



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTÓGRAFICA E DE
AGRIMENSURA

Carolina Aparecida de Souza Dias

Geotecnologias aplicadas às perícias em casos de atropelamento

**CURITIBA
2023**

Carolina Aparecida de Souza Dias

Geotecnologias aplicadas às perícias em casos de atropelamento

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Laboratório de Estatística do Curso de Graduação em Estatística da Universidade Federal do Paraná, como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e Agrimensura.

Orientadores: Profa. Dra. Ana Paula Baungarten
Kersting e Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

**CURITIBA
2023**

***Aos nossos pais, que sempre nos deram
apoio e incentivo para que nossos
sonhos se tornassem realidade.***

A vocês nossa eterna gratidão!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por nos manter sempre confiantes, mesmo nos momentos difíceis.

Aos Professores Dra. Ana Paula Baungarten Kersting e Dr. Luís Augusto Koeing Veiga, pela orientação e ensinamentos compartilhados.

Aos nossos amigos, o companheirismo nos bons e maus momentos.

As nossas famílias, por todo o apoio no decorrer desses anos de graduação.

À Universidade Federal do Paraná, que nos cedeu os dados utilizados neste trabalho.

Aos Professores Wander da Cruz e Marlo Martins, por suas participações na banca deste trabalho.

À Leica Geosystem, na figura do Eng. Miguel Menegusto pela permissão de uso da licença do programa Leica Cyclone.

“Feliz aquele que transfere o que sabe e
aprende o que ensina”.

Cora Coralina

RESUMO

Todos os engenheiros formados e devidamente regularizados pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia têm autonomia para emitir relatórios e laudos técnicos, no entanto, para atuar como perito é necessário apresentar conhecimento sobre o tema da perícia, bem como desenvolver capacidades de observação e de resposta clara e direta sobre o que está em análise na peritagem, trazendo assim uma alternativa para obtenção de respostas mais rápidas para tomada de decisões de juízes. Os conhecimentos acumulados durante o curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura em áreas como Geodésia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Cartografia, são ferramentas que podem ser aplicadas em perícias para diversos fins, como é o caso de acidentes. O intuito desse trabalho é trazer novas possibilidades para aplicações de geotecnologias em uma situação real de um atropelamento ocorrido em Curitiba. Com o vídeo obtido da câmera de segurança interna no veículo, foi aplicada a técnica Structure from Motion - SfM, para verificar a possibilidade de reconstrução da trajetória do veículo e assim identificar possíveis obstruções no campo de visão do condutor. E a partir do uso da técnica de varredura a laser foi possível mapear o local do acidente, possibilitando analisar o posicionamento das placas de sinalização vertical e dimensionar as possíveis obstruções no campo de visão do condutor. Mesmo diante das dificuldades no processamento devido as condições técnicas do vídeo capturado pela câmera interna do veículo, a qual tem finalidade de monitoramento e, portanto, não posicionada adequadamente para fins de reconstrução fotogramétrica, o uso de geotecnologias em trabalhos de perícia mostrou-se promissor.

Palavras-chave: Perícia. Atropelamento. Laser escâner. Structure from Motion (SfM).

ABSTRACT

All Professional Engineers licensed by the Regional Council of Engineering and Agronomy have the autonomy to issue reports and technical expert reports, however, to act as an expert it is necessary to have knowledge on the subject under investigation, as well as to develop observation skills and the ability to provide clear and direct responses to what is under analysis in the expert report, thus bringing an alternative to guarantee faster responses for decision-making by judges. The knowledge accumulated during the Cartographic Engineering and Surveying course in areas such as Geodesy, Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, are tools that can be applied in investigations for various purposes, such as accidents. The purpose of this work is to bring new possibilities for geotechnology applications in a real situation of a pedestrian accident in Curitiba. With the video obtained from the internal security camera in the vehicle, the Structure from Motion - SfM technique was applied to verify the possibility to reconstruct the trajectory of the vehicle and thus to identify possible obstructions in the driver's field of view. And from the use of laser scanning technology, it was possible map the accident site, allowing the analysis of the positioning of the vertical traffic signs and the dimensioning of possible obstructions in the driver's field of view. Despite the difficulties due to the technical conditions of the video captured by the internal camera of the vehicle, which has security purposes and therefore not properly positioned for the purpose of photogrammetric reconstruction, the use of geotechnologies in expert investigations has shown to be promising.

Keywords: Expertise, Run over, Laser scanner, Structure from Motion (SfM).

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

POI - Parâmetros de Orientação Interior
POE - Parâmetros de Orientação Exterior
SfM - Structure from Motion
CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
GEENG - Geodésia Aplicada a Engenharia
IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
HDR - High Dynamic Range
RPAS - Remotely Piloted Aircraft Systems
SIFT - Scale Invariant Feature Transform
SURF - Speeded-Up Robust Features
ROPs - estimativa de parâmetros de orientação relativa recuperação de parâmetros de orientação exterior
BA - Bundle Adjustment
MVS - Multi – View Stereo

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Posição do motorista e dos passageiros.....	14
Figura 2: Desembarque do Passageiro 2.....	14
Figura 3: Motorista realizando a conversão sem identificar a pedestre na faixa.....	15
Figura 4: Área do local do acidente.....	20
Figura 5: Mapa da localização do local do acidente e o sentido das vias.....	20
Figura 6: Equipamento Laser escâner BLK360.....	21
Figura 7: Campo de Visão da câmera.....	24
Figura 8: Fluxograma.....	25
Figura 9: Croqui da área a ser mapeada.....	26
Figura 10: Trajetória do veículo.....	27
Figura 11: Ilustração da quantidade de detalhes a ser mapeado.....	28
Figura 12: Ocupação do <i>laser</i> escâner.....	28
Figura 13: Distribuição das ocupações do laser escâner.....	29
Figura 14: Representação das máscaras antes e após o desembarque, respectivamente.....	32
Figura 15: Exemplo de um ponto de apoio.....	33
Figura 16: Identificação dos pontos de apoio.....	34
Figura 17: Estrutura do olho humano.....	35
Figura 18: Campo de visibilidade do ser humano.....	36
Figura 19: Localização da placa de parada obrigatória próxima ao ponto de obstrução.....	37
Figura 20: Linha de retenção.....	38
Figura 21: Faixa de Travessia de Pedestres do tipo zebra e paralela, respectivamente.....	39
Figura 22: Exemplo de setas direcionais.....	39
Figura 23: Exemplo de símbolos: “Dê preferência”.....	40
Figura 24: Legenda PARE.....	40
Figura 25: Processo de Registro das cenas.....	42
Figura 26: Todas as nuvens registradas.....	42
Figura 27: Nuvem de pontos apenas da área de estudo.....	43
Figura 28: Nuvem de pontos da área de estudo.....	43
Figura 29: Localização dos elementos do local do acidente.....	44
Figura 30: Perfis da posição do acidente.....	45
Figura 31: Campo de visibilidade do condutor e do pedestre.....	46
Figura 32: Dimensionamento do totem.....	46
Figura 33: Atenção dos pedestres ao atravessar a faixa de pedestre.....	47
Figura 34: Sentido que requer atenção do pedestre ao atravessar.....	47
Figura 35: Identificação do ponto de parada e a edificação.....	48
Figura 36: Direção da atenção do motorista, para ter acesso a rua dos Pioneiros.....	49
Figura 37: Dimensões da edificação.....	49
Figura 38: Procedimento de alinhamento das imagens.....	50
Figura 39: Elementos que podem causar problemas no processo de modelagem.....	50
Figura 40: Distribuição inadequada dos pontos de apoio.....	51
Figura 41: Nuvem de pontos espaçadas.....	52
Figura 42: Densificação da nuvem de pontos.....	52

