

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

Análise da qualidade posicional de nuvens de pontos LiDAR obtidas por smartphones

Tiago Oliveira Lopes
Magister Scientiae

VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024

TIAGO OLIVEIRA LOPES

Análise da qualidade posicional de nuvens de pontos LiDAR obtidas por smartphones

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Afonso de Paula dos Santos

Coorientadores: Nilcilene das G. M.
William Rodrigo Dal Poz

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

L864a
2024
Lopes, Tiago Oliveira, 1986-
Análise da qualidade posicional de nuvens de pontos
LiDAR obtidas por Smartphones / Tiago Oliveira Lopes. –
Viçosa, MG, 2024.

1 dissertação eletrônica (128 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Afonso de Paula dos Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Civil, 2024.

Referências bibliográficas: f. 122-127.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.027>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Sensoriamento remoto. 2. Aplicativos móveis -
Sensoriamento remoto. 3. Programas de computador - Precisão.
I. Santos, Afonso de Paula dos, 1984-. II. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22. ed. 621.3678

TIAGO OLIVEIRA LOPES

Análise da qualidade posicional de nuvens de pontos LiDAR obtidas por smartphones

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 17 de dezembro de 2024.

Assentimento:

Tiago Oliveira Lopes
Autor

Afonso de Paula dos Santos
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pelo autor em 21/01/2025 às 17:42:31 e pelo orientador em 21/01/2025 às 17:47:52. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **OZNQ.GAM6.1713** e clique no botão 'Validar documento'.

Dedico à minha filha, meu maior amor!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida e por este momento.

Aos meus pais, por terem me criado e ensinado a ser forte.

À minha esposa, Giovana, por ter me ajudado nos momentos em que precisei me dedicar.

À minha filha, Luisa, pela sua vida e pelo amor que me fortaleceu durante este tempo.

Ao professor Afonso de Paula dos Santos, pela orientação, amizade e incentivo, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos professores Nilcilene Medeiros, William Dal Poz e Marcos Abreu, pelas valiosas sugestões que contribuíram para a melhoria desta pesquisa.

Ao meu colega de trabalho e amigo, Geraldo Faria, pelo apoio e incentivo.

Ao Laboratório de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, pela disponibilidade do espaço, dos materiais e equipamentos, e também ao professor Diogo, do Departamento de Estruturas, pela fabricação do cubo, parte dos experimentos desta pesquisa.

Ao professor Júlio César e à doutoranda Lígia Barbosa, sempre dispostos a ajudar e a compartilhar suas experiências para a realização deste estudo.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao departamento de Engenharia Civil, pela excelência no ensino e pelo compromisso com a formação de qualidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

LOPES, Tiago Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2024. **Análise da qualidade posicional de nuvens de pontos LiDAR obtidas por smartphones.** Orientador: Afonso de Paula dos Santos. Coorientadores: Nilcilene das Gracas Medeiros e William Rodrigo Dal Poz.

A tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging) se estabeleceu como uma das principais ferramentas para mapeamento, estando integrada a diferentes sensores e dispositivos. Recen-temente o iLiDAR (LiDAR para dispositivos móveis) está presente em smartphones, tendo como exemplos o iPad Pro e o iPhone 12 Pro. Apesar das vantagens, como baixo custo e facilidade de escaneamento e geração de uma nuvem de pontos 3D, o iLiDAR apresenta limitações, como o efeito de deriva, podendo causar imprecisões nos sistemas inerciais. Dada a variedade de estudos aplicando a tecnologia iLiDAR e a falta de uma análise da qualidade dos produtos gerados, esta pesquisa avaliou a qualidade cartográfica das nuvens de pontos 3D obtidas por sensores iLiDAR de um iPhone 12 Pro. Dessa forma, foram realizados três experimentos: no primeiro, escaneou um cubo com arestas de 10 cm; no segundo, foram scaneadas as paredes de uma sala de aula; e no terceiro, um lote urbano. Como referência, foi utilizado o escaneamento a partir de um Laser Scanner Terrestre (LST) modelo VZ 400, da marca RIEGL. No processo de avaliação da acurácia posicional empregou-se tanto feições pontuais quanto os métodos de feições lineares, Influência do Vértice (IV) e Buffer Duplo (BD), utilizando os critérios do Decreto nº 89.817 e a ET-CQDG (Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais). No primeiro experimento realizado foi obtida uma discrepância percentual de 10% nas dimensões. No segundo experimento, o melhor resultado obtido foi para a distância de 2,5 m das paredes, com velocidade média e o uso do estabilizador gimbal, alcançando a classe B na escala 1:50 para feições pontuais e para o método de Influência do Vértice, apresentando menos problemas com o efeito de deriva. Já no teste com movimento acelerado e retardado, este demonstrou uma piora na qualidade das nuvens em comparação com movimento constante durante o escaneamento. Em relação ao levantamento com ponto estático, obteve-se a classe A na escala 1:50 no método Influência do Vértice. Já na repetição de voltas, observou-se que quanto mais voltas realizadas, maior era o efeito de deriva. Além disso, as nuvens obtidas pelo smartphone no terceiro experimento não atingiram a precisão exigida pela NBR 17047 e ao testar as escalas de levantamentos topográficos, verificou-se que o produto não é adequado para finalidade que exija alta precisão. Dessa forma, conforme os resultados obtidos, é

importante ressaltar que ainda há vários desafios para o uso do iLiDAR de smartphones, principalmente para uso em topografia. No entanto, essa tecnologia emergente vem oferecendo uma alternativa prática e econômica para aplicações como documentação de patrimônio, arquitetura e projetos as-built, proporcionando maior agilidade na coleta de dados e acessibilidade em levantamentos preliminares.

Palavras-chave: ilidar; sensor; smartphone; nuvens de pontos; controle de qualidade ; cartográfica; decreto nº 89.817; et-cqdg

ABSTRACT

LOPES, Tiago Oliveira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2024. **Analysis of the positional quality of LiDAR point clouds obtained by smartphones.** Adviser: Afonso de Paula dos Santos. Co-advisers: Nilcilene das Gracas Medeiros and William Rodrigo Dal Poz.

The LiDAR (Light Detection and Ranging) technology has established itself as one of the main tools for mapping, being integrated into various sensors and devices. Recently, iLiDAR (LiDAR for mobile devices) has been incorporated into smartphones, with examples including the iPad Pro and iPhone 12 Pro. Despite advantages such as low cost and ease of scanning and generating 3D point clouds, iLiDAR has limitations, such as the drift effect, which can cause inaccuracies in inertial systems. Given the variety of studies applying iLiDAR technology and the lack of analysis of the quality of the generated products, this research evaluated the cartographic quality of 3D point clouds obtained by iLiDAR sensors in an iPhone 12 Pro. Thus, three experiments were conducted: in the first, a cube with 10 cm edges was scanned; in the second, the walls of a classroom were scanned; and in the third, an urban lot. As a reference, a Laser Scanner Terrestrial (LST) model VZ 400 from the RIEGL brand was used. In the positional accuracy evaluation process, both point features and linear feature methods, Vertex Influence (VI) and Double Buffer (DB), were used, employing the criteria of Decree No. 89,817 and the ET-CQDG (Technical Specification for Geospatial Data Quality Control). In the first experiment, a 10% discrepancy was found in the dimensions. In the second experiment, the best result was achieved at a distance of 2.5 m from the walls, with an average speed and the use of a gimbal stabilizer, reaching class B at a 1:50 scale for point features and the Vertex Influence method, showing fewer problems with the drift effect. In the test with accelerated and decelerated movement, a deterioration in the quality of the point clouds was observed compared to constant movement during the scanning. For static point scanning, class A at a 1:50 scale was achieved using the Vertex Influence method. Moreover, in the repetition of passes, it was noted that the more passes performed, the greater the drift effect. Furthermore, the point clouds obtained by the smartphone in the third experiment did not meet the precision required by NBR 17047, and when testing the scales of topographic surveys, it was found that the product is not suitable for purposes requiring high precision. Thus, based on the results obtained, it is important to highlight that there are still several challenges for the use of smartphone iLiDAR, particularly in topography. However, this emerging technology offers a practical and

economical alternative for applications such as heritage documentation, architecture, and as-built projects, providing greater agility in data collection and accessibility in preliminary surveys.

Keywords: lidar; sensor; smartphone; point clouds; cartographic quality control; decree n° 89.817; et-cqdg

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Laser Scanner estáticos: a) VZ 600i, b) VZ 2000i, c) Faro LS 150 Plus; Laser Scanner móvel: d) iPhone 16 Pro, e) SLAM 100, f) FDJ Trion S1.	24
Figura 2 – Elementos geométricos obtidos em campo para o cálculo das coordenadas 3D no sistema de varredura a LASER (LiDAR).....	25
Figura 3 – Eixos do Acelerômetro.	27
Figura 4 – Giroscópio Mecânico.	28
Figura 5 – Exemplo das rotações em cada eixo do smartphone.	28
Figura 6 – Matriz de medição VCELS, totalizando 576 pontos.	31
Figura 7 – Exemplo de nuvens de pontos com RGB.	32
Figura 8 – Escaneamento realizado com iPhone 12 Pro: a) Fotografia da estátua; b) corte horizontal da nuvem de pontos gerada a partir do escaneamento da estátua.....	33
Figura 9 – Método da Influência do Vértice.	38
Figura 10 – Método <i>Buffer Duplo</i>	39
Figura 11 – Objetos de estudos: (i) Cubo (ii) Sala Lea 101 e (iii) Lote regular.	41
Figura 12 – iPhone 12 Pro equipado com sensor iLiDAR.	42
Figura 13 – Escaneamento com iPhone 12 Pro: a) Vista superior, alcance de 5 m. b) Campo de visão observável de 90°.	42
Figura 14 – Estabilizador gimbal de 3 eixos.	43
Figura 15 – Paquímetro Digital Caliper.	43
Figura 16 – Laser Scanner terrestre modelo VZ-400, da RIEGL.	44
Figura 17 – GNSS RTK TPS T10.	44
Figura 18 – Alvo refletivo.	45
Figura 19 – Logo <i>app SiteScape</i>	45
Figura 20 – Fluxograma da metodologia a ser aplicada.	46
Figura 21 – cubo montado em uma base nivelante, fixado em base de metal e concreto.	48
Figura 22 – Projeto do cubo com a denominação de cada vértice para medição das 12 arestas.	48

Figura 23 – Sala de aula LEA 101.	49
Figura 24 – Distâncias de 1 m e 2,5 m das paredes da sala de aula.	51
Figura 25 – Distância de 2,5 m da parede dividida em 3 segmentos iguais.	52
Figura 26 – Levantamento estático com iPhone 12 Pro fixado no estabilizador gimbal, apoiado no tripé.	54
Figura 27 – Fotos de cada parede, mostrando a distribuição dos 38 pontos de checagem (M) e as 39 distâncias (D) estabelecidas para cada parede.	56
Figura 28 – Levantamento de referência utilizando o equipamento Laser Scanner Terrestre (LST), modelo VZ 400.	57
Figura 29 – Avaliação da acurácia posicional com feições pontuais.	58
Figura 30 – a) Receptor estação base do RTK operando em modo estático; b) Croqui com a estação E0 e os pontos com o limite do lote.....	61
Figura 31 – Resultado do levantamento e processamento do cubo: a) Nuvem de pontos gerada; b) Nuvem delimitada pelo software; c) Nuvem após a aplicação do filtro.	62
Figura 32 – Gráfico das discrepâncias (m) das arestas do cubo.	63
Figura 33 – Levantamento LST: a) Nuvem de pontos gerada. b) Pontos de um alvo.	65
Figura 34 – Corte da nuvem de pontos obtidas com LST: a) Pontos gerados pelo LST; b) Linhas extraídas dos pontos.	65
Figura 35 – Gráfico das discrepâncias (m), das feições pontuais obtidas com a trena de aço e suas feições homólogas na nuvem do LST.	67
Figura 36 – Nuvens de pontos geradas pelos levantamentos SA e CA, para cada velocidade de escaneamento a 1 m de distância das paredes.	69
Figura 37 – Pontos gerados para extração das feições linhas pelos levantamentos SA e CA, para cada velocidade de escaneamento VB, VM e VA a 1 m de distância das paredes.	70
Figura 38 – Linhas geradas obtidas pelos pontos da Figura 37.	71
Figura 39 – Comparação das linhas da Figura 38 com a nuvem LST.	72
Figura 40 – Nuvens de pontos geradas pelos levantamentos SA e CA, para cada velocidade de escaneamento a 1 m de distância das paredes, realizado em sentido oposto.	74
Figura 41 – Gráfico das discrepâncias (m) das distâncias das nuvens de pontos geradas pelo levantamento SA, com 1 m de distância das paredes, a partir das velocidades VB, VM e VA em relação à nuvem LST.	78

Figura 42 – Gráfico das discrepâncias dos métodos de feições Lineares: Métodos IV e BF considerando as velocidades VB, VM,VA.	81
Figura 43 – Nuvens de pontos geradas para cada velocidade de escaneamento a 2,5 m de distância das paredes.	85
Figura 44 – Pontos gerados para extração das feições linhas pelos levantamentos SA e CA, para cada velocidade de escaneamento a 2,5 m de distância das paredes.	86
Figura 45 – Linhas geradas obtidas pelos pontos da Figura 44.	87
Figura 46 – Comparação das linhas da Figura 45 com o LST.	88
Figura 47 – Gráfico das discrepâncias (m) das distâncias das nuvens de pontos geradas pelos levantamentos SA e CA, com 2,5 m de distância das paredes, a partir das velocidades VB, VM e VA em relação à nuvem LST.	92
Figura 48 – Gráficos das análises das discrepâncias (m) SA e CA das feições lineares: Métodos IV e BD nas velocidades de escaneamento (VB, VM, VA).	95
Figura 49 – Levantamentos dos movimentos: a) A-R-A (aceleração, redução, aceleração) b) R-A-R (redução, aceleração, redução) c) MC (movimento constante).	99
Figura 50 – Gráfico das discrepâncias (m) dos levantamentos dos movimentos.	100
Figura 51 – Nuvens de pontos gerada pelo smartphone no levantamento PE no centro da sala.	102
Figura 52 – Obtenção das linhas do levantamento PE para comparação com LST: a) Pontos gerados; b) linhas obtidas pelos pontos gerados; c) comparação das linhas obtidas com as linhas do LST.	102
Figura 53 – Gráfico das discrepâncias (m) do levantamento PE, utilizando feição lineares: Métodos IV e BD.	103
Figura 54 – A esquerda as nuvens de pontos e a direita os pontos extraídos para os levantamentos: DER1V, DER2V e DER3V.	105
Figura 55 – Levantamento com um único escaneamento (1Lev) com iPhone 12 Pro acoplado a um estabilizador <i>gimbal</i> : a) iPhone 12 Pro acoplado ao <i>gimbal</i> . b) Nuvem de pontos gerada pelo levantamento com <i>smartphone</i>	107
Figura 56 – Escaneamento único (1Lev): a) Pontos gerados; b) Linha de limite do lote.....	108
Figura 57 – Escaneamento por partes (3Lev), gerando 3 nuvens pelo <i>smartphone</i>	108
Figura 58 – Nuvem de pontos obtidas das 3 partes (3Lev)	109
Figura 59 – Levantamento por partes (3Lev): a) Pontos gerados; b) Linha do limite do lote...	109

Figura 60 – Limites dos levantamentos realizados.	110
Figura 61 – Gráfico das discrepâncias (m) entre RTK. Um levantamento (1Lev) e três levantamentos (3Lev) em relação ao RTK como referência.....	113
Figura 62 – Gráfico dos RMS (m) dos métodos com feições pontuais e lineares para o Teste 1.....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tolerâncias e classes de acurácia posicional definidas pelo Decreto 89.817 aliada à ET-CQDG (DSG,2016).	35
Tabela 2 – Teste 1: Tempo para percorrer cada lado a uma distância de 1 m e 2,5 m das paredes.	52
Tabela 3 – Teste 2: Levantamento com variação de movimento para cada trecho.	53
Tabela 4 – Teste 4: Levantamentos de voltas para análise de efeito de deriva.	54
Tabela 5 – Experimento 2: Resumo dos testes dos levantamentos, com suas respectivas nomenclaturas.	55
Tabela 6 – Medidas das arestas e da nuvem de pontos, e suas discrepâncias.	63
Tabela 7 – Valores de tolerância para avaliação da acurácia posicional planimétrica segundo o Decreto nº 89.817/84 em concordância com a ET-CQDG.	64
Tabela 8 – Comparação de medições de distâncias entre a trena de aço e nuvens de pontos LST.	66
Tabela 9 – Classificação de acordo com o Decreto 89.817/84 e a ET-CQDG para a escala de 1:50 das nuvens de pontos do LST.	67
Tabela 10 – Distâncias e suas discrepâncias, em metros, das nuvens com levantamentos sem acessório (SA) e com acessório (CA), com 1 m de distância das paredes, geradas das velocidades VB, VM e VA em relação a nuvem LST.	76
Tabela 11 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) dos levantamentos SA e CA, com 1 m de distância das paredes, obtidas com feições pontuais.	79
Tabela 12 – Classificação do levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA) com distância de 1 m das paredes.	80
Tabela 13 – Discrepâncias (m) das distâncias das nuvens, com os métodos IV e BD, utilizando os levantamentos SA e CA, com a distância de 1 m das paredes, obtidas das velocidades VB, VM e VA em relação a nuvem LST.	81
Tabela 14 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) obtidas com feições lineares: Métodos IV e BF dos levantamentos SA e CA.	82
Tabela 15 – Levantamentos sem acessório (SA) e com acessório (CA) com distância de 1 m das paredes, avaliando com feições lineares.	83

Tabela 16 – Distâncias e suas discrepâncias, em metros, das nuvens com levantamentos sem acessório (SA) e com acessório (CA), com 2,5 m de distância das paredes, geradas das velocidades VB, VM e VA em relação a nuvem LST.	90
Tabela 17 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) do levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA), a 2,5 m de distância das paredes, obtidas com feições pontuais.	93
Tabela 18 – Levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA) com distância de 2,5 m das paredes.	94
Tabela 19 – Análise das discrepâncias (m) SA e CA com feições lineares: Métodos IV e BD nas velocidades de escaneamento VB, VM e VA.	95
Tabela 20 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) obtidas com feições lineares: Métodos IV e BD nas velocidades de escaneamento VB, VM e VA.	96
Tabela 21 – Levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA) com distância de 2,5 m das paredes, avaliando com feições lineares.	96
Tabela 22 – Distâncias e discrepâncias (m) dos levantamentos dos movimentos, a uma distância de 2,5 m da parede, utilizando feições pontuais.	100
Tabela 23 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) dos levantamentos para cada movimento sem acessório (SA), com 2,5 m da parede, obtidas com feições pontuais. ...	101
Tabela 24 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escala 1:50 das nuvens de pontos analisadas.	101
Tabela 25 – As discrepâncias(m) do levantamento PE, utilizando feição lineares: Métodos IV e BD.	103
Tabela 26 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) obtidas pelos métodos de feições lineares.	104
Tabela 27 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escala 1:50 da nuvem de pontos analisada, obtidas pelos métodos de feições lineares.	105
Tabela 28 – Coordenadas de P1 e P2 no sistema SIRGAS 2000.	106
Tabela 29 - Pontos de controle para georreferenciamento das nuvens de pontos.	107
Tabela 30 – Discrepâncias (m) de um levantamento (1Lev) e três levantamentos (3Lev) considerando o RTK como referência.....	108
Tabela 31 – Classificação dos levantamentos (1Lev e 3Lev) do lote de acordo com as escalas testadas.....	111
Tabela 32 – RMS dos métodos utilizando feições pontuais e lineares para o Teste 1.....	114

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. OBJETIVO	21
2.1 OBJETIVO GERAL.....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3 JUSTIFICATIVA	22
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
4.1 TECNOLOGIA LiDAR	23
4.2 SENSORES ACOPLADOS A <i>SMARTPHONES</i>	26
4.2.1 Sistema Inercial	26
4.2.2 Acelerômetro	27
4.2.3 Giroscópio	27
4.2.4 GNSS.....	29
4.2.5 Sensor iLiDAR	30
4.3 NUVENS DE PONTOS	31
4.4 EFEITO DE DERIVA	32
4.5 CONTROLE DE QUALIDADE CARTOGRÁFICA.....	33
4.5.1 Acurácia Posicional	34
5 MATÉRIAS E MÉTODOS	41
5.1 OBJETOS DE ESTUDO	41
5.2 MATERIAIS	41
5.3 METODOLOGIA.....	46
5.3.1 Experimento 1	47
5.3.2 Experimento 2	49
5.3.2.1 Teste 1 – Distância do Alvo	50
5.3.2.2 Teste 2 – Movimento Acelerado e Retardado	52
5.3.2.3 Teste 3 - Ponto Único	53
5.3.2.4 Teste 4 – Efeito de Deriva	54
5.3.2.5 Controle de Qualidade	55
5.3.2.5.1 Dados de checagem	55
5.3.2.5.2 Dados obtidos com Laser Scanner Terrestre	57
5.3.2.5.3 Avaliação da acurácia dimensional com feições pontuais	58
5.3.2.5.4 Avaliação da acurácia dimensional com feições lineares.....	59
5.3.3 Experimento 3	59

6 RESULTADOS	62
6.1 EXPERIMENTO 1	62
6.2 EXPERIMENTO 2	63
6.2.1 Resultados do levantamento do LST	64
6.2.2 Teste 1	67
6.2.2.1 Distância 1 metro.....	68
6.2.2.2 Distância 2,5 metros	84
6.2.4 Teste 2	98
6.2.4 Teste 3	102
6.2.5 Teste 4	104
6.3 EXPERIMENTO 3	106
6.3.1 Levantamento com RTK	106
6.3.2 Levantamento com <i>Smartphone</i>	106
6.4 ANÁLISES	113
6.4.1 Experimento 1	113
6.4.2 Experimento 2	113
6.4.3 Experimento 3	118
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	119
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
APÊNDICE A	128

1. INTRODUÇÃO

Atualmente há uma variedade de tecnologias disponíveis para cartografia, facilitando por exemplo, a coleta de dados espaciais tridimensionais por diversos usuários. Destaca-se que já na década de 1990 e 2000, autores como Galo e Camargo (1994) e Nogueira Jr. (2003) chamavam a atenção para o aumento de usuários não especializados nesta área devido ao avanço das tecnologias aplicadas às fases de mapeamento. Esse aumento tem sido evidente, resultando em um notável aumento no número de pessoas não especializadas nessa área.

Adicionalmente, Nogueira Jr. (2003) alerta que essa rápida expansão pode conduzir a problemas de qualidade que, por vezes, são negligenciados. De acordo com Santos (2010) e Santos et al. (2015), essa tendência é respaldada pela contínua expansão da disponibilidade de dados espaciais gratuitos, bem como pela maior facilidade no uso de equipamentos de medição e *softwares* cada vez mais intuitivos e automatizados.

Como característica dessa evolução, segundo Cruz, Barros e Rabaco (2012), tem sido notável o aumento significativo no uso de sensores de mapeamento, visando a extração de informações tridimensionais. Santos et al. (2016) destaca que, assim como os sensores, a crescente disponibilidade de *hardwares* e *softwares* mais robustos tem facilitado consideravelmente a geração de produtos cartográficos.

Uma das tecnologias presentes nos sensores é o LiDAR (*Light Detection and Ranging*). Esta tecnologia é um método de sensoriamento remoto que emprega pulsos de LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) para medir distâncias e criar modelos tridimensionais do ambiente ao seu redor (LAGE et al., 2017).

Segundo Chan e Gollakota (2022), o sistema LiDAR de varredura emite conjuntos de pulsos de laser direcionados para diferentes regiões de uma cena em um intervalo de tempo curto. Esses pulsos de laser, na faixa do infravermelho próximo, atingem os objetos presentes na cena e retornam ao sensor. O sensor calcula o tempo que o pulso leva para ir e voltar, assim, permitindo a estimativa da distância de vários objetos na cena, resultando na criação de nuvens de pontos tridimensionais. Esses pontos são usados para criar modelos 3D detalhados da superfície terrestre.

Com os avanços tecnológicos, impulsionados pela miniaturização de sensores e microprocessadores, atualmente é possível encontrar sensores LiDAR em *smartphones*. Essa integração deu origem ao conceito de iLiDAR, que se refere a sistema LiDAR compacto e integrado, projetado para dispositivos móveis. Além disso, esses aparelhos podem incorporar uma ampla variedade de sensores avançados, como IMU (*Inertial Measurement Unit*) e GNSS

(*Global Navigation Satellite System*) (CHAN e GOLLAKOTA, 2022), ampliando suas capacidades para aplicações em levantamentos e modelagem tridimensional.

Conforme relatado por Tavani et al. (2022), diversos estudos recentes têm destacado a crescente utilidade dos dispositivos móveis, tais como *Smartphones* e *tablets*. Especificamente, dispositivos portáteis equipados com vários sensores estão proporcionando amplas oportunidades de engajamento na pesquisa e na educação geocientífica (PAVLIS et al., 2010; WHITMEYER, NICOLETTI e DE PAOR, 2010); DE PAOR, 2016; BURSZTYN et al., 2017; TREDE, CARDOZO e WATSON, 2019; WALKER et al., 2019; WHITMEYER, ATCHISON e COLLINS, 2019; GLAZNER e WALKER, 2020; CORRADETTI et al., 2021; LUETZENBURG, KROON e BJØRK, 2021). As plataformas móveis estão se tornando cada vez mais um componente indispensável das práticas tradicionais de trabalho de campo (TAVANI et al., 2022).

Em 2020, a *Apple* lançou o iPad Pro e o iPhone 12 Pro, equipados com um sensor LiLiDAR integrado. Essa incorporação representou uma notável inovação no campo de dispositivos móveis. Os autores Spreafico et al. (2021) e Constantino et al., (2022), destacaram o interesse significativo na comunidade científica em explorar o potencial desses dispositivos para fins de medições (espacial e análise dimensional) em ambientes internos e externos. Esse interesse é particularmente evidente devido à capacidade de combinar agilidade, mobilidade e baixos custos, vantagens que nem sempre são facilmente alcançadas com equipamentos de levantamento de alta performance tradicionais.

No entanto, suas desvantagens têm sido associadas a maiores incertezas nas medições, que podem causar divisão de superfícies e o fechamento incorreto dos escaneamentos causados por efeitos de deriva no INS (*Inertial Navigation System*). Isso acontece porque, durante o escaneamento, a posição do *smartphone* é calculada, instante a instante, com base na posição anterior estimada pelos sensores inerciais. Nesse processo, pequenas incertezas podem se propagar e causar grandes incertezas de posicionamento no escaneamento. O estudo de Teppati Losè et al. (2022) aborda esta questão dos efeitos de deriva no INS, ressaltando que seria útil adicionar uma opção de reprocessamento para os dados adquiridos, permitindo a correção de erros de deriva e desvios significativos.

Luetzenburg, Kroon e Bjørk (2021) investigaram a precisão do scanner iLiDAR do iPad Pro 2020 e do iPhone 12 Pro em levantamentos de grandes elementos naturais, com possíveis aplicações no campo das geociências. Os autores realizaram levantamento e reconstrução em 3D do penhasco de Roneklint, na Dinamarca, que tinha 130 m de comprimento e uma altura

média de 10 m. O modelo 3D reconstruído pelo escaneamento com iPad Pro 2020 e iPhone 12 Pro iLiDAR apresentou uma precisão de 0,1 m.

Já Tamimi (2022) conduziu uma pesquisa na qual realizou-se um levantamento de pontos com o iPhone 13 Pro. Para isso utilizou-se coordenadas de referência conhecidas (estaqueamento) obtidas por meio de uma estação total. Posteriormente utilizou-se um estabilizador (*gimbal*) de 3 eixos para estabilização do aparelho nos pontos de referência, melhorando o resultado obtido. E no último teste, com um GNSS no modo RTK (*Real Time Kinematic*), onde a antena e o bloco do receptor foram incorporados no próprio aparelho, obteve-se o melhor resultado entre os experimentos.

Tamimi (2022) destaca que uma parte da incerteza no levantamento pode ser atribuída aos movimentos instáveis do usuário, incluindo acelerações e desacelerações, ressaltando a importância da estabilização do aparelho e da manutenção de um movimento constante para minimizar esses efeitos. Dessa forma, este recomenda o uso de um *gimbal* para minimizar as compensações realizadas pelos sensores inerciais, reduzindo as incertezas e melhorando a qualidade dos dados coletados. Além disso, o mesmo autor afirma que os sensores integrados não são otimizados para o mapeamento com o iPhone. Portanto, é recomendado também a introdução da integração de sensores externos, semelhante aos levantamentos realizados por RPAs (Aeronaves Pilotadas Remotamente), podendo ajudar a melhorar a acurácia dos conjuntos de dados no sistema iLiDAR do iPhone.

Ressalta-se que durante a análise dos trabalhos já desenvolvidos nessa temática, os autores não aplicam metodologias robustas de controle de qualidade cartográfica. Em geral, apenas alguns destes trabalhos científicos calculam a precisão (desvio-padrão) e/ou o *RMS* (*Root Mean Square*), não efetuando uma análise mais completa sobre a qualidade do produto em questão.

Dessa forma, dada a diversidade de aplicações dos produtos derivados do iLiDAR de *smartphones*, torna-se fundamental aplicar um controle de qualidade cartográfica aos produtos gerados, avaliando sua viabilidade para diferentes usos. Segundo Nogueira Jr. (2003), um produto é adequado ou não para o propósito desejado ao passar por um teste de controle de qualidade.

Visando a avaliação da qualidade posicional dos dados espaciais é necessário ter um padrão ou norma de referência. No Brasil, a qualidade dos produtos cartográficos é avaliada pelas diretrizes do Decreto nº 89.817 (Brasil, 1984) em conjunto com a Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) (DSG, 2016).

Ressalta-se então, a crescente disponibilidade de tecnologias de mapeamento em sensores presentes em *smartphones*. Isto possibilita a geração de modelos de superfícies 3D de forma ágil e com baixo custo. Conseqüentemente, surge a necessidade que estes modelos sejam avaliados e aprimorados para garantir que atendam aos padrões de qualidade necessários para aplicações cartográficas e geoespaciais.

2. OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a qualidade cartográfica das nuvens de pontos 3D obtidas por sensor iLiDAR de *smartphone*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Especificamente os objetivos são:

- Avaliar a qualidade posicional das nuvens de pontos do iLiDAR de um iPhone 12 Pro com base no padrão de acurácia brasileiro, definido pelo Decreto n° 89.817 / ET-CQDG.
- Investigar os efeitos de deriva presentes no levantamento com iLiDAR de *smartphones*.
- Verificar as limitações práticas de aplicação do iLiDAR em *smartphones* na realização de levantamento cadastral de imóvel urbano.

3 JUSTIFICATIVA

O crescente uso de smartphone para coleta de dados iLiDAR representa um avanço significativo na tecnologia e na acessibilidade às informações geoespaciais. A integração de sensores iLiDAR em dispositivos móveis tornou possível a geração de nuvens de pontos, o que tem implicações importantes em várias aplicações, como arquitetura, engenharia, inventário florestal, arqueologia, mineração, topografia, entre outras.

A qualidade cartográfica dessas nuvens de pontos geradas por dispositivos móveis é um fator crítico a ser considerado. Dados cartográficos de qualidade desempenham um papel fundamental em diversas áreas. Portanto, a avaliação da qualidade dos dados coletados por meio de *smartphones* é essencial para garantir decisões assertivas e confiáveis em análises geoespaciais.

É importante destacar que, apesar do potencial desses dispositivos, ainda há uma escassez de pesquisas sobre a qualidade cartográfica das nuvens de pontos geradas por *smartphones* com sensores iLiDAR. Essa lacuna de conhecimento torna este campo de estudo particularmente relevante, contribuindo para o avanço científico e tecnológico nessa área emergente.

Por fim, a análise da qualidade das nuvens de pontos iLiDAR geradas por *smartphones* não apenas impacta as aplicações atuais, mas também tem implicações no desenvolvimento de tecnologias futuras. A evolução contínua da tecnologia dos *smartphones* requer uma avaliação constante da qualidade dos dados para melhorar os sensores e algoritmos envolvidos, contribuindo para eficiência das futuras gerações de dispositivos iLiDAR em *smartphones*.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 TECNOLOGIA LiDAR

O sistema LiDAR (*Light Detection and Ranging*) é uma tecnologia que utiliza pulsos de luz emitidos por lasers para a coleta de dados. O laser é um dispositivo óptico alimentado por uma fonte de energia externa que emite um feixe ou pulso de luz composto por radiação monocromática, ou seja, com um único comprimento de onda. Essa radiação é altamente coerente (todas as ondas estão em fase) e colimada, sendo emitida de forma concentrada e direcionada (SHAN e TOTH, 2018). Além disso, um scanner a laser pode ser integrado a sensores como receptores GNSS e IMU (GARGOU, EL-BASYOUNY e SABBAGH, 2018).

O LiDAR é um sensor ativo que depende apenas de uma fonte de energia, assim como o Radar (*Radio Detection and Ranging*), mas com uma distinção: em vez de empregar ondas de rádio para a detecção de objetos, ele faz uso de pulsos de laser (GIONGO et al., 2010). Um sensor LASER é um dispositivo que produz uma radiação eletromagnética (luz) por meio de um conjunto de equipamentos para o processo de medição. Sua principal função é determinar a distância entre o sensor e os pontos que definem a superfície dos objetos. Existem três abordagens distintas para medir a distância entre o sensor e os pontos da superfície de um objeto: métodos baseados no tempo de percurso TOF (*Time of Flight*), métodos que utilizam a diferença de fase e métodos que calculam a distância por meio da triangulação ótica (GÉZERO, 2020). Nesta pesquisa, serão abordadas apenas as técnicas de medição TOF para utilização em levantamentos topográficos.

Segundo Mehendale e Neoge (2020), o termo LiDAR foi originalmente criado em 1963, como uma combinação das palavras luz e radar. Na década de 1970, a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) deu início ao sensoriamento remoto baseado em LASER, com um foco inicial em protótipos aéreos para futuras implementações do sensor LiDAR. O objetivo principal era medir as propriedades das águas oceânicas e da atmosfera. Além disso, o LiDAR também desempenhou um papel fundamental na análise das camadas de gelo e na avaliação da cobertura florestal, facilitando o mapeamento topográfico. Desde então, os usos científicos deste sensor têm continuamente evoluído e se diversificado. Um deles é em aplicações cartográficas, sendo empregado tanto em plataformas terrestres quanto em aeronaves para coletar dados geoespaciais com alta acurácia e detalhamento.

Conforme Mehendale e Neoge (2020), os iLiDARs podem ser classificados em dois tipos principais: aéreo e terrestre.

Os LiDARs aéreos, também conhecidos como aerotransportados, são projetados para emitir pulsos de laser na direção da superfície da terra a partir da aeronave em voo, capturando os sinais refletidos pelo sensor em movimento. Existem dois subtipos de LiDARs aéreos (MEHENDALE e NEOGE, 2020):

- Topográficos: São utilizados para varrer a superfície e criar modelos 3D detalhados da superfície terrestre.
- Batimétricos: Estes penetram na água para calcular a elevação do leito do corpo de água e a profundidade. São comumente usados em mapeamento subaquático.

O LiDAR terrestre, por sua vez, realiza varreduras horizontais e verticais, normalmente cobre 360°. Existem dois subtipos de LiDAR terrestre (MEHENDALE e NEOGE, 2020):

- Móvel: Nesse caso, as nuvens de pontos LiDAR são coletadas a partir de uma plataforma móvel, onde diversos sensores podem ser instalados em uma única unidade. Essa abordagem é útil para levantamentos em movimento e pode ser aplicada em diversas áreas, como engenharia, arqueologia, mineração e topografia.
- Estático: Nessa configuração, o sensor é geralmente montado em um tripé. LiDARs fixos podem coletar nuvens de pontos em ambientes fechados e abertos. Essa modalidade é frequentemente empregada em aplicações que exigem alta precisão, como engenharia civil e levantamentos arqueológicos, entre outras.

Na Figura 1, são apresentados alguns scanners a laser terrestres amplamente conhecidos no mercado.

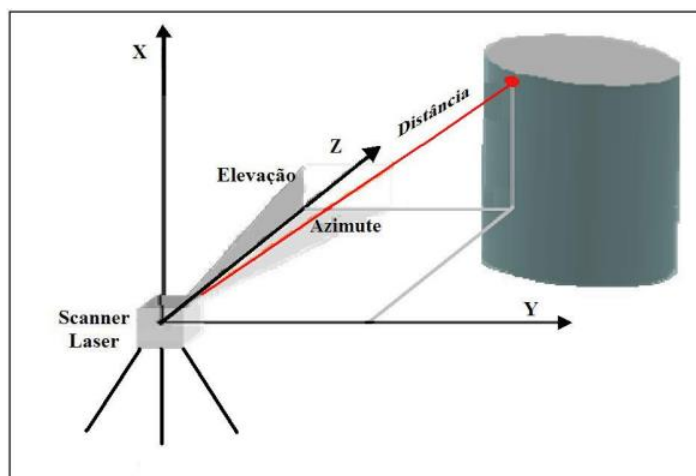
Figura 1 – Laser Scanner estáticos: a) VZ 600i, b) VZ 2000i, c) Faro LS 150 Plus; Laser Scanner móvel: d) iPhone 16 Pro, e) SLAM 100, f) FDJ Trion S1.



Fonte: CPE (2024); APPLE (2024).

