

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MATEUS STAMM

**AVALIAÇÃO DA PRECISÃO E EXATIDÃO NA COLETA DE DADOS GNSS EM
DISPOSITIVOS MÓVEIS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OBSERVAÇÃO E
PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO**

MEDIANEIRA

2024

MATEUS STAMM

**AVALIAÇÃO DA PRECISÃO E EXATIDÃO NA COLETA DE DADOS GNSS EM
DISPOSITIVOS MÓVEIS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OBSERVAÇÃO E
PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO**

**Assessment of precision and accuracy in GNSS data collection on mobile
devices as a function of observation time and development platform**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação do Curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Rodrigo Lamb

Coorientador: Prof. Dr. Jorge Aikes Junior

MEDIANEIRA

2024



[4.0 Internacional](#)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

À minha família, que sempre me incentivou; em especial, à minha mãe, Roseli, e ao meu pai, Vilmar, dedico este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força, sabedoria e fé que me sustentaram ao longo desta jornada. Sem Sua presença constante em minha vida, este trabalho não teria sido possível.

Aos meus pais, pela educação, amor incondicional e pelo apoio incansável em todos os momentos. Vocês são a base de tudo o que sou e a razão pela qual pude chegar até aqui.

À minha família, pelo carinho, compreensão e incentivo. Cada palavra de apoio e gesto de afeto foi fundamental para que eu perseverasse nos momentos difíceis.

Ao meu orientador, pela orientação, paciência e valiosos ensinamentos. Sua dedicação e comprometimento foram essenciais para a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de sala, pelo companheirismo, troca de conhecimentos e pela amizade construída ao longo desta trajetória. Juntos, superamos desafios e celebramos conquistas, tornando esta caminhada ainda mais significativa.

A todos, minha eterna gratidão.

“O que prevemos raramente ocorre, o que
menos esperamos geralmente acontece.”

(Benjamin Disraeli).

RESUMO

O presente estudo foi motivado pela crescente utilização de smartphones em aplicações de geolocalização e pela necessidade de avaliar a influência das diferentes abordagens de desenvolvimento na precisão dos dados obtidos. Para isso, foram desenvolvidos aplicativos específicos para coleta de dados GNSS em um ambiente controlado, utilizando smartphones Xiaomi Redmi Note 10S. Os experimentos foram realizados em uma área com piquetes fixos, com dados coletados em diferentes horários (manhã e tarde) e tempos de observação variados. A análise estatística dos dados incluiu a aplicação de ANOVA e testes de comparação de médias de Tukey, permitindo a identificação de diferenças significativas entre as medições. Os resultados indicaram que, estatisticamente, os fatores tempo de observação e plataforma de desenvolvimento não foram significativos, entretanto, indicaram que a precisão e exatidão das medições é superior no turno da manhã, com menor dispersão dos erros, enquanto à tarde os erros são maiores e mais dispersos. Especificamente, a plataforma Java apresentou uma média de erro ligeiramente menor tanto na manhã quanto na tarde, em relação ao Flutter. A análise gráfica das dispersões dos dados evidenciou que, durante a manhã, os erros são menores e mais concentrados em torno do ponto de referência, enquanto à tarde, os erros se dispersam mais, indicando diminuição na precisão das medições. Fatores como condições atmosféricas, posição dos satélites e menor interferência humana durante a manhã são apontados como possíveis causas para as variações.

Palavras-chave: software - desenvolvimento; agricultura de precisão; android (recurso eletrônico); localização; sistema de posicionamento global.

ABSTRACT

The present study was motivated by the increasing use of smartphones in geolocation applications and the need to evaluate the influence of different development approaches on the accuracy of the data obtained. To this end, specific applications were developed for collecting GNSS data in a controlled environment, using Xiaomi Redmi Note 10S smartphones. The experiments were carried out in an area with fixed paddocks, with data collected at different times (morning and afternoon) and varying observation times. Statistical analysis of the data included the application of ANOVA and Tukey's mean comparison tests, allowing the identification of significant differences between measurements. The results indicated that, statistically, the factors observation time and development platform were not significant, however, they indicated that the precision and accuracy of measurements is higher in the morning, with less dispersion of errors, while in the afternoon the errors are greater and more dispersed. Specifically, Java platform had a slightly lower average error rate in both the morning and afternoon compared to Flutter. The graphical analysis of the data dispersions showed that, during the morning, the errors are smaller and more concentrated around the reference point, while in the afternoon, the errors are more dispersed, indicating a decrease in measurement precision. Factors such as atmospheric conditions, satellite position and less human interference during the morning are highlighted as possible causes for the variations.

Keywords: software - development; precision agriculture; android (electronic resource); location; global positioning system.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1 – A triangulação na geolocalização | 18 |
| Figura 2 – Precisão <i>versus</i> acurácia | 21 |
| Figura 3 – Arquitetura Android | 25 |
| Figura 4 – Camada de integração multiplataforma (Código do Framework) | 27 |
| Figura 5 – Diagrama com as etapas seguidas | 31 |
| Figura 6 – Prototipagem das telas dos aplicativos: (a) Menu principal de opções, (b) Gerência dos pontos, (c) Realização das coletas e (d) Exportação dos dados | 33 |
| Figura 7 – Área experimental e localização dos pontos amostrais | 34 |
| Figura 8 – Sistema GNSS Trimble RTK R4 | 35 |
| Figura 9 – Amostragem em processo de execução: (a) Smartphone apoiado no piquete, (b) Aplicação coletando dados | 36 |
| Figura 10 – Telas do aplicativo Java: (a) Gerência dos pontos, (b) Formulário de parâmetros para coleta, (c) Processo de coleta e (d) Pausa entre os tempos de observação | 39 |
| Figura 11 – Telas do aplicativo Flutter: (a) Gerência dos pontos, (b) Formulário de parâmetros para coleta, (c) Processo de coleta e (d) Pausa entre os tempos de observação | 40 |
| Figura 12 – Gráfico de dispersão dos dados obtidos a partir dos ensaios em relação aos piquetes, no sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM). | 41 |
| Figura 13 – Gráfico de dispersão dos dados obtidos a partir das aplicações Java e Flutter em relação aos piquetes, no sistema de coordenadas UTM. | 42 |
| Figura 14 – Gráfico de dispersão do erro em relação às plataformas Java e Flutter. | 43 |
| Figura 15 – Gráfico de dispersão do erro em relação à plataforma Flutter. | 44 |
| Figura 16 – Gráfico de dispersão do erro em relação à plataforma Java. | 44 |
| Figura 17 – Gráfico de dispersão dos dados obtidos por meio das aplicações em relação aos piquetes com base no turno. | 45 |
| Figura 18 – Gráfico de dispersão do erro em relação aos piquetes por meio das aplicações Java e Flutter. | 46 |

Figura 19 – Gráfico de dispersão do erro em relação às plataformas Flutter e Java durante manhã e tarde.

47

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----------|
| Tabela 1 – Localização dos pontos de coleta (2024) | 34 |
| Tabela 2 – Estatísticas descritivas gerais dos erros dos ensaios em relação aos piquetes | 41 |
| Tabela 3 – Estatísticas descritivas gerais dos erros dos ensaios | 42 |
| Tabela 4 – Estatísticas descritivas dos erros de localização por plataforma | 43 |
| Tabela 5 – Resultados da ANOVA para os erros de localização | 48 |
| Tabela 6 – Comparações de Tukey para plataforma | 49 |
| Tabela 7 – Comparações de Tukey para Turno | 49 |
| Tabela 8 – Comparações de Tukey para Piquete | 50 |
| Tabela 9 – Comparações de Tukey para Tempo | 50 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|-----------|
| Quadro 1 – Especificações técnicas dos equipamentos | 35 |
| Quadro 2 – Identificação dos tempos de observação utilizados | 37 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

| | |
|----------|--|
| A-GNSS | <i>Assisted GNSS</i> |
| A-GPS | <i>Assisted GPS</i> |
| ANOVA | Análise de Variância |
| API | <i>Application Programming Interface</i> |
| BDS | <i>BeiDou Navigation Satellite System</i> |
| CAG | Controle Automático de Ganho |
| ESA | <i>European Space Agency</i> |
| GLONASS | <i>Global Orbiting Navigation Satellite System</i> |
| GNSS | <i>Global Navigation Satellite System</i> |
| GPS | <i>Global Positioning System</i> |
| IDE | <i>Integrated Development Environment</i> |
| IGS | <i>International GNSS Service</i> |
| IRNSS | <i>Indian Regional Navigation Satellite System</i> |
| JVM | <i>Java Virtual Machine</i> |
| MGEX | <i>Multi-GNSS Experiment</i> |
| NAVSTAR- | <i>NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System</i> |
| GPS | |
| PPP | <i>Precise Point Positioning</i> |
| QZSS | <i>Quasi-Zenith Satellite System</i> |
| RBMC | Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS |
| RTK | <i>Real Time Kinematic</i> |
| SA | <i>Selective Availability</i> |
| SAR | Synthetic Aperture Radar |

| | |
|-----|---|
| UTM | Universal Transverse Mercator |
| VGI | <i>Volunteered Geographic Information</i> |
| WGS | World Geodetic System |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | Objetivos geral e específicos | 15 |
| 1.2 | Justificativa | 15 |
| 1.3 | Estrutura do trabalho | 16 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 17 |
| 2.1 | <i>Global Navigation Satellite System</i> | 17 |
| 2.1.1 | Contextualização histórica | 17 |
| 2.1.2 | Funcionamento da geolocalização | 18 |
| 2.1.3 | Principais constelações de uso livre | 18 |
| 2.1.4 | Modelos de receptores | 20 |
| 2.1.5 | Precisão e acurácia | 21 |
| 2.2 | Geolocalização em dispositivos móveis | 22 |
| 2.3 | Desenvolvimento <i>mobile</i> | 23 |
| 2.3.1 | Consumo de API interna | 24 |
| 2.3.2 | Android nativo e Java | 26 |
| 2.3.3 | Multiplataforma | 26 |
| 2.4 | Trabalhos relacionados | 27 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 31 |
| 3.1 | Etapa 1 - Desenvolvimento dos aplicativos | 31 |
| 3.1.1 | Plataformas de desenvolvimento | 31 |
| 3.1.2 | Prototipagem dos aplicativos | 32 |
| 3.2 | Etapa 2 - Realização dos experimentos | 33 |
| 3.2.1 | Localização dos experimentos | 34 |
| 3.2.2 | Equipamentos utilizados | 35 |
| 3.2.3 | Delineamento experimental | 36 |
| 3.3 | Etapa 3 - Avaliação dos resultados | 37 |
| 3.3.1 | Avaliação dos resultados obtidos | 37 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 39 |
| 4.1 | Aplicativo Java | 39 |
| 4.2 | Aplicativo Flutter | 40 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.3 | Dispersão dos dados | 41 |
| 4.4 | Análise de Variância (ANOVA) | 48 |
| 4.5 | Teste de Comparações de Médias (Tukey) | 49 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 51 |
| 5.1 | Conclusão | 51 |
| 5.2 | Aplicações | 51 |
| 5.3 | Trabalhos Futuros | 52 |
| | REFERÊNCIAS | 53 |

1 INTRODUÇÃO

A revolução tecnológica transformou profundamente a vida das pessoas e, um dos fatores com papel central nessa transformação é a geolocalização, a qual se tornou uma parte fundamental, impactando positivamente em diversas áreas. Fazendo uso de vários equipamentos para localização, os dispositivos móveis se destacam frente a sua portabilidade e custo acessível. Os smartphones, em particular, não são apenas ferramentas de comunicação, mas também instrumentos fundamentais para a geolocalização, possibilitando a conexão do indivíduo com o mundo ao seu redor. Esses dispositivos desempenham ainda, um papel vital em uma ampla gama de aplicações, desde o rastreamento de entregas, gerenciamento de frotas, segurança, robótica, agricultura de precisão, saúde, com monitoramento de pacientes e rastreamento de doenças, turismo e viagens, até o esporte, com demarcação de percurso de atletas e medições de distâncias (GOMES; DE OLIVEIRA JÚNIOR; KRUEGER, 2022).

A geolocalização pode fazer uso de diferentes sistemas, como o Sistema de Posicionamento Global, ou *Global Positioning System* (GPS), que se baseiam em satélites para calcular com precisão as coordenadas de um dispositivo móvel. O *Global Navigation Satellite System* (GNSS) compreende um conjunto de satélites responsável por fornecer dados de latitude, longitude e altitude e para isso, diferentes satélites podem ser usados. O conjunto de satélites é conhecido como uma constelação independente e pode-se citar as constelações GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU (KAPLAN; HEGARTY, 2017).

Satélites em órbita emitem sinais captados pelo receptor GNSS no dispositivo, que calcula a posição por triangulação, medindo o tempo de chegada dos sinais de diferentes satélites. Essa tecnologia desempenha um papel significativo em várias aplicações modernas, enfatizada por pesquisas sobre geolocalização via GNSS em smartphones e sobre posicionamento em dispositivos móveis com microrreceptores GNSS (OLIVEIRA, 2014; GOMES; DE OLIVEIRA JÚNIOR; KRUEGER, 2022).

Os smartphones, equipados com receptores GNSS, são populares devido à sua acessibilidade e versatilidade. Enquanto dispositivos profissionais, mais caros, oferecem alta precisão para atender a essas demandas rigorosas, os smartphones podem não ser suficientemente precisos para aplicações profissionais, como levantamentos topográficos detalhados (LOPES *et al.*, 2019). Melhorias nesse aspecto poderiam expandir seu impacto em áreas como realidade aumentada, com o mapeamento de objetos virtuais em locais do mundo real com alta precisão, e automação de tarefas em processos industriais, com o rastreio de máquinas e equipamentos, otimizando processos de fabricação e logística interna, ressaltando a importância contínua de aprimorar a precisão desses dispositivos para maximizar sua utilidade (OLIVEIRA, 2014).

São diversos os fatores que podem interferir no processo de localização, incluindo cada *Application Programming Interface* (API) de desenvolvimento de software, que possui diferença em frequência de atualização de dados e controle de acesso a recursos, cada qual com suas tratativas de dados (SOUZA, 2018). O desenvolvimento de software faz uso da camada de

aplicação para obtenção dos dados GNSS, que atua como intermediária, *middleware*, entre o hardware receptor GNSS e o software do aplicativo, fornecendo controle sobre a coleta, processamento e entrega dos dados GNSS ao aplicativo em execução. Além disso, como outro fator que pode vir a interferir no processo da localização, pode-se citar o tempo de observação no contexto da precisão/exatidão dos dados GPS (FILHO; VETTORAZZI; SARRÍES, 2002).

A partir disso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma aplicação multiplataforma, ou seja, desenvolvida para funcionar em diferentes sistemas operacionais e dispositivos usando uma única base de código, por meio do *framework* Flutter e uma aplicação Android nativa, para avaliar os resultados na localização de pontos geodésicos previamente definidos. Dessa maneira, verificou-se a influência da camada de aplicação na obtenção de dados GNSS.

1.1 Objetivos geral e específicos

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a precisão de um aplicativo Android nativo e um multiplataforma, na localização de pontos geodésicos, mediante diferentes valores de tempo para aquisição das coordenadas.

Este objetivo pode ser dividido nos seguintes objetivos específicos:

- a) Desenvolver uma aplicação *mobile* para coleta de dados GNSS, em ambiente Android nativo, utilizando Java;
- b) Desenvolver uma aplicação *mobile* para coleta de dados GNSS, em ambiente multiplataforma, utilizando o *framework* Flutter;
- c) Executar as aplicações desenvolvidas em ambiente real com coordenadas conhecidas para obtenção de amostragem de dados GNSS, de maneira passiva;
- d) Analisar e comparar os resultados obtidos por meio de análise de variância e teste comparativo de médias, buscando identificar diferenças de acurácia entre as plataformas com base nos dados GNSS;

1.2 Justificativa

A análise do comportamento da geolocalização de smartphones em aplicações multiplataforma com variação temporal é uma pesquisa de grande relevância neste contexto tecnológico em constante evolução. Primeiramente, a crescente dependência das pessoas em dispositivos móveis para navegação, localização e interações sociais faz com que a precisão da geolocalização seja uma preocupação crítica (SILVA; URSSI, 2015). Erros de posicionamento podem ter consequências significativas, desde entregas de encomendas com atrasos até emergências médicas com respostas mais lentas (MONICO, 2002).

Além disso, a abordagem de aplicação multiplataforma é fundamental diante da diversidade de sistemas operacionais e dispositivos no mercado (FORTE *et al.*, 2015). A interoperabilidade e consistência na geolocalização entre diferentes plataformas são desafios significativos, uma vez que cada sistema pode interpretar e utilizar dados de localização de maneira ligeiramente diferente. A validação dessa interoperabilidade é essencial para garantir que as aplicações funcionem de forma eficaz em dispositivos móveis diversos, melhorando a experiência do usuário (LIM, 2015).

