



## Controle de Qualidade na Remoção de *Outliers* para Melhoria da Estimativa do Atraso Instrumental de Receptores GNSS

### *Quality Control on Outliers Removal for Improvement of Estimation of Hardware delay of GNSS Receivers*

Caique Nilson do Nascimento Amaral<sup>1</sup>, Ivandro Klein<sup>2</sup> e Paulo Sérgio de Oliveira Júnior<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba, Brasil. [caiquenilson97@hotmail.com](mailto:caiquenilson97@hotmail.com).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2548-8319>

<sup>2</sup> Instituto Federal de Santa Catarina, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Santa Catarina, Brasil. [ivandroklein@gmail.com](mailto:ivandroklein@gmail.com)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4296-592X>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba, Brasil. [paulo.junior@ufpr.br](mailto:paulo.junior@ufpr.br)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7000-6924>

Recebido: 10.2021 | Aceito: 07.2022

**Resumo:** Com a abrangência das tecnologias espaciais, suas aplicações vêm sendo cada vez mais empregadas na sociedade partindo da necessidade de realizar o posicionamento de maneira acurada utilizando o GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Haja vista que a refração ionosférica é uma das principais fontes de erro no GNSS, sua correta modelagem é de extrema importância para a realização do posicionamento. O erro devido à esta refração nos sinais GNSS é proporcional ao TEC (*Total Electron Content*). Entretanto, para o cálculo do TEC a partir das observáveis GNSS, torna-se necessária a utilização dos valores da tendência instrumental do satélite e do receptor. Este efeito é resultante dos atrasos que o sinal GNSS sofre ao percorrer o hardware do satélite e do receptor. A estimativa dos efeitos instrumentais assim como sua devida correção no atraso ionosférico já vem sendo aplicada e se demonstrando eficaz, estudos onde são analisados o erro ionosférico sem a estimativa da tendência instrumental do receptor e comparada com erro ionosférico corrigido desta tendência, demonstram que a correção destes valores acarretou em diferença entre estações na casa dos decímetros onde antes era métrica. Porém, ainda se tem a necessidade de averiguar a presença de *outliers* nestes modelos implementados. Dito isto, o objetivo principal dessa pesquisa é realizar a aplicação o controle de qualidade por meio do método *Data Snooping* nas observáveis ionosféricas obtidas através do PPP com resolução de ambiguidades, visando aprimorar a estimativa dos valores de tendência instrumental do receptor e, conseqüentemente, a qualidade do posicionamento e navegação GNSS ao nível do usuário.

**Palavras-chave:** Tendência Instrumental. Controle de Qualidade. PPP.

**Abstract:** With the scope of space technologies, their applications have been increasingly used in society based on the need to accurately position them using the GNSS (Global Navigation Satellite System). Considering that the ionospheric refraction is one of the main sources of error in GNSS, its correct modeling is extremely important to carry out the positioning. The error due to this refraction in GNSS signals is proportional to the TEC (Total Electron Content). However, to calculate the TEC from the GNSS observables, it is necessary to use the values of the instrumental trend effect of the satellite and the receiver. This effect is the result of the delays that the GNSS signal undergoes when traveling through the satellite and receiver hardware. The estimation of instrumental effects as well as its proper correction in ionospheric delay has already been applied and has proven to be effective, studies where the ionospheric error is analyzed without the estimation of the instrumental tendency of the receiver and compared with ionospheric error corrected for this tendency, show that the correction of these values resulted in a difference between stations in the place of decimeters where it was metric before. However, there is still a need to investigate the presence of outliers in these implemented models. That said, the main objective of this research is to carry out the application of quality control through the Data Snooping method on the ionospheric observables obtained through the PPP with ambiguity resolution, aiming to improve the estimation of the instrumental tendency values of the receiver and, consequently, the quality of positioning and user-level GNSS navigation.

**Keywords:** Hardware Delay. Quality Control. PPP.

## 1 INTRODUÇÃO

As tecnologias de aquisição de dados espaciais são amplamente empregadas na sociedade atual. Tendo em vista a necessidade de realizar o posicionamento de maneira mais acurada, tornou-se recorrente a utilização do GNSS (*Global Navigation Satellite System*), termo este que engloba os sistemas globais de navegação com suas devidas infraestruturas espaciais e sistemas de aumento. Os dados transmitidos por este sistema estão suscetíveis a erros referentes aos satélites que formam este sistema ou a propagação do sinal dos mesmos para o satélite-receptor. Estes erros podem ser modelados, reduzidos ou eliminados variando de acordo com o método de posicionamento empregado ou da finalidade deste (SEEBER, 2003; MONICO, 2008).

Um dos métodos de posicionamento a partir do GNSS mais usuais atualmente é o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) podendo ser realizado em tempo real ou pós-processado. Tal método proporciona ao usuário acurácia centimétrica nas coordenadas, porém, se tem a necessidade de utilizar as informações de órbita e relógio dos satélites GNSS com alta precisão. Adicionalmente, a implementação de processos que minimizam os efeitos sistemáticos, tais efeitos como: troposfera, ionosfera, multicaminho, perdas de ciclo, atrasos de hardware, dentre outros (SEEBER, 2003; MONICO, 2008; HOFFMAN-WELLENHOF et al., 2008, ROCHA, 2014).

O PPP tem como base o conceito de SSR (*State Space Representation*) que utiliza uma rede de estações de referência provendo a cobertura de uma extensa área. A rede utilizada para estimativa de correções SSR irá habilitar a modelagem dos erros espacialmente correlacionados e, posteriormente, um serviço transmissão das correções para usuários via internet ou satélite pode ser adotado. Quando estas correções são geradas para emprego em tempo real (como correções de órbita e satélite) temos o que pode ser chamado de RT-PPP (*Real Time PPP*), recebendo dados do IGS (*International GNSS Service*) e seus demais centros de análise (KOUBA; HEROUX, 2001; OLIVEIRA JR; MONICO; MOREL, 2020).

A ionosfera é tomada como a principal fonte de erros sistemáticos no posicionamento pelo GNSS, sendo responsável por diversas anomalias e degradações nos sinais eletromagnéticos dos satélites GNSS (CAMARGO, 1999; SEEBER, 2003). Para os efeitos de primeira ordem, a magnitude do erro nos sinais GNSS referente ao efeito ionosférico é inversamente proporcional ao quadrado da frequência e proporcional ao TEC (*Total Electron Content*). O TEC representa a quantidade de elétrons contidos em uma coluna que se estende desde o satélite até o receptor. Os efeitos ionosféricos variam de acordo com a hora local do dia, sazonalidade, ciclo solar, localidade geográfica, dentre outros (LEICK, RAPOPORT, TATARNIKOV 1995; CAMARGO, 1999). Contudo, o TEC não é obtido de maneira direta pelas observações GNSS, sendo possível estimá-lo a partir da diferença entre sinais de frequências distintas. Isso devido ao caráter dispersivo da ionosfera e o índice de refração diferente para cada onda de rádio ou sinal GNSS (HONG, 2007; ARIKAN et al., 2008).

Além dos efeitos já citados, o TEC obtido via observáveis GNSS é acompanhado do erro entre as frequências (IFB - *Inter-Frequency Bias*), gerado pelos diferentes atrasos de hardware nas diferentes portadoras. Um exemplo deste efeito é a tendência diferencial do código (DCB – *Differential Code Bias*), como o próprio nome já sugere, a diferença de atrasos trata-se de um efeito instrumental referente ao atraso no código das portadoras (HONG, 2007; ARIKAN et al., 2008, PROL; CAMARGO, 2014).

Nos últimos anos, foram desenvolvidas técnicas para fixar as ambiguidades, presentes nas medidas de fase da onda portadora, para valores inteiros no PPP. Isso permite redução do tempo de convergência e melhora a acurácia posicional nos instantes iniciais do rastreo. Nessas pesquisas as ambiguidades solucionadas a partir da combinação *ion-free* não são utilizadas, ao invés destas são usadas as combinações *Wide-Lane* (WL) e *Narrow-Lane* (NL). Dessa forma, o tempo de convergência da solução é reduzido em cerca de 90% quando as ambiguidades são fixadas. Tais fatores se tornaram essenciais para estimação dos UPDs (*Uncalibrated Phase Delays*) (GABOR; NEREM, 1999; FENG et al, 2013; GE et al., 2008; BERTIGER et al., 2010; LI; ZANG, 2012).

Dada a importância no contexto de solução das ambiguidades, o entendimento e mitigação do efeito dos atrasos instrumentais vem tomando cada vez mais seu espaço na literatura GNSS. Alguns métodos para estimativa das tendências diferenciais podem ser citados como a utilização dos mapas globais da ionosfera, Simples Diferença no Posicionamento Relativo (CAMARGO, ARANA, PEREIRA, 2012), Estimativa da tendência instrumental por média aritmética (PROL; CAMARGO, 2014), utilizando mais de uma estação nas

duplas diferenças no GNSS (SARDON, RUIS, ZARRAOA, 1994; MAKELA et al., 2001; HERNANDEZ-PAJARES et al., 2004), mínimos quadrados para estimar atraso instrumental a partir de uma estação (LANYI; ROTH, 1988; COCO et al., 1991; JAKOWSKI et al., 1996; KEE; YUN, 2002; OTSUKA et al., 2002) dentre outros.

Um procedimento para estimar este efeito instrumental (do satélite e do receptor) foi implementado por Otsuka et al. (2002), utilizando as observáveis ionosféricas obtidas a partir da combinação livre de geometria (*geometry-free*) em conjunto das pseudodistâncias suavizadas pela onda portadora. Com base nisso Oliveira Jr., Monico e Morel (2020), implementaram este mesmo procedimento, porém ao invés de utilizar as observáveis ionosféricas provenientes da *geometry-free* foram empregadas as observáveis ionosféricas provenientes do PPP com solução de ambiguidade (PPP-AR) geradas através do software PPP-WIZARD (*PPP – With Integer and Zero-difference Ambiguity Resolution Demonstrator*).

