



MARINHA DO BRASIL

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO

CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO EM HIDROGRAFIA PARA OFICIAIS

ANÁLISE DA ACURÁCIA DE RECEPTOR GNSS DE BAIXO CUSTO EM  
POSICIONAMENTO ESTÁTICO E CINEMÁTICO

2º Ten. José Daniel ARRUDA Freitas

Niterói-RJ, Brasil

Outubro, 2025

José Daniel Arruda Freitas

**ANÁLISE DA ACURÁCIA DE RECEPTOR GNSS DE BAIXO CUSTO EM  
POSICIONAMENTO ESTÁTICO E CINEMÁTICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente e técnico do Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino da Marinha do Brasil (CIAARA/MB), como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Oficial Hidrógrafo.

Orientador: Capitão-Tenente (EN) Edico Ramon de Melo

Niterói-RJ, Brasil  
Outubro, 2025

Freitas, José Daniel Arruda

Análise da acurácia de receptor GNSS de baixo custo em posicionamento estático e cinemático / José Daniel Arruda Freitas.  
– Rio de Janeiro: MB/CIAARA, 2025.

x, 49 f.: il. Color.; 29,7 cm.

Orientador: Edico Ramon de Melo.

Monografia – MB/CIAARA Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais, 2025.

Referências Bibliográficas: p. 32-33.

1. GNSS. 2. Acurácia. 3. Baixo custo.

I. de Melo, Edico Ramon. II. Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino, CIAARA, Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais. III. Análise da acurácia de receptor GNSS de baixo custo em posicionamento estático e cinemático.

CDD: 526.982

**ANÁLISE DA ACURÁCIA DE RECEPTOR GNSS DE BAIXO CUSTO EM  
POSICIONAMENTO ESTÁTICO E CINEMÁTICO**

José Daniel Arruda Freitas

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE TÉCNICO DO CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO DA MARINHA DO BRASIL (CIAARA/MB) COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE OFICIAL HIDRÓGRAFO.

Examinada por:

---

CT (EN) EDICO Ramon de Melo, M.Sc.

---

CT (QC-CA) Flávio ALVES da Cunha Silva, M.Sc.

---

1T (RM2-EN) MARCELLA Fernandes de Oliveira Melo, M.Sc.

NITERÓI, RJ – BRASIL

OUTUBRO DE 2025

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço a Deus pela possibilidade de viver as inúmeras experiências que essa vida me proporciona, melhorando e aprendendo a cada dia mais.

Agradeço a meus pais por tudo que fizeram e fazem por mim até hoje, consolidando muito do que há de melhor em mim.

À Aline, minha namorada, agradeço por todo o apoio e incentivo que me deu durante esse ano desafiador, estando ao meu lado e servindo de exemplo de determinação e de superação de desafios.

Ao meu orientador, CT (EN) Edico, agradeço por cada ensinamento, pela paciência e pela disponibilidade em orientar-me com dedicação. A ele devo o crédito pela ideia original que deu origem a este trabalho e a todo o desenvolver dele.

Destaco também a participação do 1ºSG-HN Oliveira Silva e 2ºSG-HN Bryan, que gentilmente disponibilizaram seu tempo para viabilizar a coleta de dados em campo, tornando este projeto possível.

Aos meus irmãos e avós, agradeço pelo carinho e conselhos que sempre levei em consideração. Aos demais familiares e amigos agradeço pelos momentos descontraídos e pelas boas conversas.

Devo um agradecimento especial aos meus amigos da turma do CAHO 2025, por manterem um clima ameno, leve e favorável para o aprendizado e cooperação, sem esse apoio eu não teria vencido.

Aos mestres e instrutores do curso, agradeço por toda a paciência e por acreditarem no nosso potencial.

## RESUMO

O presente trabalho avalia a acurácia posicional de um receptor GNSS de baixo custo (U-blox F9P) em comparação com um receptor geodésico de referência (Emlid RS2), investigando sua viabilidade para aplicações em hidrografia. A metodologia consistiu na realização de levantamentos estático e cinemático nos modos *Post-Processed Kinematic* (PPK) e *Post-Processed Static* (PPS), utilizando o software RTKLib e dados de estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE. Para a análise quantitativa, desenvolveu-se um *script* em linguagem Python para realizar a transformação de coordenadas do sistema geodésico para *Universal Transverse Mercator* (UTM), calcular as diferenças e computar as métricas de erro, em especial o *Root Mean Square Error* (RMSE). Os resultados do levantamento estático demonstraram acurácia centimétrica e, considerando um nível de confiança de 95%, as incertezas horizontal e vertical atenderam aos critérios da “Ordem Exclusiva” da norma S-44 da *International Hydrographic Organization* (IHO) para objetos fixos, ajudas/ auxílios e estruturas/ feições significativas para a navegação acima do Referencial Vertical. A análise do levantamento cinemático corroborou o resultado anterior, com alta concordância entre as trajetórias levantadas com o receptor de baixo custo e o receptor de referência. Conclui-se que o receptor de baixo custo constitui uma alternativa para suprir as demandas geodésicas da hidrografia, nas aplicações em que o pós-processamento é uma técnica adequada.

Palavras-chave: Acurácia. Custo-benefício. Levantamento geodésico.

## ABSTRACT

This study evaluates the positional accuracy of a low-cost GNSS receiver (U-blox F9P) in comparison to a geodetic-grade reference receiver (Emlid RS2), investigating its viability for applications in hydrography. The methodology consisted of static and kinematic surveys in Post-Processed Kinematic (PPK) and Post-Processed Static (PPS) modes, using the RTKLib software and data from stations of the IBGE's Brazilian Network for Continuous GNSS Monitoring (RBMC). For the quantitative analysis, a Python script was developed to perform coordinate transformation from the geodetic system to Universal Transverse Mercator (UTM), calculate the differences, and compute error metrics, especially the Root Mean Square Error (RMSE). The results from the static survey demonstrated centimetric accuracy and, considering a 95% confidence level, the horizontal and vertical uncertainties met the criteria of the International Hydrographic Organization (IHO) S-44 "Exclusive Order" standard regarding fixed objects, aids to navigation, and significant features for navigation above the Vertical Datum. The analysis of the kinematic survey corroborated the previous result, with high agreement between the trajectories surveyed with the low-cost receiver and the reference receiver. It is concluded that the low-cost receiver constitutes an alternative to meet the geodetic demands of hydrography in applications where post-processing is a suitable technique.

Keywords: Accuracy. Cost-effectiveness. Geodetic Surveying.

## **LISTA DE FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Receptor GNSS AFS 392 com NavController III Trimble .....   | 12 |
| Figura 2 - Receptor Holybro H-RTK F9P Helical com o módulo U-blox F9P (OEM 12018) .....  | 12 |
| Figura 3 - Segmentos espacial e de controle. (A) Constelação de satélites GPS e (B) Elementos de controle do sistema GPS ..... | 14 |
| Figura 4 - Erros ionosféricos.....   | 18 |
| Figura 5 - Rastreios estáticos. (A) Geodésico e (B) Baixo custo.....   | 20 |
| Figura 6 - Localização da área de estudo e dos pontos do levantamento estático .....   | 23 |
| Figura 7 - Diferença entre as medições.....  | 26 |
| Figura 8 - Rastreio cinemático com receptor geodésico.....   | 27 |
| Figura 9 - Rastreio cinemático com receptor de baixo custo.....  | 28 |
| Figura 10 - Comparaçao entre os resultados.....  | 29 |

## **LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Parâmetros de configurações dos levantamentos.....                        | 19 |
| Tabela 2 - Padrões mínimos para levantamentos envolvendo segurança da navegação..... | 22 |
| Tabela 3 - Resultados do receptor geodésico .....                                    | 24 |
| Tabela 4 - Resultados do receptor de baixo custo .....                               | 24 |
| Tabela 5 - Diferenças entre os resultados .....                                      | 25 |
| Tabela 6 - Valores de RMSE .....   | 25 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| BOC    | <i>Binary Offset Carrier</i>                                  |
| CDMA   | <i>Code Division Multiple Access</i>                          |
| CHM    | Centro de Hidrografia da Marinha                              |
| CIAARA | Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino |
| DHN    | Diretoria de Hidrografia e Navegação                          |
| FDMA   | <i>Frequency Division Multiple Access</i>                     |
| GNSS   | <i>Global Navigation Satellite System</i>                     |
| IHO    | <i>International Hydrographic Organization</i>                |
| MB     | Marinha do Brasil   |
| MBOC   | <i>Multiplexed Binary Offset Carrier</i>                      |
| PPK    | <i>Post-Processed Kinematic</i>                               |
| PPS    | <i>Post-Processed Static</i>                                  |
| RBMC   | Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo                     |
| RMSE   | <i>Root Mean Square Error</i>                                 |
| THU    | <i>Total Horizontal Uncertainty</i>                           |
| TVU    | <i>Total Vertical Uncertainty</i>                             |
| UTM    | <i>Universal Transverse Mercator</i>                          |

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>11</b> |
| <b>2</b> | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                    | <b>13</b> |
| 2.1      | COMPOSIÇÃO DO GNSS .....  | 13        |
| 2.2      | FREQUÊNCIAS FUNDAMENTAIS DO GNSS .....                                | 14        |
| 2.3      | OBSERVÁVEIS GNSS.....   | 16        |
| 2.4      | ERROS ENVOLVIDOS NO POSICIONAMENTO GNSS .....                         | 17        |
| <b>3</b> | <b>OBJETIVOS .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>   | <b>19</b> |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS.....</b>  | <b>23</b> |
| 5.1      | RASTREIO ESTÁTICO .....   | 23        |
| 5.2      | RASTREIO CINEMÁTICO.....  | 26        |
| <b>6</b> | <b>ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>                                    | <b>29</b> |
| 6.1      | ANÁLISE DO RASTREIO ESTÁTICO .....                                    | 30        |
| 6.2      | ANÁLISE DO RASTREIO CINEMÁTICO.....                                   | 30        |
| <b>7</b> | <b>CONCLUSÃO.....</b>   | <b>31</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                               | <b>33</b> |
|          | <b>APÊNDICE A – SCRIPT PARA ANÁLISE DE DADOS GNSS EM PYTHON.....</b>  | <b>35</b> |
|          | <b>ANEXO A – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO CHIPSET U-BLOX F9P .....</b> | <b>38</b> |
|          | <b>ANEXO B – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA ANTENA HX-CH6601A.....</b>   | <b>40</b> |
|          | <b>ANEXO C – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EMLID RS2.....</b>           | <b>41</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A evolução das tecnologias e equipamentos que envolvem o posicionamento baseado em sistemas de satélites influencia diretamente o *modus operandi* dos profissionais das áreas de geotecnologias. O aprimoramento das atividades que demandam localização precisa na superfície terrestre depende de uma constante atualização de conhecimentos técnicos sobre os aparelhos receptores de sinais desses satélites e sobre seu manuseio (Martins *et al.*, 2017).

Nesse contexto, destaca-se o *Global Navigation Satellite System* (GNSS), formado por múltiplas constelações de satélites artificiais, estações de controle e receptores em solo (Teunissen e Montenbruck, 2017). O GNSS permite determinar a posição tridimensional de um ponto em qualquer parte do planeta, sendo composto por sistemas como o GPS (EUA), GLONASS (Rússia), Galileo (União Europeia) e BeiDou (China) (Seeber, 2003; Monico, 2008).