Figura 43: Modelo 3D, gerado.....	53
Figura 44: Modelo gerado sem pontos de apoio.....	54
Figura 45: Localização das obstruções com relação ao local do acidente.....	55
Figura 46: Dimensões das obstruções.....	56
Figura 47: Localização das suposições da visibilidade do condutor	57
Figura 48: Câmera na Suposição 1.....	58
Figura 49: Câmera na suposição 2.....	58
Figura 50: Câmera na suposição 3.....	59
Figura 51: Sinalização vertical no local do acidente	62
Figura 52: localização da placa de parada obrigatória próxima ao ponto de obstrução.....	63
Figura 53: Posicionamento do veículo para ter visibilidade.....	64
Figura 54: Distância da sinalização de parada obrigatória até o prolongamento do meio-fio.....	64
Figura 55: Sinalização horizontal inexistente ou com as demarcações fracas.....	65
Figura 56: Sinalização Horizontal do local do acidente	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Número de acidentes por ano classificados por tipo (%).....	19
Tabela 2: Dados sobre a câmera	22
Tabela 3: Desempenho e acurácia do BLK 360	22
Tabela 4: Duração do escaneamento para 3 configurações. Modo de densidade de ponto	23
Tabela 5: Tamanho do escaneamento para 3 configurações	23
Tabela 6: Sinalização vertical da área de estudo	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 JUSTIFICATIVA.....	13
3 OBJETIVOS.....	13
3.1 OBJETIVOS GERAIS	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4 MOTIVAÇÃO PARA O ESTUDO	13
5 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
5.1 LASER ESCÂNER.....	16
5.2 STRUCTURE FROM MOTION – SFM	16
6 ÁREA DE ESTUDO	19
7 MATERIAIS E MÉTODOS	21
7.1 MATERIAIS	21
7.2 SOFTWARES	24
7.3 METODOLOGIA	24
7.3.1 Reconstrução tridimensional do local do acidente	25
7.3.1.1 Coleta dos Dados.....	26
7.3.1.2 Processamento dos dados de Varredura Laser	29
7.3.2 Reconstrução da trajetória do veículo	30
7.3.2.1 Extração das imagens da câmera interna do veículo.....	31
7.3.2.2 Processamento da modelagem tridimensional da área de estudo das imagens extraídas do video da camera interna do veículo	31
7.3.3 Campo de Visibilidade do Condutor do Veículo	34
7.3.4 Análise da Adequação da Sinalização	36
7.3.4.1 Sinalização Vertical	36
7.3.4.2 Sinalização Horizontal.....	37
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1 Reconstrução tridimensional do local do acidente.....	41
6.2 Reconstrução da Trajetória do Veículo.....	49
6.3 Análise de Visibilidade do Condutor do Veículo	54
6.4 Análise da Adequação da Sinalização.....	59
7 CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Dentre inúmeras áreas de atuação da engenharia, a perícia acaba por fazer parte deste leque de possibilidades. A mesma se faz presente em atividades que envolvem a apuração de causas que acabam por motivar determinado evento (NBR 13752/1996). Por meio de análises e investigações, a perícia é capaz de apresentar dados necessários para auxiliar na resolução de problemas, tornando possível a compreensão acerca das condições técnicas de algum imóvel, máquina, equipamento ou objeto do setor automobilístico, por exemplo.

Para que o engenheiro atue como perito, faz-se necessário, além do conhecimento técnico, que o mesmo tenha alta capacidade relacionada a observação e que tenha clareza acerca do objeto que está em análise na peritagem. Entretanto, é válido ressaltar que todos os engenheiros formados e devidamente regularizados pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) têm autonomia para emitir relatórios e laudos técnicos.

No que se refere especificamente a Engenharia Cartográfica e Agrimensura, a perícia se faz presente em áreas como demarcação, divisão, manutenção e reintegração de posse que envolva bens, imóveis ou servidões, dentre outras. Além disso, os conhecimentos acumulados durante o curso em áreas como Geodésia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Cartografia, são ferramentas que podem ser aplicadas em perícias para diversos fins, como para casos de acidentes e problemas ambientais. No desenvolvimento da perícia em acidentes, que é o foco do presente trabalho, a geotecnologia facilita a comprovação espaço-temporal que atualmente é realizada com o uso de por exemplo, técnicas de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, Sistemas de Informações Geográficas e Sistema de Navegação Global por Satélite, tornando-se eficiente e produtiva a elaboração de produtos, como mapas.

Com isso, o intuito deste trabalho é trazer novas possibilidades para aplicações de geotecnologias em uma situação real de um atropelamento ocorrido em Curitiba, utilizando técnicas de fotogrametria e o levantamento por varredura a laser para tentar identificar os elementos da cena, a trajetória do veículo envolvido, a visibilidade do condutor e elementos de obstruções dentro e fora do veículo em questão. Trazendo assim uma alternativa para obtenção de respostas mais rápidas para tomada de decisões em processos judiciais.

2 JUSTIFICATIVA

O avanço constante da tecnologia faz com que profissionais de engenharia busquem inovações que otimizem o tempo na execução dos trabalhos, maximizem a sua qualidade e minimizem possíveis falhas nos serviços prestados. Assim, o intuito deste trabalho é apresentar, por meio da aplicação de geotecnologias, uma maneira ágil e eficaz de desenvolver uma perícia, demonstrando assim, uma possibilidade de aplicação de técnicas fotogramétricas e de varredura a laser para uma situação específica envolvendo um caso de atropelamento.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Este trabalho tem como objetivo analisar a possibilidade da aplicação de geotecnologias em uma situação real de perícia seja ela criminal ou judicial.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Gerar nuvem tridimensional do local do acidente utilizando técnica de varredura a laser;
- Verificar a possibilidade de reconstituir a trajetória do veículo utilizando imagens de vídeo capturado pela câmera de monitoramento interna do ônibus;
- Identificar o campo de visibilidade do condutor, a partir da trajetória do ônibus;
- Analisar a sinalização da área de estudo.

4 MOTIVAÇÃO PARA O ESTUDO

Em meados de Julho de 2022, ocorreu mais um acidente fatal no trânsito de Curitiba. Desta vez, um atropelamento de uma pedestre por um ônibus coletivo da linha 547 – Bairro Novo C em uma área pertencente ao terminal do Sítio Cercado. Neste trabalho, os nomes das pessoas envolvidas não serão apresentados, somente serão usadas as imagens já publicadas pela mídia televisiva e por meio da internet. Este atropelamento foi parcialmente gravado no dia 14 de julho de 2022 por uma

câmera interna presente no ônibus.

O estudo presente neste trabalho buscou verificar a aplicação do vídeo capturado pela câmera de monitoramento interno do ônibus. Na figura 01, é possível visualizar a disposição dos elementos internos no veículo, através de uma imagem extraída do vídeo.