Na obra de Oliveira Jr., Monico e Morel (2020), onde foi analisado o erro ionosférico sem a estimativa da tendência instrumental do receptor, foi notado que o erro ionosférico estimado no PPP-RTK (i.e., PPP em tempo real com fixação das ambiguidades) está enviesado (contaminado) pelo erro instrumental, então como se trata de uma observável ionosférica, posteriormente a mesma foi comparada com o atraso ionosférico obtido através da correção desta tendência presente nas observáveis ionosféricas.

A correção destes valores de tendência acarretam em diferenças entre os atrasos ionosféricos estimados para estações próximas (linhas de base inferiores a 1 km) da ordem de decímetros as quais antes da correção das tendências de hardware apresentavam discrepâncias métricas. Apesar disso, cada estação analisada na obra possuía dezenas de milhares de observações, ou seja, se tratando uma quantidade extensa de observações no modelo, há uma possibilidade de uma porcentagem destes dados estarem contaminados por erros de larga magnitude, por isso ainda se tem a oportunidade de verificar a presença de outliers no conjunto de dados utilizados para a estimativa do atraso instrumental.

Dentre os vários métodos para identificação de outliers propostos na literatura, o Data Snooping proposto por Baarda em 1968 permanece como o método mais aplicado na Geodésia, por isso este será adotado neste trabalho. Dito isto, a aplicação de uma técnica para realizar o controle de qualidade das observáveis nesta modelagem já implementada se torna essencial, pois com a possível remoção de outliers os dados serão mais confiáveis quando utilizados para estimativa do atraso instrumental e conseqüentemente resultarão em posicionamento de maior acurácia.

## 1.1 Influência da tendência instrumental

A metodologia aplicada foi fundamentada a partir da estimativa proposta por Otsuka et al. (2002), onde eram utilizadas observáveis extraídas a partir da combinação *geometry-free*, essa metodologia foi adaptada por Oliveira Jr., Monico e Morel (2020), substituindo estas observáveis pelas observáveis obtidas através do PPP-AR que são estimadas no software PPP-WIZARD. Detalhes sobre como as observáveis ionosféricas, (i.e. atraso ionosférico viesado pela tendência instrumental) são estimadas como parâmetros no PPP com o programa PPP-WIZARD podem ser encontrados em Laurichesse (2008). Vale ressaltar que no PPP-WIZARD se estima o efeito ionosférico, assim como outro parâmetro qualquer no posicionamento GNSS, como, por exemplo a componente residual para o atraso zenital troposférico (ZTD). Porém no caso do efeito ionosférico tem-se um parâmetro estimado na direção inclinada receptor-satélite, sendo 1 parâmetro para cada satélite

Se tratando de posicionamento preciso utilizando o GNSS e para estimação precisa do TEC, os efeitos relativos ao atraso instrumental devem ser removidos. estes efeitos são decorrentes aos atrasos na propagação do sinal causados pelos hardwares do satélite e do receptor, as portadoras percorrem por estes componentes com velocidades distintas, então o código é demodulado, para obter essa tendência é necessário realizar a combinação entre as portadoras (ARIKAN et al., 2008; HONG, 2007; PROL; CAMARGO, 2014). Sabe-se também que estes valores não são fixos, pois apresentam valores diferentes para cada satélite e receptor, variando com o tempo e também com a localização geográfica (CORDEIRO, 2019). A tendência diferencial dos códigos P1 e P2, por exemplo, para satélite e receptor, pode ser dada por:

$$\Delta b_p^S = b_{P_2}^S - b_{P_1}^S, \tag{1}$$

$$\Delta b_{r,P} = b_{r,P_2} - b_{r,P_1} \tag{2}$$

Onde, b representa o tempo de propagação no hardware dos equipamentos, s e r são os índices relativos ao satélite e ao receptor, respectivamente, e P é referente às observações de código da pseudodistância em um determinado código (a exemplo P1 e P2) (HONG, 2007).

O atraso do sinal GNSS decorrente da tendência diferencial do código (DCB) é considerado um efeito relativo de hardware proveniente da diferença entre o código L2 e L1. Ou seja, a estimativa destes valores de DCB são uma parte significativa na modelagem ionosférica a partir de dados GNSS quando utilizada as observáveis provenientes da geometry-free. Porém, para se obter uma melhor acurácia no posicionamento, tratando-se de PPP em tempo real e pós-processado, tem que ser mitigado o atraso instrumental absoluto e relacionado a fase para correta fixação das ambiguidades (HONG, 2007; CORDEIRO, 2019).

Para estimativa da tendência instrumental absoluta Oliveira Jr., Monico e Morel (2020) adotaram uma estratégia que foi adaptada de Otsuka et al. (2002), onde são utilizadas como entrada, as observáveis ionosféricas obtidas através do PPP com solução das ambiguidades (PPP-AR), estimadas através do software PPP-WIZARD, ao invés das observáveis do código da combinação geometry-free. O valor mais próximo da realidade do TEC pode ser atingido com a correção da tendência instrumental do satélite e do receptor ( $b_r^S$ ) em dada portadora, onde a observável ionosférica em um instante t pode ser obtida por:

$$I_r^S(t) = TEC_r^S(t) + b_r^S \tag{3}$$

$$TEC_r^S(t) = S(e^S(t))VTEC_r^S(t) \tag{4}$$

A equação 5 apresenta a função de mapeamento usada para transformar o TEC inclinado em VTEC, esta é dada em relação ao ângulo de elevação dos satélites ( $e^S$ ), onde (OLIVEIRA JR.; MONICO; MOREL, 2020):

$$S(e^S(t)) = \frac{1}{\cos \left\{ \arcsin \left[ \frac{R}{R+h} \cos(e^S) \right] \right\}} \tag{5}$$

Essa função básica do mapeamento considera a ionosfera como uma camada infinitesimal com altitude h de 400 km assim como o raio da terra R, com isso, a observável ionosférica pode ser reescrita por:

$$I_r^S(t) = S(e^S(t))VTEC_r^S(t) + b_r^S \tag{6}$$

Apenas as observáveis ionosféricas de satélites com ângulos de elevação superiores a 30° foram utilizadas, reduzindo assim, inconsistências relacionadas com a incorreta modelagem da função, assim como as medidas afetadas pelo multicaminho (OLIVEIRA JR.; MONICO; MOREL, 2020). O método implementado estima por meio do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) as médias horárias de VTEC utilizando as observáveis ionosféricas de um único receptor, as tendências instrumentais são estimadas como um parâmetro adicional do modelo. Com isso, essa média horária para o VTEC pode ser dada por (OLIVEIRA JR., MONICO E MOREL, 2020):

$$\overline{I_k/S(e_k^S)} = \overline{VTEC_k} + \overline{I/S(e_k^S)} b_r^S \tag{7}$$

Onde, k é o número de horas envolvida na estimação do processo e s o número de satélites que foram rastreados. A média horária no cálculo do VTEC é tomada como uniforme para uma camada com cerca de 1000 km na camada ionosférica, visando minimizar os erros desta hipótese, Oliveira Jr. Monico e Morel (2020) modificaram este método implementado por Otsuka et al (2002), estimando assim os coeficientes horários para o plano ao invés de uma única média para o VTEC, considerando assim a variabilidade espacial dos efeitos ionosféricos. O parâmetro VTEC horário na equação 7 pode ser reescrito com os seguintes coeficientes:

$$\overline{VTEC}_k = \alpha_{0k} \overline{\Delta\varphi/S(e_k^s)} + \alpha_{1k} \overline{\Delta\lambda/S(e_k^s)} + \alpha_{2k} \overline{1/S(e_k^s)} \tag{8}$$

Na equação 8,  $\Delta\varphi = \varphi_{IPP} - \varphi_r$  e  $\Delta\lambda = \lambda_{IPP} - \lambda_r$ , são as diferenças entre o ponto de entrada da ionosfera (*Ionospheric Piercing Point – IPP*) para latitude ( $\varphi_{IPP}$ ) e longitude ( $\lambda_{IPP}$ ) em relação a posição do receptor ( $\varphi_r$  e  $\lambda_r$ ). a tendência instrumental dos satélites é utilizada como dado de entrada para o PPP-AR, cabendo ressaltar que esses atrasos não possuem natureza absoluta por conta de estratégia adotada para sua estimação. Contudo, isso não afeta as observáveis ionosféricas calculadas por este método. Sendo assim, a diferença da técnica implementada por Oliveira JR, Monico e Morel (2020) para Otsuka et al (2002) é a estimação da tendência em função ao receptor ( $b_r$ ) ao invés do conjunto satélite receptor ( $b_r^s$ ). Por isso, considerando o ajustamento, o número de observações se torna bem maior que o número de parâmetros, onde estes parâmetros podem ser estimados minimizando a soma do quadrado dos resíduos por (OLIVEIRA JR., MONICO E MOREL, 2020):

$$E = \sum_i^{N_S} \sum_k^{N_S} W_k^i [I_k/S(e_k^i) - \overline{VTEC}_k + \overline{1/S(e_k^i)} b_r]^2 \tag{9}$$

Onde,  $W_k^i$  representa a matriz dos pesos, para reduzir os erros causados pela função de mapeamento, assim como a variação espacial das observações ionosféricas baseadas no PPP-AR,  $W_k^i$  é dado pelo inverso do fator inclinado ( $1/S(e_k^i) b_r$ ). Assim que a tendência br é estimada, ela é introduzida novamente na equação 7 para assim obter o valor final do atraso ionosférico.

