



Análise Comparativa da Acurácia Posicional Proporcionada por Plataformas de Processamento de Dados GPS no Posicionamento Relativo e por Ponto Preciso

Comparative Analysis of Positional Accuracy Provided by GPS Data Processing Platforms in Relative Positioning and by Precise Point Positioning

Raissa da Cruz Ferreira ¹, Alessandro Salles Carvalho ², Victor Jose Cioce ³ e Edvaldo Simões da Fonseca Junior ⁴

¹ Universidade de São Paulo - USP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, Brasil. E-mail. raissa.cruz@usp.br.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7398-9284>

² Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF, Departamento de Transportes e Geotecnia, Juiz de Fora, Brasil. E-mail. alessandro.carvalho@ufjf.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7428-0912>

³ Universidad del Zulia - LUZ, Departamento de Geodesia Superior, Maracaibo, Venezuela. E-mail. vjcioce@gmail.com.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2437-3587>

⁴ Universidade de São Paulo - USP, Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, Brasil. E-mail. edvaldoj@usp.br.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4910-9109>

Recebido: 07.2021 | Aceito: 09.2021

Resumo: Vários serviços de processamento de dados GPS (*Global Positioning System*) estão disponíveis em plataformas on-line para determinação posicional com uso dos métodos relativo e por ponto preciso (PPP). Devido à gratuidade, facilidade de manuseio e fornecimento de resultados robustos, muitos usuários têm submetido dados GPS coletados em campo para o cálculo das coordenadas geodésicas dos pontos de interesse. O Software Bernese GNSS v.5.2 (BSW) e os serviços/plataformas AUSPOS, IBGE-PPP, CSRS-PPP (SPARK) e OPUS foram utilizados para o processamento das observáveis GPS coletadas em 30 marcos geodésicos, com sessões de observação de 5h, para determinação das coordenadas. Uma análise comparativa da qualidade posicional proporcionada por cada estratégia foi realizada. As discrepâncias posicionais foram calculadas tomando como referência as coordenadas obtidas com uso do Software Bernese no modo Relativo. Os resultados indicam acurácia posicional centimétrica (0,016 m a 0,073 m) para as componentes altimétrica, planimétrica e tridimensional para uso do AUSPOS, BSW-PPP, IBGE-PPP, CSRS-PPP e decimétrica (0,100 m a 0,180 m) para o OPUS, indicando deste modo, potencialidades dos serviços. A plataforma que proporcionou maior concordância posicional em relação aos resultados obtidos pelo BSW- relativo foi o CSRS-PPP (SPARK), seguido pelo AUSPOS, BSW-PPP, IBGE-PPP e OPUS.

Palavras-chave: GPS. Software científico Bernese. Serviço online de pós-processamento de dados GPS.

Abstract: Several services of GPS (*Global Positioning System*) data processing are available at online platforms for positional computation with relative and precise point positioning (PPP). Due to its gratuity, ease to use and the delivery of robust results, many users have submitted GPS data collected in the field to calculate the geodetic coordinates of interest points in these services. The Bernese GNSS Software v.5.2 (BSW) and the services/platforms AUSPOS, IBGE-PPP, CSRS-PPP (SPARK) and OPUS were used to process the GPS observables collected in 30 geodetic marks, with observation sessions of 5 hours, to determine positional coordinates. A comparative analysis of the positional quality provided by each strategy was carried out. Positional discrepancies were calculated based on the coordinates obtained using the Bernese Software Relative mode. The results indicate centimetric positional accuracy (0.016 m to 0.073 m) for the altimetric, planimetric and three-dimensional components for the use of AUSPOS, BSW-PPP, IBGE-PPP, CSRS-PPP and decimetric (0.100 m to 0.180 m) for the OPUS, indicating service potential. The platform that provided the greatest positional conformity in relation to the results obtained by the relative BSW- was the CSRS-PPP (SPARK), followed by AUSPOS, BSW-PPP, IBGE-PPP and OPUS.

Keywords: GPS. Scientific software Bernese. Online service for post-processing GPS data.

1 INTRODUÇÃO

Os algoritmos de processamento de dados GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) contemplam duas abordagens para obter medições de posicionamento de alta precisão: posicionamento relativo e por ponto preciso (PPP) (WANG et al., 2017; BULBUL; BILGEN; INAL, 2021). O PPP é uma técnica de posicionamento que minimiza ou modela erros do sistema GNSS para fornecer alto nível de acurácia posicional com uso de um único receptor. Contudo, a técnica de posicionamento relativo fornece resultados mais precisos quando comparada ao PPP (YIGIT et al., 2016; YIGIT; GURLEK, 2017; RIZOS et al., 2012). Tradicionalmente, o posicionamento relativo requer um mínimo de dois receptores GNSS que observam simultaneamente satélites comuns para que combinações lineares sejam realizadas com as observáveis de código e fase. Uma diferenciação é feita com a finalidade de se eliminar ou atenuar os efeitos gerados pela presença dos erros sistemáticos no posicionamento GNSS (OCALAN, 2015; OCALAN et al., 2016).

Com o PPP, se consegue precisão ao nível milimétrico com sessões de observação de 24 horas. No entanto, não é usual utilizar essa duração em levantamentos topográficos durante a coleta dos dados. Por isso, a investigação da precisão que pode ser alcançada com curtas durações de sessão (máx. 6 h) em aplicações de engenharia, por exemplo, ganhou mais popularidade em estudos científicos já que essas geralmente usam durações de observação mais curtas do que aquelas em Ciências Geodésicas (BULBUL; BILGEN; INAL, 2021). Portanto, a análise do melhor tipo de posicionamento (por ponto preciso ou relativo) atrelado ao tipo de estratégia aplicada no processamento dos dados, a fim de mitigar ou eliminar os erros associados ao posicionamento por satélites, torna-se alvo de muitos estudiosos (SOYCAN, 2012).

Há diferentes serviços de pós-processamento de dados GNSS disponíveis gratuitamente para serem utilizados na forma on-line. Alguns deles possibilitam o uso de apenas observáveis GPS, outros da combinação da constelação GPS com a do GLONASS (*Globalnaya navigatsionnaya sputnikovaya sistema*) ou da associação com outros sistemas como o BeiDou (*BeiDou Navigation Satellite System*) e o Galileo. Estes serviços/plataformas realizam o posicionamento com base nos métodos relativo ou por ponto preciso. O Software Bernese GNSS (BSW) é um software científico, comercial e muito utilizado por alta robustez na geração de seus produtos. Dentre os serviços gratuitos para o processamento de dados GNSS disponíveis para uso on-line, destacam-se o AUSPOS e o GNSS-UFV, pois fazem uso do BSW (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2021; DE OLIVEIRA; DAL POZ; ALMEIDA, 2019).

De Oliveira, Dal Poz e Almeida (2019) implementaram e validaram um sistema (GNSS-UFV) on-line para processamento e análise de dados GNSS com base nos métodos relativo e por ponto preciso (PPP) que faz uso do software Bernese GNSS v.5.2. Realizaram o processamento dos dados GNSS de 24h da estação VICO pertencente à RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS), para os 365 dias do ano 2018 com uso do GNSS-UFV, IBGE-PPP e AUSPOS. Os resultados obtidos pelo GNSS-UFV foram comparados com os fornecidos pelos serviços IBGE-PPP e AUSPOS. Foi obtido valor médio para acurácia planimétrica igual a 0,013 m com uso do GNSS-UFV e IBGE-PPP. Para altimetria valor médio de acurácia de 0,020 m para o IBGE-PPP e de 0,018 m para o GNSS-UFV. Em relação ao método relativo, foi encontrado valores médios de acurácia planimétrica iguais a 0,009 m e 0,010 m e para altimetria valores médios de acurácia iguais a 0,021 m e 0,026 m, respectivamente para o AUSPOS e GNSS-UFV.

Albayrak, Erdoğan e Halil Erkaya (2020) realizaram um estudo para avaliar a efetividade dos serviços disponíveis on-line para o processamento de dados GNSS, coletados em diferentes condições de visibilidade dos satélites, com uso dos métodos relativo (AUSPOS, OPUS) e por ponto preciso (CSRS-PPP, Magic-PPP e GAPS-PPP) no modo estático. As coordenadas obtidas com estes serviços foram comparadas com as fornecidas no processamento dos dados com uso do software Bernese GNSS v5.0. Concluíram que as condições de visibilidade dos satélites influenciam a determinação das coordenadas com uso do GNSS e que os serviços de processamento de dados GNSS disponibiliza soluções fáceis e eficazes para aplicações geodésicas de posicionamento.