Figura 1: Posição do motorista e dos passageiros



Fonte: Tribuna do Paraná, 2022.

Ao assistir o vídeo por diversas vezes observa-se que o condutor reduz a velocidade para realizar uma conversão à esquerda e ter acesso a área do terminal. Após aproximadamente 50 m, o veículo para e o passageiro 2 desembarca, como podemos visualizar em um outro frame extraído do vídeo, figura 02.

Figura 2: Desembarque do Passageiro 2



Fonte: Tribuna do Paraná, 2022.

Em seguida, o motorista segue o trajeto, realizando uma conversão, à direita. No momento da conversão, apresentado na figura 03, o motorista não visualiza a presença da pedestre gerando um atropelamento fatal.

Figura 3: Motorista realizando a conversão sem identificar a pedestre na faixa



Fonte: Tribuna do Paraná, 2022.

Esta situação de caso foi motivadora para a realização deste estudo, buscando, através do uso de geotecnologias, identificar as obstruções que podem ter influenciado na visibilidade do condutor durante o acidente.

5 REVISÃO DE LITERATURA

5.1 LASER ESCÂNER

O *laser* escâner é, segundo Centeno (2009), um sistema ativo usado para medir a distância entre o sensor e a superfície dos objetos e, com isto, poder estimar as coordenadas dos pontos da superfície física mapeada.

O princípio de funcionamento baseia-se na utilização de um feixe de laser que é disparado na direção dos objetos. Ao atingir a superfície dos objetos, parte deste sinal é refletido na direção do sensor, onde é medido junto com o tempo decorrido entre emissão e a captação do retorno. A partir do tempo decorrido entre a emissão e o registro do retorno, a distância entre o sensor e o objeto pode ser calculada. Junto com o este tempo, a intensidade do retorno também é medida, pois ela oferece informações a respeito das características da superfície naquele ponto.

Na varredura a laser, o feixe deve ser direcionado a vários pontos no terreno com o objetivo de cobrir uma faixa. Os mecanismos mais conhecidos são: espelhos rotativos, Palmer Scanner, espelho em forma de polígono rotatório e Fiber scanner que são diferenciados pela diferenciados pela forma de captura dos pontos. Espelhos rotativos produzem linhas paralelas ou em zig-zag. Palmer Scanner, utiliza um espelho que gira em torno do seu eixo e produz um padrão elíptico. Polígono rotatório produz linhas paralelas e Fiber scanner o direcionamento do feixe é feito usando u, espelho rotativo que possibilita registrar a energia proveniente de uma linha inteira (Wehr e Lohr [1999]).

Os dados coletados pelo laser escâner são denominados nuvem de pontos, pois fornecem valores de coordenadas X, Y, Z e um valor de intensidade de retorno de sinal para milhões de pontos levantados em uma posição ocupada pelo equipamento.

5.2 STRUCTURE FROM MOTION – SFM

O Structure from Motion é um procedimento fotogramétrico que tem por objetivo a obtenção de uma nuvem de pontos tridimensionais de uma região ou objeto, utilizando um conjunto de imagens digitais, tomadas de diferentes posições e orientações, com elevada redundância de medida de pontos homólogos.

Segundo Franco (2021) o SfM, configura-se como um conjunto de algoritmos:

1. SIFT: Scale Invariant Feature Transform (Lowe, 2004) – Método vastamente utilizado para a detecção de pontos distintos/chaves bem como descritores associados a esses pontos que são invariáveis à escala e rotação para fornecer correspondência robusta para a determinação de pontos homólogos.

Segundo Lowe (2004), o SIFT é composto por 4 estágios. O primeiro consiste na detecção da escala do espaço das cenas, seguido da localização dos pontos chaves para a correspondência. Assim, são atribuídas as orientações das cenas para que por fim ocorra a mensuração dos dados de iluminação e distorção dos pontos. Resumidamente o SIFT, é descrito como um mecanismo de busca dos melhores pontos homólogos entre as diferentes imagens (Westoby et al. 2012).

2. Solução Inicial de Alinhamento e Refinamento global (Bundle Adjustment): O produto desta etapa consiste dos parâmetros de orientação exterior das imagens (i.e., posição e orientação da câmera no momento das tomadas), parâmetros de orientação interior da câmera, bem como as coordenadas dos pontos homólogos que gera uma nuvem de pontos esparsa.
3. Multi – view Stereo – MVS (dense matching): reconstrução tridimensional de todos os pixels das imagens. MVS consiste em densificar a nuvem esparsa a partir da vasta coleção de imagens de um objeto ou superfície por diferentes posições e o estabelecer como um sólido. Para isso, independentemente do ângulo de captura, deve-se obter uma taxa de sobreposição entre as cenas que varia entre 60 e 80% (Verhoeven et al. 2012).

Com o Structure from Motion, é possível realizar a reconstrução do espaço objeto através da interseção de feixes de raios homólogos em imagens sobrepostas (ou seja, a mesma feição imageada sob duas perspectivas distintas). Portanto, para que se possa efetuar a interseção espacial dos feixes de raios homólogos, isto é, a

reconstrução fotogramétrica, é necessário que os feixes de raios homólogos sejam definidos e a posição e orientação dos feixes no espaço devem ser conhecidas. Um feixe de raio de luz é definido quando se tem a leitura na imagem e as características internas da câmera conhecidas. As características internas da câmera, isto é, os parâmetros de orientação interior (POI), são determinados através de um processo de calibração de câmera enquanto que a posição e orientação dos feixes (i.e., da câmera) no espaço, denotados de parâmetros de orientação exterior (POE), são obtidos através de um método/procedimento de georreferenciamento.

A fototriangulação por feixes de raios (ou bundle Adjustment) de um bloco de imagens, a qual consiste em um método de ajustamento de observações baseada nas equações de colinearidade, tem sido tradicionalmente utilizada para estimar simultaneamente a posição e orientação dos feixes bem como as coordenadas dos pontos correspondentes no espaço objeto a partir da medição de pontos homólogos (de forma automática) nas imagens e pontos de controle no espaço objeto. Neste processo, caso haja geometria adequada, os parâmetros de calibração podem ser estimados também, sendo o método denominado neste caso, como fototriangulação (bundle adjustment) com autocalibração.

A técnica Structure from Motion consiste de uma nova abordagem à Fotogrametria convencional, proveniente de avanços na área de Visão Computacional que têm sido amplamente difundida trazendo bastante automação no processo de reconstrução fotogramétrica. Esta técnica tem sido vastamente aplicada nos últimos anos principalmente para reconstrução fotogramétrica a partir de imagens coletadas utilizando RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) e encontra-se implementada nos principais softwares comerciais disponíveis hoje no mercado.

Na maioria das estratégias de mapeamento baseadas em métodos SfM de última geração, o modelo 3D final é reconstruído por meio de quatro etapas principais, a saber, determinação automática de pontos homólogos (utilizando-se de técnicas como por exemplo Invariant Feature Transform - SIFT ou Speeded-Up Robust Features - SURF), estimativa de parâmetros de orientação relativa (ROPs), recuperação de parâmetros de orientação exterior (EOPs), bundle adjustment (BA) (Carvalho, 2020).

