeira está localizado no interior do estado do Amazonas e situado no extremo noroeste do Brasil, a uma distância aproximada de 848,7 quilômetros de Manaus. Situa-se às margens do Rio Negro, na região conhecida como alto Rio Negro.

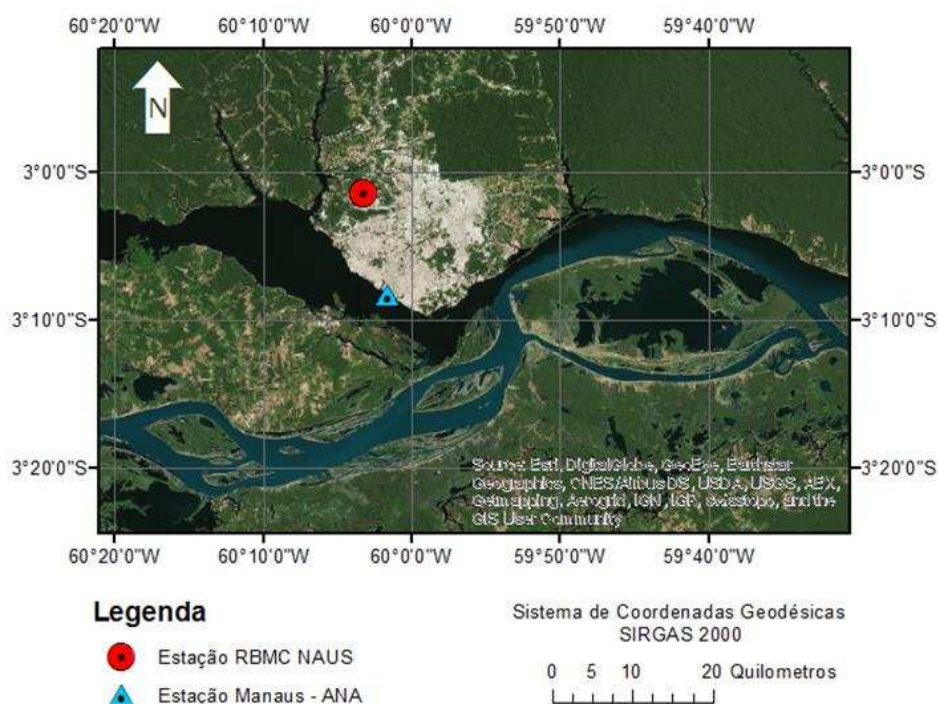


Figura 7: Localização das estações em Manaus.

Manaus é a capital do estado do Amazonas e o principal centro financeiro, corporativo e econômico da Região Norte do Brasil. É uma cidade histórica e portuária, localizada no centro da maior floresta tropical do mundo, situada na confluência dos rios Negro e Solimões, sendo uma das cidades brasileiras mais conhecidas mundialmente.

3.2 Materiais utilizados

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais:

- Programa computacional RINEX EDITION, versão 1.0;
- Dados GNSS (GPS e GLONASS) em formato (RINEX) para as estações NAUS (Manaus - AM) e SAGA (São Gabriel da Cacheira - AM), disponibilizados gratuitamente pelo IBGE em sua página eletrônica;
- Dados fluviométricos (cotas linimétricas) referentes à estação fluviométrica MANAUS-ANA (código 14990000) e a estação SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA-ANA (código 14320001), disponibilizados gratuitamente pela Agência Nacional de Águas (ANA) através do seu banco de dados HydroWeb (ANA, 2016; SNIRH, 2016).
- Software R para o desenvolvimento de scripts direcionados à aplicação das análises estatísticas. Cabe destacar que software R caracteriza-se como uma

ferramenta robusta para aplicações estatísticas, disponibilizado gratuitamente por R Core Team (2016); e,

- Planilhas eletrônicas para organização dos dados e geração dos gráficos.

3.3 Metodologia

3.3.1 Implementação do software RINEX EDITION

Com o intuito de automatizar a construção de séries temporais a partir de dados coletados por estações pertencentes à RBMC, desenvolveu-se um programa computacional fundamentado em linguagem de programação C orientada a objetos e Java. Este programa foi nomeado de RINEX EDITION e registrado no INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) cujo número do processo de registro é BR 51 2015 001517-6. Está disponível aos usuários na página eletrônica do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Viçosa em <www.eam.ufv.br>.

O planejamento e desenvolvimento do programa foram executados visando oferecer ao usuário uma interface amigável e simples, abrangendo as quatro etapas necessárias para geração das séries, ou seja, o download, a edição, o processamento dos dados e a extração de informações posicionais (coordenadas cartesianas X, Y, Z; elipsoidais ϕ , λ , h e as precisões de ambas), minimizando consideravelmente o tempo demandado, reduzindo também possíveis erros ocasionados na etapa de edição realizada manualmente. O layout apresentado foi construído de forma a alocar cada etapa em uma aba, denominando-as respectivamente de RBMC, TEQC, PPP e EXPORTAR.

O fluxograma apresentado na Figura 8 ilustra o princípio de funcionamento de cada aba do programa, apresentados seguindo a ordem lógica de operação para a construção de uma série temporal.

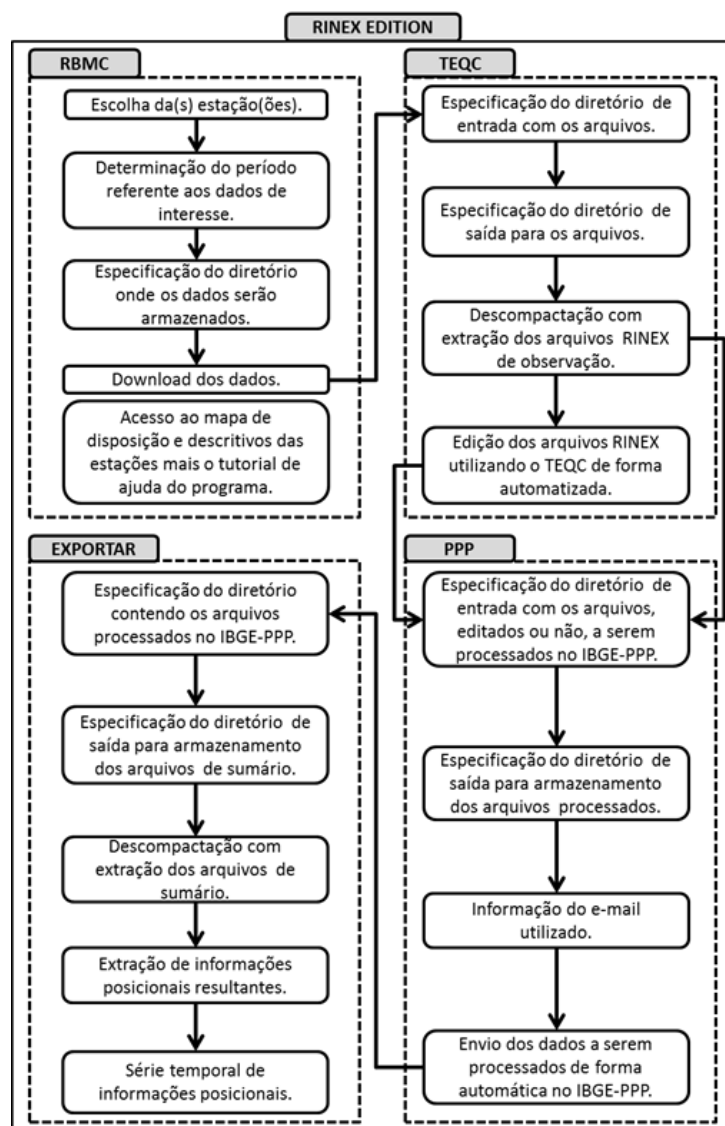


Figura 8: Fluxograma de funcionamento do RINEX EDITION.

O processo construtivo de uma série temporal se inicia na primeira aba (RBMC), em que é possível efetuar o download de dados de uma, ou mais estações pertencentes à RBMC. A ordem dos procedimentos necessários, bem como, de inserção de informações está disposta no fluxograma da Figura 8.

Caso seja omitida alguma dessas informações será retornada ao usuário uma mensagem informando a inconsistência, não permitindo que se efetue o download. Somente depois de inseridas todas as informações solicitadas pelo programa se iniciará o download de forma automatizada. Cabe ressaltar que as datas (início e fim) devem pertencer ao mesmo ano. Em caso de um intervalo em anos diferentes, o usuário deverá efetuar o download em duas partes.

Com o download finalizado e os dados de interesse armazenados, tem-se início a descompactação e armazenamento dos arquivos de observação (aba TEQC), que podem ser editados ou não. A descompactação é efetuada utilizando os softwares Zip e UnZip,

pertencentes ao projeto INFO-ZIP, disponibilizados de forma gratuita em <www.infozip.org/>. A edição dos dados é executada de forma automática utilizando-se o software TEQC (Translation, Editing and Quality Check). O TEQC é disponibilizado de forma gratuita pela UNAVCO em <www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>.

Com o uso do TEQC, pode-se, por exemplo, retirar as observações referentes aos satélites da constelação GLONASS mantendo as observações do GPS, ou vice-versa; manter somente as observações da portadora L1 referentes às duas constelações de forma conjunta ou individual; redução do tempo de rastreio para intervalos específicos, tendo como referência o período total disponibilizado nos arquivos (0 a 24h).

A partir dos arquivos de observação preparados, inicia-se a terceira etapa (aba PPP), ou seja, o processamento. Esse procedimento constitui um dos empecilhos da geração das séries temporais que utilizam serviços de PPP online, pois demanda muito tempo. Pensando-se em sanar as dificuldades impostas construiu-se um aplicativo, utilizando a linguagem de programação Java de forma a estabelecer uma conexão direta ao serviço de processamento online IBGE-PPP, em modo estático.

Este aplicativo funciona em conjunto com o RINEX EDITION e permite que o usuário envie seus dados ao serviço de processamento do IBGE recebendo e armazenando os arquivos processados no diretório especificado. A vantagem deste aplicativo evidencia-se quando considerado um grande volume de dados. Outra consideração importante é a possibilidade de envio de dados em paralelo, ou seja, com várias “janelas” funcionando ao mesmo tempo. A eficiência deste depende da largura da banda de internet disponível ao usuário.

A adoção do método PPP, em particular o serviço IBGE-PPP, se justifica por vários motivos, além dos supracitados, tais como: a confiabilidade, precisão e praticidade proporcionada por este serviço; facilidade de implementação no software desenvolvido, o que é difícil de ser feito com outros programas de processamento de dados no modo relativo (programas comerciais) dentre outros.

A quarta e última etapa (aba EXPORTAR) consiste em solucionar outro problema associado à formação das séries e que também demanda tempo considerável: a extração de informações posicionais de dados pós-processados. Nesse caso, desenvolveu-se um algoritmo que permite a extração automática de tais informações (coordenadas cartesianas X, Y, Z; elipsoidais ϕ , λ , h e as precisões de ambas) a partir dos arquivos de sumário disponibilizados na terceira etapa, garantindo a otimização do

processo. Tem-se assim uma série temporal de dados posicionais estimados na época de coleta dos dados, armazenadas em um arquivo TXT, compatível com qualquer tipo de planilha eletrônica.

Para auxílio ao usuário são disponibilizados: o tutorial de ajuda do programa, um mapa da disposição das estações da RBMC e um link direto para os descritivos de cada estação.

3.3.2 Construção das séries temporais posicionais

Com o programa RINEX EDITION foi possível gerar as séries temporais de dados posicionais para as estações NAUS e SAGA, pertencentes à RBMC, para o período iniciado no dia corrido de número 1 do ano de 2010 (01/01/2010) e finalizado no dia corrido de número 365 do ano de 2015 (31/12/2015) totalizando uma série temporal de seis anos (6 anos) para cada estação. Utilizaram-se arquivos de observações GNSS (GPS e GLONASS) oriundos de seções de observação de 24 horas.

Como o IBGE-PPP passou a processar dados GNSS (GPS e GLONASS) a partir de 14 de agosto de 2011, observações processadas até esta data estão associadas somente a constelação GPS (IBGE, 2013). Contudo, Jerez et al. (2014) destacam que a integração GPS e GLONASS não apresenta mudança significativa nos resultados para a seção de observação utilizada (24h), obtendo diferenças milimétricas quando comparada ao processamento efetuado somente com dados GPS.

As coordenadas que compõem as séries são estimadas para a época de coleta dos dados. Vale ressaltar que, embora as informações posicionais (coordenadas cartesianas X , Y , Z ; elipsoidais ϕ , λ , h e as precisões de ambas) resultantes do IBGE-PPP sejam também referenciadas ao ITRF, foram consideradas neste trabalho as coordenadas cartesianas, bem como as altitudes elipsoidais, referenciadas ao SIRGAS2000.

Isso se deve ao fato de o referencial ITRF adotado pelo PPP ser o realizado pelo IGS na época para a qual as órbitas foram calculadas. Nesse caso, as coordenadas no ITRF disponibilizadas pelo IBGE-PPP apresentam soluções em três referenciais para o período considerado (2010-2016) como descrito na Tabela 3.

Tabela 3: Soluções IGS adotadas pelo IBGE-PPP.

Data do Rastreo GNSS	Realização IGS
05/11/2006 a 16/04/2011	IGS05
17/04/2011 a 06/10/2012	IGS08
07/10/2012 a atualmente	IGb08

Fonte: IBGE (2013).