Braga e Dal Poz (2019) empregaram o Software Bernese GNSS (BSW) - PPP e o serviço IBGE-PPP para processamento dos dados GNSS (24 h) coletados em 90 estações da RBMC e encontraram estatísticas descritivas similares ao nível do milímetro para as acurácias planimétricas e altimétricas. Além disso, mostraram a importância da mudança de referencial e atualização das coordenadas das coordenadas obtidas

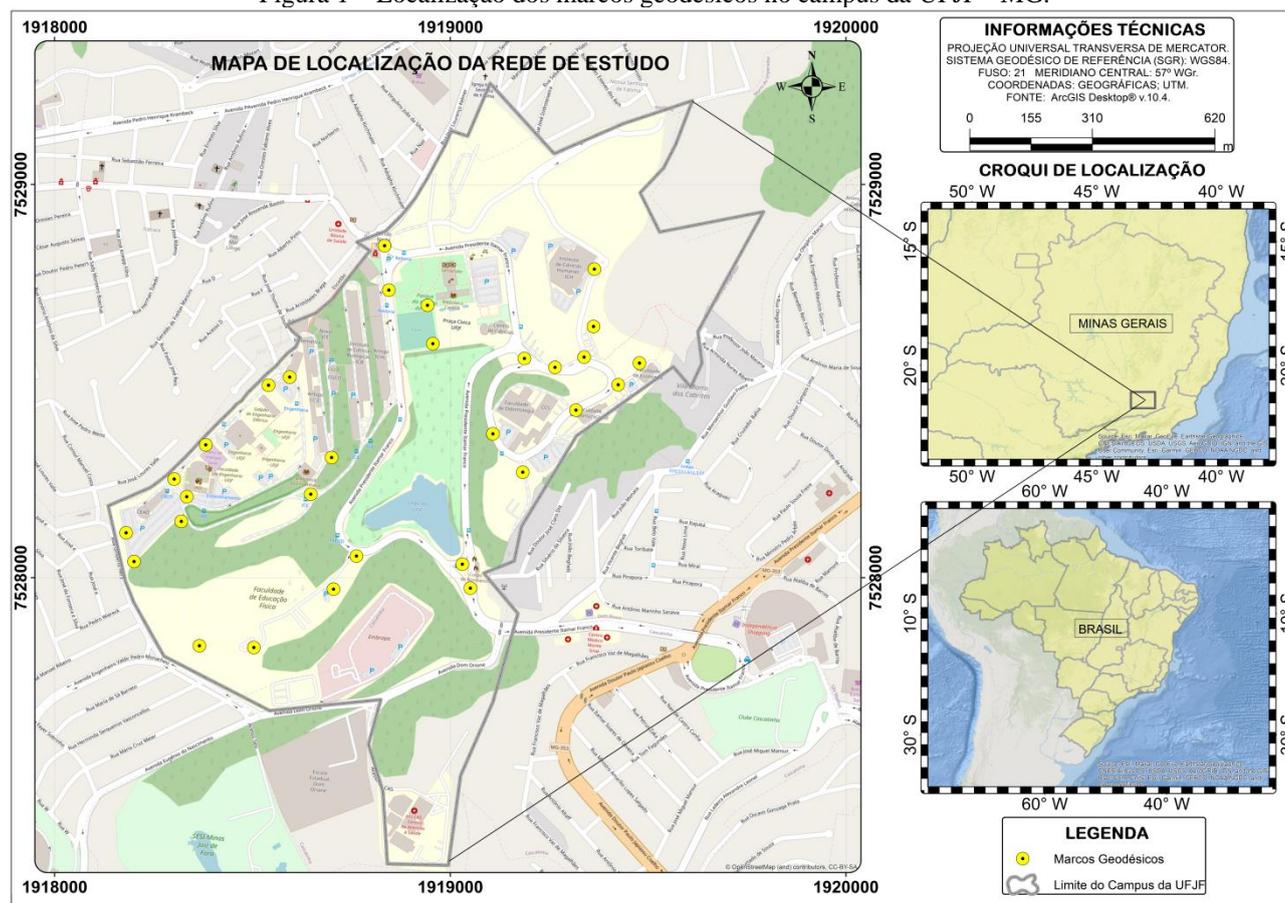
nos processamentos (IGS/ITRF, época da coleta dos dados) para o SIRGAS2000, época 2000,4 pois encontram, em termos médios, melhora na acurácia planimétrica próximo a 14 vezes (0,024 m para 0,016 m).

Este estudo tem por objetivo comparar a exatidão das coordenadas derivadas do processamento de dados GNSS através do BSW e os serviços/plataforma AUSPOS, BSW-PPP, IBGE-PPP, CSRS-PPP (SPARK), OPUS PPP. Esta comparação visa melhorar a compreensão das capacidades e limitações relativas a cada plataforma por meio da análise das discrepâncias posicionais alcançadas além das precisões com o uso dos serviços supracitados.

2 MATERIAIS

A materialização dos 30 marcos geodésicos (Figura 1) foi conduzida no campus da UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora), compreendida entre as coordenadas planas UTM (SGR: WGS84): 7589838 m e 7591770 m (N); 667843 m e 669173 m (E), Fuso 23 Sul e Meridiano Central de 45° W. A área de estudo está inserida no município de Juiz de Fora - Minas Gerais e no que tange à confecção dos marcos utilizou-se como modelos cilindros de concreto de (20 x 10 cm), disponibilizados pelo laboratório de Construção Civil da UFJF não seguindo, portanto, a norma preconizada pelo (IBGE, 2008) intitulada: “Padronização de Marcos Geodésicos”, que trata das instruções para monumentalização dos marcos e pilares das estações que compõem o Sistema Geodésico Brasileiro. Os critérios utilizados para a seleção de locais adequados com relação à implantação dos marcos foram: acessibilidade, visão clara (ausência de obstrução do sinal) e regiões afastadas de quaisquer bloqueadores de sinais eletromagnéticos. As observações GNSS foram coletadas nos marcos, dois a dois de forma simultânea, entre os dias 10 e 30 do mês de maio de 2018.

Figura 1 – Localização dos marcos geodésicos no campus da UFJF - MG.



Fonte: Os autores (2022).

A coleta dos dados (observáveis GNSS) em campo se deu por meio de dois receptores de mesmo fabricante (TechGeo), modelo (GTR-G2) e tipo de antena (NOV702GG NONE), os quais possuem a capacidade de rastrear as portadoras L1/L2 nos sistemas GPS e GLONASS. Os receptores foram configurados

para operarem em um intervalo de gravação de dados de 5 segundos e o tempo total de rastreamento em cada sessão foi de 5 h, com a exceção do marco M12 que ficou 4 horas 59 minutos e 40 segundos. A altura real medida na vertical do centro do marco geodésico ao ARP (*Antenna Reference Point*) da antena do receptor foi igual a 2,0 m e empregada para todos os marcos. A conversão dos dados do formato binário para o formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) v.2.10 foi feita por meio do software NovAtel Convert v.1.8.0 e na sequência foi realizada a edição destes arquivos com o uso do software livre TEQC (*Translate, Edit and Quality Checking*) disponibilizado pelo UNAVCO (*University NAVSTAR Consortium*), para padronizar os cabeçalhos, além de selecionar apenas informações das observáveis GPS para garantir uma comparação igual/justa entre todas as plataformas de processamento.

3 MÉTODO

3.1 AUSPOS (Geoscience Australia's On-line Static GPS Positioning Service)

Antes do processamento dos dados GPS no BSW v. 5.2 (método relativo), o AUSPOS versão 2.4 (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2021) foi utilizado com intuito de verificar quais estações base esse serviço utilizaria como referência (base) no processamento, de modo que as mesmas fossem empregadas no BSW.

Após submissão do arquivo RINEX na plataforma AUSPOS, por meio de uma interface web, 15 estações CORS como referência mais próximas, geralmente 7 da rede global IGS e 8 da APREF (*Asia-Pacific Reference Frame*) são utilizadas no processamento. Esta abordagem fornece uma rede relativamente densa para gerar um modelo regional para determinação do atraso ionosférico e correções de atraso troposférico no suporte à resolução de ambiguidade (JANSSEN e MCELROY, 2020). No caso específico deste estudo, as estações fiduciais que o serviço AUSPOS utilizou foram: ANTC, BOGT, BRAZ, CHPI, CORD, COYQ, CRO1, FALK, MTV1, PALM, PARC, SALU, SANT, SAVO e STHL. É importante ressaltar que o usuário não tem as permissões de controle no que se refere ao acesso na escolha dessas estações, portanto o AUSPOS emprega as estações de referência automaticamente em seu processamento.

Com base nessas estações de referência, uma solução precisa para os dados do usuário é calculada usando a técnica de Dupla Diferença de fase (DD). As coordenadas das estações IGS são injuncionadas com incertezas de 1 mm para a posição horizontal e 2 mm para a vertical. A estratégia OBS-MAX, a qual considera o número máximo de observações simultâneas para formação das linhas de base é aplicada. As ambiguidades da dupla diferença são resolvidas separadamente para cada linha de base, de acordo com o comprimento total desta, sendo aplicada a estratégia *Quasi-Ionosphere-Free* (QIF) para linhas de base de 18 a 2.000 km (GEOSCIENCE AUSTRALIA, 2021; HU et al., 2014; JAMIESON e GILLINS, 2018).

O AUSPOS fornece um relatório detalhado no final de cada operação, onde constam informações das incertezas das coordenadas calculadas, estatísticas de resolução de ambiguidade e uma visão geral da estratégia de processamento GPS aplicada, conforme as Convenções da IERS do ano de 2010. Para utilização deste serviço, apenas foi inserido o arquivo de observação RINEX e os demais parâmetros de processamento são padronizados, tais como, a máscara de elevação, parâmetros da função de mapeamento, combinação linear livre dos efeitos da ionosfera (L3) para receptores de dupla frequência, produtos orbitais, modelagem da troposfera, carga oceânica e marés terrestres.

3.2 Bernese GNSS Software versão 5.2 Desktop – Modo Relativo

O segundo processamento do conjunto de dados selecionado, se estabeleceu com o emprego do uso manual do software científico Bernese (BSW), v. 5.2 Desktop licenciado e disponibilizado pela (Universidade de São Paulo) – EPUSP. Este software foi desenvolvido pelo Instituto Astronômico da Universidade de Bern, na Suíça e está em constante aperfeiçoamento e desenvolvimento (AIUB, 2021).

Com o Bernese, a rede como um todo foi inicialmente calculada de forma semilivre, resolvendo as linhas de base uma vez que os efeitos sistemáticos presentes na observação GPS foram reduzidos, e partindo de coordenadas a priori para todas as estações com uma incerteza na ordem de $\pm 0,02$ m com um peso suficiente para permitir rotações e translações que não afetarão sua escala (ou seja, ± 1 m). Isso garantiu que possíveis

deformações na matriz fossem minimizadas estimando os componentes de cada vetor e definindo com precisão a geometria da rede. Depois de garantir a consistência interna das soluções semilivre, procedeu-se à introdução do datum/SGR para alinhar a rede ao marco de referência. Nesse sentido, foi feito um ajuste ponderado, tomando as coordenadas da solução semanal SIRGAS-CON correspondente para as estações fiduciais (recorreu-se das mesmas estações de referência que o serviço AUSPOS utilizou em seu processamento) e definindo um peso de $\pm 1 \times 10^{-4}$ m. Parcialmente, para esta etapa do trabalho, foi seguida a estratégia de ajuste utilizada pelos Centros de Análise SIRGAS descrita em Sirgas (2017), Cioce (2015), Sánchez e Martínez (2012), Mateo e Mackern (2012).