Conforme descrito por Tommaselli (2003), o sistema LiDAR que se utiliza do princípio *TOF* para medir distâncias, baseia-se no tempo que um pulso de radiação, emitido pelo sensor LASER, leva desde o momento em que é emitido até seu retorno ao sensor após ser refletido por um objeto. Essa abordagem permite ao sistema calcular a distância até o objeto com elevada precisão. Além disso, o sistema emite pulsos de laser na faixa de luz infravermelha, registra não apenas as distâncias, mas também a intensidade da energia refletida pelos objetos e os parâmetros de orientação do feixe laser, como o azimute e a elevação, que representam as coordenadas polares do ponto em relação ao referencial do LASER (Figura 2). Dessa forma, pode-se calcular as distâncias e as coordenadas (x, y, z) dos pontos medidos até o centro de fase do sensor.

Figura 2 – Elementos geométricos obtidos em campo para o cálculo das coordenadas 3D no sistema de varredura a LASER (LiDAR).



Fonte: Tommaselli (2003).

No final do processo de medição e processamento, é obtida uma nuvem de pontos, que pode ser referida genericamente como um Modelo Numérico de Superfície (MNS), ao qual é possível associar os valores de reflectância (TOMMASELLI, 2003). Além disso, com base na nuvem de pontos LiDAR, pode-se gerar tanto um Modelo Digital de Superfície (MDS) quanto um Modelo Digital de Elevação (MDE), dependendo dos objetivos e necessidades específicas da aplicação.

Além das plataformas tradicionais de LiDAR, como as terrestres (montadas em tripés ou veículos) e as aerotransportadas (em aeronaves ou drones), a evolução tecnológica trouxe

uma série de inovações, incluindo sensores portáteis e integração com *smartphones*, que estão expandindo significativamente as possibilidades de uso dos dados gerados por LiDAR.

4.2 SENSORES ACOPLADOS A SMARTPHONES

Segundo Sousa Lima et al. (2019), os sensores são dispositivos eletrônicos que desempenham a função de converter informações do ambiente real para o ambiente virtual. Os *smartphones* possuem diversos desses sensores, algum deles são: os sensores inerciais, que são responsáveis por capturar os movimentos de rotação do aparelho; os sensores magnéticos, que medem a intensidade, direção e sentido do campo magnético terrestre; e os sensores de posição (receptores GNSS de baixo custo).

4.2.1 Sistema Inercial

Nos *smartphones*, os sensores inerciais são frequentemente implementados sob a forma de um Sistema de Unidade de Medição Inercial (IMU) baseado em Microeletromecânica (MEMS) personalizada. Essa configuração de MEMS IMU compreende três acelerômetros dispostos ortogonalmente para detectar movimentos, três giroscópios para detectar taxas angulares e, ocasionalmente, três magnetômetros para medir a intensidade do campo magnético terrestre (GIKAS e PERAKIS, 2016).

Segundo Kealy et al. (2012) e Zhu et al. (2022), quando as medições da IMU estão adequadamente sincronizadas no tempo, podem ser utilizadas para integração com o GNSS. Na prática, as unidades GNSS e IMU operam como um sistema unificado por meio da implementação de um *Filtro de Kalman*, que é um dos algoritmos mais utilizados para a integração entre essas unidades. Esse processo combina todos os dados observados e as dinâmicas de movimento para fornecer uma solução de navegação com capacidade de orientação.

Segundo Kealy et al., (2012), uma vantagem do sistema integrado IMU/GNSS é a capacidade de fornecer soluções de atitude (*pitch, roll e yaw*). Além disso, esses sistemas são utilizados na combinação de dados de sensores inerciais e algoritmos de processamento do INS. Solin et al., (2018) complementam que a ideia fundamental de um INS é utilizar a fusão desses sistemas integrados para estimar continuamente a posição, orientação e velocidade de um objeto em movimento.

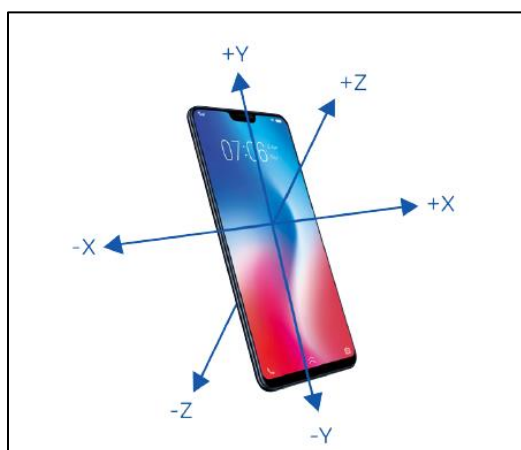
4.2.2 Acelerômetro

Um acelerômetro é um conjunto de componentes que transforma a aceleração em uma tensão elétrica analógica, atuando como um transdutor que converte a energia mecânica associada ao movimento em uma forma elétrica (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2020).

Segundo Wang et al. (2016), o acelerômetro em *smartphones* desempenha um papel crucial na medição da posição do aparelho, pois fornece informações de aceleração e velocidade, oferecendo dados sobre o movimento do dispositivo em relação a uma variável do eixo inercial.

O acelerômetro é um dispositivo que tem a capacidade de identificar o início e o término de um movimento por meio da mensuração da aceleração aplicada sobre o dispositivo. Do ponto de vista matemático, esses dados podem ser representados em um espaço tridimensional ao longo dos eixos x , y e z (Figura 3), formando um conjunto de três vetores $acci = (xi, yi, zi)$, com $i = (1,2,3,\dots,n)$, onde n representa o número total de medições de aceleração realizadas pelo acelerômetro ao longo do período de observação. A frequência de coleta de dados é expressa em Hertz (Hz), o que corresponde à quantidade de amostras geradas pelo sensor em um intervalo de 1 segundo. Em dispositivos móveis, como *smartphones*, a frequência de coleta pode variar entre 1Hz e 200 Hz (SOUSA LIMA et al., 2019).

Figura 3 – Eixos do Acelerômetro.



Fonte: Paz (2022).

4.2.3 Giroscópio

O giroscópio é um dispositivo mecânico que normalmente consiste em um disco rotativo fixado por eixos que podem se deslocar livremente em qualquer direção (Figura 4). Os

giroscópios mecânicos são caracterizados por estruturas complexas, alto consumo energético e tempo de resposta elevado (STUHLER,2022).

Figura 4 – Giroscópio Mecânico.

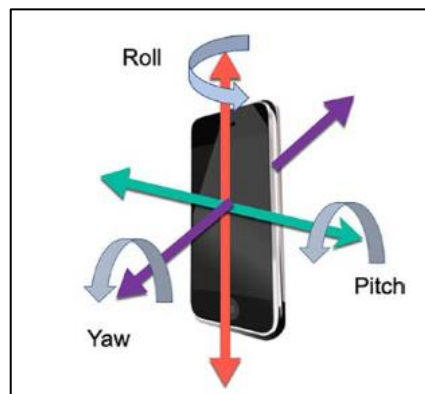


Fonte: Vieira (2006).

Este sensor mede a mudança angular de um dispositivo ao longo do tempo e é amplamente utilizado para determinar a direção desse dispositivo, utilizando a taxa de rotação, dada em radianos por segundo (rad/s). Nos *smartphones* atuais, três giroscópios vibratórios são integrados em um único dispositivo, permitindo a coleta simultânea de dados ao longo dos eixos x , y e z (HERING e SCHÖNFELDER, 2018).

O giroscópio, é um tipo de sensor que oferece uma representação matemática tridimensional dos dados nos eixos x , y e z , e coleta informações brutas que são representadas por conjuntos de vetores $gyri=(xi, yi, zi)$, onde $i=(1,2,3,\dots,n)$, onde n representa o número total de medições de taxa de rotação realizadas pelo giroscópio ao longo do período de observação. Similar à coleta de dados do acelerômetro, o sensor giroscópio também adquire informações em forma de frequência, medida em *Hertz*. Em sua interpretação, cada eixo do giroscópio tem significado específico, conforme a Figura 5 (SOUSA LIMA et al., 2019).

Figura 5 – Exemplo das rotações em cada eixo do *smartphone*.



Fonte: Wang (2023).

- Eixo x (*pitch*): é responsável por medir a rotação do dispositivo em relação ao plano horizontal, avaliando a inclinação na direção longitudinal.
- Eixo y (*roll*): tem a finalidade de quantificar a rotação horizontal do dispositivo, o que implica a detecção de mudanças na direção do dispositivo, incluindo movimentos para a esquerda e para a direita.
- Eixo z (*yaw*): tem a função de medir a rotação vertical do dispositivo, ou seja, detecta mudanças na orientação do dispositivo, incluindo transições entre os modos retrato e paisagem.

4.2.4 GNSS

O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) é um sistema de posicionamento por satélite que engloba uma ou mais constelações de satélites, podendo ser ampliado conforme necessário para atender aos objetivos de operação. Sua principal função é fornecer informações precisas de posição tridimensional, velocidade e tempo, 24 horas por dia, em qualquer ponto da superfície terrestre ou próximo a ela (HOFMANN-WELLENHOF et al., 2001).

Nos últimos anos, os avanços computacionais e a miniaturização dos *chipsets* transformaram os *smartphone* em ferramentas versáteis que vão além de simples dispositivos de comunicação. Eles se tornaram instrumentos de posicionamento e navegação em tempo real, aplicáveis a uma vasta gama de cenários (DABOVE e DI PIETRA, 2019). Além disso, uma notável evolução tem sido a transição dos *chipsets* GNSS, que antes eram de frequência única, para modelos de dupla frequência em *smartphones* de última geração. (WU et al., 2019).

Com essa evolução, os *smartphones* não possuem apenas GPS, mas também GLONASS, BeiDou, Galileo, Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) e Indian Regional Navigation Satellite System (IRNSS). Em 2016, a empresa Google anunciou a disponibilização dos dados GNSS brutos de smartphones e tablets no sistema operacional Android, permitindo a utilização de medições de GNSS mais detalhadas, como pseudodistância, Doppler e fase portadora, para obter posições mais precisas. Apesar de os componentes GNSS de baixo custo presentes em smartphones não alcançarem o desempenho dos equipamentos geodésicos de alta qualidade, essa oportunidade representa uma interessante linha de pesquisa para explorar as capacidades desses dispositivos (GPS World, 2016).

Por outro lado, os dispositivos da *Apple* não disponibilizam diretamente os dados brutos do GNSS para o usuário. Em vez disso, as informações de localização são fornecidas pela

estrutura *Apple Core Location*, que assim como ocorre no sistema Android, combina dados de várias fontes de localização, como rede Wi-Fi, GNSS e Bluetooth (TAVANI, 2022).

4.2.5 Sensor iLiDAR

Em 2020, a *Apple* lançou dois produtos que incorporaram uma tecnologia inovadora de sensores LiDAR, representando uma novidade no mundo dos dispositivos pessoais: o iPad Pro e o iPhone 12 Pro. Tais dispositivos foram equipados com um sensor iLiDAR leve e integrado (SPREAFICO et al., 2021).

Segundo King, Kelly e Fletcher (2022), de acordo com a documentação da *Apple Inc.*, o alcance do sensor iLiDAR é aproximadamente de 5 m, com um campo de visão de 90°. A precisão de medição do sensor é mantida dentro de 5 mm. A densidade de pontos segue uma tendência linear em escala logarítmica, gerando cerca de 7225 pontos/m² a uma distância de 25 cm, reduzindo para 150 pontos/m² ao observar objetos a uma distância de 250 cm do dispositivo (LUETZENBURG, KROON e BJØRK, 2021).

Segundo Basílio, Texugo e Pereira (2022), de acordo com as descrições técnicas fornecidas pela *Apple*, o iLiDAR é constituído por vários componentes essenciais, que incluem uma superfície emissora de laser de cavidade vertical (*Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser* - VCSEL), um sensor de imagem CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) no espectro de infravermelho próximo (*Near-Infrared* - NIR) e pequenos pixels que funcionam como fotodiodos de avalanche de fóton único (*Single-Photon Avalanche Diode* - SPAD).

O sensor opera na faixa do NIR usando detectores de contagem de fótons, também conhecidos como SPADs, em uma abordagem direta de medição do tempo de voo (*TOF*), que é o tempo que um sinal leva para viajar do emissor ao objeto e de volta ao sensor. Para isso, o VCSEL emite feixe de fótons para calcular a distância até objetos próximos (NICLASS et al., 2020)

A estrutura da matriz de medição VCSEL consiste em uma grade principal de 3x3 composta por uma matriz de nove subgrades de 8x8 pontos, totalizando 576 pontos de medição em cada feixe de fóton (Figura 6) (LUETZENBURG, KROON e BJØRK, 2021).

Figura 6 – Matriz de medição VCELS, totalizando 576 pontos.



Fonte: Luetzenburg, Kroon e Bjørk, (2021).

Dessa forma, com uma alta taxa de medições, torna-se possível adquirir e criar conjuntos detalhados de coordenadas tridimensionais de objetos ao longo do tempo (SPREAFICO et al., 2021). Esses conjuntos representam os pontos individuais em um objeto ou cena, oferecendo informações detalhadas sobre sua superfície e estrutura em um ambiente tridimensional.

4.3 NUVENS DE PONTOS

De acordo com Groetelaars e Amorim (2011), a nuvem de pontos é um conjunto de dados tridimensionais que representam a forma e a estrutura de objetos ou superfícies do mundo real. Cada ponto na nuvem de pontos possui coordenadas espaciais (x , y , z), e esses pontos podem ser obtidos por técnicas de sensoriamento remoto, como escaneamento a laser (LiDAR), fotogrametria, imagens de satélite, entre outras.

Ainda segundo Groetelaars e Amorim (2011), essa representação em nuvem de pontos possui diversas aplicações, incluindo medição, visualização tridimensional, renderização, animação e, principalmente, a criação de modelos geométricos básicos que podem ser posteriormente manipulados em ferramentas CAD (*Computer-Aided Design*), BIM (*Building Information Modeling*) ou SIG (Sistema de Informações Geográficas). Muitas dessas aplicações requerem a conversão do modelo inicial de nuvem de pontos em modelos mais complexos, como modelos de superfície ou sólidos, que podem ser paramétricos ou não. Abaixo segue um exemplo de nuvens de pontos gerados por um Laser Scanner Terrestre (Figura 7).

Figura 7 – Exemplo de nuvens de pontos com RGB.



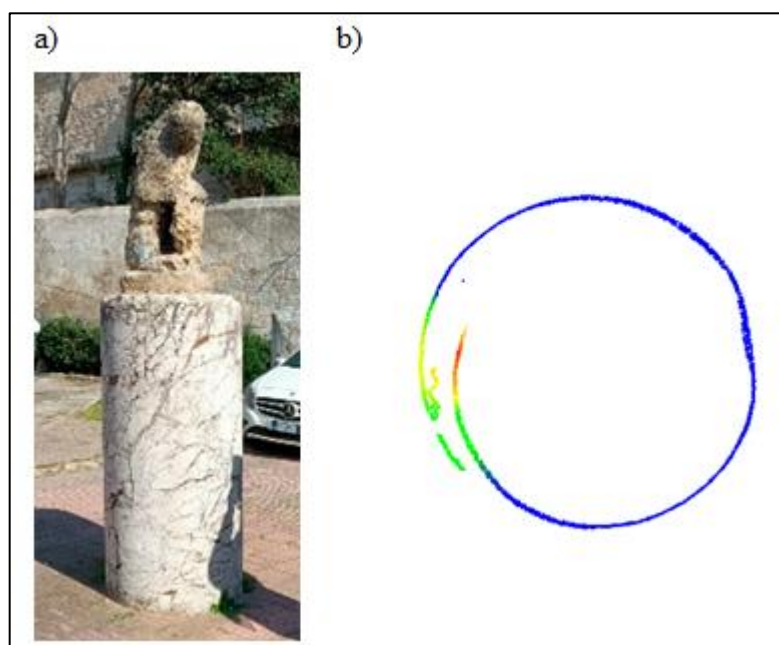
Fonte: O Autor (2024).

4.4 EFEITO DE DERIVA

Segundo Constantino et al., (2022), por meio de testes realizados em condições dinâmicas, é possível identificar problemas associados ao escaneamento em movimento. Os principais problemas observados incluem a divisão das superfícies, caracterizada pela presença de duas superfícies distintas durante o escaneamento, e o fechamento incorreto da nuvem de pontos gerada. Esses problemas estão relacionados ao chamado efeito de deriva, que ocorre devido ao cálculo da posição do smartphone baseado em sensores inerciais. Nesse processo, pequenas incertezas podem se propagar, resultando em grandes incertezas de posicionamento durante o escaneamento de objetos ou cenários de grandes dimensões.

Em um exemplo prático, na pesquisa de Constantino et al. (2022), foi realizado o escaneamento de uma estátua utilizando um iPhone 12 Pro. Para isso, manteve-se uma distância de 3 metros até que toda a área do objeto fosse escaneada. Na Figura 8.a, apresenta-se a foto da estátua escaneada com o iPhone 12 Pro a 3 metros de distância, e na Figura 8.b, um corte horizontal da nuvem de pontos obtida.

Figura 8 – Escaneamento realizado com iPhone 12 Pro: a) Fotografia da estátua; b) corte horizontal da nuvem de pontos gerada a partir do escaneamento da estátua.



Fonte: Constantino et al., (2022).

Observa-se que, na Figura 8.b, trata-se de um caso de efeito de deriva, no qual a nuvem de pontos apresenta um erro de fechamento, demonstrando uma separação destacada por uma escala de cores. Os pontos em verde, amarelo e vermelho indicam gradualmente a distância entre os pontos, ressaltando as inconsistências no alinhamento da nuvem gerada.

4.5 CONTROLE DE QUALIDADE CARTOGRÁFICA

O controle de qualidade desempenha um papel fundamental na cartografia, pois tem o objetivo de avaliar e informar a qualidade dos dados espaciais. A cartografia é responsável por criar representações da realidade que são fundamentais para a tomada de decisões em diversas áreas. Portanto, quanto mais confiáveis forem as informações espaciais, melhor será a base para a tomada de decisões (SANTOS, 2010).

No processo de produção cartográfica, o controle de qualidade posicional é um procedimento indispensável durante o processo de produção cartográfica, pois a utilização de um mapa de baixa qualidade pode acarretar prejuízos significativos (ARIZA, 2002).

Segundo a norma ISO 19157 (2023) as informações sobre a qualidade dos dados geográficos possibilitam que um produtor de dados avalie em que medida um conjunto de dados atende aos critérios definidos na especificação do produto. Além disso, auxiliam os usuários

dos dados na avaliação da capacidade de um produto em satisfazer os requisitos de sua aplicação específica.

A norma ISO 19157 (2023) também define os principais componentes da qualidade cartográfica da seguinte forma: acurácia posicional, que se refere ao quão próximo a posição de um dado espacial está em relação à sua realidade no terreno; acurácia temática, que avalia as componentes temáticas ou de atributo de um dado espacial em relação à realidade; acurácia temporal, que determina a qualidade e os relacionamentos temporais dos atributos e das feições; consistência lógica, ou seja, o grau de aderência às regras lógicas da estrutura dos dados; completude, que identifica a quantidade de informações que estão ausentes ou que deveriam estar presentes em um produto cartográfico; e metaqualidade, a qual se baseia informações que descrevem a qualidade dos dados. Nesta pesquisa a ênfase será na acurácia posicional.

4.5.1 Acurácia Posicional

Na comunidade científica, um dos elementos mais importantes estudados é a acurácia posicional. A ISO (2023) a define como a acurácia da posição das feições. Ela representa o elemento da qualidade dos dados que se relaciona com a proximidade entre a posição de um dado espacial e sua localização real no terreno (ARIZA, 2002; SANTOS, 2010).

Conforme a ISO 19.157, a acurácia posicional pode ser dividida em três subelementos, sendo eles:

- Acurácia absoluta ou externa: é o quão próximo estão os valores de coordenadas de uma feição e seus valores de coordenadas de referência, obtidos em campo com precisão superior;
- Acurácia relativa ou interna: refere-se à proximidade entre as posições relativas de uma feição e suas respectivas posições relativas tidas como referência em um produto de maior acurácia;
- Acurácia posicional do *grid*: é a proximidade da posição espacial dos dados em formato de grid e a posição tida como referência.

Para realizar o controle de qualidade posicional de dados geoespaciais, é fundamental ter um padrão ou norma de referência. No Brasil, a norma oficial que estabelece os critérios para avaliar a acurácia posicional é o Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Este decreto utiliza-se das tolerâncias Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e o Erro-Padrão (EP) e de três classes (A, B e C) para enquadramento. Essas métricas definem os padrões mínimos que devem ser alcançados para assegurar a acurácia e confiabilidade dos dados.

Em 2011, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) elaborou a Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), instituída pelo Decreto 6.666 de 2008. Esta especificação estabelece regras e padrões específicos para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais, incluindo informações sobre a geometria dos dados e atributos relacionados.

Além disso, a ET-ADGV criou uma classe mais restritiva, destinada a produtos cartográficos digitais (PEC-PCD). Em 2016, a DSG lançou a norma ET-CQDG, que descreve o processo metodológico para a determinação da acurácia, conforme o Decreto nº 89.817.

Na Tabela 1, estão disponíveis os valores de tolerância estabelecidos pelo Decreto nº 89.817 (Brasil, 1984) e em conformidade com as diretrizes da ET-CQDG (DSG, 2016) para a avaliação da acurácia planimétrica e altimétrica de produtos cartográficos. As tolerâncias planimétricas específicas para cada classe são verificadas levando em consideração a escala do produto em avaliação. Quando se trata do PEC e EP para altimetria, a análise concentra na equidistância vertical entre as curvas de nível.

Tabela 1 – Tolerâncias e classes de acurácia posicional definidas pelo Decreto 89.817 aliada à ET-CQDG (DSG, 2016).

Classe PEC	Classe PEC-PCD	PEC (mm) (Planimetria)	EP*(mm) (Planimetria)	PEC (mm) (Altimetria)	EP*(mm) (Altimetria)
-	A	0,28 x escala	0,17 x escala	0,27 x equidistância	1/6 x equidistância
A	B	0,5 x escala	0,3 x escala	1/2 x equidistância	1/3 x equidistância
B	C	0,8 mm x escala	0,5 x escala	3/5 x equidistância	2/5 x equidistância
C	D	1,0 mm x escala	0,6 x escala	3/4 x equidistância	1/2 x equidistância

*EP é uma tolerância chamada Erro Padrão de acordo com o Decreto nº 89.817/84/ET-CQDG; D representa o denominador da escala utilizada.

Fonte: Brasil (1984) e DSG (2016).

Segundo o Decreto nº 89.817/ET-CQDG, para classificar um produto cartográfico quanto à sua qualidade posicional, deve-se atender duas condições (BRASIL, 1984; SANTOS, 2010; DSG,2011; DSG,2016):

i. 90% dos valores de discrepâncias encontrados devem ser iguais ou inferiores ao valor do PEC-PCD em relação à escala e a classe testada e;

ii. O RMS (*Root Mean square*) das discrepâncias deve ser igual ou inferior ao valor do erro EP de acordo com a norma, para a escala e classe testada.

A discrepância planimétrica e altimétrica, representadas pelas equações 2 e 3, são calculadas com base nos vetores da resultante posicional entre as coordenadas de referência em

campo $(X_{ref}, Y_{ref}, Z_{ref})$ e as coordenadas de teste obtidas do dado espacial $(X_{test}, Y_{test}, Z_{test})$. O modelo matemático utilizado para determinar o *RMS* dessas discrepâncias é apresentado na Equação 4.

$$d_{i2D} = \sqrt{(X_{test} - X_{ref})^2 + (Y_{test} - Y_{ref})^2} \quad (2)$$

$$d_{iz} = Z_{test} - Z_{ref} \quad (3)$$

$$RMS_{d_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i)^2}{n}} \quad (4)$$

Onde:

d_{i2D} : discrepância posicional planimétrica

d_{iz} : discrepância posicional altimétrica

n : número de observações.

Se uma das duas condições i e ii não for atendida, o produto não será classificado na classe de teste especificada. No entanto, o produto passará por novos testes destinados a classes ou escalas inferiores (SANTOS, 2010).

4.5.1.2 Método de Feições Lineares

Moza e Ariza (2011) e Santos (2015) afirmam que a utilização de métodos de avaliação da acurácia posicional baseada em feições lineares ocorre devido à linha ser a feição mais amplamente empregada na Cartografia, correspondendo a aproximadamente 80% das representações em uma base cartográfica. Na maioria das vezes, as feições lineares apresentam distribuição espacial eficiente em bases cartográficas, como em redes viárias e hidrografia. Além disso, as linhas possuem uma quantidade considerável de informação geométrica, incluindo vértices, segmentos, orientação, entre outros.

Conforme Santos (2015), vários métodos de avaliação da acurácia posicional no controle de qualidade utilizam feições lineares, embora sua divulgação e estudos mais aprofundados no Brasil sejam escassos. Uma considerável parte desses métodos foi desenvolvida para avaliar os resultados da generalização cartográfica e pode ser categorizada em três amplas divisões:

- Grupo de faixa de incerteza que empregam uma abordagem determinística, como o método da Banda Épsilon, Método das Áreas, *Buffer* Simples e *Buffer* Duplo;

- Grupo de faixa de incerteza que utilizam uma abordagem estocástica, tais como a Banda Genérica e o Modelo de Erros Estatísticos por Simulação;
- Grupo de métodos determinísticos que realizam análises geométricas, como a Distância de Hausdorff, Influência do Vértice, Aproximação por Spline e Ponto Gerado.

A seguir, serão detalhados os métodos de Influência do Vértice e *Buffer Duplo*, que serão utilizados para fins de comparação com os resultados obtidos pelos métodos propostos neste trabalho.

4.5.1.2.1 Influência do Vértice

Desenvolvidos por Mozas e Ariza (2011) o método da Influência do Vértice é baseado nos deslocamentos dos vértices e na sua influência nos segmentos de linha adjacentes. Portanto, cada vértice de uma linha determina uma posição que afeta os segmentos adjacentes, de modo que qualquer movimento em um vértice específico influencia somente os dois segmentos adjacentes a ele.

O método se baseia na medição da distância euclidiana entre os vértices da linha de referência (L_R) e a linha teste (L_T). Essas distâncias são ponderadas de acordo com o comprimento dos segmentos adjacentes ao vértice em questão. Dessa forma, é calculado um valor ponderado das distâncias entre os vértices de referência e a linha teste (SANTOS et al., 2015).

Assim, para cada linha de teste i , sugere-se calcular a média aritmética ponderada utilizando o comprimento das linhas como peso, a fim de determinar o valor da discrepância média (D) entre as duas linhas, conforme descrito na equação 5 e ilustrado na Figura 9.

$$D_i = \frac{\left[\sum_{k=1}^m (dh_k (l_k^{(k-1)} + l_k^{(k+1)})) \right]}{2 \cdot CL_{Ri}} i \quad (5)$$

Onde:

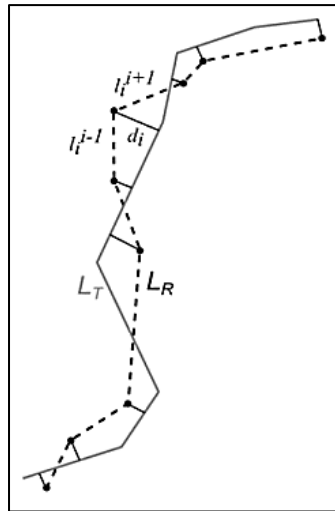
m : número de vértices da linha de referência;

dh_k : distância horizontal mínima entre o vértice k de L_R para L_T ;

$l_k^{(k-1)}$ e $l_k^{(k+1)}$: comprimento dos segmentos adjacentes ao vértice k em L_R ; e

CL_R : comprimento da feição linear de referência.

Figura 9 – Método da Influência do Vértice.



Fonte: Adaptado de Mozas e Ariza (2011).

De acordo com Santos et al. (2015), o uso do método de Influência do Vértice no processo de avaliação da acurácia posicional, conforme definido pelo Decreto n° 89.817/ET-CQDG, envolve:

1. Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
2. Calcular o comprimento da linha de referência (CL_R) e extrair os vértices de cada linha i de referência;
3. Calcular a menor distância (dh_k) para cada vértice k da linha referência (L_R) em relação a qualquer segmento da linha teste (L_T);
4. Obter os valores dos comprimentos dos segmentos de retas anteriores ($l_k^{(k-1)}$) e posteriores ($l_k^{(k+1)}$) aos vértices k da linha i de referência;
5. Calcular a discrepância média (D) para cada linha de referência i (Equação 5);
6. Para que um produto cartográfico seja classificado de acordo com o Decreto n° 89.817, é necessário que pelo menos 90% dos valores D_i sejam iguais ou inferiores ao valor do PEC e que o RMS do conjunto de valores D_i seja igual ou inferior ao valor do EP, ambos para a classe e escala utilizadas.

4.5.1.2.2 Buffer Duplo

O método do *Buffer Duplo*, também conhecido como *Buffer Overlay Statistics*, foi proposto por Tveite e Langaas (1999) como uma evolução do *Buffer Simples*. Neste método, é

aplicado um *Buffer* tanto na linha de referência quanto na linha testada, seguido pela interseção entre os polígonos resultantes dos *Buffers*. Dessa forma obtém-se o cálculo de uma Discrepância Média (*dmi*) entre as feições lineares, conforme apresentado na equação 6.

$$dmi = \pi \cdot x \cdot \frac{(\sum A_1 - A_3)}{A_2} \quad (6)$$

Onde:

x: Largura do *Buffer*

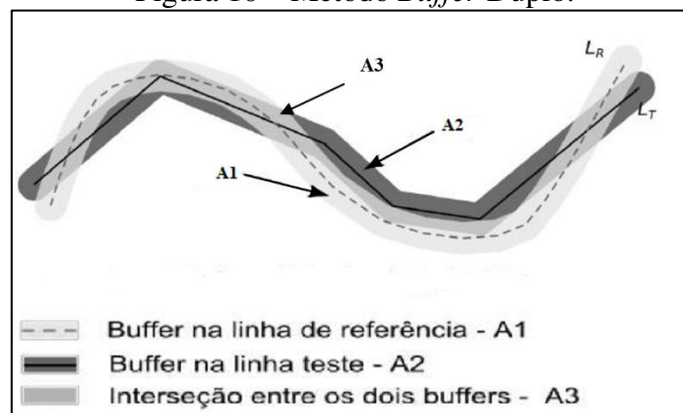
A1: área do *Buffer* da linha de referência que não se sobrepõe com o *Buffer* da linha de teste;

A2: área do *Buffer* da linha de teste;

A3: área do *Buffer* resultante da interseção entre o *Buffer* da linha de referência e o *Buffer* da linha de teste.

A Figura 10 representa a técnica do *Buffer Duplo*.

Figura 10 – Método *Buffer Duplo*.



Fonte: Santos et al. (2015).

Santos et al. (2015) sugerem a aplicação do método de *Buffer Duplo* utilizando as tolerâncias estabelecidas utilizando o Decreto n° 89.817 e da ET-CQDG.

Devido ao fato do decreto não definir o uso de métodos para feições lineares, essa aplicação pode ser realizada seguindo as seguintes etapas (Santos et al., 2015):

1. Selecionar uma amostra de *n* linhas homólogas de teste (LT) e de referência (LR);
2. Aplicar um *Buffer* de largura *x* em cada linha *i* da amostra de linhas homólogas de teste e de referência. Para a aplicação do Decreto n° 89.817, utiliza-se o valor do PEC correspondente à escala e à classe utilizada no processo de avaliação;

3. Calcular a área A1 e A2 gerada pela operação de *Buffer* em cada linha de referência e teste respectivamente;
4. Realizar uma sobreposição entre os polígonos gerados pelos *Buffers* da linha de teste e da linha de referência e calcule o valor de (A1-A3), que representa a área do polígono de referência que não se sobrepõe ao polígono de teste;
5. Calcular a discrepância média (dm) para cada linha de teste i (usando a equação 6);
6. Para analisar o Decreto n° 89.817, verifica-se, em pelo menos 90% das linhas testadas, a discrepância média (dm) é menor ou igual ao valor do PEC (da classe e escala utilizados para gerar o *Buffer* x). Além disso, o RMS das discrepâncias dm deve ser menor ou igual ao valor do EP (idem ao PEC). Se ambas as condições forem atendidas, o dado espacial é classificado de acordo com a classe e escala trabalhadas. Caso o dado não seja classificado na classe trabalhada, é necessário testar as tolerâncias da classe seguinte. Para isto, volta-se ao passo 2, utilizando um novo valor para o *Buffer* de acordo com a classe, reaplicando os passos 3,4,5 e 6.

5 MATÉRIAS E MÉTODOS

5.1 OBJETOS DE ESTUDO

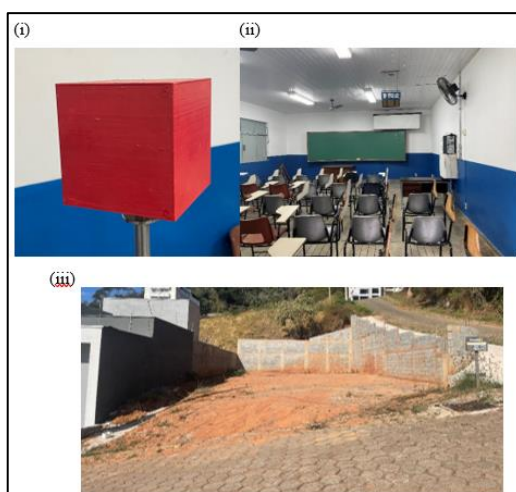
Visando a realização dessa pesquisa, foram realizados 3 experimentos com ambientes de estudo distintos (Figura 11 – (i), (ii) e (iii)):

i) Primeiramente optou-se pela adoção de um objeto de pequeno porte, utilizando-se um cubo projetado com arestas de 0,10 m;

ii) Utilizou-se também a sala de aula 101 do Laboratório de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica (LEA) – da Universidade Federal de Viçosa (UFV), com dimensões de 8,8 m de comprimento, 6,0 m de largura e 2,80 m de altura;

iii) E por último foi escolhido um lote urbano aproximadamente retangular, com dimensões de aproximadamente 12m x 25m.

Figura 11 – Objetos de estudos: (i) Cubo (ii) Sala Lea 101 e (iii) Lote regular.



Fonte: O Autor (2024).

5.2 MATERIAIS

Os materiais empregados nesta pesquisa, tanto para a coleta de dados em campo, quanto para o processamento dos dados, incluem:

- iPhone 12 Pro, da *Apple*: equipado com um sensor iLiDAR (Figura 12), com alcance de até 5 m (Figura 12.a), uma acurácia de 5 mm e um campo de visão (FOV) de 90° (Figura 12.b) (KING, KELLY e FLETCHER, 2022). Ressalta-se que a densidade de pontos segue uma tendência linear em escala logarítmica, gerando cerca de 7225

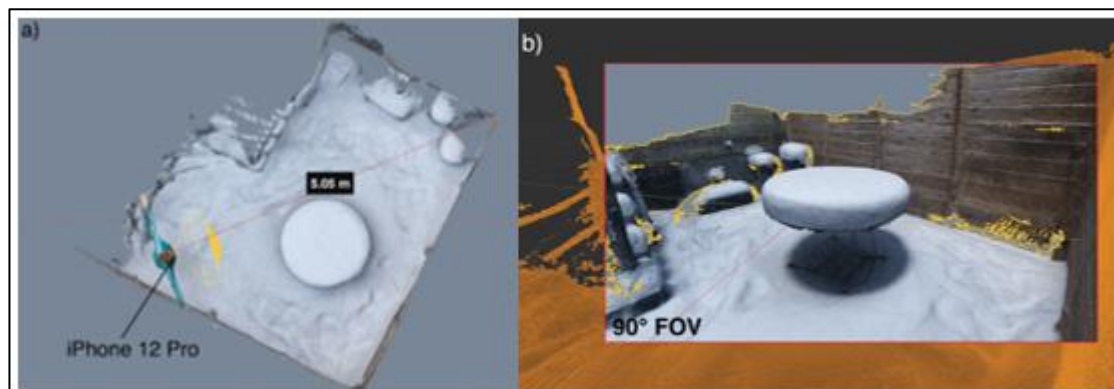
pontos/m² a uma distância de 0,25 m, reduzindo para 150 pontos/m² ao observar objetos a uma distância de 2,50 m do dispositivo (LUETZENBURG, KROON e BJØRK, 2021).

Figura 12 – iPhone 12 Pro equipado com sensor iLiDAR.



Fonte: O Autor (2024).

Figura 13 – Escaneamento com iPhone 12 Pro: a) Vista superior, alcance de 5 m. b) Campo de visão observável de 90°.



Fonte: KING, KELLY e FLETCHER (2022).

- Estabilizador *gimbal*: Utilizado como acessório estabilizador do iPhone 12 Pro. Suas especificações são: modelo portátil de 3 eixos, marca H4, com dimensões de 291x120x50mm, peso líquido aproximado de 400g e com duração de bateria de 4 a 6 horas (Figura 14).

Figura 14 – Estabilizador *gimbal* de 3 eixos.



Fonte: MANUALS.PLUS (2021).

- Paquímetro digital *Caliper*: utilizado como referência para a medição das dimensões das arestas do cubo. Suas especificações incluem: escala de medida de 0-150mm / 0-6”, com leitura de 0,01 mm / .0005”, repetitividade de 0,01 mm / .0005”, margem de erro: +/- 0,02mm/0,001” (<100mm); +/- 0,03mm /0,001” (>100-200mm), função zero em qualquer ponto e tecla conversora mm/polegada (Figura 15).

Figura 15 – Paquímetro Digital *Caliper*.



Fonte: O Autor (2024).