Por fim, a integração de múltiplas constelações de satélites, o uso de tecnologia de dupla frequência e a aplicação de redes neurais para a correção de erros representam avanços que podem impulsionar a precisão e confiabilidade da geolocalização móvel. Esses desenvolvimentos têm implicações que vão além de simplesmente melhorar a experiência do usuário; eles têm o potencial de revolucionar setores como a agricultura de precisão, automação e realidade aumentada (LOPES *et al.*, 2019).

Assim, esta pesquisa também se justifica pela sua contribuição para auxiliar em problemas práticos e pelo seu papel no avanço tecnológico, com impacto direto na sociedade. Ao realizar uma comparação entre essas abordagens em condições controladas, este estudo busca identificar a influência na precisão e exatidão da geolocalização. A análise dessas diferenças oferece uma orientação prática para o desenvolvimento de aplicativos móveis que dependem de dados GNSS para geolocalização.

1.3 Estrutura do trabalho

Este documento está estruturado da seguinte maneira: o Capítulo 1, "Introdução", introduz o tema da geolocalização em dispositivos móveis, destacando sua importância na revolução tecnológica e sua influência em várias áreas. Também são definidos os objetivos da pesquisa e a organização do trabalho. No Capítulo 2, "Referencial Teórico", são apresentados estudos anteriores relacionados à geolocalização e dispositivos móveis, em escopo mais específico, embasando o atual documento. A revisão da literatura destaca as contribuições e descobertas relevantes neste campo em constante evolução. O Capítulo 3, "Materiais e Métodos", descreve os materiais e métodos utilizados na pesquisa, incluindo os equipamentos, tecnologias e os procedimentos de coleta e análise de dados. O Capítulo 4, "Resultados e Discussões", apresenta os resultados obtidos a partir da pesquisa, analisando os dados coletados e discutindo suas implicações. São realizadas análises estatísticas, incluindo ANOVA e testes de Tukey, para comparar a precisão e exatidão dos dispositivos em diferentes condições. Finalmente, o Capítulo 5, "Considerações Finais", resume os principais resultados do estudo, destacando as conclusões mais relevantes e sugerindo possíveis direções para pesquisas futuras.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção aborda a importância dos receptores GNSS, a precisão e acurácia nas medições geodésicas, o papel crescente dos smartphones na geolocalização, e a relevância do desenvolvimento mobile, especialmente usando o Flutter. Destaca-se a associação entre a precisão dos receptores GNSS e seu custo, evidenciando a viabilidade do uso de smartphones Android para medições GNSS.

2.1 *Global Navigation Satellite System*

O Sistema Global de Navegação por Satélite, ou GNSS, é uma infraestrutura de navegação global abrangente que inclui constelações de satélites, aprimoramentos para agricultura de precisão, aviação civil e equipamentos de usuário. Esse sistema integra vários componentes de navegação por satélite, incluindo o GPS, conhecido como Sistema de Posicionamento Global dos Estados Unidos, como também o *Global Orbiting Navigation Satellite System* (GLO-NASS) russo e o emergente Galileo europeu (KAPLAN; HEGARTY, 2017). Também abrange outros sistemas de navegação promissores, como o Compass (BeiDou-2) chinês, o Sistema de Satélites Quasi-Zenith, ou *Quasi-Zenith Satellite System* (QZSS), japonês e o Sistema de Satélites de Navegação Regional Indiano, ou *Indian Regional Navigation Satellite System* (IRNSS) (HEGARTY; CHATRE, 2008).

2.1.1 Contextualização histórica

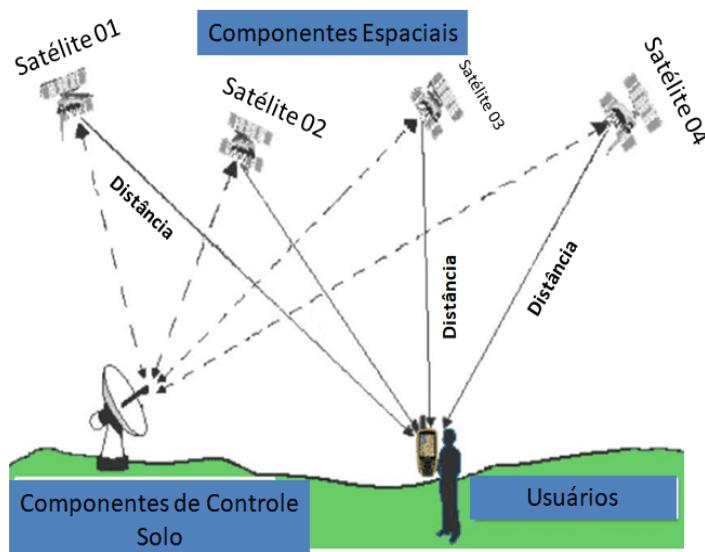
A geolocalização é um campo que evoluiu ao longo da história para atender às necessidades de localização de terras e navegação. No passado, os seres humanos dependiam de instrumentos como bússolas e mapas para atingir suas metas de conquista territorial. A bússola, por exemplo, tem raízes antigas, remontando aos primórdios da civilização, quando seu funcionamento estava ligado às pedras magnéticas e ao magnetismo. Os mapas, por outro lado, continuam sendo valiosos para a educação e conhecimento de continentes e regiões (COSTA, 2018; JUNIOR, 2010).

Com o avanço tecnológico em constante desenvolvimento, a sociedade passou a se beneficiar de sistemas mais avançados em várias áreas de estudo, incluindo a medição de terras. Desde então, o cenário de geolocalização passou por mudanças trazendo novos instrumentos e sistemas avançados, modernizando geolocalização com o uso de satélites, como o GPS, que revolucionaram a forma como as pessoas se localizam e navegam pelo espaço, sendo um marco de mudança fundamental na forma como a sociedade se relaciona com o mundo geográfico (PAUTZ, 2021).

2.1.2 Funcionamento da geolocalização

A geolocalização é um processo que envolve a estimativa da localização de um receptor móvel com base nos sinais transmitidos por satélites de um sistema, como o GPS. O método fundamental utilizado é a triangulação (KAPLAN; HEGARTY, 2017). Conforme ilustrado na Figura 1, esse sistema depende da medição das pseudodistâncias entre o usuário e pelo menos quatro satélites, cujas coordenadas são conhecidas.

Figura 1 – A triangulação na geolocalização



Fonte: Instituto Pristino (2020).

As pseudodistâncias são calculadas multiplicando o tempo que os sinais levam para propagar-se pela velocidade da luz. Duas medições de dois satélites resultam em uma ambiguidade de posições, tornando necessário medir um terceiro satélite para estimar a posição do receptor (SOUSA, 2005).

Do ponto de vista geométrico, embasado pelo estudo de Logsdon (2012), três medições seriam suficientes para determinar a posição do receptor, mas a quarta observação é necessária para corrigir o erro de sincronização entre os relógios nos satélites e no receptor. Esse erro é a razão pela qual se utiliza o termo "pseudodistância".

2.1.3 Principais constelações de uso livre

O *NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System* (NAVSTAR-GPS) é um sistema de navegação por satélite baseado em rádio que fornece informações precisas de posição tridimensional, navegação e tempo para usuários adequadamente equipados. Desenvolvido nos EUA desde 1973, o NAVSTAR-GPS é principalmente um sistema militar, com acesso limitado a usuários civis, e tornou-se operacional em 1993. Em sua configuração final, que está disponível desde 1995, o sistema consiste nominalmente em 24 satélites em órbita a

cerca de 20.200 km acima da superfície da Terra, projetados para garantir que pelo menos quatro satélites estejam sempre visíveis em qualquer ponto da Terra, 24 horas por dia (SEEBER, 2003).

O funcionamento do NAVSTAR-GPS envolve a medição das pseudodistâncias entre o usuário e quatro satélites em órbita. A partir das coordenadas conhecidas dos satélites em um sistema de referência adequado, as coordenadas da antena do usuário podem ser determinadas. Além disso, o NAVSTAR-GPS fornece dados de navegação em tempo real em escala global, independentemente das condições meteorológicas, e atinge precisão de posicionamento de 10 a 15 metros (SEEBER, 2003).

O sistema GLONASS, sistema de navegação por satélite global russo, lançado em 1967, inicialmente consistia em quatro satélites e usava medições de alcance unidirecionais. A partir de 1979, foi lançado o sistema "Cicada", composto por quatro satélites em órbita circular a 1.000 km de altitude. Isso permitiu a aquisição de sinais de satélites a cada hora e meia, com uma precisão de posicionamento de 5 a 6 minutos. No entanto, o sistema GLONASS não se mostrou adequado para atender às crescentes demandas de usuários civis. Desde então, evoluiu para um sistema global com 24 satélites em órbita circular a 19.100 km de altitude, em três planos orbitais inclinados a 64,8° em relação ao equador. Esse arranjo permitiu a disponibilidade global, mesmo quando alguns satélites não estavam operacionais (GLONASS IAC, 2010).

A precisão do GLONASS foi melhorada por meio de avanços na tecnologia de relógio e no conhecimento da órbita dos satélites. Em 1995, o GLONASS alcançou sua constelação completa de 24 satélites da primeira geração. No entanto, a falta de equipamentos de navegação civil e financiamento limitado levaram a um declínio temporário no sistema (GLONASS IAC, 2010).

O Galileo é um sistema europeu de navegação por satélite desenvolvido em colaboração com a Agência Espacial Europeia, ou *European Space Agency* (ESA), e a Comissão Europeia. Oferece serviços de posicionamento e temporização em tempo real com diferentes níveis de precisão e é compatível com o GPS e o GLONASS. O sistema consiste em uma constelação de 30 satélites, otimizada para cobrir a Europa.

O Galileo fornece uma variedade de serviços, incluindo um Serviço Aberto para o público em geral, um serviço comercial com maior precisão e garantia de serviço, um serviço de segurança da vida e um serviço público regulamentado para segurança nacional. O Galileo pode ser aplicado em uma ampla gama de setores, como telefones celulares, navegação automotiva, aviação, gerenciamento de frotas e levantamento geodésico. Com sua constelação robusta e estrutura de sinais avançada, o Galileo cumpre melhorar a precisão e a disponibilidade do posicionamento por satélite em todo o mundo (SEEBER, 2003).

O sistema de navegação por satélite chinês *BeiDou Navigation Satellite System* (BDS), anteriormente conhecido como COMPASS, é composto atualmente por 14 satélites ativos. O BDS é amplamente utilizado em diversas aplicações, incluindo transporte, agricultura, monitoramento ambiental, meteorologia e comunicação. Os dados de observação do BDS são coletados

por estações globalmente distribuídas e disponibilizados publicamente pelo Serviço Internacional de GNSS, ou *International GNSS Service* (IGS), por meio do *Multi-GNSS Experiment* (MGEX) (WANNINGER; BEER, 2015; BEIDOU GOV, 2014).

O BDS está em constante evolução, com o objetivo de estabelecer um sistema nacional de posicionamento, navegação e sincronização mais ubíquo, integrado e inteligente até 2035. Ele é composto por três segmentos: espaço, solo e usuário, e possui características como uma constelação híbrida, sinais de múltiplas frequências e integração de funções de navegação e comunicação. Entretanto, o BDS enfrenta desafios, como divergências sistemáticas entre códigos e portadoras, que podem exceder 1 metro, afetando sua precisão (WANNINGER; BEER, 2015; BEIDOU GOV, 2014).

2.1.4 Modelos de receptores

Os receptores GNSS podem ser divididos em categorias, levando em consideração diferentes necessidades e aplicações, variando em termos de precisão, capacidade de fornecer dados em múltiplas frequências e a disponibilidade de sinais de diferentes constelações de satélites, como o GPS, GLONASS, Galileo, entre outros.

Além disso, a precisão e a qualidade de um receptor GNSS estão associadas ao seu custo, e receptores profissionais, de alta precisão, costumam ter maior valor no mercado. Por outro lado, o estudo de Dabovic e Di Pietra (2019) demonstra que a utilização de smartphones com sistemas Android, devido ao seu baixo custo e alta acessibilidade, viabiliza o acesso a medições GNSS. Os resultados revelam que, com o uso de smartphones como o Samsung Galaxy S8+ e o Huawei P10, é possível atingir precisão de poucos centímetros em tempo real, principalmente quando considerada apenas a constelação GPS.

De acordo com o estudo de Hillebrand *et al.* (2012), a classificação dos receptores é baseada no tipo de observável e na disponibilidade do código, podendo ser do tipo Código C/A de Pseudodistância, Código C/A de Fase Portadora, Código P (preciso, transmitido tanto na L1 quanto na L2) de Fase Portadora e Código Y de Fase Portadora. Receptores que utilizam Código P, estavam sujeitos a *Selective Availability* (SA), restrições seletivas para degradar a precisão em tempos de guerra ou crises, até 2000, ano em que foi desativada.

Receptores GNSS L1 C/A convencionais, que não possuem conectividade com redes de telefonia celular, a determinação da posição dos satélites visíveis é realizada por meio de sequências de rastreamento, que são usadas para decodificar as mensagens de navegação transmitidas pelos satélites. Esses receptores obtêm as informações necessárias diretamente dos sinais emitidos pelos satélites, podendo levar algum tempo, especialmente em condições desfavoráveis. Por outro lado, receptores compatíveis com sistemas *Assisted GNSS* (A-GNSS) têm a capacidade de receber dados dos satélites a partir de fontes externas. Isso resulta em uma redução no tempo necessário para obter uma posição precisa, principalmente em ambientes com obstáculos que podem dificultar a recepção dos dados. Em receptores A-GNSS, os cha-

mados “loopings de rastreamento” podem ser eliminados, simplificando o projeto do receptor, reduzindo seu tamanho físico e até mesmo permitindo a integração com outros componentes (LOPES *et al.*, 2020).

Receptores de Código C/A de pseudodistância, geralmente são portáteis, usados em medições de pseudodistâncias que não exigem alta precisão, fornecendo uma acurácia média de 20 a 30 metros. Já os de Código C/A de Fase Portadora permitem tanto medições de pseudodistância quanto da fase da portadora L1, porém ainda trabalham em frequência simples, também são usados em aplicações que não exigem alta precisão. Para suporte de mais uma frequência há receptores de Código P de Fase Portadora, fornecendo maior precisão e capacidade de determinar observações por meio da correlação dos sinais transmitidos pelos satélites com as réplicas dos códigos P gerados no receptor. Por fim, há os receptores de Código Y de Fase Portadora, tais quais permitem o acesso ao código P, mesmo com a SA ativada, ou seja, eles podem determinar os códigos de distância e fase a partir das portadoras L1 e L2, usando a técnica de correlação do código P, que exige decodificação (KAPLAN; HEGARTY, 2017).

2.1.5 Precisão e acurácia

No contexto das Ciências Geodésicas e Cartográficas, é fundamental entender e diferenciar os conceitos de precisão e acurácia, uma vez que esses termos são frequentemente utilizados para descrever a qualidade de medições e estimativas. Uma medição precisa tem seus valores muito próximos uns dos outros, mesmo que possam estar afastados do valor verdadeiro, conforme representado nas duas primeiras circunferências da Figura 2 (MONICO *et al.*, 2009).

A precisão está relacionada à consistência e à dispersão das medidas. Ela avalia o grau de concordância entre várias observações de uma mesma grandeza, ou seja, a variabilidade aleatória dos resultados. Por outro lado, a acurácia refere-se ao grau de proximidade entre uma medida ou estimativa e o valor verdadeiro ou de referência. Ela avalia o quanto corretamente uma grandeza se aproxima do valor que deveria representar, ou seja, a acurácia está associada à exatidão das medições e à presença de erros sistemáticos, que são tendências consistentes que afetam as estimativas, representado também na Figura 2, nas duas últimas circunferências.

Figura 2 – Precisão versus acurácia



Fonte: Adaptado de Adenilson Giovanini (2016).

Assim sendo, a precisão trata dos erros aleatórios, que podem ocorrer de maneira imprevisível, mas se mantêm consistentes em torno da média. Enquanto a acurácia se refere a quão corretamente uma medida representa o valor verdadeiro, a precisão se relaciona à consistência e à dispersão das observações (MONICO *et al.*, 2009).

2.2 Geolocalização em dispositivos móveis

O crescente uso de dispositivos móveis é um reflexo da rápida adaptação da sociedade a essas inovações, resultando em uma revolução no modo como as pessoas realizam suas atividades diárias. Cada vez mais, indivíduos estão abandonando computadores tradicionais e outros equipamentos em favor dos dispositivos móveis, em especial dos smartphones, devido à sua capacidade de fornecer acesso rápido e direto às informações de forma simples e eficaz (GOMES; DE OLIVEIRA JÚNIOR; KRUEGER, 2022).