O Quadro 1 mostra um resumo dos principais insumos e modelos utilizados no AUSPOS e no Bernese ambos com abordagem da técnica de posicionamento relativo:

Quadro 1 – Principais insumos e modelos utilizados no processamento relativo.

Parâmetros	Bernese v.5.2 - Desktop	AUSPOS – Plataforma Web	OPUS – Plataforma Web
Arquivo de observações	Arquivos RINEX da rede local de estudo e da rede global IGS.	Arquivos RINEX da rede local de estudo e da rede global IGS.	Arquivos RINEX da rede local de estudo e da rede global IGS.
Efemérides precisas	IGS - Final (IGS14, extensão: IGS*.SP3).	IGS - Final (IGS14, extensão: IGS*.SP3).	IGS - Final (IGS14, extensão: IGS*.SP3).
Parâmetros de orientação terrestre	IGS - (extensão: IGS*.ERP).	IGS - (extensão: IGS*.ERP).	IGS - (extensão: IGS*.ERP).
Máscara de elevação	7°	7°	15°
Correção do centro de fase das antenas dos satélites	Valores absolutos PCVs (dependente do ângulo Nadiral do satélite, ângulo de elevação e azimute) obtidos através dos arquivos ANTEX.	Valores absolutos PCVs (dependente do ângulo Nadiral do satélite, ângulo de elevação e azimute) obtidos através dos arquivos ANTEX.	Valores absolutos PCVs (dependente do ângulo Nadiral do satélite, ângulo de elevação e azimute) obtidos através dos arquivos ANTEX.
Correção e calibração do centro de fase das antenas receptoras	Valores absolutos PCVs (dependente do ângulo de elevação e ângulo azimutal). Offsets em L1 e L2 obtidos através dos arquivos ANTEX.	Valores absolutos PCVs (dependente do ângulo de elevação e ângulo azimutal). Offsets em L1 e L2 obtidos através dos arquivos ANTEX.	Valores absolutos PCVs (dependente do ângulo de elevação e ângulo azimutal). Offsets em L1 e L2 obtidos através dos arquivos ANTEX.
Modelo ionosférico	Efeito de 1ª ordem: eliminados por combinação linear livre de ionosfera L1 e L2. Efeitos de 2ª e 3ª ordem: modelos CODE (extensão: *.ION).	Efeito de 1ª ordem: eliminados por combinação linear livre de ionosfera L1 e L2. Efeitos de 2ª e 3ª ordem: modelos CODE (extensão: *.ION).	Efeito de 1ª ordem: eliminados por combinação linear livre de ionosfera L1 e L2. Efeitos de 2ª e 3ª ordem: não modelado.
Função de mapeamento	<i>Vienna Mapping Function Model 1 (VMF1)</i> .	<i>Global Mapping Functions (GMF)</i> .	<i>Niell Mapping Function (NMF)</i> .
Maré terrestre	TIDE2000.	TIDE2000.	IERS 2003.
Modelo de carga atmosférica	Aplicado. (extensão ATL).	Aplicado. (extensão ATL).	Não aplicado.
Maré oceânica	FES2004 (extensão BLQ).	Não aplicado.	Não aplicado.

Fonte: Os autores (2022).

O BPE (*Bernese Processing Engine*) foi projetado para análise de dupla diferença de observações GPS. Existem quatro estratégias de resolução de ambiguidade disponíveis no BSW v.5.2, dentre elas Dach et. al, (2015) recomenda a estratégia QIF para longas sessões e linhas de base de duração quase arbitrária e, portanto, nesta pesquisa foi utilizada a estratégia QIF para resolução das ambiguidades conforme o manual do BSW.

3.3 Bernese GNSS Software versão 5.2 Desktop – Abordagem PPP

O PPP é um meio rápido e eficiente de obter coordenadas consistentes para as estações de interesse. No entanto, não é possível alcançar a mesma qualidade de coordenada final com base em uma análise de rede. Apesar de haver a possibilidade de cálculo de coordenadas por esta estratégia por meio do módulo GPSEST no BSW, ressalta-se que ele não foi elaborado, em princípio, para processar no modo PPP, mas sim no relativo. O PPP não é uma técnica diferencial e, portanto, o referencial geodésico não é definido por meio de quaisquer restrições nas estações de referência. A consistência das órbitas introduzidas, EOPs (*Earth Orientation Parameters*) e informações do relógio do satélite são necessárias para atingir alta precisão (DACH et. al, 2015).

Neste estudo, o PCF (*Processing Control File*), elaborado por Espinoza (2017) para o caso de solução

PPP, consiste principalmente em quatro pacotes principais: análise orbital, pré-processamento, processamento e solução final. O procedimento de processamento no modo PPP é conhecido no BSW como modo de solução por zero diferença.

3.4 CSRS-PPP e IBGE-PPP

O CSRS-PPP (*Canadian Spatial Reference System - Precise Point Positioning*) é um serviço de pós-processamento de dados GNSS desenvolvido *Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada* (GD-NRCan) que realiza o posicionamento por ponto preciso. Requer dados coletados de apenas um receptor (simples ou dupla frequência) e possibilita obtenção de coordenadas de alta precisão. O CSRS-PPP possibilita obter as precisões horizontal e vertical de 1 e 2 cm (nível de confiança de 68 %), respectivamente, com sessão de duração de no mínimo 24 horas (NRCAN, 2021). Os usuários carregam seus arquivos de dados RINEX e a solução de coordenadas para a posição do receptor GNSS (estático ou cinemático) é calculada automaticamente sendo a saída com as coordenadas referenciadas ao ITRF relacionado com as efemérides utilizadas no processamento (*International Terrestrial Reference Frame*) (NRCAN, 2021).

Serviço similar é denominado de IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) que faz uso do software GPSPACE desenvolvido pelo GD-NRCan para pós-processamento dos dados. A versão atual do IBGE-PPP ver. 1.05/11216/2016-04-21. Segundo Costa et al. (2013), o IBGE-PPP é o primeiro país da América Latina a oferecer este tipo de serviço. Além disso, faz uso de parâmetros próprios para determinação das coordenadas no SIRGAS2000 e emprega o modelo de velocidade para o SIRGAS – VEMOS2009 na atualização das coordenadas da época da coleta dos dados para a época 2000,4 (IBGE, 2020).

Os dois serviços possibilitam o emprego das observáveis GPS e GLONASS na determinação posicional para dados coletados nos modos estático e cinemático. Em 16/08/2018 o CSRS-PPP migrou do software GPSPACE para o SPARK - CSRS-PPP versão 2. A versão 3 do CSRS-PPP, disponibilizada em 20/10/2020, passou a realizar o PPP com resolução de ambiguidade (PPP-AR) (CGS, 2021). Neste sentido, os dados GPS de dupla frequência foram processados o serviço modernizado CSRS-PPP (SPARK v3.49.0).

3.5 Online Positioning User Service - OPUS

O OPUS v2.6 (*Online Positioning User Service*) é um serviço gratuito, disponibilizado pela NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)'s National Geodetic Survey (NGS) para processamento de dados GPS coletados por receptores de dupla frequência, no modo estático. Para utilizá-lo basta submeter as observáveis GPS (L1/L2) coletadas nas estações de interesse por no mínimo 15 minutos e no máximo 48 h. Essas observações deverão estar armazenadas em arquivo no formato RINEX nas versões 2 ou 3. Na submissão dos dados deve-se inserir o modelo/tipo da antena GPS bem como a altura da mesma, medida na vertical do marco ao ARP da antena e o e-mail para recebimento da solução do processamento. Diferentes intervalos de coleta de dados podem ser adotados, dentre eles destaca-se o de 5 s, pois foi o utilizado na coleta dos dados em campo. Porém, os dados gravados são decimalizados para 30 segundos. No processamento é utilizado 10 graus de máscara de elevação e resolução de ambiguidade fixa. É possível alcançar acurácia de poucos centímetros em condições normais (NOAA, 2021). A posição é obtida pela média das coordenadas provenientes de três linhas de base processadas de forma independente.

O software PAGES (*Static*) é utilizado para processamento dos dados (de 2 h a 48 h) com o método relativo, no modo estático. Para posicionamento com método relativo estático rápido (de 15 min a 2 h), modo estático, o OPUS faz uso do programa RSGPS (*Rapid Static*). Ambos do NGS *Geodetic toolkit*. As estações base (de referência) utilizadas no processamento compõem a NCN (NOAA CORS Network) e emprega parâmetros de calibração de antena, orbitas dos satélites e referencial geodésico do IGS (NOAA, 2021).

Ao realizar uma busca das estações localizadas mais próximas a área de estudo no mapa das estações ativas, na página <https://geodesy.noaa.gov/CORS_Map/>, verifica-se o fornecimento das estações e distâncias aproximadas: BRFT (2060 km), SRZN (3290 km) e PMB1 (3330 km). Contudo, consta que a última atualização realizada foi executada em 29/08/2019. Ao realizar o processamento de forma automática, sem inclusão de estações de referência por parte do usuário, o serviço selecionou na determinação das coordenadas

das 30 estações de interesse, dentre outras, CHPI, TOPL, PPTE, CEFE, CUIB, IMPZ. Estas estações pertencem às redes IGS IGS <<https://www.igs.org/network/>> e/ou RBMC <<http://www.ibge.gov.br/>>.