Uma das diferenças com relação às técnicas da fotogrametria convencional é que método SfM aplica modelos lineares entre imagens subsequentes para achar uma

solução inicial para os parâmetros de orientação exterior e interior da câmera bem como para as coordenadas dos pontos homólogos e em seguida refina estes parâmetros utilizando técnicas de otimização global como a fototriangulação (bundle adjustment). A utilização de modelos lineares não exige aproximações iniciais para os parâmetros a serem estimados, sendo de grande valia para aplicações que não se dispõem de informações a priori sobre a câmera.

6 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na cidade de Curitiba, no estado do Paraná (PR). Conforme dados de 2021 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) a cidade conta com uma área territorial de 434.892 km² e possui 1.963.726 habitantes, sendo a capital do estado.

No que se refere ao setor automobilístico, segundo dados de 2022 do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC), órgão responsável por coordenar o processo de planejamento e monitoramento urbano da cidade, foram contabilizados 177 acidentes de trânsito com vítimas fatais, sendo que 36% destes foram por atropelamento, perdendo apenas para colisão, que corresponde a 39% das fatalidades no trânsito.

Tabela 1: Número de acidentes por ano classificados por tipo (%)

Tipo de acidente (2020)	Nº de acidentes (177)
Colisão	39%
Atropelamento	36%
Choque	17%
Queda	4%
Ignorado	3%
Capotamento	1%

Fonte: IPPUC Adaptado, 2023.

O acidente retratado neste trabalho ocorreu no dia 14 de julho de 2022 na rua dos Pioneiros, área pertencente ao terminal do Sitio Cercado, que é situado entre as ruas Izaac Ferreira da Cruz e rua dos Pioneiros no bairro do Sítio Cercado, Curitiba – PR, na figura 4 é possível visualizar a área do local do acidente.

Figura 4: Área do local do acidente



Fonte: Autora, 2023.

Na figura 5 é apresentado uma planta de localização e o sentido das vias e a posição do local do acidente da área de estudo.

Figura 5: Mapa da localização do local do acidente e o sentido das vias.



Fonte: Autora, 2023.

7 MATERIAIS E MÉTODOS

7.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a execução deste trabalho foram um equipamento para a realização da varredura *laser* e um vídeo capturado pela câmera interna do veículo envolvido no acidente.

Para a varredura a laser foi empregado o *laser* escâner Leica BLK360 (figura 06). O equipamento foi disponibilizado pelo Laboratório de Geodésia Aplicada a Engenharia (GEENG) da Universidade Federal do Paraná. Seu funcionamento é baseado em sensores ativos e passivos embarcados em sua composição, que realiza a captura do ambiente ao seu redor entregando como produto as nuvens de pontos e as imagens panorâmicas de alta resolução, sendo a precisão dos pontos tridimensionais no valor de 6 mm a 18m, 8mm a 20m.

Figura 6: Equipamento Laser escâner BLK360.



Fonte: Autora, 2023.

O Leica BLK360 conta com três câmeras digitais HDR integradas. Todas as

especificações de acurácia são um sigma (1σ) de acordo com as condições de teste padrão da Leica Geosystems salvo indicação contrária (LEICA, 2021). O sistema de escaneamento é uma unidade de tempo de percurso de alta velocidade com uma taxa máxima de escaneamento de 360.000 pontos por segundo. Na tabela 2 são apresentadas as características técnicas da câmera do equipamento e na tabela 3 elementos relacionados ao desempenho e acurácia do BLK 360.

Tabela 2: Dados sobre a câmera

Dados da câmera	Valor
Tipo	Sensor de cor, distância focal fixa
Imagem individual	2592 x 1944 pixels, 60° x 45° (V x Hz)
Domo completo	30 imagens, retificadas espacialmente de forma automática, 150 Mpx, 360° x 300°
Balanço de branco	Automático
HDR	Automático
Flash	LED para iluminação contínua
Alcance	mínimo 0.6 m

Fonte: Adaptado Cyclone, 2023.

Tabela 3: Desempenho e acurácia do BLK 360

Acurácia da medição individual (78% albedo)	Valor
Ângulo (horizontal/vertical)	40"/40"
Precisão do ponto 3D	6 mm a 10 m, 8 mm a 20 m
Classificação do Laser	Laser Classe 1 (de acordo com IEC 60825-1 (2014-05))
Comprimento da onda	830 nm (invisível)

Fonte: Adaptado Cyclone, 2022.

Este modelo de equipamento permite realizar a varredura com amplitude 360° na horizontal e 300° na vertical. O tempo de levantamento de cada cena individual é apresentado na tabela 04 e 05.

Tabela 4: Duração do escaneamento para 3 configurações.

Modo de densidade de ponto	Resolução [mm @ 10m]	Duração estimada do escaneamento [MM:SS] para escaneamento de domo completo
Rápido	35	00:40
Padrão	10	1:50
Alta densidade	5	03:40

Fonte: Adaptado Cyclone, 2022.

Tabela 5: Tamanho do escaneamento para 3 configurações

Tipo de câmera	Duração estimada da imagem [MM:SS]
Rápido	3
Padrão	18
Alta densidade	65

Fonte: Adaptado Cyclone, 2022.

O vídeo utilizado para o desenvolvimento desse trabalho foi capturado pela câmera interna do veículo envolvido no atropelamento. O vídeo foi obtido através do download no canal da Tribuna do Paraná pelo YouTube ([vídeo do atropelamento](#)) em que foi publicado no dia 9 de agosto de 2022, mas não foi possível obter informações técnicas sobre a câmera utilizada.

A instalação das câmeras no interior de estações-tubo e de ônibus, foi realizada em abril de 2021, pela prefeitura de Curitiba, que tem a finalidade de garantir mais segurança aos passageiros, condutores e cobradores.

Segundo Adamo Bazani, jornalista especializado em transporte, as câmeras têm o objetivo de reduzir o número de assaltos, casos de assédio e evasão de receitas do transporte coletivo com os “fura-catraca”.

No que se refere ao posicionamento da câmera, a mesma encontra-se na cabine do condutor de forma a abranger um ângulo de mais de 90 graus, desde a janela ao lado esquerdo do motorista ao passageiro 2, apresentado na figura 07.

Figura 7: Campo de Visão da câmera



Fonte: Autora, 2023.