### 1.2 Controle de Qualidade das Observações

Segundo Lehman (2012), o modelo estatístico mais adotado para identificar outliers em dados geodésicos é o Data Snooping (DS) proposto por Baarda (1968). Neste método, se assume que os erros aleatórios não apresentam tendência, e, portanto, para cada i-ésima observação ( $y_i$ ) do vetor das observações ( $y$ ), as seguintes hipóteses podem ser formuladas (BAARDA, 1968):

$$\begin{aligned} H_0: E\{y\} &= A\delta x \\ H_A: E\{y\} &= A\delta x + c_i \nabla_i; \nabla_i \neq 0 \end{aligned} \tag{10}$$

Onde, na equação 8  $c_i$  é um vetor unitário de dimensão  $n \times 1$  que contém a unidade na linha da i-ésima observação testada e zero as demais, e  $\nabla_i$  é um possível erro grosseiro nesta mesma observação testada. Com isso, para hipótese nula ( $H_0$ ), assume-se que somente erros aleatórios contaminam o vetor das observações, enquanto na hipótese alternativa ( $H_A$ ), assume-se que o vetor das observações está contaminado com erro grosseiro na i-ésima observação (KLEIN, 2011).

Assim que as hipóteses forem formuladas, pode-se definir a estatística de teste que é dada em função dos resíduos. Essa estatística possibilita a decisão sobre rejeição ou aceitação das hipóteses. A estatística de teste de cada observação é dada por (BAARDA, 1968):

$$w_i = \frac{c_i^T W \hat{v}}{\sqrt{c_i^T W \Sigma_{\hat{v}} W c_i}} \tag{11}$$

Onde,  $\hat{v}$  é o vetor dos resíduos ajustados;  $W$  é a matriz peso das observações;  $\Sigma_{\hat{v}}$  é a MVC (Matriz de Variância e Covariância) dos resíduos ajustados. Quando as observações não possuem correlação, a matriz dos pesos será diagonal a estatística de teste  $w_i$  será dada por (BAARDA, 1968):

$$w_i = \bar{v}_i = \frac{\hat{v}_i}{\sigma_{\hat{v}_i}} \sim N(0,1) \tag{12}$$

Ou seja, no caso na matriz  $W$  diagonal, a estatística de teste do DS será o “resíduo padronizado” da

observação, ou seja, o resíduo da *i*-ésima observação dividido pelo seu respectivo desvio padrão. Neste caso, o DS pode ser considerado como uma generalização da regra dos três sigmas. Na prática, não se sabe a priori qual observação pode estar contaminada, ou seja, todas são testadas individualmente por meio de suas estatísticas de teste. Desta forma, a hipótese nula será rejeitada, caso a estatística de teste máxima (em módulo) for maior que o valor crítico do teste  $c\alpha_{0/2}$  (BAARDA, 1968; TEUNISSEN, 2003; KLEIN, 2011):

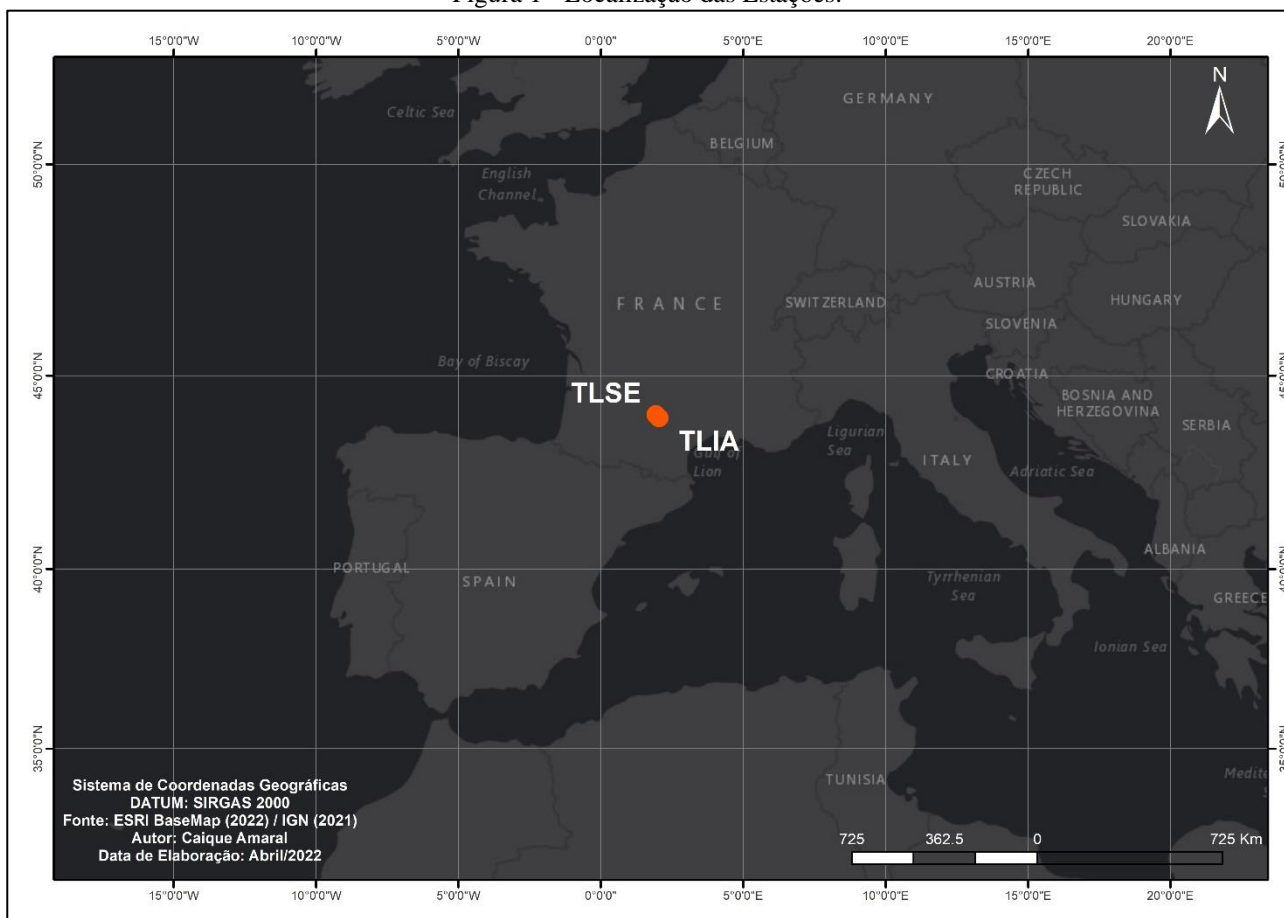
$$\text{Rejeitar } H_0 \text{ se: } \max|w_i| > |c\alpha_{0/2}| \tag{13}$$

Onde  $c\alpha_{0/2}$  é o valor crítico na distribuição normal padrão para um teste bi-caudal, uma vez que não se conhece a priori o sinal (positivo ou negativo) do outlier. Caso a hipótese nula seja rejeitada, a observação relativa a máxima estatística de teste ( $\max|w_i|$ ) é excluída do ajustamento e o procedimento é realizado novamente em um processo iterativo até não haver mais nenhum outlier identificado nas observações. Mais detalhes podem ser obtidos em Klein (2011).

## 2 METODOLOGIA

Neste trabalho, para a estimativa dos valores de tendência instrumental foi utilizada a metodologia implementada por Oliveira Jr., Monico e Morel (2020) utilizando dados das estações TLIA e TLSE, pertencentes a rede GNSS francesa denominada RGP (*Réseau GNSS Permanent*) onde a taxa de amostragem dos dados disponíveis para download é de 1 segundo. A Figura 1 apresenta a localização destas estações. Os pares de estações selecionadas são separados com uma distância de 87,13 m também é interessante notar que os modelos de receptores/antenas são distintos, os quais são apresentados na Tabela 1. Ao todo foram utilizados dados de 30 dias do mês de março a abril de 2018 de acordo com a disponibilidade (dia 61 a 100, com exceção do dia 67 que não possuía dados disponíveis).

Figura 1 - Localização das Estações.



Elaboração: Os Autores (2022).

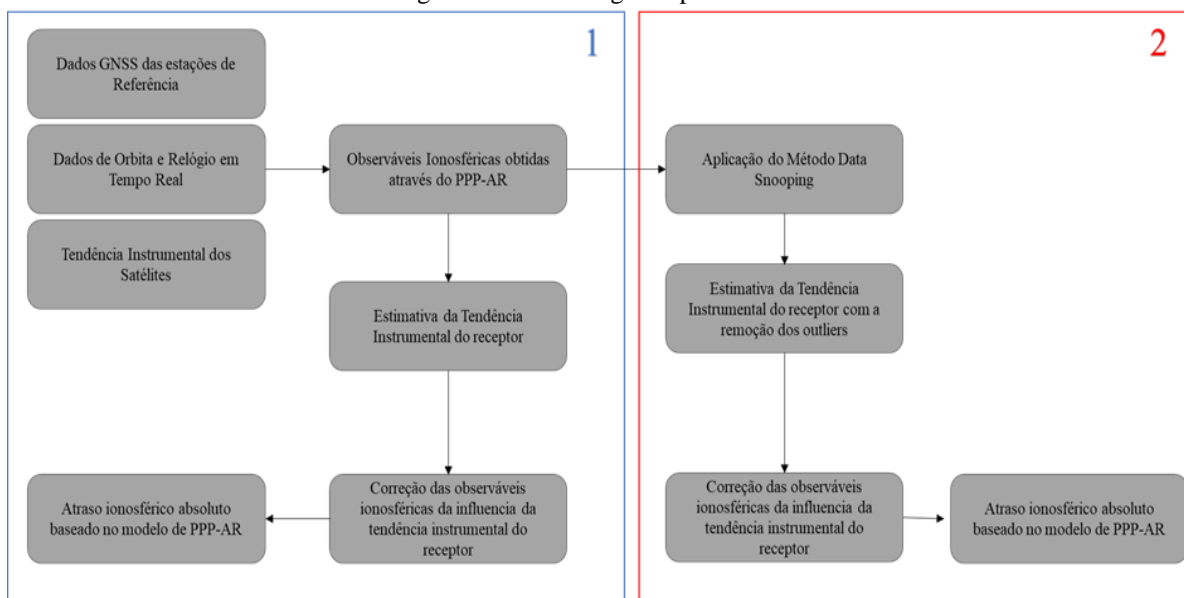
Tabela 1 - Estações Utilizadas.

| Estação | Receptor           | Antena           |
|---------|--------------------|------------------|
| TLIA    | LEICA GRX1200GGPRO | LEIAR25 LEIT     |
| TLSE    | TRIMBLE NETR9      | TRM59800.00 NONE |

Fonte: Adaptada de Oliveira Jr (2020).