Ao impor o uso de uma ou mais estações de referência que não estejam disponíveis para o dia em que o dado foi coletado ou não tenha atendido aos requisitos do controle de qualidade estabelecidos pelo serviço, o processamento é abortado e o arquivo deverá ser enviado novamente com escolha de outras estações. Cabe ressaltar que nos testes realizados com a inclusão de determinadas estações da rede IGS/RBMC no processamento, causou erro na solução.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

As coordenadas cartesianas geocêntricas no referencial ITRF2014 (época da coleta dos dados) – fornecidas pelas plataformas de processamento de dados GPS AUSPOS, Bernese GNSS nos modos PPP e Relativo, IBGE-PPP, CSRS-PPP e OPUS foram convertidas para geodésicas (latitude, longitude e altitude elipsoidal) e para planas UTM (E, N) por meio do software ProGrid Versão 1.1.

O processamento dos dados GPS foi realizado no modo estático com uso dos métodos de posicionamento por ponto preciso (Bernese-PPP, IBGE-PPP, CSRS-PPP) e relativo (Bernese, AUSPOS, OPUS). As coordenadas fornecidas pelo software Bernese com uso do método relativo foram tomadas como referência (ref.) para o cálculo das discrepâncias das componentes E, N, h e avaliação dos resultados.

A acurácia posicional foi calculada com base nos valores da REQM (Raiz do Erro Quadrático Médio) por meio das Eq. (1) a (5) (FGDC, 1998; CARVALHO; SILVA; DAL POZ, 2015; JAMIESON e GILLINS, 2018).

$$REQM_E = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(E_i - E_{ref.})^2}{n}} \quad (1)$$

$$REQM_N = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(N_i - N_{ref.})^2}{n}} \quad (2)$$

$$REQM_h = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(h_i - h_{ref.})^2}{n}} \quad (3)$$

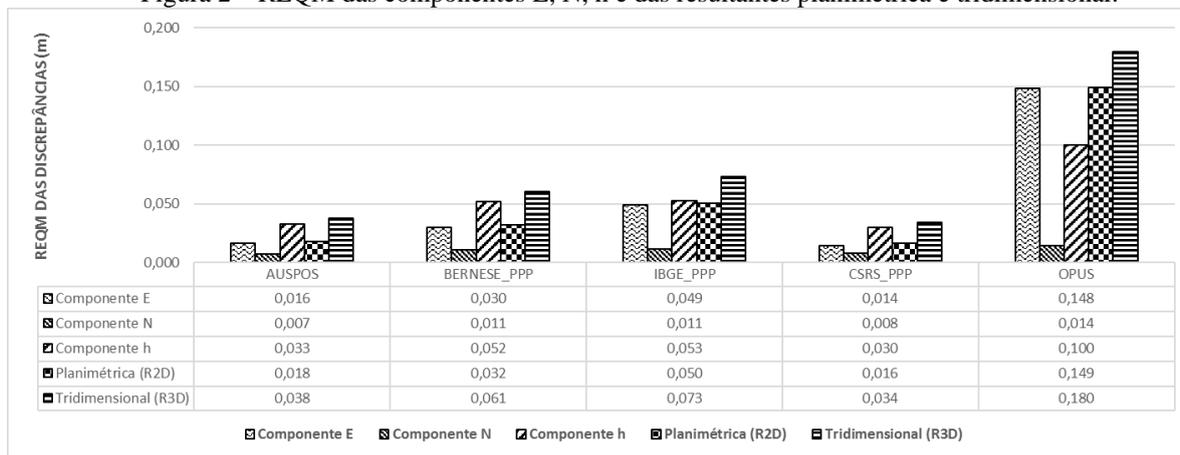
$$REQM_{R2D} = \sqrt{(REQM_E)^2 + (REQM_N)^2} \quad (4)$$

$$REQM_{R3D} = \sqrt{(REQM_E)^2 + (REQM_N)^2 + (REQM_h)^2} \quad (5)$$

Em que: E, N: Coordenadas planas UTM; h: altitude elipsoidal. n: número total de discrepâncias. $REQM_E$; $REQM_N$; $REQM_h$: Raiz do Erro Quadrático Médio das discrepâncias em cada componente. $REQM_{R2D}$; $REQM_{R3D}$: Raiz do Erro Quadrático Médio das resultantes planimétricas e tridimensionais.

A Figura 2 ilustra o gráfico de barras da acurácia posicional (REQM) calculados com base nas discrepâncias das componentes e das resultantes planimétrica (R2D) e tridimensional (R3D) obtidas pelas diferentes plataformas de processamento dos dados GPS em relação aos obtidos com o Bernese (MRE) coletados em 30 estações.

Figura 2 – REQM das componentes E, N, h e das resultantes planimétrica e tridimensional.



Fonte: Os autores (2022).

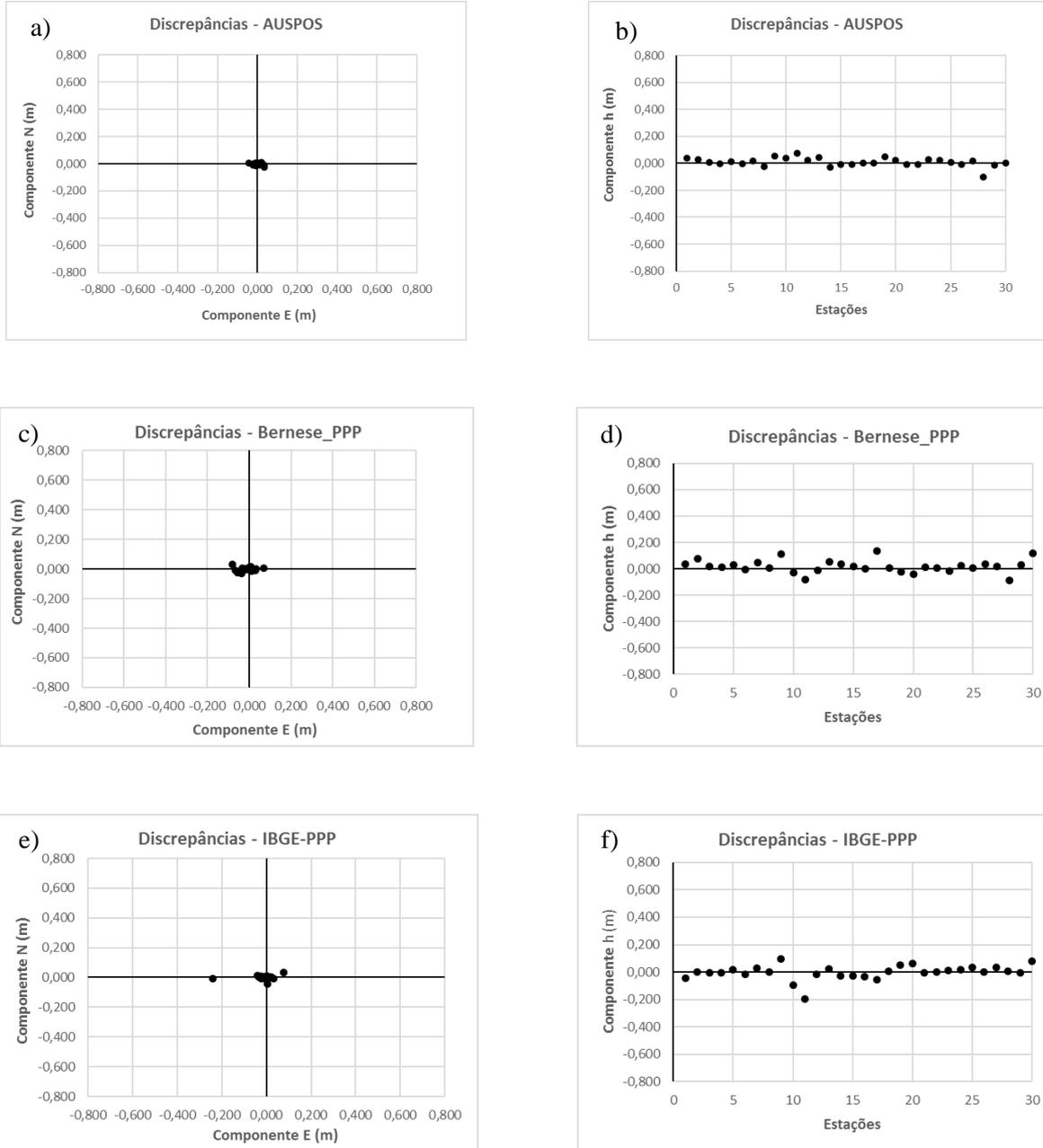
É possível verificar na Figura 2 que os menores valores (0,016 m e 0,034 m) da REQM das resultantes planimétrica e tridimensional foram obtidos com uso do CSRS-PPP e maiores valores (0,149 m e 0,180 m) proporcionados com uso do OPUS. Nota-se maior valor para a REQM na componente E em relação a N em todos os casos. Ressaltando o fato do menor valor nesta componente ter sido fornecido pelo CSRS-PPP. Como esperado, os valores da REQM para a componente h foram maiores em relação a N e E em todos os casos, exceto do OPUS cujo valor obtido para a componente E foi maior que a componente h em 0,048 m.