Diante de tal dinâmica de modernização, é importante avaliar se a quantidade e o desempenho dos equipamentos utilizados em campo continuam sendo adequados para atender aos parâmetros exigidos pelos órgãos que regulamentam os padrões de qualidade dos produtos gerados pelos levantamentos. No caso da Marinha do Brasil (MB), existe uma necessidade premente de aquisição de novos equipamentos para suprir a demanda de utilização em apoio aos levantamentos hidrográficos. Segundo de Lima (2018), uma boa maneira de se manter a par da situação é focar em reduzir os custos no que tange à compra e utilização dos receptores dos sinais de satélites de terceiros, porém sem perder de vista os parâmetros mínimos de qualidade do dado obtido.

A utilização de receptores geodésicos convencionais requer um elevado gasto de aquisição e manutenção, o que tem levado os usuários desse tipo de tecnologia a procurar soluções alternativas diante das opções do mercado (Luz *et al.*, 2020). O preço atual desses receptores de alta precisão, comuns em trabalhos oficiais de levantamento, está na casa das dezenas de milhares de reais. Uma breve pesquisa de mercado exemplifica a diferença de custo entre os equipamentos: na Figura 1, apresenta-se o receptor GNSS AFS 392 com NavController III Trimble, com valor de R\$ 69.900,00<sup>1</sup>, enquanto na Figura 2 mostra-se o

---

<sup>1</sup>SUPREMA. Receptor GNSS AFS 392 com NavController III Trimble, [s.d]. Disponível em: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-5211183194>. Acesso em: 21 abr. 2025.

receptor Holybro H-RTK F9P Helical equipado com o módulo U-blox F9P (OEM 12018), com valor de R\$ 7.399,00<sup>2</sup>.

Figura 1 - Receptor GNSS AFS 392 com NavController III Trimble



Fonte: SUPREMA (s. d.)

Figura 2 - Receptor Holybro H-RTK F9P Helical com o módulo U-blox F9P (OEM 12018)



Fonte: JANGÃO (s. d.)

Com o propósito de analisar a acurácia de receptores GNSS de baixo custo em posicionamento estático e cinemático, avaliou-se a empregabilidade desses receptores em apoio aos levantamentos hidrográficos, a fim de verificar se os resultados obtidos atenderam aos padrões das normas da *International Hydrographic Organization* (IHO). Para alcançar os objetivos propostos, utilizou-se um receptor GNSS de baixo custo, comparando-o com os

---

<sup>2</sup> JANGÃO. **Holybro H-RTK F9P Helical, Posicionamento GNSS de Alta Precisão para Drones, Módulo UBLOX F9P, 12018.** [s.d.]. Disponível em: <https://www.lojadojangao.com.br/produtos/holybro-h-rtk-f9p-helical>. Acesso em: 22 abr. 2025.

geodésicos de alta precisão utilizados pelo Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Os levantamentos estático e cinemático foram realizados em ambientes costeiros, com pós-processamento pelos métodos *Post-Processed Kinematic* (PPK) e *Post-Processed Static* (PPS) nos softwares RTKLib<sup>3</sup>, Global Mapper<sup>4</sup> e QGIS<sup>5</sup> para a visualização espacial do resultado.

As análises envolveram comparação de coordenadas, erros absolutos e métricas estatísticas como o *Root Mean Square Error* (RMSE), processadas em um *script* elaborado na linguagem de programação Python e planilhas eletrônicas. Os resultados foram avaliados segundo os critérios da Tabela 2 da norma S-44 da IHO. Todas estas fases estão detalhadas no capítulo de metodologia.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 COMPOSIÇÃO DO GNSS

O sistema GNSS possui três segmentos principais: espacial, de controle e de usuários. O segmento espacial é composto pelos satélites que orbitam a Terra, sendo responsável por emitir sinais que permitem o posicionamento – a partir de, no mínimo, quatro satélites – a qualquer hora e local do globo terrestre. Já o segmento de controle envolve estações que monitoram e gerenciam a operação dos satélites, garantindo que eles estejam nas órbitas corretas e funcionando conforme esperado. Dentro disso, o segmento de controle fica responsável por determinar as efemérides satelitais, estimar os desvios dos relógios atômicos e realizar atualizações periódicas das mensagens de navegação transmitidas por cada equipamento. Por fim, o segmento de usuários captura os sinais emitidos pelos satélites através de dispositivos receptores. Cada um desses rastreadores GNSS deve possuir capacidades apropriadas de acordo com a atividade de propósito deles, seja para posicionamento em levantamentos topográficos, de navegação, entre outros (Monico, 2008).

---

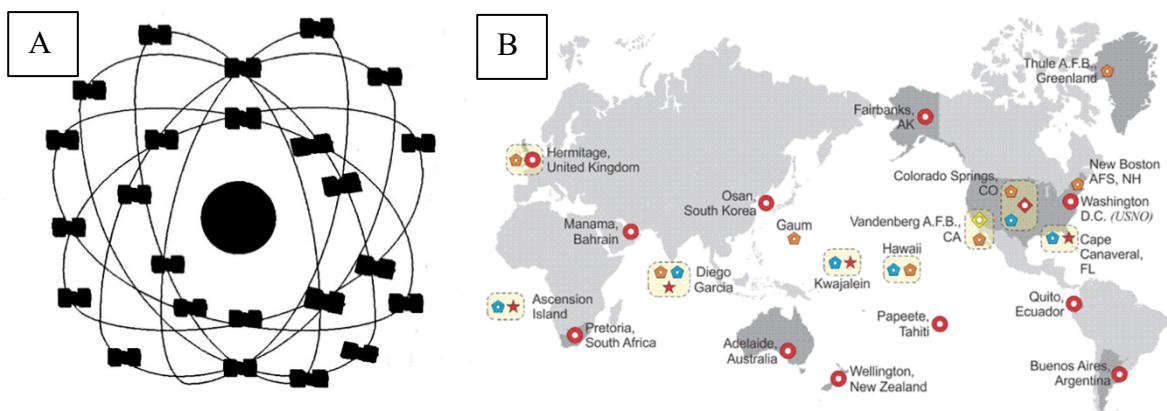
<sup>3</sup> TAKASU, T. **RTKLib: an open source program package for GNSS positioning.** [Software]. 2023. Disponível em: <https://www.rtklib.com>. Acesso em: 23 abr. 2025.

<sup>4</sup> BLUE MARBLE GEOGRAPHICS. **Global Mapper.** v23.1. Hallowell: Blue Marble Geographics, 2025. Software. Disponível em: <https://www.bluemarblegeo.com/global-mapper/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

<sup>5</sup> QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System.** [S.l.]: Open Source Geospatial Foundation, 2025. Software. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 3 out. 2025.

De acordo com Van Sickle (2015), a divisão do sistema GNSS em segmentos distintos permite uma abordagem estruturada e eficiente para o gerenciamento e o funcionamento contínuo do sistema. O segmento espacial inclui as constelações de satélites distribuídas em planos orbitais, enquanto o segmento terrestre (ou de controle) fica alocado na superfície do globo em forma de estações monitoras e de outros elementos de controle. Na Figura 3, adotou-se o sistema GPS como exemplo para ilustração dos segmentos.

Figura 3 - Segmentos espacial e de controle. (A) Constelação de satélites GPS e (B) Elementos de controle do sistema GPS



Fonte: (A) Monico (2008) e (B) Adaptado de Van Sickle (2015)

## 2.2 FREQUÊNCIAS FUNDAMENTAIS DO GNSS

Os sistemas GNSS operam em diferentes faixas de frequência, cada uma com características específicas que determinam sua aplicação e desempenho. As frequências fundamentais serão explicadas com base em três sistemas: GPS, GLONASS e Galileo. Os sinais são transmitidos por meio de ondas de rádio, utilizando bandas conhecidas como L, E e G, conforme o sistema em questão.

No sistema GPS as principais frequências são L1 (1575,42 MHz), L2 (1227,60 MHz) e L5 (1176,45 MHz). A banda L1 é a mais utilizada, transportando tanto o código C/A para uso civil quanto o código P(Y) para aplicações militares e geodésicas. A frequência L2, originalmente destinada ao código P(Y), passou a incluir também o código civil L2C nos satélites modernizados, melhorando significativamente a precisão das medições. Já a L5, com seu código L5C, foi especialmente desenvolvida para aplicações críticas como a aviação, oferecendo maior robustez e confiabilidade (Monico, 2008).

O sistema GLONASS utiliza uma abordagem diferente na alocação de frequências. Cada satélite transmite em uma frequência única dentro das bandas L1 (1598,625-1604,25 MHz) e L2 (1242,9375-1247,75 MHz), utilizando a técnica *Frequency Division Multiple Access* (FDMA). A banda L1 transporta tanto o código C/A (civil) quanto o P (militar), enquanto a L2 é primariamente destinada ao código P, com o GLONASS apresentando uma arquitetura singular onde todos os satélites utilizam os mesmos códigos PRN, diferenciando-se apenas pelas frequências de transmissão atribuídas a cada um. Essa característica simplifica o processo de identificação dos satélites no receptor, embora exija um projeto mais complexo no *front-end* de RF para lidar com as múltiplas frequências (Monico, 2008). É importante notar que, em um esforço de modernização, as gerações mais recentes de satélites GLONASS (série GLONASS-K) passaram a transmitir também sinais em *Code Division Multiple Access* (CDMA) na banda L3, buscando maior interoperabilidade com os demais sistemas GNSS (Revnivykh et al., 2017).

O Galileo, sistema europeu, introduziu uma arquitetura mais complexa com quatro portadoras principais: E1 (1575,42 MHz), E5A (1176,45 MHz), E5B (1207,14 MHz) e E6 (1278,75 MHz). A frequência E1, compatível com a L1 do GPS, foi projetada para serviços abertos (E1-B) e serviços públicos regulamentados (E1-C). As bandas E5A e E5B oferecem serviços combinados, enquanto a E6 é reservada para aplicações governamentais e comerciais restritas. O Galileo utiliza técnicas avançadas de modulação como *Binary Offset Carrier* (BOC) e *Multiplexed Binary Offset Carrier* (MBOC) para garantir interoperabilidade com outros sistemas GNSS (Monico, 2008).

A escolha das frequências em cada sistema leva em consideração diversos fatores, incluindo precisão requerida, resistência a interferências atmosféricas e capacidade de correção de erros. Enquanto o GPS e o Galileo adotam a técnica CDMA, o GLONASS emprega classicamente o FDMA (Monico, 2008), embora já incorpore sinais CDMA em seus satélites mais modernos (Revnivykh et al., 2017), resultando em abordagens distintas para identificação e separação dos sinais dos diferentes satélites. O Quadro 1 sintetiza essas características, apresentando de forma comparativa as frequências operacionais, códigos e aplicações específicas de cada sistema.