Com a finalidade de sanar este problema aplica-se a transformação de referenciais de forma a estabelecer a compatibilização entre os referenciais citados na Tabela 3 e o SIRGAS2000. Os procedimentos aplicados pelo IBGE-PPP para tal fim são descritos em Carvalho et al. (2015a) e Carvalho et al. (2015b).

Após a geração das séries temporais de altitudes geométricas e de dados linimétricos para as estações situadas em São Gabriel da Cachoeira e Manaus observou-se que algumas destas apresentaram falta de dados em alguns períodos. Como o software R não permite a análise de série temporal com dados faltantes é necessário atribuir valores aos períodos com dados perdidos. Dentre os diversos métodos para preenchimento de dados faltantes em séries temporais disponíveis no software R, utilizou-se a função `na.interp()` do pacote `forecast` (HYNDMAN, 2016). Esta função remove a componente sazonal da série temporal e aplica sobre os componentes restantes uma interpolação linear para imputar os valores, com posterior adição da componente sazonal (MORITZ et al., 2015).

Após o preenchimento dos períodos de dados faltantes observou-se a presença de ruído aleatório nas séries temporais de coordenadas, que se deve aos erros aleatórios gerados no processamento de dados GNSS. Métodos robustos (como por exemplo, análise de potência spectral) são utilizados para identificação e análises sobre tais ruídos, como descrito em Amiri-Simkooei et al. (2007). Salienta-se que neste trabalho aplicou-se às séries de altitudes geométricas um simples filtro de médias móveis centradas de ordem 12 (doze) através da função `ma()` pertencente ao pacote `forecast` do software R, de forma a promover a suavização das curvas, como mostrado nas Figuras 11 e 12 (seção 4.2.1, pag. 47 e 48). Salienta-se que as análises apresentadas foram efetuadas sobre as séries de altitudes geométricas filtradas.

3.3.3 Construção das séries temporais fluviométricas

As séries de dados linimétricos foram construídas a partir da organização dos valores de cotas linimétricas diárias médias disponíveis no banco de dados HidroWeb para as estações MANAUS – ANA (código 14990000), estação fluviométrica do Porto de Manaus, situada nas proximidades da cidade de Manaus – AM e a estação SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA – ANA (código 14320001), localizada nas proximidades do município de São Gabriel da Cachoeira – AM, no alto Rio Negro, como apresentado nas Figuras 6 e 7.

Destaca-se que os valores médios diários das cotas linimétricas são determinados a partir dos valores reais lidos em dois horários: as sete (7) horas da manhã e as dezessete (17) horas da tarde, no horário de Brasília. O método de coleta destes dados consiste em leituras efetuadas diretamente sobre uma escala linimétrica (régua linimétrica).

Foram considerados como critérios de escolha das estações fluviométricas a disponibilidade de dados para o período coincidente ou aproximado com o período das séries posicionais determinadas. Outro critério importante se refere às distâncias das estações fluviométricas e da RBMC com relação aos rios. Nesse caso, as menores distâncias foram apresentadas pelas estações localizadas em São Gabriel da Cachoeira – AM. A primeira estação fluviométrica (Manaus) apresentou dados para o período de 01/01/2010 à 30/06/2014, enquanto a segunda (São Gabriel da Cachoeira) para o período de 01/01/2010 à 31/01/2015.

3.3.4 Análise da influência da carga hidrológica na altitude geométrica

Após a construção das séries temporais de posição e hidrológicas procedeu-se ao desenvolvimento dos scripts direcionados às aplicações estatísticas utilizando o software R. Tais scripts contemplam os procedimentos necessários para as análises exploratórias das séries temporais em questão, bem como a aplicação dos testes de Cox-Stuart, Kruskal-Wallis e Dickey-Fuller para a averiguação da existência de tendência, sazonalidade e estacionariedade respectivamente.

A metodologia utilizada para analisar as séries obedeceu aos seguintes passos:

- Verificar a continuidade dos dados que compõe cada série e, em caso de períodos com falhas, deve-se imputar (inserir) os valores perdidos às séries. Este procedimento é necessário devido ao fato de o software R não aceitar dados faltantes em séries temporais comprometendo a análise, por isso

precisa-se atribuir valores aos dados faltantes. Este procedimento foi efetuado utilizando a função `na.interp()` no software R;

- Construção do gráfico das séries em estudo para descrição do comportamento do conjunto de dados por meio da inspeção visual, ou seja, observar indícios de descontinuidades e características como tendência e/ou sazonalidade;
- Análise de correlação entre as séries em estudo baseando-se no coeficiente de correlação de Spearman;
- Aplicação do teste de Cox-Stuart a um nível de significância $\alpha = 5\%$ para a verificação da existência de tendência. Caso a existência de tendência seja confirmada, tomar diferenças com o intuito de removê-la, tornando a série ajustada para tendência. Deve-se testar a série diferenciada para verificação de não existência de tendência;
- Com a série livre de tendência, que é uma condição necessária à verificação da sazonalidade, aplica-se o teste de Kruskal-Wallis a um nível de significância $\alpha = 5\%$ para a verificação da existência de sazonalidade nas séries em questão. Caso a existência de sazonalidade se confirme, tomar diferenças para eliminar esta componente tornando a série sazonalmente ajustada; e,
- Com as séries livres de tendência e sazonalidade verifica-se a estacionariedade através da aplicação do teste de Dickey-Fuller a um nível de significância $\alpha = 5\%$.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Análise das séries de componentes cartesianas

O tempo destinado à construção das séries posicionais foi de 48 horas, utilizando uma conexão de internet de banda larga de 5MB, confirmando assim a eficiência do RINEX EDITION. Tal eficiência é justificada quando se compara o tempo demandado no procedimento manual com o tempo gasto no processo automatizado para a construção das séries posicionais aqui utilizadas. As séries de informações posicionais geradas com o programa computacional desenvolvido seguem o padrão apresentado na Figura 9.

ARQUIVOS PROCESSADOS										SIRGAS2000		
*****				DATA	INICIO	FINAL	SIST DE REF	X (m)	Y (m)	Z (m)		
naus0011,14o,sum				01/01/2014	00:00:00	23:59:45	(IGb08)	3179409,3730	-5519130,7082	-334110,0075		
naus0021,14o,sum				02/01/2014	00:00:00	23:59:45	(IGb08)	3179409,3796	-5519130,7046	-334110,0078		
naus0031,14o,sum				03/01/2014	00:00:00	23:59:45	(IGb08)	3179409,3766	-5519130,7021	-334110,0052		
naus0041,14o,sum				04/01/2014	00:00:00	23:59:45	(IGb08)	3179409,3777	-5519130,7031	-334110,0140		
naus0051,14o,sum				05/01/2014	00:00:00	23:59:45	(IGb08)	3179409,3759	-5519130,7047	-334110,0052		
naus0061,14o,sum				06/01/2014	00:00:00	23:59:45	(IGb08)	3179409,3733	-5519130,7091	-334110,0047		
⋮				⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
ITRF			DESV PAD/CORR IC (95%)							SIR-ITR		
X (m)	Y (m)	Z (m)	SgmX (m)	SgmY (m)	SgmZ (m)	CorrXY (m)	CorrXZ (m)	CorrYZ (m)	SX (m)	SY (m)	SZ (m)	
3179409,3723	-5519130,7192	-334110,0077	0,0033	0,0044	0,0009	-0,4203	-0,1178	0,3511	0,0007	0,0110	0,0001	
3179409,3789	-5519130,7156	-334110,0080	0,0033	0,0043	0,0009	-0,4646	-0,0761	0,3051	0,0007	0,0110	0,0001	
3179409,3759	-5519130,7131	-334110,0053	0,0033	0,0044	0,0009	-0,4331	-0,0493	0,3244	0,0007	0,0110	0,0001	
3179409,3769	-5519130,7141	-334110,0141	0,0032	0,0044	0,0009	-0,4520	-0,0527	0,2244	0,0007	0,0110	0,0001	
3179409,3752	-5519130,7156	-334110,0053	0,0034	0,0043	0,0009	-0,4930	-0,1720	0,3282	0,0007	0,0110	0,0001	
3179409,3726	-5519130,7200	-334110,0049	0,0036	0,0045	0,0009	-0,3512	-0,0460	0,2967	0,0007	0,0110	0,0001	
⋮			⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
SIRGAS2000			ITRF									
Lat(Graus)	Long(Graus)	AltGeo(m)	Lat(Graus)	Long(Graus)	AltGeo(m)	LatSigma	LongSigma	AltGeoSigma	LatSIR-ITR	LongSIR-ITR	AltGeoSIR-ITR	
-3,0229	-60,0550	93,9106	-3,0229	-60,0550	93,9197	0,0009	0,0028	0,0047	-0,0003	0,0061	-0,0091	
-3,0229	-60,0550	93,9107	-3,0229	-60,0550	93,9199	0,0009	0,0027	0,0048	-0,0003	0,0061	-0,0091	
-3,0229	-60,0550	93,9069	-3,0229	-60,0550	93,9161	0,0009	0,0028	0,0048	-0,0003	0,0061	-0,0091	
-3,0229	-60,0550	93,9088	-3,0229	-60,0550	93,9179	0,0009	0,0027	0,0048	-0,0003	0,0061	-0,0091	
-3,0229	-60,0550	93,9088	-3,0229	-60,0550	93,9179	0,0008	0,0027	0,0048	-0,0003	0,0061	-0,0091	
-3,0229	-60,0550	93,9113	-3,0229	-60,0550	93,9204	0,0009	0,0031	0,0048	-0,0003	0,0061	-0,0091	
⋮			⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Figura 9: Série de informações posicionais geradas com o RINEX EDITION.

É importante frisar que os dados coletados por receptores GNSS permitem medir variações totais de deslocamento vertical, podendo assim refletir outros efeitos de maiores amplitudes relacionado aos deslocamentos associados às estações, tais como: marés terrestres, marés polares e carga oceânica. No entanto, tais efeitos são considerados e modelados no PPP e, portanto, considerou-se que as séries temporais de altitudes geométricas refletem principalmente os efeitos da carga hidrológica.

Podem-se observar na Figura 10 as séries temporais de componentes cartesianas geradas utilizando o RINEX EDITION para as estações NAUS e SAGA. De forma a melhorar a visualização, efetuou-se a subtração das partes inteiras das coordenadas cartesianas, mantendo somente às diferenças centimétricas, facilitando a observação das variações temporais.

Aplicando-se a linha de tendência linear, observou-se que: as séries temporais das componentes X de ambas as estações apresentaram comportamento decrescente; a série da componente Y da estação NAUS apresentou tendência decrescente, enquanto a da estação SAGA apresentou tendência crescente para o período analisado; as séries das componentes Z de ambas as estações apresentaram comportamento crescente. Além disso, a série da componente Z referente à estação NAUS apresentou um deslocamento entre os anos de 2013 e 2014, o que não foi observado nas séries das demais

componentes. Esse deslocamento coincide com o período da troca de antenas da estação, sendo que o modelo utilizado Zephyr GEODETIC (TRM41249. 00) foi removido em 09/04/2013 e alterado, nessa mesma data, para o modelo GNSS Choke Ring (TRM59800. 00), como pode ser observado no descritivo da estação, disponível em

ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_sobre_posicionamento_geodesico/rbmc/relatorio/Descritivo_NAUS.pdf>. No entanto, tal coincidência não pode ser especificada como a causa de tal deslocamento.

Dessa forma, infere-se que uma análise sobre as séries de coordenadas cartesianas é extremamente útil na avaliação do comportamento das séries e na busca de descontinuidades, possibilitando indicar possíveis erros nos dados da estação, o que mostra o RINEX EDITION como uma ferramenta excelente para auxiliar esses propósitos.