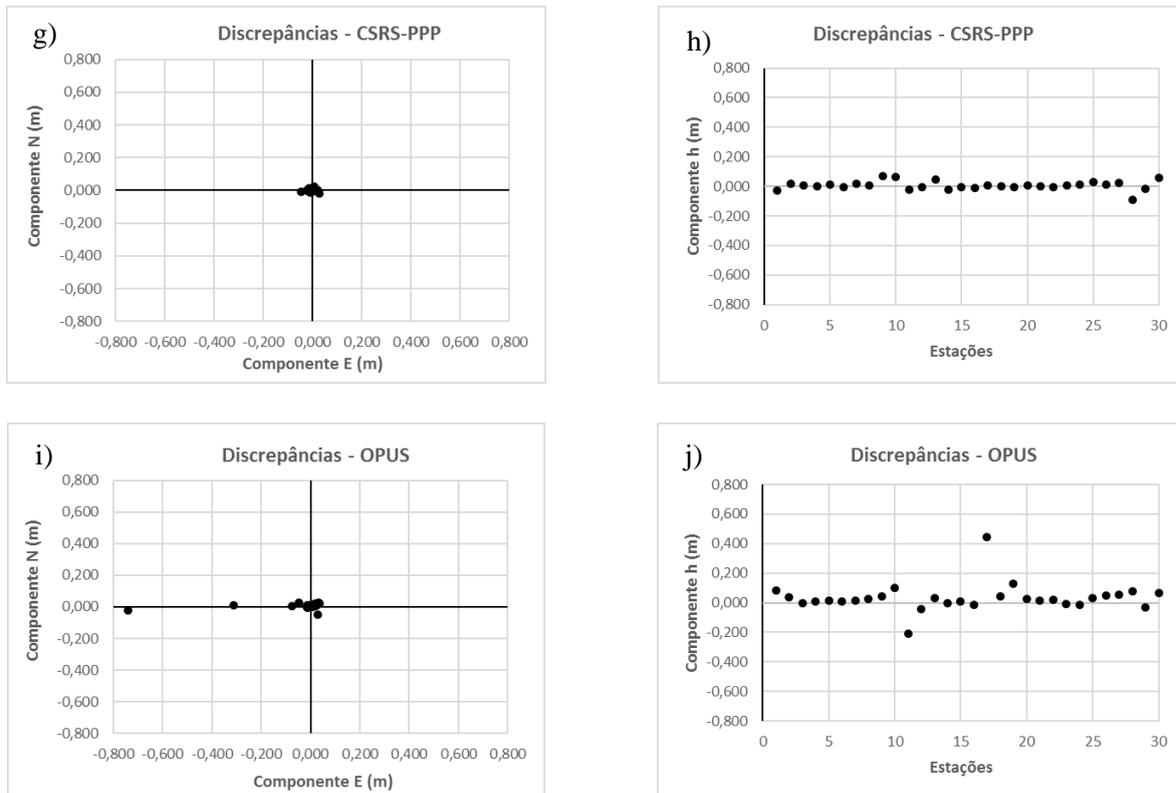
As diferenças entre os valores de acurácia planimétrica e altimétrica fornecidos pelo IBGE-PPP e o CSRS-PPP foram iguais a 0,034 m e 0,023 m, respectivamente. Em 20/10/2020, o CSRS-PPP passou a realizar o PPP com resolução de ambiguidade (PPP-AR) (CGS, 2021). Portanto, maior similaridade dos resultados obtidos com o CSRS-PPP (SPARK v.3.50.0) em relação aos obtidos com uso BSW – relativo do que com IBGE-PPP (IBGE-PPP v.1.05/11216/2016-04-21) é consequência da modernização do CSRS-PPP. Fato este que pode ser visualizado nas Figuras 2, 3-e, 3-f, 3-g e 3-h, 4-e, 4-f, 4-g e 4-h.

As plataformas proporcionaram valores de acurácia planimétrica e altimétrica centimétrica, com exceção do OPUS que forneceu acurácia decimétricas para essas componentes. Análises complementares foram realizadas com auxílio das Figuras 3 e 4.

A Figura 3 (a, b, ..., j) ilustra os gráficos de dispersão das discrepâncias das componentes E, N, h obtidas para cada plataforma de processamento em relação aos resultados obtidos com o Bernese (MRE). Com base nas informações disponíveis nestes gráficos é possível identificar/localizar valores anômalos do conjunto de dados analisados.

Figura 3 – Discrepâncias das componentes posicionais obtidas com uso das diferentes plataformas: a) Dispersão das discrepâncias das componentes E, N obtidas com o AUSPOS; b) Dispersão das discrepâncias altimétricas obtidas com o AUSPOS; c) Dispersão das discrepâncias das componentes E, N obtidas com o Bernese_PPP; d) Dispersão das discrepâncias altimétricas obtidas com o Bernese_PPP; e) Dispersão das discrepâncias das componentes E, N obtidas com o IBGE_PPP; f) Dispersão das discrepâncias altimétricas obtidas com o IBGE_PPP; g) Dispersão das discrepâncias das componentes E, N obtidas com o CSRS-PPP; h) Dispersão das discrepâncias altimétricas obtidas com o CSRS-PPP; i) Dispersão das discrepâncias das componentes E, N obtidas com o OPUS; j) Dispersão das discrepâncias altimétricas obtidas com o OPUS.





Fonte: Os autores (2022).

A Figura 3 possibilita verificar a variabilidade/dispersão das discrepâncias nas três componentes posicionais. O emprego do AUSPOS forneceu resultados de discrepâncias com média e desvio padrão de 0,004 m e 0,016 m para a direção E, de -0,002 m e 0,007 m para N e de 0,010 m e 0,032 m para h. A discrepância da componente E varia de -0,045 m a 0,034 m, N de -0,025 m a 0,012 m e h de -0,100 m a 0,078 m. Em relação a resultante planimétrica das discrepâncias, houve variação de 0,001 m a 0,045 m, com média de 0,015 m, mediana de 0,011 m e desvio padrão de 0,011 m.

Os resultados obtidos com o Bernese no modo PPP possuem média e desvio padrão de -0,007 m e 0,030 m para a direção E, de -0,001 m e 0,011 m para N e de 0,018 m e 0,049 m para h. A discrepância da componente E varia de -0,079 m a 0,068 m, de -0,029 m a 0,031 m para N e de -0,087 m a 0,135 m para h. Para a resultante planimétrica das discrepâncias houve variação de 0,001 m a 0,085 m, média de 0,023 m, mediana de 0,017 m e desvio padrão de 0,022 m.

O IBGE-PPP apresentou um valor discrepante na direção E igual a (-0,242 m) e outro na componente altimétrica (-0,197 m) ao conjunto de dados (Figura 3e). Apresentando ainda média e desvio padrão de -0,010 m e 0,049 m para a componente E de -0,001 m e 0,011 m para N e de -0,003 m e 0,054 m para h. A discrepância na direção E varia de -0,242 m a 0,077 m, de -0,043 m a 0,035 m para N e -0,197 m a 0,098 m para h. Em relação a resultante planimétrica da discrepância, houve variação de 0,002 m a 0,242 m, média de 0,025 m, mediana de 0,011 m e desvio padrão de 0,044 m.

O CSRS-PPP apresentou média e desvio padrão de -0,003 m e 0,014 m para a componente E de 0,001 m e 0,008 m para N e de 0,006 m e 0,030 m para h. A discrepância na direção E varia de -0,046 m a 0,026 m, de -0,018 m a 0,024 m para N e de -0,090 m a 0,068 m para h. A resultante planimétrica das discrepâncias variou de 0,001 m a 0,047 m, apresentou média de 0,012 m, mediana de 0,008 m e desvio padrão de 0,011 m.

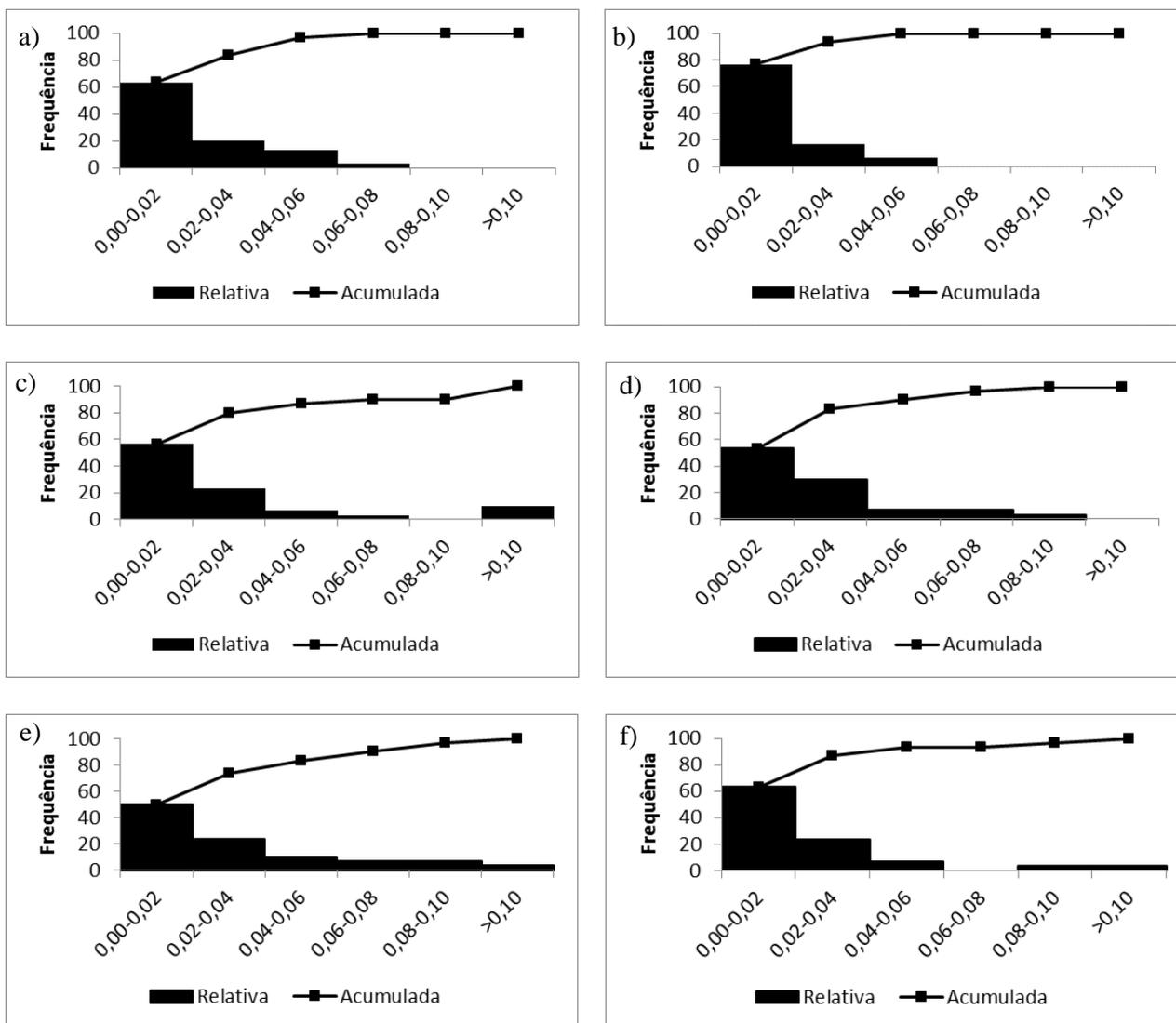
Nos resultados obtidos com o OPUS, verifica-se a presença de três pontos com valores discrepantes em relação ao conjunto de dados, dois deles na componente E e outro na N, conforme pode ser visualizado na Figura 3i. Nesta figura, podem ser observados dois valores de discrepâncias para a componente altimétrica anômalos ao conjunto dos dados. Apresenta média e desvio padrão de -0,035 m e 0,147 m na direção E de 0,004 m e 0,014 m para N e de 0,033 m e 0,096 m para h. A discrepância da componente E varia de -0,740 m a 0,036 m, de -0,050 m a 0,029 m para N e de -0,208 m a 0,443 m para h. Em relação a resultante planimétrica das discrepâncias houve variação de 0,001 m a 0,074 m, com média de 0,053 m, mediana de 0,014 m e desvio padrão de 0,141 m.