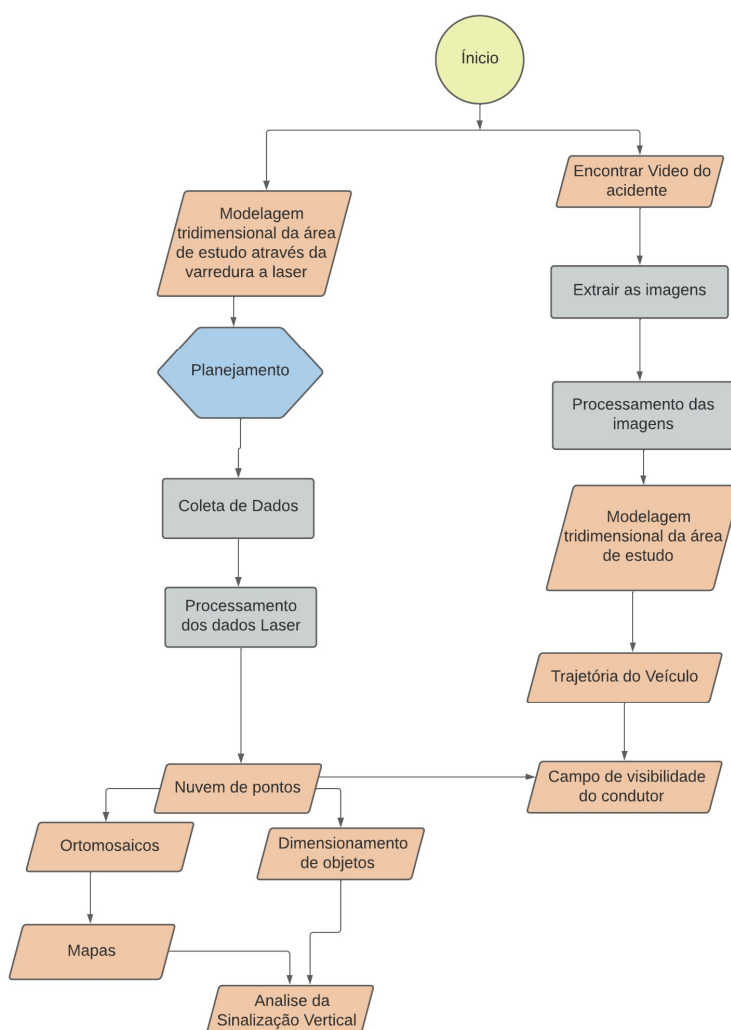
7.2 SOFTWARES

Para a execução deste trabalho foram utilizados alguns softwares que possibilitaram a coleta e interpretação dos dados necessários para o estudo. Para o registro das nuvens de pontos foi utilizado o *software Leica Cyclone*. Para viabilizar o manuseio das nuvens de pontos registradas, utilizou-se o *CloudCompare*. O *software Agisoft Metashape* foi utilizado para a modelagem tridimensional, o *Qgis* para a confecção dos mapas e o *DVD Video Soft* que foi útil na extração dos frames (imagens) do vídeo da câmera interna de monitoramento do veículo.

7.3 METODOLOGIA

Nesse capítulo serão descritos e apresentados todos os procedimentos executados para atingir os objetivos específicos discutidos nos capítulos anteriores. Para melhor compreensão, a figura 8 apresenta um fluxograma dos procedimentos realizados neste trabalho.

Figura 8: Fluxograma



Fonte: autora, 2023.

7.3.1 Reconstrução tridimensional do local do acidente

A parte inicial deste trabalho consistiu na reconstrução tridimensional do local do acidente para o posicionamento do veículo e a extração de informações métricas do local. A reconstrução tridimensional pode ser obtida de diversas formas uma delas é com o sistema *laser* escâner, operação que consiste na varredura da área a partir de diferentes posições do equipamento e posterior registro de uma nuvem única de pontos, para poder extrair as informações métricas necessárias. O método possui um desempenho excelente com relação à velocidade de coleta de dados em campo se comparado aos outros métodos como o mapeamento com técnicas topográficas

convencionais (Caldeira, 2019).

7.3.1.1 Coleta dos Dados

Antes de iniciar o mapeamento foi necessário elaborar um planejamento de campo em que foi delimitada a região de estudo (figura 9). Para isso, foi analisado o vídeo capturado pela câmera interna do ônibus, a fim de identificar a trajetória e a localização do veículo (figura 10). E foi através de Google Earth a criação do perímetro da área de estudo.

Figura 9: Croqui da área a ser mapeada.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 10: Trajetória do veículo.



Fonte: Autora, 2023.

O levantamento ocorreu no dia 16 de novembro de 2022, no período da tarde, das 15h às 16h30, com uma duração de 1 hora e meia. Por ser uma área com um alto fluxo de pessoas e de veículos em um período de maior utilização dos transportes coletivo, o levantamento tornou-se desafiador tanto com os cuidados para com o equipamento quanto no processamento, pois o equipamento coleta informações de toda e qualquer superfície, inclusive de rostos, animais e veículos que estejam passando no momento da varredura.

Durante a coleta de dados em campo, a equipe envolvida estava empregando equipamento de proteção individual, como coletes refletivos, e em cada ocupação do equipamento houve a sinalização com cones para permitir que pedestres e veículos pudessem visualizar o local de coleta dos dados.

A figura 11, ilustra a quantidade de detalhes e o fluxo de pessoas em uma parte da área levantada. E na figura 12, é possível visualizar uma das ocupações do

laser escâner.

Figura 11: Ilustração da quantidade de detalhes a ser mapeado.



Fonte: Autora, 2022.

Figura 12: Ocupação do *laser* escâner



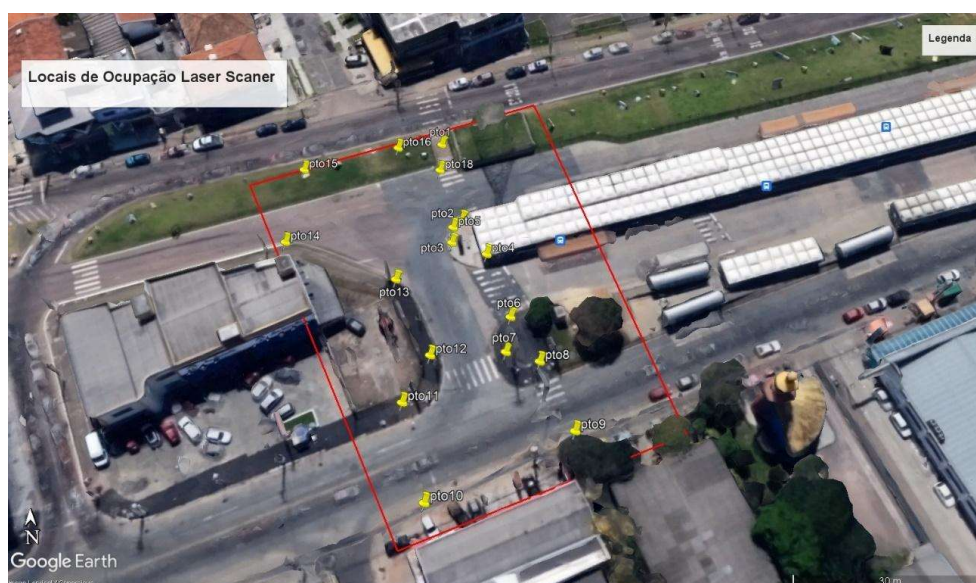
Fonte: Autora, 2023.

Para esse estudo foi especificada uma varredura na configuração média, ou seja, cerca de 180 milhões de pontos com uma duração de varredura de 1 minuto 30 segundos para cada local ocupado pelo *laser* escâner. Essa configuração foi adotada, pois quanto mais densa a nuvem de pontos obtidas com o *laser* maior deverá ser o desempenho do processador do computador a ser utilizado para o processamento dos dados.

A varredura *laser* foi realizada em várias posições diferentes - cenas, com aproximadamente 5 metros entre uma varredura e outra, de forma a buscar uma área de sobreposição entre cenas, a qual é necessária para os procedimentos de registro. Na figura 13, é possível visualizar a localização das ocupações realizadas com o *laser* escâner.