A proliferação de receptores GNSS em smartphones, juntamente com a disponibilidade global e gratuita do GNSS, levou a um aumento expressivo no número de dispositivos GNSS ativos em smartphones. A implementação do Enhanced 911 (E911) nos EUA e iniciativas semelhantes na Europa impulsionou ainda mais a adoção de receptores GNSS em telefones celulares para fornecer informações de localização precisas em situações de emergência. A Comissão Europeia até tornou obrigatória a compatibilidade com o sistema Galileo para smartphones vendidos na União Europeia a partir de 2022, visando melhorar as informações de localização em situações de emergência (GOMES; DE OLIVEIRA JÚNIOR; KRUEGER, 2022).

Esses avanços tecnológicos têm permitido aprimoramentos significativos na precisão do posicionamento e navegação via smartphones, que se tornaram amplamente utilizados em diversas aplicações, desde publicidade baseada em localização até mapeamento e cidades inteligentes. Com a disponibilidade de informações brutas do GNSS em dispositivos Android Nougat ou superiores, juntamente com receptores GNSS de dupla frequência em smartphones como o Xiaomi Mi 8, foi possível obter coordenadas com precisão centimétrica usando esses dispositivos (GOMES; DE OLIVEIRA JÚNIOR; KRUEGER, 2022).

Com a disseminação de micro receptores GNSS em dispositivos móveis, como smartphones, tornou-se cada vez mais acessível a capacidade de captar dados de geolocalização em uma ampla variedade de aplicações. No entanto, surge nesse cenário a incerteza associada à precisão e à exatidão dos dados obtidos por meio desses dispositivos, dadas as diferenças em termos de hardware, com a diversidade de plataformas, e software, com formas distintas de acesso às informações raw GNSS, provindas dos micro receptores GNSS.

A popularização dos GNSS em smartphones trouxe uma série de benefícios em termos de acessibilidade, portabilidade e custo, mas, ao mesmo tempo, desafia a compreensão sobre o quanto confiáveis e precisos esses dispositivos podem ser, considerando as variáveis como os diversos *chipsets* disponíveis, arquiteturas de hardware e sistemas operacionais adotados por diferentes fabricantes.

Em um cenário em constante evolução, onde a tecnologia GNSS em smartphones abrange um espectro diversificado de modelos e marcas, os desafios relacionados à uniformidade da precisão e exatidão tornam-se evidentes. Cada dispositivo pode apresentar peculiaridades que afetam seu desempenho, desde a arquitetura do *chipset GNSS* utilizado até o sistema operacional subjacente.

Nesse sentido, diversos estudo são conduzidos procurando avaliar se o comportamento de um smartphone pode ser equivalente ao de um dispositivo GNSS dedicado, podendo citar os trabalhos de Araújo *et al.* (2018) e Pereira *et al.* (2019), onde neste último foi realizado o uso de seis receptores GNSS em condições cinemáticas para avaliar seu desempenho. Entre esses receptores, quatro eram receptores de navegação (código C/A), incluindo um smartphone de modelo ZenFone Zoom da Marca Asus, e dois eram receptores GPS L1. O receptor RTK R-3 Topcon foi utilizado como referência e possui a capacidade de rastrear sinais L1, L2 e L2C dos satélites GPS, bem como a constelação GLONASS, o sinal L5 e o sistema Galileo.

O ensaio consistiu em percorrer um trajeto predefinido de 700 metros em linha reta, repetido seis vezes, com intervalos de 30 minutos entre as coletas. Os dados foram coletados em coordenadas geográficas (latitude e longitude) e convertidos para coordenadas planas. O erro transversal foi calculado comparando as coordenadas dos pontos coletados pelos receptores com as coordenadas do receptor de referência *Real Time Kinematic* (RTK), conhecido também como Sistema de Correção em Tempo Real. Em relação ao coeficiente de variação, todos os receptores GNSS apresentaram alta variação nos dados, com valores acima de 30% (PEREIRA *et al.*, 2019).

Os resultados destacaram diferenças significativas no desempenho entre os receptores código C/A e os receptores GPS L1, com este último alcançando erros menores. Os receptores L1 apresentaram erros médios e medianas menores do que os receptores código C/A. Além disso, os receptores L1 demonstraram RMS (raiz quadrada do erro médio) maior que 1,60 metros, enquanto os receptores código C/A tiveram RMS entre 1,60 metros e 3,64 metros.

Em suma, os smartphones ganham ênfase devido à sua acessibilidade, portabilidade, custo e facilidade de uso. Essas vantagens tornam os smartphones uma escolha prática em muitas situações, equilibrando eficazmente o custo e o desempenho na coleta de dados de geolocalização (PEREIRA *et al.*, 2019).

2.3 Desenvolvimento *mobile*

No desenvolvimento de uma aplicação é que são definidos os parâmetros de acesso ao hardware, podendo interferir diretamente nos parâmetros de localização. O desenvolvimento de uma aplicação pode ser feito com uma plataforma específica em foco, como também pode ser feito em multiplataforma, pensando na abrangência de várias plataformas.

Podem ser utilizadas diferentes linguagens de programação para ambos os casos, por meio de bibliotecas e pacotes diferentes tratamentos de dados são aplicados, para no fim, a API

da plataforma em uso ser consumida. No caso de uma plataforma específica, é exigido que os desenvolvedores criem código-fonte específico para cada plataforma, dificultando a manutenção e a expansão dos aplicativos (FREIRE; RIBEIRO, 2014).

Uma solução eficaz para essa questão envolve o uso de *frameworks* multiplataforma que empregam uma linguagem de programação unificadora e uma API que traduz os comandos para cada plataforma subjacente, como é o caso do Flutter. Além disso, essas *frameworks* devem lidar com as diferenças de hardware entre os dispositivos, como tamanhos de tela, sensores e capacidades de armazenamento (CERQUEIRA; BITTENCOURT, 2016).

2.3.1 Consumo de API interna

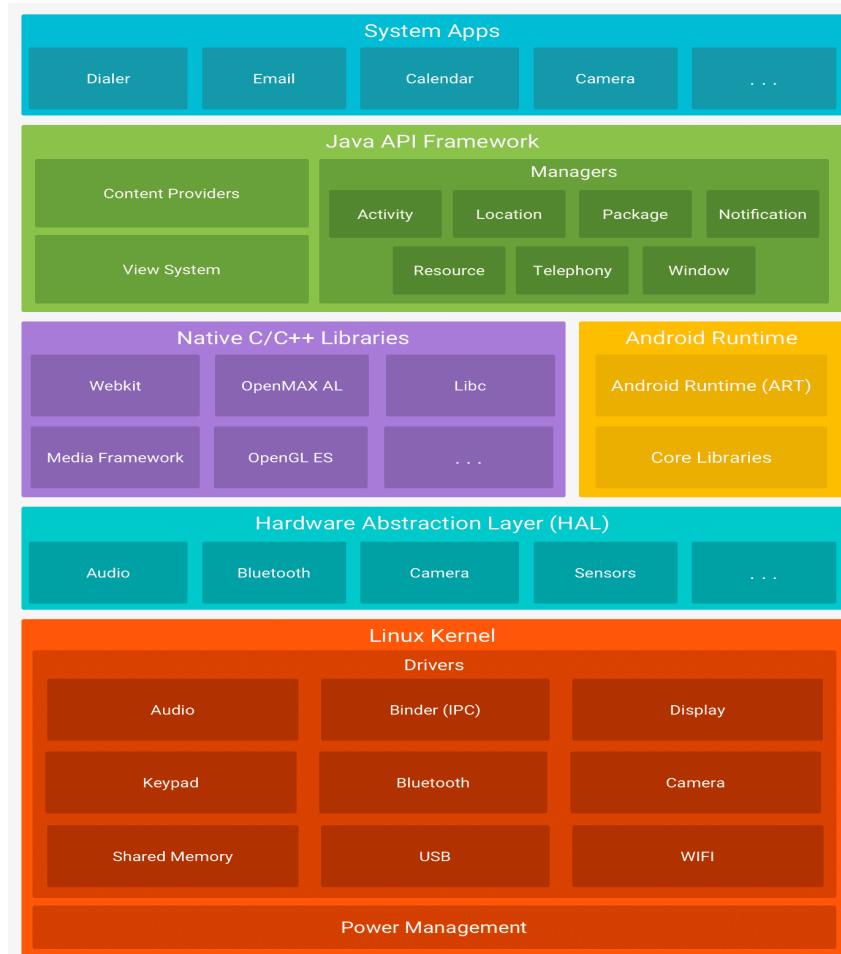
Cada arquitetura, como Android ou iOS por exemplo, possui sua própria API interna para acessar recursos do dispositivo. O consumo da API interna de dispositivos móveis, é fundamental para a coleta de dados específicos de hardware, como GNSS, por exemplo (ALMEIDA JUNIOR, 2020).

A Figura 3 retrata o esqueleto de como é composta a arquitetura de um smartphone Android, para que o consumo da API interna seja possível, que por sua vez é dividida em: Aplicativos do sistema, API *Framework*, Bibliotecas nativas e tempo de execução, Camada de abstração de hardware e, por fim, Kernel.

- Aplicativos do sistema: Camada superior onde os aplicativos interagem com o usuário, incluindo aplicativos de e-mail, SMS, calendário, mapas, navegador e contatos, por exemplo;
- API *Framework*: As APIs oferecem uma ampla gama de recursos de sistema, simplificando o desenvolvimento de aplicativos. Isso inclui gerenciamento de recursos, interface do usuário, notificações, atividades e provedores de conteúdo. Os desenvolvedores podem usar essas APIs para criar aplicativos e acessar funcionalidades do sistema. No caso do Android, a API é em Java;
- Bibliotecas nativas e tempo de execução: Diversos componentes principais são implementados em código nativo. As API frameworks expõem a funcionalidade dessas bibliotecas nativas aos aplicativos. Isso permite, por exemplo, o acesso a recursos de gráficos 2D e 3D por meio da APIs OpenGL. Por outro lado, o tempo de execução é responsável por executar cada aplicativo em seu próprio processo com uma instância dedicada, otimizada para consumo mínimo de memória;
- Camada de abstração de hardware: A camada de abstração de hardware fornece interfaces padrão que expõem as capacidades de hardware do dispositivo para a estrutura da API de nível superior. Ela consiste em módulos de bibliotecas que implementam essas interfaces para diferentes componentes de hardware, como câmeras ou bluetooth. Quando a API precisa acessar o hardware, o sistema carrega o módulo da biblioteca relevante;

- Kernel: Por fim, no caso do Android, seu kernel é do Linux, onde oferece funcionalidades de baixo nível, incluindo gerenciamento de memória e drivers de hardware. Ele é essencial para que o sistema aproveite recursos de segurança e para que os fabricantes desenvolvam drivers de hardware compatíveis.

Figura 3 – Arquitetura Android



Fonte: [Android Developers \(2020\)](#).

Para que seja obtida a geolocalização, de forma nativa, a partir de um smartphone Android, por exemplo, ocorre uma série de processos: A camada de aplicação solicita as coordenadas geográficas por meio da API Android, que fornece acesso aos serviços de localização. Essa solicitação é transmitida à camada do *framework* de aplicação, que, por sua vez, se comunica com a camada de tempo de execução, responsável por interagir com a camada de abstração de hardware para acessar o hardware GNSS.

A camada de abstração utiliza drivers de hardware para se comunicar com o micro receptor GNSS do dispositivo e obter as informações de localização. As coordenadas geográficas são então transmitidas de volta por meio de camadas, começando na camada de abstração até a camada de tempo de execução, e finalmente à camada de aplicação, que as disponibiliza para o aplicativo solicitante na camada de aplicação.

2.3.2 Android nativo e Java

O Android é um sistema operacional móvel baseado em um núcleo Linux, desenvolvido pela Google. O Android utiliza a *Java Virtual Machine* (JVM), ou máquina virtual Java, para executar programas em Java, oferecendo um conjunto de ferramentas e APIs no Android SDK para o desenvolvimento de aplicativos (ANDROID DEVELOPERS, 2020). O Android ainda disponibiliza uma variedade de ferramentas de desenvolvimento e estruturas de software, abrangendo desde interfaces de usuário, interfaces de rede, capacidades do dispositivo e bibliotecas, entre outros (LIM, 2015).

Além disso, o Android é um sistema operacional de código aberto, o que o torna mais acessível em termos de custos, em comparação com outras plataformas do mercado. Essa abertura permite que fabricantes e desenvolvedores personalizem o Android de acordo com suas necessidades, o que contribui para sua popularidade e disponibilidade em uma ampla variedade de dispositivos. Por fim, esse ecossistema é resultado da colaboração da Open Handset Alliance, um grupo de empresas líderes em telefonia móvel, trabalhando em conjunto com a Google, com o objetivo de padronizar uma plataforma aberta para dispositivos móveis (ANDROID DEVELOPERS, 2020).

2.3.3 Multiplataforma

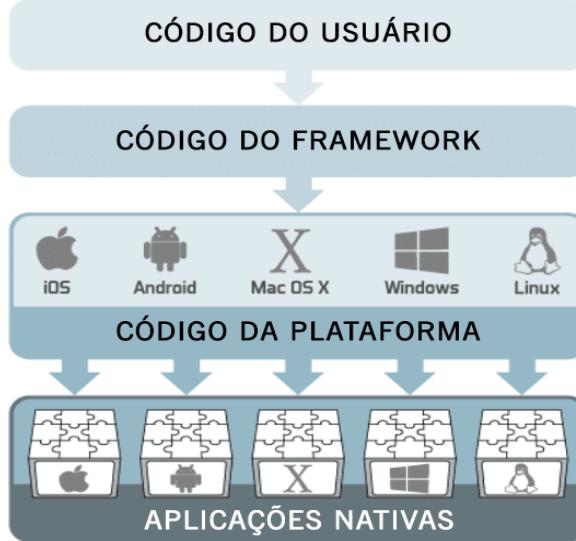
O multiplataforma refere-se à capacidade de um software ou aplicativo funcionar em diferentes sistemas operacionais ou ambientes. Isso é possível por meio do desenvolvimento de um único código-fonte que pode ser executado em várias plataformas, economizando tempo e recursos. Tecnologias como *frameworks cross-platform* e linguagens como Java e Flutter facilitam a criação de aplicativos que podem ser implantados em sistemas como Windows, macOS, Android e iOS (FREIRE; RIBEIRO, 2014).

Para garantir um desenvolvimento eficiente e coleta de dados precisa, os *frameworks* multiplataforma precisam incorporar APIs unificadoras que ofereçam uma camada sobressalente na aplicação, Código do Framework, do inglês *Framework Code*, conforme destacado na Figura 4 (FREIRE; RIBEIRO, 2014).

Essa camada é posteriormente traduzida para as APIs específicas de cada plataforma, permitindo a coleta de dados, como informações de localização GNSS, de maneira consistente em diferentes dispositivos. Além disso, essas APIs unificadoras devem abordar as variações de hardware entre os dispositivos, expondo recursos comuns e a falta deles de forma consistente.

O Flutter é um *framework* multiplataforma que permite acesso simplificado às APIs nativas das plataformas hospedeiras, tornando possível a comunicação com recursos nativos, como dados brutos de GNSS. Ao ser cliente da plataforma hospedeira, desenvolvedores podem escrever código condicionalmente, adaptando-se a diferentes sistemas, como iOS e Android (FLUTTER, 2015).

Figura 4 – Camada de integração multiplataforma (Código do Framework)



Fonte: Adaptado de CodeProject (2015).

Além disso, o Flutter oferece um mecanismo chamado *Platform Channels* para se comunicar com as APIs nativas, proporcionando uma interface flexível de mensagens entre um aplicativo Flutter e a plataforma subjacente. Isso permite a integração com bibliotecas nativas, como iOS e Android SDKs, preenchendo as lacunas quando não há plugins disponíveis no repositório público. As mensagens são serializadas e desserializadas usando um codec padrão, tornando possível o envio de dados entre diferentes linguagens de programação (FLUTTER, 2015).

O Flutter oferece dois tipos de canais de plataforma: *MethodChannel* para chamadas de métodos assíncronas e *EventChannel* para ouvir fluxos de eventos da plataforma. A configuração dos canais exige um nome único, e é fundamental definir o momento certo para iniciar e fechar os canais de eventos para otimizar o consumo de recursos. Portanto, o Flutter facilita a integração com APIs internas para acessar dados específicos, como o GNSS (FLUTTER, 2015).