- Laser Scanner Terrestre (LST): Utilizado como referência para a medição de distâncias dos alvos na sala de aula. Suas especificações incluem: modelo VZ 400 (Figura 16), da marca *RIEGL* (*Riegl Laser Measurements GmbH*), com alcance de até 600 m, distância mínima de 1,5 m, taxa de medição de até 122.000 pontos/s,

precisão de 3 mm, acurácia de 5 mm e ângulo de varredura horizontal de 360° e vertical de 100° (+60° / -40°). O princípio de funcionamento do seu sensor baseia-se no tempo de retorno do sinal *TOF* (RIEGL, 2023).

Figura 16 – Laser Scanner terrestre modelo VZ-400, da *RIEGL*.



Fonte: *RIEGL* (2023).

- GNSS RTK TPS T10: receptor GNSS de dupla frequência, fabricado pela Topomap e modelo TPS T10 (Figura 17), o qual possui sinais GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU. Apresenta uma precisão horizontal de 3mm + 0,5ppm para levantamento em modo estático e estático rápido, e de 8mm + 1ppm para levantamentos RTK (*Real Time Kinematic*) (TOPOMAP, 2023).

Figura 17 – GNSS RTK TPS T10.



Fonte: TOPOMAP (2023).

- Alvos refletivos: formato circular, com 5 cm de diâmetro (Figura 18), os quais foram utilizados para obtenção das medidas na sala de aula.

Figura 18 – Alvo refletivo.

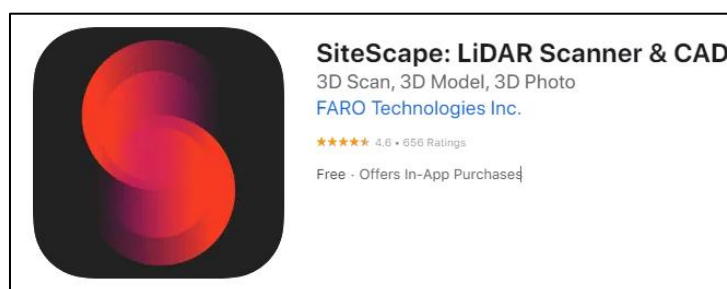


Fonte: O Autor (2024).

Os *softwares* para processamento dos dados coletados foram:

- Software *SiteScape* versão 1.7.14 da *Faro Technologies In.*: O aplicativo na versão 1.7.14 gratuita da *Faro Technologies Inc* (Figura 19), foi utilizado para a obtenção dos dados iLiDAR, possibilitando dessa forma, a geração de nuvem de pontos. Ressalta-se que este aplicativo possui uma limitação de 15 milhões de pontos por varredura, sendo recomendado, quando possível, manter uma distância de 1 a 4 m dos objetos para obter os melhores resultados de escaneamento. Quanto às configurações, este oferece 3 opções de densidade de pontos (alta, média e baixa), permitindo escolher entre maior detalhamento (alta) ou cobertura mais ampla da área (baixa). Além disso, há 3 opções de tamanho de ponto (grande, médio e pequeno), permitindo ajustar a resolução do escaneamento de acordo com a necessidade, priorizando velocidade ou detalhes.

Figura 19 – Logo *app SiteScape*.



Fonte: *SiteScape* (2024).

- *Software RiSCAN PRO 2.0 da RIEGL*: utilizado para processar os dados obtidos a partir do Laser Scanner da *Riegl*, permitindo uma análise detalhada do ambiente escaneado.
- *Software CloudCompare*: *software* foi utilizado na obtenção de medidas e manipulação das nuvens de pontos.
- *Software AutoCAD 2022*: utilizado para elaboração de desenhos técnicos.
- *Software GeoPEC* versão 3.6: utilizado para efetuar as análises estatísticas dos dados obtidos.

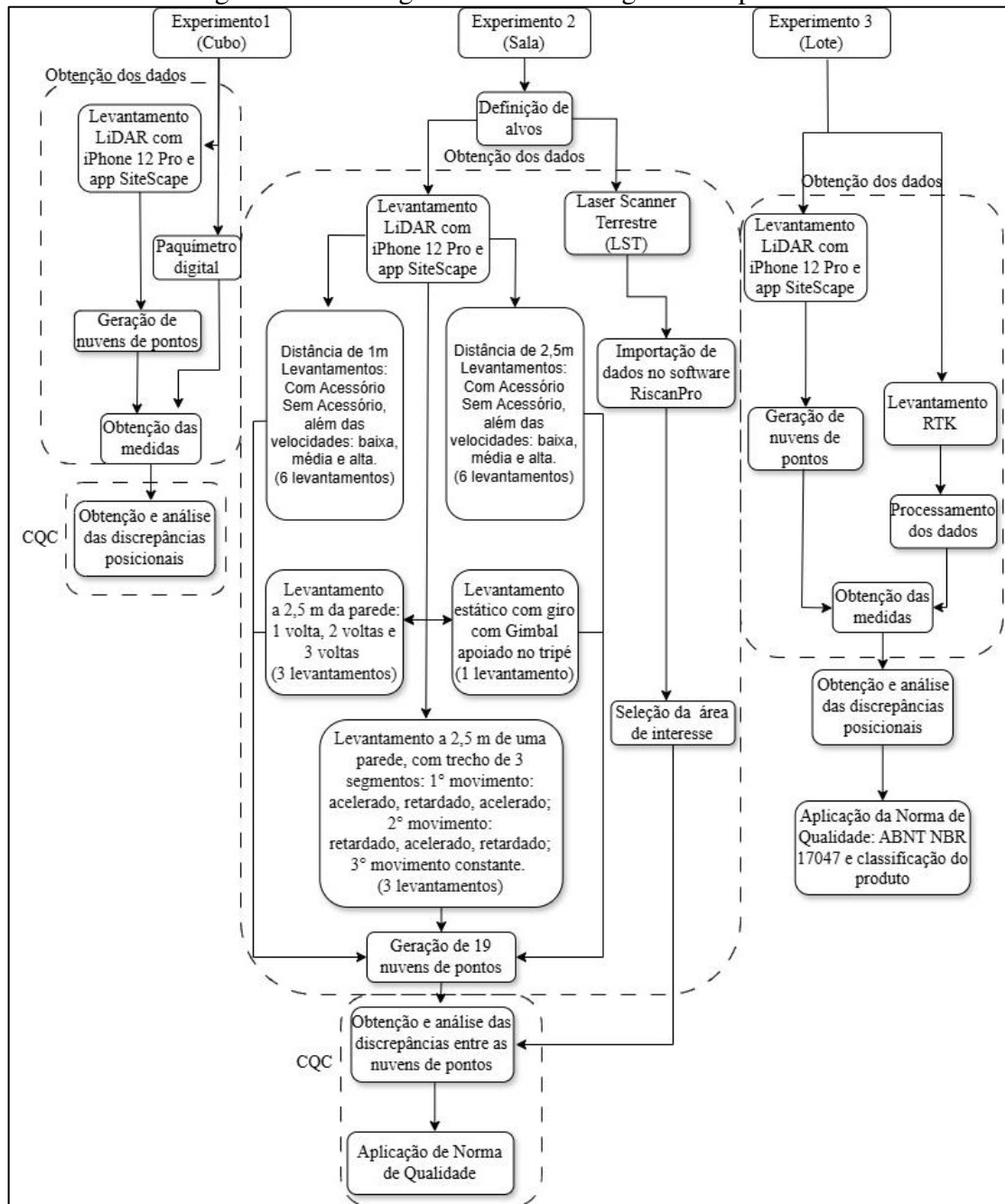
5.3 METODOLOGIA

Os experimentos realizados neste trabalho foram realizados conforme o fluxograma metodológico apresentado na Figura 20.

Os experimentos foram conduzidos utilizando o iPhone 12 Pro, sendo realizados manualmente ou com o auxílio do acessório estabilizador *gimbal* de 3 eixos, ambos no modo retrato. As nuvens de pontos iLiDAR foram obtidas através do aplicativo *Sitescape*, e as configurações foram ajustadas conforme a necessidade de cada levantamento, garantindo o escaneamento da área desejada.

Para acessar cada nuvem gerada, foi necessário criar uma conta gratuita no site do *SiteScape*. Posteriormente, realizou-se a sincronização dos escaneamentos das nuvens, onde foi necessário acessar a conta e baixá-las, exportando-as em formato *E57*. Isso permitiu sua abertura no *software CloudCompare*, onde realizou-se os tratamentos das nuvens e as comparações necessárias.

Figura 20 – Fluxograma da metodologia a ser aplicada.



Fonte: O Autor (2024).

5.3.1 Experimento 1

O primeiro experimento foi produzido com uso de uma impressora 3D no Laboratório de Engenharia (LABENGE) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), dispo-ndo-se de um objeto geométrico de pequenas dimensões, sendo um cubo com arestas de 10 cm, em um ambiente controlado. Para isso, esse cubo foi montado em uma base nivelante e fixado em base de metal e concreto (Figura 21).

Figura 21 – Cubo montado em uma base nivelante, fixado em base de metal e concreto.

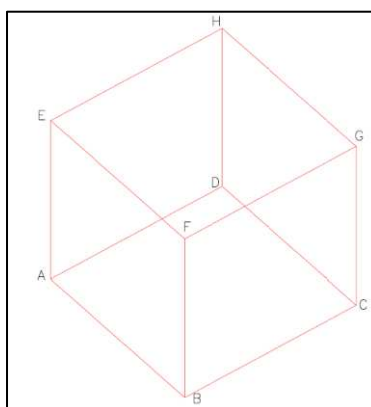


Fonte: O Autor (2024).

O escaneamento foi conduzido com o aplicativo *Sitescape*. Visando obter um maior detalhamento do objeto, o aplicativo foi configurado com densidade de pontos alta e tamanho de pontos pequeno. Sendo assim, o levantamento foi realizado mantendo-se uma distância aproximada de 1 m ao redor do objeto, buscando garantir uma cobertura completa do escaneamento.

Em relação às medidas de referência, estas foram obtidas usando o paquímetro digital *Caliper*, sendo medidas as 12 arestas (AB, BC, CD, DA, EF, FG, GH, HE, AE, BF, CG e DH) conforme a Figura 22.

Figura 22 – Projeto do cubo com a denominação de cada vértice para medição das 12 arestas.



Fonte: O Autor (2024).

Após o escaneamento, a nuvem de pontos foi exportada para o *software CloudCompare* e a área de interesse foi delimitada, além de ser realizada uma filtragem para remover os ruídos da nuvem. Para isso, foi utilizado o filtro *Statistical Outlier Removal*, sendo este empregado

para processar nuvens de pontos tridimensionais. Tal filtro também removeu os pontos considerados como *outliers*.

Após a limpeza da nuvem de pontos, foram obtidas as métricas de cada aresta correspondente ao cubo. À vista disso, utilizou-se o comando *Point Picking*, que é uma ferramenta a qual permite identificar pontos de interesse e medir as distâncias entre eles.

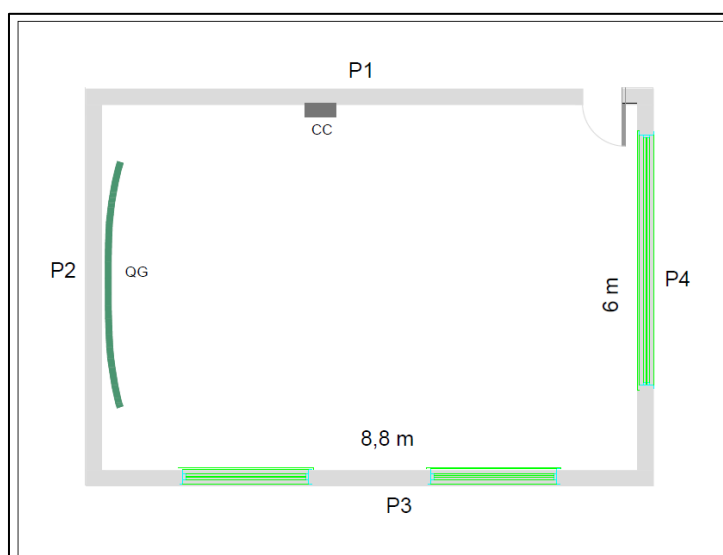
Posteriormente, aplicou-se o controle de qualidade cartográfica, permitindo a análise comparativa das métricas obtidas pelo sensor em relação às dimensões e formas do objeto tomadas como referência. As amostras de discrepâncias foram analisadas com descritivas básicas, incluindo detecção de *outliers* pelo método *boxPlot* e análise de tendências.

5.3.2 Experimento 2

O segundo experimento foi conduzido também em um ambiente controlado, com o objetivo de avaliar o desempenho do sensor iLiDAR em um ambiente de médio porte. Para tal objetivo foi utilizada a sala LEA 101 da UFV.

Conforme ilustrado na Figura 23, o desenho da sala inclui as quatro paredes: parede 1 (P1), parede 2 (P2), parede 3 (P3) e parede 4 (P4). Além disso, na sala estão presentes uma caixa de computador (CC), um quadro de giz (QG), porta e janelas.

Figura 23 – Sala de aula LEA 101.



Fonte: Autor (2024).

Nesta pesquisa, foram realizados 4 testes para avaliar a qualidade da nuvem de pontos gerada pelo iPhone em diferentes configurações de levantamento.

5.3.2.1 Teste 1 – Distância do Alvo

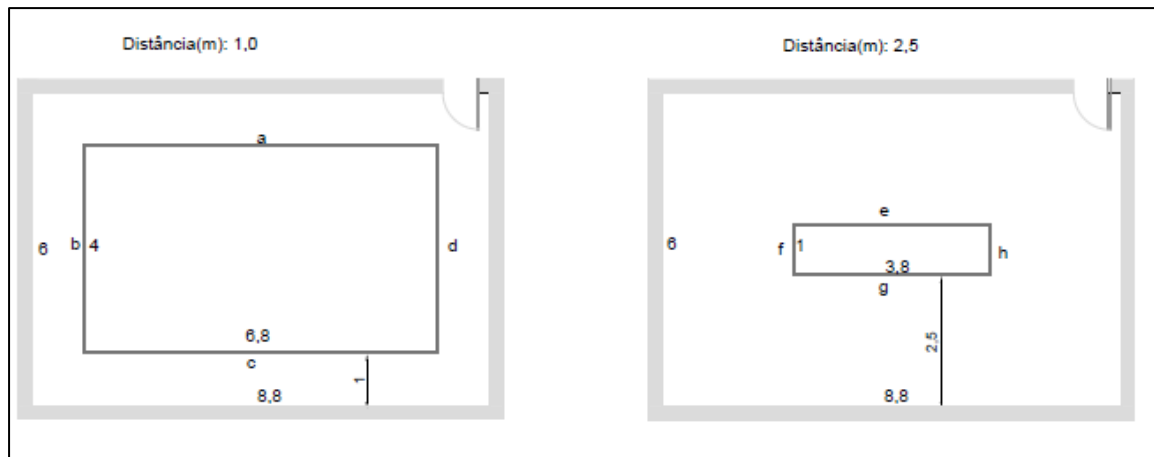
Buscando avaliar o desempenho da distância do sensor ao objeto, foram consideradas pesquisas como a de Riquelme et al. (2021), o qual identificou que para escanear rochas com o iPhone 12 Pro, a distância deve ser menor que 3 m, obtendo-se melhores resultados. Já Constantino et al. (2022) testou as distâncias de 2 m e 3 m no escaneamento de uma estátua e concluiu que a distância de 2 m proporcionou melhores resultados, enquanto a de 3 m apresentou problemas com efeito de deriva.

Considerando que o aplicativo recomenda uma distância de escaneamento não inferior a 1 m, e com base nas pesquisas que sugerem uma distância menor que 3 m, foram escolhidas as distâncias de 1 m e 2,5 m (Figura 24). Portanto, o teste 1 foi realizado com distâncias de 1 m e 2,5 m, considerando as velocidades de escaneamento baixa, média e alta.

O objetivo foi escanear as paredes 1 a 4, seguindo essa ordem. Sendo assim, a distância de 1 m iniciou-se percorrendo todo o lado “a” no sentido anti-horário até retornar ao ponto inicial. Para a distância de 2,5 m, percorreu-se todo o lado “e” também no sentido anti-horário até voltar ao ponto inicial, garantindo a cobertura completa de todas as paredes.

Os tempos gastos para percorrer cada lado foram registrados na Tabela 2. O levantamento foi realizado com o aplicativo configurado para densidade de pontos alta e tamanho de ponto pequeno. Dessa forma, cada teste foi realizado tanto sem acessório, quanto com acessório (estabilizador *gimbal*), para fins de comparação. Para facilitar o deslocamento durante os testes, marcações (fitas) foram colocadas ao longo do trajeto (Figura 24).

Figura 24 – Distâncias de 1 m e 2,5 m das paredes da sala de aula.



Fonte: O Autor (2024).

Tabela 2 – Teste 1: Tempo para percorrer cada lado a uma distância de 1 m e 2,5 m das paredes.

Distância 1 m							
Lev.	Nome	Vel.	Tempo (s)				Total
			Lado a (6,8m)	Lado b (4m)	Lado c (6,8m)	Lado d (4m)	
1	1m-VB-SA	Baixa	20s	12s	20s	12s	64s
2	1m-VB-CA						
3	1m-VM-SA	Média	14s	6s	14s	6s	40s
4	1m-VM-CA						
5	1m-VA-SA	Alta	8s	3s	8s	3s	22s
6	1m-VA-CA						

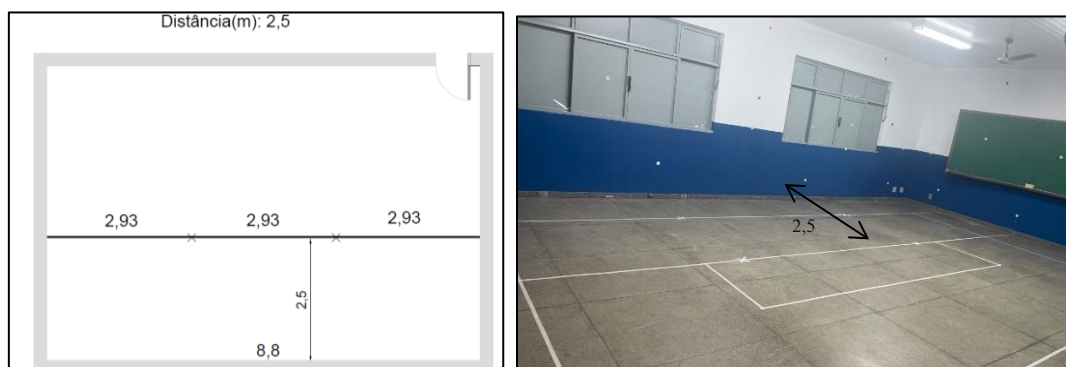
Distância 2,5 m							
Lev.	Nome	Velocidade	Tempo (s)				Total
			Lado e (3,8m)	Lado f (1m)	Lado g (3,8m)	Lado h (1m)	
7	2,5m-VB-SA	Baixa	15s	10s	15s	10s	50s
8	2,5m-VB-CA						
9	2,5m-VM-SA	Média	8s	5s	8s	5s	26s
10	2,5m-VM-CA						
11	2,5m-VA-SA	Alta	5s	2s	5s	2s	14s
12	2,5m-VA-CA						

Fonte: O Autor (2024).

5.3.2.2 Teste 2 – Movimento Acelerado e Retardado

Já o Teste 2 foi conduzido em um lado da sala, utilizando uma fita de 2,5 m paralela a parede 3. O comprimento foi dividido em 3 segmentos iguais, conforme a Figura 25.

Figura 25 – Distância de 2,5 m da parede dividida em 3 segmentos iguais.



Fonte: O Autor (2024).

Os levantamentos foram realizados sem acessório, utilizando o aplicativo configurado com densidade de pontos alta e tamanho de ponto pequeno. O objetivo foi verificar como o dispositivo se comporta com as mudanças de movimento.

Os levantamentos seguiram os seguintes padrões para cada trecho (Tabela 3):

1. No primeiro levantamento, foi realizado um movimento acelerado, seguido por um movimento retardado e outro movimento acelerado;
2. No segundo levantamento, realizou-se um movimento retardado, seguido por um movimento acelerado e, por fim, outro movimento retardado;
3. Por último, um movimento constante, no qual se optou pela velocidade média para o escaneamento.

Tabela 3 – Teste 2: Levantamento com variação de movimento para cada trecho.

Levantamento	Nome	Trecho (m)			Total
		Movimento/Tempo			
		2,93	2,93	2,93	8,8 m
13	A-R-A	Acelerado (2s)	Redução (6s)	Acelerado (2s)	10s
14	R-A-R	Redução (6s)	Acelerado (2s)	Redução (6s)	14s
15	MC	Movimento Constante (15s)			15s

Fonte: O Autor (2024).

Vale ressaltar que para a definição do tempo de cada movimento foram realizados vários testes cronometrados.

5.3.2.3 Teste 3 - Ponto Único

No teste 3 (Levantamento 16) nome PE (ponto estático) foi avaliado o dispositivo em modo estático, posicionado no centro da sala, além de estar fixado no estabilizador *gimbal* que estava apoiado no tripé (Figura 26). Para esse levantamento, o aplicativo foi configurado também com uma densidade de pontos alta e tamanho do ponto pequeno. O aparelho foi girado manualmente com movimento constante, completando uma volta, cobrindo toda área de interesse.

Figura 26 – Levantamento estático com iPhone 12 Pro fixado no estabilizador *gimbal*, apoiado no tripé.



Fonte: O Autor (2024).

5.3.2.4 Teste 4 – Efeito de Deriva

No teste 4, buscando verificar o efeito de deriva através da repetição do trajeto e escaneando a área mais de uma vez, o aplicativo foi configurado com densidade de pontos média e tamanho do ponto pequeno. O trajeto foi realizado com a distância de 2,5 m das paredes, com velocidade baixa e com acessório. Foram geradas 3 nuvens de pontos: com 1 volta (Levantamento17), 2 voltas (Levantamento18) e 3 voltas (Levantamento19), conforme apresentado abaixo.

Tabela 4 – Teste 4: Levantamentos de voltas para análise de efeito de deriva.

Distância 2,5 m							
Lev.	Nome	Vel.	Lado e (3,8m)	Lado f (1m)	Tempo (s)		Total
					Lado g (3,8m)	Lado h (1m)	
17	DER1V	Baixa	15	10	15	10	50
18	DER2V	Baixa	30	20	30	20	100
19	DER3V	Baixa	45	30	45	30	200

Fonte: O Autor (2024).

Para facilitar a interpretação dos testes, foi elaborada uma tabela com todos os levantamentos do Experimento 2 (Tabela 5).

Tabela 5 – Experimento 2: Resumo dos testes dos levantamentos, com suas respectivas nomenclaturas.

Teste	Levantamento	Nome
1	1	1m-VB-SA
	2	1m-VM-SA
	3	1m-VA-SA
	4	1m-VB-CA
	5	1m-VM-CA
	6	1m-VA-CA
	7	2,5m-VB-SA
	8	2,5m-VM-SA
	9	2,5m-VA-SA
	10	2,5m-VB-CA
	11	2,5m-VM-CA
	12	2,5m-VA-CA
2	13	A-R-A
	14	R-A-R
	15	MC
3	16	PE
4	17	DER1V
	18	DER2V
	19	DER3V

Fonte: Autor (2024).

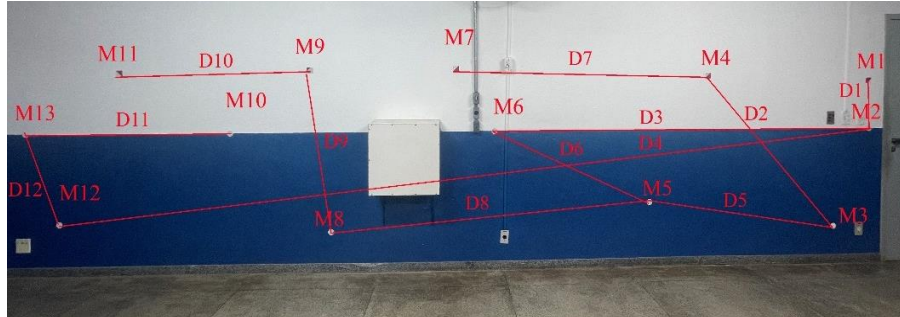
5.3.2.5 Controle de Qualidade

5.3.2.5.1 Dados de checagem

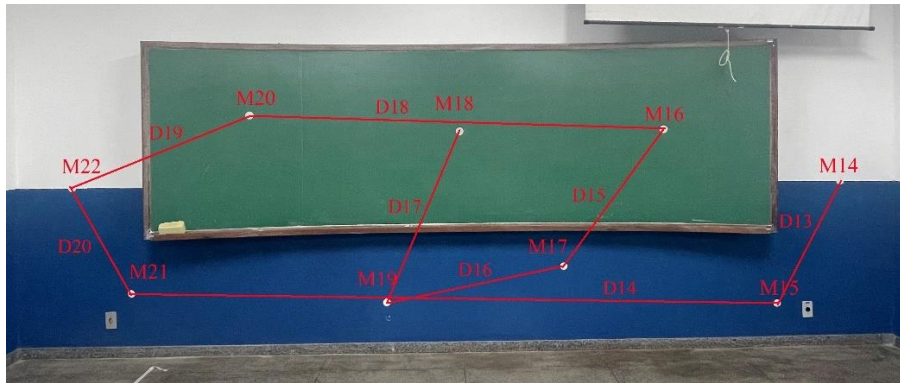
Para realizar o controle de qualidade nos dados levantados, foram implantados alvos refletivos (pontos de checagem) ao redor da sala para facilitar a obtenção de métricas a partir dos pontos de interesse. Procurou-se escolher diferentes distâncias, dentre elas: pequenas, maiores e diferentes direções (Figura 27). Foram selecionados 38 pontos e 39 distâncias de checagem.

Figura 27 – Fotos de cada parede, mostrando a distribuição dos 38 pontos de checagem (M) e as 39 distâncias (D) estabelecidas para cada parede.

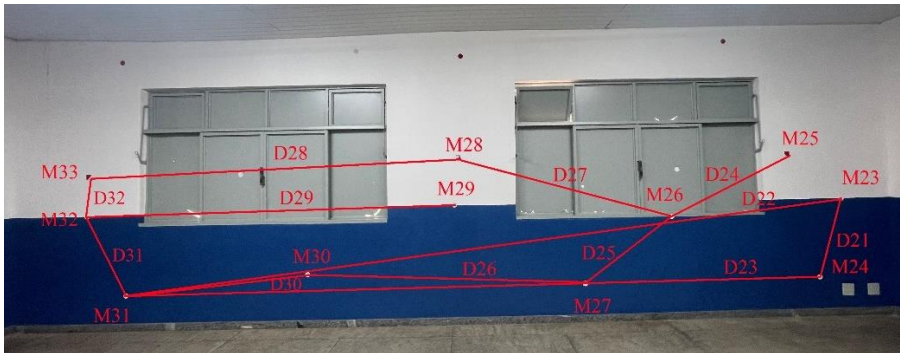
a) Parede 1: M1-M13 e D1-D12



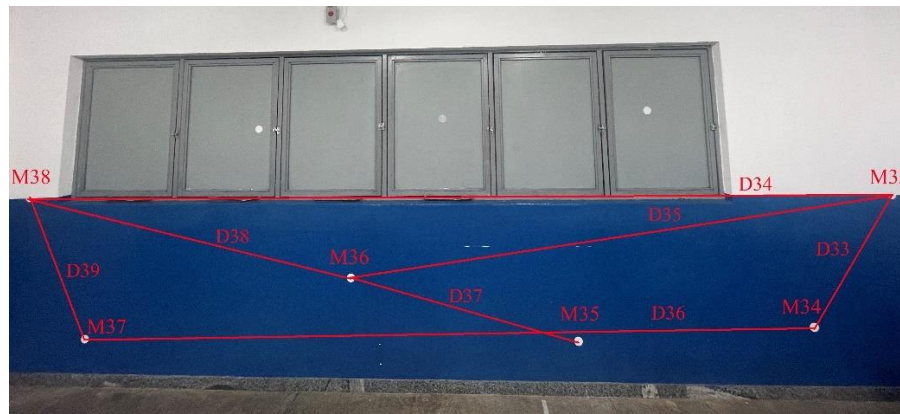
b) Parede 2: M14-M22 e D13-D20



c) Parede 3: M23-M32 e D21-D32



d) Parede 4: M33-M38 e D33-D39



Fonte: O Autor (2024).

5.3.2.5.2 Dados obtidos com Laser Scanner Terrestre

Os dados de referência foram coletados com o equipamento Laser Scanner Terrestre (LST), modelo VZ 400 (Figura 28). O levantamento foi realizado com o equipamento posicionado no centro da sala, onde foi efetuado apenas um escaneamento. A nuvem de pontos gerada foi importada no software *RiScan Pro*, onde a área de interesse foi delimitada por meio de um recorte na nuvem de pontos. Por fim, os dados foram exportados no formato LAS para análise e manipulação no software *CloudCompare*.

Figura 28 – Levantamento de referência utilizando o equipamento Laser Scanner Terrestre (LST), modelo VZ 400.



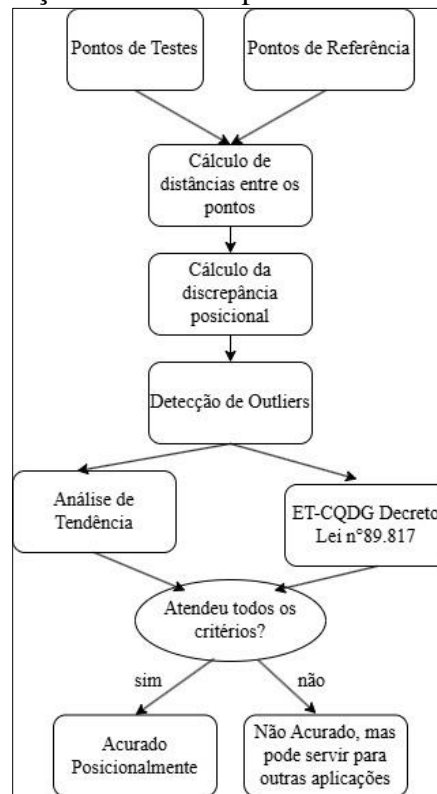
Fonte: O Autor (2024).

Para validar a nuvem de pontos gerada pelo LST, utilizou-se uma trena de aço, e foram coletadas algumas distâncias dos pontos de checagem das paredes. A partir dos dados coletados, comparou-se as distâncias entre os alvos de checagem extraídos da nuvem de pontos LST e as distâncias obtidas com a trena de aço. A análise seguiu a metodologia de feições pontuais para avaliar as discrepâncias posicionais, detectar outliers pelo método *boxPlot* e realizar a análise de tendências.

Posteriormente, aplicou-se o padrão definido pelo Decreto n° 89.817, em conjunto com a ET-CQDG para a escala de estudo. Dessa forma, foi possível validar a nuvem de pontos do LST utilizando feições pontuais.

Já a determinação da análise da acurácia posicional pontual pode ser visualizada no fluxograma a seguir.

Figura 29 – Avaliação da acurácia posicional com feições pontuais.



Fonte: Adaptado Santos et al. (2016).

5.3.2.5.3 Avaliação da acurácia dimensional com feições pontuais

Com as distâncias de checagem coletadas na nuvem de pontos do *smarphone* e suas homólogas extraídas da nuvem de pontos do LST, foram calculadas as discrepâncias através do software GeoPEC, versão 3.6 (SANTOS, 2019).

Vale ressaltar que a trena de aço não foi utilizada como referência, uma vez que algumas medições não poderiam ser realizadas devido à dificuldade em obtê-las, como as distâncias entre o quadro de giz e a parede, além de obstáculos, como a caixa do computador, entre outros.

Posteriormente, foram realizadas análises estatísticas, nas quais foram obtidas as estatísticas descritivas e a detecção de *outlier* pelo método 3σ (Santos et al., 2016). Em seguida foi verificada a existência ou não de tendência na nuvem de pontos, utilizando-se os testes estatísticos *t de Student*, Média Direcional e Variância Circular. Por fim, a acurácia posicional foi avaliada aplicando-se o padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 (BRASIL, 1984), em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), considerando escala do estudo.

5.3.2.5.4 Avaliação da acurácia dimensional com feições lineares

Primeiramente, foram utilizadas feições lineares com formas geométricas distintas, como segmentos de reta (paredes) e curvas (quadro de giz). Para a extração das feições lineares das nuvens de pontos pelo *smartphone* e LST, utilizou-se uma altura de referência de 1,20 m do chão, de modo a abranger o quadro de giz e evitar a inclusão das janelas. A extração foi realizada no *CloudCompare*, aplicando-se a ferramenta *Cross Section*, a qual permitiu criar um plano de corte da sala. Dessa forma, extraiu-se os pontos em uma espessura mínima, sendo possível abranger toda a área de interesse. Em seguida os pontos foram exportados para o AutoCAD, onde as linhas foram extraídas manualmente.

Devido à ausência de coordenadas de referência nos levantamentos, optou-se por realizar uma análise dimensional em vez de posicional. Para isso, foi utilizado o comando *ALIGN* no AutoCAD, onde dois pontos de referência foram selecionados para comparar as linhas de teste (*smartphone*) com as de referência (LST). Para essa comparação, utilizou-se os métodos *Buffer Duplo* e *Influência do Vértice*, sendo instalado o plugin do GeoPEC no QGIS, obtendo-se as discrepâncias das linhas.

A partir das discrepâncias obtidas, utilizou-se o GeoPEC, versão 3.6, para obter as análises estatísticas e detecção de *outlier* pelo método 3σ . Em relação a análise de tendência de feições lineares, o software não é adequado, o que acarretou em optar por não realizá-la. Por fim, a acurácia posicional foi avaliada com base no padrão definido pelo Decreto 89.817, em conjunto com a ET-CQDG, considerando a escala do estudo.

5.3.3 Experimento 3

O terceiro experimento, foi realizado em um ambiente maior, sendo um lote urbano. O levantamento foi feito com o iPhone 12 Pro, sendo adotado o teste que proporcionou os melhores resultados no segundo experimento. Ou seja, foi necessário replicar as condições que levaram aos melhores resultados, como a distância do aparelho em relação aos objetos, a velocidade de escaneamento e o uso ou não do estabilizador *gimbal*. Ressalta-se que o objetivo principal foi avaliar a qualidade do sensor iLiDAR em um levantamento cadastral de imóveis urbanos, verificando se os resultados são consistentes nessas condições, em um ambiente não controlado.

Como referência, foi utilizado um par de receptores GNSS RTK T10 (Figura 30.a). A análise teve como objetivo também obter as discrepâncias posicionais entre os levantamentos

realizados por *smartphones* e um dos métodos tradicionais (levantamento com RTK), com aplicação da norma de qualidade ABNT NBR 17047/22, a qual estabelece requisitos para levantamentos topográficos urbanos.

A NBR 17047/22 é uma normativa recentemente criada, que especifica a precisão posicional dos pontos que definem os limites de parcelas territoriais não deve ser superior a 8 centímetros. Esta exigência é fundamental para garantir a precisão e a confiabilidade dos levantamentos, especialmente em contextos cadastrais e de engenharia.

Outra avaliação é a classificação dos produtos gerados utilizando feições pontuais pelo *smartphone*, conforme o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG, com base nos valores de PEC-PCD e EP. Este padrão é obrigatório para analisar a qualidade posicional de qualquer dado cartográfico no Brasil. Como dados cadastrais compõem bases cartográficas de grande escala, é importante a avaliação da qualidade por este padrão.

Portanto, este experimento é fundamental para validar a aplicabilidade do sensor iLiDAR de *smartphones* em um cenário real de levantamento cadastral de imóveis urbanos, além de garantir sua consistência nessas condições específicas.

O levantamento foi realizado utilizando um par de receptores GNSS T10, operando no modo RTK. Um dos receptores foi configurado como estação base (estação de referência E0), conforme ilustrado na Figura 30.a, e operou em modo estático. O outro receptor foi configurado como *rover* (estação móvel), recebendo as correções diferenciais em tempo real da estação base para realizar a coleta de dados. Com essa configuração, foram obtidos os pontos que delimitam o perímetro do lote (Figura 30.b).

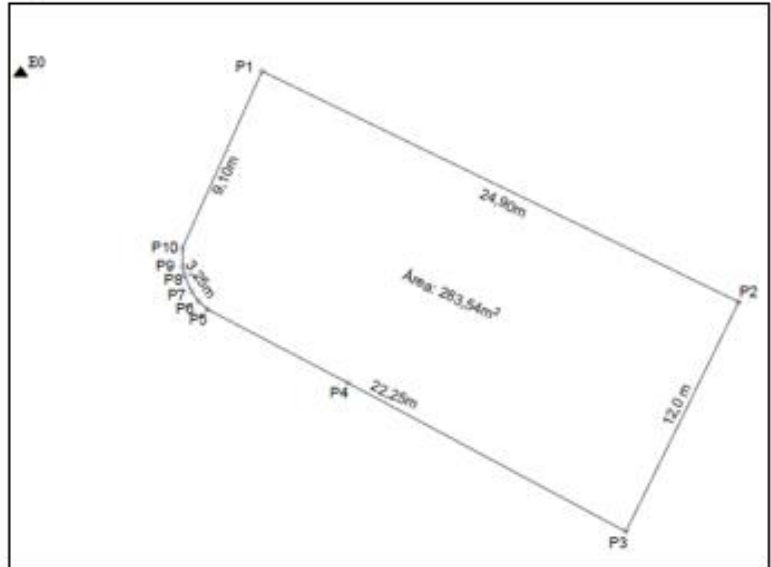
Foram realizadas duas nuvens de pontos com o iLiDAR. A primeira nuvem de pontos (chamada de 1Lev) foi gerada por um escaneamento único, iniciado no ponto P10 e conduzido no sentido anti-horário até o ponto P1. A segunda nuvem de pontos (chamada de 3Lev) foi obtida a partir de três escaneamentos, realizados também no sentido anti-horário: o primeiro na lateral direita (de P10 a P3), o segundo nos fundos do lote (de P3 a P2) e o terceiro na lateral esquerda (de P2 a P1), conforme ilustrado na Figura 30.b. Esse procedimento resultou na obtenção de três nuvens de pontos distintas que, posteriormente, foram unidas para obter uma única nuvem de pontos.