Quadro 1 – Estrutura básica do sinal e suas aplicações

| Sistema | Frequências (MHz)     | Códigos/Sinais | Características Principais                 |
|---------|-----------------------|----------------|--|
| GPS     | L1: 1575,42           | C/A, P(Y)      | Principal frequência civil/militar         |
|         | L2: 1227,60           | P(Y), L2C      | Correção ionosférica, alta precisão        |
|         | L5: 1176,45           | L5C            | Aplicações críticas (aviação)              |
| GLONASS | L1: 1598,625-1604,25  | C/A, P         | FDMA, frequência única por satélite        |
|         | L2: 1242,9375-1247,75 | P              | Sem degradação intencional de sinais       |
| Galileo | E1: 1575,42           | E1-B, E1-C     | Serviços abertos e públicos regulamentados |
|         | E5A: 1176,45          | E5A-I, E5A-Q   | Interoperabilidade com GPS L5              |
|         | E5B: 1207,14          | E5B-I, E5B-Q   | Serviço comercial combinado                |
|         | E6: 1278,75           | E6-C, E6-B     | Uso governamental e aplicações restritas   |

Fonte: Adaptado de Monico (2008)

## 2.3 OBSERVÁVEIS GNSS

Os dados primários que são coletados pelos receptores e utilizados para calcular posições, velocidade e tempo são chamados de Observáveis GNSS. Esses dados são de dois tipos principais: pseudodistância (*pseudorange*) e fase da onda portadora (*carrier phase*) (Seeber, 2003; Langley, 1996a).

A pseudodistância é a medida do sinal enviado pelos satélites até o receptor. Essa medição se baseia no código gerado no satélite e uma réplica do código gerada no receptor, que são enviados um ao outro, sendo o atraso dos sinais que chegam ao seu destino igual ao tempo de propagação dos sinais no trajeto. A equação básica da pseudodistância leva em

consideração a distância física entre o satélite e o receptor, mas também inclui vários componentes de erro, como o erro atmosférico, erro de relógio e erros de multicaminhamento (Monico, 2008). A Equação 1 representa, de maneira geral, a determinação da pseudodistância:

$$\text{Pseudodistância} = \text{Distância real} + \text{Erros diversos.} \quad (1)$$

A medição da distância baseada na fase da onda portadora é uma das técnicas mais precisas no GNSS, pois utiliza como referência cálculos envolvendo a fase do sinal da portadora, em vez da pseudodistância, para medir a distância entre o satélite e o receptor. A medição da fase da onda portadora nada mais é que a diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor, e a fase do sinal gerado no mesmo receptor (ambas no instante de recepção). Esse método é muito preciso, mas demanda a utilização de técnicas avançadas de processamento de sinais e resolução de ambiguidades, que é um problema inerente à natureza da técnica (Monico, 2008).

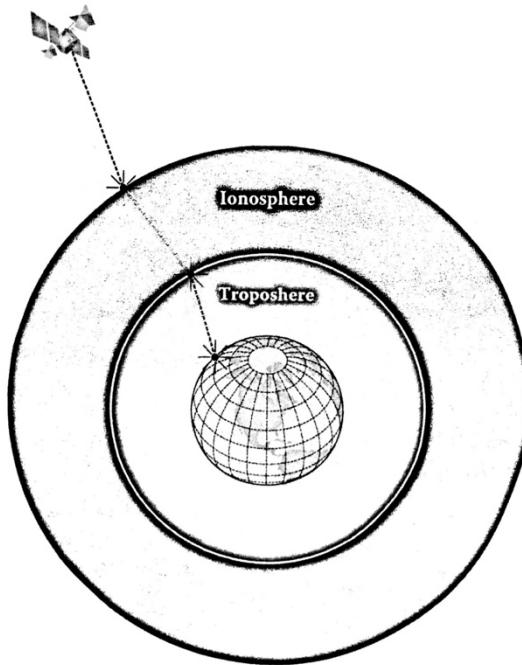
## 2.4 ERROS ENVOLVIDOS NO POSICIONAMENTO GNSS

Dentro dos cálculos para obtenção da posição existe a componente que representa os erros diversos. Esses fatores são compostos de erros mensuráveis e detectáveis, e estão presentes nos modelos matemáticos pois influenciam significativamente nos resultados da medição. Existem também os erros que são aleatórios, ou seja, são imprevisíveis e inevitáveis. Todas essas incertezas são classificadas e subdivididas com base na origem delas, mas para o objetivo deste trabalho serão destacados apenas dois tipos de erro: o ionosférico e o de relógio.

O erro ionosférico é causado pelas condições atmosféricas que podem afetar a propagação do sinal do satélite até o receptor. A ionosfera é uma camada da atmosfera composta por partículas carregadas, e os sinais de rádio que atravessam essa camada podem sofrer interferências que causam um retardamento no sinal. Esse atraso pode gerar erros significativos no cálculo de posição, especialmente em grandes distâncias. Segundo Van Sickle (2015), o erro ionosférico se destaca como sendo um dos mais significativos geradores

de imprecisão ao utilizar sistemas GNSS. Na Figura 4 é possível visualizar os efeitos refratários causados no sinal pela camada ionosférica, algo semelhante também ocorre na camada troposférica.

Figura 4 - Erros ionosféricos



Fonte: Adaptado de Van Sickle (2015)

De acordo com Van Sickle (2015), o erro de relógio ocorre quando há discrepâncias entre o tempo no receptor e o tempo nos satélites. A precisão do GNSS depende da medição exata do tempo que o sinal leva para viajar do satélite até o receptor, fato esse que faz com que o segmento de controle monitore constantemente os relógios de ambos os dispositivos. Pequenos erros nos relógios podem resultar em grandes imprecisões, já que o tempo é uma das principais variáveis para o cálculo da distância. Os produtores de receptores de baixo custo devem se atentar para a precisão dos relógios de seus dispositivos, pois isso afeta diretamente no cálculo da posição.

### 3      OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a acurácia dos dados GNSS obtidos com receptores de baixo custo, comparando-os com aqueles coletados por equipamentos

geodésicos convencionais, de maior custo e sofisticação. Para tanto, buscou-se alcançar os seguintes objetivos específicos:

- Avaliar a empregabilidade de receptores GNSS de baixo custo em apoio à hidrografia; e
- Analisar a precisão dos dados obtidos em relação às normas da Organização Hidrográfica Internacional.

#### **4 METODOLOGIA**

Foi utilizado um receptor GNSS de baixo custo, equipado com chipset U-blox F9P e antena HX-CH6601A, cujas características técnicas estão detalhadamente documentadas nos ANEXOS A e B, respectivamente. Também foi empregado o receptor geodésico Emlid RS2 (ANEXO C), utilizado para levantamentos GNSS pelo CHM, conhecido por ser um equipamento de referência devido à sua alta acurácia. Além disso, foram utilizados acessórios de apoio para a coleta de dados, sendo eles: bastão, bipés, base nívelante e trena.

Os trabalhos de campo compreenderam levantamentos estáticos e cinemáticos com ambos os tipos de receptores GNSS: geodésicos convencionais e os de baixo custo (Figura 5).

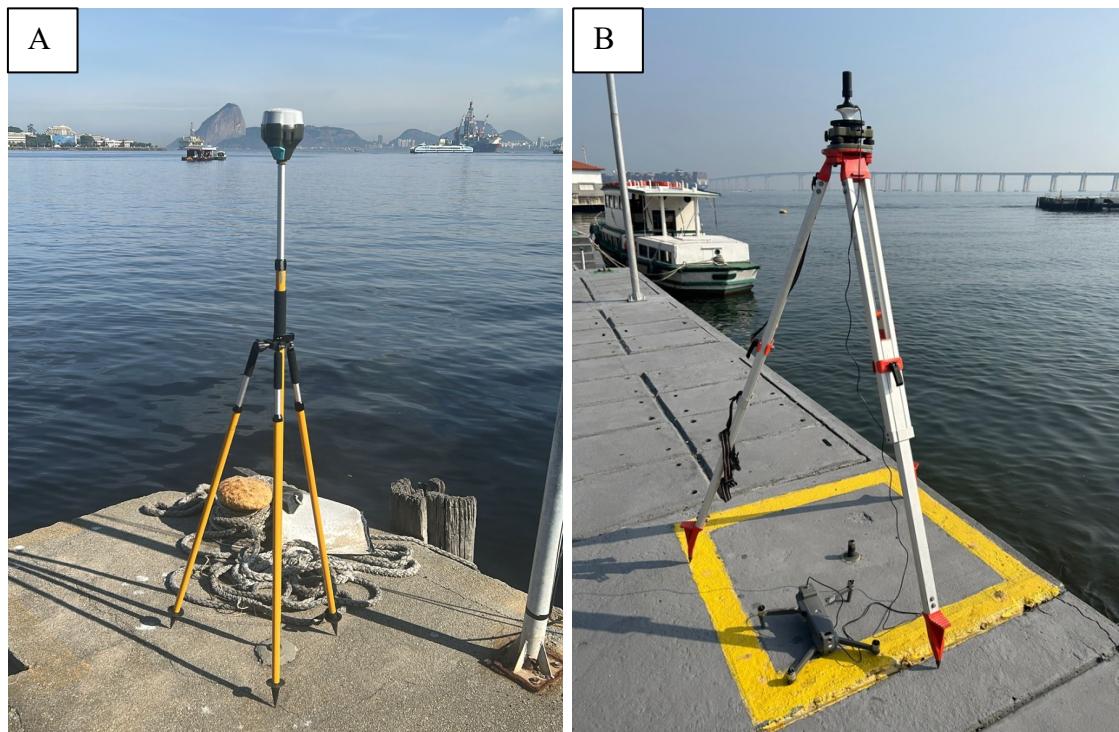
O critério de seleção dos pontos para o posicionamento estático baseou-se nas fichas F-21 do CHM, por se tratarem de marcos geodésicos materializados de forma perene no solo. Para os levantamentos cinemáticos, foi definida uma área de estudo que apresentava feições próximas de ambientes costeiros, com construções humanas como píeres e cais. A Tabela 1 descreve os parâmetros utilizados na configuração dos equipamentos durante o levantamento (baixo custo e geodésico).

Tabela 1 - Parâmetros de configurações dos levantamentos

| Parâmetros          | Geodésico | Baixo custo |
|---------------------|-----------|-------------|
| Tempo da sessão     | 20 min    | 20 min      |
| Máscara de elevação | 10º       | 7,5º        |
| Taxa de aquisição   | 1 Hz      | 10 Hz       |

Fonte: O autor (2025)

Figura 5 - Rastreios estáticos. (A) Geodésico e (B) Baixo custo



Fonte: O autor (2025)

Para o pós-processamento dos dados GNSS (estáticos e cinemáticos), foram utilizados os métodos de processamento PPK e PPS, a partir do *software* RTKLib, gratuito e de ampla utilização por parte da comunidade geodésica nacional e internacional. Para a realização do processamento diferencial, foram empregadas as efemérides transmitidas pelos satélites e os dados da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), utilizando-se como base as estações ONRJ (Observatório Nacional) e RJNI (Niterói) (IBGE, 2025). Em etapa complementar, foram criados arquivos no formato KMZ, tipo de formato gerado para ser lido por plataformas como o Google Earth, Google Maps e Global Mapper, o que facilitou a análise visual ao final da pesquisa.