2.4 Trabalhos relacionados

O estudo de Oliveira (2014) buscou aprimorar a precisão do posicionamento de dispositivos móveis com microrreceptores GNSS aplicados a smartphones, por meio de uma metodologia que empregou estimativa de mínimos quadrados recursiva com matriz de ganho de Kalman no posicionamento relativo estático por dupla diferença da pseudodistância em linhas de base curtas. O estudo apontou para a possibilidade de usar dispositivos móveis com microrreceptores GNSS para mapeamento em cenários de linhas de base curtas, melhorando substancialmente a acurácia. Além disso, o posicionamento em tempo real com a matriz de ganho de Kalman também mostrou melhorias significativas na precisão. Utilizando dados do microrreceptor SiRFstar

IV da GlobalSat e estações de referência da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC), o posicionamento por ponto simples resultou em erros médios de 6,6 metros, reduzidos para 0,29 metros com o pós-processamento, garantindo a usabilidade para diversos cenários.

Tendo em vista a melhoria no posicionamento global, Andrade e Alves (2016) investigaram a implementação das novas observáveis GPS (bandas L2 e L5), mesmo em um cenário em que as constelações não estavam completamente atualizadas. Foram utilizados três métodos de processamento: Relativo Estático, Relativo Cinemático e *Moving-Base*. A análise foi conduzida utilizando duas estações de referência da RBMC. Os resultados revelaram uma melhoria significativa nas coordenadas planimétricas, com uma média de 52,7% de aprimoramento, entretanto, teve resultado mais significativo durante o emprego do método relativo estático. O estudo destaca a importância das novas observáveis GPS e sugere que, com uma constelação completa, a acurácia do posicionamento pode melhorar ainda mais.

Lopes *et al.* (2019) tratou da avaliação do desempenho de receptores GNSS em diferentes condições de cobertura vegetal, enfatizando o impacto da presença de *Pinus*. O método de coleta de dados compreendeu 10 tratamentos e cinco receptores GNSS de smartphones, sendo estes: modelo ARM946 da marca STMicroelectronics, modelo MT6627N da MediaTek e modelos WTR1605L, WTR4905 e WRT1625L da marca Qualcomm, totalizando 60 amostras compiladas em intervalos de 10 minutos. Os resultados revelaram que a cobertura florestal de *Pinus* causou uma redução significativa na acurácia horizontal, destacando a importância de escolher dispositivos multi-constelação em ambientes desafiadores. Mesmo em meio a alta variabilidade amostral de todos os resultados, o smartphone com receptor WTR1605L apresentou melhor acurácia no ambiente coberto por *Pinus*, devido ao sistema GNSS assistido provido pela operadora de telefonia móvel.

Ainda no âmbito da agricultura moderna e agricultura de precisão, em um estudo de Ransolin *et al.* (2019) foram avaliados dois aplicativos para smartphones: Navegador de Campo e AgribusNavi, em termos de direcionamento preciso de máquinas agrícolas. Os resultados indicaram que ambos os aplicativos tiveram desempenho semelhante, mas a conexão via *Bluetooth* a um receptor GNSS externo melhorou significativamente a precisão, atingindo 32 centímetros. O Navegador de Campo se destacou como a melhor opção, especialmente quando conectado ao receptor GNSS via *Bluetooth*. Os materiais utilizados incluíram um smartphone Motorola E5 Plus, utilizando sistema operacional Android, e um receptor GNSS Nokia Ld-3w com *Bluetooth*. O estudo aponta que o Navegador de Campo conectado ao receptor GNSS via *Bluetooth* oferece o melhor desempenho para o direcionamento preciso de máquinas agrícolas, fornecendo uma solução viável e acessível para a agricultura de precisão em pequenas propriedades.

Abordado durante a avaliação da qualidade do posicionamento em dados geoespaciais gerados por usuários contribuidores diversos e armazenados em bancos de dados, *Volunteer-ed Geographic Information* (VGI), foi observado que a acurácia posicional planimétrica, ou seja, precisão de um objeto ou ponto em relação a uma coordenada geográfica de referência, varia

significativamente entre dispositivos e configurações, com o recurso *Assisted GPS* (A-GPS), técnica que melhora a eficiência e a rapidez do GPS (OLIVEIRA *et al.*, 2019). A análise entre os smartphones Asus Zenfone 3, Multilaser MS45S e Samsung Galaxy J5 (ambos com sistema operacional Android) destacou a necessidade de metadados detalhados sobre dispositivos e configurações para estimar a qualidade do posicionamento. A avaliação da qualidade do posicionamento obtido por meio de VGI deve considerar a destinação final dos dados, reconhecendo a heterogeneidade da acurácia posicional e a influência de vários fatores. No estudo, o Multilaser MS45S teve a pior acurácia posicional, superior a 20 metros, enquanto o Samsung Galaxy J5 se destacou com a melhor precisão, apresentando uma acurácia média de 6,5 metros, com a maioria dos dados abaixo de 10 metros de erro planimétrico. O desempenho do Asus Zenfone 3 foi considerado adequado, com um erro planimétrico de aproximadamente 10 metros, enquanto os outros dispositivos apresentaram um desempenho intermediário, com erros planimétricos de até 15 metros.

No contexto de *wearables*, acessórios inteligentes, foi analisada a partir do estudo de Sousa *et al.* (2019) a precisão das coordenadas geodésicas obtidas por dispositivos GPS e GLONASS. Foi utilizado um dispositivo *smartwatch* Garmin eTrex 30, que suporta ambos os sistemas GPS e GLONASS, para os dados que foram coletados e armazenados em um banco de dados geográfico. Para a determinação de um ponto médio foram realizados cálculos de geometria analítica, envolvendo equações de circunferência para cada conjunto de coordenadas visando encontrar a área de intersecção das circunferências, tal qual o ponto médio se incluía. Esse ponto médio serviu como coordenada mais precisa, superando ligeiras diferenças entre as coordenadas GPS e GLONASS. O estudo demonstrou que essa abordagem aumenta a acurácia das coordenadas, sendo útil em aplicações que requerem alta precisão na determinação de localização.

Foi realizada uma avaliação das observações geodésicas coletadas utilizando o smartphone Motorola Moto G7 Power, modelo XT 1955-1, com sistema operacional Android, equipado com receptores GNSS em ambiente urbano, em que os resultados indicaram uma variação na qualidade dos ajustamentos, com erros sistemáticos, como o multicaminho, representando um desafio, especialmente quando os marcos geodésicos estavam cercados por edifícios e vegetação. No entanto, nos casos em que a presença de erros sistemáticos foi mínima, o ajustamento das observações levou a resultados satisfatórios em termos de acurácia posicional. Este estudo também destacou a importância de futuras pesquisas para aprimorar a acurácia vertical e testar diferentes modelos de dispositivos móveis. Comparando com o erro médio das observações, o ajustamento mostrou melhorias significativas, ressaltando sua eficácia em melhorar a precisão das observações GNSS coletadas por dispositivos móveis (ALMEIDA JUNIOR, 2020).

O uso de smartphones para o posicionamento GNSS tem se tornado cada vez mais relevante. Por meio de coletas de dados brutos GNSS realizadas por dispositivos como o smartphone Xiaomi Mi 8, utilizando sistema operacional Android, e o smartphone Huawei P10,

também utilizando sistema operacional Android, ambos equipados com tecnologia de dupla frequência, foram verificadas melhorias significativas na qualidade do posicionamento. Apesar das limitações das antenas dos smartphones, a precisão do posicionamento atingiu níveis decimétricos, especialmente no modo *Precise Point Positioning* (PPP). A desativação do Controle Automático de Ganho (CAG) no Android Oreo foi um avanço importante, melhorando o rastreamento de satélites. Essa tecnologia tem o potencial de transformar aplicações que demandam alta precisão, tornando-as acessíveis a um público mais amplo (GOMES; DE OLIVEIRA JÚNIOR; KRUEGER, 2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo aborda os materiais e métodos utilizados durante o desenvolvimento desta pesquisa. Para obter uma visão geral do progresso da pesquisa, o diagrama apresentado na Figura 5 foi empregado e as seções seguintes detalham cada etapa.

Figura 5 – Diagrama com as etapas seguidas



Fonte: Autoria própria (2024).

3.1 Etapa 1 - Desenvolvimento dos aplicativos

Esta seção busca descrever a etapa relativa ao desenvolvimento dos aplicativos para amostragem de dados.

3.1.1 Plataformas de desenvolvimento

Para desenvolver os aplicativos nativo e multiplataforma para coleta de dados e comparações, foram utilizadas as linguagens Java e Dart. O Java foi selecionado por ser a linguagem principal para desenvolvimento Android, abrangendo a maioria dos dispositivos móveis. Já o Flutter, baseado em Dart, foi escolhido devido à sua ascensão como um framework eficiente para o desenvolvimento multiplataforma, entre diferentes sistemas operacionais. De maneira geral, foram utilizadas as seguintes tecnologias:

- Java¹: Foi criado por James Gosling e seus colegas na Sun Microsystems. Lançado publicamente em 1995, o Java é utilizado em desenvolvimento de aplicativos para desktop, web e servidores além de ser usado também no desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis, especialmente no ecossistema Android, onde é a linguagem de programação principal

¹ <https://dev.java/>

de desenvolvimento;

- Android Studio²: É um *Integrated Development Environment* (IDE), ou ambiente de desenvolvimento integrado, criado pelo Google, utilizado para o desenvolvimento de aplicativos nativos para a plataforma Android. Oferece um ambiente de desenvolvimento com ferramentas de depuração, emulação de dispositivos Android e gerenciamento de recursos;
- Flutter³: Tecnologia desenvolvida pelo Google para o desenvolvimento mobile multiplataforma, permitindo a criação de aplicativos para Android e iOS com um único código-fonte, com arquitetura ágil e widgets personalizáveis que simplificam o desenvolvimento de aplicativos multiplataforma;
- Dart⁴: Desenvolvida pelo Google, a linguagem Dart é utilizada para o desenvolvimento de aplicativos multiplataforma, servindo como a base do framework Flutter. Ao contrário do Flutter, que é uma tecnologia, o Dart é a linguagem de programação subjacente. Lançada com o objetivo de otimizar o desenvolvimento de aplicativos, com uma sintaxe mais simples;
- Visual Studio Code⁵: É um editor de código-fonte aberto desenvolvido pela Microsoft com suporte a várias linguagens de programação, como Dart, Python, Node.js, Swift, Typescript e PHP. Possui extensões disponíveis para várias tecnologias, que auxiliam o desenvolvimento de aplicativos;
- SQLite⁶: É um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional utilizado em aplicativos móveis e embutido em várias linguagens de programação. Ele armazena dados em um único arquivo, oferece consultas simultâneas porém não suporta gravação dos dados simultâneas.

3.1.2 Prototipagem dos aplicativos

Para um melhor entendimento dos requisitos, foi feita primeiramente a prototipagem dos aplicativos. Os aplicativos desenvolvidos seguiram a mesma estrutura, com as mesmas funcionalidades e operabilidade entre telas. As telas foram dispostas em: (Figura 6a) inicial, (Figura 6b) gerência dos pontos, (Figura 6c) realização das coletas e, por fim, (Figura 6d) exportação dos dados coletados, conforme Figura 6.

² <https://developer.android.com/studio>

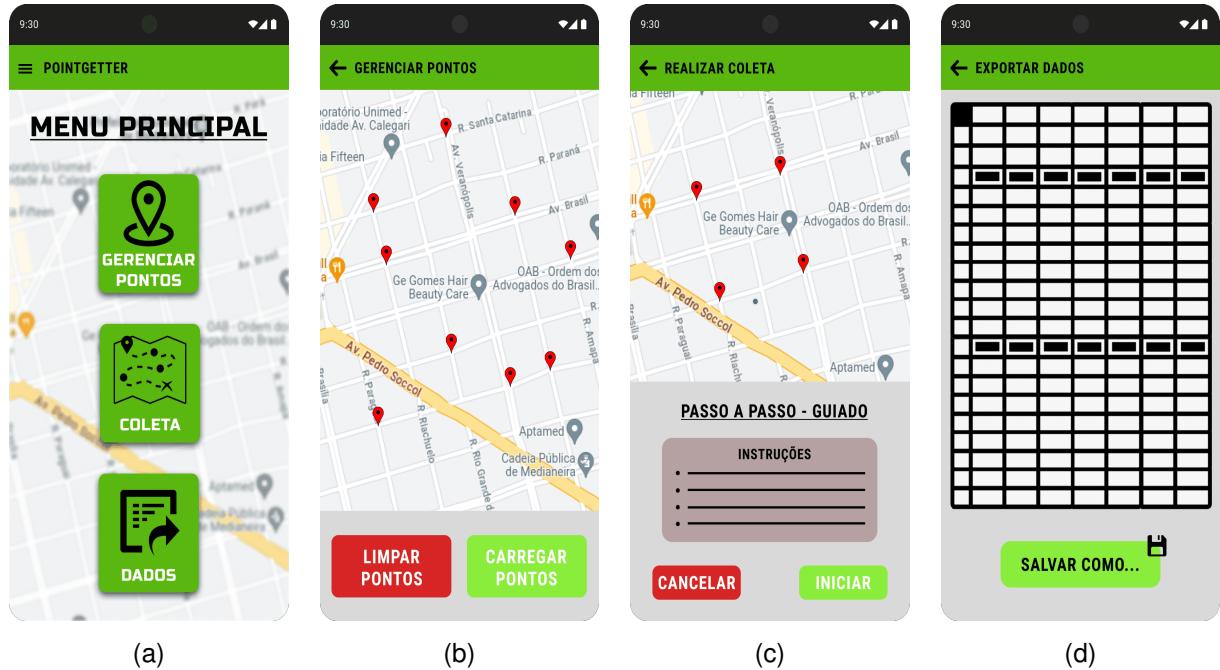
³ <https://flutter.dev/>

⁴ <https://dart.dev/>

⁵ <https://code.visualstudio.com/>

⁶ <https://www.sqlite.org/>

Figura 6 – Prototipagem das telas dos aplicativos: (a) Menu principal de opções, (b) Gerência dos pontos, (c) Realização das coletas e (d) Exportação dos dados



Fonte: Autoria própria (2024).

Na tela inicial (Figura 6a), há atalhos para facilitar a navegação entre as demais telas mencionadas. Na tela de gerência de pontos (Figura 6b), é possível adicionar pontos manualmente ou importar um arquivo XML com todos os pontos previamente mapeados, iniciando assim o processo de coleta. A tela de coleta de geolocalização (Figura 6c) oferece um passo a passo guiado para minimizar a interferência do usuário durante as coletas. Por fim, a tela de exportação de dados (Figura 6d) permite uma visualização rápida dos dados em ordem sequencial de coleta e a exportação de todos os dados obtidos em arquivo XML. Essa prototipagem foi projetada para refletir o comportamento de ambos os aplicativos, tanto em Java quanto em Flutter, garantindo consistência na estrutura, funcionalidades e operabilidade entre telas nas duas plataformas.

3.2 Etapa 2 - Realização dos experimentos

Esta seção da pesquisa concentra-se na execução dos experimentos de geolocalização em uma área com quatro piquetes fixos e dois smartphones Xiaomi Redmi Note 10S para a realização das coletas.

3.2.1 Localização dos experimentos

A área selecionada para a realização dos testes compreende uma porção de terra, conforme a Figura 7. Essa região consiste em um campo aberto, isento de construções ou obstáculos que poderiam afetar o sinal de análise.

Figura 7 – Área experimental e localização dos pontos amostrais



Fonte: Autoria própria (2024).

Na área existem 4 piquetes fixos, cada um deles com coordenadas estabelecidas de forma precisa. A Tabela 1 retrata com maiores detalhes a latitude e longitude, utilizando o sistema de coordenadas geográficas World Geodetic System (WGS) 84, no formato decimal, de cada um dos quatro piquetes que serão utilizados como pontos de coleta.

Tabela 1 – Localização dos pontos de coleta (2024)

| Nome | Latitude | Longitude |
|-----------|---------------|---------------|
| Piquete 1 | -25.316211424 | -54.059792439 |
| Piquete 2 | -25.316423784 | -54.060063795 |
| Piquete 3 | -25.316108303 | -54.060315300 |
| Piquete 4 | -25.315904531 | -54.060049922 |

Fonte: Autoria própria (2024).

A precisão na determinação das coordenadas dos piquetes foi de 3mm na horizontal e 3,5mm na vertical, obtida por meio do sistema GNSS Trimble RTK R4, uma estação geodésica,

conforme demonstrado na Figura 8, montada em estrita conformidade com as normas técnicas do INCRA e a lei 10.267/2001, por uma empresa especializada, garantindo a integridade e confiabilidade dos dados coletados para fins de pesquisa e análise técnica (LAMB *et al.*, 2020).