O método para cálculo dos valores de tendência instrumental foi o mesmo utilizado em Oliveira JR, Monico e Morel (2020), porém com adição do procedimento do DS para exclusão de outliers presentes nas observáveis de entrada no modelo implementado. Com isso o fluxo de trabalho representado pela Figura 2 expressa as duas etapas que foram adotadas na implantação deste trabalho.

Figura 2 - Metodologia Implementada.



Elaboração: Os Autores (2022).

De posse do fluxograma de etapas apresentado, foram obtidos dois cenários, o primeiro resultou na estimativa dos valores da tendência instrumental para o receptor obtidos por meio do PPP-AR, assim como o valor do atraso ionosférico corrigido de tais valores para as estações em análise. No segundo cenário, tem-se a aplicação do procedimento *Data Snooping* para exclusão de outliers no modelo inicial já implementado, conforme apresentado no tópico 2.3 deste trabalho. Sendo assim, é estimado um novo valor para as tendências de hardware do receptor onde os mesmos poderão ser aplicados no cálculo do atraso ionosférico, por meio da remoção das tendências instrumentais presentes nas observáveis ionosféricas.

O vetor de observações (L) de entrada para realizar o ajustamento é representado pelas observáveis ionosféricas calculadas a partir da equação 6, ressaltando que a mesma leva em consideração o fator de inclinação S e utiliza apenas satélites com ângulos de elevação superior a 30° para redução de demais erros não modelados.

A matriz *design* (A) relaciona as observações com os respectivos parâmetros, como nesta estimativa são utilizadas as variações de IPP em relação à respectiva posição da antena/receptor do usuário. Dessa forma, o modelo de equações se torna linear. Por fim, assim como o vetor das observações a matriz dos pesos (W) também é montada em função do ângulo de elevação dos satélites citados na equação 9, bem como na obra original de Otsuka et al (2002).

Foi implementada uma rotina no software *Matlab* onde foram gerados os valores de tendência instrumental para cada uma das estações nos respectivos dias estipulados, para cada dia processado, utilizando os valores obtidos através do PPP-AR, de acordo com a estratégia adotada por Oliveira Jr., Monico e Morel (2020). Posteriormente, foram calculados os valores do atraso ionosférico diário para ambas estações, em seguida estes foram corrigidos com os valores da tendência instrumental calculados anteriormente.

A partir das observáveis utilizadas, foram extraídas a matriz design, a matriz dos pesos e o vetor das observações, com isso foi possível realizar o procedimento do DS, gerando assim, valores de tendência

corrigidas de outliers, assim como no procedimento anterior, estes novos valores com o controle de qualidade foram usados para corrigir o atraso ionosférico das estações de análise.

Os valores calculados para tendência instrumental em cada cenário utilizado, sem e com CQ, foram comparados com a finalidade de verificar a estabilidade ao longo dos dias analisados. De posse destes dois cenários, os dados de atraso ionosférico corrigidos da tendência instrumental foram comparados. Como a linha de base entre os receptores é curta, a diferença nos atrasos deve ser o menor possível, então supõe-se que o método que apresentou as menores discrepâncias será o mais eficiente.

### 3 RESULTADOS

Este trabalho propõe utilizar o controle de qualidade para melhoria na estimativa de valores de tendência instrumental do receptor utilizando o método Data Snooping (DS). Lembrando que o objetivo deste método é a melhoria dos dados de entrada a partir da exclusão de outliers presentes nas observações. A estimativa destes valores de tendência instrumental se deu a partir da metodologia utilizada por Oliveira Jr, Monico e Morel (2020) onde foi feita a adaptação do procedimento implementado por Otsuka et al. (2002) utilizando observáveis ionosféricas obtidas através do PPP-AR ao invés de valores obtidos pela combinação *geometry-free*. Cabe ressaltar que neste trabalho serão apresentados dois cenários que foram mencionados na Figura 2, o primeiro obtendo resultados sem a aplicação do controle de qualidade e o segundo com a aplicação do DS. Para execução deste trabalho foram utilizados os dados de 30 dias no ano de 2018 provenientes de dois pares de receptores GNSS localizados na França (estações TLIA, TLSE). Os valores de atraso instrumental calculado antes e depois da aplicação do DS para as estações citadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores do atraso instrumental sem e com a aplicação do DS.

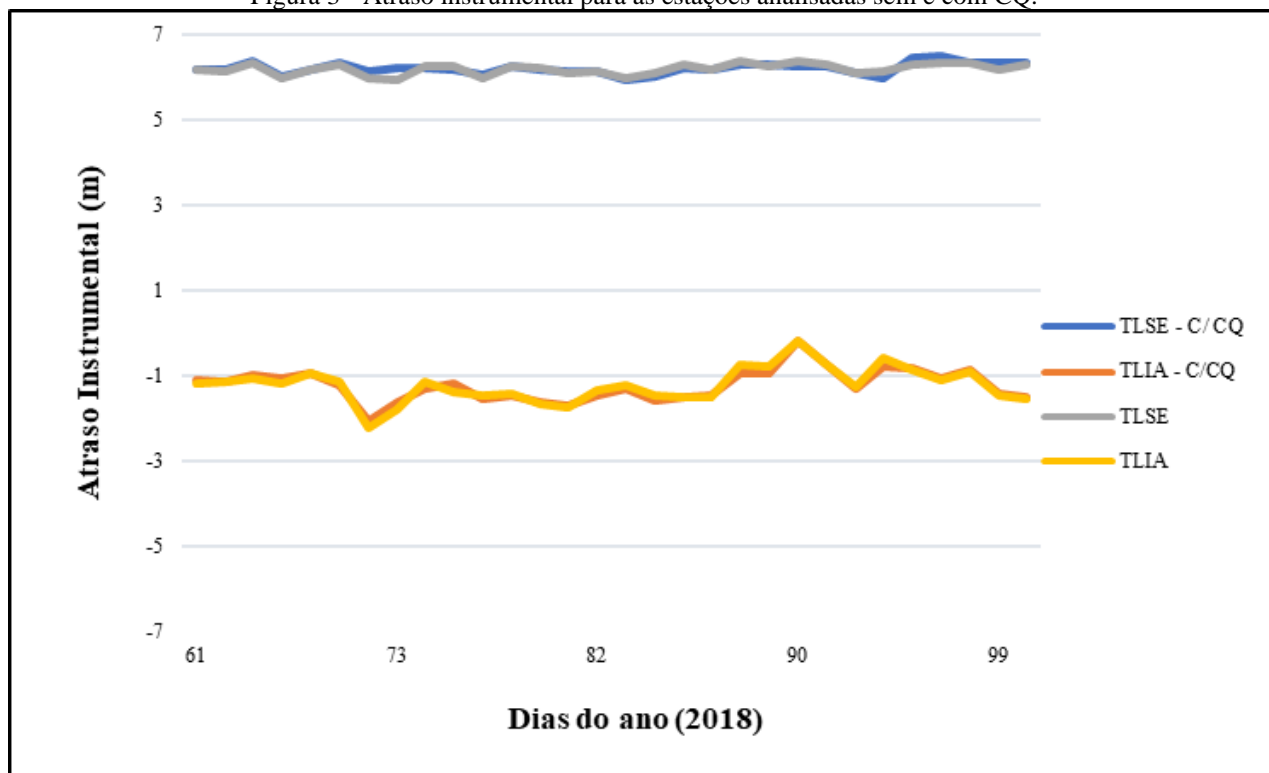
| Dias                          | S/ CQ         |               | C/ CQ         |               |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | KAWE (m)      | MAYG (m)      | TLSE (m)      | TLIA (m)      |
| 61                            | -5,958        | 3,870         | 6,186         | -1,088        |
| 62                            | -6,012        | 3,719         | 6,209         | -1,131        |
| 64                            | -5,912        | 4,157         | 6,380         | -0,988        |
| 65                            | -6,280        | 3,441         | 6,029         | -1,065        |
| 66                            | -5,259        | 3,701         | 6,202         | -0,947        |
| 68                            | -5,274        | 3,800         | 6,364         | -1,237        |
| 70                            | -5,391        | 3,883         | 6,143         | -2,054        |
| 73                            | -6,164        | 3,218         | 6,212         | -1,623        |
| 75                            | -5,249        | 4,040         | 6,221         | -1,288        |
| 76                            | -5,993        | 2,557         | 6,195         | -1,187        |
| 77                            | -5,768        | 3,221         | 6,089         | -1,534        |
| 78                            | -5,826        | 3,365         | 6,262         | -1,476        |
| 79                            | -6,217        | 3,140         | 6,199         | -1,598        |
| 80                            | -5,945        | 3,503         | 6,168         | -1,685        |
| 82                            | -5,872        | 3,447         | 6,170         | -1,439        |
| 83                            | -6,336        | 3,437         | 5,963         | -1,299        |
| 84                            | -5,469        | 3,638         | 6,050         | -1,569        |
| 85                            | -5,998        | 3,659         | 6,235         | -1,480        |
| 86                            | -6,589        | 3,003         | 6,203         | -1,473        |
| 87                            | -5,668        | 3,842         | 6,316         | -0,946        |
| 89                            | -5,741        | 3,768         | 6,331         | -0,929        |
| 90                            | -6,091        | 3,359         | 6,282         | -0,186        |
| 91                            | -5,847        | 4,155         | 6,266         | -0,753        |
| 92                            | -5,634        | 4,008         | 6,110         | -1,306        |
| 93                            | -5,382        | 4,218         | 6,002         | -0,757        |
| 94                            | -5,499        | 4,158         | 6,466         | -0,817        |
| 96                            | -5,534        | 4,326         | 6,512         | -1,072        |
| 97                            | -5,501        | 3,763         | 6,340         | -0,868        |
| 99                            | -5,906        | 4,415         | 6,340         | -1,410        |
| 100                           | -5,606        | 3,917         | 6,354         | -1,509        |
| <b><math>\sigma</math>(m)</b> | <b>0,3420</b> | <b>0,4232</b> | <b>0,1299</b> | <b>0,3700</b> |