Ao total foram 19 ocupações distribuídas na área de estudo. Devido ao grande movimento de ônibus e carro na região, não foram feitas ocupações em vias de acesso.

Figura 13: Distribuição das ocupações do laser escâner



Fonte: Autora, 2023.

7.3.1.2 Processamento dos dados de Varredura Laser

Ao finalizar o levantamento em campo, os dados são descarregados através de uma conexão wifi entre o equipamento e o computador. Após descarregar os dados do equipamento, inicia-se o processamento da varredura *laser*, pois cada ponto

ocupado pelo equipamento apresenta um sistema de referência local do *laser* escâner e é necessário a união de todas as cenas de forma que fiquem referenciadas a um único sistema de referência, processo este denominado de registro das nuvens. Neste caso, não houve o georreferenciamento da nuvem, pois o foco do estudo é local. Assim todas as cenas foram registradas num referencial arbitrário, usando o mesmo referencial da primeira cena usada no processo de registro.

O processo do registro das nuvens foi realizado no software Leica Cyclone, entre duas nuvens consecutivas, podendo ser feito de forma manual, automática ou com o auxílio de pontos de controle. Para este trabalho, foram utilizadas as duas primeiras formas. Assim que as duas nuvens estivessem compatíveis, ou seja, no mesmo sistema de referência era novamente realizado o procedimento com as demais nuvens. Sempre duas a duas. Ao final do processo todas as nuvens estavam no mesmo sistema de referência, gerando uma única nuvem de pontos. Pelo fato de o *laser* escâner captar informações de toda e qualquer superfície que permita a reflexão do sinal, ao fim do processamento a nuvem de pontos apresentou vários ruídos, ou seja, elementos irrelevantes para as análises deste trabalho e por isso, foi necessário realizar um processo de filtragem na nuvem para que estes elementos não atrapalhassem, bem como para diminuir o número de pontos na nuvem e assim conseguir manusear com mais facilidade a mesma.

Ao exportar a nuvem de pontos do software Cyclone sua manipulação é limitada devido a capacidade do hardware. Assim, efetuou-se a reamostragem dos dados no CloudCompare, reduzindo o número de pontos.

Com a nuvem filtrada foi possível obter o ortomosaico da nuvem de pontos em diferentes perfis. A obtenção do ortomosaico foi dado através do software CloudCompare, que permite exportar os dados da varredura *laser* como raster, em formato GeoTIFF, tal formato permite embutir coordenadas geográficas em um arquivo TIFF.

7.3.2 Reconstrução da trajetória do veículo

Devido à disponibilidade do vídeo proveniente da câmera interna do veículo, este trabalho também se propôs a verificar a possibilidade de reconstruir a trajetória do veículo utilizando-se de técnicas fotogramétricas, como o SfM que é capaz de obter

os parâmetros de orientação exterior e interior da câmera sem a necessidade de inserir um valor aproximado, visto que não foi possível obter nenhuma informação da câmera.

Com os valores de parâmetros estimados é possível obter a posição de cada um dos frames extraídos do vídeo e assim reconstituir a trajetória e para que a trajetória do veículo esteja relativamente ao mesmo referencial dos dados do *laser* escâner, utiliza-se as imagens/frames extraídos do vídeo e pontos de controle extraídos dos dados de varredura laser.

Na sequência serão descritos os procedimentos executados visando a reconstrução da trajetória do veículo.

7.3.2.1 Extração das imagens da câmera interna do veículo

Para realizar a extração dos frames (imagens) do vídeo utilizou-se o software DVD vídeo Soft. Este software permite a definição de um intervalo de tempo para a extração dos frames, porém, no vídeo utilizado para o desenvolvimento deste trabalho, o veículo não tem velocidade constante, visto que o condutor para o veículo na rua Planalto para o desembarque de um passageiro. Sendo assim, foi necessário extrair todos os frames do vídeo, totalizando 1.434 frames. Ao optar por frames de todo o vídeo, a sobreposição entre as imagens é acima de 95% o que não é recomendado devido à geometria fraca de interseção fotogramétrica que degrada a solução.

Tendo em vista isso, foi necessário realizar uma seleção manual das fotos de forma que a sobreposição lateral fosse aproximadamente 75-85% entre as fotos. Após a seleção, restaram 466 imagens para o processamento.

7.3.2.2 Processamento da modelagem tridimensional da área de estudo das imagens extraídas do vídeo da camera interna do veículo

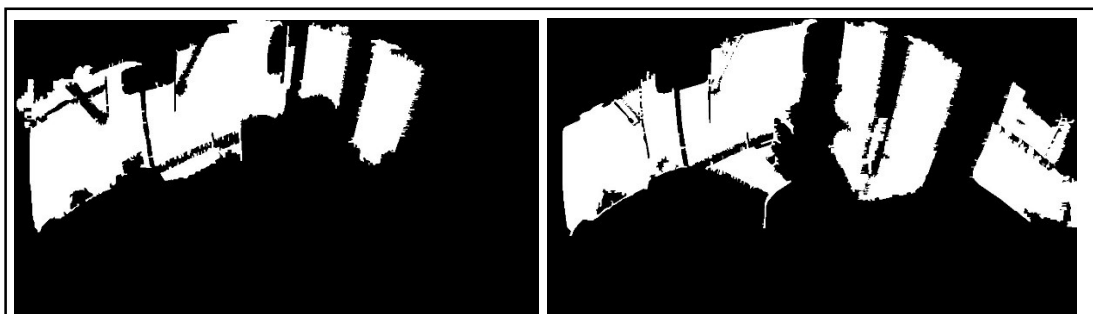
O processamento das imagens extraídas do vídeo da camera interna do veículo, visando obtenção da trajetória do veículo, foi realizado através do software Agisoft Metashape, utilizando a técnica SfM.

No software Agisoft Metashape foram importadas as fotos selecionadas, com uma sobreposição de aproximadamente 75-85% e realizado o alinhamento das

imagens.

Para evitar que áreas internas do veículo fossem utilizadas pelo software no processo de alinhamento, foram criadas duas máscaras: uma abrangendo o para-brisa e porta, para as delimitar a área nas imagens antes do passageiro desembarcar e a outra abrangendo para-brisa, porta e janela lateral para as imagens após o desembarque do passageiro. (figura 14)

Figura 14: Representação das máscaras antes e após o desembarque, respectivamente.