A análise quantitativa focou nas diferenças entre as coordenadas obtidas pelos diferentes receptores, expressas em termos de erros absolutos. Complementarmente, as análises estatísticas foram processadas a partir de um *script* desenvolvido em linguagem Python (APÊNDICE A), utilizando principalmente as bibliotecas Matplotlib (Hunter, 2007), NumPy (Harris et al., 2020), Pandas (The Pandas Development Team, 2020) e Pyproj (Proj Contributors, 2025) e executado no ambiente de programação Spyder.

Como pré-requisito para os cálculos em unidades métricas, o *script* realizou a transformação das coordenadas geodésicas (Latitude, Longitude) de ambos os levantamentos

para o sistema de projeção *Universal Transverse Mercator* (UTM) (coordenadas Norte e Leste).

Para a análise de acurácia, os resultados das coordenadas obtidas pelo receptor Emlid Reach RS2 foram utilizados como valores de referência (REF), a partir dos quais se estabeleceu uma coordenada tridimensional média. Em comparação, as diferenças de cada ponto fornecido pelo receptor de baixo custo (U-blox F9P) foram calculados em relação a essa referência.

A partir dessas diferenças, o *script* calculou o RMSE, utilizando a metodologia descrita na Equação 2. Os valores foram separados tendo em vista a comparação com padrões de incerteza horizontal e vertical, sendo dispostos da seguinte forma:

- O RMSE Horizontal ( $RMSE_H$ ), que representa a incerteza planimétrica, foi calculado a partir da resultante euclidiana (Teorema de Pitágoras) dos erros nas coordenadas Norte (derivada da Latitude) e Leste (derivada da Longitude), conforme a Equação 3.
- O RMSE Vertical ( $RMSE_V$ ), que representa a incerteza altimétrica, foi calculado diretamente a partir dos erros na componente de altitude, conforme a Equação 4.

Estas duas métricas serviram como os principais parâmetros de análise estatística para a avaliação de desempenho do receptor de baixo custo.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{F9P,i} - x_{REF,i})^2} \quad (2)$$

$$RMSE_H = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(\Delta E_i)^2 + (\Delta N_i)^2]} \quad (3)$$

$$RMSE_V = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta h_i)^2} \quad (4)$$

Por fim, a análise visual contou com o auxílio de *softwares* de geoprocessamento. O QGIS foi empregado na elaboração do mapa de localização da área de estudo, apresentado nos resultados. O GlobalMapper, por sua vez, foi utilizado para a visualização dos vetores

formados pelos pontos rastreados e para a sobreposição espacial das trajetórias, permitindo a identificação de padrões de erro.

A integração entre métodos quantitativos, estatísticos e geoespaciais proporcionou uma avaliação abrangente e multidimensional da performance dos receptores GNSS testados. A partir da conclusão das análises, foi feita a verificação em relação aos parâmetros mínimos exigidos pela Tabela 2 da S-44 da IHO, que versa sobre requisitos mínimos de qualidade para levantamentos hidrográficos, com foco na segurança da navegação (IHO, 2022).

Tabela 2 - Padrões mínimos para levantamentos envolvendo segurança da navegação

| Reference                   | Criteria  | Uncertainty Component   | Order 2             | Order 1b     | Order 1a     | Special Order | Exclusive Order |
|-----------------------------|---|-------------------------|---------------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|
| <a href="#">Section 5.2</a> | <b>Fixed Objects, Aids to Navigation, Features Above the Vertical Reference Significant to Navigation</b> | <a href="#">THU</a> [m] | 5 m<br>*Pa4         | 2 m<br>*Pa6  | 2 m<br>*Pa6  | 2 m<br>*Pa6   | 1 m<br>*Pa7     |
|                             |   | <a href="#">TVU</a> [m] | 2 m<br>*Pb2         | 2 m<br>*Pb2  | 1 m<br>*Pb3  | 0.5 m<br>*Pb4 | 0.25 m<br>*Pb5  |
| <a href="#">Section 5.3</a> | <b>Floating Objects and Aids to Navigation</b>  | <a href="#">THU</a> [m] | 20 m<br>*Pc2        | 10 m<br>*Pc3 | 10 m<br>*Pc3 | 10 m<br>*Pc3  | 5 m<br>*Pc4     |
| <a href="#">Section 5.4</a> | <b>Coastline</b> (high, low, MWL water lines, etc.)   | <a href="#">THU</a> [m] | 10 m<br>*Pd2        | 10 m<br>*Pd2 | 10 m<br>*Pd2 | 10 m<br>*Pd2  | 5 m<br>*Pd3     |
| <a href="#">Section 5.5</a> | <b>Features Above the Vertical Reference Less Significant to Navigation</b>                               | <a href="#">THU</a> [m] | 20 m<br>*Pe2        | 20 m<br>*Pe2 | 20 m<br>*Pe2 | 10 m<br>*Pe3  | 5 m<br>*Pe4     |
|                             |   | <a href="#">TVU</a> [m] | 3 m<br>*Pf1         | 2 m<br>*Pf2  | 1 m<br>*Pf3  | 0.5 m<br>*Pf4 | 0.3 m<br>*Pf5   |
| <a href="#">Section 5.6</a> | <b>Overhead Clearances</b>  | <a href="#">THU</a> [m] | 10 m<br>*Pg1        | 10 m<br>*Pg1 | 5 m<br>*Pg2  | 2 m<br>*Pg3   | 1 m<br>*Pg4     |
|                             |   | <a href="#">TVU</a> [m] | 3 m<br>*Ph1         | 2 m<br>*Ph2  | 1 m<br>*Ph3  | 0.5 m<br>*Ph4 | 0.3 m<br>*Ph5   |
| <a href="#">Section 5.7</a> | <b>Angular Measurements</b>   | [degrees]               | 0.5 degrees<br>*Pi4 |              |              |               |                 |
| <a href="#">Section 4.4</a> | <b>Water Flow Direction</b>   | [degrees]               | 10 degrees<br>*Wa1  |              |              |               |                 |
| <a href="#">Section 4.4</a> | <b>Water Flow Speed</b>   | [knots]                 | 0.1 knots<br>*Wb5   |              |              |               |                 |

Fonte: IHO (2022)

## 5 RESULTADOS

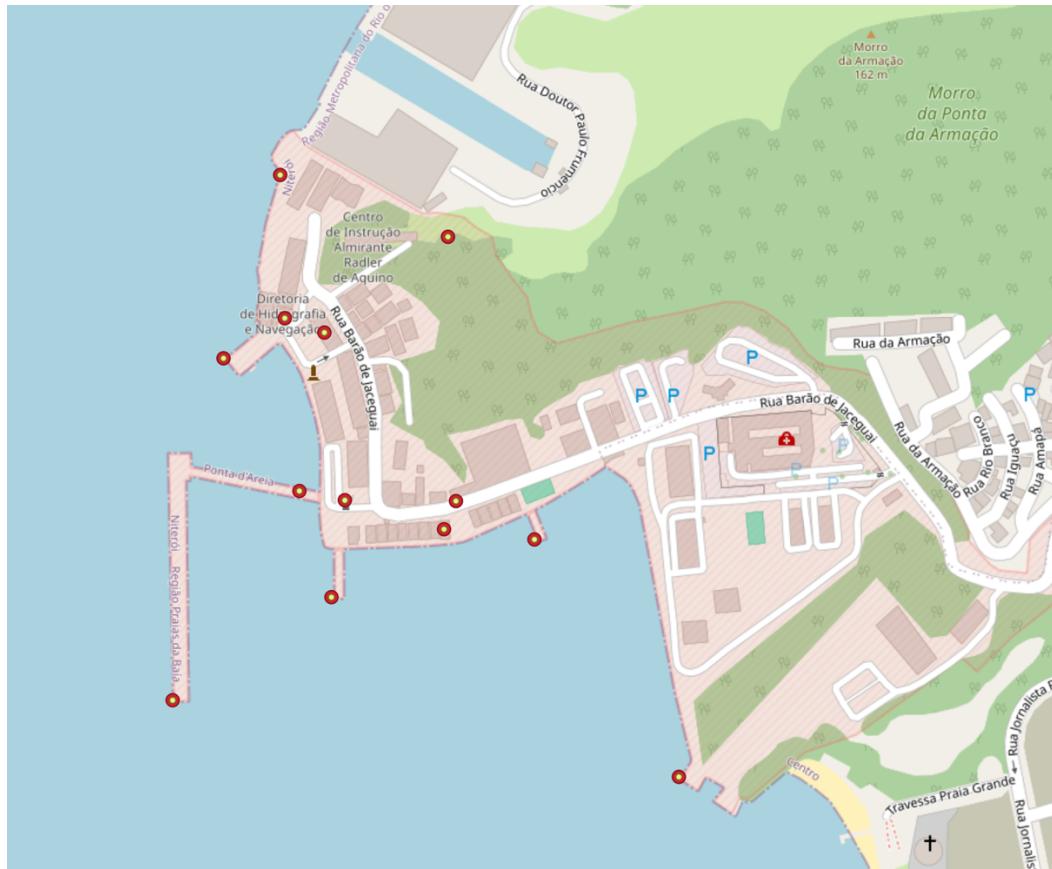
Neste capítulo, serão apresentados os resultados quantitativos e visuais obtidos a partir da análise comparativa entre os receptores, conforme a metodologia de processamento de dados detalhada no capítulo anterior.

### 5.1 RASTREIO ESTÁTICO

Para contextualizar geograficamente a área de estudo, a Figura 6 apresenta a localização dos pontos levantados em modo estático, plotados sobre um mapa base cartográfico (OpenStreetMap).

Os resultados do pós-processamento para cada um dos receptores são apresentados individualmente. A Tabela 3 exibe as coordenadas médias calculadas para o levantamento realizado com o receptor geodésico de referência. A Tabela 4 apresenta os resultados equivalentes para o receptor de baixo custo.

Figura 6 - Localização da área de estudo e dos pontos do levantamento estático



Fonte: O autor (2025)

Tabela 3 - Resultados do receptor geodésico

| Ponto | Longitude (m)      | Latitude (m)       | Altitude (m) |
|-------|--------------------|--------------------|--------------|
| 1     | -43,13287915233380 | -22,88229095398850 | 27,222       |
| 2     | -43,13207734816300 | -22,88487730091220 | -3,824       |
| 3     | -43,13395982903850 | -22,88537057604630 | -3,563       |
| 4     | -43,13443545018870 | -22,88176229611320 | -3,731       |
| 5     | -43,13543255594280 | -22,88625124305050 | -3,612       |
| 6     | -43,13496096055000 | -22,88332925711670 | -3,839       |
| 7     | -43,13073749137880 | -22,88690629843820 | -2,704       |
| 8     | -43,13402561813080 | -22,88310930041590 | 10,602       |
| 9     | -43,13439257148950 | -22,88298619341460 | 11,632       |
| 10    | -43,13291599989680 | -22,88478995602310 | 5,457        |
| 11    | -43,13383583223380 | -22,88454208770870 | -3,324       |
| 12    | -43,13280516621820 | -22,88454917789140 | 10,669       |
| 13    | -43,13425708136730 | -22,88446338627100 | -3,285       |

Fonte: O autor (2025)

Tabela 4 - Resultados do receptor de baixo custo

| Ponto | Longitude (m)      | Latitude (m)       | Altitude (m) |
|-------|--------------------|--------------------|--------------|
| 1     | -43,13287935559020 | -22,88229079978920 | 27,184       |
| 2     | -43,13207724086100 | -22,88487745943050 | -3,769       |
| 3     | -43,13396014914500 | -22,88537097139860 | -3,613       |
| 4     | -43,13443557570490 | -22,88176274275700 | -3,750       |
| 5     | -43,13543239958720 | -22,88625150920490 | -3,676       |
| 6     | -43,13496117035190 | -22,88332944031180 | -3,924       |
| 7     | -43,13073778700000 | -22,88690657900000 | -2,817       |
| 8     | -43,13402564338930 | -22,88310936874050 | 10,514       |
| 9     | -43,13439269469400 | -22,88298642090820 | 11,571       |
| 10    | -43,13291607391300 | -22,88479023682610 | 5,347        |
| 11    | -43,13383589247950 | -22,88454244823410 | -3,445       |
| 12    | -43,13280544064570 | -22,88454917740000 | 10,706       |
| 13    | -43,13425744886280 | -22,88446314536780 | -3,304       |

Fonte: O autor (2025)

A Tabela 5 apresenta as diferenças absolutas calculadas entre as coordenadas médias de ambos os receptores, assim como a média dessas diferenças, que representa a tendência ou *bias* sistemático entre os equipamentos.