Elaboração: Os Autores (2022).



Conforme exposto na Tabela 2, os valores do atraso instrumental com e sem o CQ para todas as estações apresentaram desvio padrão abaixo dos 50 cm. Além disso, o menor valor de desvio padrão foi aquele obtido para estação TLSE com CQ com aproximadamente 10 cm. verificando cada estação pode-se notar uma redução de 20 cm para TLSE e 5 cm para TLIA. Como a variabilidade diária destes valores tende a ser constante, a Figura 3 ilustra a variação destes valores em função do período analisado.

Figura 3 - Atraso instrumental para as estações analisadas sem e com CQ.



Elaboração: Os Autores (2022).

Como exposto na Tabela 1, ressalta-se que as estações possuem fabricantes e modelos de receptores e antenas e cabamentos diferentes, por isso o atraso instrumental de cada uma não será o mesmo. Para melhor representar a constância e estabilidade dos dados calculados, a Tabela 3 apresenta os valores percentuais de variação diária para as estações nos dois cenários apresentados.

Tabela 3 - Porcentagem de variação diária do atraso instrumental.

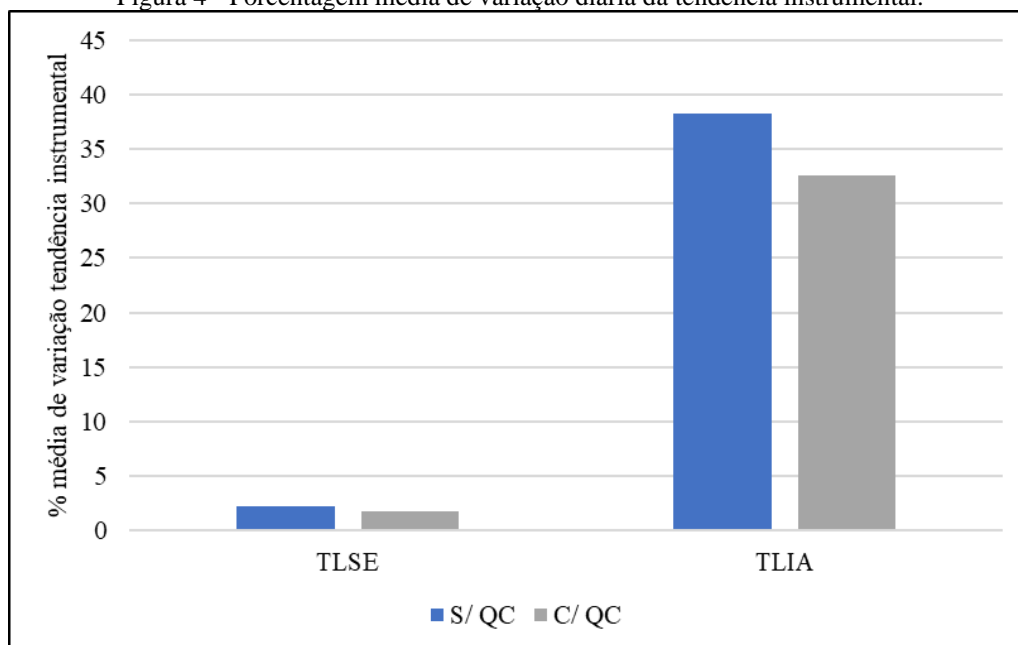
| Dias  | s/ Controle de Qualidade |        | c/ Controle de Qualidade |        |
|-------|--------------------------|--------|--------------------------|--------|
|       | TLSE                     | TLIA   | TLSE                     | TLIA   |
| 61-62 | 0,57%                    | 2,24%  | 0,37%                    | 3,92%  |
| 62-64 | 3,14%                    | 7,20%  | 2,74%                    | 12,61% |
| 64-65 | 5,63%                    | 8,74%  | 5,50%                    | 7,82%  |
| 65-66 | 3,24%                    | 18,29% | 2,88%                    | 11,14% |
| 66-68 | 1,83%                    | 19,33% | 2,60%                    | 30,64% |
| 68-69 | 4,63%                    | 93,81% | 3,47%                    | 66,08% |
| 69-70 | 1,09%                    | 18,42% | 1,14%                    | 20,97% |
| 70-73 | 5,67%                    | 36,44% | 0,14%                    | 20,65% |
| 73-75 | 0,07%                    | 21,69% | 0,41%                    | 7,89%  |
| 75-76 | 4,67%                    | 4,67%  | 1,71%                    | 29,29% |
| 76-77 | 4,66%                    | 3,61%  | 2,84%                    | 3,77%  |
| 77-78 | 0,83%                    | 19,07% | 1,00%                    | 8,25%  |
| 78-79 | 1,62%                    | 3,91%  | 0,50%                    | 5,46%  |
| 79-80 | 0,83%                    | 22,25% | 0,02%                    | 14,64% |
| 80-82 | 2,62%                    | 10,11% | 3,35%                    | 9,68%  |
| 83-84 | 1,75%                    | 21,81% | 1,46%                    | 20,76% |
| 84-85 | 3,14%                    | 0,56%  | 3,05%                    | 5,69%  |
| 85-86 | 1,97%                    | 1,09%  | 0,51%                    | 0,49%  |

| Dias         | s/ Controle de Qualidade |              | s/ Controle de Qualidade |              |
|--------------|--------------------------|--------------|--------------------------|--------------|
|              | TLSE                     | TLIA         | TLSE                     | TLIA         |
| 86-87        | 3,62%                    | 49,86%       | 1,83%                    | 35,75%       |
| 87-89        | 2,00%                    | 3,49%        | 0,23%                    | 1,83%        |
| 89-90        | 1,86%                    | 79,66%       | 0,76%                    | 79,94%       |
| 90-91        | 1,37%                    | 367,24%      | 0,25%                    | 303,97%      |
| 91-92        | 2,86%                    | 71,80%       | 2,49%                    | 73,49%       |
| 92-93        | 0,69%                    | 55,50%       | 1,78%                    | 42,06%       |
| 93-94        | 2,39%                    | 48,50%       | 7,74%                    | 8,00%        |
| 94-96        | 0,29%                    | 32,18%       | 0,71%                    | 31,15%       |
| 96-97        | 0,48%                    | 19,20%       | 2,64%                    | 18,96%       |
| 97-99        | 2,58%                    | 62,60%       | 0,00%                    | 62,35%       |
| 99-100       | 1,97%                    | 4,50%        | 0,22%                    | 7,04%        |
| <b>Média</b> | <b>2,3%</b>              | <b>38,2%</b> | <b>1,8%</b>              | <b>32,6%</b> |

Elaboração: Os Autores (2022).

As relações apresentadas na Figura 3 se tornam mais aparentes analisando cada dia. As porcentagens são referentes a variação dos valores absolutos calculados para o atraso instrumental. Com isso, os valores presentes na tabela 3 são referentes a variação do valor em relação ao dia anterior de análise. A Figura 4 expressa graficamente essas relações.

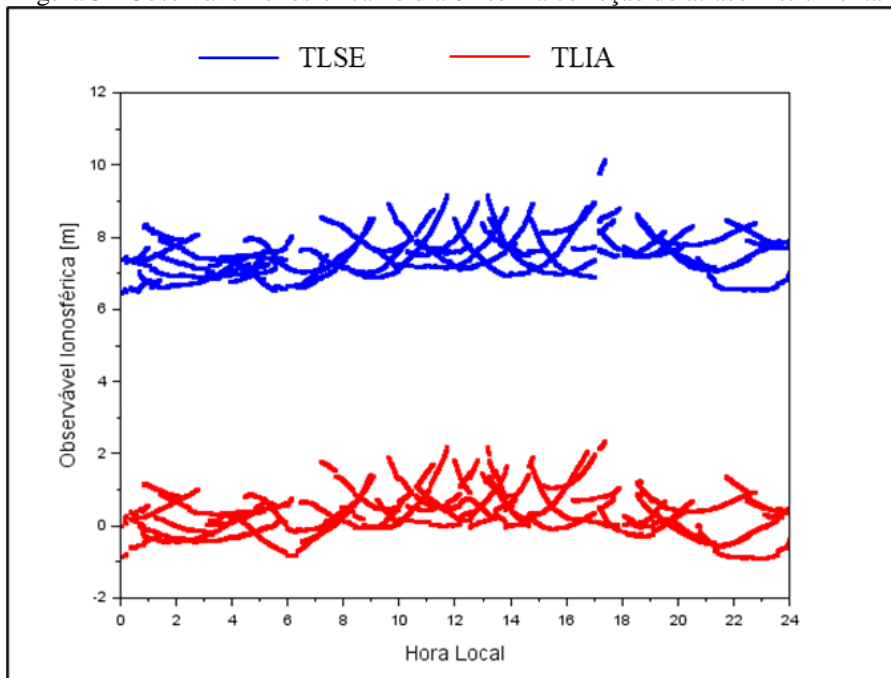
Figura 4 - Porcentagem média de variação diária da tendência instrumental.



