



Análise de desempenho e acurácia de módulos GNSS de baixo custo em aeronaves remotamente pilotadas (ARP)

Arthur Ribeiro Nunes | arthur.n2004@aluno.ifsc.edu.br¹

Davi Garbin Petry | davi.gp@aluno.ifsc.edu.br²

Helio Nalevaia Junior | helio.j2004@aluno.ifsc.edu.br³

João Henrique Santos Silva | joao.hss12@aluno.ifsc.edu.br⁴

Pietro Clemente | pietro.c2007@aluno.ifsc.edu.br⁵

Lucas Mondardo Cunico | lucas.cunico@ifsc.edu.br⁶

Edital Diren/Proen nº 01/2025

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

O emprego de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) em aplicações de engenharia tem se intensificado, especialmente em atividades que dependem de posicionamento geográfico preciso. Este trabalho avalia o desempenho de módulos GNSS de baixo custo: o u-blox NEO-M8N e o SE100 M10N da Radiolink, comparando suas medições com um marco de referência. Foram analisadas a acurácia absoluta, em relação a um marco com coordenadas conhecidas, e a repetibilidade das medições, por meio da distância entre observações sucessivas. Os resultados indicam que o módulo SE100 M10N apresenta melhor desempenho geral, com erro médio de aproximadamente 2,01 m e boa consistência, enquanto o M8N apresentou maior variabilidade dependendo da configuração de constelações. A análise de repetibilidade demonstrou dispersão reduzida em configurações com múltiplas constelações, evidenciando a importância da geometria de satélites. Os resultados contribuem para a compreensão das limitações e potencialidades desses módulos em aplicações que demandam precisão posicional.

Palavras-chave: acurácia posicional; drone; GNSS.

Introdução

¹ Estudante do curso de engenharia mecatrônica do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC.

² Estudante do curso técnico integrado em mecatrônica do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC.

³ Estudante do curso de engenharia mecatrônica do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC.

⁴ Estudante do curso de engenharia mecatrônica do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC.

⁵ Estudante do curso técnico integrado em mecatrônica do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC.

⁶ Docente dos cursos técnico integrado em mecatrônica, técnico integrado em eletrotécnica e engenharia mecatrônica do Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC.

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), popularmente conhecidas como drones, evoluíram de dispositivos recreativos para ferramentas fundamentais na engenharia e no planejamento urbano. Além do levantamento topográfico, essencial para a Regularização Fundiária Urbana (Reurb), instituída pelo Decreto nº 9.310 (Brasil, 2018), essas aeronaves são amplamente empregadas em aplicações como a agricultura de precisão, onde realizam o mapeamento de índices de vegetação, na inspeção de infraestruturas, como pontes, rodovias e linhas de transmissão elétrica.

A viabilidade dessas operações depende da confiabilidade do sistema de posicionamento global (GNSS) embarcado. O voo autônomo, baseado em trajetórias previamente definidas, exige que o drone mantenha sua rota com precisão para garantir a correta sobreposição de imagens em levantamentos aerofotogramétricos. Da mesma forma, a função Return to Home (RTH), que é um protocolo de segurança acionado em falhas de link ou bateria baixa, depende de uma estimativa precisa de posição para evitar colisões e assegurar o pouso no local de decolagem (Arreola *et al.*, 2018). Nesse contexto, este trabalho avalia o desempenho dos módulos u-blox NEO-M8N e Radiolink SE100 M10N, comparando suas medições com um ponto de marco de referência, para o qual são conhecidas as coordenadas. Deste modo, busca-se fornecer subsídios para a escolha adequada desses sensores em projetos futuros em desenvolvimento pelo grupo.

Fundamentação teórica

A tecnologia GNSS, antes restrita ao GPS (Estados Unidos), agora permite operação multi-constelação, com a integração dos sistemas: GLONASS (Rússia), Galileo (União Europeia) e BeiDou (China) (Li *et al.*, 2015). A capacidade de um receptor em rastrear múltiplas constelações simultaneamente reduz o erro posicional, pois melhora a geometria da solução, medida pelo PDOP (Position Dilution of Precision) (Oscar Liang, 2026).