Tabela 5 - Diferenças entre os resultados

| <b>Diferenças</b> |                      |                     |                    |
|-------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| <b>Ponto</b>      | <b>Longitude (m)</b> | <b>Latitude (m)</b> | <b>Altitude(m)</b> |
| 1                 | -0,021               | 0,017               | -0,038             |
| 2                 | 0,011                | -0,018              | 0,055              |
| 3                 | -0,036               | -0,044              | -0,050             |
| 4                 | -0,014               | -0,050              | -0,019             |
| 5                 | 0,017                | -0,030              | -0,064             |
| 6                 | -0,023               | -0,020              | -0,085             |
| 7                 | -0,033               | -0,031              | -0,114             |
| 8                 | -0,003               | -0,008              | -0,089             |
| 9                 | -0,014               | -0,025              | -0,060             |
| 10                | -0,008               | -0,031              | -0,110             |
| 11                | -0,007               | -0,040              | -0,121             |
| 12                | -0,031               | 0,000               | 0,038              |
| 13                | -0,041               | 0,027               | -0,019             |
| <b>Média</b>      | <b>-0,015</b>        | <b>-0,019</b>       | <b>-0,052</b>      |

Fonte: O autor (2025)

Adicionalmente, a análise de precisão do receptor de baixo custo em relação ao de referência resultou nos valores de RMSE apresentados na Tabela 6.

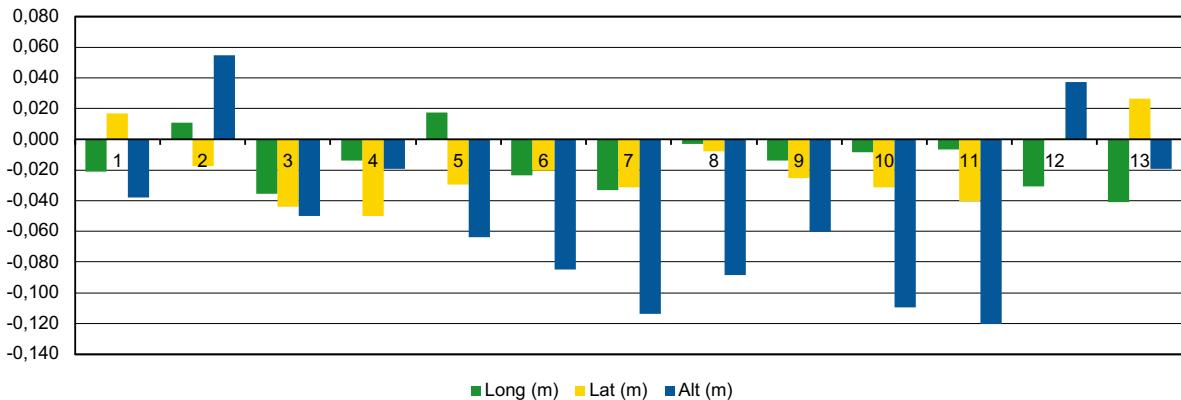
Tabela 6 - Valores de RMSE

| <b>RMSE (m)</b> |       |
|-----------------|-------|
| Horizontal      | 0,036 |
| Vertical        | 0,074 |

Fonte: O autor (2025)

A representação visual da distribuição dos erros planimétricos e altimétricos é apresentada na Figura 7. O gráfico, elaborado com o auxílio de planilha eletrônica, ilustra a dispersão de cada ponto medido pelo receptor de baixo custo em torno da posição de referência, que está centralizada na origem (0,0,0).

Figura 7 - Diferença entre as medições



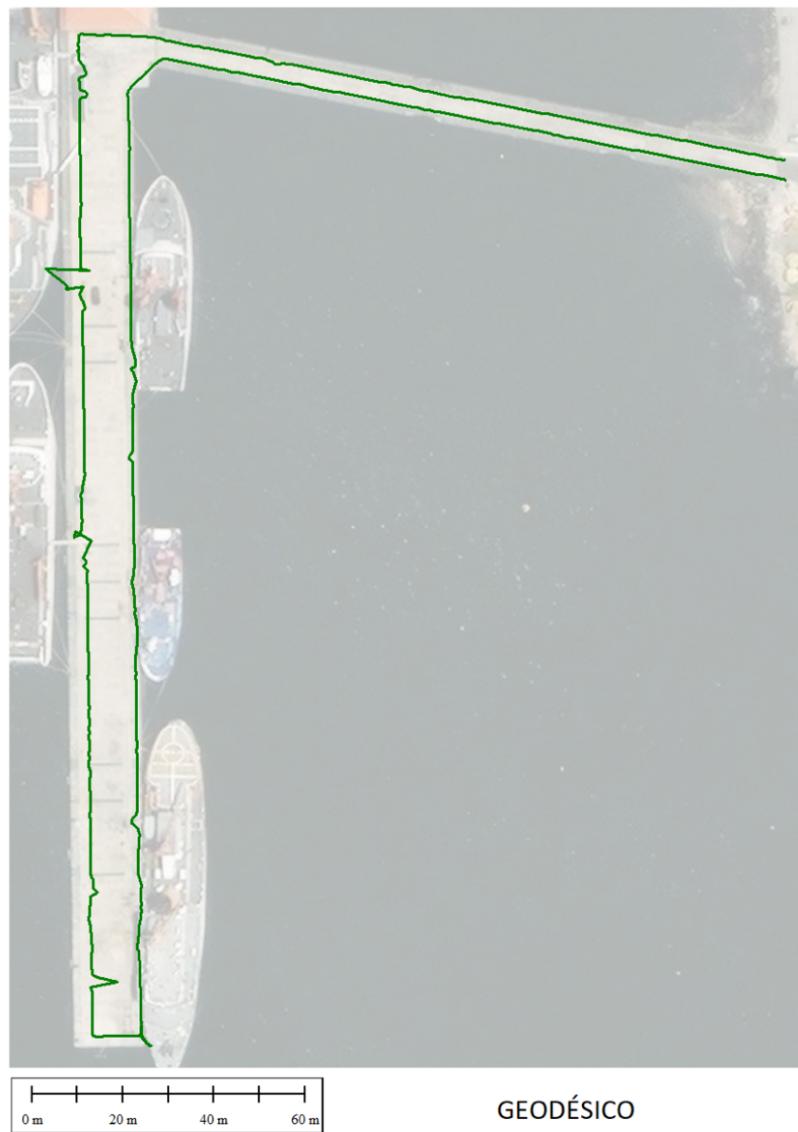
Fonte: O autor (2025)

## 5.2 RASTREIO CINEMÁTICO

Para o levantamento cinemático, a análise foi realizada de forma visual e comparativa, a partir das trajetórias registradas por cada um dos receptores. Os resultados são apresentados individualmente e, em seguida, de forma sobreposta para a análise de concordância.

A Figura 8 apresenta a trajetória registrada pelo receptor geodésico de referência. Neste caso, os dados foram coletados a uma taxa de 1 Hz, resultando em um traçado com características angulares, típico de uma menor frequência de aquisição de dados.

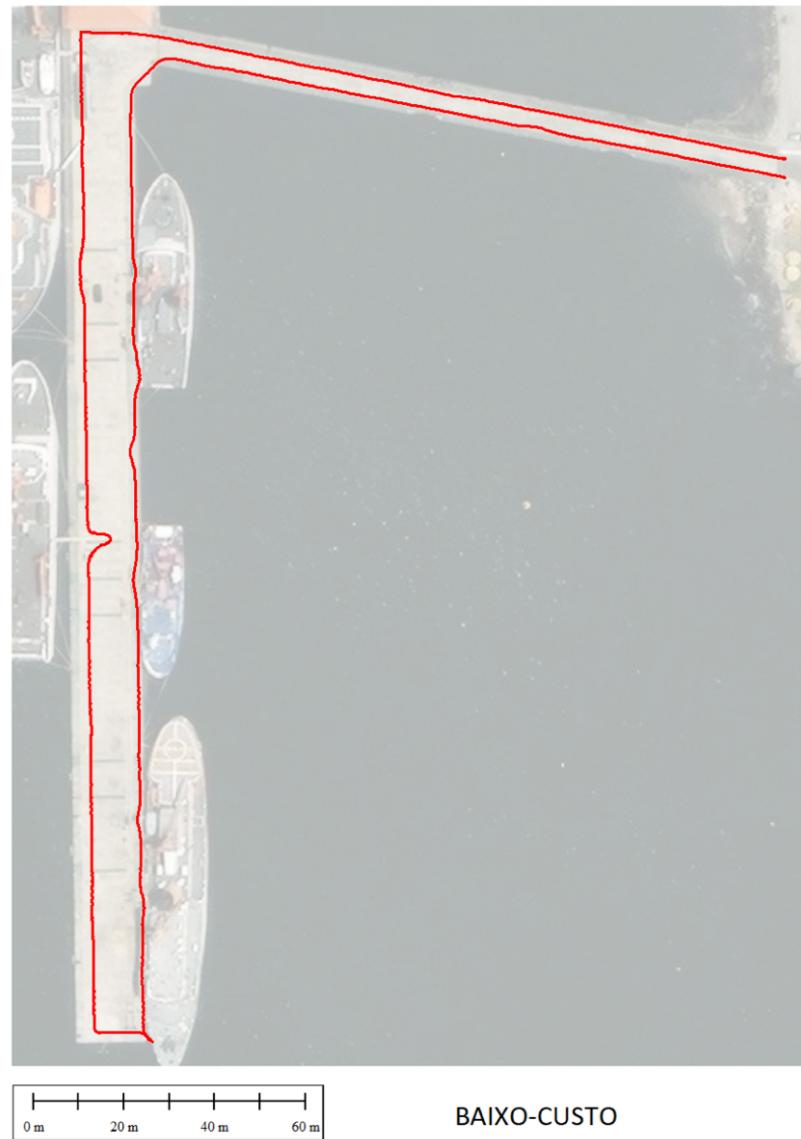
Figura 8 - Rastreio cinemático com receptor geodésico



Fonte: O autor (2025)

A Figura 9 exibe a trajetória registrada pelo receptor de baixo custo (U-blox F9P). O percurso foi gerado a partir de pontos coletados a uma taxa de 10 Hz, o que permitiu um registro mais detalhado e suave do percurso realizado, definindo as curvas e segmentos de reta com maior fidelidade.