Elaboração: Os Autores (2022).

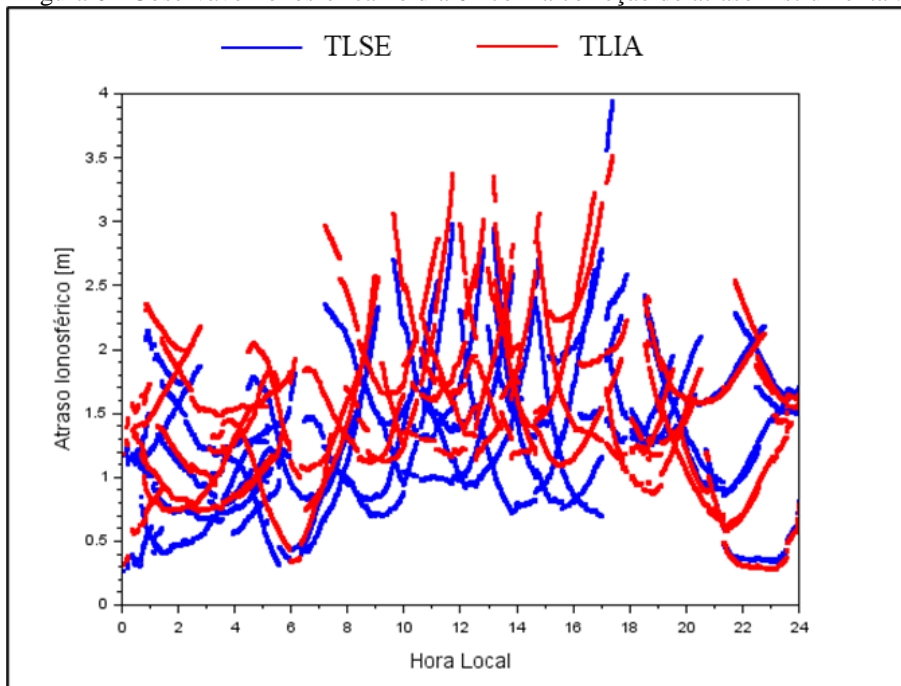
A partir deste ponto foram calculadas as observáveis ionosféricas, que são os valores sem correção do atraso instrumental (conforme citado na equação 9) relativas a cada par de estações analisadas. Os pares foram agrupados pois possuem distâncias curtas entre eles, logo, as estações estariam sobre as mesmas condições atmosféricas. No entanto as figuras anteriores demonstram que há uma diferença em cerca de 8 m em relação ao que seria considerado o atraso relativo à ionosfera. Ou seja, estes valores ainda necessitam de correção. Diante do exposto, temos os dois cenários apresentados pela Figura 2, onde os valores calculados para o atraso instrumental serão utilizados como correção para a estimação de fato do atraso ionosférico, a Figura 5 apresenta a observável ionosférica sem a correção e a Figura 6 com este atraso corrigido no cenário 1 para o dia de análise 61.

Figura 5 - Observável ionosférica no dia 61 sem a correção do atraso instrumental.



Elaboração: Os Autores (2022).

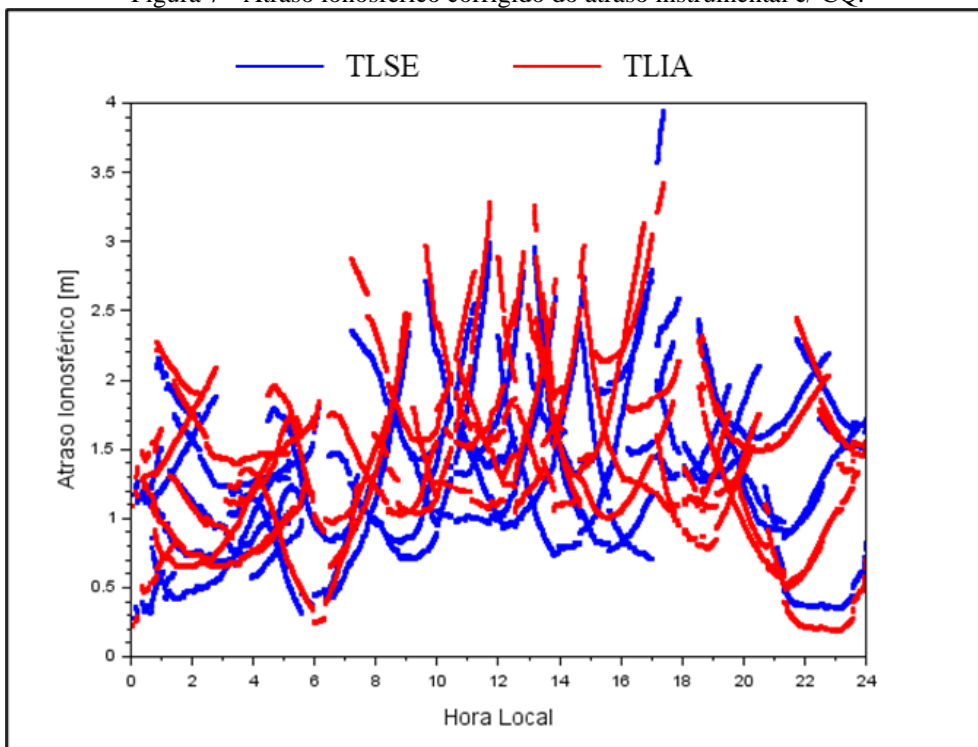
Figura 6 - Observável ionosférica no dia 61 com a correção do atraso instrumental.



Elaboração: Os Autores (2022).

A partir do exposto, para o cenário 1 já é perceptível a melhoria dos dados com correção do atraso instrumental, onde as diferenças que estavam próximas aos 7 m para TLSE-TLIA ficaram próximos de 0, com diferenças abaixo dos 70 cm para os respectivos pares citados. A Figura 7 demonstram tal relação corrigida no cenário 2, também para o dia 61.

Figura 7 - Atraso ionosférico corrigido do atraso instrumental c/ CQ.



Elaboração: Os Autores (2022).

As estações de referência possuem taxa de amostragem de 1 segundo e os valores calculados para o atraso ionosférico são referentes a cada época, portanto, temos um grande quantitativo de dados calculados para cada dia., para fins de comparação e análise foram extraídos de cada dia as médias das diferenças do atraso ionosférico, seus desvios padrões assim como o valor da maior discrepância encontrada entre o par de estações, estes dados são descritos na Tabela 4.

Tabela 4 - Estatísticas das diferenças de atrasos ionosféricos calculados entre as estações.