Este trabalho escolheu dois módulos receptores GNSS de baixo custo, populares para o uso em drones. O módulo NEO-M8N permite a recepção simultânea de até três constelações, com precisão horizontal nominal de 2,5 m (CEP – Circular Error Probable) (U-blox, 2025). O módulo SE 100 da Radiolink é baseado no chip u-blox M10050 (da família

M10) e, segundo o fabricante, pode atingir precisão de 0,5 m quando operando com quatro constelações simultâneas (GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou) (Radiolink, 2025).

Procedimentos metodológicos

A experimentação foi conduzida no estacionamento do IFSC campus Criciúma, utilizando um ponto de referência físico cujas coordenadas foram previamente determinadas com um receptor GNSS utilizado em topografia de precisão geodésica. A Figura 1 ilustra a montagem do experimento: a aeronave remotamente pilotada foi posicionada estaticamente sobre o marco de referência. O receptor GNSS foi posicionado o mais próximo possível do centro do marco. As coordenadas geodésicas do marco de referência são: Latitude: $-28,67882948^{\circ}$ e Longitude: $-49,33235371^{\circ}$.

Figura 1 – Montagem experimental: ARP posicionada estaticamente sobre o marco de referência.



Fonte: Autores (2026)

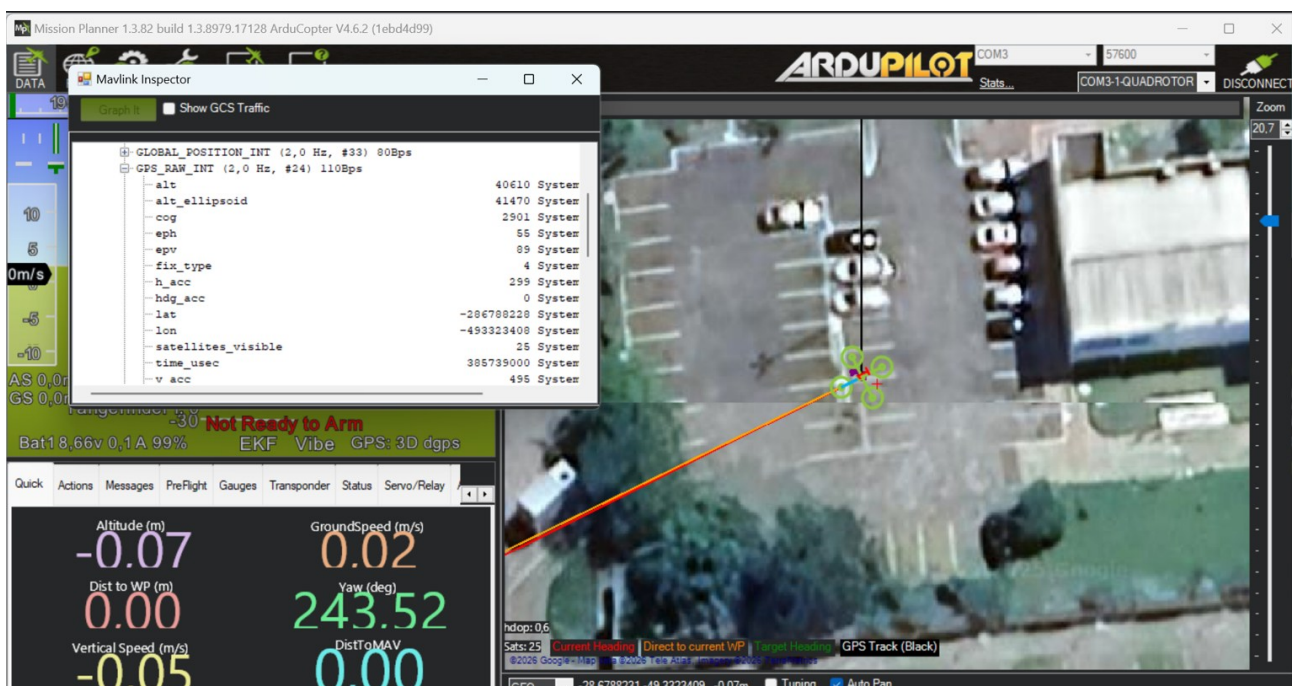
A coleta dos dados de telemetria foi realizada por meio do software Mission Planner, conectado ao controlador de voo da aeronave, considerando os módulos em diferentes configurações:

Módulo 1: u-blox NEO-M8N, testado em três modos operacionais (i) GPS+GLONASS, (ii) GPS+Galileo e (iii) GPS+GLONASS+Galileo,

Módulo 2: Radiolink SE100 M10N, testado com todas as quatro constelações disponíveis (GPS+GLONASS+Galileo+BeiDou).