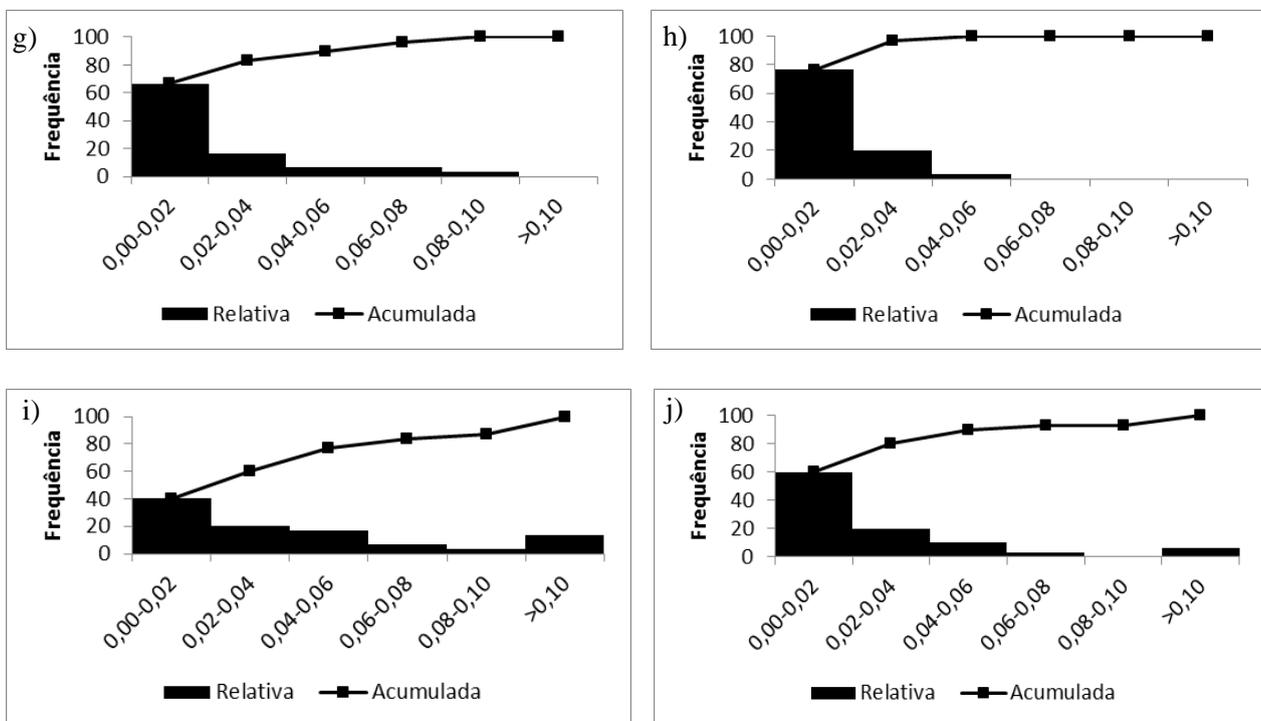
Os valores da mediana, não influenciados por valores extremos da amostra, para a resultante tridimensional (R3D) foram iguais a 0,023 m, 0,036 m, 0,028 m, 0,021 m e 0,037 m para os resultados fornecidos pelo AUSPOS, Bernese-PPP, IBGE-PPP, CSRS-PPP e OPUS, respectivamente.

Os valores de mediana das resultantes planimétrica e tridimensional foram menores que os obtidos para a média salientando presença de distribuições resultantes planimétrica das discrepâncias assimétricas. Fato que pode ser observado na Figura 4 (b, d, f, h e j).

A Figura 4 (a, b, c, d, e, f, g, h, i, j) ilustra os histogramas de frequência relativa e acumulada (%) das discrepâncias altimétrica (h) e das resultantes planimétricas (R2D). Salienta-se que foram tomados os valores absolutos das discrepâncias altimétricas com intuito de utilizar o mesmo intervalo (0,02 m) das classes/blocos.

Figura 4 – (a, b, c, ..., j) – Histogramas de frequências relativas e relativas acumuladas das discrepâncias altimétricas das resultantes planimétricas. a) Frequências das discrepâncias altimétricas obtidas com o AUSPOS. b) Frequências das resultantes planimétricas das discrepâncias obtidas com o AUSPOS. c) Frequências das discrepâncias altimétricas obtidas com o Bernese-PPP. d) Frequências das resultantes planimétricas das discrepâncias obtidas com o Bernese-PPP. e) Frequências das discrepâncias altimétricas obtidas com IBGE-PPP. f) Frequências das resultantes planimétricas das discrepâncias obtidas com o IBGE-PPP. g) Frequências das discrepâncias altimétricas obtidas com o CSRS-PPP. h) Frequências das resultantes planimétricas obtidas com o CSRS-PPP. i) Frequências das discrepâncias altimétricas obtidas com o OPUS. j) Frequências das resultantes planimétricas das discrepâncias obtidas com o OPUS-PPP.





Fonte: Os autores (2022)

De acordo com as Figuras 2, 3a e 3b é possível verificar que o AUSPOS forneceu acurácia altimétrica de 0,033m e 96,67% das discrepâncias dessa componente menores ou iguais a 0,060 m. A acurácia planimétrica (R2D) é igual a 0,018 m, com 93,33% das resultantes planimétricas menores ou iguais a 0,060m. Para o processamento com o Bernese_PPP, Figuras 4c e 4d, foi obtido acurácia altimétrica de 0,052 m e 86,67% das discrepâncias menores ou iguais a 0,060 m. A acurácia planimétrica (R2D) foi igual a 0,032 m e 90,0% das resultantes planimétricas menores ou iguais a 0,060 m. No processamento com o IBGE_PPP, Figuras 4e e 4f, foi obtido acurácia altimétrica de 0,053 m e 83,33% das discrepâncias menores ou iguais a 0,060 m. A acurácia planimétrica foi igual a 0,050 m e 93,33% das discrepâncias menores ou iguais a 0,060 m. O CSRS_PPP, Figuras 4g e 4h, forneceu acurácia altimétrica de 0,030 m e 90,00% das discrepâncias menores ou iguais a 0,060 m. A acurácia planimétrica foi igual a 0,016 m e 100,00% das resultantes planimétricas menores ou iguais a 0,060m. O OPUS, Figuras 4i e 4j forneceu acurácia altimétrica de 0,010 m e 76,67% dessas discrepâncias menores ou iguais a 0,060 m. A acurácia planimétrica foi igual a 0,149 m e com 90,00% das resultantes planimétricas menores ou iguais a 0,060m.

Observando o valor de acurácia planimétrica obtido com uso do OPUS disponível na Figura 2 e a porcentagem acumulada de 90% (corresponde a 27 discrepâncias de 30) das resultantes menores ou iguais a 0,060 m é possível verificar que valores anômalos das discrepâncias implicaram no aumento do valor da REQM da R2D. A acurácia encontrada para a componente E foi de 0,148 m e de 0,014 m para N. Analisando as discrepâncias dessas componentes e considerando o percentual de 10% (3 estações com RD2 maiores que 0,060 m) foi possível identificar/localizar a estação UF17 com valores iguais a -0,312 m para ΔE , 0,009 m para ΔN e 0,443 m para Δh ; a estação UF19 foram observados os valores -0,740 m para ΔE , -0,020 m para ΔN e 0,126 m para Δh ; e a estação UF30 cujos valores das discrepâncias foram iguais a -0,077 m para ΔE , 0,004 m para ΔN e 0,064 m para Δh .

Foi possível ranquear as plataformas que forneceram valores mais próximos aos disponibilizados pelo software Bernese GNSS, com uso do método relativo. Salienta-se que não se pretende neste estudo apontar qual plataforma é melhor que outra, mas indicar o nível de concordância em termos planimétricos e altimétricos com base acurácia posicional obtidos com estas plataformas. Ressalta-se que as plataformas disponíveis online as quais foram utilizadas neste estudo são alternativas a depender da finalidade a que se destina trabalho topográficos/geodésico de fácil utilização, robustas e disponíveis gratuitamente que merecem ser mais exploradas por quem necessita de informações georreferenciadas. Além disso, é notório o uso no Brasil do serviço IBGE-PPP para processamento de dados GNSS e obtenção de coordenadas geodésicas.