Figura 8 – Sistema GNSS Trimble RTK R4



Fonte: Lamb *et al.* (2020).

3.2.2 Equipamentos utilizados

Para aferir a geolocalização em cada marco foi empregado o uso de 2 smartphones do tipo Xiaomi Redmi Note 10S. Para o desenvolvimento dos aplicativos nativo e multiplataforma como também para o processamento dos dados obtidos após as coletas, foi utilizado um notebook Acer Predator. A especificação de ambos equipamentos é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Especificações técnicas dos equipamentos

| Componente | Xiaomi Redmi Note 10S | Acer Predator Helios 300 PH315-53 |
|---------------------|-------------------------------------|---|
| Processador | Helio G95 MediaTek | Intel Core i7 10750H |
| GPU | Mali-G76 MC4 | NVIDIA GeForce RTX 2060 com 6 GB de VRAM |
| Memória RAM | 6 GB LPDDR4X | 16 GB DDR4 |
| Sistema Operacional | Android 11 (Red Velvet Cake) | Windows 11 |
| Conectividade | Wi-Fi 5, Bluetooth 5.0, 4G LTE, NFC | Wi-Fi 6, Bluetooth 5.0, Gigabit Ethernet |
| GSM | Quad Band (850/900/1800/1900) | - |
| GPS | A-GPS/GLONASS/BeiDou/Galileo | - |

Fonte: Autoria própria (2024).

3.2.3 Delineamento experimental

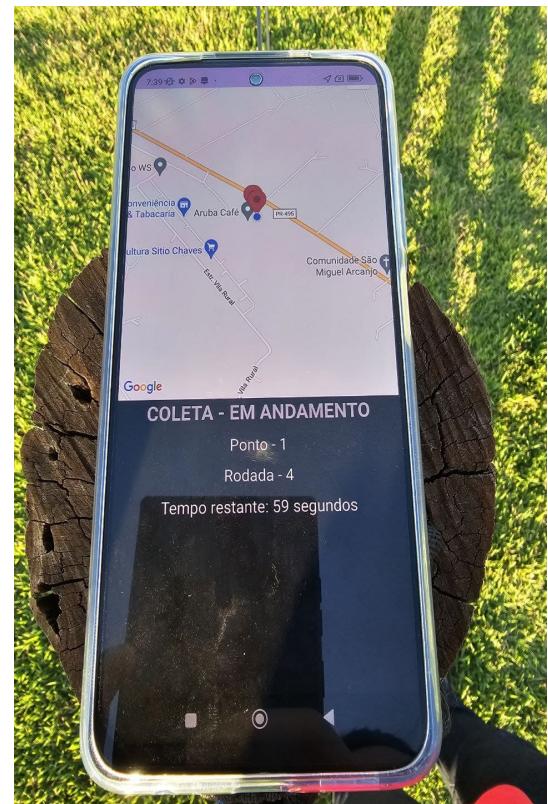
Considerando os elementos em estudo, foi aplicado um delineamento experimental factorial de 2 fatores, o qual possibilitou a aquisição de dados suficientes para análise.

Foram utilizados 4 piquetes com 4 repetições de leitura em cada, conforme ilustrado pela Figura 9. As leituras foram realizadas de maneira passiva, onde o celular ficou estável sob o piquete obtendo dados, diferentemente do trabalho de Lamb *et al.* (2022), no qual o piquete era localizado de maneira ativa, com navegação até o piquete em estudo.

Figura 9 – Amostragem em processo de execução: (a) Smartphone apoiado no piquete, (b) Aplicação coletando dados



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria (2024).

Considerando a disponibilidade de tempo para execução dos ensaios entre os 4 piquetes, no período matutino, de aproximadamente 4 horas, cada repetição pode ter no máximo 1 hora e assim, cada piquete pode ser amostrado por no máximo 15 minutos (sendo esse o tempo disponível para divisão entre os diferentes tempos de observação e piquetes). Para o período vespertino foi usado o mesmo tempo de 4 horas, com o mesmo tempo de amostragem por piquete. Esse cronograma garante que cada aparelho percorra todos os piquetes quatro vezes em cada turno.

Entre cada tempo de observação, houve um intervalo de 30 segundos, durante o qual a função de localização foi desativada para garantir que o aquecimento do dispositivo não influen-

ciasse as medições subsequentes. Considerando o tempo máximo disponível de 15 minutos por piquete, foram estabelecidos intervalos de amostragem de 30 segundos, 1 minuto, 2 minutos, 3 minutos e 4 minutos, conforme Quadro 2.

Esse processo de coleta segmentada, bem como os intervalos entre as coletas, foi realizado automaticamente pelo próprio aplicativo, sem a necessidade de intervenção do usuário, evitando qualquer interferência do contato humano no dispositivo durante as medições.

Quadro 2 – Identificação dos tempos de observação utilizados

| Identificador | Tempo |
|---------------|-------------|
| T1 | 30 segundos |
| T2 | 1 minuto |
| T3 | 2 minutos |
| T4 | 3 minutos |
| T5 | 4 minutos |

Fonte: Autoria própria (2024).

Os dados coletados por meio das aplicações incluiram todas as informações GNSS brutas, com destaque para: latitude, longitude, altitude, data e hora da medição, precisão horizontal e precisão vertical.

3.3 Etapa 3 - Avaliação dos resultados

Na Etapa 3, a pesquisa concentrou-se na análise comparativa entre os dados dos marcos conhecidos obtidos pelos smartphones durante a Etapa 2, e os dados dos marcos conhecidos, utilizando testes estatísticos de Análise de Variância (ANOVA) e Tukey.

3.3.1 Avaliação dos resultados obtidos

Foi realizada uma análise estatística dos dados obtidos por meio dos smartphones, comparando-os com os dados dos marcos conhecidos, que foram previamente mensurados com instrumentos profissionais de alta precisão, durante o estudo de Lamb *et al.* (2022), ilustrado na Figura 8. O teste de ANOVA e um teste de comparação de médias, conhecido como Tukey, foram utilizados para comparação.

Na ANOVA houve a formulação de duas hipóteses: uma hipótese nula (H_0), em que afirma que a média de todos os grupos é igual, sugerindo que não há diferença estatisticamente significativa entre eles, e uma hipótese alternativa (H_1), que estabelece que pelo menos um dos grupos apresenta uma média diferente dos demais, indicando que existe uma diferença significativa em, pelo menos, um par de grupos. Por outro lado, o Teste de Tukey envolveu

o cálculo de intervalos de confiança para as diferenças entre as médias de todos os pares possíveis de grupos (DRISCOLL, 1996).

Durante a realização da ANOVA, a estatística F, que mede a razão entre a variabilidade entre os grupos e a variabilidade dentro dos grupos, foi calculada. Deste modo, o valor p, que indica a probabilidade de que as diferenças observadas sejam devidas ao acaso, foi calculado para determinar a significância estatística das diferenças observadas entre os grupos. Caso o valor p resultante seja 0,05 ou inferior, a hipótese nula é rejeitada (DRISCOLL, 1996).

Durante o Teste de Tukey, caso a diferença entre as médias de grupos estivesse fora do intervalo de confiança, 95%, indicaria que esses grupos tem médias significativamente diferentes. Caso contrário, a diferença não é considerada estatisticamente significativa (DRISCOLL, 1996).

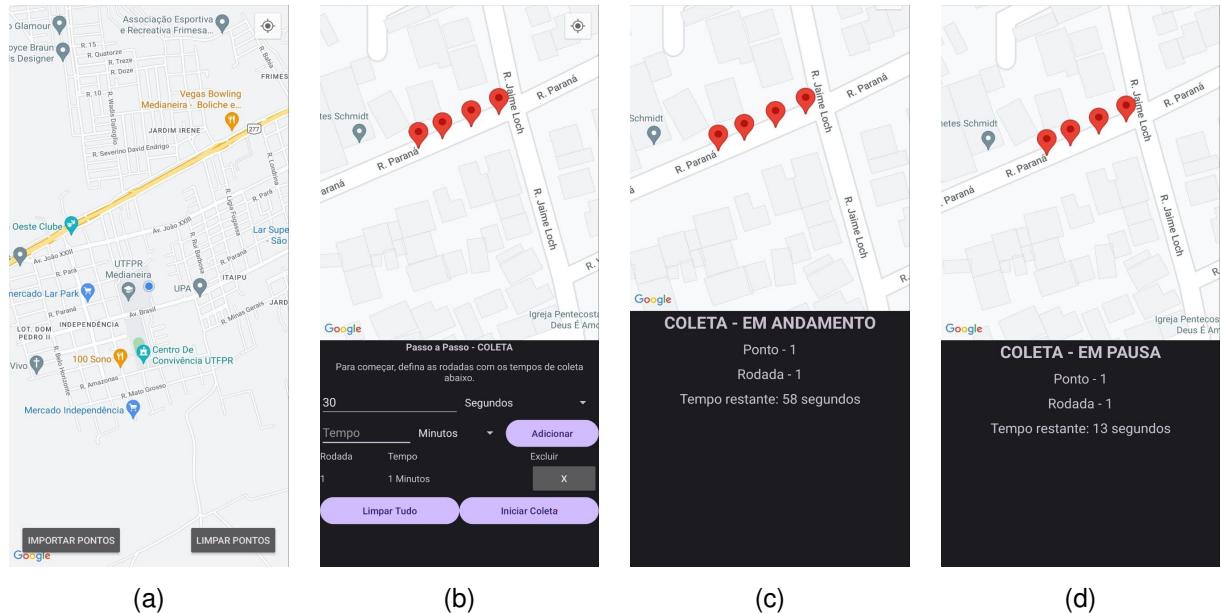
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta uma análise dos resultados obtidos a partir dos experimentos realizados para avaliar a precisão da obtenção de coordenadas geográficas mapeadas por dispositivos móveis utilizando as plataformas de desenvolvimento Java e Flutter.

4.1 Aplicativo Java

Em atendimento ao objetivo específico A, foi desenvolvido um aplicativo para o gerenciamento dos pontos de coleta e a configuração dos parâmetros de coleta, além de fornecer uma interface para monitorar o processo de coleta e as pausas entre os tempos de observação, utilizando a plataforma Java. A Figura 10 apresenta as telas principais dos aplicativos desenvolvidos.

Figura 10 – Telas do aplicativo Java: (a) Gerência dos pontos, (b) Formulário de parâmetros para coleta, (c) Processo de coleta e (d) Pausa entre os tempos de observação



Fonte: Autoria própria (2024).

A primeira tela, representada pela Figura 10a, é dedicada à gerência dos pontos de coleta. Nesta tela, os usuários podem importar pontos previamente definidos ou remover pontos que não serão utilizados na coleta.

A segunda tela, representada pela Figura 10b, permite ao usuário preencher os dados necessários para a coleta. Os parâmetros incluem o tempo das pausas entre os tempos de observação e a configuração de cada tempo de observação. O usuário pode adicionar múltiplas repetições de coleta, especificando o tempo de duração de cada uma.

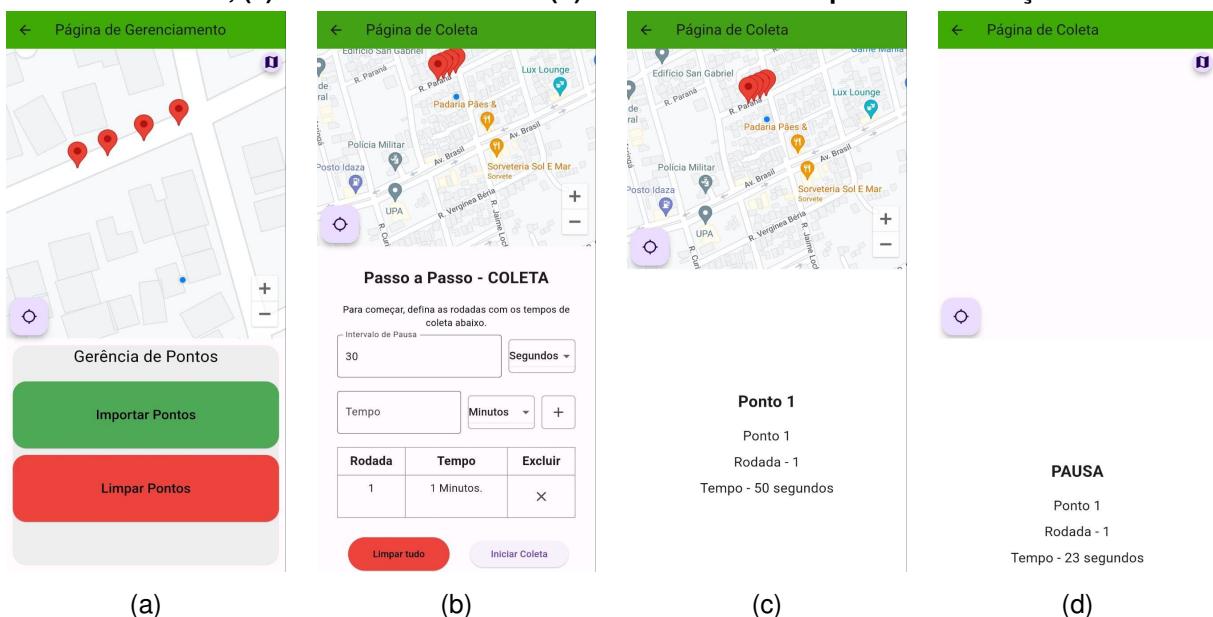
A terceira tela, representada pela Figura 10c, mostra o processo de coleta em andamento. Nesta tela, o aplicativo exibe o ponto de coleta atual, a rodada em curso e o tempo restante para a conclusão da coleta.

A quarta tela, representada pela Figura 10d, exibe o estado do aplicativo durante a pausa entre dois tempos de observação. Assim como na tela de coleta em andamento, esta tela informa o ponto de coleta, a repetição em curso e o tempo restante da pausa.

4.2 Aplicativo Flutter

Em atendimento ao objetivo específico B, foi desenvolvido também um aplicativo utilizando a plataforma Flutter, contemplando os mesmos requisitos aplicados a plataforma Flutter. A Figura 11 apresenta as telas principais dos aplicativos desenvolvidos.

Figura 11 – Telas do aplicativo Flutter: (a) Gerência dos pontos, (b) Formulário de parâmetros para coleta, (c) Processo de coleta e (d) Pausa entre os tempos de observação



Fonte: Autoria própria (2024).

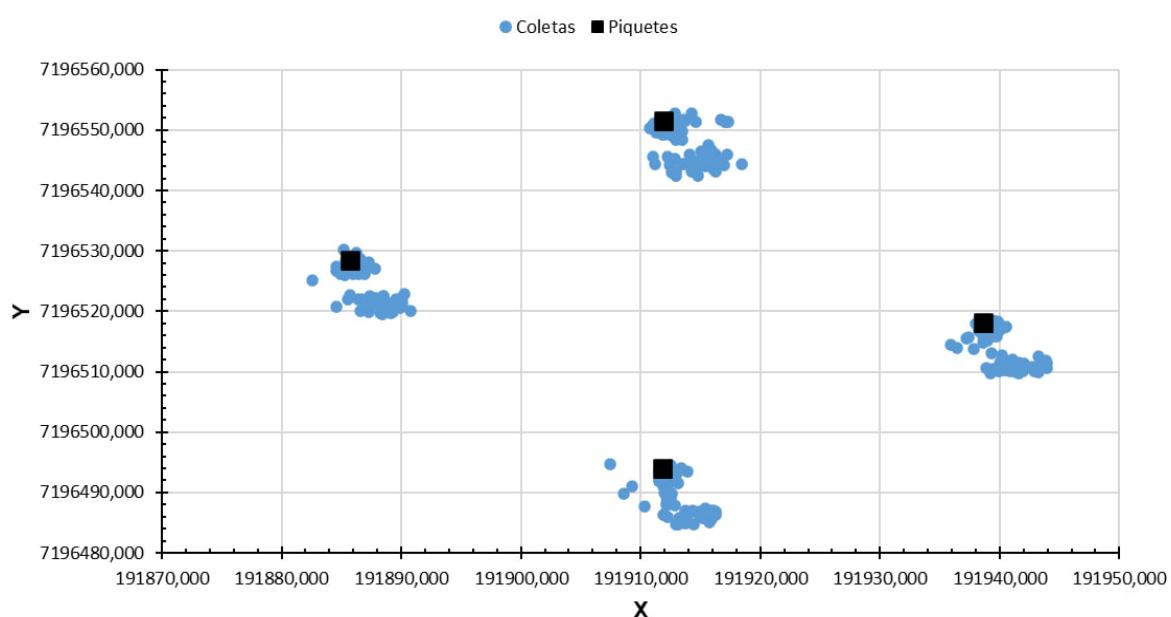
Assim como no aplicativo Java, ele fornece uma interface para monitorar o processo de coleta e as pausas entre os tempos de observação. As telas principais do aplicativo Java refletem a mesma estrutura e operabilidade.