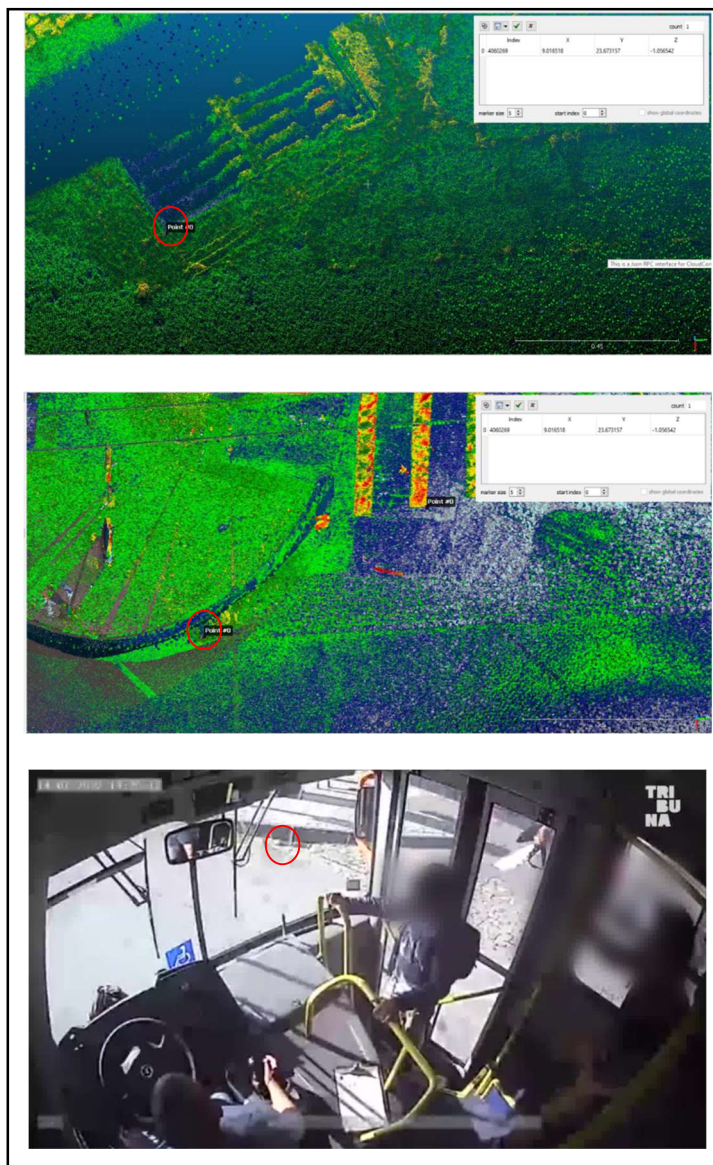
Fonte: autora, 2023.

Para que a trajetória da câmera seja determinada relativamente ao mesmo referencial dos dados da varredura *laser*, as coordenadas dos pontos de apoio foram extraídas da nuvem de pontos.

Os pontos de apoio precisam ser bem identificados, materializados e bem distribuídos por toda a imagem. Assim iniciou-se o processo de identificar pontos nas imagens para os quais fosse possível selecionar os mesmos na nuvem de pontos. Estes pontos homólogos foram utilizados no processo de alinhamento e refinamento global.

A partir do que é possível visualizar nas imagens selecionadas, as opções escolhidas para determinação dos pontos foram: pontos na faixa de pedestre, boca de lobo, postes, interseção de paredes, ou seja, pontos fixos. Na figura 15, podemos visualizar o exemplo de um possível ponto de apoio.

Figura 15: Exemplo de um ponto de apoio.



Fonte: Autora,2023.

Ao identificar todos os possíveis pontos de apoio nas imagens foi necessário criar um arquivo txt com as coordenadas tridimensionais desses pontos. Utilizando o CloudCompare, foi possível fazer a leitura das coordenadas tridimensionais dos pontos de apoio selecionados, que totalizaram 19 pontos de apoio.

A figura 16, ilustra o trabalho de identificação de cada ponto do arquivo txt visíveis nas imagens. Ou seja, foi necessário marcar a localização de cada ponto da lista em todas as imagens que eles aparecem. À medida que os pontos são marcados, o algoritmo identifica semelhança /localização dos pontos em outras imagens e vai realizando uma marcação aproximada e cabe ao operador fazer a avaliação se o ponto está no local correto.

Figura 16: Identificação dos pontos de apoio.



Fonte: Autora, 2023.

Após a identificação de todos os pontos nas imagens, o procedimento de alinhamento é feito novamente o qual gera uma nuvem de pontos esparsa e na sequência a densificação da mesma é realizada.

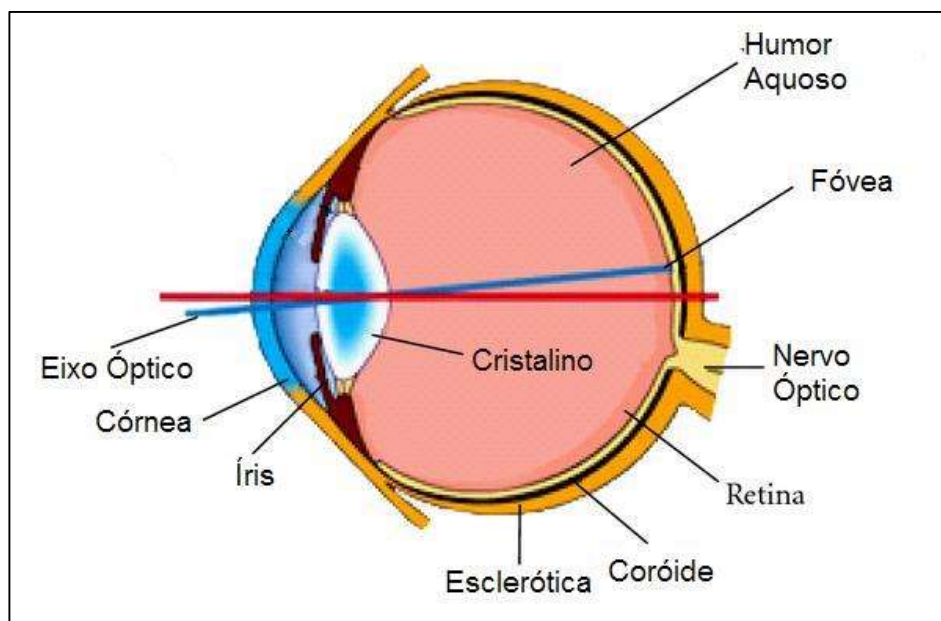
Após a reconstrução da trajetória, o próximo passo é localizar a câmera no veículo e analisar o campo de visão para cada momento da trajetória

7.3.3 Campo de Visibilidade do Condutor do Veículo

De acordo com Stolfi (2008), a percepção visual é um processo de reconstrução da realidade exterior, realizado pelo córtex cerebral, a partir de informações fragmentadas captadas pelos olhos.

Para este trabalho é importante compreender duas estruturas do olho humano a retina e a fóvea, que é uma estrutura especializada da retina. A figura 17, apresenta uma seção horizontal do olho humano. A córnea, em conjunto com o cristalino, forma uma lente que projeta sobre a retina uma imagem real dos objetos visualizados.

Figura 17: Estrutura do olho humano



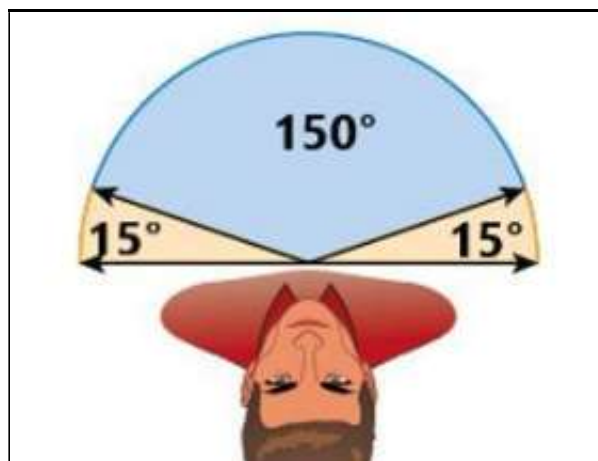
Fonte: Grupo de Teleinformática e Automação - UFRJ, 2023.