Figura 9 - Rastreio cinemático com receptor de baixo custo



Fonte: O autor (2025)

Finalmente, a Figura 10 apresenta a sobreposição de ambas as trajetórias para a análise comparativa direta. Esta visualização permite avaliar a concordância entre os dois levantamentos.

Figura 10 - Comparação entre os resultados



Fonte: O autor (2025)

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo se dedica à interpretação e discussão dos resultados apresentados, contextualizando-os com as normas técnicas vigentes e as condições observadas durante a pesquisa.

## 6.1 ANÁLISE DO RASTREIO ESTÁTICO

Analizando as métricas de tendência, observou-se um erro médio (*bias*) de -0,019 metros na componente Leste (X) e de -0,015 metros na componente Norte (Y), além de -0,052 metros na componente de altitude (Z). Estes valores, embora pequenos, corroboram a tendência sistemática visualizada no gráfico de dispersão (Figura 7), indicando um leve deslocamento constante do receptor de baixo custo em relação à referência.

Quanto a análise dos dados da Tabela 6, observa-se que o receptor de baixo custo apresentou uma alta precisão, com um RMSE horizontal de 0,036 m e um RMSE Vertical de 0,074 m.

Para comparar estes resultados com os padrões da Norma S-44 da IHO, é necessário considerar os erros, com um nível de confiança de 95%, conforme exigido pela norma.

- Para a componente vertical, a incerteza é considerada multiplicando-se o RMSE<sub>V</sub> pelo fator de 1,96, resultando no valor da *Total Vertical Uncertainty* (TVU) a 95% de confiança de 0,145 m.
- Para a componente horizontal, a consideração para um nível de confiança de 95% em uma distribuição de erro bidimensional é de aproximadamente 2,45. Este valor é aplicado ao RMSE<sub>H</sub>, obtendo-se a *Total Horizontal Uncertainty* (THU) de 0,088 m.

A norma S-44, em sua “Ordem Exclusiva” (a mais rigorosa), estabelece uma TVU máxima de 0,25 m e uma THU máxima de 1,0 m. Confrontando os resultados obtidos, observa-se que a incerteza vertical calculada (0,145 m) e a incerteza horizontal calculada (0,088 m) atendem com folga aos rigorosos requisitos da norma, reforçando a viabilidade do uso do equipamento de baixo custo, com técnica de pós-processamento, para aplicações hidrográficas.

## 6.2 ANÁLISE DO RASTREIO CINEMÁTICO

A análise comparativa das trajetórias, apresentada de forma sobreposta na Figura 10, permite avaliar o impacto direto da frequência de observação na representação de um levantamento cinemático. Observa-se uma alta coerência visual entre os percursos, embora

existam pequenas discrepâncias pontuais, cuja natureza é explicitada pela análise individual de cada trajetória.

A Figura 9, gerada com o receptor de baixo custo operando a 10 Hz (10 observações por segundo), apresenta uma linha visivelmente mais suave e contínua. A maior densidade de pontos ao longo do percurso permite uma reconstituição muito mais fiel do movimento, detalhando as curvas e variações do caminho com maior precisão geométrica.

Em contraste, a Figura 8, proveniente do receptor geodésico com uma taxa de 1 Hz, exibe um traçado notadamente angular. A longa distância entre os pontos sequenciais resulta em segmentos de reta que não acompanham a curvatura real do percurso, gerando uma representação de baixa resolução da trajetória.

É fundamental notar que a maior frequência de observação não implica, necessariamente, em uma maior acurácia para cada ponto isolado, mas sim em uma melhor resolução temporal e, consequentemente, maior fidelidade geométrica da trajetória registrada.

## 7 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal avaliar o desempenho de um receptor GNSS de baixo custo (U-blox F9P) em comparação com um receptor geodésico de referência (Emlid RS2), por meio de levantamentos estático e cinemático em modo pós-processado, visando validar sua empregabilidade em apoio aos levantamentos hidrográficos.

A análise dos resultados demonstrou que o receptor de baixo custo alcançou uma acurácia posicional centimétrica. Após a consideração dos erros para um nível de confiança de 95%, constatou-se que o equipamento atende aos padrões estabelecidos pela “Ordem Exclusiva” da norma S-44 da IHO, tanto para a incerteza horizontal quanto para a vertical. A avaliação do levantamento cinemático também corroborou o bom desempenho do equipamento em registrar trajetórias de forma consistente.

Conclui-se, portanto, que a utilização de receptores GNSS de baixo custo, quando submetidos a um método de pós-processamento diferencial, apresenta-se como uma alternativa viável e de custo-benefício. Este resultado apresenta uma alternativa aos trabalhos geodésicos hidrográficos realizados na MB. A validação do desempenho frente à norma S-44

demonstra que tais receptores são tecnicamente qualificados para serem integrados em apoio às operações demandas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), representando uma economia potencial de até 90% no custo de aquisição de *hardware* em comparação com os sistemas geodésicos convencionais, sem comprometer a acurácia exigida.

Para além da aplicação na hidrografia, os resultados deste trabalho reforçam o potencial desses equipamentos para tornar acessível o acesso ao posicionamento de alta acurácia em diversas outras áreas da engenharia e geociências no Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLUE MARBLE GEOGRAPHICS. **Global Mapper.** v23.1. Hallowell: Blue Marble Geographics, 2025. Software. Disponível em: <https://www.bluemarblegeo.com/global-mapper/>. Acesso em: 29 jul. 2025.

DE LIMA, E. C. **Proposta de metodologia para melhora do posicionamento obtido através de receptores GPS de baixo custo.** 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo. DOI 10.11606/T.3.2018.tde-28082018-090652. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-28082018-090652/>. Acesso em: 21 abr. 2025.

EMLID. **Reach RS2 Specifications.** Budapest, 2025. Disponível em: <https://docs.emlid.com/reachrs2/specifications/specs/>. Acesso em: 29 set. 2025.

HARRIS, C. R. et al. Array programming with NumPy. **Nature**, London, v. 585, p. 357–362, 2020.

HARXON. **HX-CH6601A UAV Helical Antenna.** Shenzhen, 2025. Disponível em: <https://en.harxon.com/product/detail/137.html>. Acesso em: 29 set. 2025.

HUNTER, J. D. Matplotlib: A 2D graphics environment. **Computing in Science & Engineering**, v. 9, n. 3, p. 90-95, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS - RBMC.** Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16258-rede-brasileira-de-monitoramento-continuo-dos-sistemas-gnss-rbmc.html>. Acesso em: 23 abr. 2025.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION (IHO). **IHO S-44:** Standards for Hydrographic Surveys. Monaco: International Hydrographic Organization. 6.1.0 ed. 2022.

JANGÃO. **Holybro H-RTK F9P Helical, Posicionamento GNSS de Alta Precisão para Drones, Módulo UBLOX F9P, 12018.** [s.d.]. Disponível em: <https://www.lojadojangao.com.br/produtos/holybro-h-rtk-f9p-helical>. Acesso em: 22 abr. 2025.

ANGLEY, R. B. Propagation of the GPS signals, In: KLEUSBERG, A and TEUNISSEN, P. **GPS for Geodesy**, Berlin: Verlag, p. 103-40, 1996a.

LUZ, R. T.; CORREIA, J. D.; PEREIRA, K. D.; PESSOA, L. M. C. Posicionamento com receptores GPS “amadores”: alguns resultados. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 48, p. 55–61, 2020. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/52375>. Acesso em: 21 abr. 2025.

MARTINS, R. N.; NETO, A. F. A.; ANTONIO, M.; VIANA, L. A.; DE QUEIROZ, D.M. Análise da precisão de diferentes receptores GNSS para coleta de dados. In: ENCONTRO

LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 21., 2017, São José dos Campos. **Anais [...] São José dos Campos:** Universidade do Vale do Paraíba, 2017. Disponível em: [https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2017/anais/arquivos/0678\\_0789\\_01.pdf](https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2017/anais/arquivos/0678_0789_01.pdf). Acesso em: 21 abr. 2025.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** 2. ed. Presidente Prudente: UNESP, 2008.

OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. **OpenStreetMap.** [S.l.]: OpenStreetMap Foundation, 2025. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org>. Acesso em: 3 out. 2025.

PROJ CONTRIBUTORS. **PROJ coordinate transformation software library.** [S.l.]: Open Source Geospatial Foundation, 2025. Disponível em: <https://proj.org/>. Acesso em: 25 ago. 2025.

PYTHON SOFTWARE FOUNDATION. **Python Language Reference**, version 3.11.10. Delaware, 2024. Disponível em: <https://www.python.org>. Acesso em: 25 ago. 2025.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System.** [S.l.]: Open Source Geospatial Foundation, 2025. Software. Disponível em: <https://qgis.org>. Acesso em: 3 out. 2025.

REVNIVYKH, S. et al. GLONASS. In: TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK, O. (ed.). **Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems.** Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 219-246.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications.** 2 ed. Berlin. New York: Walter de Gruyter, 2003.

SUPREMA. **Receptor GNSS AFS 392 com NavController III Trimble** [s.d.]. Disponível em <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-5211183194>. Acesso em: 21 abr. 2025.

TAKASU, T. **RTKLib: an open source program package for GNSS positioning.** [Software]. 2023. Disponível em: <https://www.rtklib.com> . Acesso em: 23 abr. 2025.

TEUNISSEN, P. J. G.; MONTENBRUCK O. **Global Navigation Satellite Systems: Springer Handbook.** Perth, Australia: Springer International Publishing, 2017. 1333 p. ISBN 978-3-319-42926-7.

THE PANDAS DEVELOPMENT TEAM. **pandas-dev/pandas:** Pandas. [S.l.]: Zenodo, 2020. DOI: 10.5281/zenodo.3509134.

U-BLOX. **ZED-F9P High precision GNSS module.** Thalwil, 2024. Disponível em: <https://www.u-blox.com/en/product/zed-f9p-module>. Acesso em: 30 set. 2025.

VAN SICKLE, J. **GPS for Land Surveyors.** 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2015.