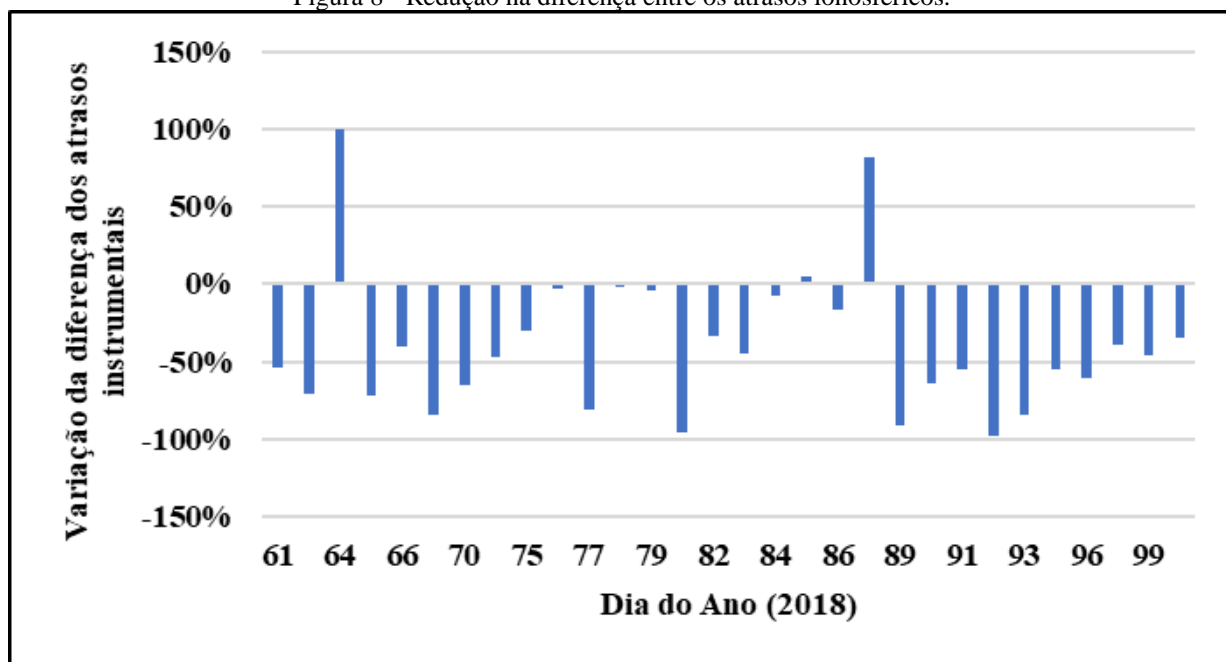
| Dias | s/ Controle de Qualidade |                          |             | c/ Controle de Qualidade |                          |             | Variação $\bar{\Delta}$ |
|------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------|
|      | $\bar{\Delta}$ (m)       | $\sigma\bar{\Delta}$ (m) | > Disc. (m) | $\bar{\Delta}$ (m)       | $\sigma\bar{\Delta}$ (m) | > Disc. (m) |                         |
| 61   | 0,182                    | 0,244                    | 0,726       | 0,083                    | 0,217                    | 0,627       | <b>-54%</b>             |
| 62   | 0,139                    | 0,132                    | 0,656       | 0,040                    | 0,118                    | 0,557       | <b>-71%</b>             |
| 64   | 0,099                    | 0,281                    | 0,774       | 0,198                    | 0,250                    | 0,873       | <b>100%</b>             |
| 65   | 0,137                    | 0,195                    | 0,733       | 0,038                    | 0,174                    | 0,634       | <b>-72%</b>             |
| 66   | 0,062                    | 0,169                    | 0,561       | 0,037                    | 0,150                    | 0,512       | <b>-40%</b>             |
| 68   | 0,116                    | 0,143                    | 0,529       | 0,017                    | 0,127                    | 0,539       | <b>-85%</b>             |
| 70   | 0,154                    | 0,167                    | 0,758       | 0,054                    | 0,148                    | 0,659       | <b>-65%</b>             |
| 73   | 0,210                    | 0,176                    | 0,640       | 0,111                    | 0,156                    | 0,541       | <b>-47%</b>             |
| 75   | 0,338                    | 0,211                    | 0,757       | 0,237                    | 0,188                    | 0,720       | <b>-30%</b>             |
| 76   | 0,316                    | 0,187                    | 0,814       | 0,305                    | 0,166                    | 0,913       | <b>-3%</b>              |
| 77   | 0,122                    | 0,209                    | 0,716       | 0,023                    | 0,186                    | 0,617       | <b>-81%</b>             |
| 78   | 0,043                    | 0,177                    | 0,526       | 0,042                    | 0,157                    | 0,549       | <b>-2%</b>              |
| 79   | 0,298                    | 0,215                    | 0,821       | 0,288                    | 0,191                    | 0,920       | <b>-4%</b>              |
| 80   | 0,096                    | 0,187                    | 0,562       | 0,004                    | 0,166                    | 0,543       | <b>-96%</b>             |
| 82   | 0,060                    | 0,156                    | 0,528       | 0,040                    | 0,139                    | 0,466       | <b>-34%</b>             |
| 83   | 0,220                    | 0,222                    | 0,825       | 0,121                    | 0,198                    | 0,726       | <b>-45%</b>             |
| 84   | 0,052                    | 0,180                    | 0,694       | 0,047                    | 0,160                    | 0,595       | <b>-8%</b>              |
| 85   | 0,048                    | 0,170                    | 0,700       | 0,051                    | 0,151                    | 0,601       | <b>5%</b>               |
| 86   | 0,043                    | 0,184                    | 0,547       | 0,036                    | 0,164                    | 0,527       | <b>-17%</b>             |

| Dias | s/ Controle de Qualidade |                          |             | c/ Controle de Qualidade |                          |             | Variação $\bar{\Delta}$ |
|------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|-------------------------|
|      | $\bar{\Delta}$ (m)       | $\sigma\bar{\Delta}$ (m) | > Disc. (m) | $\bar{\Delta}$ (m)       | $\sigma\bar{\Delta}$ (m) | > Disc. (m) |                         |
| 87   | 0,096                    | 0,178                    | 0,795       | 0,175                    | 0,158                    | 0,696       | <b>82%</b>              |
| 89   | 0,225                    | 0,165                    | 0,616       | 0,020                    | 0,146                    | 0,511       | <b>-91%</b>             |
| 90   | 0,318                    | 0,155                    | 0,614       | 0,113                    | 0,138                    | 0,411       | <b>-64%</b>             |
| 91   | 0,372                    | 0,173                    | 0,992       | 0,167                    | 0,154                    | 0,787       | <b>-55%</b>             |
| 92   | 0,209                    | 0,180                    | 0,646       | 0,004                    | 0,160                    | 0,501       | <b>-98%</b>             |
| 93   | 0,242                    | 0,183                    | 0,683       | 0,037                    | 0,163                    | 0,599       | <b>-85%</b>             |
| 94   | 0,375                    | 0,291                    | 1,016       | 0,171                    | 0,259                    | 0,811       | <b>-55%</b>             |
| 96   | 0,338                    | 0,205                    | 0,900       | 0,133                    | 0,182                    | 0,695       | <b>-61%</b>             |
| 97   | 0,523                    | 0,224                    | 1,265       | 0,318                    | 0,199                    | 1,060       | <b>-39%</b>             |
| 99   | 0,443                    | 0,280                    | 1,219       | 0,238                    | 0,249                    | 1,014       | <b>-46%</b>             |
| 100  | 0,593                    | 0,292                    | 1,173       | 0,388                    | 0,260                    | 0,968       | <b>-35%</b>             |

Elaboração: Os Autores (2022)

A partir das tabelas demonstradas, percebe-se que na maioria dos dias analisados houve uma redução na diferença média do atraso ionosférico entre as estações no cenário onde o controle de qualidade foi implementado, ou seja, a diferença entre o atraso foi menor e mais próxima de 0. Esse resultado indica que os dados após o CQ são mais confiáveis e com menores erros embutidos. A Figura 8 apresenta de maneira gráfica a relação destas reduções.

Figura 8 - Redução na diferença entre os atrasos ionosféricos.



Elaboração: Os Autores (2022).

De maneira geral, durante os 30 dias de análise ocorreram reduções na média de 40% para o par TLSE-TLIA, onde ocorreram casos em que essa a diferença entre os atrasos foi quase 0, a exemplo dos dias 80, 89 e 92 com mais de 90% de redução na média, porém ainda houve alguns dias em que essas médias aumentaram, nos dias 64, 85 e 87 com 100%, 5% e 82% de aumento na média respectivamente.

#### 4 DISCUSSÕES

A Figura 3 apresenta graficamente, os cenários apresentados, com controle de qualidade e sem o controle de qualidade. Sabe-se que o valor do atraso instrumental tende a ser constante de um dia para o outro, com isso, para termos comparação inicial, avaliamos a variação do valor absoluto calculado. para o cenário com

a aplicação do DS em relação ao original é possível perceber uma menor variação diária para todas as estações, sendo visualmente mais aparente entre os dias 73 e 90, onde essa variação é mais suave.

A tabela 3 apresenta as porcentagens de variação diária durante o período analisado. Na maioria dos dias, para o cenário com a aplicação do DS, podemos identificar uma porcentagem menor de variação no intervalo analisado, ou seja, o valor apresentou maior constância de um dia para o outro. De forma geral, houve melhorias no cenário com aplicação do DS, pois, analisando a média de variação de todos os dias para todas as estações analisadas percebe-se que a constância destes dados foi maior, onde a maior diferença entre as médias se deu para estação TLIA com cerca de 6% discrepância ao cenário anterior e para TLSE a diferença ficou em 0,5%.

A Figura 5 apresenta o cenário normal entre as estações, onde a observável ionosférica calculada para ambas estações possui uma diferença de cerca de 8m. assume-se que a diferença entre estes valores deveriam ser o mais próximas de 0 já que as mesmas estão sob a mesma influência atmosférica por estarem colocalizadas.

Utilizando os valores calculados do atraso instrumental para correção destes valores da observável ionosférica, obtém-se o atraso ionosférico corrigido, onde as diferenças métricas caem para os centímetros, esta relação é apresentada na Figura 5, onde os valores do atraso para as estações estão mais próximos. Com essa relação já estabelecida, foram feitos os mesmos procedimentos para determinação do atraso ionosférico, porém agora com os valores para o atraso instrumental estimados com a correção pelo DS.

Apesar da similaridade entre os dois cenários, graficamente já podemos identificar algumas diferenças, a exemplo do par TLSE-TLIA onde, das 0h até as 10h as curvas estão mais próximas, ou seja, é mais aparente que o atraso ionosférico para ambas é mais equivalente no cenário 2. O dia 61 foi escolhido para exemplificar essas relações já citadas, os gráficos relativos aos demais dias podem ser encontrados na obra “Controle De Qualidade na Estimativa no Atraso Instrumental no Posicionamento GNSS: Implementação E Avaliação” de Amaral (2022).

A tabela 4 apresenta as estatísticas calculadas em cada dia para o período de análise, como já comentado, a taxa de amostragem é de 1 segundo, por isso o volume de dados diários é extenso, então foi extraída a média da diferença dos valores do atraso ionosférico para cada par em cada dia e calculado, assim como o desvio padrão para essas médias e maior diferença encontrada entre o atraso das estações. Para o cenário com controle de qualidade, a maior parte dos dados analisados obtiveram uma redução neste valor médio, ou seja, para este dia o valor do atraso instrumental foi mais próximo de 0. Indicando que os dados onde foi aplicado o DS estão mais condizentes com a realidade. A Figura 8 apresenta graficamente estes valores, onde podemos observar que em 3 dois dias analisados essas diferenças foram maiores que os demais dias.