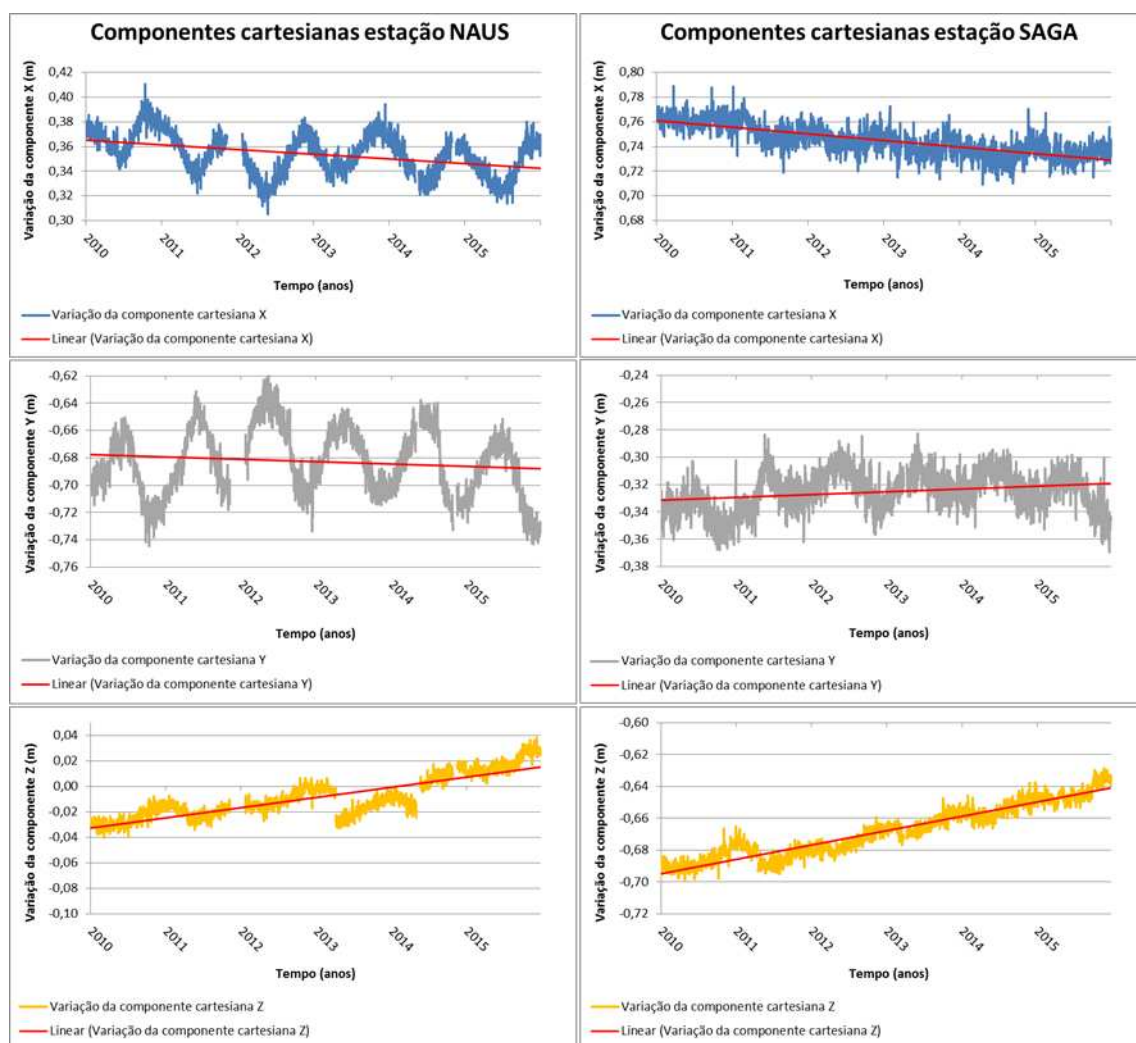


Figura 10: Séries temporais das componentes cartesianas X, Y e Z e suas linhas de tendência linear para as estações NAUS (à esquerda) e SAGA (à direita).

A verificação do comportamento da altitude geométrica em função da carga hidrológica foi efetuada a partir das análises comparativas entre as séries temporais de dados fluviométricos e de altitudes geométricas obtidas com o IBGE-PPP.

4.2 Influências da carga hidrológica na altitude geométrica

4.2.1 Análises sobre as correlações

Como destacado por Siegel e Castellan (1995), a utilização do coeficiente de correlação de Pearson está condicionada à normalidade da amostra em análise, ou seja, deve ser proveniente de uma distribuição normal. Nesse contexto, com a finalidade de verificar a normalidade dos dados aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk às séries temporais em questão, através da função `shapiro.test()` do pacote `stats` disponível no software R. Constatou-se, após a aplicação do teste, que o conjunto de dados que compõe cada uma das séries não apresenta distribuição normal, não satisfazendo a condição para aplicação do coeficiente de correlação de Pearson.

Um segundo fator que colaborou para não utilização da correlação de Pearson se deve a não aplicação de testes para a verificação de outliers, o que pode degradar consideravelmente os resultados obtidos, como apresentado por Figueiredo Filho et al. (2014).

Devido a tais fatos optou-se pela utilização do coeficiente de correlação por postos de Spearman, também conhecido como coeficiente de Spearman e denotado por ρ . Este coeficiente mede a intensidade da relação entre variáveis ordinais, ou seja, os conjuntos de dados a serem considerados devem estar ordenados (SIEGEL e CASTELLAN, 1995). Neste caso se usa, em vez do valor observado, apenas a ordem das observações (postos). Deste modo, este coeficiente não é sensível a assimetrias na distribuição, nem à presença de outliers, não exigindo, portanto, que os dados provenham de duas populações normais. Este coeficiente é aplicado em variáveis intervalares como alternativa ao coeficiente r de Pearson, quando neste último se viola a normalidade. Equivale ao coeficiente de correlação de Pearson adaptado a dados transformados em postos de acordo com a transformação de Wilcoxon (BAUER, 2007; PONTES et al., 2010).

Siegel e Castellan (1995) apresentam maiores informações sobre a formulação e conceituação do coeficiente de Spearman, destacando ainda que a eficácia deste coeficiente chega a 91% quando comparado com as correlações mais poderosas (como a correlação de Pearson).

A partir de uma análise exploratória entre a série de dados fluviométricos e a série de altitudes geométricas filtradas para a estação NAUS, apresentadas na Figura 11, infere-se que existe correlação inversa de 92,5%, apresentada na Tabela 4.

Tabela 4: Correlações entre as séries de cotas linimétricas e as séries de altitudes geométricas.

	Cotas Linimétricas Manaus	Cotas Linimétricas São Gab	Altitudes geométricas filtradas NAUS	Altitudes geométricas filtradas SAGA
Cotas Linimétricas Manaus	100,0%	80,5%	-92,5%	-72,9%
Cotas Linimétricas São Gab	80,5%	100,0%	-73,8%	-61,6%
Altitudes geométricas filtradas NAUS	-92,5%	-73,8%	100,0%	77,9%
Altitudes geométricas filtradas SAGA	-72,9%	-61,6%	77,9%	100,0%

Tal correlação também pode ser observada nos trabalhos desenvolvidos por Bevis et al. (2005), Moreira (2010) e Costa et al. (2012). O primeiro utilizou a correlação entre tais variáveis como um fator que possibilitasse evidenciar a influência da carga hidrológica na resposta elástica da crosta, pois seu intuito foi quantificar a deformação sazonal sofrida pela crosta nessa região, através da verificação das flutuações de massa no sistema do Rio Amazonas e da resposta elástica da Terra (módulo de compressão); o segundo teve como objetivo prioritário a geração de informações altimétricas a partir de receptores GNSS, com precisão centimétrica, de forma a possibilitar avaliações e melhorias na qualidade de dados de cotas fluviométricas obtidos por satélites orbitais e o terceiro efetuou a validação da avaliação pelo GRACE do acúmulo de água no subsolo da bacia amazônica com base em dados linimétricos.

Van Dam et al. (2001) concluíram através da aplicação de modelagem aos fenômenos de carga hidrológica, que algumas estações utilizadas apresentaram uma amplitude nas variações da componente vertical em torno de 1,5 a 3 centímetros, entre os anos de 1994 a 1998. Os maiores valores (3 centímetros) foram encontrados em

algumas regiões com grandes variações no estoque de água, como é o caso da bacia Amazônia.

O mesmo efeito foi percebido por Bevis et al. (2005) a partir de uma análise pontual para a estação MANA, atual NAUS. No entanto, a amplitude de variação na componente vertical encontrada foi da ordem de 7,5 centímetros considerando os anos de 1998 e alguns períodos de 1997 e entre 2001 e 2002, ou seja, quase o triplo dos valores apresentados por Van Dam et al. (2001). As séries temporais posicionais utilizadas não apresentaram continuidade.

Pode-se observar que a amplitude de variação na componente vertical encontrada neste trabalho para a estação NAUS foi da ordem de 11,2 centímetros, como se pode observar na Figura 11, superando o valor de 10 centímetros encontrado por Moreira (2010), utilizando uma série de aproximadamente três anos. Cabe salientar que este fato pode ser justificado por uso de séries temporais mais longas utilizadas neste trabalho. Outro fator a se considerar é que, como apontado por CPRM (2012) o ano de 2012 teve a maior cheia registrada na série histórica com 110 anos de tempo de recorrência, com um pico de 29,97 metros, superando em 20 centímetros a cheia do ano 2009, considerada até então a cheia máxima do Porto de Manaus. Este evento condiz com os maiores deslocamentos verticais apresentados.

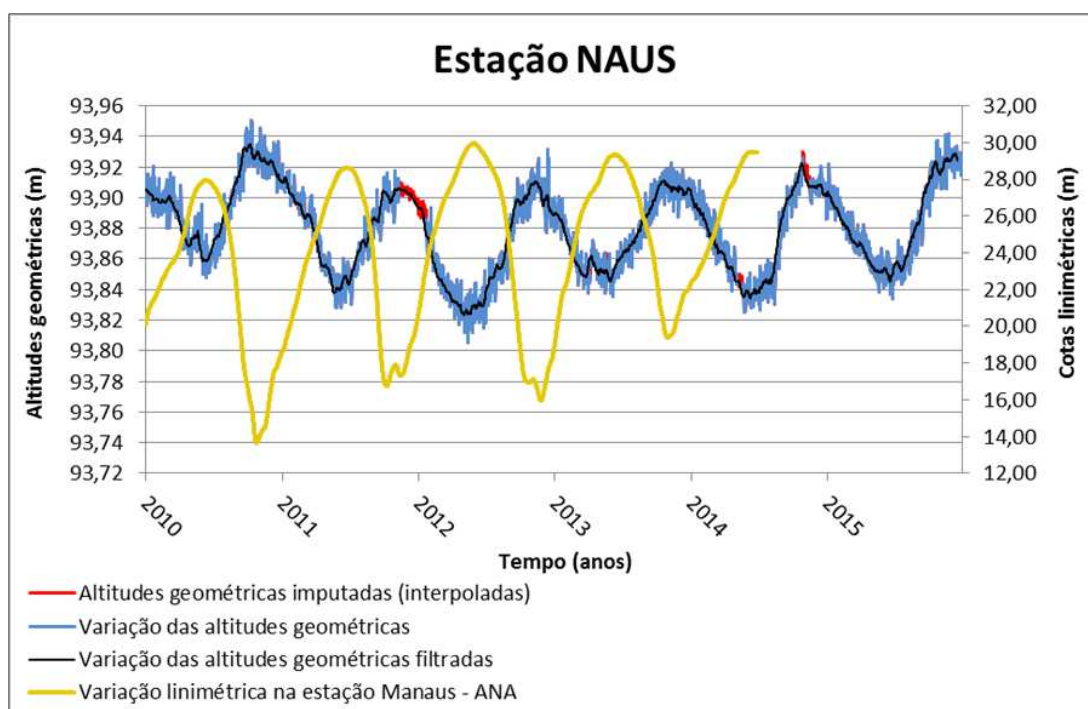


Figura 11: Comparativo entre a série de altitude geométrica da estação NAUS e a série linimétrica da estação MANAUS – ANA.

A série das altitudes geométricas para a estação SAGA apresentou um comportamento diferente quando comparada à série das altitudes da estação NAUS, apresentando maiores variações nos valores das soluções diárias, constituindo uma série mais ruidosa. Contudo, os ruídos apresentados nas séries talvez possam ser os mesmos, pois, como destaca Moreira (2010), a amplitude das variações de coordenada vertical encontradas em Manaus corresponde ao quádruplo das encontradas em São Gabriel da Cachoeira, o que pode contribuir para que os ruídos da série da estação SAGA sejam mais perceptíveis. Observa-se também que a série linimétrica referente à estação SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA – ANA não apresentou comportamento bem ajustado, como apresentado na série de mesmo tipo para a estação MANAUS – ANA, o que pode ser visualizado na Figura 12.

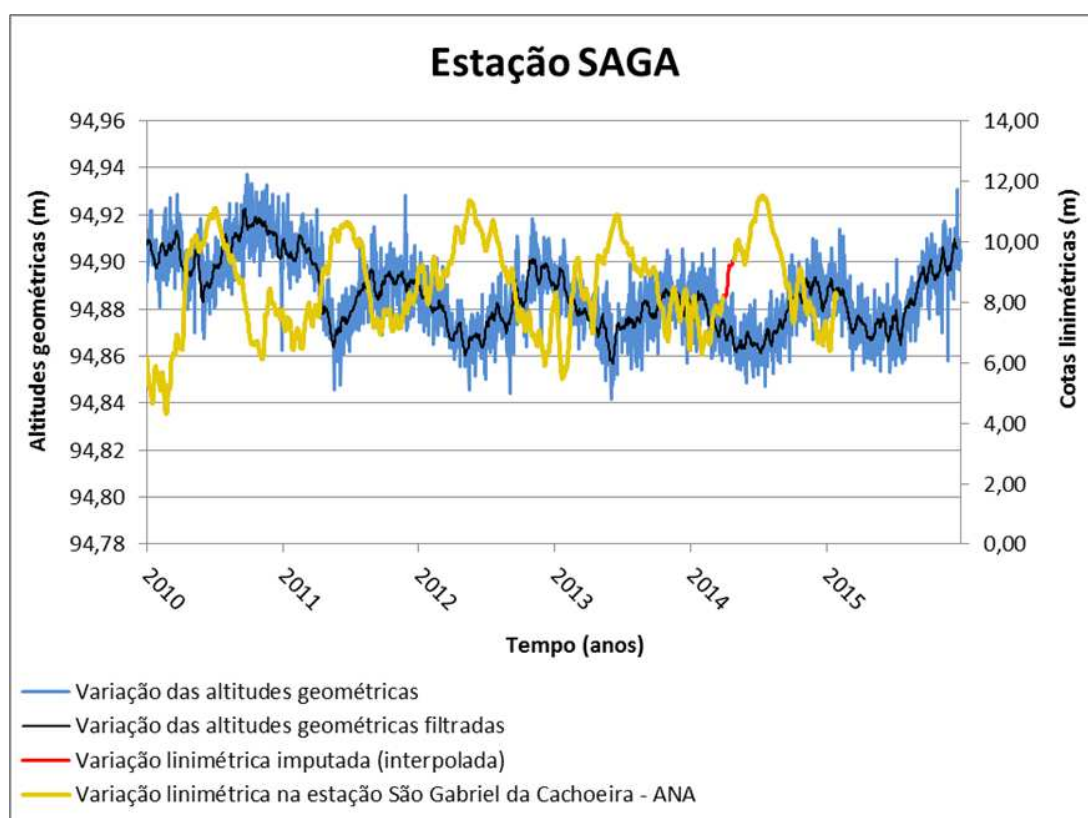


Figura 12: Comparação entre a série de altitude geométrica da estação SAGA e a série linimétrica da estação SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA – ANA.