Figura 30 – a) Receptor estação base do RTK operando em modo estático; b) Croqui com a estação E0 e os pontos com o limite do lote.

a)



b)



Fonte: O Autor (2024).

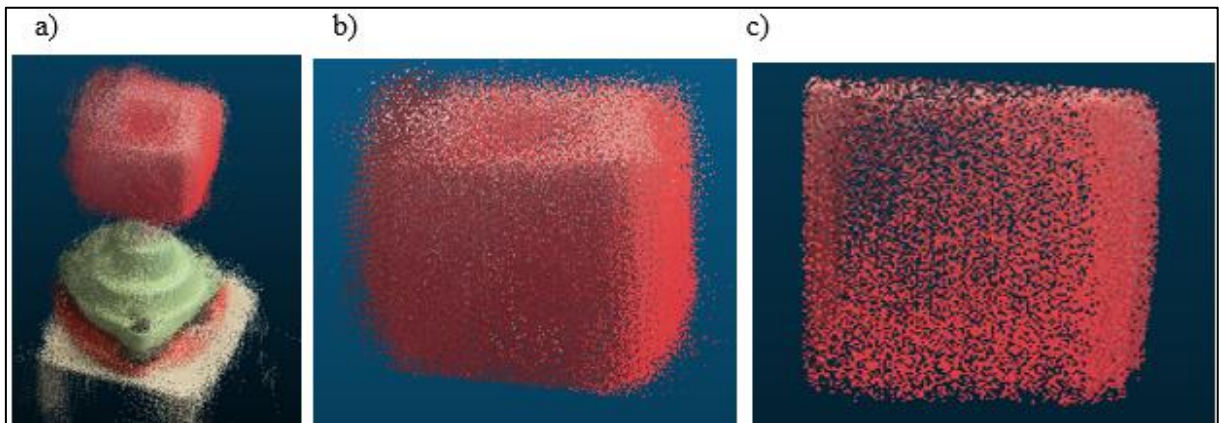
6 RESULTADOS

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos nos experimentos para a avaliação da qualidade posicional das nuvens de pontos geradas, conforme as metodologias propostas nesta pesquisa.

6.1 EXPERIMENTO 1

Inicialmente foi obtida a nuvem de pontos, a qual foi exportada (Figura 31.a), sendo feito em seguida a delimitação da área do cubo (Figura 31.b) e por último obteve-se a nuvem após a aplicação do filtro (Figura 31.c).

Figura 31 – Resultado do levantamento e processamento da superfície do cubo: a) Nuvem de pontos gerada; b) Nuvem delimitada pelo software; c) Nuvem após a aplicação do filtro.



Fonte: O Autor (2024).

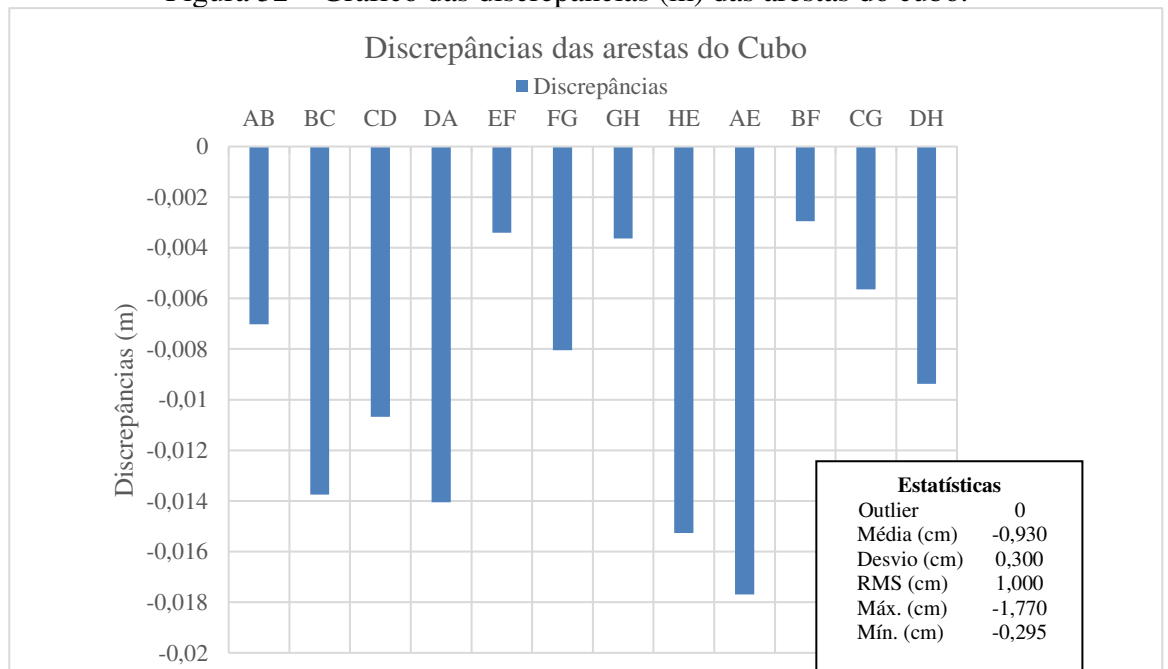
Na Tabela 6 são apresentadas as medidas do cubo realizadas com o paquímetro, bem como as medidas obtidas da nuvem de pontos, e suas respectivas discrepâncias. Além disso, na Figura 32 é possível observar o gráfico das discrepâncias das arestas do cubo.

Tabela 6 – Medidas das arestas e da nuvem de pontos, e suas discrepâncias.

Arestas	Paquímetro (m)	Nuvem de pontos(m)	Discrepâncias(m)
AB	0,09987	0,09285	-0,00702
BC	0,10000	0,08626	-0,01374
CD	0,10001	0,08934	-0,01067
DA	0,10008	0,08602	-0,01406
EF	0,09987	0,09647	-0,00340
FG	0,09988	0,09183	-0,00805
GH	0,09993	0,09630	-0,00363
HE	0,09995	0,08468	-0,01527
AE	0,10034	0,08265	-0,01770
BF	0,10050	0,09755	-0,00295
CG	0,10056	0,09492	-0,00564
DH	0,10028	0,09090	-0,00938

Fonte: O Autor (2024).

Figura 32 – Gráfico das discrepâncias (m) das arestas do cubo.



Fonte: O Autor (2024).

Verifica-se que, nas 12 arestas analisadas utilizando o método do diagrama de *boxplot*, não foram identificados *outliers*, além do RMS obtido ser de 0,01 m (1 cm), bem como as discrepâncias mínima e máxima serem 0,295 cm e 1,770 cm em valor absoluto respectivamente. Além disso, o gráfico revelou que todas as discrepâncias foram negativas, indicando que as medidas das nuvens de pontos foram menores em comparação com as medidas de referência.

6.2 EXPERIMENTO 2

Visando a avaliação e classificação dos produtos gerados pelo *smartphone* e pelo LST em relação aos valores de PEC-PCD e EP, adotou-se a escala de 1:50, conforme apresentado

na Tabela 7. A escolha da escala baseia-se na orientação da NBR 6492, que normatiza a representação de projetos arquitetônicos, orientando que a escala mínima deve ser de 1:100. No entanto, devido à área de estudo ser apenas uma sala de aproximadamente 50 m² e buscando garantir uma análise mais rigorosa dos dados, optou-se por essa escala.

Tabela 7 – Valores de tolerância para avaliação da acurácia posicional planimétrica segundo o Decreto nº 89.817/84 em concordância com a ET-CQDG.

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria		Escala 1:50	
		PEC (mm)	EP* (mm)	PEC (m)	EP* (m)
-	A	0,28 x D	0,17 x D	0,014	0,0085
A	B	0,50 x D	0,30 x D	0,025	0,015
B	C	0,80 x D	0,50 x D	0,04	0,025
C	D	1,00 x D	0,60 x D	0,05	0,03

Fonte: O Autor (2024).

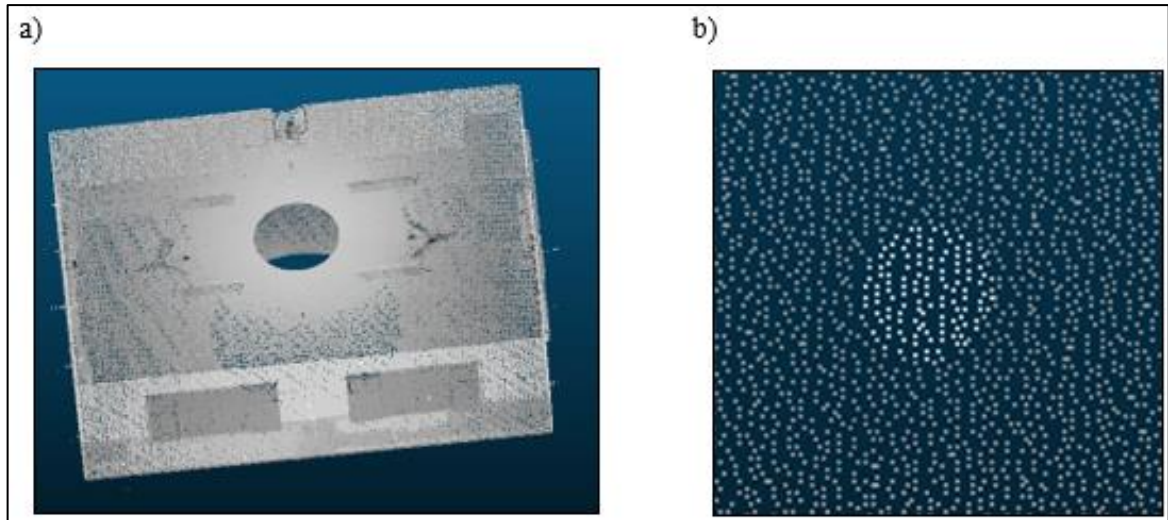
Para comparar as medidas do *smartphone* com as do LST, foram utilizadas feições pontuais, com base nas distâncias entre os alvos, e feições lineares, comparando as linhas das paredes 1, quadro de giz, parede 3 e parede 4. Entretanto, antes de apresentar os resultados da nuvem de pontos gerada pelo *smartphone*, foi necessário validar o levantamento do LST para este poder ser utilizado como referência.

6.2.1 Resultados do levantamento do LST

Abaixo tem-se a nuvem de pontos gerada pelo LST(Figura 33.a), mostrando uma visão externa da sala e os pontos de um alvo utilizado para a obtenção das distâncias(Figura 33.b).

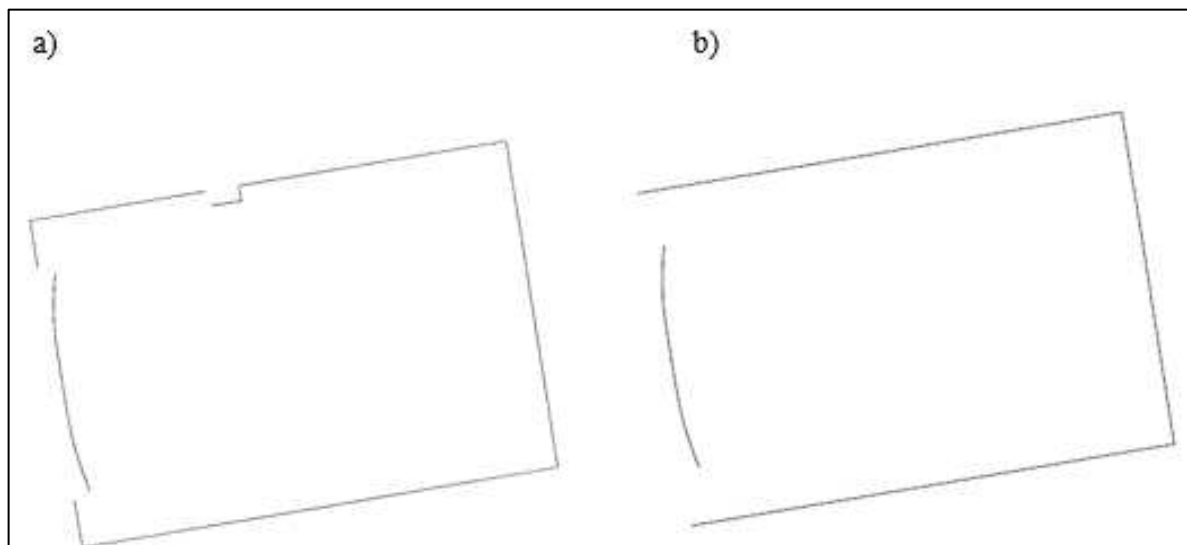
Na Figura 34 é possível observar os pontos e linhas geradas pelo LST.

Figura 33 – Levantamento LST: a) Nuvem de pontos gerada. b) Pontos de um alvo.



Fonte: O Autor (2024).

Figura 34 – Corte da nuvem de pontos obtidas com LST: a) Pontos gerados pelo LST; b) Linhas extraídas dos pontos gerados.



Fonte: O Autor (2024).

Com o objetivo de validar o LST, utilizou-se a metodologia com feição pontual, onde foram obtidas algumas das distâncias dos alvos e suas correspondentes medidas com a trena de aço, obtendo-se assim as discrepâncias (m) conforme a Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação de medições de distâncias entre a trena de aço e nuvens de pontos LST.

De-Para	Distância	LST (m)	Trena de Aço (m)	Discrepância (m)
M1-M2	D1	0,392	0,390	0,002
M3-M4	D2	1,726	1,721	0,005
M2-M6	D3	3,274	3,279	-0,005
M3-M5	D5	1,658	1,657	0,001
M5-M6	D6	1,460	1,462	-0,002
M8-M9	D9	1,310	1,313	-0,003
M9-M11	D10	1,530	1,537	-0,007
M10-M13	D11	1,636	1,629	0,007
M12-M13	D12	0,775	0,774	0,001
M14-M15	D13	0,823	0,823	0,000
M15-M21	D14	1,241	1,245	-0,004
M17-M19	D16	0,951	0,956	-0,005
M21-M22	D20	4,437	4,445	-0,008
M23-M24	D21	0,375	0,372	0,003
M23-M30	D22	3,709	3,716	-0,006
M24-M30	D23	3,679	3,682	-0,003
M25-M26	D24	7,197	7,204	-0,007
M27-M29	D26	1,832	1,837	-0,005
M28-M32	D28	6,905	6,914	-0,009
M29-M30	D29	2,743	2,752	-0,009
M29-M31	D30	1,345	1,342	0,003
M31-M32	D32	0,806	0,808	-0,002
M33-M34	D33	0,984	0,980	0,004
M34-M37	D36	4,421	4,434	-0,013
M35-M36	D37	1,410	1,412	-0,002
M37-M38	D39	0,906	0,913	-0,007

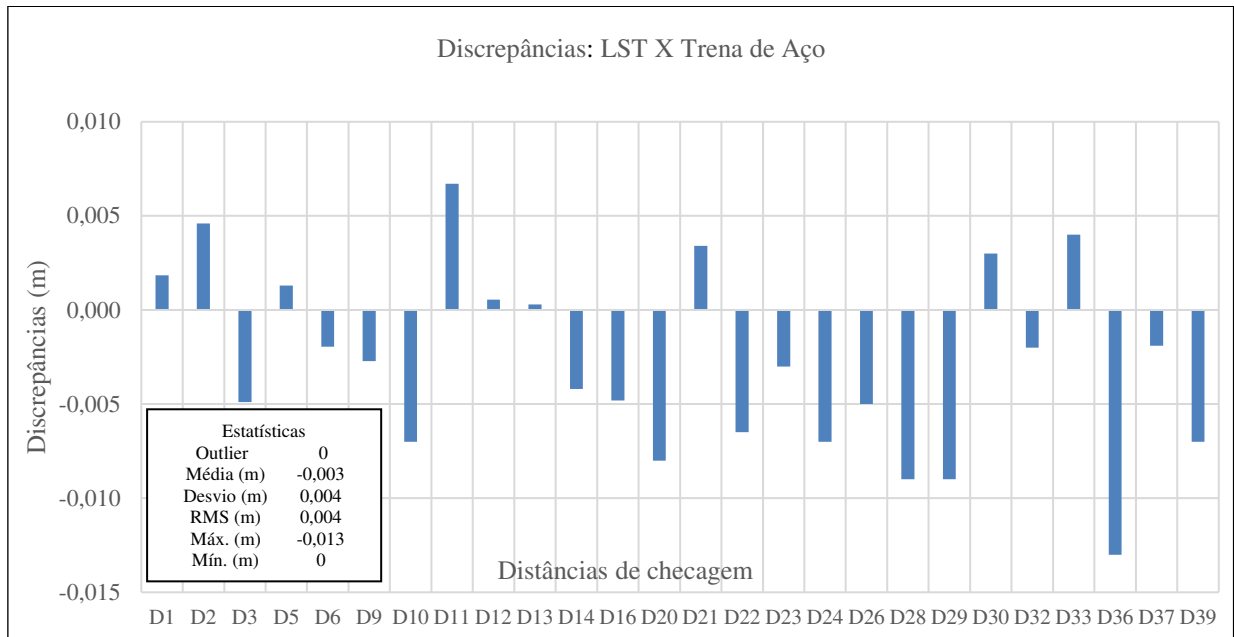
Fonte: O Autor (2024).

Através da Figura 35, pode-se analisar as discrepâncias e as estatísticas descritivas obtidas com a metodologia utilizando feições pontuais.

Como pode ser observado, o RMS foi de 0,004 metros (4mm) e também utilizando o método do diagrama de *boxplot*, não foi detectado nenhum *outlier*. Além disso, as discrepâncias posicionais ficaram entre 0 m e -0,013 m (0 e 13 mm respectivamente) em valor absoluto.

Nesta análise, foi aplicada a metodologia de avaliação da acurácia posicional conforme os subitens da seção “4.5 - Controle de qualidade cartográfica”. Esta metodologia inclui testes de distribuição espacial, detecção de *outliers*, análise de tendência e classificação do produto de acordo com o Decreto 89.817 em conjunto com a ET-CQDG. Sendo assim, a Tabela 9 apresenta os dados estatísticos da amostra mencionada.

Figura 35 – Gráfico das discrepâncias (m), das feições pontuais obtidas com a trena de aço e suas feições homólogas na nuvem do LST.



Fonte: O Autor (2024).

Tabela 9 – Classificação de acordo com o Decreto 89.817/84 e a ET-CQDG para a escala de 1:50 das nuvens de pontos do LST.

Feição	nº de feições	RMS (m)	%(\overline{di}) ≤ PEC-PCD	RMS < EP	Tendência	Classificação
Pontual	26	0,004	100%	sim	não	Classe A

Fonte: O Autor (2024).

Após a análise da acurácia posicional da nuvem de pontos do LST, o produto não apresentou tendência. Além disso, na avaliação das diretrizes do PEC-PCD/ET-CQDG, os dados foram classificados na Classe A, considerando a escala de 1:50, visto que 100% das discrepâncias posicionais foram menores que o valor do PEC-PCD e o RMS também foi menor que o valor do EP, considerando a escala testada.

6.2.2 Teste 1

A seguir, apresentam-se os resultados obtidos para as distâncias de 1 m e 2,5 m em relação às paredes, com o objetivo de avaliar a qualidade posicional das nuvens de pontos geradas.

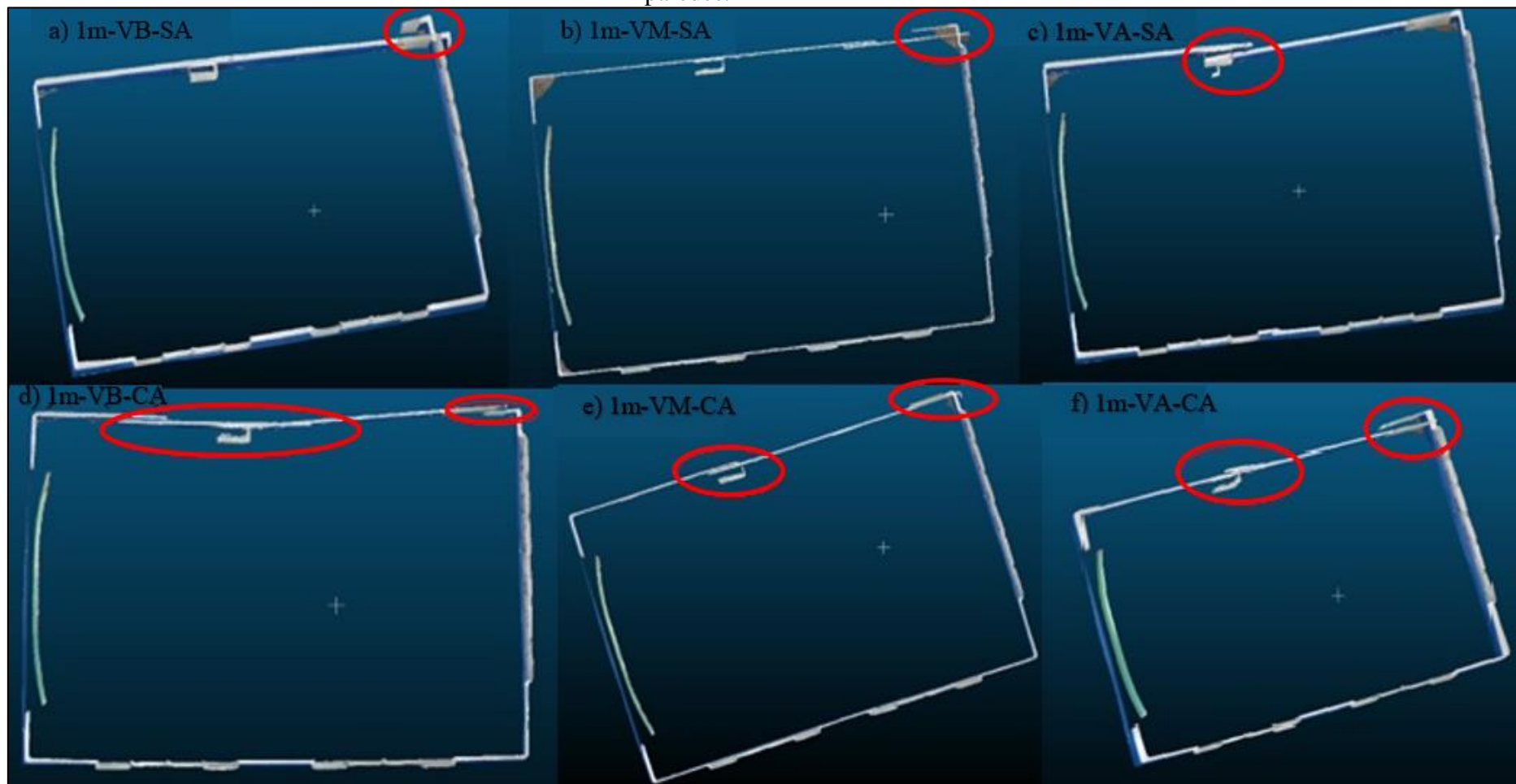
6.2.2.1 Distância 1 metro

Na Figura 36, são apresentadas as nuvens de pontos geradas pelo *smartphone*, utilizando o levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA) para cada velocidade de escaneamento: velocidade baixa (VB), velocidade média (VM) e velocidade alta (VA), sendo todas realizadas a 1 m de distância das paredes.

Inicialmente foi realizada uma análise visual, onde foi constatado o efeito de deriva nas nuvens dos levantamentos. Na Figura 36, foram circuladas as áreas onde ocorrem os efeitos de deriva nas paredes. Percebe-se que todas as nuvens ocorreram o efeito de deriva na parede 1 e em todas as nuvens houve uma separação da superfície, exceto na Figura 36.a, 1m-VB-SA onde não ocorreu uma separação, mas sim um erro de fechamento do levantamento (cruzamento das paredes).

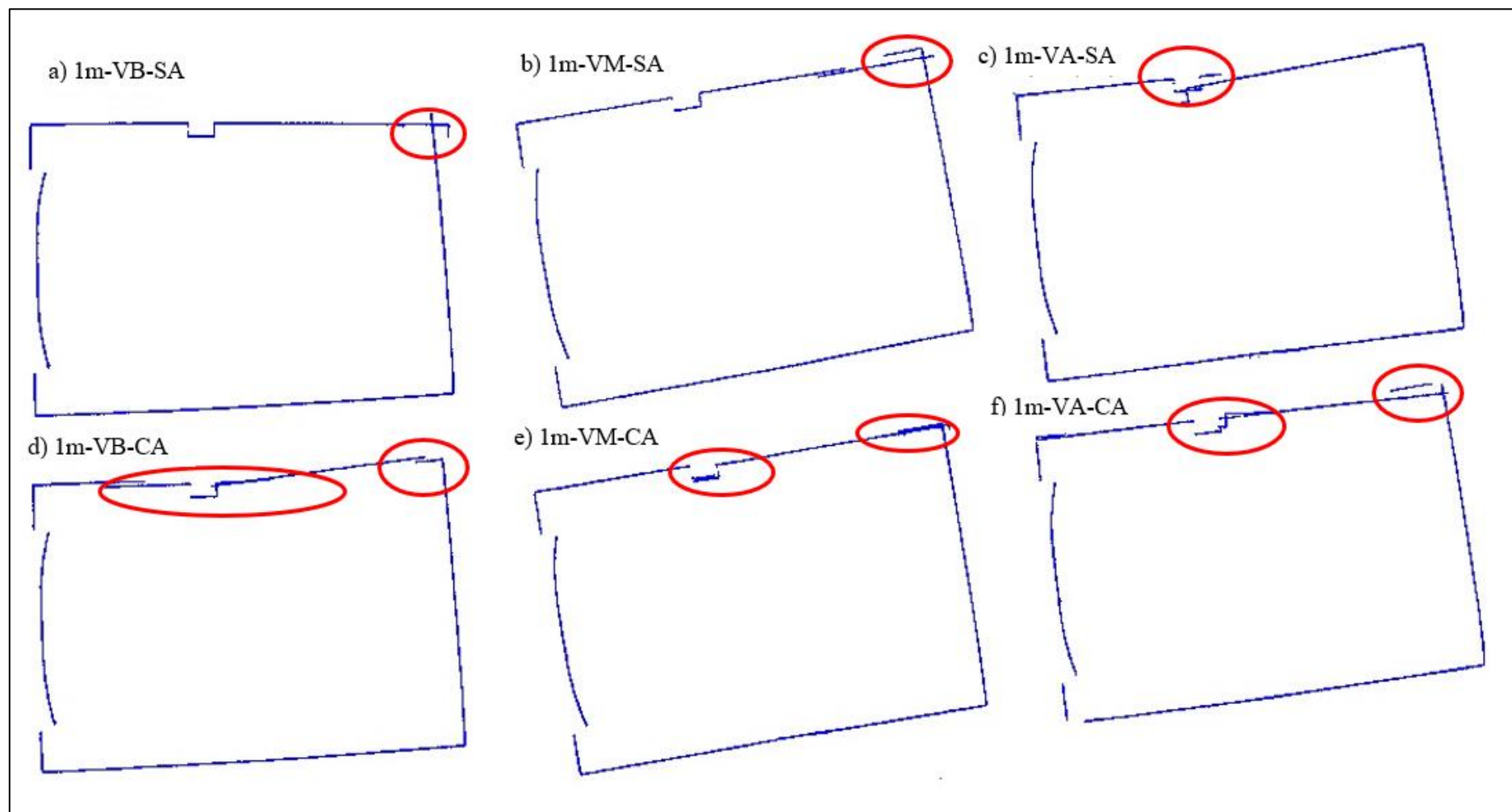
Posteriormente, foram gerados os pontos de cada nuvem, conforme ilustrado na Figura 37. Após a geração dos pontos, foram descartados os pontos da parede 1 de cada nuvem devido ao efeito de deriva. Em seguida, as linhas foram traçadas conforme mostrado na Figura 38. Por fim, foi realizada a comparação entre as linhas extraídas pelo *smartphone* e as linhas obtidas com o LST (Figura 39).

Figura 36 – Nuvens de pontos geradas pelos levantamentos SA e CA, para cada velocidade de escaneamento a 1 m de distância das paredes.



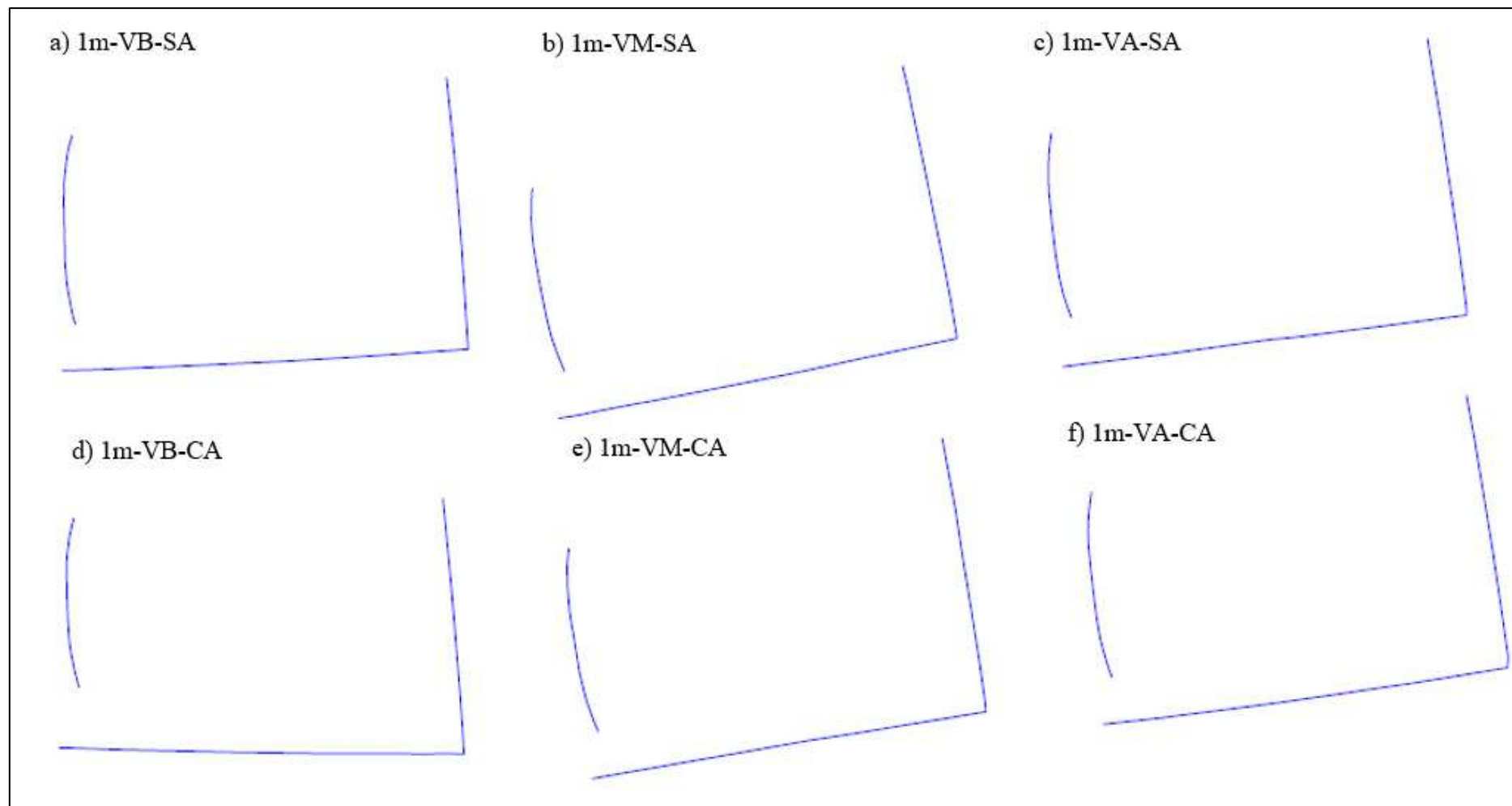
Fonte: O Autor (2024).

Figura 37 – Pontos gerados para extração das feições linhas pelos levantamentos SA e CA, para cada velocidade de escaneamento VB, VM e VA a 1 m de distância das paredes.



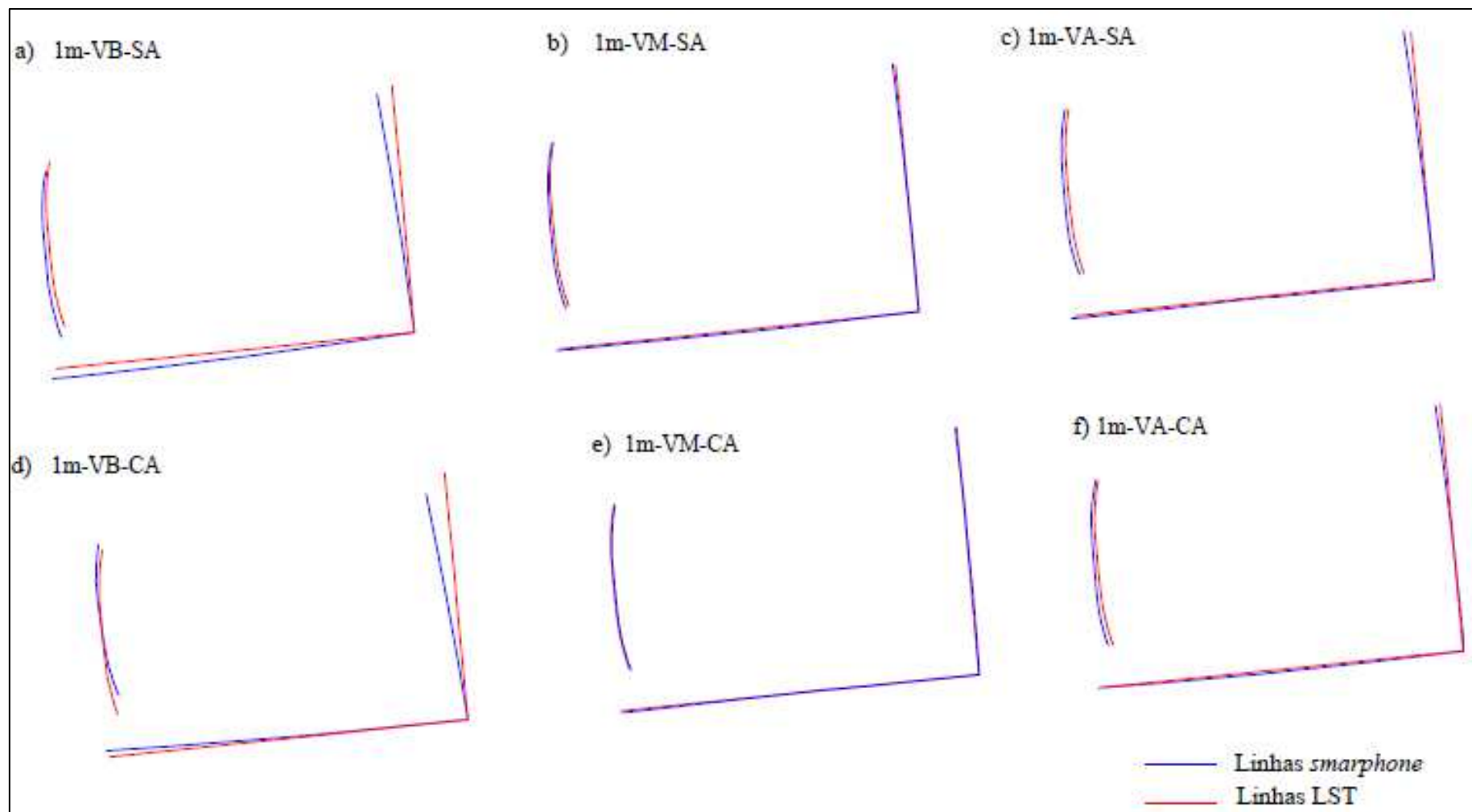
Fonte: O Autor (2024).

Figura 38 – Linhas geradas obtidas pelos pontos da Figura 37.



Fonte: O Autor (2024).