Para os dias onde estes dados foram mais discrepantes, caberia uma investigação mais pontual sobre o que de fato pode ter acarretado esta variação. Tal como a exclusão de observações além das que foram definidas como outliers segundo a hipótese formulada neste trabalho, para isso caberia a avaliação de outros valores críticos de teste no DS para que estes dados pontuais sejam validados.

## 5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi abordada a influência que Controle de Qualidade pode apresentar na estimativa de valores para atraso instrumental. De modo geral o CQ se mostrou de grande importância e eficiência. Haja vista que os parâmetros para geração dos valores de correção, no método estudado, são da ordem de milhares de observações, tendo altas probabilidades de apresentarem outliers.

Para a aplicação da metodologia proposta, foram escolhidos um conjunto de par de estações GNSS que já possuíam dados disponíveis a partir da pesquisa utilizada como norteadora deste trabalho. Estes pares de estações possuem linhas de base curtas e são relativas a períodos onde a perturbação atmosférica era mínima a fim de reduzir os efeitos ionosféricos já conhecidos e que influenciaram na amostragem dos dados, os pares estavam distribuídas em regiões de diferentes latitudes afim de não tendenciar os dados com relação a sua localização geográfica.

No período analisado, com a utilização do *Data Snooping* o par de estações TLIA-TLSE, 90% dos valores apresentaram redução na média da diferença diária do atraso ionosférico, e em apenas 3 dos dias em questão (representando 10%) esses valores foram maiores.

Como o valor do atraso instrumental tende a ser constante de um dia para o outro, o fato dos valores encontrados com a aplicação de um modelo de controle de qualidade através do procedimento Data Snooping, apresentarem menor variabilidade, demonstra a efetividade da proposta. Isso reflete-se também nos valores para o atraso ionosférico, como os pares de estações selecionadas são próximas, e a diferença entre os atrasos demonstrou uma redução quando comparada aos dados sem a aplicação do controle de qualidade, significa que a exclusão dos dados com outliers se demonstrou eficaz.

Para trabalhos futuros e continuidades da pesquisa, sugere-se a aplicação da metodologia em mais pares de estações por um período maior, como estes valores de atraso de hardware estão diretamente ligados ao modelo e marca do aparelho, essa aferição com um maior número de amostras ajudaria e densificar melhor a proposta. Sugere-se também a investigação de outros métodos de identificação de outliers, como por exemplo o RANSAC (*RANdom Sample Consensus*). Por fim, mesmo com qualidade dos dados e a eficiência da estimativa, seria de suma importância aplicar essas correções em modelos de posicionamento que estejam no nível usuário, ratificando assim a eficácia e importância de uma correção confiável de valores de atraso de hardware.

## Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pela bolsa concedida para prosseguimento na pesquisa, bem como os provedores de dados: IGN - *Insitutit Géographique National* (França); IGS (*International GNSS Service*).

Agradecimentos ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Tecnologia GNSS no Suporte à Navegação Aérea (INCT GNSS-NavAer), financiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – processo 465648/2014-2), FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – processo 2017/50115-0) e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – processo nº 88887.137186/2017-00).

## Contribuição dos Autores

O autor Caique Nilson do Nascimento Amaral propôs a ideia inicial, realizou pesquisas, implementou a metodologia trabalhada, analisou os dados e escreveu a redação. O Autor Ivandro Klein supervisionou o estudo, adequou as metodologias e revisou e contribuiu com a redação. O autor Paulo Sérgio de Oliveira Júnior, propôs a metodologia, revisou e contribuiu com a redação.

## Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

## Referências

- ARIKAN, F.; NAYIR, H.; SEZEN, U.; ARIKAN, O. Estimation of Single Station interfrequency receiver bias using GPS-TEC, **Radio Science**, v; 43, n. 4, p. 1-13, 2008.
- BAARDA, W. A testing procedure for use in geodetic networks. **Publications on Geodesy**, New Series, v. 2, n. 5, Delft: Netherlands Geodetic Commission, 1968.
- BERTIGER W.; DESAIS.; HAINES B.; HARVEY N.; MOORE A. W.; OWEN, S.; WEISS J. **Single receiver phase ambiguity resolution with GPS data**. *Journal of Geodesy*. 84(5). p. 327–337.2010. DOI: 10.1007/s00190-010-0371-9.
- CAMARGO P. O. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores de uma frequência**. 1999. 191f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 1999.
- CAMARGO, P. O.; ARANA, D.; PEREIRA, V. A. S. Erro sistemático relativo devido ao hardware dos receptores. In: III Simpósio Brasileiro de Geomática, 2012, Presidente Prudente, Anais., p. 268-273, 2012.
- CORDEIRO, F. P. M. **Estimativa e Propagação de valores de DCB de um receptor GPS com vistas a correção de ordem superior do efeito ionosférico**. 2019. 79f. Dissertação (Mestrado em Ciências

- Geodésicas) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2019.
- FENG, Y.; GU, S.; SHI, C.; RIZOS, C. **A reference station-based GNSS computing mode to support unified precise point positioning and real-time kinematic services**. *Journal of Geodesy*, 87(10–12). p. 945–960. 2013. DOI: 10.1007/s00190-013-0659-7.
- GABOR, M.J.; NEREM, R. S. GPS carrier phase ambiguity resolution using satellite–satellite single differences. In: *Proceedings of the 12th international technical meeting of the satellite division of the institute of navigation*, 1999 p. 1569–1578.
- GE, M.; GENDT, G.; ROTHACHER, M.; SHI, C.; LIU, J. **Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations**. *Journal of Geodesy*, v. 82, n. 7, p. 389–399, 2008. DOI: 10.1007/s00190-007-0187-4.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GNSS – Global Navigation Satellite System: GPS, GLONASS, Galileo and more**. Springer Wien New York. 2008.
- HONG, C. K. **Efficient differential code bias and ionosphere modeling and their impact on the network-based GPS positioning**. 2007. 244f. Dissertação (Doctor of Philosophy) - The Ohio State University, Ohio, 2007.
- KEE, C.; YUN, D. **Extending Coverage of DGPS by Considering Atmospheric Models and Corrections**. *Journal of Navigation*, 55(2). p. 305–322. 2002. DOI:10.1017/S0373463302001741
- KLEIN, I. **Controle de Qualidade no Ajustamento de Observações Geodésicas**. 2011. 322f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), 2011.
- KOUBA, J.; HÉROUX, P. **Precise point positioning using IGS orbit and clock products**. *GPS Solutions* 5(2). P. 12–28, 2001. DOI: 10.1007/PL00012883.
- LANYI, G.E.; ROTH, T. **A comparison of mapped and measured total ionospheric electron content using Global Positioning System and beacon satellite observations**. *Radio Science*. 23, 483–492. 1988. DOI: 10.1029/RS023i004p00483
- LAURICHESSE, D. **Phase biases for ambiguity resolution: from an undifferenced to an uncombined formulation**. 2008.
- LAURICHESSE, D.; BLOT, A. **Fast PPP Convergence Using Multi-Constellation and Triple-Frequency Ambiguity Resolution**. In: *Proceedings of ION GNSS*. 2016. p. 1-7.
- LEICK, A.; RAPOPORT, L.; TATARNIKOV, D. **GPS satellite survey**. 4 ed. John Wiley & Sons. ARRUMAR, 1995.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Unesp, 2008.
- OLIVEIRA JR, P. S.; MONICO, J. F. G.; MOREL, L. **Mitigation of receiver biases in ionospheric observables from PPP with ambiguity resolution**. *Advances in Space Research*, v. 65, n. 8, p. 1941–1950, 2020. DOI: 10.1016/j.asr.2020.01.037
- OTSUKA, Y.; OGAWA, T.; SAITO, A.; TSUGAWA, T.; FUKAO, S.; MIYAZAKI, S. **A new technique for mapping of total electron content using GPS network in Japan**. *Earth, Planets Space*, v. 54, n. 1, p. 63–70, 2002. DOI: 10.1186/BF03352422
- PROL, F. S.; CAMARGO, P. O. **Estimativa da Tendência Diferencial do Código nos Receptores GNSS**. *Boletim de Ciências Geodésicas*, v. 20, n. 4, 2014. DOI: 10.1590/S1982-21702014000400042
- ROCHA, R. S. M. **Posicionamento Geodésico com GPS no Suporte a Detecção de Deslocamento em Barragens**. 2014. 147f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente (SP), 2014.
- SARDON E.; RUIS A.; ZARRAOA N. **Estimation of the transmitter and receiver differential biases and the ionospheric total electron content from global positioning system observations**. *Radio Science*. v. 29, n. 3, 1994. p. 577–586. DOI: [doi.org/10.1029/94RS00449](http://dx.doi.org/10.1029/94RS00449).



SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin, New York: Walter Gruyter, 2003.

TEUNISSEN, P. J. G. **Adjustment Theory: an introduction**. Delft: Ed. Delft University Press, 2003.

### Biografia do autor principal



Caique Nilson do Nascimento Amaral, Brasileiro, nascido em Belém-PA. Engenheiro Cartógrafo e Agrimensor formado pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Especialista em Topografia e Sensoriamento Remoto formado pela Faculdade Única de Ipatinga. Mestre em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Foi bolsista na área de geoprocessamento e regularização fundiária na AEROCARTA, COSANPA e NEPMV. Monitor das disciplinas de Levantamentos Geodésicos e Geodésia Espacial na UFRA. Atuou como Engenheiro Cartógrafo no Instituto de Terras do Pará (ITERPA) coordenando projetos de Regularização Fundiária Urbana (REURB). Atualmente é Militar (Guarda-Marinha/RM2) da Marinha do Brasil, atuando como Engenheiro Cartógrafo.



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.