A estação SAGA apresentou, para o período analisado, uma correlação inversa de 61,6% entre as séries de altitudes geométricas e linimétricas, como apresentado na Tabela 4. Uma amplitude de aproximadamente 5 centímetros também pode ser observada para a série de altitudes geométricas da estação SAGA, conforme Figura 12. Quando comparada com a correlação apresentada pela estação NAUS, essa se mostra menor, fato justificável pela maior carga hidrológica encontrada em MANAUS - ANA.

Evidencia-se que uma maior carga hidrológica contribui para melhorias na correlação, devido à amplitude do fenômeno ser maior.

Isso ocorre devido à estação NAUS se encontrar na zona de remanso, causada pelo encontro do Rio Negro com o Rio Solimões para a formação do Rio Amazonas, o que influencia diretamente na maior carga hidrológica local. Zeidemann (2001) afirma que as variações linimétricas no baixo Rio Negro não são ocasionadas só pela distribuição espacial e temporal das chuvas, mas também pela forte influência do Rio Solimões-Amazonas. Essa influência é tão forte que pode ser observada no Rio Negro até a sua confluência com o Rio Branco, a cerca de 300 quilômetros de distância.

A estação SAGA está localizada no alto Rio Negro, a noroeste de Manaus, a uma distância de aproximadamente 848,7 Km, não sofrendo influência significativa do Rio Amazonas. Bevis et al. (2005) constatou que os efeitos oriundos de carga hidrológica em Manaus constituem uma resposta elástica da crosta, e são mais significativos em um raio de até 200 quilômetros da estação. Costa et al. (2012) complementaram que tal resposta pode ser ainda observada em bacias vizinhas, a uma distância de 1000 quilômetros de Manaus, mas com menor amplitude.

Cabe ressaltar que alguns locais de menor carga hidrológica podem apresentar melhor correlação devido a melhor representação da carga hidrológica pela variação linimétrica, ou mesmo um menor impacto das outras correções que são aplicadas ao processamento GNSS, que permitem que os movimentos das estações GNSS sejam predominantemente representados por variações da carga hidrológica. Esse fato pode ser observado em Moreira (2010), quando mostrou que as maiores correlações entre as séries altimétricas e de nível de água foram verificadas entre as estações de Porto Velho, e não às de Manaus. Cabe frisar que a amplitude das variações de coordenada vertical encontradas em Manaus correspondem ao dobro das encontradas em Porto Velho.

Destaca-se também que, mesmo com uma distância considerável entre as estações da RBMC e a diferença entre a vazão nas estações linimétricas, as estações NAUS e SAGA apresentaram uma correlação direta de 77,9% entre suas altitudes geométricas, conforme mostrado na Tabela 4. Esse valor se justifica, pois, grande parte do volume que flui em São Gabriel também fluirá em Manaus. Dessa forma, pode ser observada também na Tabela 4 uma correlação de 80,5% entre as séries de cotas linimétricas.

4.2.2 Análises sobre as características das séries temporais

A partir dos gráficos apresentados na Figura 11 e 12 podem-se fazer suposições sobre o comportamento do conjunto de dados, onde se pressupõe que: as séries apresentam a presença de tendência; e, a série apresenta ciclos anuais, ou seja, sazonalidade. Estas análises são apenas um indicativo da existência de tais características e devem ser confirmadas a partir da aplicação de testes estatísticos de hipóteses em cada uma das séries.

No software R o teste de Cox-Stuart é aplicado através da função `cox.stuart.test()` disponível no pacote `randtests` (CAEIRO e MATEUS, 2014) para a análise de tendência; o teste de Kruskal-Wallis utiliza a função `kruskal.test()` disponível no pacote `stats` (R CORE TEAM AND CONTRIBUTORS WORLDWIDE, 2016) para análise de sazonalidade; e, o teste de Dickey-Fuller, aplicado através da função `adf.test()` disponível no pacote `tseries` (TRAPLETTI et al., 2016) para análise de estacionariedade.

Os testes estatísticos supracitados fornecem como resultado o parâmetro valor de prova (p-valor ou significância) e, nesse caso, a regra de decisão adotada está associada à rejeição da hipótese nula (H_0) de forma que: (i) se $p\text{-valor} \leq \alpha$, rejeita-se H_0 ; (ii) se $p\text{-valor} > \alpha$, não rejeita-se H_0 . As hipóteses consideradas nos testes estatísticos foram descritas nas seções 2.4.1 (para o teste bilateral de Cox-Stuart); 2.4.2 (para o teste de Kruskal-Wallis); e, 2.4.3 (para o teste de Dickey-Fuller). Como já mencionado na seção 3.2 o nível de significância utilizado para os testes foi $\alpha = 5\%$ (0,05).

4.2.2.1 Séries linimétricas da estação MANAUS-ANA

Após a aplicação do teste de Cox-Stuart foi apresentado um p-valor de $2,2e^{-16}$ menor que o nível de significância adotado, o que constata a presença de tendência na série. Já que p-valor é menor que o nível de significância adotado, efetuou-se a primeira diferença (conforme Equação 7, pag 32) com a finalidade de remover a tendência e, posteriormente, reaplicou-se o teste de Cox-Stuart para verificação de tendência na série uma vez diferenciada. Foi encontrado um p-valor de $2,2e^{-16}$, menor que o nível de significância adotado e, portanto, a série uma vez diferenciada também apresentou tendência. Neste caso aplicou-se a segunda diferença (conforme Equação 9, pag 33) à série de forma a eliminar a tendência, o que deve ser comprovado com o teste de Cox-Stuart. O p-valor encontrado foi de 0,4544, maior que o nível de significância adotado, ou seja, o teste não indica à presença de tendência na série depois de efetuada a segunda diferença.

Após a eliminação da tendência utilizou-se a série duas vezes diferenciada para analisar a presença de sazonalidade. A aplicação do teste de Kruskall-Wallis retornou o p-valor igual a 0,8434, maior que o nível de significância adotado, mostrando que a série não apresenta sazonalidade.

Com a série livre de tendência e sazonalidade, procedeu-se à verificação da estacionariedade através do teste de Dickey-Fuller, o qual se obteve o p-valor igual a 0,01, menor que o nível de significância adotado e assim sendo, rejeitou-se a hipótese nula de existência de raiz unitária. Desta forma, a série duas vezes diferenciada é estacionária.

4.2.2.2 Séries de altitudes geométricas da estação NAUS

A série quando submetida ao teste de Cox-Stuart apresentou um p-valor de $3,245e^{-08}$, menor que o nível de significância adotado, o que constata a presença de tendência na série. Em tal caso, efetuou-se a primeira diferença (conforme Equação 7, pag 32) com a finalidade de remover a tendência e, posteriormente, reaplicou-se o teste de Cox-Stuart para verificação de tendência na série uma vez diferenciada. Encontrou-se assim um p-valor igual a 0,7617, maior que o nível de significância adotado, o que mostra que a série uma vez diferenciada não apresenta tendência.

Com a série livre de tendência testa-se a sazonalidade com aplicação do teste de Kruskall-Wallis. Obteve-se um p-valor menor que $2,2e^{-16}$, menor que o nível de significância adotado, o que mostra que a série apresenta sazonalidade. A fim de eliminá-la, efetuou-se uma segunda diferença sazonal (conforme Equação 9, considerando lag igual a 365, pag 33) com uma posterior reaplicação do teste de Kruskall-Wallis. Foi obtido p-valor igual a 1, maior que o nível de significância adotado, o que mostra que a série, após uma diferença sazonal, não apresenta sazonalidade.

Deve-se, entretanto testar a presença da tendência após a retirada da sazonalidade. Neste caso, foi obtido um p-valor de $2,2e^{-16}$, menor que o nível de significância adotado, para o teste de Cox-Stuart, confirmando que existe tendência na série após uma diferença sazonal (série duas vezes diferenciada). Diante disso, efetuou-se uma terceira diferença (conforme Equação 10, considerando lag igual a 1, pag 33) na série sazonalmente diferenciada para eliminação da tendência. Obteve-se o p-valor igual a 1, maior que o nível de significância adotado, e assim o teste de Cox-Stuart não indica a presença de tendência na série após as duas diferenças (sazonal e simples). Com a

retirada da tendência da série duas vezes diferenciada, testou-se a existência de sazonalidade através da aplicação do teste de Kruskal-Wallis, onde se obteve um p-valor igual a 1, maior que o nível de significância adotado, mostrando que a série duas diferenças (sazonal e simples) não apresenta sazonalidade.

Após a eliminação da tendência e sazonalidade, procedeu-se à verificação da estacionariedade através do teste de Dickey-Fuller, ao qual se obteve o p-valor igual a 0,01, menor que o nível de significância adotado, e assim sendo, rejeitou-se a hipótese nula de existência de raiz unitária. Nesse caso, a série três vezes diferenciada é estacionária.

As características inerentes às séries temporais referentes às estações situadas em Manaus foram resumidas e apresentadas conforme a Tabela 5.

Tabela 5: Características apresentadas pelas séries temporais referentes às estações situadas em Manaus.

Série Temporal	Tendência	Sazonalidade
Cotas Linimétricas Manaus	Sim	Não
Altitudes Geométricas filtradas NAUS	Sim	Sim

Pode-se observar que as séries de dados fluviométricos e de altitudes geométricas para as estações apresentaram semelhança quando considerada a tendência, porém divergiu quanto à sazonalidade. A semelhança na ocorrência da tendência pode ser associada a forte correlação inversa apresentada por tais séries para o período considerado, justificada pelo maior reflexo do fenômeno de carga hidrológica na componente altimétrica em virtude da resposta elástica da Terra.

A divergência na ocorrência de sazonalidade está atrelada a alterações no comportamento anual das séries. A série de dados linimétricos responde diretamente às variações do ciclo hidrológico regional. Neste caso, como apresentado por CPRM (2012) o tempo médio de subida das águas em Manaus dura cerca de sete a oito meses, com alterações nas épocas de início e final variando ano a ano, justificando assim a não sazonalidade da série. Assim sendo, deve-se atentar para as mudanças na época de ocorrência dos picos das cheias e sua magnitude bem como das divergências apresentadas nos períodos de seca (cotas mínimas) durante os anos considerados, apresentados na Figura 11.

Para as séries temporais de altitudes geométricas pode-se observar que a existência de sazonalidade é justificada pela semelhança no comportamento anual da série, ou seja, a repetição muito aproximada da série durante os anos.

4.2.2.3 Séries linimétricas da estação SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA-ANA

O teste de Cox-Stuart apresentou um p-valor igual a 0,6225, maior que o nível de significância adotado, e assim o mesmo não indica a presença de tendência na série.

Como a série não apresentou tendência procedeu-se à verificação da sazonalidade, onde se obteve o p-valor de $2,2e^{-16}$, menor que o nível de significância adotado para o teste de Kruskal-Wallis, indicando assim a presença de sazonalidade. Com a finalidade de eliminar a sazonalidade, efetuou-se a primeira diferença sazonal (conforme Equação 7, considerando lag igual a 365, pag 32) com uma posterior reaplicação do teste de Kruskal-Wallis. Obteve-se um p-valor igual a 1, maior que o nível de significância adotado, o que mostra que a série após uma diferença sazonal não apresenta sazonalidade.

Após a retirada da sazonalidade testou-se a série uma vez diferenciada sazonalmente para a presença da tendência. Neste caso, obteve-se um p-valor igual a $3,216e^{-10}$, menor que o nível de significância adotado e assim, o teste de Cox-Stuart indica a presença de tendência. Para a eliminação da tendência, aplicou-se a segunda diferença (conforme Equação 9, considerando lag igual a 1, pag 33) com posterior reaplicação do teste de Cox-Stuart à série. Encontrou-se o p-valor de 0,6318, maior que o nível de significância adotado, e assim o teste não indica a presença de tendência na série após as diferenças (sazonal e simples). Com a série livre de tendência, testa-se novamente a sazonalidade com a reaplicação do teste de Kruskal-Wallis. Encontrou-se um p-valor igual a 1, maior que o nível de significância adotado, mostrando que a série de dados linimétricos da estação SÃO GABRIEL DA CACHOEIRA-ANA após duas diferenças (sazonal e simples) não apresenta sazonalidade.