A tela de gerência dos pontos permite a importação e remoção de pontos de coleta, similarmente ao aplicativo Java. A tela de parâmetros de coleta possibilita a configuração detalhada das pausas e os tempos de observação, permitindo múltiplas repetições de coleta com tempos de duração especificados pelo usuário. Durante o processo de coleta, o aplicativo exibe o ponto de coleta atual, a repetição em curso e o tempo restante. No caso de pausas, exibe a repetição em curso e o tempo restante da pausa.

4.3 Dispersão dos dados

Em atendimento ao objetivo específico C, foram realizados os ensaios de localização cujo resultado está disposto no gráfico da Figura 12. As coordenadas correspondentes aos piquetes, são apresentadas com marcador quadrado, na cor preta, enquanto as coletas, resultados dos ensaios, são apresentadas pela cor azul.

Figura 12 – Gráfico de dispersão dos dados obtidos a partir dos ensaios em relação aos piquetes, no sistema de coordenadas UTM.



Fonte: Autoria própria (2024).

A partir deste gráfico, por inspeção visual, observa-se que, em cada cada piquete, há dois aglomerados de pontos, indicando que os resultados se concentraram em duas regiões distintas para cada ponto de referência. Entretanto, não é possível ter conclusões detalhadas sobre a precisão das coletas, para isso foi realizada a estatística descritiva dos dados, conforme a Tabela 2. Os dados revelam informações sobre a distribuição e a variabilidade dos erros.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas gerais dos erros dos ensaios em relação aos piquetes

| | Coletas | Média (m) | Mediana | Desvio padrão | Variância | Curtose | Assimetria | Min | Máx |
|------|---------|-----------|---------|---------------|-----------|---------|------------|------|------|
| Erro | 320 | 4,63 | 4,13 | 3,21 | 10,33 | -1,66 | 0,12 | 0,22 | 9,81 |

Fonte: Autoria própria (2024).

A média dos erros foi de 4,63 metros, indicando a distância média entre as coordenadas medidas e os piquetes de referência. A mediana foi de 4,13 metros, sugerindo que metade das medições apresentaram erros inferiores a esse valor.

O desvio padrão dos erros foi de 3,21 metros, indicando a dispersão dos erros em torno da média. A assimetria foi de 0,12, mostrando uma leve assimetria positiva, com a maioria dos erros concentrados ligeiramente à esquerda da média.

A curtose dos erros foi de -1,66, indicando uma distribuição com caudas mais finas e um pico mais baixo do que uma distribuição normal, caracterizando-a como platicúrtica. Isso significa que há menos valores extremos e uma distribuição mais uniforme dos erros.

Analizando a estatística descritiva, agrupada por piquetes (Tabela 3), o erro mínimo observado foi de 0,22 metros, enquanto o erro máximo foi de 9,81 metros. Esses valores extremos indicam que, embora a maioria das medições esteja próxima à média, há algumas medições que apresentam erros significativamente maiores.

Tabela 3 – Estatísticas descritivas gerais dos erros dos ensaios

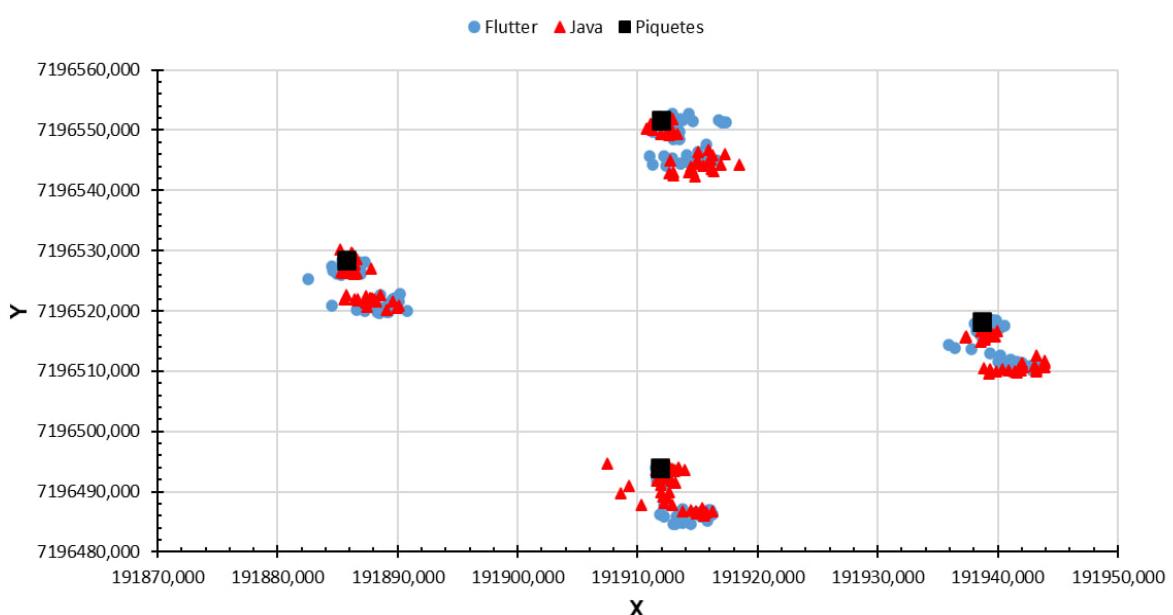
| Piquete | Coletas | Média | Desvio padrão | Variância | Curtose | Assimetria | Min | Máx |
|---------|---------|-------|---------------|-----------|---------|------------|------|------|
| 1 | 80 | 4,57 | 3,27 | 10,72 | -1,63 | 0,23 | 0,21 | 9,74 |
| 2 | 80 | 4,66 | 3,21 | 10,36 | -1,73 | 0,09 | 0,30 | 9,81 |
| 3 | 80 | 4,48 | 3,34 | 11,21 | -1,73 | 0,11 | 0,24 | 9,45 |
| 4 | 80 | 4,77 | 3,05 | 9,36 | -1,63 | 0,07 | 0,22 | 9,79 |

Fonte: Autoria própria (2024).

As estatísticas descritivas por piquete mostram uma consistência geral na variabilidade dos erros de localização em cada ponto, sem discrepâncias significativas entre os pontos. As pequenas diferenças nas médias e nos desvios padrão indicam variações sutis na precisão das medições, mas a dispersão dos erros é comparável entre todos os pontos, refletindo um desempenho uniforme das plataformas utilizadas nos diferentes locais de medição.

Em relação às plataformas, a análise é iniciada por meio da apresentação da Figura 13.

Figura 13 – Gráfico de dispersão dos dados obtidos a partir das aplicações Java e Flutter em relação aos piquetes, no sistema de coordenadas UTM.



Fonte: Autoria própria (2024).

As coordenadas correspondentes aos piquetes, são apresentadas com marcador quadrado, na cor preta, enquanto as plataformas Java e Flutter são apresentadas pelas cores vermelha e azul, respectivamente.

Por meio da inspeção visual permaneceram os dois aglomerados de pontos, então, para entender melhor as diferenças entre as coletas das plataformas Java e Flutter, foram realizadas análises estatísticas descritivas, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Estatísticas descritivas dos erros de localização por plataforma

| | Média | Mediana | Desvio padrão | Variância | Curtose | Assimetria | Min | Máx |
|---------|-------|---------|---------------|-----------|---------|------------|------|------|
| Flutter | 4,74 | 4,60 | 3,15 | 9,98 | -1,66 | 0,12 | 0,21 | 9,81 |
| Java | 4,50 | 3,64 | 3,27 | 10,7 | -1,68 | 0,13 | 0,24 | 9,79 |

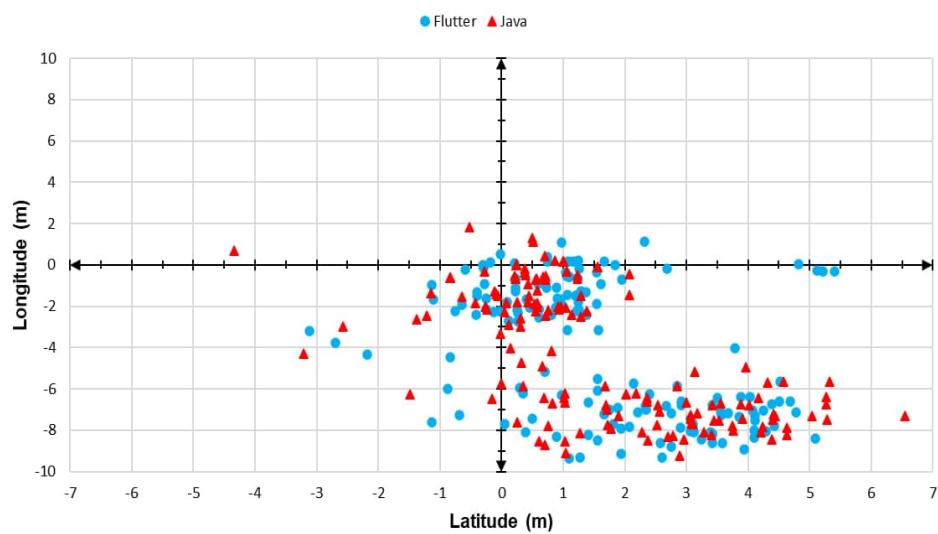
Fonte: Autoria própria (2024).

A média dos erros foi menor para Java (4,50m) do que para Flutter (4,75m), indicando uma precisão ligeiramente melhor para Java. No entanto, o desvio padrão foi menor para Flutter (3,15m) em comparação com Java (3,27m), sugerindo maior consistência nas medições com Flutter.

Ambos os métodos apresentaram valores de máximo e mínimo semelhantes, indicando erros tanto elevados quanto baixos em ambos os casos. Em resumo, Java teve uma média de erro ligeiramente menor, mas Flutter mostrou maior consistência.

A Figura 14 ilustra a dispersão dos erros de localização para Flutter e Java.

Figura 14 – Gráfico de dispersão do erro em relação às plataformas Java e Flutter.



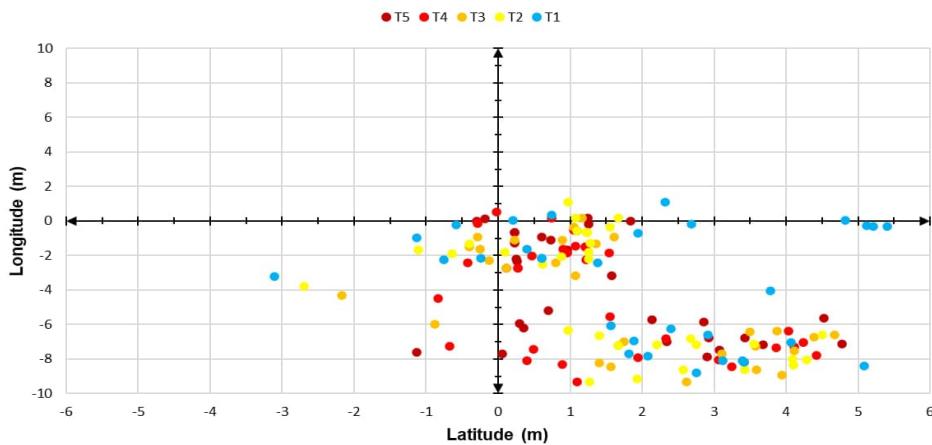
Fonte: Autoria própria (2024).

Observa-se que em ambos os conjuntos de dados há uma dispersão significativa dos pontos em torno da origem, com erros variando em várias direções e magnitudes. A dispersão dos pontos de Flutter (azul) e Java (vermelho) é bastante semelhante, sugerindo que ambas as plataformas têm um desempenho comparável em termos de precisão de localização.

Em atendimento ao objetivo geral, foi analisada o tempo de observação definido por T1, T2, T3, T4 e T5 e, para uma melhor análise dos dados, os tempos foram avaliados separadamente por plataforma.

A primeira análise (Figura 15) detalha a dispersão dos erros de localização para a plataforma Flutter nos diferentes tempos de observação representados pelo Quadro 2.

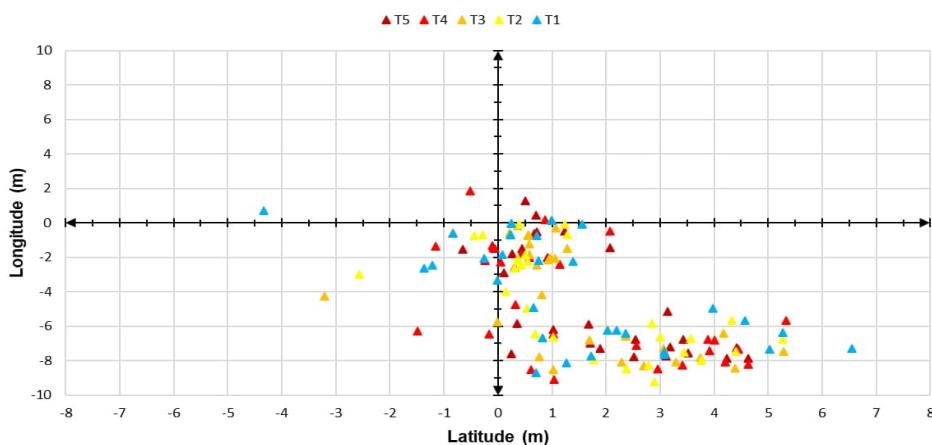
Figura 15 – Gráfico de dispersão do erro em relação à plataforma Flutter.



Fonte: Autoria própria (2024).

Nota-se que, independentemente do tempo de observação, há uma concentração significativa de pontos próximos à origem. Por outro lado, a Figura 16 apresenta a dispersão dos erros de localização para a plataforma Java, nos mesmos tempos de observação.

Figura 16 – Gráfico de dispersão do erro em relação à plataforma Java.



Fonte: Autoria própria (2024).

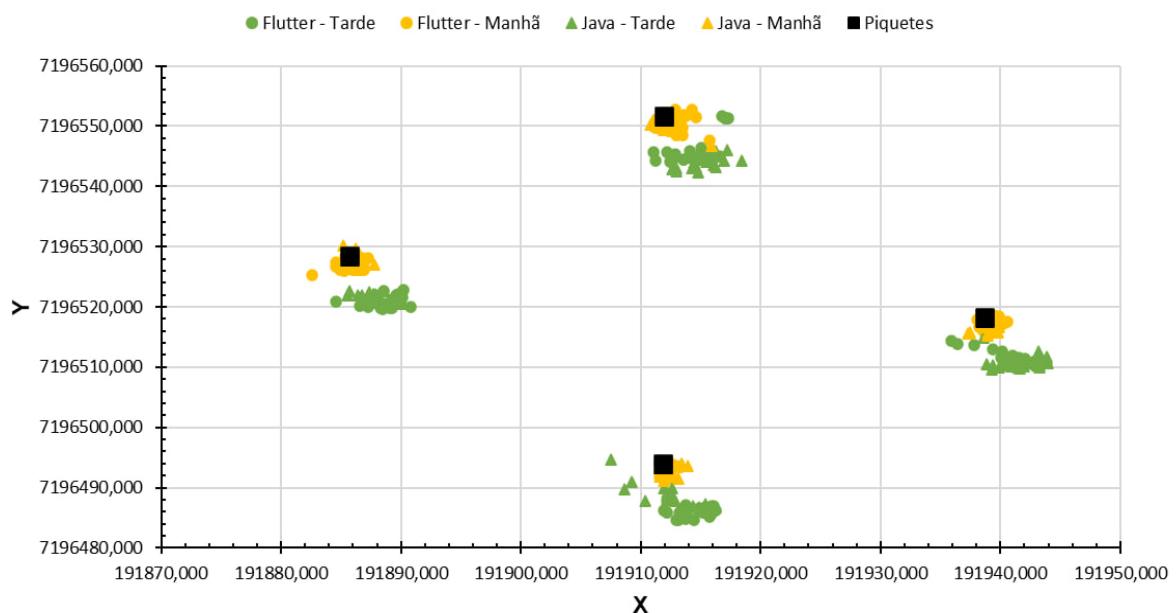
Similar ao observado com Flutter, os dados obtidos por meio da plataforma Java mostram uma dispersão considerável, com alguns pontos apresentando maiores erros à medida que o tempo de observação aumenta.

Observa-se o mesmo aglomerado em ambas as imagens, comum tanto em plataforma quanto em tempo de observação, indicando que teoricamente nenhum dos dois fatores foi de-

terminante nesse agrupamento. Analisando o delineamento experimental, os ensaios foram realizados de manhã e à tarde, e, portanto, a análise foi feita por período.