Os testes foram realizados separadamente para cada módulo. Para cada configuração foram registradas oito medições de latitude e longitude, obtidas pela tela de telemetria do *software* Mission Planner (Figura 2). Os testes foram realizados em dois dias distintos, sendo registradas 4 medidas para cada configuração por dia. O intervalo entre medições sucessivas é de aproximadamente 1 minuto. O drone permaneceu estaticamente posicionado sobre o marco durante todo o período de coleta

Figura 2 – Tela de aquisição do *software* Mission Planner.



Fonte: Autores (2026).

Para converter as diferenças angulares (Δlat , Δlon) em distância linear (em metros) entre dois pontos (P1 e P2), empregou-se uma aproximação plana válida para pequenas distâncias, que é uma simplificação da fórmula de Haversine (WIKIPÉDIA, 2026), utilizada já que a distância esperada entre os pontos é de poucos metros. A fórmula, implementada no software Excel, é a seguinte:

$$d = \sqrt{(\Delta\text{lat}_{\text{graus}} \times 111319,9)^2 + (\Delta\text{lon}_{\text{graus}} \times 111319,9 \times \cos(\text{lat}_{\text{médio, rad}}))^2}$$

Onde:

$\Delta\text{lat}_{\text{graus}}$: Diferença de latitude entre os dois pontos, em graus decimais;

$\Delta\text{lon}_{\text{graus}}$: Diferença de longitude entre os dois pontos, em graus decimais;

111319,9: Comprimento médio de 1° de latitude na superfície terrestre ($\approx 111,32$ km/°);

$\text{lat}_{\text{médio, rad}}$: Latitude média entre os dois pontos (em radianos), utilizada no cosseno para corrigir a convergência dos meridianos.

Foram realizadas duas análises principais: **acurácia absoluta** que representa a distância entre cada ponto medido pelo módulo genérico e o ponto de referência (marco) e **repetibilidade** que representa a entre pontos consecutivos dentro do mesmo conjunto de medições.

Resultados e discussões

As Tabelas 1 a 4 apresentam os erros absolutos obtidos para cada módulo e configuração. As colunas de latitude e longitude foram omitidas por brevidade, mas os erros foram calculados diretamente a partir delas.

Tabela 1 – Resultados M10N.

Lat(°)	Long(°)	Erro (m)
-28,6788519	-49,3323409	2,70
-28,6788479	-49,3323391	2,37
-28,6788503	-49,3323419	2,51

-28,6788474	-49,3323396	2,30
-28,6788456	-49,3323489	1,84
-28,678845	-49,3323488	1,77
-28,6788231	-49,3323409	1,26
-28,6788228	-49,3323408	1,29
Erro Médio 2,01m e desvio padrão de 0,549m.		
Fonte: Autores (2026).		

Tabela 2 – Resultados M8N CONF. 1: GPS + GLONASS:

Lat(°)	Long(°)	Erro (m)
-28,6788084	-49,3323149	3,94
-28,6788042	-49,3323082	4,65
-28,6788128	-49,3323165	3,55
-28,678812	-49,3323173	3,55
-28,6788179	-49,3323187	3,13
-28,6788191	-49,3323179	3,14
-28,6788134	-49,3323114	3,88
-28,6788118	-49,3323129	3,86
Erro Médio de 3,71m e desvio padrão de 0,494m.		
Fonte: Autores (2026).		

Tabela 3 – Resultados M8N CONF. 2: GPS + GALILEO:

Lat(°)	Long(°)	Erro (m)
-28,6788143	-49,3323411	1,98
-28,6788146	-49,3323411	1,95
-28,6788313	-49,3323266	2,22
-28,6788315	-49,3323262	2,25
-28,6788179	-49,3323246	2,70
-28,6788179	-49,3323244	2,71
-28,6788289	-49,3323304	1,90
-28,6788296	-49,3323305	1,89
Erro Médio de 2,19m e desvio padrão de 0,340m.		
Fonte: Autores (2026).		

Tabela 4 – Resultados M8N CONF. 3: GPS + GLONASS+GALILEO:

Lat(°)	Long(°)	Erro (m)
-28,6788105	-49,3323475	2,17
-28,6788122	-49,3323407	2,20
-28,6788157	-49,3323084	3,99
-28,678815	-49,3323083	4,03

-28,678837	-49,3323342	1,80
-28,6788377	-49,3323342	1,83
-28,6788276	-49,3323398	1,15
-28,6788283	-49,3323393	1,18
Erro Médio de 2,29m e desvio padrão de 1,130m.		