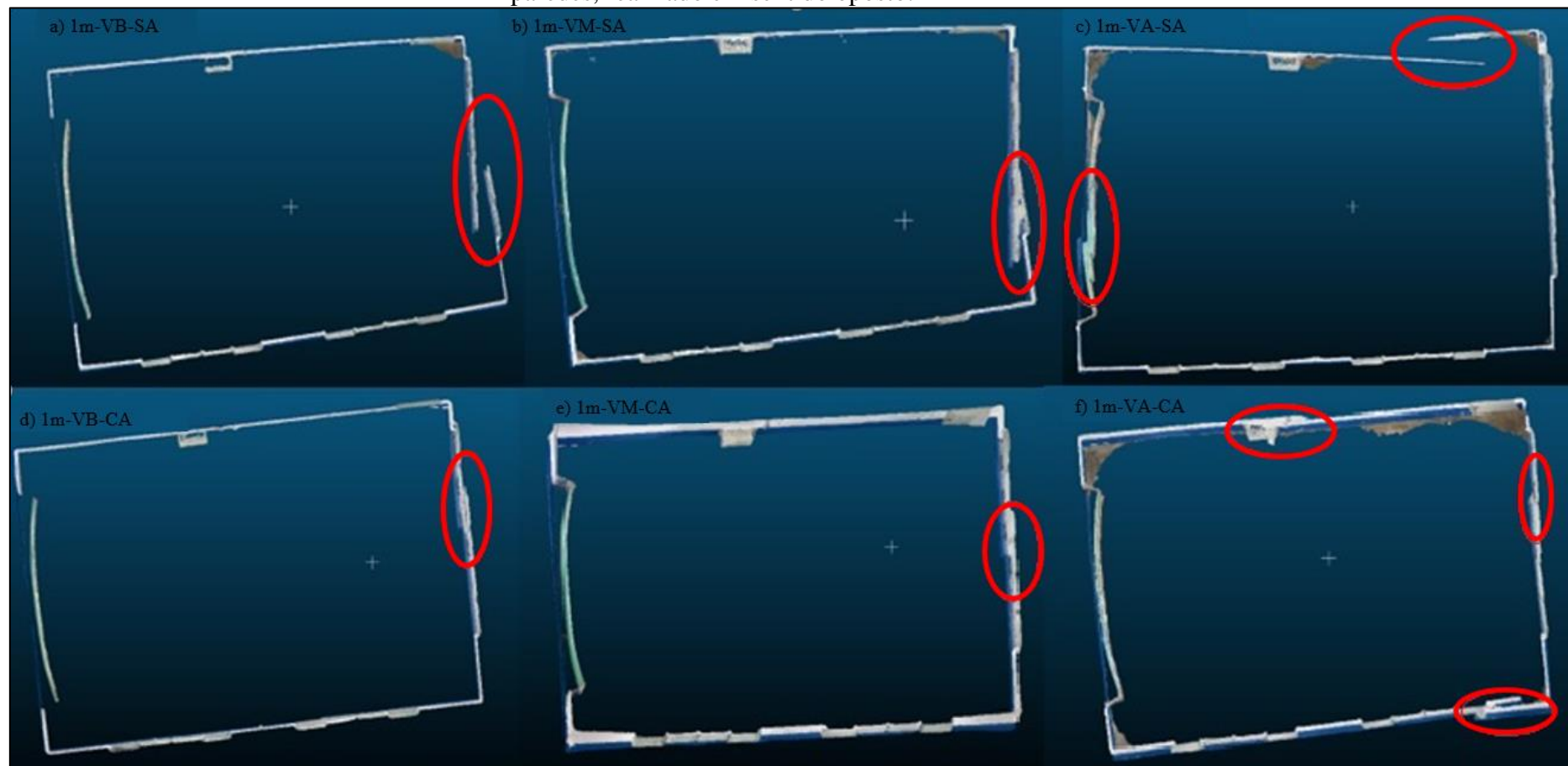
Figura 39 – Comparação das linhas da Figura 38 com a nuvem LST.



Fonte: Autor (2024).

Devido a ocorrência de deriva em todas as nuvens, os mesmos levantamentos foram realizados, só que no sentido oposto, com o objetivo de realizar apenas uma análise visual do comportamento da deriva ao alterar as trajetórias dos escaneamentos. No entanto, a deriva também ocorreu em todas as nuvens, resultando em separações das superfícies. Na Figura 40, pode-se observar que as nuvens de pontos apresentaram deriva na parede 4, onde estão localizadas a parede e a janela, com exceção da Figura 40.c, onde o efeito de deriva ocorreu na parede 1 e na parede 2, onde está localizado o quadro de giz.

Figura 40 – Nuvens de pontos geradas pelos levantamentos SA e CA, para cada velocidade de escaneamento a 1 m de distância das paredes, realizado em sentido oposto.



Fonte: O Autor (2024).

A Tabela 10 e a Figura 41 apresentam os valores das discrepâncias dos levantamentos sem acessório e com acessório com distância de 1 m das paredes (Figura 36), obtidas pela metodologia com feição pontual. Inicialmente, foram obtidas as distâncias entre os alvos (pontos de checagem) nas nuvens de pontos apresentadas e posteriormente, obteve-se as discrepâncias em relação às medidas de referência no LST. Devido ao efeito de deriva na parede 1 em todos os levantamentos, correspondente às distâncias D1 a D12, esses pontos foram retirados. Além disso, o ponto de checagem M35, que corresponde à distância D37 (M35 a M36), também foi retirado devido à dificuldade de identificação nas nuvens.

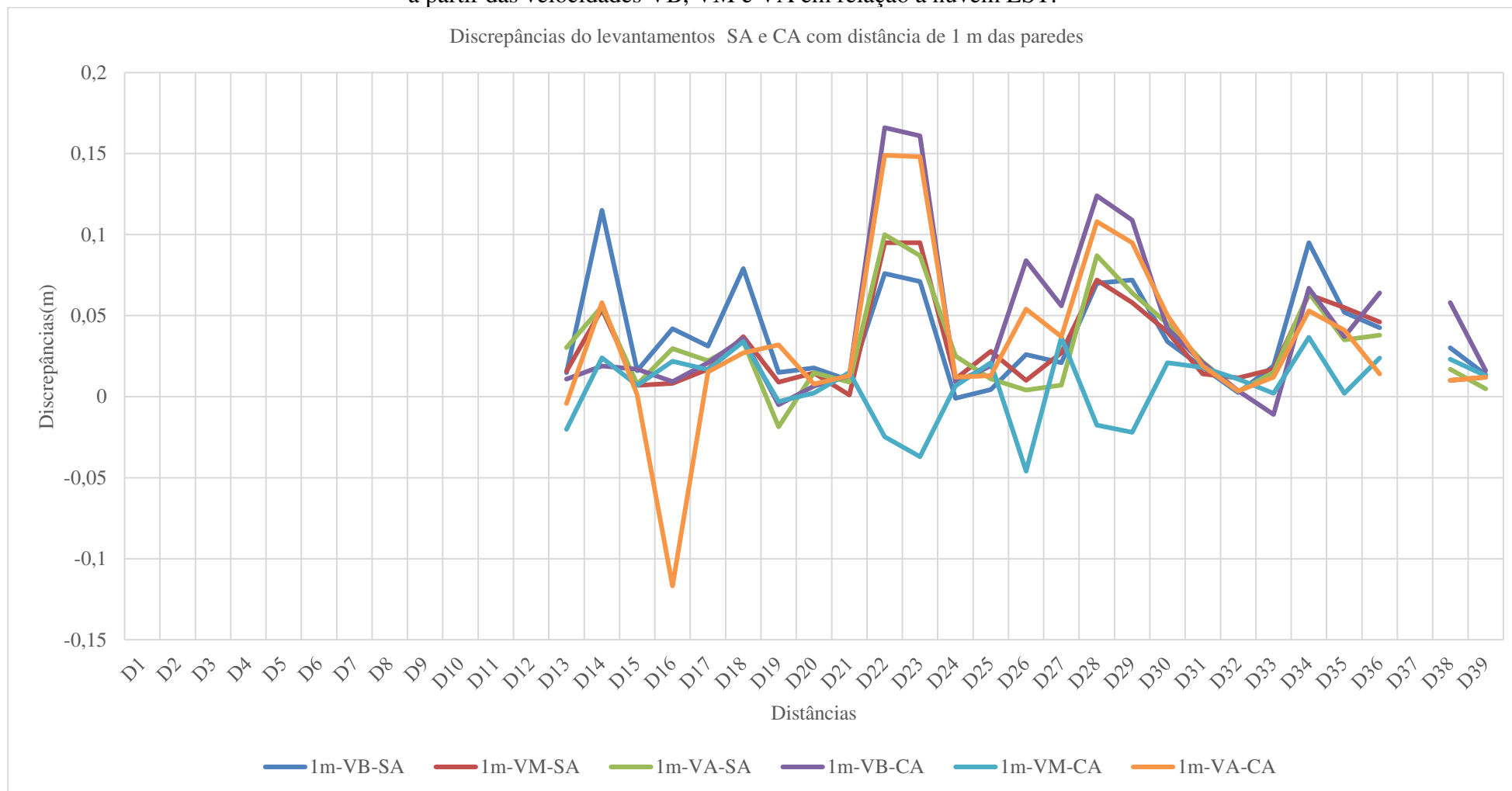
Tabela 10 – Distâncias e suas discrepâncias, em metros, das nuvens com levantamentos sem acessório (SA) e com acessório (CA), com 1 m de distância das paredes, geradas das velocidades VB, VM e VA em relação a nuvem LST.

Levantamentos SA e CA com distância de 1 m das paredes															
Parede	De-Para	Dist.	1m- VB- SA	1m- VM- SA	1m- VA- SA	1m- VB- CA	1m- VM- CA	1m- VA- CA	LST	Disc. 1m-VB- SA	Disc. 1m-VM- SA	Disc. 1m-VA- SA	Disc. 1m-VB- CA	Disc. 1m-VM- CA	Disc. 1m-VA- CA
P1	M1-M2	D1	-	-	-	-	-	-	0,392	-	-	-	-	-	-
	M3-M4	D2	-	-	-	-	-	-	1,726	-	-	-	-	-	-
	M2-M6	D3	-	-	-	-	-	-	3,274	-	-	-	-	-	-
	M2-M12	D4	-	-	-	-	-	-	6,885	-	-	-	-	-	-
	M3-M5	D5	-	-	-	-	-	-	1,658	-	-	-	-	-	-
	M5-M6	D6	-	-	-	-	-	-	1,460	-	-	-	-	-	-
	M4-M7	D7	-	-	-	-	-	-	2,150	-	-	-	-	-	-
	M5-M8	D8	-	-	-	-	-	-	2,696	-	-	-	-	-	-
	M8-M9	D9	-	-	-	-	-	-	1,310	-	-	-	-	-	-
	M9-M11	D10	-	-	-	-	-	-	1,530	-	-	-	-	-	-
	M10-M13	D11	-	-	-	-	-	-	1,636	-	-	-	-	-	-
	M12-M13	D12	-	-	-	-	-	-	0,775	-	-	-	-	-	-
P2	M14-M15	D13	0,966	0,967	0,982	0,962	0,931	0,947	0,951	0,015	0,016	0,030	0,011	-0,020	-0,004
	M15-M21	D14	4,552	4,491	4,493	4,456	4,461	4,495	4,437	0,115	0,054	0,056	0,019	0,024	0,058
	M16-M17	D15	1,164	1,155	1,156	1,165	1,155	1,149	1,148	0,016	0,007	0,008	0,017	0,007	0,001
	M17-M19	D16	1,283	1,249	1,271	1,250	1,263	1,124	1,241	0,042	0,008	0,030	0,009	0,022	-0,117
	M18-M19	D17	1,286	1,272	1,277	1,276	1,272	1,270	1,255	0,031	0,017	0,022	0,021	0,017	0,015
	M16-M20	D18	2,833	2,791	2,788	2,790	2,788	2,781	2,754	0,079	0,037	0,034	0,036	0,034	0,027
	M20-M22	D19	1,358	1,352	1,324	1,338	1,340	1,375	1,343	0,015	0,009	-0,019	-0,005	-0,003	0,032
M21-M22	D20	0,841	0,838	0,838	0,830	0,826	0,831	0,823	0,018	0,015	0,015	0,006	0,002	0,008	
P3	M23-M24	D21	0,816	0,807	0,815	0,819	0,821	0,819	0,806	0,010	0,001	0,009	0,013	0,015	0,013
	M23-M30	D22	7,273	7,292	7,297	7,363	7,172	7,346	7,197	0,076	0,095	0,100	0,166	-0,025	0,149
	M24-M30	D23	6,976	7,000	6,992	7,066	6,868	7,053	6,905	0,071	0,095	0,087	0,161	-0,037	0,148
	M25-M26	D24	1,344	1,356	1,370	1,354	1,352	1,357	1,345	-0,001	0,011	0,025	0,009	0,007	0,012

	M26-M27	D25	1,093	1,117	1,100	1,108	1,110	1,102	1,089	0,004	0,028	0,011	0,019	0,021	0,013
	M27-M29	D26	2,769	2,753	2,747	2,827	2,697	2,797	2,743	0,026	0,010	0,004	0,084	-0,046	0,054
	M26-M28	D27	2,198	2,204	2,184	2,233	2,213	2,214	2,177	0,021	0,027	0,007	0,056	0,037	0,037
	M28-M32	D28	3,779	3,781	3,796	3,833	3,691	3,817	3,709	0,070	0,072	0,087	0,124	-0,018	0,108
	M29-M31	D29	3,751	3,737	3,743	3,788	3,657	3,774	3,679	0,072	0,058	0,064	0,109	-0,022	0,095
	M29-M30	D30	1,866	1,872	1,877	1,874	1,853	1,882	1,832	0,034	0,040	0,045	0,042	0,021	0,050
	M30-M31	D31	0,898	0,894	0,902	0,901	0,898	0,899	0,880	0,018	0,014	0,022	0,021	0,018	0,019
	M31-M32	D32	0,378	0,387	0,379	0,379	0,386	0,379	0,375	0,003	0,012	0,003	0,004	0,011	0,003
	M33-M34	D33	0,925	0,923	0,921	0,895	0,908	0,918	0,906	0,019	0,017	0,015	-0,011	0,002	0,012
	M33-M38	D34	5,482	5,450	5,451	5,454	5,424	5,440	5,387	0,095	0,063	0,064	0,067	0,037	0,053
	M33-M36	D35	3,330	3,333	3,313	3,315	3,280	3,319	3,278	0,052	0,055	0,035	0,037	0,002	0,041
P4	M34-M37	D36	4,464	4,467	4,459	4,485	4,445	4,435	4,421	0,043	0,046	0,038	0,064	0,024	0,014
	M35-M36	D37	-	-	-	-	-	-	1,410	-	-	-	-	-	-
	M36-M38	D38	2,230	2,210	2,217	2,258	2,223	2,210	2,200	0,030	0,010	0,017	0,058	0,023	0,010
	M37-M38	D39	0,998	0,996	0,989	1,000	0,997	0,996	0,984	0,014	0,012	0,005	0,016	0,013	0,012

Fonte: O Autor (2024).

Figura 41 – Gráfico das discrepâncias (m) das distâncias das nuvens de pontos geradas pelo levantamento SA, com 1 m de distância das paredes, a partir das velocidades VB, VM e VA em relação à nuvem LST.



A Tabela 11 apresenta as estatísticas básicas, incluindo o número de *outliers*, média, desvio padrão, RMS, valor máximo e valor mínimo dos resultados obtidos pela metodologia com feições pontuais.

Neste trabalho não foram excluídos os outliers. Como a identificação dos pontos definidores das distâncias de teste e referência não tiveram inconsistência, a discrepâncias observadas são representativas da qualidade das nuvens de pontos.

Tabela 11 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) das análises SA e CA, com 1 m de distância das paredes, obtidas com feições pontuais.

Análises SA e CA com distância de 1 m das paredes							
Lev.	nº de feições	Outlier	Média (m)	Desvio pad. (m)	RMS (m)	Máx. (m)	Mín. (m)
1m-VB-SA	26	0	0,038	0,031	0,049	0,115	-0,001
1m-VM-SA	26	0	0,032	0,027	0,042	0,095	0,001
1m-VA-SA	26	6	0,031	0,030	0,043	0,100	-0,019
1m-VB-CA	26	9	0,044	0,048	0,065	0,166	0,004
1m-VM-CA	26	1	0,006	0,002	0,023	-0,046	0,002
1m-VA-CA	26	9	0,033	0,052	0,061	0,149	0,001

Fonte: O Autor (2024).

Analisando os levantamentos SA (Tabela 11), percebe-se que os números de feições foram os mesmos (26), sendo que 1m-VM-SA, não houve presença de *outliers*, enquanto 1m-VB-SA e 1m-VA-SA apresentaram 8 e 6 *outliers*, respectivamente. Os valores de RMS e desvio padrão ficaram próximos, variando de 0,042 m a 0,049 m e de 0,027 m a 0,031 m, respectivamente, com 1m-VM-SA apresentando valores ligeiramente mais baixos. Os valores máximos e mínimos indicaram que as discrepâncias em 1m-VB-SA e 1m-VA-SA são mais variadas, incluindo variações negativas, enquanto 1m-VM-SA manteve discrepâncias positivas, conforme pode ser observado na Figura 41.

Em relação aos levantamentos CA (Tabela 11), nota-se que o número de feições também foram o mesmo para todos os levantamentos (26). Em relação ao levantamento 1m-VM-CA, houve a presença 1 *outlier*, enquanto 1m-VB-CA e 1m-VA-CA a quantidade foi significativa, chegando a 9 *outliers* cada. O desvio padrão em 1m-VM-CA foi expressivamente menor em comparação a 1m-VB-CA e 1m-VA-CA, e o RMS em 1m-VM-CA foi na ordem de 0,002 m (0,2 cm), enquanto para 1m-VB-CA e 1m-VA-CA na ordem de 0,006 m (0,6 cm). Além disso, os valores máximos das discrepâncias foram maiores para 1m-VB-CA e 1m-VA-CA, enquanto o maior valor de mínimo de discrepância foi obtido em valor

absoluto em 1m-VA-CA, na ordem de 0,117 m (11,7 cm), ocasionando em discrepâncias mais variadas nesses levantamentos, conforme ilustrado na Figura 41.

Dessa forma, verificou-se que os melhores resultados dos levantamentos SA e CA ocorreram para a velocidade média, 1m-VM-SA e 1m-VM-CA. Ao compará-los, observa-se que, embora o levantamento sem acessório (1m-VM-SA) não tenha apresentado *outliers*, o levantamento com acessório (1m-VM-CA), mesmo com a presença de 1 *outlier*, obteve uma média significativamente menor e um RMS também mais baixo, indicando que o uso do acessório resultou em um levantamento mais satisfatório.

Após essa análise, foi realizada a classificação de acordo com o Decreto nº 89.817 de 1984 e a ET-CQDG para a escala 1:50 das nuvens de pontos analisadas. Os resultados obtidos estão detalhados na Tabela 12.

Tabela 12 – Classificação do levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA) com distância de 1 m das paredes.

Análises SA e CA com distância de 1 m das paredes							
Lev.	n° de feições	Feição	RMS (m)	%(dp) < PEC-PCD	RMS <EP	Tendência	Classificação
1m-VB-SA	26	Pontual	0,049	69,23%	Não	Sim	S/C*
1m-VM-SA	26	Pontual	0,042	73,08%	Não	Sim	S/C*
1m-VA-SA	26	Pontual	0,043	76,92%	Não	Sim	S/C*
1m-VB-CA	26	Pontual	0,065	65,38%	Não	Sim	S/C*
1m-VM-CA	26	Pontual	0,023	96,15%	Sim	Não	Classe C
1m-VA-CA	26	Pontual	0,061	65,38%	Não	Sim	S/C*

*Sem Classificação (S/C).

Fonte: O Autor (2024).

Como pode ser visto na Tabela 12, apenas 1m-VM-CA não apresentou tendência, além de possuir 96,15% dos valores das discrepâncias menores que o valor do PEC-PCD e RMS menor que o valor do EP, enquadrando-se na classe C para a escala 1:50. Devido a isso, o produto classificado pode ser considerado acurado para a escala testada. Os demais levantamentos foram avaliados para a classe D, mas não obtiveram classificação.

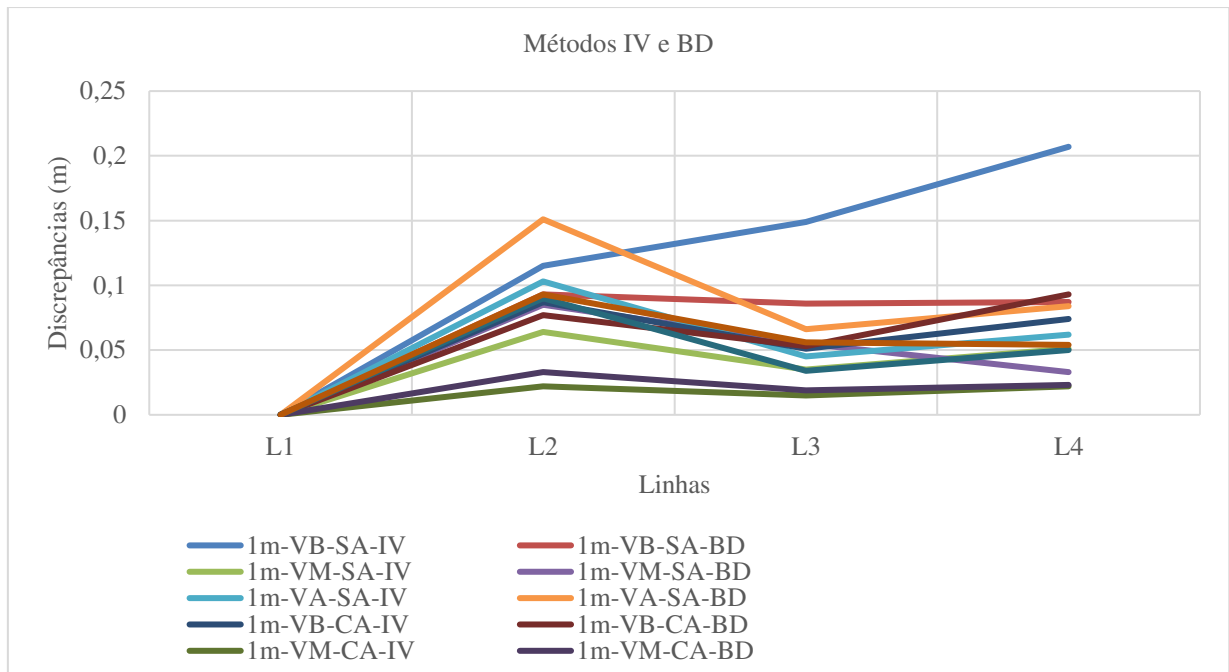
Após realizar a avaliação das feições pontuais, utilizou-se os métodos de feições lineares, Influência do Vértice (IV) e *Buffer Duplo* (BD). Dessa forma, abaixo estão as tabelas, os gráficos e a classificação dos levantamentos sem acessório (SA) com acessório (CA) a 1 m das paredes.

Tabela 13 – Discrepâncias (m) das distâncias das nuvens, com os métodos IV e BD, utilizando os levantamentos SA e CA, com a distância de 1 m das paredes, obtidas das velocidades VB, VM e VA em relação a nuvem LST.

Discrepâncias (m) dos levantamentos SA e CA com distância de 1 m das paredes												
Linha	1m-VB-SA		1m-VM-SA		1m-VA-SA		1m-VB-CA		1m-VM-CA		1m-VA-CA	
	IV	BD	IV	BD	IV	BD	IV	BD	IV	BD	IV	BD
L1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
L2	0,115	0,093	0,064	0,085	0,103	0,151	0,087	0,077	0,022	0,033	0,090	0,093
L3	0,149	0,086	0,035	0,055	0,045	0,066	0,051	0,053	0,015	0,019	0,034	0,056
L4	0,207	0,087	0,051	0,033	0,062	0,084	0,074	0,093	0,022	0,023	0,050	0,054

Fonte: Autor (2024).

Figura 42 – Gráfico das discrepâncias dos métodos de feições Lineares: Métodos IV e BF considerando as velocidades VB, VM, VA.



Fonte: Autor (2024).

As discrepâncias foram obtidas entre as linhas das nuvens dos levantamentos SA e CA em relação às linhas de referência no LST. As linhas L1 foram retiradas devido ao efeito de deriva nas nuvens das paredes 1.

De maneira geral, as maiores discrepâncias foram observadas no levantamento 1m-VB-SA. Em contrapartida, o levantamento 1m-VM-CA apresentou, as menores discrepâncias, com o menor valor no método IV.

Na Tabela 14 são apresentadas as estatísticas principais, incluindo o número de *outliers*, média, desvio padrão, RMS, valor máximo e valor mínimo dos resultados obtidos pelos métodos com feições lineares.

Tabela 14 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) obtidas com feições lineares: Métodos IV e BF dos levantamentos SA e CA.

Análises SA e CA com distância de 1 m das paredes								
Vel.	n° de feições	Método	Outlier	Média (m)	Desvio pad.(m)	RMS (m)	Máx. (m)	Mín. (m)
1m-VB-SA	3	IV	3	0,157	0,047	0,162	0,207	0,115
	3	BD	3	0,088	0,000	0,088	0,093	0,086
1m-VM-SA	3	IV	2	0,050	0,014	0,051	0,064	0,035
	3	BD	2	0,058	0,026	0,061	0,085	0,033
1m-VA-SA	3	IV	2	0,070	0,03	0,074	0,103	0,045
	3	BD	3	0,100	0,045	0,107	0,151	0,066
1m-VB-CA	3	IV	3	0,071	0,019	0,072	0,087	0,051
	3	BD	3	0,074	0,019	0,076	0,093	0,053
1m-VM-CA	3	IV	0	0,020	0,000	0,020	0,022	0,015
	3	BD	0	0,025	0,007	0,026	0,033	0,019
1m-VA-CA	3	IV	2	0,058	0,03	0,063	0,090	0,034
	3	BD	3	0,067	0,021	0,070	0,093	0,054

Fonte: O Autor (2024).

Ao verificar os levantamentos SA (Tabela 14), percebe-se que o levantamento 1m-VM-SA obteve os valores mais baixos em relação a 1m-VB-SA e 1m-VA-SA, com pouca diferença nos valores de RMS de IV e BD, na ordem de 0,051 m e 0,061 m, respectivamente. O levantamento 1m-VB-SA apresentou valores de RMS de 0,162 m para IV e 0,088 m para BD, enquanto 1m-VA-SA obteve valores de 0,074 m para IV e 0,107 m para BD. O maior valor de RMS para o método BD foi em 1m-VB-SA de 0,162 m (16,2 cm), enquanto o maior valor de RMS para o método IV foi em 1m-VA-SA de 0,107m (10,7 cm).

Já nos levantamentos CA (Tabela 14), o levantamento 1m-VM-CA também obteve os valores mais baixos de discrepâncias em comparação a 1m-VB-CA e 1m-VA-CA, com pequena diferença nos valores de RMS nos métodos IV e BD, variando entre 0,020 e 0,026 m, respectivamente. O levantamento 1m-VB-CA apresentou valores de RMS de 0,076 m para o método IV e 0,072 m para o método BD, enquanto 1m-VA-CA obteve valores de 0,070 m para IV e 0,063 m para BD. O maior valor de RMS para o método BD foi em 1m-VB-CA, com 0,072 m, enquanto o maior valor de RMS para o método IV foi também em 1m-VB-CA, com 0,076 m.

Assim, constatou-se que os melhores resultados nos levantamentos SA e CA, assim como ocorreu para as feições pontuais, para feições lineares também foi a velocidade média, nos levantamentos 1m-VM-SA e 1m-VM-CA. Ao comparar os métodos BD e IV (Tabela14), observa-se que o método IV no levantamento com acessório (1m-VM-CA) obteve resultados significativamente melhores, sem *outliers*, com média de 0,020 m e RMS de 0,020 m, em comparação ao levantamento sem acessório (1m-VM-SA), que teve 2 *outliers*, média de 0,050 m e RMS de 0,051 m. O método BD também apresentou desempenho superior no levantamento com acessório, sem *outliers*, com média de 0,025 m e RMS de 0,026 m, em comparação ao levantamento sem acessório (1m-VM-SA), que teve 2 *outliers*, média de 0,058 m e RMS de 0,061 m. Portanto, o uso de acessório, além de não apresentar a presença de *outliers*, obteve menor média e RMS, o que indicou resultados mais satisfatórios, assim como nas feições pontuais.

Posteriormente, procedeu-se a classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para a escala 1:50 das nuvens de pontos analisadas. Os resultados obtidos estão detalhados abaixo.

Tabela 15 – Levantamentos sem acessório (SA) e com acessório (CA) com distância de 1 m das paredes, avaliando com feições lineares.

Análises SA e CA com distância de 1 m das paredes							
Lev.	nº de feições	Método	RMS (m)	%(dp) < PEC-PCD	RMS<EP	Tendência	Classificação
	3	IV	0,162	0%	Não	-	S/C*
1m-VB-SA	3	BD	0,088	0%	Não	-	S/C*
	3	IV	0,051	33,33%	Não	-	S/C*
1m-VM-SA	3	BD	0,061	33,33%	Não	-	S/C*
	3	IV	0,074	33,33%	Não	-	S/C*
1m-VA-SA	3	BD	0,107	0%	Não	-	S/C*
	3	IV	0,072	0%	Não	-	S/C*
1m-VB-CA	3	BD	0,076	0%	Não	-	S/C*
	3	IV	0,020	100%	Sim	-	Classe C
1m-VM-CA	3	BD	0,026	100%	Sim	-	Classe D
	3	IV	0,063	66,67%	Não	-	S/C*
1m-VA-CA	3	BD	0,070	0%	Não	-	S/C*

*Sem Classificação (S/C).

Fonte: O Autor (2024).

Conforme a Tabela 15, apenas o levantamento 1m-VM-CA obteve classificação, obtendo a classe C para o método IV e classe D para o método BD, ambos na escala 1:50, pois

foram os únicos que atenderam os critérios do Decreto n° 89817/84 em conjunto com a ET-CQDG para serem considerados acurados posicionalmente. Os demais levantamentos foram avaliados para a classe D, mas não obtiveram classificação. Ressalta-se que a tendência não foi verificada pelo GeoPEC, visto que se trata de feições lineares e conforme já dito anteriormente, o software não é eficiente para essa análise com esse tipo de feição.

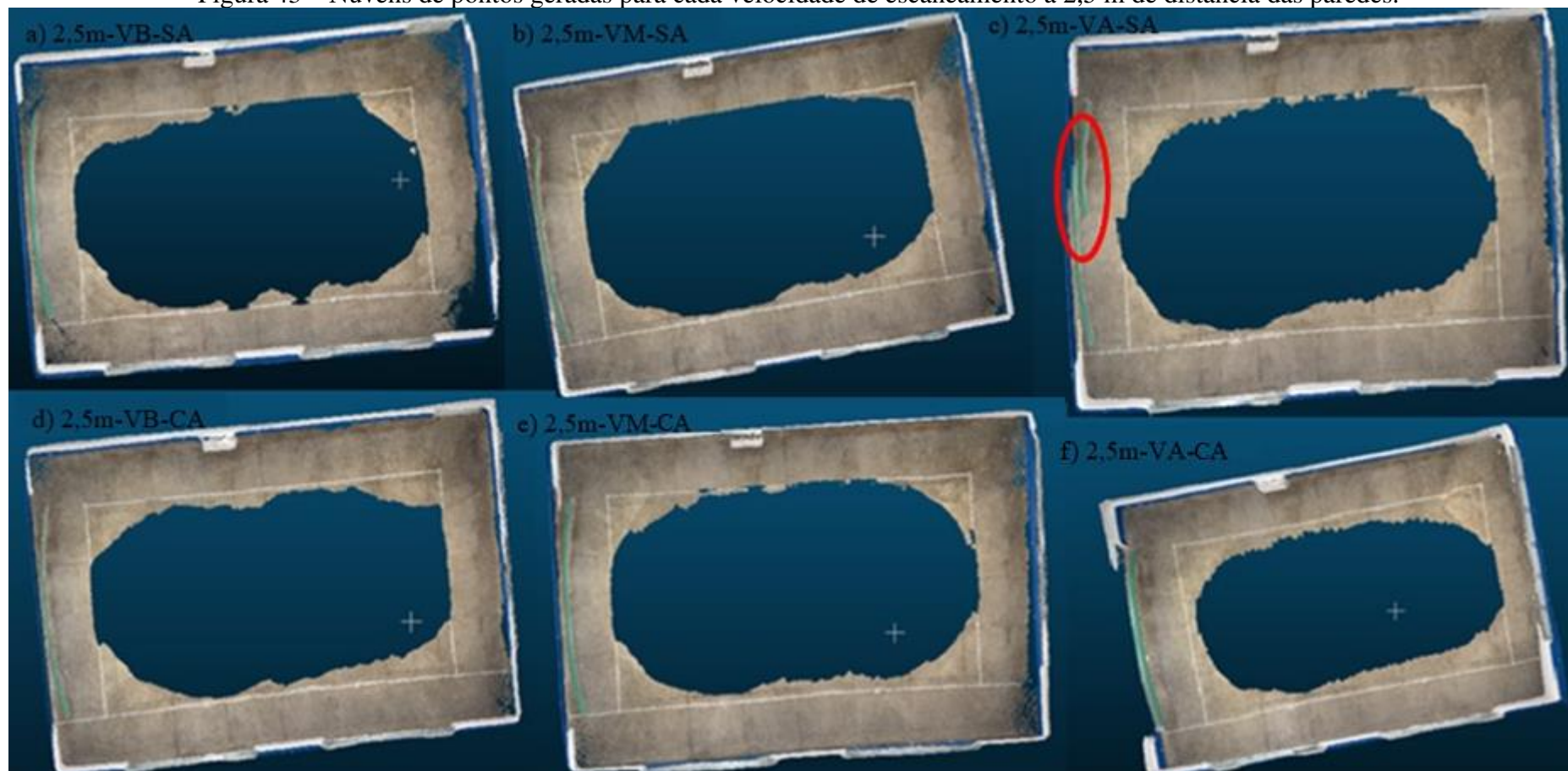
6.2.2.2 Distância 2,5 metros

Na Figura 43, é apresentada as nuvens de pontos geradas pelo *smartphone*, utilizando o levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA), para cada velocidade de escaneamento: velocidade baixa (VB), velocidade média (VM) e velocidade alta (VA), na distância de 2,5 m das paredes.

Primeiramente, foi realizada uma análise visual, na qual foi observado um efeito de deriva no levantamento 2,5m-VA-SA, localizado na parede 2, junto com quadro de giz, resultando na geração de duas superfícies, conforme indicado na Figura 43.c

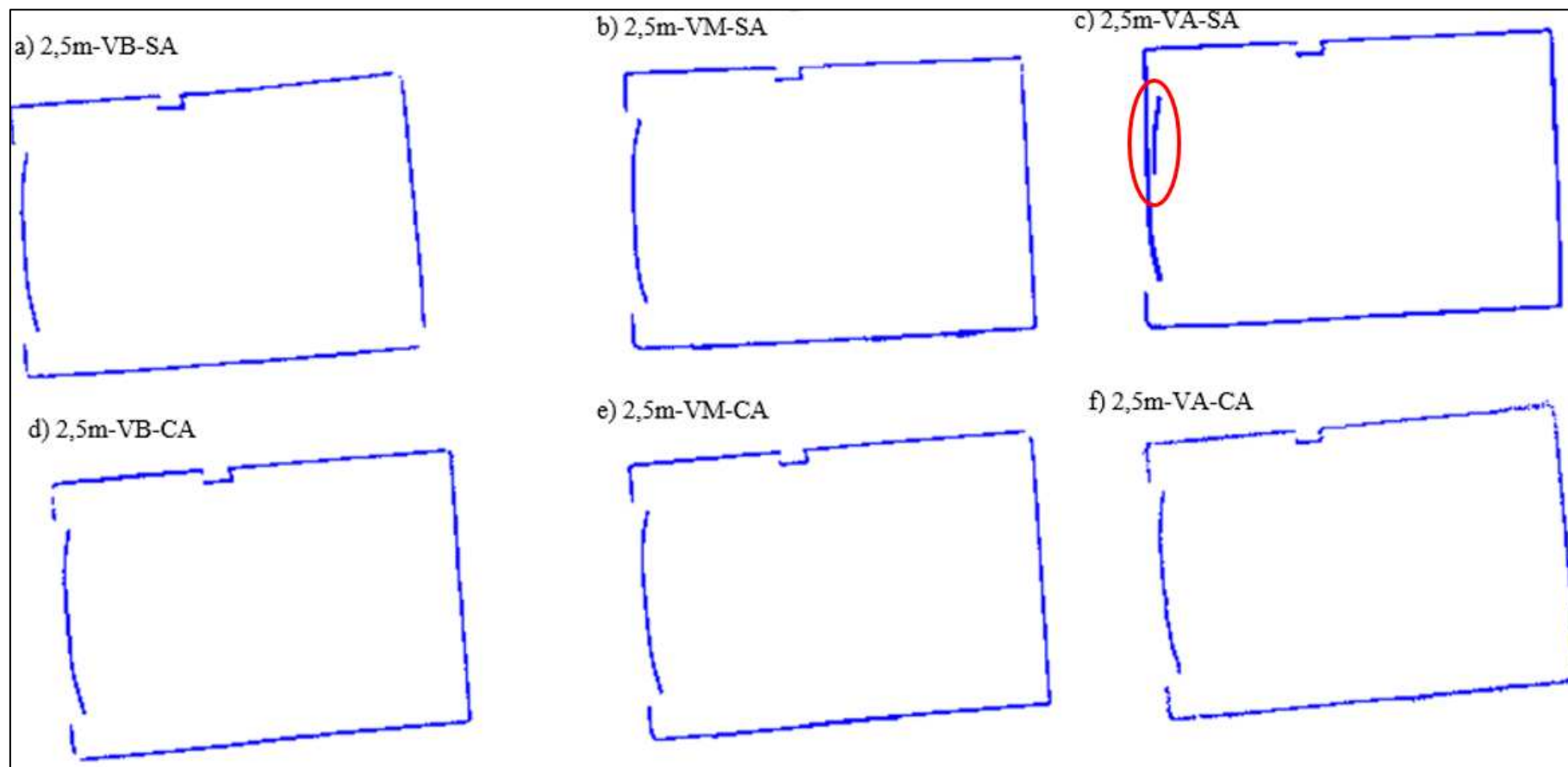
A partir daí, foram gerados os pontos de cada nuvem, como ilustrado na Figura 44. Após a geração dos pontos, foram descartados os pontos do quadro de giz. Em seguida, as linhas foram traçadas, conforme apresentado na Figura 45. Por fim, realizou-se a comparação entre as linhas extraídas pelo *smartphone* e as linhas obtidas com o LST (Figura 46).

Figura 43 – Nuvens de pontos geradas para cada velocidade de escaneamento a 2,5 m de distância das paredes.