Como a série duas vezes diferenciada (sazonal e simples) não apresenta tendência e sazonalidade testa-se a estacionariedade. O p-valor retornado após aplicação do teste de Dickey-Fuller foi de 0,01, menor que o nível de significância adotado, e indica que a série é estacionária.

4.2.2.4 Séries de altitudes geométricas da estação SAGA

Quando testada para a tendência a série de altitudes geométricas da estação SAGA apresentou o p-valor de $2,2e^{-16}$, menor que o nível de significância adotado para o teste de Cox-Stuart, indicando a existência de tendência. Com o intuito de eliminá-la efetuou-se a primeira diferença (conforme Equação 7, considerando lag igual a 1, pag 32) e posteriormente reaplicou-se o teste para verificação de tendência. O p-valor encontrado foi 0,2749, maior que o nível de significância adotado, e assim o teste não indica a presença de tendência na série após uma diferença.

Com a série livre de tendência procede-se ao teste para a verificação de sazonalidade. O p-valor apresentado foi de 0,2696, maior que o nível de significância adotado para o teste de Kruskal-Wallis, o que mostra que a série uma vez diferenciada não apresenta sazonalidade.

Como a série uma vez diferenciada está livre da tendência e sazonalidade procede-se ao teste da estacionariedade. Neste caso o p-valor encontrado foi de 0,01, menor que o nível de significância adotado para o teste de Dickey-Fuller indicando assim que a série é estacionária.

As características apresentadas pelas séries temporais das estações localizadas em São Gabriel da Cachoeira estão contidas na Tabela 6.

Tabela 6: Características apresentadas pelas séries temporais referentes às estações situadas em São Gabriel da Cachoeira.

Série Temporal	Tendência	Sazonalidade
Cotas Linimétricas São Gabriel	Não	Sim
Altitudes Geométricas filtradas SAGA	Sim	Não

As duas séries analisadas foram divergentes quanto à ocorrência de tendência e sazonalidade, o que pode estar relacionado à menor correlação apresentada. Observando a série de dados linimétricos percebe-se que esta não apresenta um comportamento tendencioso, ou seja, aumento ou uma diminuição gradual das observações ao longo do período considerado, refletindo assim a estabilidade do valor médio da série. Isso se justifica pela variação do ciclo hidrológico não ser bem definido como em Manaus, apresentando períodos chuvosos durante todo o ano. Além disso, sua amplitude é bastante inferior quando comparada às de Manaus.

No entanto, quando considerado o desenvolvimento anual desta mesma série constata-se uma pequena mudança no comportamento entre os anos considerados, o que justifica a existência da sazonalidade.

Ao considerar a série de altitudes geométricas constatou-se que esta apresenta tendência. Porém, ao se considerar o desenvolvimento da série em períodos anuais observou-se uma irregularidade, o que justifica a não existência da sazonalidade.

Todas as 4 (quatro) séries foram transformadas de forma a dar subsídios a aplicação de outros procedimentos estatísticos que exijam a estacionariedade das séries, possibilitando assim o desenvolvimento de novos estudos cujo foco seja, por exemplo, aplicações de outros tipos de análises (sobre as funções de autocorrelação, potência espectral etc.) e modelagens (autoregressivas - AR, de médias móveis - MA ou autoregressivas, integradas e de médias móveis - ARIMA etc.). A confirmação da estacionariedade foi efetuada com a aplicação do teste de Dickey-Fuller. A partir das séries estacionárias, é possível a aplicação de modelos para, por exemplo, a predição de valores futuros das séries. Outro fator importante é a possibilidade de análise sobre ruídos com as séries estacionárias.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foram demonstradas neste trabalho as potencialidades do programa computacional RINEX EDITION para geração de séries temporais posicionais (coordenadas cartesianas X, Y, Z; elipsoidais ϕ , λ , h e as precisões de ambas) de forma eficiente e eficaz. Com a utilização deste programa, geram-se inúmeras possibilidades de investigação sobre diversos fatores que afetam o PPP, considerando suas variações temporais. De acordo com os resultados obtidos foi possível verificar o efeito da carga hidrológica na variação da altitude geométrica de duas estações localizadas na bacia Amazônica. Salienta-se que este efeito não é considerado no PPP. Além disso, outros estudos podem ser efetuados, tais como: a análise da influência do ciclo solar, da ionosfera, troposfera, geodinâmicos, atmosféricos, carga hidrológica, etc.

As possibilidades de pesquisas que utilizam as séries temporais de informações posicionais são assim ampliadas, com séries construídas de forma rápida, considerando a possibilidade de edição ou não dos dados, e processamento automático utilizando o serviço IBGE-PPP. Por fim, a extração das informações assegura a extinção de erros associados a essa etapa, dispondo as informações posicionais de forma automática e organizada.

Observando as séries das variações das componentes cartesianas, verificou-se certa semelhança em seus comportamentos para ambas as estações, salvo para a componente Z da estação NAUS, que mostrou um deslocamento entre o ano de 2013 e 2014, o que não foi observado nas séries das demais componentes. Entretanto, não foi possível detectar a causa de tal deslocamento. Dessa forma, percebeu-se que uma análise sobre as variações das coordenadas cartesianas é extremamente útil, não somente para uma avaliação do comportamento das séries, mas também para a detecção de descontinuidades, o que mostrou o RINEX EDITION como uma ferramenta excelente para auxiliar nesse propósito. Análises de caráter multidisciplinar (geofísica, geologia etc.) devem ser efetuadas com intuito de identificar as possíveis causas das descontinuidades.

Foi possível inferir que a ferramenta apresentada (RINEX EDITION) permite a geração de séries temporais posicionais para posterior análise, o que permitiu concluir, por exemplo, que a estação de Manaus sofre com maiores deformações em suas coordenadas verticais que a estação de São Gabriel da Cachoeira. Desta forma, destaca-se a potencialidade das aplicações de PPP online, em particular o serviço IBGE-PPP, para investigações acerca das deformações crustais como a aqui apresentada.

As séries de cotas linimétricas e altitudes geométricas das estações localizadas em Manaus apresentaram uma alta correlação inversa, o que pode ter contribuído significativamente para a ocorrência de tendência em ambas às séries. Nesse caso, percebeu-se que a amplitude das séries de cotas linimétricas bem como a boa definição do ciclo hidrológico influencia as séries de altitude geométrica de forma proporcionalmente inversa, o que possibilita a reciprocidade na tendência entre as séries.

Adicionalmente, constatou-se uma maior amplitude na série de altitude geométrica (11,2 centímetros), superando a encontrada por Moreira (2010) (10 centímetros), o que pode ser justificado por: utilizar uma série temporal mais extensa; e, conter entre o período considerado o ano de 2012 cujo valor máximo da cota linimétrica (pico da cheia) foi maior que o ocorrido no ano de 2009 (considerado o maior até então) causando assim maior influência de carga hidrológica na altitude geométrica.

A série de cotas linimétricas de Manaus não apresentou sazonalidade, o que pode ser justificado pela variação anual no tempo de subida do nível de água bem como pela variação no período de início e final alterados por irregularidades no ciclo hidrológico de um ano para outro, transfigurando a distribuição da série entre anos refletindo a ausência de sazonalidade. No entanto, a série de altitudes geométricas

apresentou sazonalidade, justificada pela boa correlação apresentada pela série quando analisada ano a ano durante o período total.

Considerando as séries de cotas linimétricas e altitudes geométricas das estações localizadas em São Gabriel da Cachoeira observou-se que estas não apresentaram similaridade na ocorrência das características. A série de cotas linimétricas não apresentou tendência, fato justificável pela distribuição regular no ciclo hidrológico em torno da média no decorrer dos anos, refletindo a estabilidade do valor médio da série. O mesmo não foi apresentado pela série de altitudes geométricas, ou seja, esta série apresentou tendência. Tal fato pode ser associado a fatores não abordados como a acumulação de águas subterrâneas e umidade do solo.

As séries também se mostraram divergentes quanto à ocorrência da sazonalidade. A série de cotas linimétricas apresentou sazonalidade, o que se justifica pela boa distribuição da série quando considerado o período anual, ou seja, apresentou uma boa correlação entre as observações quando comparadas ano a ano. Paradoxalmente, a série de altitudes geométricas não apresentou sazonalidade. Como pode ser observada, a série não apresenta uma repetitividade nos padrões de comportamento quando considerados períodos anuais.

Cabe observar que mesmo com as divergências apresentadas pelas características das séries, a influência da carga hidrológica na altitude geométrica pode ser observada (aproximadamente 5 centímetros), o que é justificado pela ocorrência dos valores máximos das cotas linimétricas em proximidade com os valores mínimos apresentados pelas altitudes geométricas. Neste caso, os picos das cheias não coincidem com os mínimos da altitude geométrica, o que pode ser causado devido ao tempo de resposta da crosta à acumulação da água, inserindo uma diferença de fase entre estes pontos. Tal fato leva a manifestar maiores preocupações para correções destas deformações nessa região, de forma a garantir a qualidade dos levantamentos geodésicos.

Diante das análises apresentadas, propõe-se, como recomendação para trabalhos futuros, averiguar as causas da descontinuidade apresentada na série temporal da componente Z referente à estação NAUS. Além disso, SIRGAS (2016a) recomenda que as velocidades das estações de referência devam ser obtidas, preferencialmente, a partir da análise de séries temporais de posições obtidas por GNSS, que cubram um intervalo de tempo mínimo de dois anos. Análises sobre as componentes cartesianas do SGL (Sistema Geodésico Local) devem também ser efetuadas de forma a avaliar as

implicações das descontinuidades (como a apresentada pela estação NAUS, Figura 10, pag 44) na componente norte, este e vertical.

A partir de tal afirmação, recomenda-se aos usuários que buscarem realizar levantamentos geodésicos de precisão utilizando o PPP, que construam séries temporais posicionais para estações permanentes próximas a área de interesse, de forma a avaliar se movimentos da crosta terrestre, não modelados ou erroneamente modelados, prejudicam a acurácia do levantamento realizado. O simples movimento da crosta pode ocasionar que um mesmo levantamento, dependendo da época de realização, possa apresentar diferença considerável em suas coordenadas. Nesse contexto, o desenvolvimento de um modelo para a correção de tais erros para a área de estudo seria de grande interesse.

Recomenda-se também que seja efetuada a análise das séries temporais no domínio da frequência (ou análise espectral) utilizando, por exemplo, a análise de Fourier de forma a se obter informações complementares àquelas propiciadas pelas análises aqui apresentadas (análise no domínio do tempo), informações estas que, em sua maioria, proporcionarão a investigação da ocorrência de ciclos nas séries, analisando conjuntamente a fase e amplitude. Análises multidisciplinares, envolvendo a Geologia e Geofísica também devem ser efetuadas, de forma a aprofundar as investigações sobre os fenômenos de carga hidrológica no posicionamento GNSS.

Testes estatísticos devem ser aplicados às séries temporais para verificar se os dados seguem a distribuição de probabilidade utilizada nos testes aplicados neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFIFI, A.; EL-RABBANY, A. Precise point positioning using triple GNSS constellations in various modes. **Sensors**, Sitzerland, BL, v. 16, n. 6, p. 779-793, 28 may 2016. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27240376>. Acesso em: 27 de out. 2016.

AFIFI, A.; EL-RABBANY, A. Single frequency precise point positioning using GPS and galileo observables. In: XXV FIG CONGRESS 2014, Kuala Lumpur. **Anais eletrônicos...** Kuala Lumpur: FIG, 2014. p. 2-10. Disponível em: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2014/papers/ts03b/TS03_B_afifi_el-rabbany_7286.pdf. Acesso em: 27 de out. 2016.

ALMEIDA, M. S. **Análise comparativa da qualidade posicional dos métodos de posicionamento por ponto preciso e do posicionamento relativo estático com GNSS**. 2015. 127 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Viçosa, MG, 2015.

ALMEIDA, M. S.; OLIVEIRA, G. D.; DAL POZ, W. R. Comparação de coordenadas de estações da RBMC transformadas e atualizadas para ITRF2014. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 2016, Recife - PE, Brasil. **Anais eletrônicos...** Recife: UFPE, 2016. Disponível em: https://www.ufpe.br/visimgео/includes/Anais_final_10_09_16/artigos/Todos_Artigos/039_3.pdf. Acesso em: 22 de nov. de 2016.

ALTAMIMI, Z.; COLLILIEUX, X.; MÉTIVIER, L. ITRF2008: an improved solution of the international terrestrial reference frame. **Journal of Geodesy**, Berlin, DD, v. 85, n. 8, p. 457-473. 3 feb. 2011. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00190-011-0444-4>. Acesso em: 27 de out. 2016.

ALTAMIMI, Z.; REBISCHUNG, P.; MÉTIVIER, L.; COLLILIEUX, X. ITRF2014: A new release of the international terrestrial reference frame modeling nonlinear station motions. **J. Geophys. Res. Solid Earth**, Hoboken, NJ, v. 121, n. 8, p. 6109-6131. 4 aug. 2016. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2016JB013098/full>. Acesso em: 27 de out. 2016.

AMIRI-SIMKOOEI, A. R.; TIBERIUS, C. C. J. M.; TEUNISSEN, P. J. G. Assessment of noise in GPS coordinate time series: methodology and results. **J. Geophys. Res. Solid Earth**, Hoboken, NJ, v. 112, n. B07413, p. 19. 31 jul. 2007. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2006JB004913/abstract>. Acesso em: 28 de out. 2016.