## APÊNDICE A – SCRIPT PARA ANÁLISE DE DADOS GNSS EM PYTHON

(continua)

```

1  # -*- coding: utf-8 -*-
2  # =====
3  # TÍTULO: Script para Análise Comparativa de Dados Geodésicos
4  # AUTOR: José Daniel Arruda Freitas
5  # TRABALHO: Trabalho de Conclusão de Curso
6  #
7  #
8  # OBJETIVO:
9  # Realizar a análise de acurácia de um receptor GNSS de baixo custo em
10 # comparação com um receptor de referência, a partir de dados geodésicos.
11 # O script converte coordenadas, calcula erros, computa estatísticas (RMSE)
12 # e gera um gráfico de dispersão dos erros.
13 #
14
15
16 # Importa as bibliotecas para manipulação de dados, matemática e visualização.
17
18 import pandas as pd
19 import numpy as np
20 import matplotlib.pyplot as plt
21 from pyproj import Transformer
22
23
24 # Parâmetros de entrada para a execução da análise.
25
26 # Arquivo CSV de entrada com os dados brutos.
27 ARQUIVO_DADOS = 'dados_gnss.csv'
28
29 # Mapeamento dos nomes de coluna do CSV para seu significado geodésico.
30 COL_LON_REF = 'E_ref' # Coluna com a Longitude de referência.
31 COL_LAT_REF = 'N_ref' # Coluna com a Latitude de referência.
32 COL_ALT_REF = 'h_ref'
33
34 COL_LON_F9P = 'E_f9p' # Coluna com a Longitude do receptor em teste.
35 COL_LAT_F9P = 'N_f9p' # Coluna com a Latitude do receptor em teste.
36 COL_ALT_F9P = 'h_f9p'
37
38 # Códigos EPSG para a conversão de coordenadas
39 EPSG_ENTRADA = 'epsg:4326' # WGS84 (Entrada: Lat/Lon).
40 EPSG_SAIDA = 'epsg:31983' # SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (Saída: Metros).
41
42
43 try:
44     print("Iniciando a análise final...")
45
46     # Carrega o CSV usando o separador de vírgula.
47     df = pd.read_csv(ARQUIVO_DADOS, sep=',')
48     print("Arquivo de dados carregado com sucesso.")
49
50     # Converte todas as colunas para o formato numérico.
51     for col in df.columns:
52         df[col] = pd.to_numeric(df[col], errors='coerce')
53     df.dropna(inplace=True)
54     print(f"Total de {len(df)} pontos válidos encontrados para análise.")
55
56     # Inicializa o transformador de coordenadas.
57     transformer = Transformer.from_crs(EPSG_ENTRADA, EPSG_SAIDA, always_xy=True)

```

(continuação)

```

58     # Converte as coordenadas do RECEPTOR DE REFERÊNCIA, usando o mapeamento correto.
59     df['Este_ref'], df['Norte_ref'] = transformer.transform(
60         df[COL_LON_REF].values, df[COL_LAT_REF].values
61     )
62
63     # Converte as coordenadas do RECEPTOR DE TESTE (F9P), usando o mapeamento correto.
64     df['Este_f9p'], df['Norte_f9p'] = transformer.transform(
65         df[COL_LON_F9P].values, df[COL_LAT_F9P].values
66     )
67
68     print("Conversão de coordenadas para UTM concluída.")
69
70     # Cálculo de Erros (PONTO A PONTO)
71     df['Erro_Este'] = df['Este_f9p'] - df['Este_ref']
72     df['Erro_Norte'] = df['Norte_f9p'] - df['Norte_ref']
73     df['Erro_Altitude'] = df[COL_ALT_F9P] - df[COL_ALT_REF]
74     print("Cálculo de erros individuais (ponto a ponto) concluído.")
75
76     # --- Cálculo das Estatísticas Finais ---
77     erro_2d = np.sqrt(df['Erro_Este']**2 + df['Erro_Norte']**2)
78     rmse_horizontal = np.sqrt(np.mean(erro_2d**2))
79     rmse_vertical = np.sqrt(np.mean(df['Erro_Altitude']**2))
80     erro_medio_este = df['Erro_Este'].mean()
81     erro_medio_norte = df['Erro_Norte'].mean()
82     erro_medio_altitude = df['Erro_Altitude'].mean()
83
84     # --- Impressão dos Resultados Finais ---
85     print("\n" + "="*50)
86     print("--- ANÁLISE ESTATÍSTICA FINAL DOS ERROS ---")
87     print("=".join(["="]*50))
88     print("\nMédia das Diferenças (Viés):")
89     print(f" - Erro Médio em Leste: {erro_medio_este:.4f} m")
90     print(f" - Erro Médio em Norte: {erro_medio_norte:.4f} m")
91     print(f" - Erro Médio em Altitude: {erro_medio_altitude:.4f} m")
92     print("\nRMSE (Acurácia):")
93     print(f" - RMSE Horizontal (2D): {rmse_horizontal:.4f} m")
94     print(f" - RMSE Vertical: {rmse_vertical:.4f} m")
95     print("=".join(["="]*50))
96
97     # --- GERAÇÃO DO GRÁFICO (ESTILO CUSTOMIZADO) ---
98     print("\nGerando o gráfico de dispersão com o estilo final...")
99
100    # Cria a figura e os eixos
101    fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 10))
102
103    # Define a cor de fundo do gráfico (cinza claro)
104    ax.set_facecolor('#EAEAF2')
105    fig.set_facecolor('#EAEAF2')
106
107    # Configura o grid para ser branco e mais visível
108    ax.grid(True, which='both', color='white', linestyle='-', linewidth=1.5)
109    ax.set_axisbelow(True) # Garante que o grid fique atrás dos pontos
110
111    # Plota os erros com o estilo customizado: azul ("cornflowerblue") com borda preta
112    ax.scatter(df['Erro_Este'], df['Erro_Norte'], alpha=0.9, s=100,
113               label='Erros dos Pontos (F9P)', facecolor='cornflowerblue',
114               edgecolor='black', linewidth=1.5)

```

(conclusão)

```
115      # Plota a posição de referência com borda preta para destaque
116      ax.plot(0, 0, 'r*', markersize=20, label='Posição de Referência', markeredgewidth='black')
117
118      # CORREÇÃO: Usa a variável rmse_horizontal que já foi calculada
119      circle = plt.Circle((0, 0), rmse_horizontal, color='red', fill=False,
120                            linestyle='--', linewidth=1.5, label=f'RMSE Horizontal = {rmse_horizontal:.3f} m')
121      ax.add_artist(circle)
122
123      # Adiciona os eixos X e Y em preto
124      ax.axhline(0, color='black', linewidth=1.0)
125      ax.axvline(0, color='black', linewidth=1.0)
126
127      # Configura os títulos e rótulos
128      ax.set_title('Dispersão dos Erros Horizontais (F9P vs. Referência)', fontsize=16)
129      ax.set_xlabel('Erro na Direção Leste (metros)', fontsize=12)
130      ax.set_ylabel('Erro na Direção Norte (metros)', fontsize=12)
131
132      # Garante que os eixos tenham a mesma escala para um círculo perfeito
133      ax.set_aspect('equal', adjustable='box')
134
135      # Adiciona a legenda com fundo branco
136      ax.legend(frameon=True, facecolor='white', framealpha=0.9, loc='best')
137
138      # Exibe o gráfico final
139      plt.show()
140
141
142      except Exception as e:
143          print(f"\nOcorreu um erro inesperado: {e}")
```

Fonte: Python (2025)

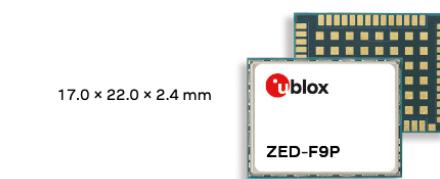
## ANEXO A – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO CHIPSET U-BLOX F9P

(continua)

### Product summary

# ZED-F9P series

## u-blox F9 high precision GNSS modules



Standard



Professional



Automotive

### Multi-band receiver delivers centimeter-level accuracy in seconds

- Concurrent reception of GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou
- Multi-band RTK with fast convergence times and reliable performance
- Centimeter-level accuracy in a small and energy-efficient module
- Easy integration of RTK for fast time-to-market
- Native support for PointPerfect simplifies integration

|                                   | ZED-F9P-0xB | ZED-F9P-1xB |
|-----------------------------------|-------------|-------------|
| <b>Grade</b>                      |             |             |
| Automotive                        |             |             |
| Professional                      | •           | •           |
| Standard                          |             |             |
| <b>GNSS</b>                       |             |             |
| GPS + QZSS / SBAS                 | •           | •           |
| GLONASS                           | •           | •           |
| Galileo                           | •           | •           |
| BeiDou                            | •           | •           |
| Number of concurrent GNSS         | 4           | 4           |
| Multi-band                        | L1/L2       | L1/L5       |
| <b>Compatible u-blox services</b> |             |             |
| AssistNow™                        | •           | •           |
| PointPerfect                      | •           | •           |
| <b>Interfaces</b>                 |             |             |
| UART                              | 2           | 2           |
| USB                               | 1           | 1           |
| SPI                               | 1           | 1           |
| DDC (I2C compliant)               | 1           | 1           |
| <b>Features</b>                   |             |             |
| Programmable (flash)              | •           | •           |
| Data logging                      | •           | •           |
| Carrier phase output              | •           | •           |
| Additional SAW                    | •           | •           |
| RTC crystal                       | •           | •           |
| Oscillator                        | T           | T           |
| RTK rover                         | •           | •           |
| RTK base station                  | •           | •           |
| Moving base                       | •           |             |
| Survey-in and fixed mode          | •           | •           |
| Timepulse                         | 1           | 1           |
| <b>Power supply</b>               |             |             |
| 2.7 V – 3.6 V                     | •           | •           |

T = TCXO

### Product description

The ZED-F9P positioning module integrates multi-band GNSS and real time kinematics (RTK) technology in a compact form factor, to deliver centimeter-level accuracies in seconds for the industrial navigation and robotics markets.

ZED-F9P concurrently uses signals from the GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, and NavIC GNSS constellations. GNSS signals from multiple frequency bands combined with RTK technology enables fast convergence times and reliable performance for scalable applications, including robotic lawnmowers, unmanned autonomous vehicles (UAV), and semi-automated or fully automated machinery.

With its high update rate and low power consumption levels, the ZED-F9P module is ideal for highly dynamic applications such as UAVs. ZED-F9P ensures the security of positioning and navigation information by using secure interfaces and advanced jamming and spoofing detection technologies, such as Galileo OSNMA. The receiver enables easy integration and helps product developers quickly bring their ideas to the market.

ZED-F9P offers support for a range of correction services allowing each application to optimize performance according to the application's unique set of needs. ZED-F9P comes with built-in support for standard RTCM corrections, supporting centimeter-level navigation from local base stations or from virtual reference stations (VRS) in a Network RTK setup. The module supports SPARTN format SSR-type correction services suitable for mass market applications.

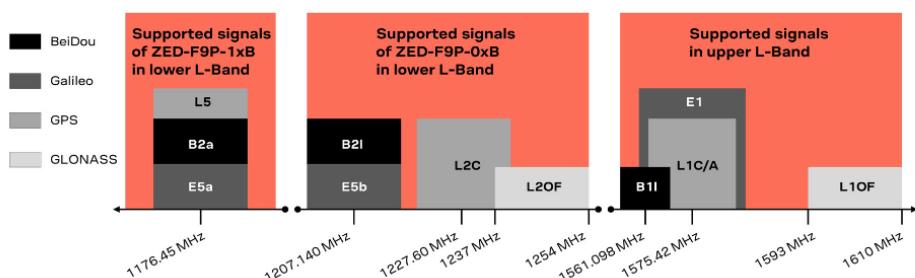
u-blox modules are manufactured in ISO/TS 16949 certified sites and are fully tested on a system level. Qualification tests are performed as stipulated in the ISO16750 standard: "Road vehicles – Environmental conditions and testing for electrical and electronic equipment".