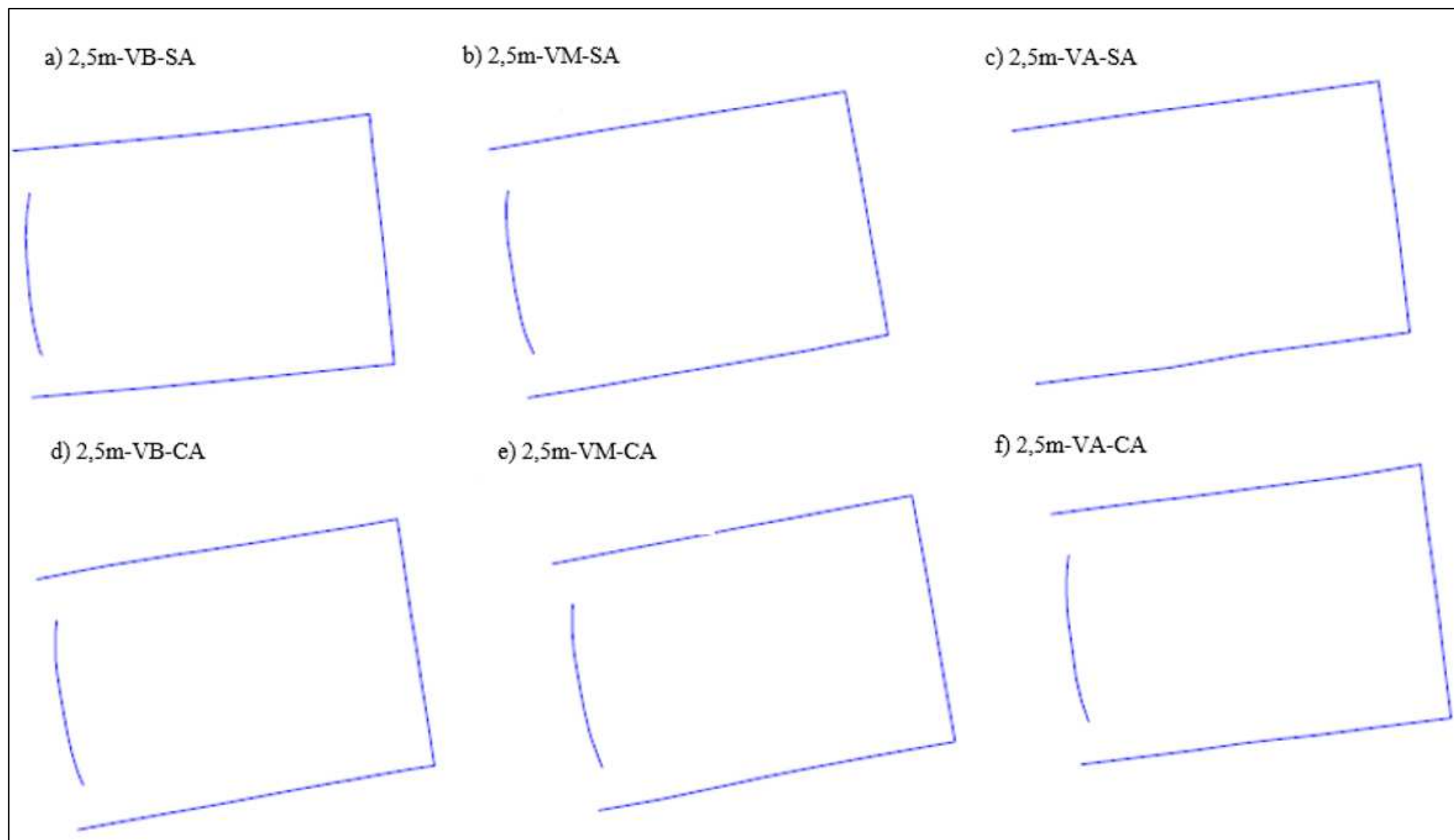
Fonte: Autor (2024).

Figura 44 – Pontos gerados para extração das feições linhas pelos levantamentos SA e CA, para cada velocidade de escaneamento a 2,5 m de distância das paredes.



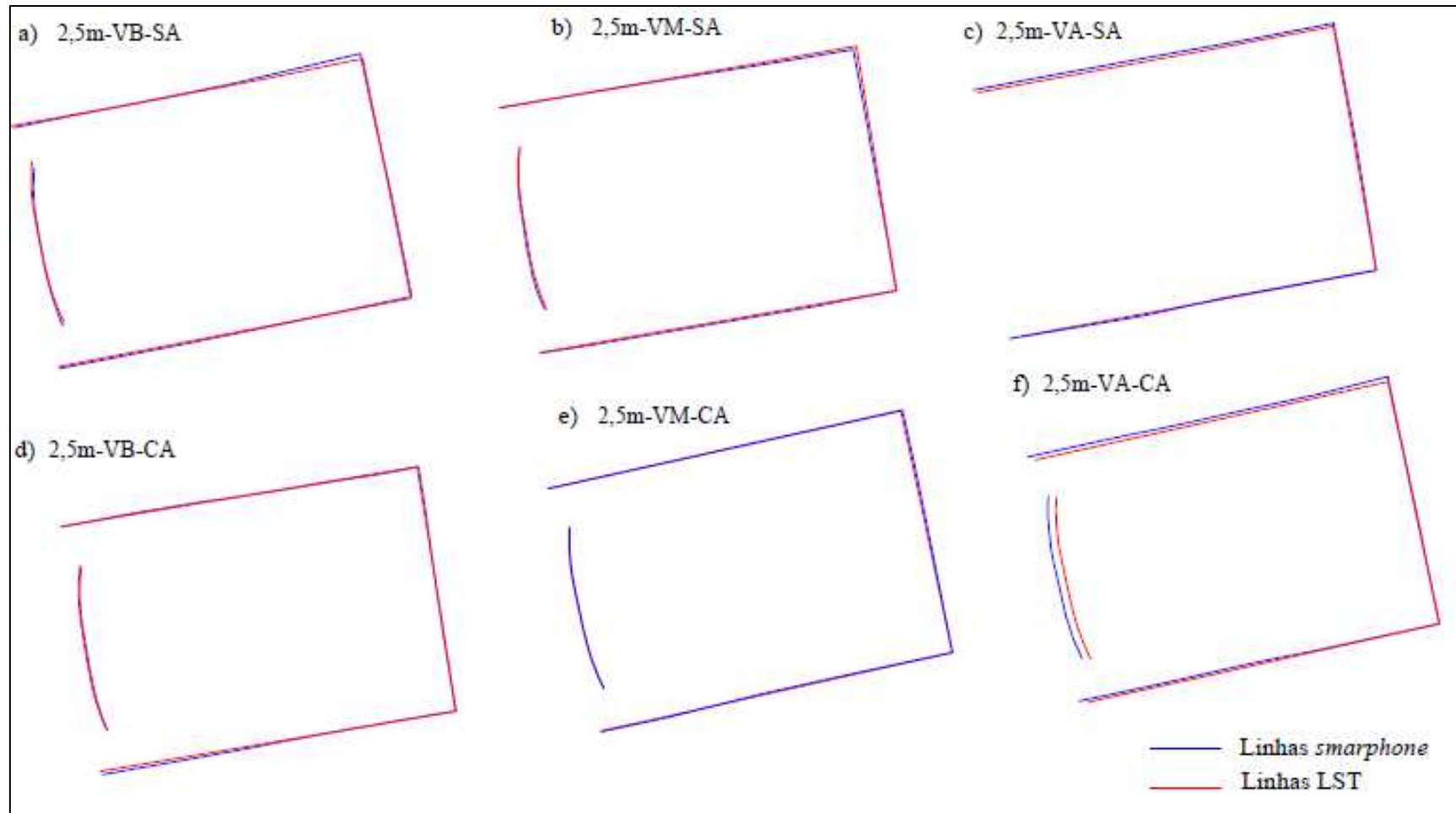
Fonte: O Autor (2024).

Figura 45 – Linhas geradas pelos pontos da Figura 44.



Fonte: O Autor (2024).

Figura 46 – Comparação das linhas da Figura 45 com o LST.



Fonte: O Autor (2024)

A Tabela 16 e a Figura 47 apresentam os valores das discrepâncias dos levantamentos sem acessório e com acessório com distância de 2,5 m das paredes, obtidas pela metodologia com feição pontual. Inicialmente, foram obtidas as distâncias entre os alvos (pontos de checagem) nas nuvens e posteriormente, obteve-se as discrepâncias em relação às medidas de referência no LST.

No levantamento 2,5m-VA-SA, foi observada um efeito de deriva na parede 2 (P2), que corresponde às distâncias D13 a D20. Devido ao fato, esses pontos foram excluídos da análise. No levantamento 2,5m-VB-SA, o alvo de checagem M6 apresentou dificuldades de identificação, o que resultou na exclusão das distâncias D3 (M2 a M6) e D6 (M5 a M6). Adicionalmente, no levantamento 2,5m-VB-CA, o alvo M14, correspondente à distância D13 (M14 a M15) e no levantamento 2,5m-VA-CA, o alvo M38, associado às distâncias D34 (M33-M38), D38 (M36 a M38) e D39 (M37 a M38), também foram removidos pela mesma razão.

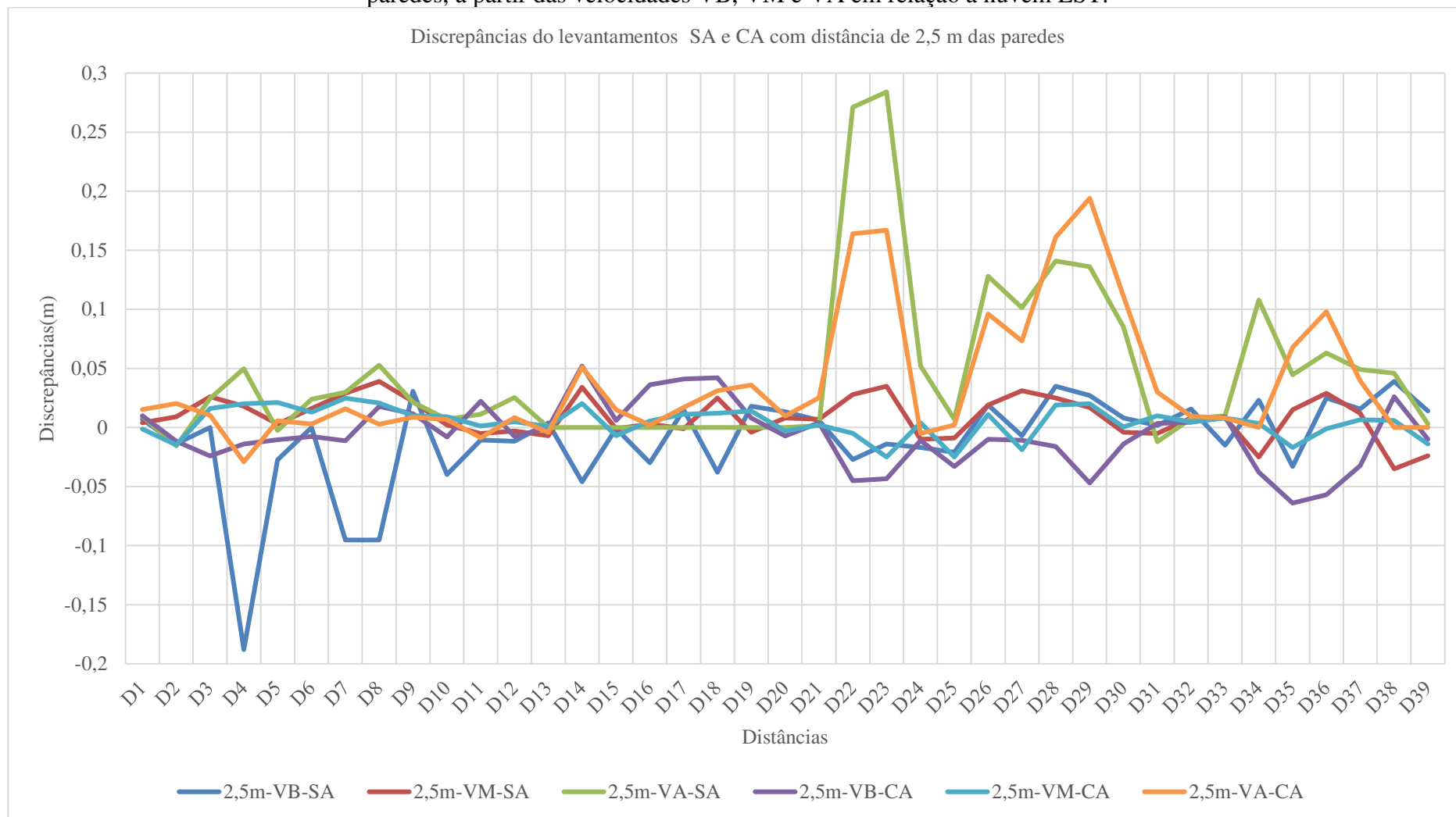
Tabela 16 – Distâncias e suas discrepâncias, em metros, das nuvens com levantamentos sem acessório (SA) e com acessório (CA), com 2,5 m de distância das paredes, geradas das velocidades VB, VM e VA em relação a nuvem LST.

Levantamento SA e CA com distância de 2,5 m das paredes															
Parede	De-Para	Dist.	2,5m- VB- SA	2,5m- VM- SA	2,5m- VA- SA	2,5m- VB- CA	2,5m- VM- CA	2,5m- VA- CA	LST	Disc. 2,5m- VB-SA	Disc. 2,5m- VM-SA	Disc. 2,5m- VA-SA	Disc. 2,5m- VB-CA	Disc. 2,5m- VM-CA	Disc. 2,5m- VA-CA
P1	M1-M2	D1	0,399	0,396	0,401	0,402	0,391	0,407	0,392	0,007	0,004	0,010	0,010	-0,001	0,015
	M3-M4	D2	1,712	1,735	1,710	1,714	1,711	1,746	1,726	-0,014	0,009	-0,016	-0,012	-0,015	0,020
	M2-M6	D3	-	3,300	3,299	3,250	3,290	3,284	3,274	-	0,026	0,025	-0,024	0,016	0,010
	M2-M12	D4	6,697	6,903	6,929	6,871	6,905	6,856	6,885	-0,188	0,018	0,044	-0,014	0,020	-0,029
	M3-M5	D5	1,631	1,661	1,656	1,648	1,680	1,664	1,658	-0,027	0,003	-0,003	-0,010	0,021	0,006
	M5-M6	D6	-	1,476	1,484	1,452	1,473	1,463	1,460	-	0,016	0,024	-0,008	0,013	0,003
	M4-M7	D7	2,055	2,179	2,180	2,139	2,175	2,166	2,150	-0,095	0,029	0,030	-0,011	0,025	0,016
	M5-M8	D8	2,601	2,735	2,749	2,714	2,717	2,699	2,696	-0,095	0,039	0,053	0,018	0,021	0,003
	M8-M9	D9	1,341	1,332	1,332	1,322	1,320	1,319	1,310	0,031	0,022	0,021	0,012	0,010	0,009
	M9-M11	D10	1,490	1,532	1,537	1,522	1,539	1,537	1,530	-0,040	0,002	0,007	-0,008	0,009	0,007
	M10-M13	D11	1,625	1,630	1,647	1,658	1,637	1,627	1,636	-0,011	-0,005	0,011	0,022	0,001	-0,009
	M12-M13	D12	0,763	0,772	0,800	0,767	0,780	0,783	0,775	-0,012	-0,003	0,025	-0,008	0,005	0,008
P2	M14-M15	D13	0,955	0,944	-	-	0,952	0,947	0,951	0,004	-0,007	-	-	0,001	-0,004
	M15-M21	D14	4,391	4,471	-	4,489	4,457	4,488	4,437	-0,046	0,034	-	0,052	0,020	0,051
	M16-M17	D15	1,147	1,147	-	1,154	1,141	1,163	1,148	-0,001	-0,001	-	0,006	-0,007	0,015
	M17-M19	D16	1,211	1,244	-	1,277	1,246	1,243	1,241	-0,030	0,003	-	0,036	0,006	0,002
	M18-M19	D17	1,270	1,254	-	1,296	1,266	1,272	1,255	0,015	-0,001	-	0,041	0,011	0,017
	M16-M20	D18	2,716	2,779	-	2,796	2,766	2,785	2,754	-0,038	0,025	-	0,042	0,012	0,031
	M20-M22	D19	1,361	1,339	-	1,351	1,357	1,379	1,343	0,018	-0,004	-	0,008	0,014	0,036
	M21-M22	D20	0,837	0,831	-	0,816	0,820	0,833	0,823	0,013	0,008	-	-0,007	-0,003	0,010
P3	M23-M24	D21	0,812	0,813	0,808	0,810	0,808	0,831	0,806	0,006	0,007	0,002	0,004	0,002	0,025
	M23-M30	D22	7,170	7,225	7,468	7,152	7,192	7,361	7,197	-0,027	0,028	0,271	-0,045	-0,005	0,164
	M24-M30	D23	6,891	6,940	7,189	6,862	6,880	7,072	6,905	-0,014	0,035	0,284	-0,043	-0,025	0,167
	M25-M26	D24	1,328	1,335	1,397	1,334	1,349	1,340	1,345	-0,017	-0,01	0,052	-0,011	0,004	-0,005

	M26-M27	D25	1,068	1,080	1,096	1,056	1,064	1,091	1,089	-0,021	-0,009	0,007	-0,033	-0,025	0,002
	M27-M29	D26	2,762	2,762	2,871	2,733	2,754	2,839	2,743	0,019	0,019	0,128	-0,010	0,011	0,096
	M26-M28	D27	2,170	2,208	2,278	2,166	2,158	2,250	2,177	-0,007	0,031	0,101	-0,011	-0,019	0,073
	M28-M32	D28	3,744	3,734	3,850	3,693	3,728	3,870	3,709	0,035	0,025	0,141	-0,016	0,019	0,161
	M29-M31	D29	3,706	3,696	3,815	3,632	3,699	3,873	3,679	0,027	0,017	0,136	-0,047	0,020	0,194
	M29-M30	D30	1,840	1,828	1,917	1,818	1,833	1,943	1,832	0,008	-0,004	0,085	-0,014	0,000	0,111
	M30-M31	D31	0,882	0,875	0,868	0,883	0,890	0,910	0,880	0,002	-0,005	-0,012	0,003	0,010	0,030
	M31-M32	D32	0,391	0,383	0,383	0,380	0,380	0,385	0,375	0,016	0,008	0,007	0,005	0,005	0,010
	M33-M34	D33	0,891	0,914	0,916	0,915	0,914	0,914	0,906	-0,015	0,008	0,010	0,009	0,008	0,008
	M33-M38	D34	5,410	5,362	5,495	5,349	5,390	-	5,387	0,023	-0,025	0,108	-0,038	0,003	-
	M33-M36	D35	3,245	3,293	3,323	3,214	3,261	3,346	3,278	-0,033	0,015	0,045	-0,064	-0,017	0,068
P4	M34-M37	D36	4,446	4,450	4,484	4,364	4,420	4,519	4,421	0,025	0,029	0,063	-0,057	-0,001	0,098
	M35-M36	D37	1,426	1,422	1,459	1,378	1,417	1,450	1,410	0,016	0,012	0,049	-0,032	0,007	0,040
	M36-M38	D38	2,239	2,165	2,246	2,226	2,206	-	2,200	0,039	-0,035	0,046	0,026	0,006	-
	M37-M38	D39	0,998	0,960	0,987	0,974	0,970	-	0,984	0,014	-0,024	0,003	-0,010	-0,014	-

Fonte: O Autor (2024).

Figura 47 – Gráfico das discrepâncias (m) das distâncias das nuvens de pontos geradas pelos levantamentos SA e CA, com 2,5 m de distância das paredes, a partir das velocidades VB, VM e VA em relação à nuvem LST.



Fonte: O Autor (2024).

Na Tabela 17 estão contidas as estatísticas principais, incluindo o número de *outliers*, média, desvio padrão, RMS, valor máximo e valor mínimo dos resultados obtidos utilizando feições pontuais.

Tabela 17 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) do levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA), a 2,5 m de distância das paredes, obtidas com feições pontuais.

Análises SA e CA com distância de 2,5 m das paredes							
Lev.	Nº de feições	<i>Outlier</i>	Média (m)	Desvio pad. (m)	RMS (m)	Máx. (m)	Mín. (m)
2,5m-VB-SA	37	4	-0,011	0,043	0,044	-0,188	-0,001
2,5m-VM-SA	39	0	0,009	0,017	0,019	0,039	-0,001
2,5m-VA-SA	31	13	0,057	0,073	0,092	0,284	0,003
2,5m-VB-CA	38	4	-0,006	0,027	0,028	-0,064	0,003
2,5m-VM-CA	39	0	0,004	0,013	0,013	0,025	0,001
2,5m-VA-CA	36	10	0,041	0,056	0,069	0,194	0,002

Fonte: O Autor (2024).

Através da Tabela 17, observa-se que, entre os levantamentos SA, o 2,5m-VA-SA obteve o menor número de feições, sendo 31, mas ainda assim apresentou a maior presença de *outliers*, chegando a 13. Este levantamento também teve o maior valor de maior média, desvio padrão e RMS em relação aos outros levantamentos SA. O levantamento 2,5m-VM-SA além de não apresentar *outlier*, obteve o menor resultado de RMS, sendo abaixo de 2 cm (0,019 m). Já em 2,5m-VB-SA apresentou 4 *outliers* e uma discrepância posicional máxima de 0,188 m, em valor absoluto.

Nos levantamentos CA (Tabela 17), nota-se que 2,5m-VA-CA também obteve a maior quantidade de *outliers*, um total de 10. Este levantamento também obteve a maior média, desvio padrão e RMS em relação aos outros levantamentos CA. Por outro lado, o levantamento 2,5m-VM-CA obteve os valores mais baixos, sem a presença de *outliers*, com uma média de discrepância posicional de 0,004 m (4 cm) e o desvio padrão e RMS na ordem de 1 cm. Já levantamento 2,5m-VB-CA apresentou valores intermediários de forma geral, além de apresentar 4 *outliers*.

Dessa forma, verificou-se que os melhores resultados dos levantamentos SA e CA ocorreram para a velocidade média, 2,5m-VM-SA e 2,5m-VM-CA. Ao compará-los, observa-se que tanto os levantamentos SA e CA não apresentaram *outliers*. No entanto, o levantamento CA obteve uma média menor e um RMS mais baixo, indicando um resultado mais satisfatório.

Já na Tabela 18, estão contidas as classificações de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para a escala 1:50 para as nuvens de pontos analisadas.

Tabela 18 – Levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA) com distância de 2,5 m das paredes.

Análises SA e CA com distância de 2,5 m das paredes							
Lev.	nº de feições	Feição	RMS (m)	%(dp) < PEC-PCD	RMS <EP	Tendência	Classificação
2,5m-VB-SA	37	Pontual	0,044	91,89%	Não	Não	S/C*
2,5m-VM-SA	39	Pontual	0,019	100%	Sim	Não	Classe C
2,5m-VA-SA	31	Pontual	0,092	64,52%	Não	Sim	S/C*
2,5m-VB-CA	38	Pontual	0,028	92,10%	Sim	Não	Classe D
2,5m-VM-CA	39	Pontual	0,013	94,87%	Sim	Não	Classe B
2,5m-VA-CA	36	Pontual	0,069	72,22%	Não	Sim	S/C*

Fonte: O Autor (2024).

Na Tabela 18, verificou-se que apenas os levantamentos 2,5m-VA-SA e 2,5m-VA-CA apresentaram tendência. O levantamento 2,5m-VB-SA apresentou mais de 90% das discrepâncias menores que o PEC-PCD, mas o RMS não foi inferior ao EP. Já os levantamentos 2,5m-VM-SA, 2,5m-VB-CA e 2,5m-VM-CA apresentaram mais de 90% das discrepâncias menores que o PEC-PCD e RMS inferior ao EP, sendo classificados, respectivamente, nas classes C, D e B, para a escala 1:50. Assim, os produtos classificados podem ser considerados acurados posicionalmente para a escala testada. Os demais levantamentos foram avaliados para a classe D, mas não obtiveram classificação.

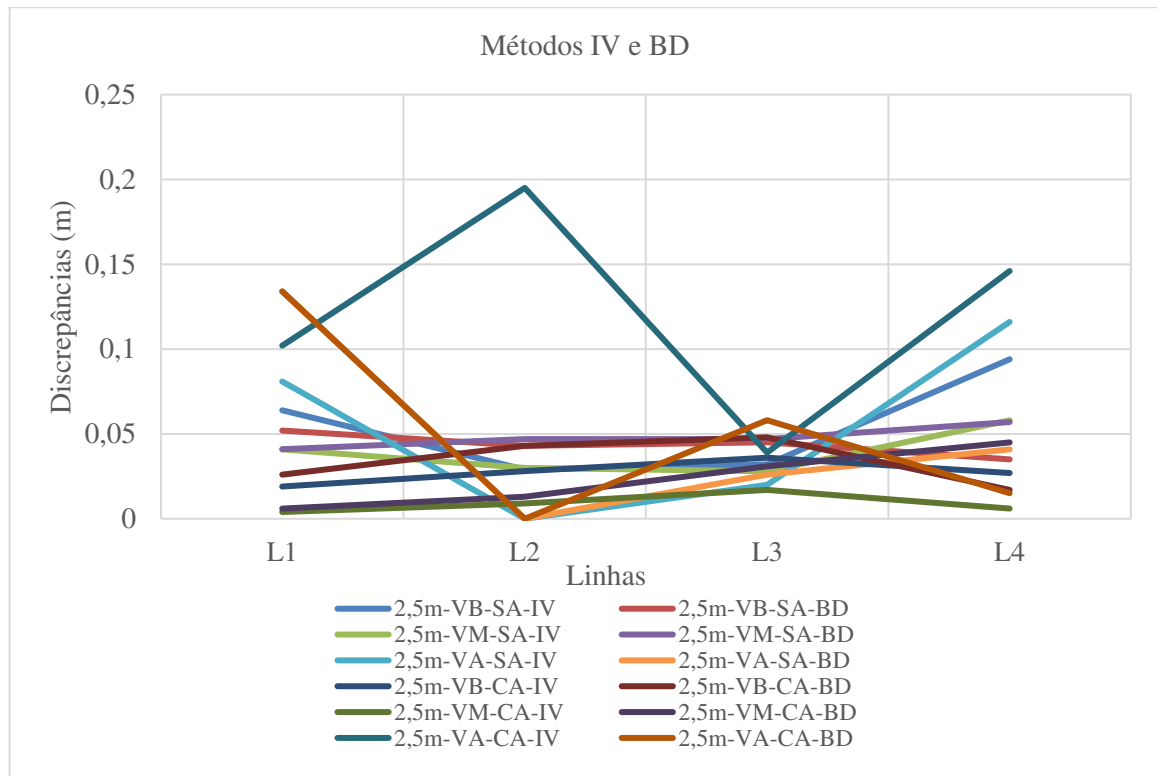
Após a avaliação utilizando feições pontuais, foram aplicados os métodos utilizando feições lineares, por meio do Influência do Vértice e *Buffer* Duplo. Abaixo, estão as tabelas, gráficos e a classificação dos levantamentos realizados sem acessório (SA) e com acessório (CA) a 2,5 m das paredes. Ressalta-se que para a linha L2 no levantamento 2,5m-VA-CA utilizando o BD, não foi obtida a discrepância, visto que não houve sobreposição entre os *Buffers*.

Tabela 19 – Análise das discrepâncias (m) SA e CA com feições lineares: Métodos IV e BD nas velocidades de escaneamento VB, VM e VA.

Discrepâncias (m) do levantamento SA e CA com distância de 2,5 m das paredes												
Linha	2,5m-VB-SA		2,5m-VM-SA		2,5m-VA-SA		2,5m-VB-CA		2,5m-VM-CA		2,5m-VA-CA	
	IV	BD	IV	BD	IV	BD	IV	BD	IV	BD	IV	BD
L1	0,064	0,052	0,041	0,041	0,081	0,134	0,019	0,026	0,004	0,006	0,102	0,134
L2	0,029	0,043	0,030	0,047	-	-	0,028	0,043	0,009	0,013	0,195	-
L3	0,032	0,045	0,028	0,047	0,020	0,026	0,036	0,048	0,017	0,031	0,039	0,058
L4	0,094	0,035	0,058	0,057	0,116	0,041	0,027	0,017	0,006	0,045	0,146	0,015

Fonte: O Autor (2024).

Figura 48 – Gráficos das análises das discrepâncias (m) SA e CA das feições lineares: Métodos IV e BD nas velocidades de escaneamento (VB, VM, VA).



Fonte: O Autor (2024).

As discrepâncias foram obtidas entre as linhas das nuvens dos levantamentos SA e CA em relação às linhas de referência no LST. As linhas L1 foram retiradas devido ao efeito de deriva nas nuvens das paredes 1. A linha L2 foi retirada de VA devido ao efeito de deriva na nuvem da parede 2.

Conforme pode ser visto, de forma geral as maiores discrepâncias foram obtidas com o levantamento 2,5m-VA-CA, chegando a obter discrepância com valor de 0,195 m (19,5cm) com o método IV. Já em 2,5m-VM-CA as discrepâncias foram menores de forma geral, principalmente no método IV. Na Tabela 20 estão as estatísticas obtidas através dessa avaliação.

Abaixo apresenta as estatísticas, incluindo o número de *outliers*, média, desvio padrão, RMS, valor máximo e valor mínimo dos resultados obtidos.

Tabela 20 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) obtidas com feições lineares: Métodos IV e BD nas velocidades de escaneamento VB, VM e VA.

Levantamento SA e CA com distância de 2,5 m das paredes								
Lev.	Nº de Feições	Método	Outlier	Média (m)	Desvio pad. (m)	RMS (m)	Máx. (m)	Mín. (m)
2,5m-VB-SA	4	IV	2	0,055	0,031	0,061	0,094	0,029
	4	BD	1	0,044	0,008	0,044	0,052	0,035
2,5m -VM-SA	4	IV	1	0,039	0,014	0,041	0,058	0,028
	4	BD	3	0,048	0,006	0,049	0,057	0,041
2,5m -VA-SA	3	IV	2	0,072	0,049	0,082	0,116	0,020
	3	BD	1	0,067	0,059	0,083	0,134	0,026
2,5m -VB-CA	4	IV	0	0,027	0,008	0,028	0,036	0,019
	4	BD	0	0,034	0,015	0,036	0,048	0,017
2,5m -VM-CA	4	IV	0	0,009	0,006	0,010	0,017	0,004
	4	BD	0	0,024	0,018	0,028	0,045	0,006
2,5m -VA-CA	4	IV	3	0,120	0,066	0,133	0,195	0,039
	4	BD	2	0,069	0,061	0,085	0,134	0,015

Fonte: O Autor (2024).

Pode-se verificar que nos levantamentos SA (Tabela 20) o levantamento 2,5m -VM-SA obteve os menores valores de forma geral de média, desvio padrão, RMS e máximo, apresentando pouca diferença nos valores de RMS para IV e BD, com 0,041 m (4,1 cm) e 0,049 m (4,9 cm), respectivamente. O levantamento 2,5m-VB-SA apresentou valores de RMS de 0,061 m (6,1 cm) para IV e 0,044 m (4,4 cm) para BD, enquanto 2,5m -VA-SA obteve os maiores valores de RMS: 0,082 m (8,2 cm) para IV e 0,083 m (8,3 cm) para BD. Além disso, todos apresentaram *outliers* e em 2,5m -VA-SA com a aplicação do BD obteve-se o maior valor máximo de discrepância posicional, chegando a 0,134 m (13,4 cm).

Em relação aos levantamentos CA (Tabela 20), os levantamentos 2,5m -VB-CA e 2,5m -VM-CA não apresentaram *outliers* em nenhum dos métodos utilizados na avaliação. Além disso, conforme já esperado, 2,5m -VM-CA apresentou os valores mais baixos de RMS, com 0,010 m (1 cm) para IV e 0,028 m (2,8 cm) para BD. Já o levantamento 2,5m-VB-CA

apresentou valores de RMS de 0,028 m (2,8 cm) para IV e 0,036 m (3,6 cm) para BD, enquanto 2,5m -VA-CA teve um aumento nesses valores, com 0,133 m (13,3 cm) para IV e 0,085 m (8,5 cm) para BD, além de apresentar *outliers*.

Assim, constatou-se que os melhores resultados nos levantamentos SA e CA, assim como ocorreu para as feições pontuais, para feições lineares também foi a velocidade média, nos levantamentos 2,5m-VM-SA e 2,5m-VM-CA. Ao comparar os métodos BD e IV (Tabela 20), observa-se que o método BD no levantamento com acessório (2,5m-VM-CA) obteve resultados significativamente melhores, sem *outliers*, com média de 0,024 m e RMS de 0,028 m, em comparação ao método BD do levantamento sem acessório (2,5m-VM-SA), que teve 3 *outliers*, média de 0,048 m e RMS de 0,049 m. O método IV também apresentou desempenho superior no levantamento com acessório, sem *outliers*, com média de 0,009 m e RMS de 0,010 m, em comparação ao levantamento sem acessório (2,5m-VM-SA), que teve 1 outlier, média de 0,039 m e RMS de 0,041 m. Portanto, o uso do acessório apresentou valores menores de *outliers*, média e RMS, o que indicou resultados mais satisfatórios, assim como nas feições pontuais.

Já a Tabela 21 apresenta a classificação realizada de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para a escala 1:50 para as nuvens de pontos analisadas.

Tabela 21 – Levantamento sem acessório (SA) e com acessório (CA) com distância de 2,5 m das paredes, avaliando com feições lineares.

Análises SA e CA com distância de 2,5 m das paredes							
Lev.	nº de feições	Método	RMS (m)	%(dp) < PEC-PCD	RMS<EP	Tendência	Classificação
2,5m-VB-SA	4	IV	0,061	50%	Não	-	S/C*
	4	BD	0,044	75%	Não	-	S/C*
2,5m-VM-SA	4	IV	0,041	75%	Não	-	S/C*
	4	BD	0,049	75%	Não	-	S/C*
2,5m-VA-SA	3	IV	0,082	33,33%	Não	-	S/C*
	3	BD	0,083	66,67%	Não	-	S/C*
2,5m-VB-CA	4	IV	0,028	100%	Sim	-	Classe D
	4	BD	0,036	100%	Não	-	S/C*
2,5m-VM-CA	4	IV	0,010	100%	Sim	-	Classe B
	4	BD	0,028	100%	Sim	-	Classe D
2,5m-VA-CA	4	IV	0,133	25%	Não	-	S/C*
	4	BD	0,085	33,33%	Não	-	S/C*

*Sem Classificação (S/C)

Conforme apresentado na Tabela 21, apenas os levantamentos 2,5m-VB-CA e 2,5m-VM-CA obtiveram classificação. O levantamento 2,5m-VB-CA obteve classificação para o método IV, enquadrando-se na Classe D, sendo acurado posicionalmente, entretanto não atingiu classificação através do BD, uma vez que o valor do RMS não foi menor que o valor do EP para a escala 1:50 e classe testada. Por outro lado, 2,5m-VM-CA obteve classificação para o método IV e método BD, enquadrando-se nas Classes B e D, respectivamente, sendo acurado posicionalmente. Quanto aos demais levantamentos, embora tenham sido avaliados para a Classe D, não conseguiram classificação em nenhum dos métodos, ou seja, os valores das discrepâncias não foram 90% menores que o valor do PEC-PCD para a escala testada e o valor do RMS também não foi menor que o valor do EP. Dessa forma, não é acurado posicionalmente, o que já era esperado devido aos altos valores das discrepâncias.

6.2.4 Teste 2

A Figura 49 apresenta as três nuvens geradas utilizando a parede 3 com os levantamentos sem acessório, mantendo uma distância de 2,5 m da parede. Cada levantamento foi dividido em 3 trechos: aceleração, redução, aceleração; redução, aceleração, redução; e movimento constante em todo o trecho.

Figura 49 – Levantamentos dos movimentos: a) A-R-A (aceleração, redução, aceleração) b) R-A-R (redução, aceleração, redução) c) MC (movimento constante).

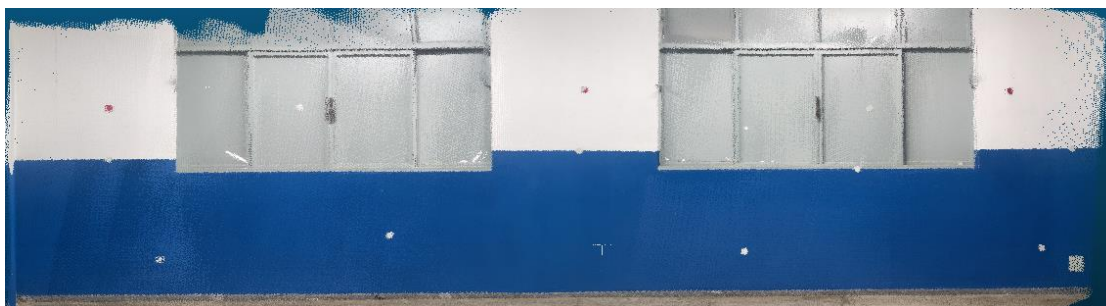
a) A-R-A



b) R-A-R



c) MC



Fonte: Autor (2024).