ANA. Agência Nacional de Águas. HidroWeb. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

ANQUELA JULIÁN, A. B.; MARTÍN FURONES, Á. E.; BERNÉ VALERO, J. L.; PADIN DEVEESA, J. GPS and GLONASS static and kinematic PPP results. **Journal of Surveying Engineering**. Reston, WV, v. 139, n. 1, p. 47-58. 1 feb. 2013. Disponível

em: [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)SU.1943-5428.0000091](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000091). Acesso em: 28 de out. 2016.

APPS (2016). The Automatic Precise Positioning Service of the Global Differential GPS System. Disponível em: http://apps.gdgps.net/apps_howtouse.php. Acesso em: 04 de nov. 2016.

AZAMBUJA, J. L. F. **Potencialidades de serviços on-line de posicionamento por ponto preciso em aplicações geodésicas: uma análise envolvendo longo período de dados das estações da RBMC.** 2015. 102 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Porto Alegre, RS, 2015.

BANVILLE, S. **Improved convergence for GNSS precise point positioning.** 2014. 269 p. Ph.D dissertation (Geodesy and Geomatics Engineering) - University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canadá, 2014.

BAUER, L. **Estimação do Coeficiente de Correlação de Spearman Ponderado.** 2007. 95 p. Dissertação (Mestrado em Epidemiologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

BEIDOU. China's Global Navigation Satellite System. Disponível em: <http://en.beidou.gov.cn/introduction.html>. Acesso em: 14 de set. 2016.

BEVIS, M.; ALSDORF, D.; KENDRICK, E.; FORTES, L. P.; FORSBERG, B.; SMALLEY JUNIOR, R.; BECKER, J. Seasonal fluctuations in the mass of the Amazon River system and Earth's elastic response. **Geophys. Res. Lett.**, Berlin, DD, v. 32, n. 16, p. 4. aug. 2005. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005GL023491/abstract>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

BOEHM, J.; NIELL, A.; TREGONING, P.; SCHUH, H. Global mapping function (GMF): a new empirical mapping function based on numerical weather model data. **Geophysical Research Letters**, Berlin, DD, v. 33, n. 7, p. 4. 4 abr. 2016. Disponível: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005GL025546/abstract>. Acesso em: 28 de out. 2016.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M.; REINSEL, G. C. **Time Series Analysis: Forecasting and Control.** 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons. 2008, 768 p.

BRUYNINX, C.; ALTAMIMI, Z.; CAPORALI, A.; KENYERES, A.; LIDBERG, M.; STANGL, G.; TORRES, J. A. Guidelines for EUREF Densifications. IAG sub-commission for the European Reference Frame – EUREF, p. 1-9. Disponível em: ftp://epncb.oma.be/pub/station/Guidelines_for_EUREF_Densifications.pdf. Acesso em: 04 de nov. 2016.

CAEIRO, F.; MATEUS, A. Package 'randtests': Testing randomness in R. Version 1.0. 2014. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/randtests/randtests.pdf>. Acesso em: 29 de out. 2016.

CAI, C.; GAO, Y. Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations. **Journal of Global Positioning System**, v. 6, p. 13-22, 2007. Disponível

em: http://file.scirp.org/pdf/nav20070100002_92862434.pdf. Acesso em 04 de nov. 2016.

CARVALHO, A. S.; DAL POZ, W. R.; GRIPP JUNIOR, J.; LAROCCA, A. P. C.; KRUEGER, C. P. Systematization of the steps to Positional Determination in SIRGAS2000 based on ITRF(IGb08) Coordinates obtained by Online PPP Services. **Revista Brasileira de Cartografia**, Gramado, RS, v. 67, n. 1, p. 43-58, jan/fev. 2015a. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php?journal=rbc&page=article&op=view&path%5B%5D=803>. Acesso em: 03 de nov. 2016.

CARVALHO, A. S.; DAL POZ, W. R.; LAROCCA, A. P. C. Compatibilização de referenciais de coordenadas e velocidades com estimativa de precisão. BCG - Boletim de Ciências Geodésicas. Curitiba, PR, v. 21, n. 3, p. 20, 2015b. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702015000300033>. Acesso em: 07 de nov. 2016.

CHAMOLI, A.; LOWRY, A. R.; JEPPSON, T. N. Implications of transiente deformation in the northern Basin and Range, western United States. **J. Geophys. Res. Solid. Earth**, Hoboken, NJ, v. 119, n. 5 p. 4393–4413. 5 may. 2014. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013JB010605/abstract>. Acesso em: 28 de out. 2016.

CHEN, K.; GAO, Y. Real-time precise point positioning using single frequency data. In: PROCEEDINGS OF THE 18TH INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS 2005), Long Beach, **Anais eletrônicos...** Manassas: ION Publications, 2005, p. 1514-1523. Disponível em: <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=6350>. Acesso em: 28 de out. 2016.

CHEN, W.; GAN, W.; XIAO, G.; WANG, Y.; LIAN, W.; LIANG, S.; ZHANG, K. Characteristics of regional crustal deformation before 2016 Menyuan Ms6.4 earthquake. **Geodesy and Geodynamics**, Pequim, CHN, v. 7, n. 4, p. 275-283. 4 jul. 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674984716300635>. Acesso em: 28 de out. 2016.

CHOY, S. L.; BISNATH, S.; RIZOS, C. Uncovering common misconceptions in GNSS precise point positioning and its future prospect. **GPS Solutions**. Heidelberg, BE, p. 1-10, 21 may. 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10291-016-0545-x>. Acesso em: 28 de out. 2016.

CHOY, S. L. **Accuracy of single frequency Precise Point Positioning (PPP)**. 2009. 267 p. Thesis (Doctor of Philosophy) - School of Mathematical and Geospatial Sciences. College of Science, Engineering and Health. Melbourne, AUS, 2009.

COSTA, S. M. A.; DA SILVA, A. L.; JÚNIOR, N. J. M.; DE ALMEIDA LIMA, M. A. O sucesso de três anos do serviço IBGE-PPP. **UD y la Geomática**, Bogotá, COL, v. 6, n. 1, p. 79-88, diciembre 2012. Disponível em: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/UDGeo/article/view/4413>. Acesso em: 28 de out. 2016.

COSTA, S. M. A.; SILVA, A. L.; LIMA, M. A.; JÚNIOR, N. J. M.; QUIRINO, R. A.; ALONSO, P. R. Serviço online IBGE-PPP: avaliação dos 4 anos de serviço e

perspectivas futuras. In: VIII COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS. 2013. **Anais eletrônicos...** Curitiba: UFPR, 2013. Disponível em: http://www.cbcbg.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2013/11/G058_CBCG13.pdf. Acesso em: 20 de out. 2016.

COSTA, S. M. A; MATOS, A. C. O. C; BLITZKOW, D. Validation of the land water storage from gravity recovery and climate experiment (GRACE) with gauge data in the amazon basin. **Bol. Ciênc. Geod.**, Curitiba, PR, v. 18, n. 2, p. 262-281, abr-jun, 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-21702012000200006 Acesso em: 29 de out. 2016.

COX, R.; STUART, A. Some Quick Sign Tests for Trend in Location and Dispersion. **Biometrika**, Oxford, RU, v. 42, n. ½, p. 80-95, jun. 1955. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2333424>. Acesso em: 31 de out. 2016.

CPRM (2012). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Relatório da cheia em Manaus 2012. Superintendência Regional de Manaus / SUREG-MA. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/rehi/manaus/pdf/rel_final_2012.pdf. Acesso em: 04 de nov. 2016.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. **Journal of the American Statistical Association**, Boston, MA, v. 74, n. 366, p. 427-431, jun. 1979. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2286348>. Acesso em: 29 de out. 2016.

DICKEY, D. A.; FULLER, W. A. Likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. **Econometrika**, Hoboken, NJ, v. 49, n. 4, p. 1057-1072, jul. 1981. Disponível em: <http://www.u.arizona.edu/~rlo/readings/278800.pdf>. Acesso em: 29 de out. 2016.

DILL, R.; DOBSLAW, H. Numerical simulations of global-scale high-resolution hydrological crustal deformations. **Journal of Geophysical Research Solid Earth**, Hoboken, NJ, v. 118, n. 9, p. 5008-5017, sep. 2013. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jgrb.50353/pdf>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

DOLL P; FRITSCH, M; EICKER, A; SCHMIED, H. M. Seasonal water storage variations as impacted by water abstractions: comparing the output of a global hydrological model with GRACE and GPS observations. **Surveys in Geophysics**, Berlin, DD, v. 35, n. 6, p. 1311-1331, nov. 2014. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10712-014-9282-2>. Acesso em: 29 de out. 2016.

DOW, J.M.; NEILAN, R. E.; RIZOS, C. The International GNSS service in a changing landscape of Global Navigation Satellite Systems. **Journal of Geodesy**, Berlin, DD, v. 83, n. 3, p. 191-198, mar. 2009. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00190-008-0300-3>. Acesso em: 29 de out. 2016.

DREWES, H.; HEIDBACH, O. The 2009 horizontal velocity field for South America and the Caribbean. **Geodesy for Planet Earth**, Heidelberg, BL, v. 136, p. 657-664, jul. 2012. Disponível em: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-20338-1_81#page-1. Acesso em: 03 de nov. 2016.

EHLERS, R. S. **Análise de Séries Temporais**. Departamento de Estatística, Curitiba: UFPR. Disponível em: <http://www.each.usp.br/rvicente/AnaliseDeSeriesTemporais.pdf>. Acesso em: 15 de set.2016.

ELSOBEIEY, M.; EL-DIASTY, M. Impact of tropospheric delay gradients on total tropospheric delay and precise point positioning. **International Journal of Geosciences**, Wuhan, CHN, v. 7, p. 645-654, mai. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/ijg.2016.75050>. Acesso em: 29 de out. 2016.

ELSOBEIEY, M.; EL-RABBANY, A. Convergence time improvement of precise point positioning. In: XXV FIG WORKING WEEK, 2011. **Anais eletrônicos...** Marrakech: FIG, 2011, p. 18-22. Disponível em: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2011/papers/ts04j/ts04j_elsobeiey_elrabbany_5249.pdf. Acesso em: 02 de nov. 2016.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; ROCHA, E. C.; SILVA JR, J.; PARANHOS, R. A.; NEVES, J. A. B.; SILVA, M. B. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno. **Leviathan: Cadernos de Pesquisa Política**. São Paulo, SP, n. 8, p. 66-95, 2014. Disponível em: <http://www.fflch.usp.br/dcp/leviathan/index.php/leviathan/article/view/191>. Acesso em: 05 de dez. de 2016.

FREITAS, E. Bacia Amazônica. Disponível em: <http://brasilescola.uol.com.br/brasil/bacia-amazonica.htm>. Acesso em: 17 de dezembro de 2016.

FRITSCH, M.; DÖLL, P.; DIETRICH, R. Global-scale validation of model-based load deformation of the Earth's crust from continental watermass and atmospheric pressure variations using GPS. **Journal of Geodynamics**. Elsevier, v. 59, n. 60, p. 133-142, 2012. Disponível em: <http://10.1016/j.jog.2011.04.001>. Acesso em: 03 de nov. 2016.

FU, Y.; ARGUS, D. F.; FREYMUELLER, J. T.; HEFLIN, M. B. Horizontal motion in elastic response to seasonal loading of rain water in the Amazon Basin and monsoon water in Southeast Asia observed by GPS and inferred from GRACE. **Geophysical Research Letters**, Berlin, DD, v. 40, n. 23, p. 6048–6053, dec. 2013. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013GL058093/abstract>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

FU, Y.; ARGUS, D. F.; LANDERER, F. W.; WIESE, D. N.; WATKINS, M. M. Terrestrial water storage variations in the western United States estimated from GPS loading deformation. **Gewex News**. Pasadena, CA, v. 25, n. 2, p. 5-7, may. 2015. Disponível em: http://www.gewex.org/gewex-content/files_mf/1432239905May2015.pdf. Acesso em: 02 de nov. 2016.

FU, Y.; FREYMUELLER, J. T.; VAN DAM, T. The effect of using inconsistent ocean tidal loading models on GPS coordinate solutions. **Journal of Geodesy**, Berlin, DD, v. 86, n. 6, p. 409–421, jun. 2012. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00190-011-0528-1>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

FULLER, W. A. **Introduction to the statistical time series**. New Jersey: Wiley, 1976.

GALILEU. Europe's Global Satellite Navigation System. Disponível em: <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>. Acesso em: 14 de set. 2016.

GAO, Y. Precise point positioning and its challenges, aided-GNSS and signal tracking. **Inside GNSS**. Eugene, OR, v. 1, n. 8, p. 17-21, nov./dec. 2006. Disponível em: www.insidegnss.com. Acesso em: 29 de out. 2016.

GAPS. GPS Analysis and Positioning Software. Disponível em: <http://gaps.gge.unb.ca/bestpractices.html>. Acesso em: 06 de set. 2016.

GGFC (2016). S1 and S2 Atmospheric Tide Loading Calculator - Based on the Proposed IERS Conventions. Disponível em: <http://geophy.uni.lu/ggfc-atmosphere/tide-loading-calculator.html>. Acesso em: 18 de out. 2016.