Fonte: Autores (2026).

Os dados demonstram que o módulo Radiolink SE100 M10N apresentou o melhor desempenho geral, com erro médio de 2,01 m e baixa dispersão (desvio padrão de 0,549 m). Este resultado supera as especificações do módulo M8N e se aproxima do limite teórico para receptores de custo acessível sem correção diferencial. Em medições específicas, o SE100 M10N chegou a atingir erro de apenas 1,26 m (conforme Tabela 1), o que representa um desempenho notável para um módulo dessa categoria. Contudo, ainda está distante da precisão de 0,5 m divulgada pelo fabricante para operação simultânea com quatro constelações.

A análise da distância entre pontos sucessivos, é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Distância média entre medições.

Configuração	Distância média em metros
M10N (4 constelações)	0,78
M8N (GPS+GLONASS)	2,34
M8N (GPS+Galileo)	0,82
M8N (GPS+GLONASS+Galileo)	1,56

Fonte: Autores (2026).

O M10N apresenta a melhor repetibilidade (0,78 m), indicando que suas medições são mais estáveis, já a configuração M8N (GPS+Galileo) apresenta repetibilidade quase tão boa quanto o M10N (0,82 m). De forma geral, a repetibilidade acompanhou a tendência da acurácia: configurações mais modernas e com melhor suporte a múltiplas constelações apresentaram menor variabilidade.

Observa-se que nenhum dos dois módulos atingiu o desempenho de catálogo, contudo há possíveis fontes de interferência no sinal GNSS que incluem a proximidade do ponto de teste com o auditório do campus (estrutura de concreto e telhado metálico), que pode causar reflexões, bem como a presença de veículos estacionados e eventuais obstruções parciais da linha de visada para satélites de baixa elevação. Esses fatores, comuns em ambientes urbanos, são representativos das condições reais de operação de drones em áreas construídas.

Considerações finais

O módulo Radiolink SE100 M10N oferece o melhor equilíbrio entre acurácia (2,01 m) e repetibilidade (0,78 m). O M8N pode apresentar desempenho satisfatório, desde que a configuração de constelações seja adequadamente selecionada. A combinação GPS+Galileo mostrou-se não apenas a melhor opção para este módulo, mas também uma alternativa de custo-benefício interessante, com acurácia de 2,19 m e repetibilidade de 0,82 m. Contudo existe uma limitação fundamental: mesmo com os avanços representados pelo SE100 M10N, módulos GNSS de baixo custo sem correção diferencial (RTK) ainda apresentam erros posicionais na ordem de metros.

Referências

ARREOLA, L. et al. Improvement in the UAV position estimation with low-cost GPS, INS and vision-based system: application to a quadrotor UAV. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS (ICUAS), 2018, Dallas. Proceedings... Dallas: IEEE, 2018. p. 1248-1254.

BRASIL. Decreto nº 9.310, de 15 de março de 2018. Institui as normas gerais e os procedimentos aplicáveis à Regularização Fundiária Urbana. Brasília, 2018.

FILIĆ, Mia; FILJAR, Renato; ŠEVROVIĆ, Marko. Expression of GNSS Positioning Error in Terms of Distance. Promet - Traffic&Transportation, v. 30, n. 3, p. 305-310, 2018. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v30i3.2304>. Disponível em: <https://traffic2.fpz.hr/index.php/PROMTT/article/view/2729>. Acesso em 29 mai. 2026.

LI, X. et al. Precise positioning with current multi-constellation Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. Scientific Reports, v. 5, n. 8328, 2015.



OSCAR LIANG. I tested 20 GPS modules to find the best for FPV drones (Betaflight Rescue & iNav Return to Home). 2026. Disponível em: <https://oscarliang.com/gps-review/>. Acesso em: 27 abr. 2026.

RADIOLINK. SE100 Specifications. Radiolink Official Website. 2025. Disponível em: https://www.radiolink.com/se100_specifications. Acesso em: 27 abr. 2026.

U-blox. NEO-M8 series data sheet. 2025. Disponível em: <https://www.u-blox.com/en/product/neo-m8-series>. Acesso em: 27 abr. 2026.