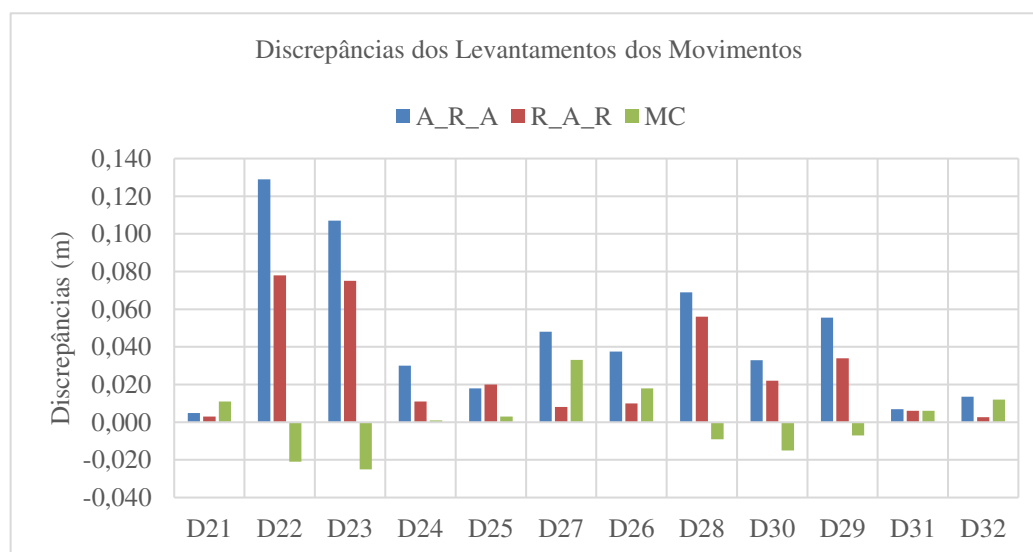
Através da Tabela 22 e da Figura 50, pode-se observar os valores das discrepâncias (m) utilizando feições pontuais. Foram obtidas as distâncias entre os alvos (pontos de checagem) nas nuvens e posteriormente obteve-se as discrepâncias em relação às medidas de referência do LST.

Tabela 22 – Distâncias e discrepâncias (m) dos levantamentos dos movimentos, a uma distância de 2,5 m da parede, utilizando feições pontuais.

De-Para	Distância	A-R-A (m)	R-A-R (m)	MC (m)	LST (m)	Disc. A-R-A (m)	Disc. R-A-R (m)	Disc. MC (m)
M23-M24	D21	0,811	0,809	0,817	0,806	0,005	0,003	0,011
M23-M30	D22	7,326	7,275	7,176	7,197	0,129	0,078	-0,021
M24-M30	D23	7,012	6,980	6,880	6,905	0,107	0,075	-0,025
M25-M26	D24	1,375	1,356	1,346	1,345	0,030	0,011	0,001
M26-M27	D25	1,107	1,109	1,092	1,089	0,018	0,020	0,003
M26-M28	D27	2,225	2,185	2,210	2,743	0,048	0,008	0,033
M27-M29	D26	2,781	2,753	2,761	2,177	0,038	0,010	0,018
M28-M32	D28	3,778	3,765	3,700	3,709	0,069	0,056	-0,009
M29-M30	D30	1,865	1,854	1,817	3,679	0,033	0,022	-0,015
M29-M31	D29	3,735	3,713	3,672	1,832	0,056	0,034	-0,007
M30-M31	D31	0,887	0,886	0,886	0,880	0,007	0,006	0,006
M31-M32	D32	0,389	0,378	0,387	0,375	0,014	0,003	0,012

Fonte: Autor (2024).

Figura 50 – Gráfico das discrepâncias (m) dos levantamentos dos movimentos.



Fonte: O Autor (2024).

Já na Tabela 23 estão as estatísticas, incluindo o número de *outliers*, média, desvio padrão, RMS, valor máximo e valor mínimo dos resultados obtidos utilizando feições pontuais.

Tabela 23 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) dos levantamentos para cada movimento sem acessório (SA), com 2,5 m da parede, obtidas com feições pontuais.

Análises dos levantamentos dos movimentos							
Lev.	Nº de Feições	Outlier	Média (m)	Desvio pad. (m)	RMS (m)	Máx. (m)	Mín. (m)
A-R-A	12	5	0,046	0,039	0,059	0,129	0,005
R-A-R	12	3	0,027	0,028	0,038	0,078	0,003
MC	12	0	0,001	0,002	0,016	0,033	0,001

Fonte: Autor (2024).

Na Tabela 23, observa-se que A-R-A obteve o maior número de *outliers* (5). Além disso, o levantamento também apresentou a maior média, desvio padrão e RMS em relação aos outros. Já o levantamento MC obteve os resultados mais baixos, sem *outliers*, e um RMS abaixo de 2 cm. Em relação a R-A-R, os valores encontrados foram intermediários dentre os demais, além de apresentar 3 *outliers*.

Já na Tabela 24, foram realizadas as classificações de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para a escala 1:50 para as nuvens de pontos analisadas.

Tabela 24 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escala 1:50 das nuvens de pontos analisadas.

Levantamento dos movimentos com distância de 2,5 m da parede								
Mov.	nº de feições	Feições	Média (m)	RMS (m)	%(dp)<PEC-PCD	RMS<EP	Tendência	Classificação
A-R-A	12	Pontual	0,046	0,059	66,67%	Não	Sim	S/C*
R-A-R	12	Pontual	0,027	0,038	75%	Sim	Sim	S/C*
MC	12	Pontual	0,001	0,016	100%	Sim	Não	Classe C

*Sem Classificação (S/C).

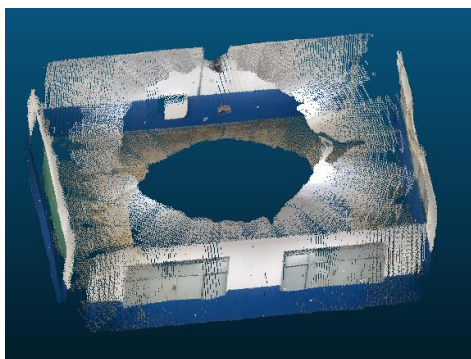
Fonte: O Autor (2024).

Conforme pode ser visto na Tabela 24, verificou-se que apenas MC não apresentou tendência, com 100% dos valores das discrepâncias posicionais menores que o valor do PEC-PCD para a escala e classe testada. Além disso, o valor do RMS foi menor que o EP, e foi a única a obter classificação, enquadrando-se na Classe C para a escala 1:50, sendo acurada posicionalmente. Já os demais foram testados a Classe D, mas não atenderam aos dois critérios simultaneamente do Decreto nº 89.817/ET-CQDG, não alcançando classificação e por isso não podem ser considerados acurado posicionalmente.

6.2.4 Teste 3

Abaixo na Figura 51 está representada a nuvem de pontos geradas pelo *smartphone*, para levantamento ponto estático (PE) no centro da sala.

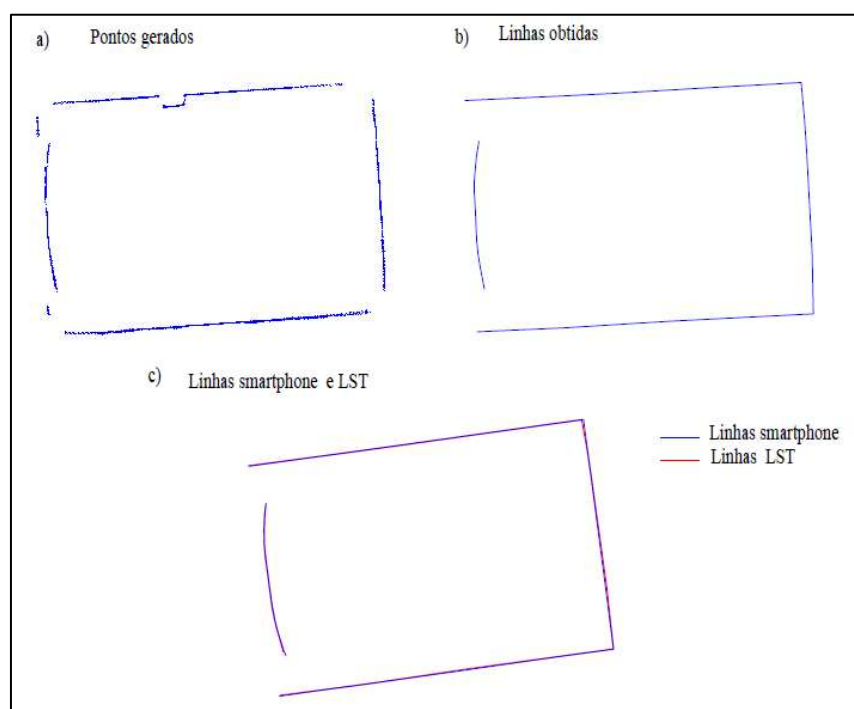
Figura 51 – Nuvens de pontos gerada pelo *smartphone* no levantamento PE no centro da sala.



Fonte: O Autor (2024).

Na Figura 52 estão os pontos gerados, as linhas obtidas pelo *smartphone* e a comparação com as linhas do LST.

Figura 52 – Obtenção das linhas do levantamento PE para comparação com LST:
a) Pontos gerados; b) linhas obtidas pelos pontos gerados; c) comparação das linhas obtidas com as linhas do LST.



Fonte: O Autor (2024).

A análise da nuvem de pontos do levantamento PE não utilizou a metodologia baseada em feições pontuais devido à baixa densidade de pontos da nuvem, o que impossibilitou a identificação dos alvos e a determinação das distâncias. Assim, para a análise foram utilizadas apenas feições lineares, empregando o método Influência do Vértice e o *Buffer Duplo*.

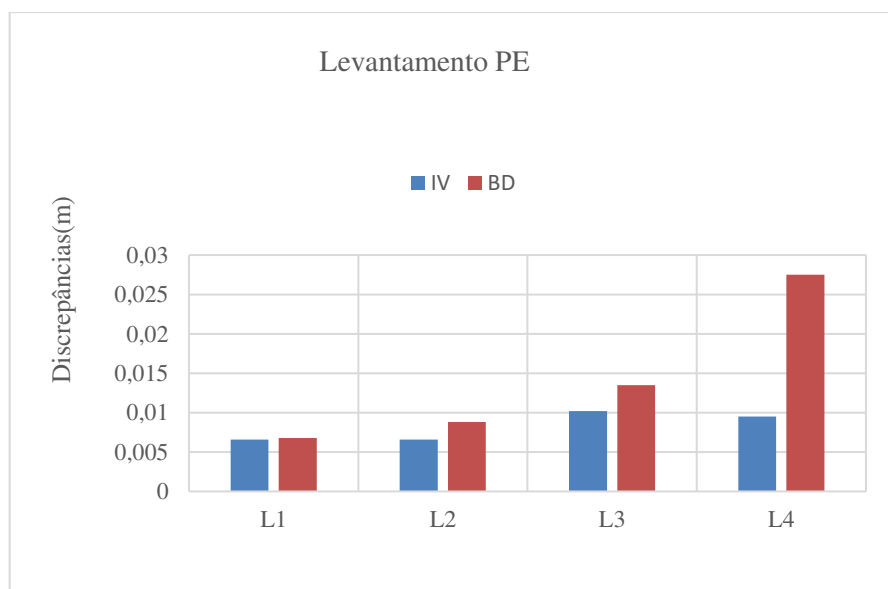
Dessa forma, seguem abaixo as tabelas, gráficos e a classificação do levantamento fixo no centro da sala.

Tabela 25 – As discrepâncias(m) do levantamento PE, utilizando feição lineares: Métodos IV e BD.

Levantamento PE		
Linha	Método IV (m)	Método BD (m)
L1	0,007	0,007
L2	0,007	0,009
L3	0,010	0,014
L4	0,010	0,028

Fonte: O Autor (2024).

Figura 53 – Gráfico das discrepâncias (m) do levantamento PE, utilizando feição lineares: Métodos IV e BD.



Fonte: O Autor (2024).

Conforme pode ser visto na Tabela 25 e na Figura 53, o BD apresentou maiores valores de discrepâncias posicionais, sendo em L4 o maior valor obtido (0,028 m).

Já a Tabela 26 apresenta as estatísticas dos resultados obtidos utilizando feições lineares.

Tabela 26 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais (m) obtidas pelos métodos de feições lineares.

Levantamento PE no centro da sala							
Método	nº de feições	Outlier	Média (m)	Desvio pad. (m)	RMS (m)	Max. (m)	Min. (m)
IV	4	0	0,008	0,000	0,007	0,010	0,007
BD	4	0	0,014	0,010	0,017	0,028	0,007

Fonte: Autor (2024).

Na Tabela 26, observa-se que os métodos IV e BD não apresentaram *outliers*. Ambos os métodos apresentaram valores de média, desvio e RMS abaixo de 2 cm, sendo que o método IV obteve resultados mais baixos do que o método BD, conforme já afirmado anteriormente, com o RMS abaixo de 1 cm (0,007 m).

Posteriormente foi elaborada a Tabela 27, a qual apresenta as classificações realizadas de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para a escala 1:50 para a nuvem de pontos analisada.

Tabela 27 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escala 1:50 da nuvem de pontos analisada, obtidas pelos métodos de feições lineares.

Análises do levantamento PE no centro da sala						
Método	Nº de Feições	RMS(m)	%(dp) < PEC-PCD	RMS<EP	Tendência	Classificação
IV	4	0,007	100%	Sim	-	Classe A
BD	4	0,017	100%	Sim	-	Classe C

Fonte: O Autor (2024).

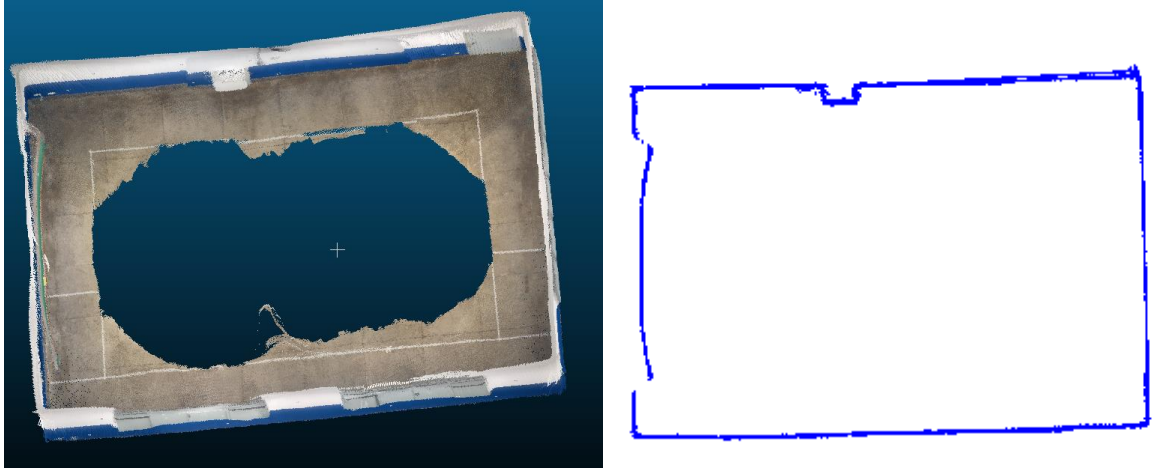
Conforme a Tabela 27, os métodos IV e BD obtiveram classificação, enquadrando-se na Classe A para o método IV e na Classe C para o método BD, na escala 1:50, uma vez que atenderam aos critérios de no mínimo 90% dos valores das discrepâncias posicionais serem menores que o valor do PEC-PCD para a classe e escala testada e o RMS menor que o EP. Dessa forma, ambos são acurados posicionalmente.

6.2.5 Teste 4

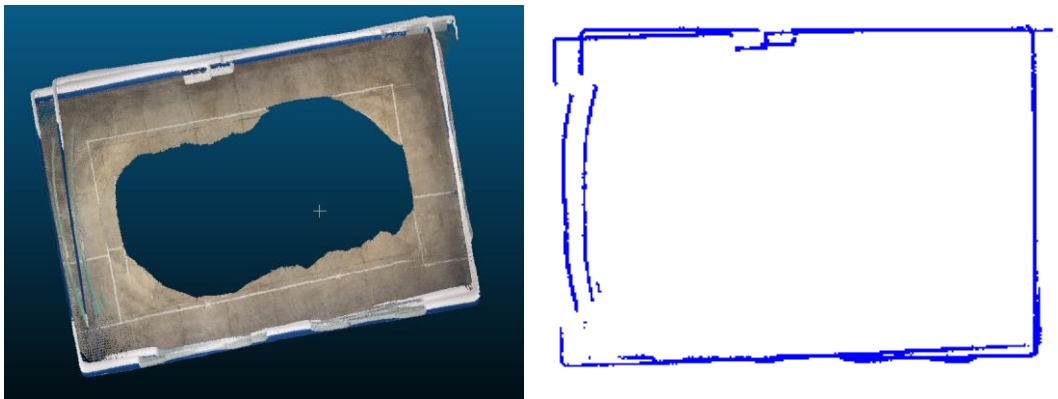
Na Figura 54, estão representados todos os levantamentos da sala, sendo realizados com acessório, velocidade baixa e a uma distância de 2,5 m das paredes. Os levantamentos foram realizados com uma (DER1V), duas (DER2V) e três (DER3V) voltas, com o objetivo de analisar o comportamento do efeito de deriva em função da repetição dos levantamentos.

Figura 54 – A esquerda as nuvens de pontos e a direita os pontos extraídos para os levantamentos: DER1V, DER2V e DER3V.

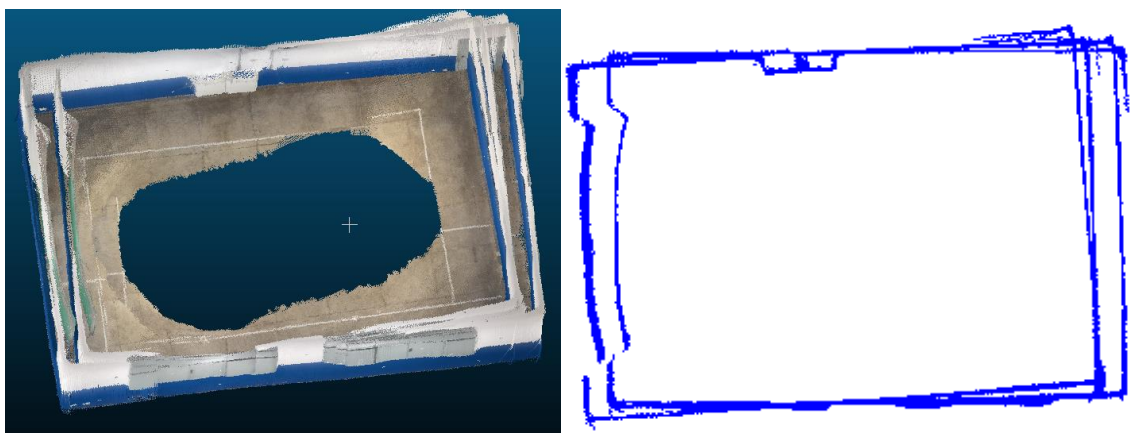
a) DER1V



b) DER2V



c) DER3V



Fonte: O Autor (2024).

No quarto teste, a análise visual revelou que no levantamento com uma volta não houve separação de paredes ou erro de fechamento. No entanto, no levantamento com duas voltas, observou-se a presença duplicada de duas paredes em alguns locais, como na parede 2, com a presença de dois quadros de giz, além de um erro de fechamento entre as paredes 1 e 4. No levantamento com três voltas, houve uma piora em relação ao levantamento com duas voltas, com maior separação entre as paredes e o surgimento de três nuvens na parede 4, além de três erros de fechamento em relação à parede 1. Esses resultados demonstraram que com o aumento da distância percorrida e o passar do tempo, o efeito de deriva tornou-se mais efetivo. Devido a essas inconsistências, não foi possível obter informações consistentes para uma análise estatística.

6.3 EXPERIMENTO 3

6.3.1 Levantamento com RTK

Para o levantamento com RTK, foi determinada as coordenadas E0, estimadas utilizando o método PPP-IBGE (Posicionamento por Ponto Preciso), com processamento realizado online diretamente no site do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O tempo de rastreamento para a determinação de E0 foi de 1 hora e 12 minutos. Abaixo, na Tabela 28, são apresentados os valores das coordenadas e suas respectivas precisões.

Tabela 28 – Coordenadas de P1 e P2 no sistema SIRGAS 2000.

Ponto	Latitude	Longitude	N(m)	E (m)
E0	-20° 45' 06,4865	-42°52' 02,2747	7703855.971	722052.142
Sigma(95%) ¹ m	0,011	0,047	-	-

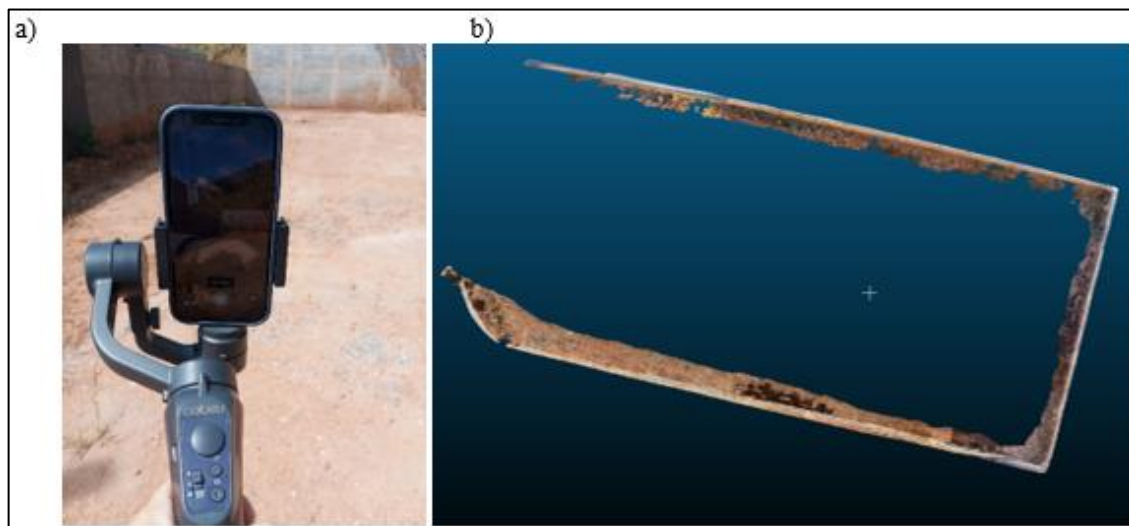
¹ este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a acurácia da coordenada.

Fonte: O Autor (2024).

6.3.2 Levantamento com *Smartphone*

Para gerar a nuvem de pontos com iPhone 12 Pro, utilizou-se estabilizador *gimbal* (Figura 55.a), realizando uma volta com uma distância de 2,5 m entre os limites do lote, mantendo um deslocamento com velocidade média. Abaixo, na Figura 55.b, é mostrada a nuvem de pontos gerada a partir do levantamento.

Figura 55 – Levantamento com um único escaneamento (1Lev) com iPhone 12 Pro acoplado a um estabilizador *gimbal*: a) iPhone 12 Pro acoplado ao *gimbal*. b) Nuvem de pontos gerada pelo levantamento com *smartphone*.



Fonte: O Autor (2024).

No passo posterior, foram utilizados três pontos de controle (Tabela 29 e Figura 60) para georreferenciar as nuvens de pontos. Para isso foi utilizado o *software CloudCompare* com as ferramentas *registration=> Align(point pairs picking)*. Esse método foi empregado exclusivamente para orientar a nuvem, sem aplicar escala, ou seja, mantendo a forma original da nuvem. Nesse georreferenciamento obteve-se um RMS de 0,088 m.

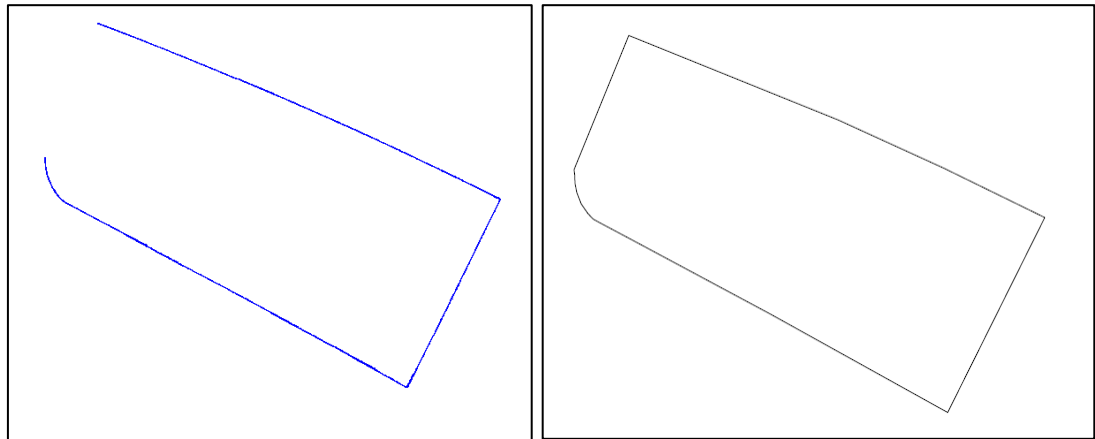
Tabela 29 – Pontos de controle para georreferenciamento das nuvens de pontos.

Ponto	N(m)	E (m)
PC1	722060.864	7703846.191
PC2	722083.058	7703839.790
PC3	722079.321	7703847.670

Fonte: O Autor (2024).

Posteriormente foram gerados os pontos e o limite da divisa, conforme a Figura 56.

Figura 56 – Escaneamento único (1Lev): a) Pontos gerados; b) Linha de limite do lote.



Fonte: O Autor (2024).

Além disso, foi realizado um escaneamento por partes (3Lev) para verificar a possibilidade de obter melhores resultados em relação a um levantamento. Para isso, foram escaneadas três partes do muro (laterais e fundos), gerando três nuvens de pontos (Figura 57). Esses resultados foram então comparados com os dados obtidos com RTK.

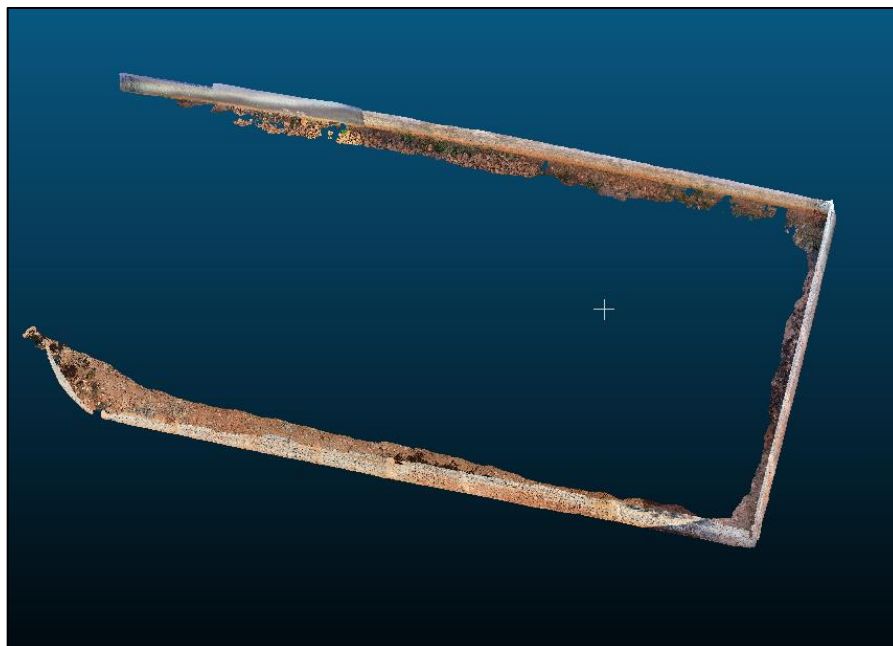
Figura 57 – Escaneamento por partes (3Lev), gerando 3 nuvens pelo *smartphone*.



Fonte: O Autor (2024).

A junção da nuvens foi realizada no *CloudCompare*, movendo manualmente cada parte utilizando as ferramentas *translate* e *edit=> merge* para criar uma única nuvem, conforme mostrado na Figura 58.

Figura 58 – Nuvem de pontos obtidas das 3 partes (3Lev).

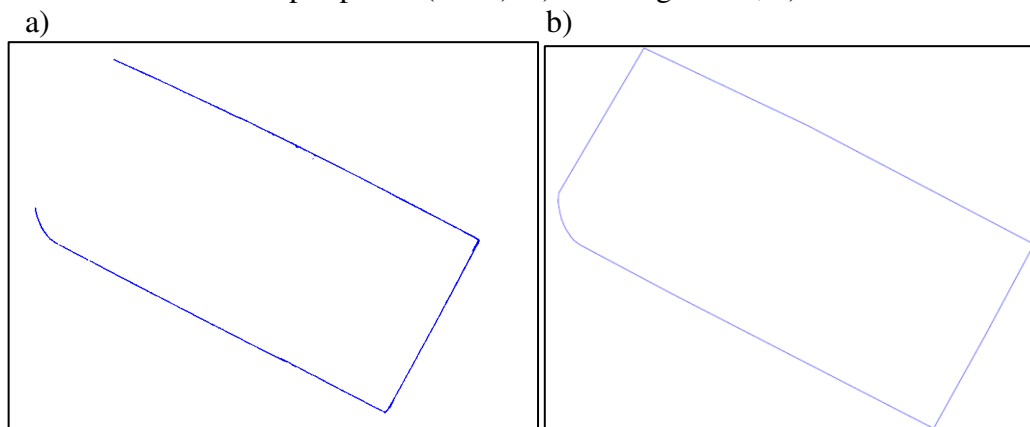


Fonte: O Autor (2024).

Após isso, utilizou-se o mesmo processo do levantamento de uma nuvem, georreferenciando com os mesmos pontos de controle da Tabela 30 e mantendo a forma original. Nesse georreferenciamento obteve-se um RMS de 0,068 m.

O passo seguinte foi gerar os pontos e o limite da divisa conforme a Figura 59.

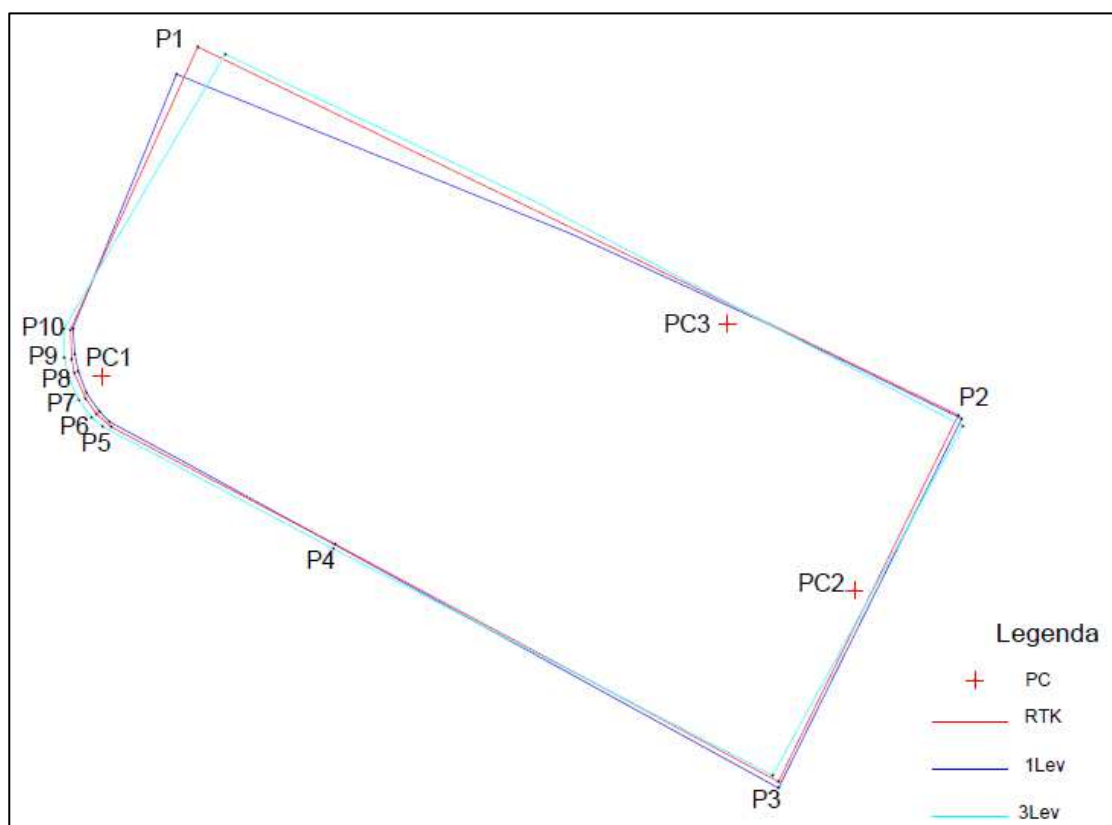
Figura 59 – Levantamento por partes (3Lev): a) Pontos gerados; b) Linha do limite do lote.



Fonte: O Autor (2024).

Na última etapa, de posse das coordenadas de cada levantamento (Apêndice A), foram feitas as comparações entre os métodos. A Figura 60 mostra os limites de cada levantamento, e a Tabela 30 e Figura 61 apresentam as discrepâncias posicionais entre os métodos RTK entre as nuvens geradas a partir de um único levantamento (1Lev) e três levantamentos(3Lev), comparadas aos dados obtidos pelo RTK.

Figura 60 – Limites dos levantamentos realizados.



Fonte: O Autor (2024).

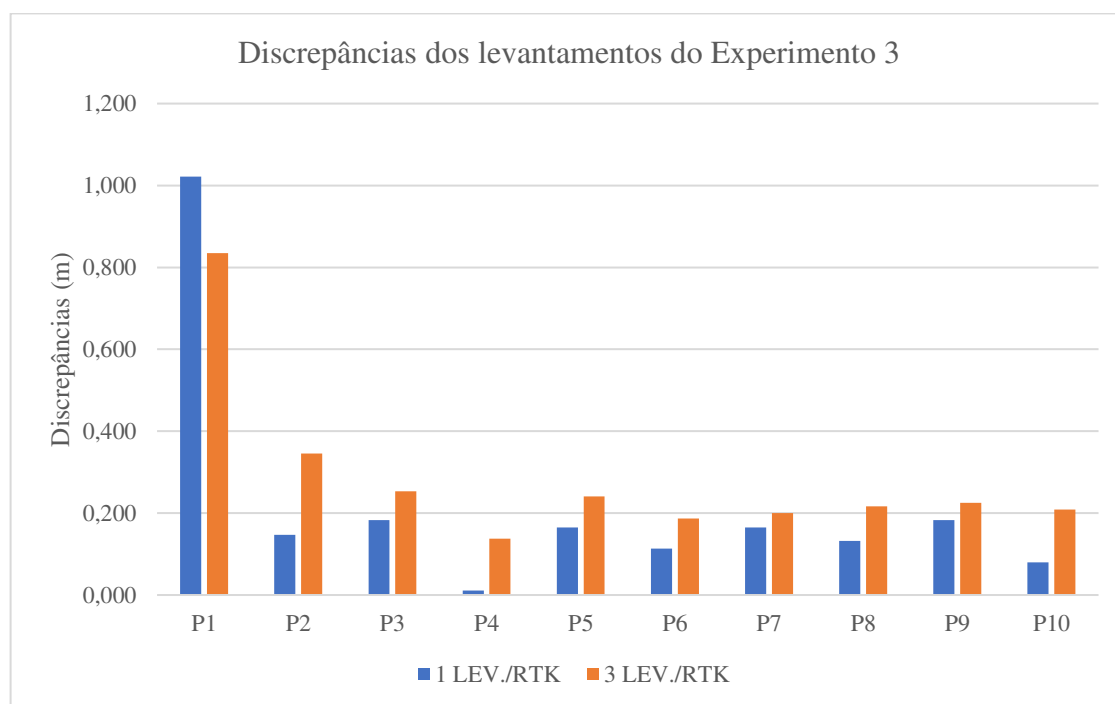
Na Figura 60, observa-se que no escaneamento 1Lev (linha azul), o ponto P1 há uma divergência da linha P1-P2 em relação à linha obtida pelo RTK (linha vermelha), principalmente nas proximidades do vértice P1. Vale ressaltar que foram realizados levantamentos adicionais, mas apresentaram resultados semelhantes. Já nos escaneamentos 3Lev (linha ciano), a linha P1-P2 segue a mesma direção, porém apresentou uma menor distância em relação à linha do RTK. Logo, observou-se uma grande discrepância no vértice P1.

Tabela 30 – Discrepâncias (m) de um levantamento (1Lev) e três levantamentos (3Lev) considerando o RTK como referência.

Pontos	Discrepâncias posicionais D_{2d} (m)	
	1 Lev./RTK	3 Lev./RTK
P1	1,022	0,835
P2	0,147	0,346
P3	0,183	0,253
P4	0,011	0,137
P5	0,165	0,241
P6	0,114	0,186
P7	0,165	0,200
P8	0,132	0,216
P9	0,183	0,225
P10	0,080	0,209
Média	0,220	0,284
RMS	0,350	0,343

Fonte: O Autor (2024).

Figura 61 – Gráfico das discrepâncias (m) entre RTK. Um levantamento (1Lev) e três levantamentos (3Lev) em relação ao RTK como referência.



Fonte: O Autor (2024).

Observa-se que ao analisar os pontos no levantamento com 1 nuvem de pontos (1Lev.), a maior discrepância entre os dados obtidos ocorreu no ponto P1, com um valor de 1,022 m enquanto a menor discrepância foi no ponto P4, com apenas 0,011 m (1,1 cm). De acordo com as exigências da NBR 17047/22, a qual diz que a precisão posicional planimétrica do vértice da

parcela ou do imóvel urbano não deve ser maior que 8 cm, a discrepância entre os pontos, ao realizar o controle de qualidade, deve ser menor que 24 cm (3 vezes a precisão). Como P1 ficou acima de 24 cm, o levantamento não ficou em conformidade com a norma. Além disso, a média foi de 0,22 m (22 cm), e o RMS de 0,35 m (35 cm).