GHODDOUSI-FARD, R.; DARE, P. Online GPS processing services: an initial study. **GPS Solutions**. Heidelberg, BE, v. 10, n. 1, p. 12-20, feb. 2006. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10291-005-0147-5>. Acesso em: 18 de out. 2016.

GIPSY (2016). GIPSY: GNSS - Inferred Positioning System and Orbit Analysis Simulation Software. Disponível em: <https://gipsy-oasis.jpl.nasa.gov/index.php?page=home>. Acesso em: 11 de out. 2016.

GLONASS (2016). Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya System. Disponível em: <https://www.glonass-iac.ru/>. Acesso em: 14 de set. 2016.

GMV (2016). magicPPP. Precise Point Positioning Solution. Disponível em: <http://www.gmv.com/en/Products/magicPPP/>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

GOMES, R. L.; MARCATO JUNIOR, J.; PROL, F. S.; PARANHOS FILHO, A. C. A reformulação do serviço de pós-processamento on-line de dados GNSS IBGE-PPP: estudo de caso no estado de Mato Grosso do Sul. In: 5º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2014, Campo Grande. **Anais Eletrônicos...** Pantanal: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 385-388. Disponível em: <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p61.pdf>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

GPS (2016a). Global Positioning System. Disponível em: <http://www.gps.gov/>. Acesso em: 14 de set. 2016.

GPS (2016b). Current and Future Satellite Generations. Disponível em: <http://www.gps.gov/systems/gps/space/>. Acesso em: 14 de set. 2016.

GRANGER, C.W.J.; NEWBOLD, J. Forecasting transformed series. **Journal of the Royal Statistical Society**, Hoboken, NJ, v. 38, n. 2, p. 189-203, 1976. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2985025>. Acesso em: 29 de out. 2016.

GRINTER, T.; JANSSEN, V. Post-Processed Precise Point Positioning: A Viable Alternative? In: PROCEEDINGS OF THE 17TH ASSOCIATION OF PUBLIC AUTHORITY SURVEYORS CONFERENCE (APAS2012). Wollongong. **Anais Eletrônicos...** Sydney: University of New South Wales, p. 83-91, March 2012. Disponível em:

http://media.wix.com/ugd/5e42df_61b10c8f39df4e38b2892b066617eb12.pdf. Acesso em: 02 de nov. 2016.

GRINTER, T.; ROBERTS, C. Precise Point Positioning: Where are we now? In: INTERNATIONAL GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS SOCIETY IGNSS SYMPOSIUM. 2011. **Anais Eletrônicos...** Eugene: IG Inside GNSS. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.441.5296&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

GRINTER, T.; ROBERTS, C. Real Time Precise Point Positioning: Are We There Yet?. In: INTERNATIONAL GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS SOCIETY IGNSS SYMPOSIUM 2013. Outrigger Gold Coast, Qld. **Anais Eletrônicos...** Eugene: IG Inside GNSS, 2013. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.367.1135&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

GRUSZCZYNSKA, M.; KLOS, A.; GRUSZCZYNSKI, M.; BOGUSZ, J. Investigation of time-changeable seasonal components in the GPS height time series: A case study for Central Europe. **Acta Geodyn. Geomater.** Acta Montanistica, SVK, v. 13, n. 3, p. 281–289, apr. 2016. Disponível em: https://www.irsm.cas.cz/materialy/acta_content/2016_doi/Gruszczynska_AGG_2016_0_010.pdf. Acesso em: 04 de nov. 2016.

GT2 (2003) Grupo de Trabalho 2 – Definição e Materialização do Sistema de Referência. **Resolução de São Paulo**. 2003. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/DOCUMENTA_RESOLUCA_OSP_D.pdf. Acesso em: 21 de out. 2015.

GUO, Q. Precision comparison and analysis of four online free PPP services. **GPS Solutions**. Heidelberg, BE, v. 19, n. 4, p. 537–544, 11 de out. 2014. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10291-014-0413-5>. Acesso em 31 de out. 2016.

HÉROUX, P.; CAISSY, M.; GALLACE, J. Canadian active control system data acquisition and validation. In: INTERNATIONAL GPS SERVICE FOR GEODYNAMICS (IGS) WORKSHOP, 1993. **Anais Eletrônicos...** Berne: Astronomical Institut e University of Berne, p. 48-58. Disponível em: <https://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/resource/pubs/ws93a.pdf>. Acesso em: 02 de nov. 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**. Amsterdã, Países Baixos, v. 26, n. 6-8, p. 573-578, dec. 2001. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S146418950100103X>. Acesso em: 29 de out. 2016.

HÉROUX, P.; KOUBA, J.; COLLINS, P.; LAHAYE, F. GPS Carrier-phase point positioning with precise orbit products. In: PROCEEDINGS OF THE KIS. 2001. **Anais Eletrônicos...** Canada: Geodetic Survey Division, p. 5-8. Disponível em: <http://plan.geomatics.ucalgary.ca/papers/PDF/0808.PDF>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GPS Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, GALILEO & more**. Austria: Springer Wien New York, 2008.

HYNDMAN, R. J. Package 'forecast': Forecasting Functions for Time Series and Linear Models. Version 7.3. 2016. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/forecast/forecast.pdf>. Acesso em: 29 de out. de 2016.

IBGE (2016a). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Posicionamento por Ponto Preciso (PPP). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/default.shtm>. Acesso em: 03 de nov. 2016.

IBGE (2016b). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>. Acesso em: 03 de nov. 2016.

IBGE (2016c). Geociências. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/mapa_site/mapa_site.php#geociencias. Acesso em: 16 de out. 2016.

IBGE (2016d). Projeto SIRGAS. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/sirgas/antecedentes.htm>. Acesso em: 16 de out. 2016.

IBGE (2016e). Nota Técnica. Término do Período de Transição para Adoção no Brasil do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), em sua Realização DE 2000,4 (SIRGAS2000). Disponível em: ftp://geofftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/nota_tecnica_termo_periodo_transicao_sirgas2000.pdf. Acesso em: 04 de nov. 2016.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual do Usuário. Diretoria de Geociências. Aplicativo Online IBGE-PPP. Coordenação de Geodésia, p. 33, dezembro 2013. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf. Acesso em: 03 de nov. 2016.

IGS (2016). IGS Network. Disponível em: <http://www.igs.org/network>. Acesso em: 18 de out. 2016.

IGS antenna (2016). IGS Antenna Working Group. p. 4, may. 2016. Disponível em: ftp://igscb.jpl.nasa.gov/pub/station/general/antenna_README.pdf. Acesso em: 04 de nov. 2016.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Manual Técnico de Posicionamento: Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 1ª. ed. Brasília, 2013, p. 37. Disponível em: https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/manual_tecnico_posicionamento_1ed.pdf. Acesso em: 03 de nov. 2016.

JEREZ, G. O.; ALVES, D. B. M.; SOUZA, J. S.; SETTI JUNIOR, P. T. Análise do processamento combinado GPS/GLONASS no posicionamento por ponto e relativo

com diferentes intervalos de tempo. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. 2014. **Anais Eletrônicos...** Gramado: CBC, 2014. Disponível em: http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/2/288/CT02-9_1403882339.pdf. Acesso em: 02 de nov. 2016.

KATSOUGIANNOPOULOS, S.; PIKRIDAS, C.; ROSSIKOPOULOS, D.; IFADIS, I.M.; FOTIOU, A. Tropospheric refraction estimation using various models, radiosonde measurements and permanent GPS data. Shaping the Change. In: XXIII FIG CONGRESS. 2006. **Anais Eletrônicos...** Munich: FIG, p. 15. Disponível em: http://fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2006/papers/ps05_04/ps05_04_09_katsougiannopoulos_0725.pdf. Acesso em: 27 de out. 2016.

KENDALL, M.; STUART, A. **The Advanced Theory of Statistics: Design and Analysis, and Time-Series.** Charles Griffin. 4. ed. v. 3, p. 780, 1983.

KOUBA, J. **A guide to using international GPS service (IGS) products.** Canadá, sep. 2015. Disponível em: <http://kb.igs.org/hc/en-us/articles/201271873-A-Guide-to-Using-the-IGS-Products>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

KOUBA, J.; HÉROUX, P. **GPS precise point positioning using IGS orbit products.** Canadá, sep. 2000. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.200.6994&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

KRUSKAL, W. H; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, Boston, MA, v. 47, n. 260, p. 583-621, dec. 1952. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2280779>. Acessado em: 16 de outubro de 2016.

LAURICHESSE, D. Fast PPP convergence using multi-constellations and triple-frequency ambiguity resolution. In: ION GNSS + 2016. Toulouse. **Anais Eletrônicos...** Toulouse: Centre National d'Etudes Spatiales, sept. 2016. Disponível em: <http://www.igs.org/assets/pdf/W2016%20-%20PS0701%20-%20Laurichesse.pdf>. Acesso em: 31 de out. 2016.

LEANDRO, R. F.; SANTOS, M. C.; LANGLEY, R. B. Analyzing GNSS data in precise point positioning software. **GPS Solutions**. Heidelberg, BE, v. 15, n. 1, p. 1-13, 18 June 2010. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10291-010-0173-9>. Acesso em: 31 de out. 2016.

LEANDRO, R. F.; SANTOS, M. C.; LANGLEY, R. B. GAPS: The GPS analysis and positioning software – A brief overview. In PROCEEDINGS OF THE 20TH INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS 2007), Fort Worth. **Anais Eletrônicos...** Manassas: ION Publications, 2007, p. 1807-1811. Disponível em: <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=7391>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying.** 3rd ed. Hoboken: John Wiley and Sons, 2004.

LYARD, F.; LEFEVRE, F.; LETELLIER, T.; FRANCIS, O. Modelling the global ocean tides: modern insights from FES2004. **Ocean Dynamics**, Berlin, DD, v. 56, n. 5,

- p. 394–415, dec. 2006. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10236-006-0086-x>. Acesso em: 04 de nov. 2016.
- MACLEOD, K.; TÉTREAULT, P. NRCan Precise Point Positioning (PPP) Service. In: CIVIL GPS SERVICE INTERFACE COMMITTEE. Tampa, Estados Unidos, 2014. Disponível em: < <http://www.gps.gov/cgsic/meetings/2014/macleod.pdf> > Acesso em: 23 de nov. de 2016.
- MIREAULT, Y.; TETREAULT, P.; LAHAYE, F.; HEROUX, P.; KOUBA, J. Online precise point positioning: a new, timely service from natural resources Canada. **GPS World**, Cleveland, OH, v. 19, n. 9, p. 59-64, sept. 2008. Disponível em: <http://www.gpsworld.com/subscribe/>. Acesso em: 31 de out. 2016.
- MONICO, J. F. G. **Do GPS e GLONASS ao GNSS**. MundoGEO, jun. 2013. Disponível em: < <http://mundogeo.com/blog/2013/06/05/do-gps-e-glonass-ao-gnss/> > Acessado em: 14 de setembro de 2016.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. ISBN 978-85-7139-788-0.
- MONTGOMERY, D. C.; JENNINGS, C. L.; KULAHCI, M. **Introduction to time series analysis and forecasting**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008, 469.
- MOREIRA, D. M. **Rede de referência altimétrica para avaliação da altimetria por satélites e estudos hidrológicos na região amazônica**. 2010. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ. UFRJ/COPPE, 2010.
- MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 2006.
- MORITZ, S.; SARDÁ, A.; BARTZ-BEIELSTEIN, T.; ZAEFFERER, M.; STORK, J. Comparison of different Methods for Univariate Time Series Imputation in R. **ResearchGate**, p. 1-20, out. 2015. Disponível em: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1510/1510.03924.pdf>
- NAVIPEDIA (2016). Precise Point Positioning. Disponível em: < http://www.navipedia.net/index.php/Precise_Point_Positioning > Acessado em 18 de setembro de 2016.
- NISTOR, S.; BUDA, A. S. Analysis of GNSS data using precise point positioning technique for the determination of permanent station in România. **Mathematical Modelling in Civil Engineering**, v. 11, n. 3, p. 31-37, set. 2015. Disponível em: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/mmce.2015.11.issue-3/mmce-2015-0013/mmce-2015-0013.xml>. Acesso em: 01 de nov. 2016.
- NRCan (2016). Natural Resources Canada. CSRS-PPP Online Computation. Disponível em: <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925>. Acesso em: 04 de nov. 2016.
- PETIT, G; LUZUM, B (eds.). International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS). IERS Technical. **Note No. 36**. IERS Conventions. Frankfurt am Main, 2010.

PETROV, L.; BOY, J.-P. Study of the atmospheric pressure loading signal in very long baseline interferometry observations. **Journal of Geophysical Research**. Hoboken, NJ, v. 109, n. B3, p. 14, mar. 2004. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2003JB002500/full>. Acesso em: 05 de dez. de 2016.

PHILLIPS, P; PERRON, P. Testing for unit root in time series regression, **Biometrika**, Oxford, RU, v. 75, n. 2, p. 335-346, 1988. Disponível em: <http://biomet.oxfordjournals.org/content/75/2/335.abstract>. Acesso em: 01 de nov. 2016.

PINTO, A.R.; SILVA, B.; OLIVEIRA, I.C.; PEREIRA, J.O.S.; NUNES, L. **Manual de normalização de trabalhos acadêmicos**. Viçosa, MG, 2011. 70 p. Disponível em: <http://www.bbt.ufv.br/>. Acesso em: 09 DE NOV. 2016.