A Figura 17 ilustra a dispersão das coletas para as plataformas Flutter e Java nos turnos da manhã e da tarde. As medições realizadas durante a manhã apresentam menor dispersão em comparação com as realizadas à tarde para ambas as plataformas. A maior concentração dos pontos de coleta próximos aos piquetes de referência durante a manhã indica uma maior precisão nesse período. À tarde, há uma dispersão maior dos pontos, indicando um aumento nos erros de localização. As variações observadas podem ser explicadas conforme More (2001), que relata que as condições ionosféricas e atmosféricas são mais estáveis pela manhã, resultando em menor erro de posicionamento e maior precisão nas medições.

Figura 17 – Gráfico de dispersão dos dados obtidos por meio das aplicações em relação aos piquetes com base no turno.



Fonte: Autoria própria (2024).

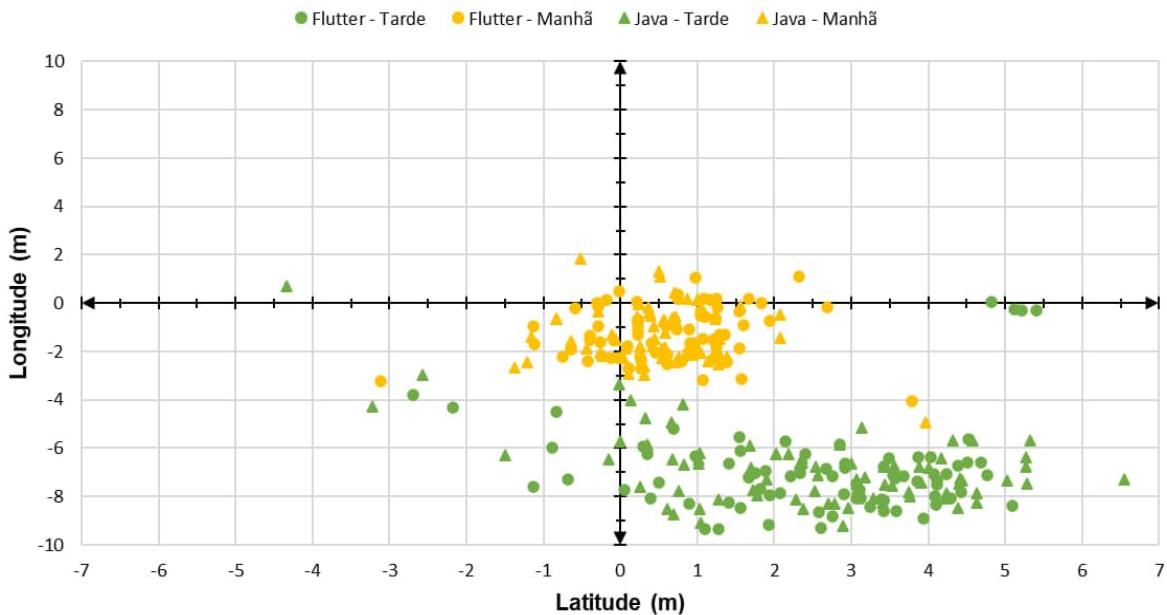
A dispersão dos erros de localização para as plataformas Flutter e Java durante os turnos da manhã e tarde é apresentada na Figura 18. O gráfico ilustra a dispersão dos erros em relação à latitude e longitude, com cada ponto representando uma medição de erro específica.

Para a plataforma Flutter, a média dos erros de localização no turno da manhã foi de 1,80 metros, com um desvio padrão de 0,90 metros. Os valores variaram de um mínimo de 0,22 metros a um máximo de 5,53 metros. A mediana foi de 1,81 metros, indicando que metade das medições apresentaram erros menores que esse valor. No turno da tarde, a média dos erros para Flutter aumentou significativamente para 7,69 metros, com um desvio padrão de 1,31 metros.

Os erros variaram de 4,56 metros a 9,81 metros, com uma mediana de 7,98 metros. Isso indica uma maior dispersão e um aumento nos erros de localização durante a tarde. Esses re-

sultados sugerem também que a precisão das medições com Flutter é melhor durante a manhã, com menor dispersão e menores valores de erro.

Figura 18 – Gráfico de dispersão do erro em relação aos piquetes por meio das aplicações Java e Flutter.



Fonte: Autoria própria (2024).

Para a plataforma Java, a média dos erros de localização no turno da manhã foi de 1,48 metros, com um desvio padrão de 0,97 metros. Os erros variaram de um mínimo de 0,25 metros a um máximo de 6,35 metros, e a mediana foi de 1,34 metros. À tarde, a média dos erros para Java também aumentou para 7,53 metros, com um desvio padrão de 1,44 metros. Os valores de erro variaram de 3,35 metros a 9,80 metros, com uma mediana de 7,83 metros. Semelhante ao observado com Flutter, a precisão das medições com Java é melhor durante a manhã, com menor dispersão dos erros.

A comparação entre as plataformas Flutter e Java revela que ambas apresentam um aumento significativo nos erros de localização durante o turno da tarde. No entanto, a plataforma Java apresentou uma média de erro ligeiramente menor tanto na manhã (1,48m contra 1,80m) quanto na tarde (7,53m contra 7,69m) em comparação com Flutter. Os gráficos de dispersão mostram que, durante a manhã, os erros são menores e mais concentrados em torno do ponto de referência, enquanto à tarde, os erros se dispersam mais, indicando uma diminuição na precisão das medições.

Esse fenômeno pode ser explicado por variações nas condições atmosféricas e na visibilidade dos satélites GNSS ao longo do dia. Conforme destacado por Yamamoto *et al.* (2020), ajustes geométricos aplicados às imagens do satélite Himawari-8 durante o dia, especialmente pela manhã, resultaram em maior precisão devido à reduzida distorção atmosférica e à estabilidade das condições de visibilidade dos satélites. Além disso, a avaliação da precisão geométrica

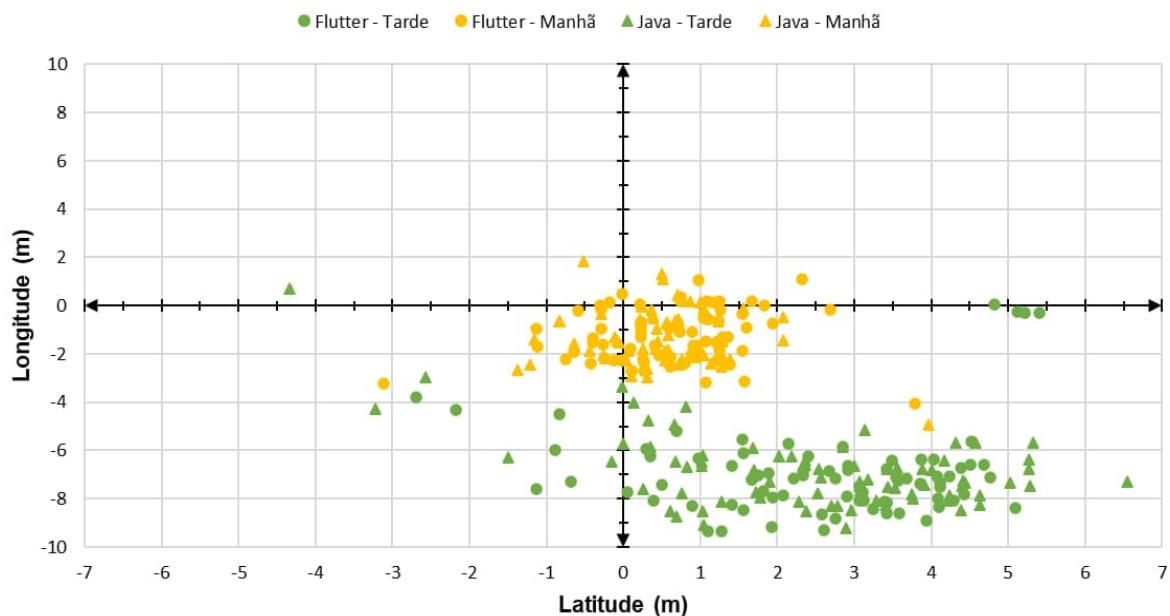
dos satélites Sentinel-1A e 1B revelou que as condições atmosféricas favoráveis durante a manhã contribuíram para a maior precisão nas medições de geolocalização (SCHUBERT *et al.*, 2017).

No estudo realizado pela empresa DXOMARK em 2023, focado especificamente em dados da constelação GPS em smartphones, verificou-se que as condições de sinal são mais estáveis durante a manhã. Essa estabilidade resulta em menor erro de geolocalização em comparação com medições feitas à tarde, onde há uma maior dispersão dos sinais devido a mudanças atmosféricas e interferências (DXOMARK, 2023).

A análise da dispersão dos erros de localização demonstra que a precisão é afetada pelo turno do dia, sendo melhor durante a manhã para ambas as plataformas. Embora Java apresente uma média de erro ligeiramente menor, Flutter mostra uma maior consistência nas medições, conforme indicado pelo menor coeficiente de variação durante a manhã. Estes resultados são consistentes com o estudo de Lamb *et al.* (2022), que também verificou uma precisão melhor durante a parte da manhã em medições de geolocalização realizadas em atividades agrícolas.

O gráfico presente na Figura 19 ilustra a dispersão dos erros das plataformas Flutter e Java durante os períodos matutino e vespertino, os ensaios realizados evidenciam diferenças entre as medições feitas durante a manhã e a tarde.

Figura 19 – Gráfico de dispersão do erro em relação às plataformas Flutter e Java durante manhã e tarde.



Fonte: Autoria própria (2024).

Os dados coletados durante o turno da manhã mostraram uma maior concentração de pontos de erro próximos à origem para ambas as plataformas. Para Flutter, as medições matinais, representadas por círculos laranjas, são mais concentradas e próximas ao ponto de refe-

rência. Da mesma forma, para Java, as medições de erro matinais, representadas por triângulos laranjas, também apresentam uma distribuição mais próxima à origem.

Essa maior concentração de pontos de erro próximos ao ponto de referência sugere uma precisão superior das medições durante a manhã, possivelmente devido a melhores condições atmosféricas e visibilidade mais estável dos satélites GNSS. Fatores como menor interferência atmosférica, posição favorável dos satélites e menos atividades humanas contribuindo para distúrbios no sinal são determinantes. Estudos, como o de Jiang *et al.* (2023), mostram que a precisão da geolocalização tende a ser maior pela manhã devido a essas condições favoráveis, observando menor erro nas medições matutinas em imagens Synthetic Aperture Radar (SAR) de alta resolução. Da mesma forma, pesquisas sobre a precisão do GPS em ambientes urbanos encontraram resultados semelhantes, destacando menor interferência atmosférica e melhores condições de visibilidade dos satélites durante a manhã. Além disso, análises de dados de satélite de baixa resolução corroboram que as medições são mais precisas nas primeiras horas do dia devido à menor densidade de vapor d'água e atividade atmosférica reduzida (MERRY; BETTINGER, 2019; WU; NAEGELI; WUNDERLE, 2020).

4.4 Análise de Variância (ANOVA)

Em atendimento ao objetivo específico D, a ANOVA foi realizada para determinar se há diferenças significativas nos erros de localização em relação aos fatores plataforma, turno, ponto e tempo de observação. Antes da realização da ANOVA, foram realizados testes de normalidade e de *outliers*, verificando-se que os dados apresentavam normalidade e que não havia presença de outliers. A Tabela 5 resume os resultados da ANOVA.

Tabela 5 – Resultados da ANOVA para os erros de localização

| | GL | SQ (Aj.) | QM (Aj.) | Valor F | Valor-P |
|------------|-----|----------|----------|---------|---------|
| Plataforma | 1 | 4,70 | 4,70 | 3,37 | 0,067 |
| Turno | 1 | 2852,09 | 2852,09 | 2045,08 | 0,000 |
| Piquete | 3 | 3,53 | 1,18 | 0,84 | 0,470 |
| Tempo | 4 | 2,54 | 0,64 | 0,46 | 0,768 |
| Erro | 310 | 432,33 | 1,39 | | |
| Total | 319 | 3295,20 | | | |

na qual:

GL = Graus de Liberdade;

SQ = Soma de Quadrados;

QM = Quadrado Médio;

Aj. = Ajustado.

Fonte: Autoria própria (2024).

Os resultados da ANOVA mostram que o fator “Turno” tem um efeito significativo sobre os erros de localização ($\text{Valor-P} < 0,05$), indicando que há uma diferença significativa nos erros de localização entre os turnos da manhã e da tarde.

No entanto, os fatores “plataforma”, “Piquete” e “Tempo” não apresentaram diferenças significativas nos erros de localização, com valores-P de 0,067, 0,470 e 0,768, respectivamente. Para confirmar a presença da diferença foi realizado o teste de comparação de médias.

4.5 Teste de Comparações de Médias (Tukey)

Ainda em atendimento ao objetivo específico D, para identificar quais grupos específicos diferem entre si, foi realizado o teste de comparações múltiplas de Tukey. Este teste é utilizado para comparar todas as possíveis combinações de médias e determinar quais delas são significativamente diferentes entre si. A Tabela 6 apresenta os resultados para o fator “plataforma”.

Tabela 6 – Comparações de Tukey para plataforma

| Plataforma | Média | Agrupamento |
|------------|---------|-------------|
| Flutter | 4,74684 | A |
| Java | 4,50438 | A |

Grupos com letras iguais no Agrupamento não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$), enquanto grupos com letras diferentes apresentam ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autoria própria (2024).

As médias dos erros para as plataformas Flutter e Java não diferem significativamente, pois ambos os grupos compartilham a mesma letra de agrupamento “A”, indicando que a plataforma utilizada não teve um efeito significativo na precisão das medições. A Tabela 7 apresenta os resultados para o fator “Turno”.

Tabela 7 – Comparações de Tukey para Turno

| Turno | Média | Agrupamento |
|-------|---------|-------------|
| Tarde | 7,61104 | A |
| Manhã | 1,64018 | B |

Grupos com letras iguais no Agrupamento não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$), enquanto grupos com letras diferentes apresentam ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autoria própria (2024).

As médias dos erros para os turnos da tarde e da manhã diferem significativamente, com a tarde apresentando uma média de erro consideravelmente maior do que a manhã. Isso sugere que o turno do dia tem um impacto significativo na precisão das medições de localização, uma vez que os agrupamentos “A” e “B” são diferentes. A Tabela 8 apresenta os resultados para o fator “Piquete”. Este fator foi analisado para verificar se a localização dos pontos de referência influencia nos erros de localização.

As médias dos erros para os diferentes piquetes não diferem significativamente, pois todos os piquetes compartilham a mesma letra de agrupamento, indicando que a localização dos piquetes não teve um efeito significativo nos erros de localização. A Tabela 9 apresenta os resultados para o fator “Tempo”.

Tabela 8 – Comparações de Tukey para Piquete

| Piquete | Média | Agrupamento |
|-----------|---------|-------------|
| Piquete 4 | 4,77435 | A |
| Piquete 2 | 4,66085 | A |
| Piquete 1 | 4,57763 | A |
| Piquete 3 | 4,48960 | A |

Grupos com letras iguais no Agrupamento não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$), enquanto grupos com letras diferentes apresentam ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 9 – Comparações de Tukey para Tempo

| Tempo | Média | Agrupamento |
|-------|---------|-------------|
| T4 | 4,73892 | A |
| T1 | 4,65204 | A |
| T3 | 4,64153 | A |
| T2 | 4,63088 | A |
| T5 | 4,46468 | A |

Grupos com letras iguais no Agrupamento não apresentam diferença significativa ($p > 0,05$), enquanto grupos com letras diferentes apresentam ($p \leq 0,05$).

Fonte: Autoria própria (2024).

As médias dos erros para os diferentes tempos de observação não diferem significativamente, pois todos os tempos compartilham a mesma letra de agrupamento, indicando que a duração do tempo de observação não teve um efeito significativo na precisão das medições.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusão

Após o desenvolvimento deste trabalho, com a análise de variância (ANOVA), pode-se verificar que os fatores, plataforma de desenvolvimento e tempo de observação, não foram estatisticamente significativos. O turno do dia foi o único fator com efeito significativo sobre os erros de localização. Medições realizadas pela manhã apresentaram maior exatidão em comparação com aquelas realizadas à tarde, com uma diferença de aproximadamente 6 metros na localização. Esse fenômeno pode ser atribuído a melhores condições atmosféricas e visibilidade dos satélites GNSS durante as primeiras horas do dia, resultando em menores variações nas medições de localização, sendo necessário novos estudos.

O teste de comparações múltiplas de Tukey corroborou os resultados, mostrando que as médias dos erros para os turnos da tarde e da manhã diferem significativamente, enquanto não houve diferenças significativas nas médias dos erros entre as plataformas Java e Flutter, bem como quanto ao tempo de observação.