No levantamento da junção de três nuvens de pontos (3Lev), comparado ao RTK, constatou-se que mais pontos apresentaram discrepâncias superiores a 24 cm, incluindo os pontos P1, P2, P3 e P5. Apesar disso, a média e o RMS das discrepâncias (0,28 m e 0,34 m, respectivamente) foram similares aos obtidos no levantamento de 1 nuvem (1Lev).

Por fim, foi realizada a classificação de acordo com o Decreto nº 89.817 de 1984 e a ET-CQDG e as escalas foram testadas de acordo com as classes PEC-PCD. Abaixo segue a Tabela 31 com os valores para 1Lev e 3Lev.

Tabela 31 – Classificação dos levantamentos (1Lev e 3Lev) do lote de acordo com as escalas testadas.

Escala	1Lev			3Lev		
	%(dp) < PEC-PCD	RMS<EP	Classe	%(dp) < PEC-PCD	RMS<EP	Classe
1/500	90%	sim	*S/C	90%	sim	*S/C
1/1000	90%	sim	Classe C	90%	sim	Classe C
1/2000	90%	sim	Classe B	100%	sim	Classe B
1/2500	90%	sim	Classe A	90%	sim	Classe A

*Sem Classificação

Fonte: O Autor (2024).

De acordo com a Tabela 31, foram testadas as mesmas escalas para o 1Lev e para o 3Lev, obtendo-se as mesmas classificações. Na escala de 1:500, frequentemente utilizada para levantamentos topográficos cadastral, o levantamento não foi classificado (S/C) conforme os critérios da norma PEC-PCD, não atendendo aos requisitos mínimos para essa escala. Nas outras escalas de mapeamento topográfico de grande escala, 1:1000 e 1:2000, o levantamento foi classificado como classe C e classe B, respectivamente, sendo adequado para aplicações de menor detalhamento, como, por exemplo, no planejamento urbano e em mapeamentos regionais. Por fim, na escala de 1:2500, os levantamentos foram classificados como classe A, representando alta acurácia, mas sendo apropriados para o planejamento de grandes áreas ou estudos preliminares que não exigem alto nível de detalhamento.

6.4 ANÁLISES

6.4.1 Experimento 1

No primeiro experimento, ao escanear um cubo com arestas de 10 cm, obteve-se um RMS de 1 cm, resultando em um erro percentual alto de 10% nas suas dimensões. Em comparação, uma sala de dimensões 6 × 8 m apresentou um RMS entre 2 e 6 cm, ou seja, um erro percentual bem menor em comparação às suas dimensões. Isso demonstra que, devido às proporções, o ambiente de médio porte apresentou melhores resultados em relação ao objeto pequeno.

Isso pode ser reforçado observando que Luetzenburg, Kroon e Bjørk (2021), em seus estudos, também realizaram testes com objetos de pequeno porte. Para isso, utilizaram 14 caixas retangulares com dimensões variando de 14 × 6 × 2 cm até 50 × 30 × 52 cm. As caixas foram escaneadas repetidamente, 5 vezes cada, utilizando o iLiDAR do iPhone 12 Pro, e as medidas de referência foram obtidas com uma régua de medição. Neste estudo, também foi alcançado um RMS de 1 cm. No entanto, verificou-se que, para objetos com dimensões menores que 10 cm, houve uma diminuição da acurácia. A partir de 10 cm até a ordem de 50 cm (maior dimensão medida), o sensor forneceu melhores resultados.

6.4.2 Experimento 2

Com o objetivo de comparar os resultados do Teste 1 das distâncias 1m e 2,5 m, foram elaboradas a Tabela 32 e a Figura 62, apresentando os valores de RMS e a classificação obtida para os levantamentos realizados.

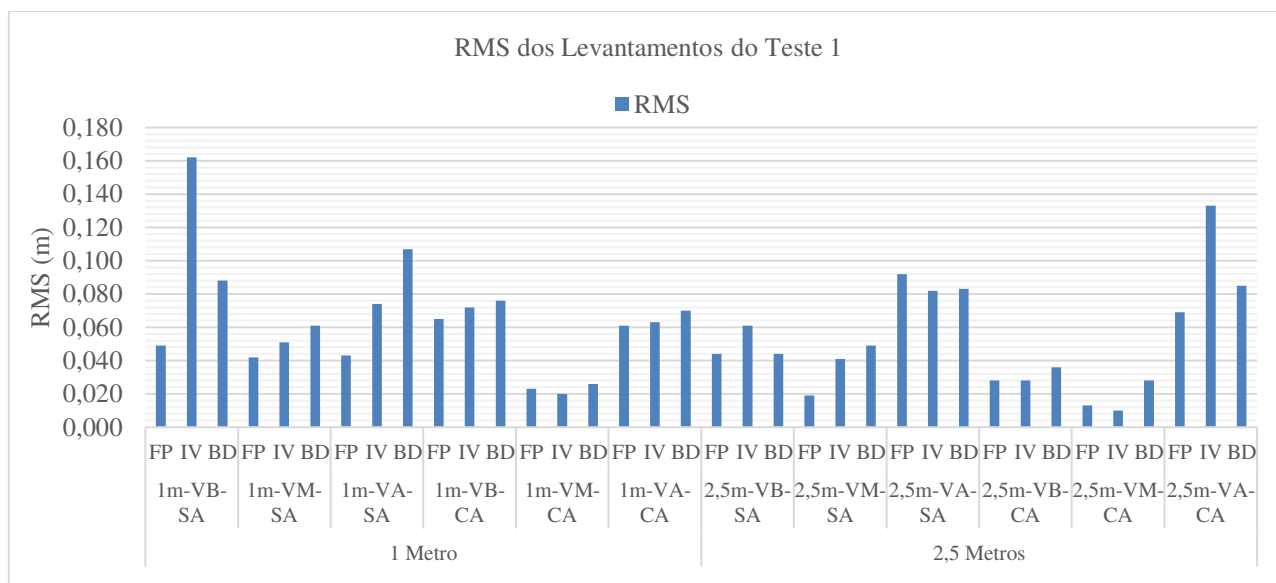
Tabela 32 – RMS dos métodos utilizando feições pontuais e lineares para o Teste 1.

Valores de RMS e a classificação obtida para os Teste 1					
Lev.	Nº de Feições	Feição/Método	RMS (m)	Tendência	Classificação
1m-VB-SA	26	Feição Pontual(FP)	0,049	Sim	S/C*
	3	Feição Linear(IV)	0,162	-	S/C*
	3	Feição Linear(BD)	0,088	-	S/C*
1m-VM-SA	26	Feição Pontual(FP)	0,042	Sim	S/C*
	3	Feição Linear(IV)	0,051	-	S/C*
	3	Feição Linear(BD)	0,061	-	S/C*
1m-VA-SA	26	Feição Pontual(FP)	0,043	Sim	S/C*
	3	Feição Linear(IV)	0,074	-	S/C*
	3	Feição Linear(BD)	0,107	-	S/C*
1m-VB-CA	26	Feição Pontual(FP)	0,065	Sim	S/C*
	3	Feição Linear(IV)	0,072	-	S/C*
	3	Feição Linear(BD)	0,076	-	S/C*
1m-VM-CA	26	Feição Pontual(FP)	0,023	Não	Classe C
	3	Feição Linear(IV)	0,020	-	Classe C
	3	Feição Linear(BD)	0,026	-	Classe D
1m-VA-CA	26	Feição Pontual(FP)	0,061	Sim	S/C*
	3	Feição Linear(IV)	0,063	-	S/C*
	3	Feição Linear(BD)	0,070	-	S/C*
2,5m-VB-SA	37	Feição Pontual(FP)	0,044	Não	S/C*
	4	Feição Linear(IV)	0,061	-	S/C*
	4	Feição Linear(BD)	0,044	-	S/C*
2,5m-VM-SA	39	Feição Pontual(FP)	0,019	Não	Classe C
	4	Feição Linear(IV)	0,041	-	S/C*
	4	Feição Linear(BD)	0,049	-	S/C*
2,5m-VA-SA	31	Feição Pontual(FP)	0,092	Sim	S/C*
	3	Feição Linear(IV)	0,082	-	S/C*
	3	Feição Linear(BD)	0,083	-	S/C*
2,5m-VB-CA	38	Feição Pontual(FP)	0,028	Não	Classe D
	4	Feição Linear(IV)	0,028	-	Classe D
	4	Feição Linear(BD)	0,036	-	S/C*
2,5m-VM-CA	39	Feição Pontual(FP)	0,013	Não	Classe B
	4	Feição Linear(IV)	0,010	-	Classe B
	4	Feição Linear(BD)	0,028	-	Classe D
2,5m-VA-CA	36	Feição Pontual(FP)	0,069	Sim	S/C*
	4	Feição Linear(IV)	0,133	-	S/C*
	4	Feição Linear(BD)	0,085	-	S/C*

*Sem Classificação

Fonte: Autor (2024)

Figura 62 – Gráfico dos RMS (m) dos métodos com feições pontuais e lineares para o Teste 1.



Fonte: O Autor (2024).

Ao analisar os levantamentos realizados a uma distância de 1 m, verificou-se que ao utilizar feições pontuais, obteve-se 26 pontos em um total de 39, e de feições lineares, obteve-se 3 linhas em um total de 4. Essas feições foram retiradas da parede 1 devido ao efeito de deriva apresentado nas nuvens de pontos. Pode-se observar que não houve classificação no levantamento SA. Dessa forma, a única classificação obtida foi no levantamento CA, em 1m-VM-CA, sendo classe C utilizando tanto feições pontuais quanto feições lineares no método IV e na Classe D no método BD com feições lineares. No entanto, os valores de RMS foram similares, na ordem de 2 cm.

A uma distância de 2,5 m, houve apenas uma ocorrência do efeito de deriva durante o levantamento 2,5m-VA-SA, resultando na remoção da nuvem da parede 2. A quantidade de pontos diminuiu de 39 para 31, e o total de linhas reduziu de 4 para 3. Ademais, o levantamento SA obteve classificação apenas em 2,5m-VM-SA, na classe C, com RMS de 1,9 cm utilizando feições pontuais. No levantamento CA, o 2,5-VB-CA, o RMS alcançado aplicando a metodologia com feições pontuais e com método IV foi de 0,28 cm, obtendo a classe D. Já no método BD, o RMS foi de 3,6 cm, não obtendo classificação. Já em 2,5-VM-CA, houve uma melhora nos resultados, aplicando o método IV e o método com feições pontuais, o RMS foi na ordem de 1 cm, sendo classificado na classe B. Para o método BD, o RMS foi de 2,8 cm, alcançando a classe D. Em 2,5-VA-CA, os valores de RMS ficaram acima de 6 cm, não obtendo classificação.

Sendo assim, ao verificar os produtos classificados, na distância de 1 m e na velocidade média, executando a metodologia com feições pontuais e com o método de Influência do Vértice, obteve-se a classe C, enquanto no método do *Buffer Duplo* a classe D. Na distância de 2,5 m, sem acessório e na velocidade média, apenas a aplicação da metodologia com feição pontual alcançou classificação, sendo a classe C. Já com acessório e na velocidade baixa, a aplicação da metodologia com feição pontual e com o método Influência do Vértice, teve como resultado a classe D, enquanto no *Buffer Duplo* não houve classificação. E por fim, com acessório e na velocidade média, a metodologia com feição pontual e com o método Influência do Vértice obteve a classe B, enquanto no *Buffer Duplo* a classe D.

Percebe-se então que, com exceção da distância de 2,5 m sem acessório e na velocidade média, onde apenas a metodologia com feição pontual obteve classificação, a metodologia com feições pontuais e lineares no método de Influência do Vértice obtiveram valores de RMS semelhantes, resultando nas mesmas classificações. No entanto, o método do *Buffer Duplo* demonstrou ser mais restritivo, apresentando valores de RMS maiores, obtendo às classificações inferiores.

De modo geral, observou-se que a distância de 2,5 m proporcionou os melhores resultados, com apenas uma nuvem apresentando efeito de deriva. Os RMS dos levantamentos realizados com acessório para a velocidade baixa (VB) e média (VM) foram superiores, destacando-se VM, que obteve a melhor classificação neste experimento.

Neste contexto, tem-se como exemplo Constantino (2022) que também avaliou a acurácia de um levantamento em uma sala de aula, utilizando o iLiDAR do iPhone 12 Pro. No estudo, o levantamento foi realizado sem rigor, ou seja, sem marcação de distância e sem o uso de acessório. Além das paredes, foram levantados pisos e teto. A acurácia obtida foi próxima a 3 cm, o que é bastante comparável aos resultados de alguns dos levantamentos apresentados.

Já no segundo teste, o levantamento foi realizado a 2,5 m da parede e sem acessório. Nos três levantamentos realizados (movimentos A-R-A, R-A-R e MC), os RMS foram de 5,9 cm, 3,8 cm e 1,6 cm, respectivamente. Os dois primeiros movimentos não obtiveram classificação. Já no MC, além de não apresentar tendência, o produto foi classificado na classe C, para a escala testada. Além disso, os valores obtidos no MC, onde se aplicou uma velocidade média, assemelham-se aos do teste 1, realizado na mesma distância, também com velocidade média e sem acessório, registrando um RMS similar de 1,9 cm e obtendo igualmente a classe C.

Ademais, o movimento A-R-A, que apresenta duas acelerações, resultou em um RMS mais alto do que no movimento R-A-R, o qual apresenta apenas uma aceleração. No MC, onde não há aceleração, obteve o RMS mais baixo alcançando classificação. Pode-se então deduzir

que os movimentos de aceleração influenciaram negativamente na qualidade do levantamento, degradando os resultados obtidos.

No terceiro teste, o levantamento realizado com ponto estático (PE) no centro da sala, a densidade de pontos obtida não foi suficiente para a identificação utilizando feições pontuais. Como exemplo de comparação, as nuvens geradas pelo *smartphone* percorrendo a sala a distâncias de 1 m e 2,5 m obtiveram uma quantidade de pontos entre 2 e 4 milhões, escaneando apenas uma faixa das paredes. No levantamento PE, apesar dos pontos estarem distribuídos por toda a sala, o número de pontos foi inferior a 300 mil. Portanto, para realizar a análise, foram utilizadas apenas feições lineares, utilizando os métodos Influência do Vértice e *Buffer Duplo*. Dessa forma os resultados obtidos foram: para o método IV, um RMS de 0,7 cm, na Classe A e para o método BD, um RMS de 1,7 cm, na Classe C. O método IV apresentou o melhor resultado, com um RMS abaixo de 1 cm, superando os resultados obtidos no Teste 1.

Complementando essa análise, tem-se o trabalho de Constantino et al. (2022), o qual compararam dois levantamentos utilizando o iLiDAR de *smartphones*. No primeiro levantamento, realizado em um espaço apertado, o operador ficou parado no centro do local, apenas girando para realizar o escaneamento. No segundo levantamento, realizado em um local um pouco maior, o operador se moveu efetivamente para capturar cada detalhe. O estudo concluiu que, no ambiente onde o operador permaneceu parado, não houve problemas de deriva. Em contrapartida, no ambiente onde houve deslocamento, ocorreu um erro de fechamento do levantamento, resultando na geração de duas superfícies distintas. Isso evidencia como o movimento pode causar problemas de deriva.

De fato, com a imobilização do aparelho obteve-se o melhor resultado, evitando também os efeitos de deriva causados por incertezas na posição calculada pelo IMU, que se propagam durante o deslocamento. No entanto, a principal desvantagem é a limitação da distância, sendo o alcance do sensor de 5 m, porém a recomendada pelo aplicativo é de 4 m. Dessa forma, obtém-se uma quantidade de pontos menor, o que compromete a definição dos objetos analisados.

Já no quarto teste, uma análise visual indicou que um trajeto mais longo e um tempo maior de escaneamento resultaram em um aumento do efeito de deriva. Além disso, a partir de uma volta, observou-se a geração de mais de uma superfície em algumas paredes, com uma piora significativa em três voltas.

6.4.3 Experimento 3

Os escaneamentos realizados no terceiro experimento com *smartphone* conforme já dito anteriormente, foram baseados nos melhores resultados do Experimento 2, utilizando um acessório *gimbal* para estabilização. Dessa forma, mantendo uma distância de 2,5 m das divisas e uma velocidade média, esses escaneamentos foram comparados com um levantamento RTK.

Para isso, conforme descrito na metodologia foram conduzidos de duas formas: com um único escaneamento, gerando uma única nuvem de pontos, e com três escaneamentos, resultando em três nuvens de pontos distintas. Essa abordagem visou minimizar o efeito de deriva e aprimorar a qualidade da nuvem de pontos. Porém, os RMS permaneceram próximos em ambas as metodologias, ficando na ordem de 35 cm (0,35 m com único levantamento e 0,35 m no levantamento por partes). Além disso, no levantamento por partes exigiu um ajuste manual das nuvens de pontos, uma vez que o ajuste automático via *software* requer uma boa sobreposição entre as nuvens, o que pode, na verdade, comprometer a qualidade das nuvens.

Ao comparar os levantamentos com os dados obtidos por RTK, verificou-se que as discrepâncias, em alguns vértices, não ficaram abaixo de 24 cm, não atendendo, portanto, aos requisitos de qualidade da NBR 17047/22. Dessa forma, a precisão posicional obtida não foi suficiente para cumprir os padrões exigidos pela norma para a medição de um lote.

Em relação à classificação, ao utilizar a escala 1:500, frequentemente utilizada em levantamentos topográficos para lote urbanos, os levantamentos não obtiveram classificação. No entanto, ao empregar escalas menores, como 1:1000, 1:2000 e 1:2500, os levantamentos foram classificados, embora sejam adequados para finalidades que não demandam um nível elevado de rigor, como planejamento urbano, mapeamentos regionais ou estudos preliminares.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal deste estudo foi avaliar a qualidade posicional das nuvens de pontos geradas pelo iLiDAR de *smartphones*. Para isso, foram explorados diferentes cenários, considerando objetos de pequeno, médio e grande porte, como um cubo tridimensional, um cômodo de sala de aula e um lote urbano. Para esses experimentos, foram consideradas variações de distâncias, velocidades e o uso de acessório de estabilização nos escaneamentos.

Os resultados mostraram que a qualidade posicional das nuvens de pontos para objetos pequenos foi inferior a observada em ambiente de médio porte. Essa diferença indicou que o tamanho do objeto influenciou diretamente na acurácia dos escaneamentos.

Já na sala de aula, observou-se que a uma distância de 1 m, foram gerados efeitos de deriva durante todos os escaneamentos. Diferente da distância de 2,5 m que ocorreu deriva apenas em um escaneamento. Nestes levantamentos, o efeito de deriva ocorreu algumas vezes ao passar pela caixa de computador, quadro de giz ou janela, resultando em duas superfícies distintas na parede. Esse fator pode estar relacionado à variação de distância, especialmente em distâncias curtas.

Em relação à avaliação da sala, os testes foram conduzidos com base no Decreto nº 89.817, em conjunto com a ET-CQDG para a escala de 1:50. Nessa análise, em ambas as distâncias de 1 m e 2,5 m das paredes, os melhores resultados foram obtidos com escaneamentos realizados em velocidade média e com o uso de acessório. Ao verificar os resultados, de modo geral, os escaneamentos a uma distância de 2,5 m foram superiores aos obtidos para a distância de 1 m.

Percebeu-se então que a distância de escaneamento influenciou na ocorrência de efeitos de deriva. Além disso, a variação de velocidade e o uso, ou não, de um estabilizador também influenciaram na qualidade dos levantamentos. Outro fator relevante foi o movimento com aceleração, no qual se constatou que a aplicação dessa aceleração no movimento de escaneamento piorou a qualidade da nuvem de pontos. Em contrapartida, mantendo um movimento constante, ou seja, sem movimentos bruscos, houve uma melhora significativa do produto gerado.

Outro fator constatado a partir das análises dos resultados obtidos, é que o *smartphone* em escaneamento com ponto estático influenciou na qualidade das nuvens, observando-se que a imobilização do aparelho evita o efeito de deriva e resulta em uma melhoria dos resultados. No entanto, essa abordagem apresenta limitações quanto à distância de captura, e à quantidade reduzida de pontos, o que pode ser inadequado para alguns propósitos. Dessa forma,

considerando áreas maiores, torna-se necessário realizar múltiplos escaneamentos em diferentes posições e unir esses dados em um *software*.

Outro teste realizado foi o número de voltas durante o escaneamento. Observou-se que, após a primeira volta, a qualidade das nuvens de pontos começou a piorar com o surgimento de efeitos de deriva nas paredes. Esse efeito piorou ainda mais com a segunda volta e se agravou significativamente com três voltas, sugerindo que o deslocamento prolongado durante o escaneamento comprometeu a qualidade das nuvens obtidas.

Por último, foi realizado um levantamento de um lote urbano utilizando o iLiDAR de um *smartphone* com o objetivo de verificar a conformidade com a norma NBR 17047. Foram realizados dois levantamentos, e os resultados mostraram que, tanto com o levantamento único quanto com o levantamento por partes, nenhum deles alcançou a precisão suficiente para atender à norma. Já na classificação, ao testar as escalas de levantamentos topográficos, verificou-se que o produto não é adequado para finalidade que exija alta precisão, sendo mais apropriado para propósitos como o planejamento de grandes áreas ou estudos preliminares. Isso sugere que os levantamentos com iLiDAR de *smartphones* necessitam de melhorias para atender às exigências necessárias para o levantamento de lotes urbanos.

Sendo assim, através de toda metodologia executada, percebeu-se que dificuldades podem ser encontradas, incluindo obstruções no ambiente, a necessidade de manter uma distância adequada entre o dispositivo e o local a ser escaneado, e a instabilidade do aparelho em locais irregulares. Essas limitações acabam comprometendo a qualidade dos dados coletados, o que evidencia que ainda há desafios significativos para a utilização de iLiDAR em *smartphones* considerando contextos urbanos.

No entanto, a partir do exposto, conclui-se que o iLiDAR integrado em *smartphones* têm sido uma ferramenta muito útil na geração de nuvens de pontos, devido ao baixo custo, facilidade de escaneamento, portabilidade e outros fatores. No entanto, ainda há necessidade de melhorias, uma vez que os aplicativos utilizados atualmente não dispõem de opções avançadas de processamento e algoritmos de correção para mitigar os efeitos adversos dessa variação, como o efeito de deriva. Tais investigações podem proporcionar uma compreensão mais abrangente dos desafios enfrentados e orientar o desenvolvimento de soluções mais robustas e confiáveis, corrigindo e aprimorando a fidelidade das informações coletadas.

Para trabalhos futuros, recomenda-se que para objetos pequenos sejam realizados mais testes utilizando cubos com arestas maiores, como cubos de 50 cm, comparando esses resultados com os obtidos no primeiro experimento desta pesquisa. Esta abordagem será

importante para comparar os resultados e avaliar a influência do tamanho dos objetos na acurácia das medições.

Além disso, recomenda-se um estudo maior sobre o efeito de deriva, considerando a variação de objetos durante o escaneamento e a influência de diferentes materiais nesse efeito. Além disso, seria pertinente explorar outras distâncias de escaneamento, como por exemplo, entre 1 m e 2,5 m, para avaliar de forma mais abrangente o impacto na nuvem de pontos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPLE. Página oficial do iPhone. Disponível em: <<https://www.apple.com/br/iphone/>>. Acesso em: 23 nov. 2024.

ARIZA, F. J. **Calidad en la Producción Cartográfica**. Ra-Ma, 2002.

BASÍLIO, ANA CATARINA; TEXUGO, ANDRÉ; PEREIRO, TIAGO DO. iArqueologia: contribuições para a adoção do sensor LiDAR de dispositivos móveis na prática arqueológica. **Apontamentos de Arqueologia e Patrimônio**, v. 16, p. 57-67, 2022.

BRASIL. Decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasil, 1984. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em Julho de 2023.

BURSZTYN, N., SHELTON, B., WALKER, A., PEDERSON, J., 2017. Increasing undergraduate interest to learn geoscience with GPS-based augmented reality field trips on students' own Smartphones. *GSA Today* 27, 4–10. <https://doi.org/10.1130/GSATG304A.1>.

CHAN, JUSTIN; GOLLAKOTA, SHYAMNATH. Laser speckle using smartphone iLiDAR. In: **Proceedings of the 20th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications and Services**. 2022. p. 632-633.

CHEN, RUIZHI (Ed.). **Ubiquitous positioning and mobile location-based services in smart phones**. IGI Global, 2012.

CORRADETTI, A., SEERS, T.D., BILLI, A., TAVANI, S., 2021. Virtual outcrops in a pocket: the smartphone as a fully equipped photogrammetric data acquisition tool. *GSA Today* 31, 4–9. <https://doi.org/10.1130/GSATG506A.1>.

CONSTANTINO, DOMENICA et al. Smartphone iLiDAR Technologies for Surveying and Reality Modelling in Urban Scenarios: Evaluation Methods, Performance and Challenges. **Applied System Innovation**, v. 5, n. 4, p. 63, 2022.
Figura 30

CPE. Laser scanner. Disponível em: <<https://www.cpetecnologia.com.br/Laser-Scanner>>. Acesso em: 23 nov. 2024.

CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S.; RABACO, L. M. L. Planialtimetric Accuracy Evaluation of Digital Surface Model (DSM) and Digital Terrain Model (DTM) Obtained from Aerial Survey with LIDAR. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 39, p. 45-48, 2012.

DABOVE, Paolo; DI PIETRA, Vincenzo. Towards high accuracy GNSS real-time positioning with Smartphones. **Advances in Space Research**, v. 63, n. 1, p. 94-102, 2019.

DE PAOR, D.G., DORDEVIC, M.M., KARABINOS, P., TEWKSBURY, B.J., WHITMEYER, S.J., 2016. The fold analysis challenge: a virtual globe-based educational resource. *J. Struct. Geol.* 85, 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2016.02.005>.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Brasília-DF. 2011. Disponível em: <http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf> Acessado em 09/23.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Norma da Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. Brasília-DF. 2016. Disponível em <http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016> Acessado em 09/23.

FERRAZ, RODRIGO DA SILVA; DE SOUZA, SÉRGIO FLORÊNCIO; REISS, MÁRIO LUIS LOPES. Laser Scanner Terrestre: teoria, aplicações e prática. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 4, n. 2, p. 99-109, 2016.

GALO, M., CAMARGO, P. de O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis, SC, p. 41-48, 1994.

GARGOUM, SULIMAN A.; EL-BASYOUNY, KARIM; SABBAGH, JOSEPH. Assessing stopping and passing sight distance on highways using mobile LiDAR data. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 32, n. 4, p. 04018025, 2018.

GÉZERO, LUIS FILIPE JÚLIO. **Métodos de classificação de nuvens de pontos recolhidas por sistemas LiDAR móveis, para a geração de modelos digitais de terreno, a grandes escalas**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa (Portugal).

GIKAS, VASSILIS; PERAKIS, HARRIS. Rigorous performance evaluation of smartphone GNSS/IMU sensors for ITS applications. **Sensors**, v. 16, n. 8, p. 1240, 2016.

GIONGO, MARCOS et al. LiDAR: princípios e aplicações florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 63, p. 231-231, 2010.

GLAZNER, A.F., WALKER, J.D., 2020. StraboTools: a mobile app for quantifying rock fabric. **GSA Today** 30, 4–10. <https://doi.org/10.1130/GSATG454A.1>.

GPS World. Innovation: **Precise positioning using raw GPS measurements from Android Smartphones**. GPS World, [2016]. Disponível em: <https://www.gpsworld.com/innovation-precise-positioning-using-raw-gps-measurements-from-android-Smartphones/>. Acesso em: 6 fev. 2024.

GROETELAARS, NATALIE JOHANNA; DE AMORIM, ARIVALDO LEÃO. Tecnologia 3D Laser Scanning: características, processos e ferramentas para manipulação de nuvens de pontos. In: **XV Congresso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital-SIGRADI. Santa Fé: Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo da Universidad Nacional del Litoral**. 2011. p. 1-5.

HERING, Ekbart; SCHÖNFELDER, Gert (Ed.). **Sensoren in Wissenschaft und Technik: Funktionsweise und Einsatzgebiete**. Springer, 2018.

HOFMANN-WELLENHOF, BERNHARD et al. **Applications of GPS**. Global Positioning System: Theory and Practice, p. 319-343, 2001.

ISO 19.157. **Geographic information - Data quality**. 2023.

KEALY, A.; RETSCHER, G.; ALAM, N.; HASNUR-RABIAIN, A.; TOTH, C.; GREJNER-BRZEZINSKA, D.A.; MOORE, T.; HILL, C.; GIKAS, V.; DANEZIS, C.; et al. **Collaborative navigation with ground vehicles and personal navigators**.

KING, Fraser; KELLY, Richard; FLETCHER, Christopher G. **Evaluation of lidar-derived snow depth estimates from the iPhone 12 pro**. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, v. 19, p. 1-5, 2022.

LAGE, Mariana de Oliveira et al. **Modelagem de parâmetros de um VANT equipado com LIDAR em aplicações de monitoramento de linhas de transmissão de energia elétrica**. Revista Brasileira de Cartografia-RBC, v. 69, n. ju 2017. Edição Especial: Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, p. 1101-1115, 2017.

LERMA GARCÍA, J.L., VAN GENECHTEN, B., HEINE, E., SANTANA QUINTERO, M., **Theory and Practice on Terrestrial Laser Scanning**. Training Material Based on Practical Applications ISBN: 978-84-8363-379-3. 2 DVDs. 2008.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology**. Taylor & Francis, 2005. ISBN 0-415-32462-9

SOUSA LIMA, WESLLEN et al. **Human activity recognition using inertial sensors in a smartphone: An overview**. Sensors, v. 19, n. 14, p. 3213, 2019.

LUETZENBURG, GREGOR; KROON, AART; BJØRK, ANDERS A. **Evaluation of the Apple iPhone 12 Pro LiDAR for an application in geosciences**. Scientific reports, v. 11, n. 1, p. 22221, 2021.

MANUALS.PLUS. **Manual do Estabilizador Gimbal de 3 Eixos Modelo H4**. 2021. Disponível em: <https://pt.manuals.plus/youthink/h4-3-axis-handheld-gimbal-stabilizer-manual#axzz8SCFrcvmI>. Acesso em: 19 fev. 2024.

MEHENDALE, NINAD; NEOGE, SRUSHTI. **Review on lidar technology**. Available at SSRN 3604309, 2020.

MOZAS, ANTONIO T., AND FRANCISCO J. ARIZA. 2011. "New Method for Positional Quality Control in Cartography Based on Lines. A Comparative Study of Methodologies." International Journal of Geographical Information Science 25 (10). Taylor & Francis: 1681–95.doi:10.1080/13658816.2010.545063.

NICLASS, CRISTIANO L. et al. **Imaging system with synchronized scan and sensing**. U.S. Patent n. 10,795,001, 6 out. 2020.

NOGUEIRA JÚNIOR, JOÃO BOSCO. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. 2003.

PAVLIS, T.L., LANGFORD, R., HURTADO, J., SERPA, L., 2010. **Computer-based data acquisition and visualization systems in field geology: results from 12 years of experimentation and future potential.** *Geosphere* 6, 275–294. <https://doi.org/10.1130/GES00503.1>.

PAZ, ISMAEL JUNIOR VIDAL et al. **Autenticação contínua usando sensores inerciais dos Smartphones e aprendizagem profunda.** 2022.

RIEGL – RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. RIEGL VZ-400 laser scanners. Disponível em: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/RIEGL_VZ-400_News_03-2009_01.pdf. Acesso em: 12 nov. 2023.

RIQUELME, Adrian et al. **Extraction of discontinuity sets of rocky slopes using iPhone-12 derived 3DPC and comparison to TLS and SfM datasets.** In: ISRM EUROCK. ISRM, 2021. p. ISRM-EUROCK-2021-052.

SANTOS, A. P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso da Estatística Espacial.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 128p, 2010.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. das G.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Controle de Qualidade Posicional em Dados Espaciais Utilizando Feições. In: **Boletim de Ciências Geodésicas.** v. 21, n. 2, p. 233, 2015.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JR, J.. Avaliação da acurácia posicional planimétrica em modelos digitais de superfície com o uso de feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas,** v. 22, p. 157-174, 2016.

SHAN, Jie; TOTH, Charles K. (Ed.). **Topographic laser ranging and scanning: principles and processing.** CRC press, 2018.

SITESCAPE. Disponível em: <https://apps.apple.com/us/app/sitescape-lidar-scanner-cad/id1524700432>. Acesso em: 8 de março de 2024.

SOLIN, Arno et al. Inertial odometry on handheld Smartphones. In: **2018 21st International Conference on Information Fusion (FUSION).** IEEE, 2018. p. 1-5.

SPREAFICO, ALESSANDRA et al. The ipad pro built-in lidar sensor: 3d rapid mapping tests and quality assessment. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,** v. 43, p. 63-69, 2021.

STUHLER, Jackson. **Utilização de MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems–sistemas microeletromecânico) para aplicações de circuitos de baixo custo de movimentação e sensoriamento.** *Metodologias e Aprendizado,* v. 5, p. 82-91, 2022.

TAMIMI, R. Relative Accuracy found within iPhone data collection. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,** v. 43, p. 303-308, 2022.

TAVANI, STEFANO et al. Smartphone assisted fieldwork: Towards the digital transition of geoscience fieldwork using LiDAR-equipped iPhones. **Earth-Science Reviews**, v. 227, p. 103969, 2022.

TEPPATI LOSÈ, LORENZO et al. **Apple LiDAR Sensor for 3D Surveying: Tests and Results in the Cultural Heritage Domain**. *Remote Sensing*, v. 14, n. 17, p. 4157, 2022.

THOMAZINI, DANIEL; DE ALBUQUERQUE, PEDRO URBANO BRAGA. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. Saraiva Educação SA, 2020.

TVEITE, HAVARD, AND S. LANGAAS. 1999. “An Accuracy Assessment Method for Geographical Line Data Sets Based on Buffering.” **International Journal of Geographical Information Science** 13 (1). Taylor & Francis Group: 27–47. doi:10.1080/136588199241445.

TOMMASELLI, ANTONIO MARIA GARCIA. Um estudo sobre as técnicas de varredura a laser e fotogrametria para levantamentos 3D a curta distância. **GEODÉSIA Online-Revista da Comissão Brasileira de Geodésia**, v. 4, n. 1415-1111, 2003.

TOPOMAP. **GPS RTK TPS T10**. Disponível em:

<http://topomap.com.br/index.php/component/virtuemart/gps-rtk/t10-detail?Itemid=0>.

Acesso em: 10 nov. 2023.

TREDE, CICILIE; CARDOZO, NESTOR; WATSON, LISA. What is the appropriate sample size for strike and dip measurements? An evaluation from compass, smartphone and lidar measurements. **NORWEGIAN JOURNAL OF GEOLOGY**, v. 99, n. 3, 2019.

VIEIRA, L. (2006). 3D Gyroscope-no text. Wikimedia Commons. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_Gyroscope-no_text.png. Acesso em: 6 out. 2023.

WALKER, J.D., TIKOFF, B., NEWMAN, J., CLARK, R., ASH, J.M., GOOD, J., BUNSE, E.G., M'OLLER, A., KAHN, M., WILLIAMS, R., MICHELS, Z., ANDREW, J.E., RUFLEDT, C., 2019. **StraboSpot data system for structural geology**. *Geosphere* 15. <https://doi.org/10.1130/GES02039.1>.

WANG, Aiguo et al. **A comparative study on human activity recognition using inertial sensors in a smartphone**. *IEEE Sensors Journal*, v. 16, n. 11, p. 4566-4578, 2016.

WANG, WALLACE. Accessing the Photos Library. In: **Pro iPhone Development with SwiftUI: Design and Manage Top-Quality Apps**. Berkeley, CA: Apress, 2023. p. 299-311.

WHITMEYER, S. J. et al. Modern approaches to field data collection and mapping: Digital methods, crowdsourcing, and the future of statistical analyses. **Journal of Structural Geology**, v. 125, p. 29-40, 2019.

WU, Qiong et al. Precise point positioning using dual-frequency GNSS observations on smartphone. **Sensors**, v. 19, n. 9, p. 2189, 2019.

ZANARDI, RAFAEL PEREIRA. **Geração de modelo digital de terreno a partir de par estereoscópico do sensor CCD do satélite CBERS-2 e controle de qualidade das informações altimétricas**. 2006.

ZHU, Hongyu et al. IMU-aided precise point positioning performance assessment with Smartphones in GNSS-degraded Urban environments. **Remote Sensing**, v. 14, n. 18, p. 4469, 2022.

APÊNDICE A

Tabela de coordenadas (m) para cada levantamento.

Pontos	Coordenadas (UTM)		Coordenadas (UTM)		Coordenadas (UTM)	
	Lev. RTK		Lev. 1 Nuvem de pontos		Lev. 3 nuvens de pontos	
	X	Y	X	Y	X	Y
P1	722063.681	7703855.870	722063.053	7703855.064	722064.487	7703855.653
P2	722086.087	7703845.031	722086.185	7703844.921	722086.215	7703844.710
P3	722080.784	7703834.241	722080.789	7703834.058	722080.618	7703834.432
P4	722067.730	7703841.225	722067.724	7703841.216	722067.669	7703841.102
P5	722061.126	7703844.686	722061.068	7703844.840	722060.885	7703844.691
P6	722060.705	7703845.057	722060.788	7703845.135	722060.553	7703844.949
P7	722060.370	7703845.532	722060.402	7703845.694	722060.177	7703845.479
P8	722060.043	7703846.271	722060.169	7703846.311	722059.886	7703846.122
P9	722059.970	7703846.672	722060.065	7703846.828	722064.487	7703855.653
P10	722059.938	7703847.548	722060.008	7703847.585	722086.215	7703844.710

Fonte: O Autor (2024).