A Tabela 1 fornece o ranqueamento dos resultados obtidos com uso das plataformas de processamento

considerando os valores de acurácia da componente altimétrica e das resultantes planimétrica e tridimensional.

Tabela 1: classificação dos resultados em função dos valores de acurácia altimétrica, planimétrica (R2D) e tridimensional (R3D).

Posição/ Classificação	Método de Posicionamento (Estático)	Plataforma de Processamento	REQM _h (m)	REQM _{R2D} (m)	REQM _{R3D} (m)
2	Relativo	AUSPOS	0,033	0,018	0,038
3	PPP	Bernese_PPP	0,052	0,032	0,061
4	PPP	IBGE_PPP	0,053	0,050	0,073
1	PPP	CSRS_PPP	0,030	0,016	0,034
5	Relativo	OPUS	0,100	0,149	0,180

Fonte: Os autores (2022).

As coordenadas dos pontos obtidas com o OPUS foram a partir de 3 estações de referência (bases) que podem ser da rede NCN (NOAA *Continuously Operating Reference Stations* (CORS) Network) e/ou IGS. Os comprimentos das 3 linhas de base utilizadas no posicionamento variaram de 193,917 km a 2.359,859 km. Na Tabela 2 é possível verificar as taxas de resolução de ambiguidades para cada plataforma de processamento. Nota-se que à medida que a plataforma OPUS emprega estações base mais próximas às estações de interesse ou uma maior quantidade, como acontece no AUSPOS, percebe-se uma melhora na qualidade posicional para as estações *rover*. Em relação ao AUSPOS, neste estudo, o sistema gerou 16 linhas de base com comprimentos variando de 0,039 km a 4.357,535 km. Ao submeter dados de duas estações que coletaram dados de forma simultânea, o serviço gera uma linha de base entre estes dois pontos. Salienta-se que não foi possível a realização do processamento simultâneo das estações UF23 e UF24, embora a coleta tenha sido realizada no mesmo período, no AUSPOS. Deste modo, as coordenadas dessas estações foram obtidas de forma individual, tendo sido geradas 15 linhas de base.

Tabela 2: taxas de resolução de ambiguidade.

Plataforma de Processamento	Média	Máximo	Mínimo
AUSPOS	73,30%	100,00%	32,10%
OPUS	80,13%	98,00%	66,00%
CSRS-PPP	84,26%	98,66%	25,12%
BSW	74,40%	90,32%	62,30%

Fonte: Os autores (2022).

O AUSPOS e OPUS realizam o posicionamento relativo (estático e/ou estático rápido), emprega linhas de base longas, médias e curtas a depender da proximidade das estações (base) das redes IGS, CORS e APREF às estações de interesse (*rover*), conforme apresentado. As demais plataformas realizam o posicionamento por ponto preciso (PPP), com destaque para o CSRS-PPP que passou adotar algoritmos para resolução das ambiguidades no PPP (PPP-AR). Fato este que merece atenção e estudos complementares.

Segundo Geng et al. (2013), a solução de ambiguidade inteira traz possibilidade de obter alta acurácia com uso de sessões de observação de curto período na realização do PPP. Demonstraram que quando se dispõe de mais de 3 horas de observações GPS para o processamento, pode-se alcançar taxa de resolução de ambiguidade de 100%, acurácia posicional tridimensional próximo a 1 cm e ocorrência de soluções degradadas menor que 1%. Propuseram que o período de 3 h de observações deve ser utilizado no PPP estático com solução fixa da ambiguidade (solução inteira) para obtenção de acurácia milimétrica em aplicações de engenharia.

Ressalta-se que todas as plataformas, com exceção do OPUS (este forneceu acurácia decimétrica), apresentaram acurácias planimétricas e altimétricas subdecimétricas menores ou iguais a 0,050 m e 0,053 m, respectivamente. Contudo, 90% e 76% das discrepâncias altimétricas e planimétricas, respectivamente, foram menores ou iguais a 0,060 m.

Alguns fatores podem ter influenciado nos resultados, principalmente os relacionados a componente altimétrica. Esta componente é sempre a mais influenciada pelos efeitos residuais da ionosfera.

Segundo De Aguiar e Camargo (2006), o efeito da ionosfera afeta, principalmente, a acurácia do

posicionamento, e não a precisão, pois trata-se de um erro sistemático. Em trabalhos como o de Caldeira, Alves e Aguiar (2018) notou-se que, especificamente nas regiões Sul e Sudeste, devido a maior influência da cintilação ionosférica nessas regiões há uma degradação da qualidade do posicionamento com horários mais marcantes em relação à influência do TEC (*Total Electron Content*), onde os valores máximos ocorrem próximo às 16–20 UTC e após o por do Sol. Na Tabela 1 pode-se observar que, de modo geral, a acurácia na planimetria é melhor que na altimetria.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, foi possível verificar o potencial das plataformas de processamento de dados GPS no fornecimento de coordenadas acuradas e compatíveis com os resultados disponibilizados pelo software científico e comercial, Bernese GNSS no posicionamento relativo, amplamente empregado na comunidade acadêmica. A grande vantagem dos sistemas baseados na Web é a facilidade de utilização, a robustez dos resultados e a possibilidade do emprego dos métodos de posicionamento por ponto preciso e relativo de maneira automatizada.

Em se tratando de observações com sessões curtas (5 h) e um espaço amostral relativamente pequeno (30 pontos) como aspectos positivos destaca-se que o uso de serviços online baseados na Web para processamento de dados GPS apresentou resultados satisfatórios. O grau de concordância/similaridade nos experimentos realizados neste trabalho por meio das diferentes plataformas e com destaque ao CSRS-PPP forneceu resultados tão acurados quanto aos proporcionados pelo AUSPOS (método relativo), salientando-se mais uma vez que essa plataforma faz uso do Bernese GNSS v5.2.

Braga e Dal Poz (2019) empregaram o Software Bernese GNSS (BSW) - PPP e o serviço IBGE-PPP para processamento dos dados GNSS (24 h) coletados em 90 estações da RBMC. 97,78 % das acurácias planimétricas foram maiores que 0,20 m (média de 0,224 m). Essas acurácias estão relacionadas a não compatibilidade dos referenciais bem como a não consideração da evolução temporal das coordenadas entre a época 2017,16 para época 2000,40. Empregando-se a mudança do referencial IGS14 para SIRGAS2000 e redução da época das coordenadas para 2000,4 houve, em termos médios, uma melhora na acurácia planimétrica próximo a 14 vezes (0,024 m para 0,016 m).

Os resultados obtidos pelos autores corroboraram com os resultados encontrados por Albayrak, Erdoğan e Halil Erkaya (2020) que identificaram a proximidade entre os serviços (AUSPOS, OPUS, CSRS-PPP, Magic-PPP e GAPS-PPP) aos fornecidos pelo software Bernese v5.0. Isso mostra que os serviços são confiáveis para aplicações geodésicas que requerem coordenadas a nível do centímetro. Identificaram ainda que os serviços que fornecem solução com uso do método relativo forneceram melhores resultados em relação aos obtidos pelo PPP.

De Oliveira, Dal Poz e Almeida (2019) além de validarem a plataforma on-line para processamento e análise de dados GNSS denominada GNSS-UFV com base nos métodos relativo e por ponto preciso (PPP), concluíram que o sistema é promissor em função da similaridade dos resultados obtidos em relação aos serviços de posicionamento on-line IBGE-PPP e AUSPOS. O GNSS-UFV faz uso do software Bernese GNSS v.5.2, tal como o AUSPOS.

O AUSPOS e o OPUS restringem o processamento dos dados apenas em função da constelação GPS, já o IBGE-PPP e o CSRS-PPP permitem a utilização das observáveis dos sistemas GPS e GLONASS. Para o posicionamento ser executado apenas com uso de dados GPS foi realizado a edição dos arquivos no formato RINEX das observações GNSS (GPS+GLONASS) utilizadas neste trabalho. Porém, segundo Farah (2014), Ventorim e Dal Poz (2016) e Bolbol et al. (2017) o uso combinado das observações GPS e GLONASS traz benefícios em termos de acurácia posicional, entre outros. Contudo, nem sempre os serviços de processamento de dados GNSS possibilita o uso integrado das informações dos GPS+GLONASS entre outros sistemas, como o BeiDou e/ou o Galileo.

A versão 3 do software de processamento implementado no NRCan CSRS-PPP-v3 (SPARK v3) atualizada em 20/10/2020 possibilita determinar as coordenadas por ponto preciso (PPP) com resolução das ambiguidades (PPP-AR) para dados coletados a partir de 01/01/2018 e para dados coletados antes desta data continua sendo com uso dos produtos finais do IGS, mas sem resolução de ambiguidade (CGS, 2021). De

acordo com o CGS (2021) será possível obter acurácia a nível do milímetro com longas sessões de observação, modo estático, e de poucos centímetros para uma hora. Além disso, CSRS-PPP-v3 (PPP-AR) possibilitará obtenção de acurácia a nível do centímetro de forma mais rápida e melhoria na estimativa da componente E.

No experimento realizado neste trabalho foi possível observar melhoria na qualidade posicional a qual pode ser visualizada na Figura 2. As Figuras 2, 3 e 4 possuem informações que indicam a melhora da qualidade posicional com adoção da nova versão ou novo software adotado pelo CSRS-PPP em relação à adotada pelo IBGE-PPP (GPSPACE 1.05/11216).