(conclusão)

P

## ZED-F9P series

| Features   |  |  | Package  |
|--|--|--|--|
| Receiver type  | 184-channel u-blox F9 engine<br>GPS L1C/A, GLO L1OF, GAL E1B/C, BDS B1I, QZSS L1C/A L1S L5, SBAS L1C/A | ZED-F9P-0xB: GPS L2C, GLO L2OF, GAL E5b, BDS B2I, QZSS L2C | 54-pin LGA (land grid array), 17 x 22 x 2.4 mm |
| ZED-F9P-1xB:   | GPS L5, GAL E5a, BDS B2a, NavIC L5   |  |  |
| Nav. update rate   | RTK  | up to 20 Hz <sup>1</sup>                                   |  |
| Position accuracy <sup>2</sup>   | RTK  | 0.01 m + 1 ppm CEP   |  |
| Convergence time <sup>2</sup>  | RTK  | < 10 sec   |  |
| Acquisition  | Cold starts<br>Aided starts<br>Reacquisition   | 24 s<br>2 s<br>2 s   |  |
| Sensitivity  | Tracking & Nav.<br>Cold starts<br>Hot starts<br>Reacquisition  | -167 dBm<br>-148 dBm<br>-157 dBm<br>-160 dBm               |  |
| Assistance   | AssistNow Online<br>OMA SUPL & 3GPP compliant  |  |  |
| Oscillator   | TXCO   |  |  |
| RTC crystal  | Built-in   |  |  |
| Anti-jamming   | Active CW detection and removal<br>Onboard band pass filter  |  |  |
| Anti-spoofing  | Advanced anti-spoofing algorithms and OSNMA  |  |  |
| Memory   | Flash  |  |  |
| Moving base <sup>3</sup>   | For attitude sensing and heading applications  |  |  |
| Supported antennas   | Active   |  |  |
| 1. The highest navigation rate can limit the number of supported constellations<br>2. Depends on atmospheric conditions, baseline length, GNSS antenna, multipath conditions, satellite visibility, and geometry<br>3. Only for ZED-F9P-0xB product versions |  |  |  |
| Interfaces   |  |  |  |
| Serial interfaces  | 2 UART<br>1 SPI<br>1 USB<br>1 DDC (I2C compliant)  |  |  |
| Digital I/O  | Configurable timelpulse<br>EXTINT input for wakeup<br>RTK fix status<br>GEOFENCE status                |  |  |
| Timelpulse   | Configurable: 0.25 Hz to 10 MHz  |  |  |
| Protocols  | NMEA, UBX binary, RTCM v. 3.4, SPARTN v. 2.0.1   |  |  |
| Environmental data, quality, and reliability   |  |  |  |
| Operating temp.  | -40 °C to +85 °C   |  |  |
| Storage temp.  | -40 °C to +85 °C   |  |  |
| Vibration  | MIL-STD-810G (Category 24, 7.7g RMS)   |  |  |
| RoHS compliant   | (2015/863/EU)  |  |  |
| Green (halogen-free)   |  |  |  |
| EU Radio Equipment Directive compliant   | 2014/53/EU   |  |  |
| Qualification according to ISO   | 16750  |  |  |
| Manufactured and fully tested in ISO/TS 16949 certified production sites   |  |  |  |
| Electrical data  |  |  |  |
| Supply voltage   | 2.7 V to 3.6 V   |  |  |
| Power consumption  | 68 mA at 3.0 V (continuous)  |  |  |
| Backup supply  | 1.65 V to 3.6 V  |  |  |
| Compatible u-blox products and services  |  |  |  |
| Products   | NEO-D9S correction receiver<br>NEO-D9C correction receiver   |  |  |
| Location services  | AssistNow A-GNSS service<br>PointPerfect GNSS augmentation service                                     |  |  |
| Support products   |  |  |  |
| u-blox support products provide reference design, and allow efficient integration and evaluation of u-blox positioning technology.   |  |  |  |
| EVK-F9P-01   | ZED-F9P-0xB evaluation kit with ANN-MB multi-band antenna  |  |  |
| EVK-F9P-16   | ZED-F9P-1xB evaluation kit with ANN-MB1 multi-band antenna   |  |  |
| Product variants   |  |  |  |
| ZED-F9P-02B  | High precision GNSS module with SBAS   |  |  |
| ZED-F9P-04B  | High precision GNSS module with SPARTN and CLAS  |  |  |
| ZED-F9P-05B  | High precision GNSS module with Galileo OSNMA  |  |  |
| ZED-F9P-15B  | High precision GNSS module with L1/L5  |  |  |



### Further information

For contact information, see [www.u-blox.com/contact-u-blox](http://www.u-blox.com/contact-u-blox).  
For more product details and ordering information, see the product data sheet.

### Legal Notice

u-blox or third parties may hold intellectual property rights in the products, names, logos and designs included in this document. Copying, reproduction, or modification of this document or any part thereof is only permitted with the express written permission of u-blox. Disclosure to third parties is permitted for clearly public documents only.

The information contained herein is provided "as is". No warranty of any kind, either express or implied, is made in relation to the accuracy, reliability, fitness for a particular purpose, or content of this document. This document may be revised by u-blox at any time. For most recent documents, please visit [www.u-blox.com](http://www.u-blox.com).

## ANEXO B – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA ANTENA HX-CH6601A

### Parâmetros

| <b>Desempenho</b>            |  |  |
|------------------------------|--|--|
| Sinal Recebido               | GPS L1/L2<br>GLONASS L1/L2<br>GALILEU E1<br>BDS B1/B2<br>QZSS L1/L2<br>SBAS L1 |  |
| Impedância Nominal           | 50Ω  |  |
| Polarização                  | RHCP   |  |
| Relação Axial                | ≤3dB   |  |
| Ganho no Zênite (90°)        | 1217-1257MHz 2dBi (máximo)<br>1559-1610MHz 2,5dBi(máximo)                      |  |
| <b>LNA</b>                   |  |  |
| Ganho de LNA                 | 33dB (típico)  |  |
| Figura de ruído              | ≤1,5 dB  |  |
| Saída VSWR                   | ≤2,0   |  |
| Tensão de Operação           | +3,3 a + 12VDC   |  |
| Corrente de Operação         | 55mA (máximo)  |  |
| Atraso no Grupo Ripple       | <15ns  |  |
| <b>Mecânico</b>              |  |  |
| Dimensões                    | φ27,5*59mm   |  |
| Conector                     | SMA masculino  |  |
| Peso                         | ≤25g   |  |
| Montagem                     | os clientes projetam sua própria instalação                                    |  |
| <b>Ambiental</b>             |  |  |
| Temperatura de operação      | -40°C a +70°C  |  |
| Temperatura de armazenamento | -40°C a +70°C  |  |
| Umidade                      | 95% não condensado   |  |
| Resistência à Água/Poeira    | IP67   |  |
| Conformidade Regulatória     | CE, RoHS, ALCANCE  |  |

Fonte: HARXON (2025)

## ANEXO C – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO EMLID RS2

(continua)



The image shows the Emlid Reach RS2 GNSS receiver mounted on a tripod, with a smartphone displaying its mobile application interface next to it. The receiver is a black and white device with a prominent multi-feed antenna at the top. The app on the phone shows a circular target icon with a green center and a red border, indicating a point of interest. Below the icon, the text "REACH RS2" and "reach-rover" are visible. At the bottom of the screen, there is a summary of data: "2.012 m", "STAKEOUT Point #7", "DISTANCE 0.008 m", "ELEVATION ≈ 0.060 m", and navigation arrows for "Point #6" and "Point #8".

### Key features

- Tracks GPS/QZSS L1C/A, L2C GLONASS L1OF, L2OF BeiDou B1I, B2I Galileo E1-B/C, E5b
- Fast RTK convergence
- Multi-feed antenna with multipath rejection
- 868/915 MHz LoRa modem for up to 8 km connectivity
- Global 3.5G modem
- 22 hours on 1 charge
- NTRIP and VRS support, works with RTCM3
- Logs RINEX at update rate up to 10 Hz
- 16 GB of internal storage
- IP67, water- and dustproof

(conclusão)

# REACH RS2

## Technical specifications

### POSITIONING

|                    |        |  |
|--------------------|--------|--|
| Precision          | Static | H: 4 mm+0.5 ppm V: 8mm+1ppm  |
|                    | PPK    | H: 5 mm+0.5 ppm V: 10mm+1ppm   |
|                    | RTK    | H: 7mm+1 ppm V:14 mm+1 ppm   |
| Convergence time   |        | ~5 s typically   |
| Signal tracked     |        | GPS/QZSS L1C/A, L2C,<br>GLONASS L1OF, L2OF,<br>BeiDou B1I, B2I,<br>Galileo E1-B/C, E5b |
| Number of channels |        | 184  |
| Update rates       |        | 10Hz GPS / 5 Hz GNSS   |
| IMU                |        | 9DOF   |

### CONNECTIVITY

|                  |  |   |
|------------------|--|---|
| UHF LoRa radio   | Frequency range  | 868/915 MHz                               |
|                  | Power  | 0.1W                                      |
|                  | Distance   | Up to 8 km                                |
| 3.5G modem       |  | Global                                    |
|                  |  | Bands Quad-band, 850/1900,<br>900/1800MHz |
|                  |  | Nano-SIM                                  |
| Wi-Fi            | 802.11 b/g/n   |   |
| Bluetooth        | 4.0/2.1 EDR  |   |
| Ports            | RS-232, USB Type-C                                     |   |
| Data Protocols   | NTRIP, VRS, RTCM3,<br>position output in NMEA, LLH/XYZ |   |
| Data logging     | RINEX at update rate up to 10 Hz                       |   |
| Internal storage | 16 GB  |   |

### MECHANICAL

|                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| Dimensions         | 126x126x142 mm            |
| Weight             | 950 g                     |
| Temperature        | -20...+65 °C              |
| Ingress protection | IP67 water- and dustproof |

### ELECTRICAL

|                      |   |
|----------------------|---|
| Autonomy             | 16 hrs as 3.5G RTK rover,<br>22 hrs logging |
| Battery              | LiFePO4 6400 mAh, 6.4V                      |
| External power input | 6-40V                                       |
| Charging             | USB-C 5V 2A                                 |

### COMMUNICATIONS AND DATA STORAGE

- 9PIN port: RS-232, PPS, Event
- USB OTG
- Internal Radio Modem:  
LoRa technology  
Reliable link up to 8 km baseline  
Transmit power up to 100mW  
Configurable 862-1020 MHz carrier
- Internal 3.5G modem  
Global  
Quad-band, 850/1900, 900/1800 MHz
- Built-in short-range Wi-Fi 802.11 b/g/n, WEP, WPA, WPA2 encryption
- Built-in short-range Bluetooth 4.0/2.1 EDR
- Data storage 16 GB internal memory
- Raw logs in RINEX, UBX
- External Radio Modem connectivity over RS-232/USB OTG
- RTCM 3.x input and output over Wi-Fi, Bluetooth, LoRa, USB, RS-232, NTRIP
- NMEA 0183, ERB output over Wi-Fi, Bluetooth, USB, RS-232
- ReachView app for iOS and Android for configuration and surveying



### YOUR LOCAL DEALER

Fonte: EMLID (2025)