PÍRIZ, R.; CALLE, D.; MOZO, A.; NAVARRO, P.; RODRÍGUEZ, D.; TOBÍAS, G. Orbits and clocks for GLONASS precise-point-positioning. In: PROCEEDINGS OF THE 22ND INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS 2009), Savannah. **Anais Eletrônicos...**, Manassas: ION Publications, 2009a, p. 2415-2424. Disponível em: <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?jp=p&articleID=8655> Acesso em: 03 de nov. 2016.

PÍRIZ, R.; CERRETTO, G.; PERUCCA, A.; TAVELLA, P. Evaluation of the Time and Frequency Transfer Capabilities of a Network of GNSS Receivers Located in Timing Laboratories. In: PROCEEDINGS OF THE 41ST ANNUAL PRECISE TIME AND TIME INTERVAL SYSTEMS AND APPLICATIONS MEETING (ION GNSS 2009). Santa Ana Pueblo. **Anais Eletrônicos...** Manassas: ION Publications, 2009b, p. 559-574. Disponível em: <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?jp=p&articleID=10709>. Acesso em: 03 de nov. 2016.

PIRIZ, R.; MOZO, A.; NAVARRO, P.; RODRIGUEZ, D. MagicGNSS: Precise GNSS Products Out of the Box. In: PROCEEDINGS OF THE 21ST INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS 2008). Savannah. **Anais Eletrônicos...** Manassas: ION Publications, 2008, p. 1242-1251. Disponível em: <https://www.ion.org/publications/browse.cfm?proceedingsID=57>. Acesso em: 03 de nov. 2016.

PONTES, A. C. F.; PONTES JUNIOR, A. C. F.; BRAGA, A. da S. Ensino da correlação de postos no ensino médio. In: 19º SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 2010, São Pedro. **Anais Eletrônicos..** 19º SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 8p. Disponível em: < <http://www.ime.unicamp.br/sinape/19sinape/node/905>> Acesso em: 14 de nov. 2016.

R CORE TEAM (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 07 de nov. 2016.

RABBOU, M. A. Multiple ambiguity datum precise point positioning technique using multi-constellation GNSS: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. **Positioning**, Toronto, CAN, v. 6, n. 3, p. 32-43, aug. 2015. Disponível em:

<http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=58101>. Acesso em: 01 nov. 2016.

RABBOU, M. A.; EL-RABBANY, A. Integration of multi-constellation GNSS precise point positioning and MEMS-based inertial systems using tightly coupled mechanization. **Positioning**, Toronto, CAN, v. 6, n. 4, p. 81-95, nov. 2015. Disponível em: <http://www.scirp.org/journal/pos>. Acesso em: 01 de nov. 2016.

RAJNER, M.; LIWOSZ, T. Studies of crustal deformation due to hydrological loading on GPS height estimates. **Geodesy and Cartography**, Varsóvia, PL, v. 60, n. 2, p. 135-144, jun. 2012. Disponível em: <https://www.degruyter.com/view/j/geocart.2011.60.issue-2/v10277-012-0012-y/v10277-012-0012-y.xml>. Acesso em: 01 de nov. 2016.

RAMOS, M. P.; **Análise das possibilidades de transformação de referencial e atualização de coordenadas no PPP**. 2015. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Viçosa, MG, 2015.

RAY, R. D.; PONTE, R. M. Barometric tides from ECMWF operational analyses. **Ann. Geophys.**, v. 21, n. 8, p. 1897-1910. 31 aug. 2003. Disponível em: <http://www.ann-geophys.net/21/1897/2003/angeo-21-1897-2003.pdf>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

REBISCHUNG, P.; GRIFFITHS, J.; RAY, J.; SCHMID, R.; COLLILIEUX, X.; GARAYT, B. IGS08: the IGS realization of ITRF2008. **GPS Solutions**, Berlin, DD, v. 16, n. 4, p. 483-494, oct. 2012. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10291-011-0248-2>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

ROSA, G. P. S. **Análise de séries temporais de coordenadas estimadas com GPS: uma proposta metodológica para eliminação de efeitos sazonais**. 2008. 106 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, SP, 2008.

ROSSI, G.; ZULIANI, D.; FABRIS, P. Long-term GNSS measurements from the northern Adria microplate reveal fault-induced fluid mobilization. **Tectonophysics**, Amsterdam, NED, v. 690, parte A, p. 142-159, 28 out. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301740878>. Acesso em: 01 de nov. 2016.

SAID, S. E.; DICKEY, D. A. Testing for unit root autoregressive-moving average models of unknown order. **Biometrika**, Oxford, RU, v. 71, n. 3, p. 599-607, dec. 1984. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2336570>. Acesso em: 01 de nov. 2016.

SÁNCHEZ L., DREWES H. (2016a): **VEMOS2015: Velocity and deformation model for Latin America and the Caribbean**. Disponível em: <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.863131>. Acesso em: 03 de nov. 2016.

SÁNCHEZ, L. DREWES, H. (2016b). Crustal deformation and surface kinematics after the 2010 earthquakes in Latin America. **Journal of Geodynamics**, p. 23, jul. 2016. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264370715300569>. Acesso em 01 de nov. 2016.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2nd ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SIEGEL, S.; CASTELLAN, N. J. **Estadística no paramétrica: aplicada a las ciencias de la conducta**. 4. ed. México: Trillas, 1995. 437 p.

SILVA, A. L.; COSTA, S. M. A.; VAZ, J. A. Deslocamento das estações SIRGAS-CON em função do terremoto ocorrido no Chile: uma abordagem do centro de processamento SIRGAS – IBGE. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO. 2010, Recife. **Anais Eletrônicos...** Recife: UFPE, 2010, p. 001-005. Disponível em: https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIII/IIISIMGEO_CD/artigos/Cad_Geod_Agrim/Geodesia%20e%20Agrimensura/A_91.pdf. Acesso em: 03 de nov. 2016.

SILVA, E. G. S.; MARQUES, H. A. PPP com integração de dados GPS/GLONASS: fundamentos envolvidos e análise de acurácia. **Bol. Ciênc. Geod.**, Curitiba, PR, v. 22, n. 2, p. 217-231, abr - jun. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000200012> . Acesso em: 31 de out. 2016.

SILVA, N. C. C.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Efeito da refração troposférica no posicionamento geodésico com GPS. **Rev. Bras. Geof.** v. 17, n. 2-3, p. 117-128, 1999. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X1999000200002>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

SIRGAS (1997). Sistema de Referencias Geocêntrico para a América do Sul. Relatório Final. Grupo de trabalho I e II/IBGE. Departamento de Geodésia. Rio de Janeiro: IBGE, 1997, p. 99.

SIRGAS (2016a). Sistema de Referencias Geocêntrico para as Américas. VEMOS: Velocity Model for SIRGAS. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=241>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

SIRGAS (2016b). Definición del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=52> . Acesso em: 16 de out. de 2016.

SIRGAS (2016c). SIRGAS95. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=76>. Acesso em: 16 de out. 2016.

SIRGAS (2016d). SIRGAS2000. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=77>. Acesso em: 16 de out. 2016.

SIRGAS (2016e). Red SIRGAS de operación continua. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=61>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

SIRGAS (2016f). Red SIRGAS de operación continua. Disponível em: <http://www.sirgas.org/index.php?id=61>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

SNIRH. Serviço Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

SONG, F.; SHI, S.; CHEN, Y.; YANG, T. PPP technique evaluation based its all estimates utilizing CSRS-PPP online service. In: IET INTERNATIONAL RADAR CONFERENCE, 2015, Hangzhou. **Anais Eletrônicos...** Hangzhou: IET, 2015, p. 1-5.

Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7455433/> . Acesso em: 03 de nov. 2016.

TÉTREAULT, P.; KOUBA, J.; HÉROUX, P.; LEGREE, P. CSRS-PPP: an internet service for GPS user access to the canadian spatial reference frame. **Geomatica**, Ottawa, CAN, v. 59, n. 1, p. 17-28, 2005. Disponível em: http://www.cig-acsg.ca/Resources/Geomatica/geomatica_files/geomatica_sample/591/CIGAbstracts_E_59-1.pdf. Acesso em: 02 de nov. 2016.

TRAPLETTI, A.; HORNIK, K.; LEBARON, B. Package ‘tseries’: Time Series Analysis and Computational Finance. Version 0.10-35. 2016. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/tseries/tseries.pdf>. Acesso em: 29 de out. 2016.

TREGONING, P.; WATSON, C.; RAMILLIEN, G.; MCQUEEN, H.; ZHANG, J. Detecting hydrologic deformation using GRACE and GPS. **Geophysical Research Letters**, Berlin, DD, v. 36, n. 15, p. 6, aug. 2009. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2009GL038718/full>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

UNAVCO (2016). TEQC - O Toolkit para GPS / GLONASS / Galileo / SBAS / Beidou / Dados QZSS. Disponível em: <https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/teqc.html>. Acesso em: 03 de nov. 2016.

URQUHART, L. Atmospheric Pressure Loading and its Effects on Precise Point Positioning. In: PROCEEDINGS OF THE 22ND INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING OF THE SATELLITE DIVISION OF THE INSTITUTE OF NAVIGATION (ION GNSS 2009), Savannah. **Anais Eletrônicos...** Manassas: ION Publications, 2009, p. 658-667. Disponível em: <https://www.ion.org/publications/abstract.cfm?articleID=8470>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

URQUHART, L.; SANTOS, M. C.; GARCIA, C. A.; LANGLEY, R. B.; LEANDRO, R. F. Global assessment of UNB's online precise point positioning software. In: **Earth on the Edge: Science for a Sustainable Planet**, International Association of Geodesy Symposia. RIZOS. C and WILLIS. P (eds.), v. 139, 2014. Disponível em: <http://gaps.gge.unb.ca/publications/GlobalAssessmentUNBsPPP.pdf>. Acesso em: 04 de nov. 2016.

VAN DAM, T.; WAHR, J.; MILLY, P. C. D.; SHMAKIN, A. B.; BLEWITT, G.; LAVALLÉE, D.; LARSON, K. M. Crustal displacements due to continental water loading. **Geophysical Research Letters**, Berlin, DD, v. 28, n. 4, p. 651-654, feb. 2001. Disponível em: https://www.gfdl.noaa.gov/bibliography/related_files/vandam0101.pdf. Acesso em: 04 de nov. 2016.

VANI, B. C.; MONICO, J. F. G.; SHIMABUKURO, M. H. Monitoramento do posicionamento por ponto simples com dados GPS no Brasil. In: VIII COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS. 2013, Curitiba. **Anais Eletrônicos...** Curitiba: UFPR, 2013. p. 2. Disponível em: http://www.cbcbg.ufpr.br/home/wp-content/uploads/2013/11/G077_CBCG13.pdf . Acesso em: 03 de nov. 2016.

VENTORIM, B. G; DAL POZ, W. R. Avaliação do desempenho dos sistemas GPS e GLONASS no posicionamento por ponto preciso, combinados e individualmente. **BCG - Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, PR, v. 22, n. 2, p. 264-281, abr - jun,

2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000200015>. Acesso em: 31 de out. 2016.

WITCHAYANGKOON, B. **Elements of gps precise point positioning**. 1997. 286 p. Thesis (Doctor of philosophy) - University of Maine, Orono, ME, 2000.

ZAMORA, M. J.; GUTIÉRREZ, S. B.; GUZMÁN, M. J. R; GAMBOA, G. C. Evaluación del comportamiento cinemático de una serie de estaciones del Sistema Geocéntrico para las Américas procesadas con Precise Point Positioning en línea. **Uniciência**, Costa Rica, v. 28, n.1, p. 2-19, enero, 2014. Disponível em: www.revistas.una.ac.cr/uniciencia. Acessado em: 31 de out. 2016.

ZEIDEMANN, V. K. O Rio das Águas Negras. In: OLIVEIRA, A. A. de; DALY, D. (Ed(s)). **Florestas do Rio Negro**. São Paulo: Companhia das Letras e Universidade Paulista, 2001. p. 63-87. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/guiaigapo/florestas.html>. Acesso em: 05 de dez. de 2016.

ZOU, R.; WANG, Q.; FREYMUELLER, J. T.; POUTANEN, M.; CAO, X.; ZHANG, C.; YANG, S.; HE, P. Seasonal hydrological loading in southern tibet detected by joint analysis of GPS and GRACE. **Sensors**, Sitzerland, BL, v. 15, n. 12, p. 30525–30538, dec. 2015. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4721735/>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

ZUMBERGE, J. F.; HEFTIN, M. B.; JEFFERSON, D.C.; WATKINS, M. M.; WEBB, F. H. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. **J. Geophys. Res. Solid Earth**, Hoboken, NJ, v. 102, n. B3, p. 5005-5017, mar. 1997a. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/96JB03860/pdf>. Acesso em: 02 de nov. 2016.

ZUMBERGE, J. F. Automated GPS data analysis service. Pasadena, aug. 1998. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20060041444>. Acesso em: 05 de out. 2016.

ZUMBERGE, J. F.; WATKINS, M. M.; WEBB, F. H. Characteristics and applications of precise GPS clock solutions every 30 seconds. **Journal of the Institute of Navigation**, Manassas, VA, v. 44, n. 4, p. 449-456, winter, 1997b. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/j.2161-4296.1997.tb02360.x/abstract>. Acesso em: 02 de nov. 2016.