Recomenda-se a realização de mais experimentos com uso das plataformas AUSPOS e OPUS que empregam o método de posicionamento relativo bem como o CSRS-PPP o qual faz uso da abordagem de posicionamento por ponto preciso com resolução de ambiguidades (PPP-AR), pois são serviços/plataformas de processamento de dados GNSS (GPS e/ou GPS+GLONASS) gratuitos, de fácil acesso/uso que fornecem resultados acurados. Além disso, essas plataformas (principalmente o OPUS) e a versão modernizada do CSRS-PPP foram pouco exploradas na determinação das coordenadas no Brasil.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Número do processo: 88882.377457/2019-01.

Contribuição dos Autores

A primeira autora foi responsável pela investigação, metodologia, curadoria dos dados, análise formal, software, validação, redação e edição do texto. O segundo autor foi responsável pela conceptualização, supervisão e análise formal. O terceiro autor foi responsável pela visualização e software. O quarto autor fez a leitura da primeira versão do texto.

Conflitos de Interesse

A autora e autores declaram que não há conflitos de interesse.

Referências

- ALBAYRAK, M.; ERDOĞAN, B.; ERKAYA, H. Performance analysis of web-based relative and precise point positioning techniques with different satellite visibility conditions. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 26, n. 1, 2020. DOI. 10.1590/s1982-21702020000100003
- ASTRONOMICAL INSTITUTE, UNIVERSITY OF BERN (AIUB). **Bernese GNSS Software Version 5.2** (Vol. I). Berna: Universidade de Berna. Disponível em: <<http://www.bernese.unibe.ch>>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE (FGDC). **Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy**. National Aeronautics and Space Administration: Virginia, NV, USA, 1998.
- BOLBOL, S.; ALI, A. H.; EL-SAYED, M. S.; ELBEAH, M. N. Performance evaluation of precise point positioning (PPP) using CSRS-PPP online service. **American Journal of Geographic Information System**, v. 6, n. 4, p. 156-167, 2017. DOI. 10.5923/j.ajgis.20170604.03
- BRAGA, F. L. S.; DAL POZ, W. R. Potencialidades do PPP no Software Bernese com Compatibilizações de Sistemas Geodésicos de Referência e de Tempo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 3, p. 726-755, 2019. DOI. 10.14393/rbcv71n3-47483
- BULBUL, S.; BILGEN, B.; INAL, C. The performance assessment of Precise Point Positioning (PPP) under various observation conditions. **Measurement**, v. 171, p. 108780, 2021. DOI. 10.1016/j.measurement.2020.108780

- CALDEIRA, M. C. O.; ALVES, D. B. M.; AGUIAR, C. R. Análise da Performance dos Mapas Ionosféricos na Geração de VRSS no Território Brasileiro. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 325-358, 2018. DOI. 10.14393/rbcv70n1-45258
- CARVALHO, A. S.; SILVA, J. A. D.; DAL POZ, W. R. Análise estatística do posicionamento relativo a partir do AUSPOS. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 1, p. 3-25, 2015. DOI. 10.1590/S1982-21702015000100002
- CIOCE, V. J. **Vinculación de redes GNSS de operación continua al marco de referencia SIRGAS**. 2015. 118 p. Trabajo de Ascenso para optar a la categoría de Profesor Asociado. Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geodesia Superior. Maracaibo, 2015.
- COSTA, S. M. A.; SILVA, A.; LIMA, M.; MOURA JÚNIOR, N. J.; 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, Curitiba. **Resumos...** Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná: UFPR. 2013. p. 1 – 1.
- CANADIAN GEODETIC SURVEY (CGS). **Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP) service**. Disponível em: < <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp-info.php?locale=en> > Acesso em: 08 junho. 2021
- DACH, R.; LUTZ, S.; WALSER, P.; FRIDEZ, P. **User Manual of the Bernese GNSS Software, Version 5.2**. Astronomical Institute, University of Bern, 2015. 884 p. ISBN 978-3-906813-05-9. Disponível em: <<http://www.bernese.unibe.ch/docs/DOCU52.pdf>>. DOI. 10.7892/boris.72297
- DE AGUIAR, C. R.; CAMARGO, P. O. Modelagem em tempo real do erro sistemático das observáveis GPS devido à ionosfera. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 12, n. 1, p. 101-120, 2006.
- DE OLIVEIRA, G. D.; DAL POZ, W. R.; ALMEIDA, M. S. Implementação de um sistema on-line para processamento de dados GNSS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 71, n. 2, p. 501-512, 2019. DOI. 10.14393/rbcv71n2-48184
- ESPINOZA, D. **Cálculo del retardo troposférico mediante la implementación rigurosa del posicionamiento de punto preciso**. 2017. 121. Monografía (Trabajo Especial de Grado) – Escuela de Ingeniería Geodésica, Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela, 2017.
- FARAH, A. Assessment study of static-PPP convergence behaviour using gps, glonass and mixed gps/glonass observations. **Artificial Satellites**, v. 49, n. 1, p. 55-61, 2014. DOI. 10.2478/arsa-2014-0005
- GENG, J.; MENG, X.; TEFERLE, F. N.; DODSON, A. Performance of precise point positioning with ambiguity resolution for 1-to 4-hour observation periods. **Survey Review**, v. 42, n. 316, p. 155-165, 2010. DOI. 10.1179/003962610X12572516251682
- GEOSCIENCE AUSTRALIA. **AUSPOS - Online GPS Processing Service**. Austrália, 2020. Disponível em: <http://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>. Acesso em: 20 mar. 2021.
- HU, G.; BROWN, N.; NANDO, N.; DAWSON, J.; HARRISON, C.; JIA, M. **Global Navigation Satellite Systems (GNSS) Activities at Geoscience Australia**. Geoscience Australia, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Padronização de Marcos Geodésicos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE-PPP: Serviço on-line para Pós-Processamento de dados GNSS**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020.
- INTERNATIONAL GNSS SERVICE (IGS). **Products derived from GNSS data**. Disponível em: < <http://www.igs.org/products> >. Acesso em: 2 mar. 2021.
- JAMIESON, M.; GILLINS, D. T. Comparative analysis of online static GNSS postprocessing services. **Journal of surveying engineering**, v. 144, n. 4, p. 05018002, 2018. DOI. 10.5772/intechopen.79924
- JANSSEN, V.; MCELROY, S. **Evaluating the Performance of AUSPOS Solutions in NSW**. 2020.
- MATEO, M. L.; MACKERN, M. V. Adjustment methodology in a regional densification of a terrestrial reference frame. **New approach of indoor and outdoor localization systems**, p. 27-44, 2012. DOI. 10.5772/50548

- NATURAL RESOURCES CANADA (NRCAN). **Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning (CSRS-PPP), home page**. Disponível em: < https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/sample_doc_filesV3/SUM_Description_en.txt > Acesso em: 11 abr. 2021.
- OCALAN, T. **GPS Precise Point Positioning (GPS-PPP) Technique Solutions In GNSS Networks**. 2015. Tese de Doutorado. PhD. Thesis, Yildiz Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences. DOI. 10.1590/s1982-21702020000100003
- OCALAN, T.; ERDOGAN, B.; TUNALIOGLU, N.; DURDAG, U. M. Accuracy investigation of PPP method versus relative positioning using different satellite ephemerides products near/under forest environment. **Earth sciences research journal**, v. 20, n. 4, p. 1-9, 2016. DOI. 10.15446/esrj.v20n4.59496
- RIZOS, C.; JANSSEN, V.; ROBERTS, C.; GRINTER, T. Precise Point Positioning: Is the era of differential GNSS positioning drawing to an end?. In: FIG WORKING WEEK 2012, 1, 2012, Roma. **Papers... DK-1780 Copenhagen V, DENMARK: International Federation of Surveyors**, 2012. p. 4 - 5.
- RIZOS, C. Surveying, Geodesy and Geodynamics. In: TEUNISSEN, P. J.G.; MONTENBRUCK, O. **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems**. 1. New York City: Springer International Publishing, 2017. p. 1011 – 1016. DOI. 10.1007/978-3-319-42928-1.
- SÁNCHEZ, L.; MARTÍNEZ, W. Ajuste SIRGAS de MAGNA 2011. **Reporte Técnico**. Disponível em: <<http://www.sirgas.org>, 2012>. Acesso em: 21 mai. 2021
- SISTEMA DE REFERENCIA GEOCÉNTRICO PARA LAS AMÉRICAS (SIRGAS). Disponível em: <<http://www.sirgas.org/es/sirgas-definicion/>>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- SOYCAN, M. A quality evaluation of precise point positioning within the Bernese GPS software version 5.0. **Arabian journal for science and engineering**, v. 37, n. 1, p. 147-162, 2012. DOI. 10.1007/s13369-011-0162-5
- WANG, G.; TURCO, M.; SOLER, T.; KEARNS, T. J.; WELCH, J. Comparisons of OPUS and PPP solutions for subsidence monitoring in the greater Houston area. **Journal of Surveying Engineering**, v. 143, n. 4, p. 05017005, 2017. DOI. 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000241
- YIGIT, C. O.; COSKUN, M. Z.; YAVASOGLU, H.; ARSLAN, A.; KALKAN, Y. The potential of GPS Precise Point Positioning method for point displacement monitoring: A case study. **Measurement**, v. 91, p. 398-404, 2016. DOI. 10.1016/j.measurement.2016.05.074
- YIGIT, C. O.; GURLEK, E. Experimental testing of high-rate GNSS precise point positioning (PPP) method for detecting dynamic vertical displacement response of engineering structures. **Geomatics, natural hazards and risk**, v. 8, n. 2, p. 893-904, 2017. DOI. 10.1080/19475705.2017.1284160

Biografia da autora principal



Raissa da Cruz Ferreira é natural de Belo Horizonte - Minas Gerais. Possui graduação em Engenharia Civil - Ênfase em Transportes pela Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF (2018). Atualmente é estudante de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes (PPGET) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EP-USP). Áreas de interesse: processamento de dados GNSS, Levantamentos Topográficos e Geodésicos.



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.