A análise dos erros de localização para os piquetes mostrou uma consistência nos resultados, sem discrepâncias significativas entre os diferentes pontos de coleta. No entanto, as medições realizadas no turno da tarde apresentaram maior dispersão dos erros, confirmando uma diminuição na precisão das medições durante este turno.

Os resultados sugerem que, mediante as condições experimentadas, o turno do dia foi o fator determinante para a precisão das medições de localização. Os ensaios realizados pela manhã demonstraram ser mais precisos e consistentes, reforçando a importância de considerar o horário para maximizar a acurácia dos dados obtidos.

5.2 Aplicações

Os resultados obtidos neste trabalho fornecem uma base para a utilização de smartphones em atividades de geolocalização, demonstrando que estes dispositivos podem substituir equipamentos GNSS comerciais em determinadas condições. Conforme os estudos de Moore (2001), Yamamoto *et al.* (2020), e DXOMARK (2023), a precisão dos smartphones é particularmente superior durante o turno da manhã, quando as condições atmosféricas são mais estáveis e a visibilidade dos satélites é melhor.

Com base nestes estudos, verificou-se que a precisão das medições realizadas pela manhã com smartphones é comparável à de dispositivos GNSS profissionais, tornando-os adequados para uma gama de aplicações, desde atividades agrícolas, como mapeamento de campos e monitoramento de cultivos, até projetos de engenharia e construção civil que requerem uma maior precisão em coordenadas geográficas. A adoção de smartphones pode representar

uma solução econômica e prática, sobretudo em cenários onde o custo e a portabilidade são fatores críticos.

Por outro lado, as medições realizadas no turno da tarde apresentaram uma maior dispersão dos erros, o que pode limitar a utilização dos smartphones em atividades que exigem extrema precisão. No entanto, para algumas aplicações onde uma margem de erro maior é aceitável, como em levantamentos preliminares, monitoramento de atividades recreativas ou aplicações educacionais, os smartphones ainda podem ser uma opção viável.

5.3 Trabalhos Futuros

Para ampliar este estudo, pode-se realizar uma análise detalhada para investigar como variações climáticas em atributos de temperatura, umidade, nebulosidade, dentre outros, influenciam a precisão das medições de geolocalização por smartphones. Isso poderia proporcionar informações fundamentais para o desenvolvimento de estratégias mais robustas de correção de erros e melhorar a confiabilidade dos dispositivos em condições ambientais adversas.

Novos estudos podem ser desenvolvidos para a geração e avaliação de mapas detalhados a partir de coordenadas coletadas por smartphones, verificando se os mapas produzidos a partir de coordenadas de equipamentos GNSS são equivalentes a mapas construídos a partir de coordenadas oriundas de um smartphone. Esses mapas poderiam ser aplicados em setores como agricultura de precisão e planejamento urbano, onde informações geoespaciais precisas são críticas.

Comparar diferentes modelos de smartphones e dispositivos GNSS comerciais permitiria avaliar como diferentes tecnologias de hardware e software afetam a precisão e a estabilidade das medições de geolocalização. Isso poderia fornecer dados para a seleção e otimização de dispositivos móveis em aplicações que exigem alta precisão espacial.

Para avançar ainda mais, otimizar algoritmos de correção de erros em tempo real, levando em consideração as variações atmosféricas específicas do local de medição, e investigar o impacto dessas condições na precisão das medições GNSS seriam passos importantes.

REFERÊNCIAS

- ADENILSON GIOVANINI. **Receptor GNSS: Os 4 Tipos Existentes!** 2016. Adenilson Giovanini. Disponível em: <https://adenilsongiovanini.com.br/blog/receptor-gnss-quando-utilizar/>. Acesso em: 15 out. 2023.
- ALMEIDA JUNIOR, V. H. D. Desenvolvimento de aplicativo de dispositivo móvel para ajustamento de coordenadas geográficas. **Universidade Federal de Santa Maria**, 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19969/TCCE_GEOMATICA_2020_ALMEIDA_JUNIOR_VITOR.pdf. Acesso em: 03 set. 2023.
- ANDRADE, L. S. de; ALVES, D. B. M. Novas observáveis gps e a melhoria na acurácia do posicionamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/5, p. 991–1004, 2016. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/download/44431/23506/184406>. Acesso em: 03 set. 2023.
- ANDROID DEVELOPERS. **Arquitetura da plataforma**. 2020. Android Developers. Disponível em: <https://developer.android.com/guide/platform>. Acesso em: 06 out. 2023.
- ARAÚJO, G. et al. Avaliação da precisão de diferentes dispositivos gnss. **Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas**, v. 12, n. 2, p. 212–222, 2018. Disponível em: <http://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/665>. Acesso em: 02 out. 2023.
- BEIDOU GOV. **System**. 2014. BeiDou Navigation Satellite System. Disponível em: <http://en.beidou.gov.cn/SYSTEMS/System/>. Acesso em: 15 out. 2023.
- CERQUEIRA, D.; BITTENCOURT, R. A. Comparação e avaliação de frameworks mobile multiplataforma. **Universidade Estadual de Feira de Santana**, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Bittencourt-2/publication/305655249_Comparacao_e_Avaliacao_de_Frameworks_Mobile_Multiplataforma/links/57982f1808aeb0ffcd06e94d/Comparacao-e-Avaliacao-de-Frameworks-Mobile-Multiplataforma.pdf. Acesso em: 02 out. 2023.
- CODEPROJECT. **Murl Engine* Cross-Platform Development Tool with Android* x86 Support**. 2015. Android on Intel. Disponível em: <https://www.codeproject.com/Articles/880419/Murl-Engine-Cross-Platform-Development-Tool-with-A>. Acesso em: 01 out. 2023.
- COSTA, M. **Lei do Georreferenciamento: o que é e para que serve**. 2018. MK Avaliações Imobiliárias. Disponível em: <https://mkavaliaocoesimobiliarias.com.br/lei-do-georreferenciamento-o-que-e-e-para-que-serve/>. Acesso em: 09 out. 2023.
- DABOVE, P.; Di Pietra, V. Towards high accuracy gnss real-time positioning with smartphones. **Advances in Space Research**, v. 63, n. 1, p. 94–102, 2019. ISSN 0273-1177. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117718306537>. Acesso em: 05 out. 2023.
- DRISCOLL, W. C. Robustness of the anova and tukey-kramer statistical tests. **Computers Industrial Engineering**, v. 31, n. 1, p. 265–268, 1996. ISSN 0360-8352. Proceedings of the 19th International Conference on Computers and Industrial Engineering. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0360835296001271>. Acesso em: 29 out. 2023.

DXOMARK. GPS on smartphones: Testing the accuracy of location positioning — dxomark.com. 2023. Disponível em: <https://www.dxomark.com/gps-on-your-smartphone-why-youre-not-always-there-when-it-says-youre-there>. Acesso em: 23 mai. 2024.

FILHO, R. A.; VETTORAZZI, C. A.; SARRÍES, G. A. Exatidão de posicionamento de um receptor gps, operando sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Vrk3ppCtTvxQb8RqygTmQBC/?format=pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.

FLUTTER. **Flutter architectural overview**. 2015. Flutter. Disponível em: <https://docs.flutter.dev/resources/architectural-overview>. Acesso em: 02 out. 2023.

FORTE, G. *et al. Estratégias inteligentes para desenvolvimento de aplicativos mobile multiplataforma*. 2015. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14599/1/DesenvolvimentoSistemaGeolocalizacao.pdf>. Acesso em: 05 out. 2023.

FREIRE, P. J.; RIBEIRO, R. Revisão de literatura de frameworks de desenvolvimento móvel multiplataforma. In: **Atas da Conferência da Associação Portuguesa de Sistemas de Informação**. [s.n.], 2014. v. 13, p. 386–398. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/ddcghkijgnfrdoxyv3v6cv7sky/access/wayback/http://revista.apsi.pt/index.php/capsi/article/download/38/33>. Acesso em: 04 out. 2023.

GLONASS IAC. **Sobre a GLONASS**. 2010. Centro Russo de Análise de Informação. Disponível em: https://glonass-iac.ru/en/about_glonass/. Acesso em: 15 out. 2023.

GOMES, A.; DE OLIVEIRA JÚNIOR, P. S.; KRUEGER, C. P. Posicionamento pelo gnss via smartphones: breve histórico e contextualização de novas ferramentas e tecnologias. **Rev. Bras. Cartogr.**, v. 74, n. 3, 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/64507/34576>. Acesso em: 03 set. 2023.

HEGARTY, C. J.; CHATRE, E. Evolution of the global navigation satellitesystem (gnss). **Proceedings of the IEEE**, IEEE, v. 96, n. 12, 2008. Disponível em: <https://wenku.baidu.com/view/24d91df704a1b0717fd5dd3a.html>. Acesso em: 05 out. 2023.

HILLEBRAND, F. L. *et al. Precisão de coordenadas planimétricas obtidas com receptores GNSS de pontos situados sob redes elétricas de alta tensão*. 2012. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/9573/HILLEBRAND%2c%20FERNANDO%20LUIS.pdf>. Acesso em: 05 out. 2023.

INSTITUTO PRISTINO. **GPS, dados de telefonia, mapas e geotecnologias**. 2020. Instituto Pristino. Disponível em: <https://institutopristino.org.br/gps-dados-de-telefonia-Mapas-e-geotecnologias/>. Acesso em: 15 out. 2023.

JIANG, B. *et al.* Geolocation accuracy validation of high-resolution sar satellite images based on the xianning validation field. **Remote Sensing**, v. 15, n. 7, 2023. ISSN 2072-4292. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/7/1794>. Acesso em: 12 mai. 2024.

JUNIOR, O. P. modelo causal dos primórdios da ciência do magnetismo. **Scientae Studia**, p. 195–212, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ss/a/bjLSmTbDFNf5gJLq9bZcCKn/?format=pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

- KAPLAN, E. D.; HEGARTY, C. **Understanding GPS/GNSS: principles and applications.** Artech house, 2017. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=y4Q0DwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 04 out. 2023.
- LAMB, J. R. *et al.* Sampling in precision agriculture: A software for navigation in field activities. **Sustainable Computing: Informatics and Systems**, Elsevier, v. 36, p. 100804, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210537922001354>. Acesso em: 17 set. 2023.
- LAMB, J. R. *et al.* **Sistema de navegação para atividades em campo—SNAC.** 2020. Tese (Doutorado), 2020. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/5222>. Acesso em: 10 jan. 2024.
- LIM, S.-H. Experimental comparison of hybrid and native applications for mobile systems. **International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering**, v. 10, n. 3, p. 1–12, 2015. Disponível em: https://gvpress.com/journals/IJMUE/vol10_no3/1.pdf. Acesso em: 07 out. 2023.
- LOGSDON, T. **The Navstar global positioning system.** Springer Science & Business Media, 2012. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=3qIACAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 02 out. 2023.
- LOPES, T. G. *et al.* Desempenho operacional de smartphones em levantamentos planimétricos gnss sobre coberturas vegetais de pastagem e pinus elliottii engelm / operational performance of smartphones in gnss planimetric surveys on pasture coverages and pinus elliottii engelm. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 53813–53828, Aug. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/14254>. Acesso em: 02 out. 2023.
- LOPES, T. G. *et al.* **Comportamento de um sistema híbrido GNSS incorporado a dispositivos móveis na obtenção de levantamentos planimétricos com fins agrícolas.** 2019. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/17234/DIS_PPGEA_2019_LOPES_TIAGO.pdf. Acesso em: 03 set. 2023.
- MERRY, K.; BETTINGER, P. Smartphone gps accuracy study in an urban environment. **PLoS ONE**, v. 14, p. e0219890, 07 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334548843_Smartphone_GPS_accuracy_study_in_an_urban_environment. Acesso em: 23 mai. 2024.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo Navstar-GPS.** Unesp, 2002. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=n3q4ypMODpEC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 06 out. 2023.
- MONICO, J. F. G. *et al.* Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Universidade Federal do Paraná, v. 15, n. 3, p. 469–483, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3939/393937709010.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- MOORE, T. Global positioning system: Theory and practice: B. hofmann-wellenhof, h. lichteneeger and j. collins. springer wien new york, 2001. 5th revised edition. isbn 3-211-82534-2. **Journal of Navigation**, v. 54, n. 3, p. 481–481, 2001. Disponível em: <https://acesse.dev/journal-of-navigation-abs-global-positioning>. Acesso em: 23 mai. 2024.
- OLIVEIRA, G. *et al.* Qualidade do posicionamento em aplicativos vgi obtido por sensores de localização em smartphones. **Revista Brasileira de Cartografia**,

- v. 71, n. 3, p. 806–831, 2019. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/1607/9fe333eceb092450a8c9d2628d883f6bb46a.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.
- OLIVEIRA, G. D. d. **Posicionamento relativo em tempo real e pós-processado utilizando microrreceptor GNSS usado em smartphone**. 2014. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, 2014. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/3839/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.
- PAUTZ, E. A importância do georreferenciamento: Desafios e possibilidades. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 11, p. 1778–1787, 2021. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/3300/1314>. Acesso em: 08 out. 2023.
- PEREIRA, G. et al. Erro transversal de percurso em ensaio cinematográfico de receptores gnss. **Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária**, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Helizani-Bazame/publication/339335988_ERRO_TRANSVERSAL_DE_PERCURSO_EM_ENSAIO_CINEMATICO_DE_RECEPTORES_GNSS/. Acesso em: 07 out. 2023.
- RANSOLIN, E. et al. Avaliação da acurácia de aplicativos de direcionamento para máquinas agrícolas. **Curitibanos, SC**, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/197833/TCC-FINAL.pdf>. Acesso em: 03 set. 2023.
- SCHUBERT, A. et al. Sentinel-1a/b combined product geolocation accuracy. **Remote Sensing**, v. 9, p. 607, 06 2017. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/6/607>. Acesso em: 23 mai. 2024.
- SEEBER, G. **Satellite geodesy**. Walter de gruyter, 2003. Disponível em: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-seeber-g-satellite-geodesy-2003.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023.
- SILVA, R. J. da; URSSI, N. J. Urbx—como os aplicativos móveis potencializam a vida urbana. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística, São Paulo**, v. 5, n. 1, 2015. Disponível em: http://www1.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistainiciacao/wp-content/uploads/2015/06/98_artigo_Iniciacao_ed-vol-5_n1_2015.pdf. Acesso em: 05 set. 2023.
- SOUZA, C. R. M. D. **Interferidores de GPS: Análise do sistema e de potenciais fontes de interferência**. 2005. Tese (Doutorado) — dissertação de mestrado, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro-RJ, 2005. Disponível em: https://pgee.ime.eb.br/pdf/carlos_sousa.pdf. Acesso em: 08 out. 2023.
- SOUZA, T. V. B. et al. Uso de banco de dados geográfico para redução da impresição de coordenadas geodésicas através média geométrica dos sistemas gps e glonass. **Universidade Estadual do Piauí (UESPI)-Campus Professor Alexandre Alves de ...**, 2019. Disponível em: https://repositorio.uespi.br/bitstream/handle/123456789/178/24%20-%20BIBLI.%20OCR%20-%20Thomaz%20Victor%20Barros%20Albuquerque_PHB_CIENC.%20COMPUT_2019_024.pdf. Acesso em: 03 set. 2023.
- SOUZA, J. A. N. D. Uma api rest para consumo de dados georreferenciados utilizando arangodb. **Universidade do Estado do Rio Grande do Norte**, Uern, 2018. Disponível em: <https://di.uern.br/tccs2019/html/ltr/PDF/014003929.pdf>. Acesso em: 07 out. 2023.
- WANNINGER, L.; BEER, S. Beidou satellite-induced code pseudorange variations: diagnosis and therapy. **GPS solutions**, Springer, v. 19, p. 639–648, 2015. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10291-014-0423-3.pdf>. Acesso em: 25 set. 2023.

WU, X.; NAEGELI, K.; WUNDERLE, S. Geometric accuracy assessment of coarse-resolution satellite datasets: a study based on avhrr gac data at the sub-pixel level.

Earth System Science Data, v. 12, n. 1, p. 539–553, 2020. Disponível em: <https://essd.copernicus.org/articles/12/539/2020/>. Acesso em: 23 mai. 2024.

YAMAMOTO, Y. *et al.* Geolocation accuracy assessment of himawari-8/ahi imagery for application to terrestrial monitoring. **Remote Sensing**, v. 12, p. 1372, 04 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/340994245_Geolocation_Accuracy_Assessment_of_Himawari-8AHI_Imagery_for_Application_to_Terrestrial_Monitoring. Acesso em: 23 mai. 2024.