A retina é uma película constituída por duas classes de células nervosas interligadas sensíveis a luz: os cones, células sensíveis à intensidade e à cor e os bastonetes que são células sensíveis apenas à intensidade, responsáveis pela visão em condições de pouca luz.

E a Fóvea é uma região especializada da retina, que compreende a visão central com área aproximada de 1,5 mm², subentendendo um ângulo de visão transversal de cerca de 2 graus (Stolfi, 2008) e a periférica que se caracteriza por menor resolução espacial, pouca percepção de cor e maior sensibilidade à luz e movimento.

Ou seja, o campo de visibilidade é a extensão de espaço que o olho pode ver quando está parado olhando para frente. O ser humano com visão saudável, possui um campo de visibilidade de quase 180 graus (Rocha, 2011). São distribuídos em visão periférica, representada pela cor amarela e central, representada em azul na figura 18.

Figura 18: Campo de visibilidade do ser humano



Fonte: Adaptado Brainly, 2023.

Para a análise do campo de visibilidade do condutor, foi utilizado as imagens extraídas a partir do vídeo capturado pela câmera interna do veículo. A câmera está localizada na parte superior esquerda do condutor o que possibilitou verificar a orientação da cabeça do mesmo em diferentes pontos da trajetória. Assim, juntamente com os dados da varredura *laser* identificar possíveis obstruções no campo de visibilidade do condutor.

7.3.4 Análise da Adequação da Sinalização

Outra investigação que este trabalho se propôs a realizar foi a análise da adequação da sinalização, para isso foi necessário vetorizar, ou seja, traçar as feições observadas do ortomosaico proveniente da varredura *laser* através do software *Qgis*.

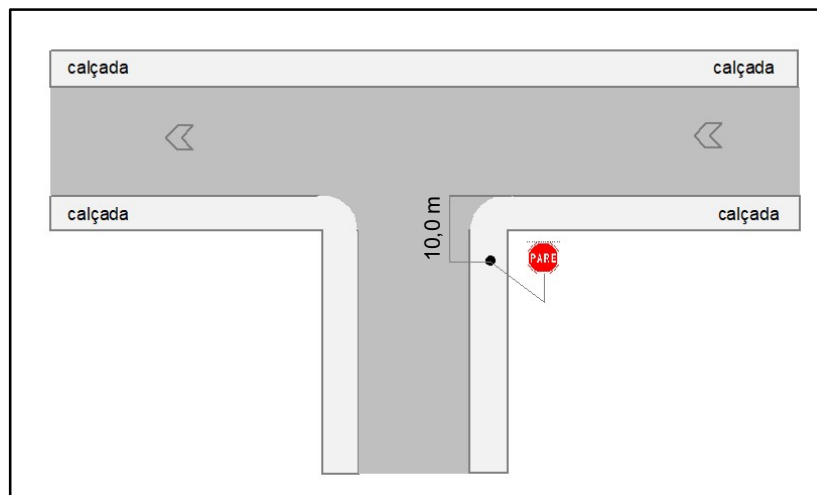
7.3.4.1 Sinalização Vertical

De acordo com CONTRAN (2007) a sinalização vertical da placa de parada obrigatória deve ser colocada no lado direito da pista, o mais próximo possível do ponto de parada do veículo e caso de pista com sentido único de circulação em que o posicionamento da placa à direita não apresente boas condições de visibilidade, a placa deve ser repetida ou colocada à esquerda.

Quando a via secundária interceptar a via que tem preferência de passagem em ângulo agudo, a posição da placa deve de forma que não gere dúvidas aos condutores. E devem ser colocadas no máximo a 10,0 m do prolongamento do meio-

fio ou do bordo da pista transversal, como pode ser visualizada na figura 17.

Figura 19: Localização da placa de parada obrigatória próxima ao ponto de obstrução.



Fonte: Adaptado,2023.

7.3.4.2 Sinalização Horizontal

Na concepção e na implantação da sinalização de trânsito deve-se ter como princípio básico as condições de percepção dos usuários da via, garantindo a sua real eficácia (CONTRAN, 2007). Para isso, é preciso assegurar à sinalização horizontal os princípios a seguir descritos:

- Legalidade: Código de Trânsito Brasileiro - CTB e legislação complementar;
- Suficiência: Permitir fácil percepção, com quantidade de sinalização compatível com a necessidade;
- Padronização: Seguir padrão legalmente estabelecido;
- Uniformidade: Situações iguais devem ser sinalizadas com os mesmos critérios;
- Clareza: Transmitir mensagem objetivas de fácil compreensão;
- Precisão e Confiabilidade: Ser precisa e confiável; corresponder à situação existente; ter credibilidade;
- Visibilidade e Legibilidade: Ser vista à distância necessária; ser interpretada em tempo hábil para a tomada de decisão;
- Manutenção e Conservação: Estar permanentemente limpa, conservada e visível.

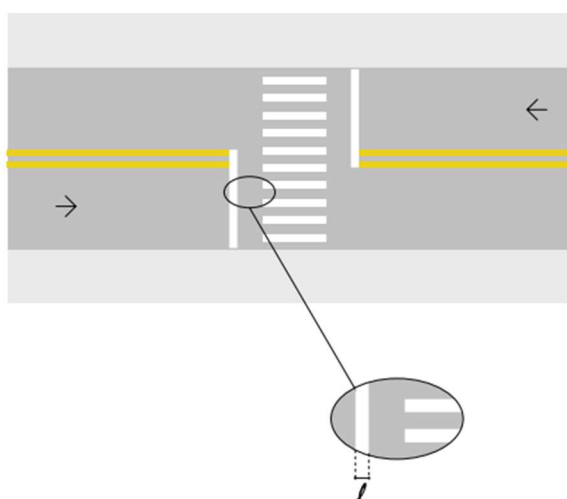
A sinalização horizontal é classificada em 5 classes (CONTRAN, 2007), mas as classes que serão analisadas nesse trabalho serão as marcas longitudinais que separam e ordenam as correntes de tráfegos, as marcas transversais que ordenam os deslocamentos frontais dos veículos e disciplinam os deslocamentos de pedestres e as inscrições no pavimento que tem por objetivo melhorar a percepção do condutor quanto às condições de operação da via, permitindo-lhe tomar a decisão adequada, no tempo apropriado, para as situações que se lhes apresentarem.

As marcações longitudinais analisadas nesse trabalho são as marcações para divisão de fluxos opostos e para fluxos de mesmo sentido. As marcações para divisão de fluxos opostos são constituídas por linhas que separam os movimentos veiculares de sentidos opostos e indicam os trechos da via em que a ultrapassagem é permitida ou proibida. E as marcações para fluxo de mesmo sentido são linhas que separam os movimentos veiculares de mesmo sentido e regulamentam a ultrapassagem e a transposição.

As classes das marcações transversais utilizadas para análise do local do acidente são:

- Linha de retenção, que indica ao condutor o local limite em que deve parar o veículo.

Figura 20: Linha de retenção.

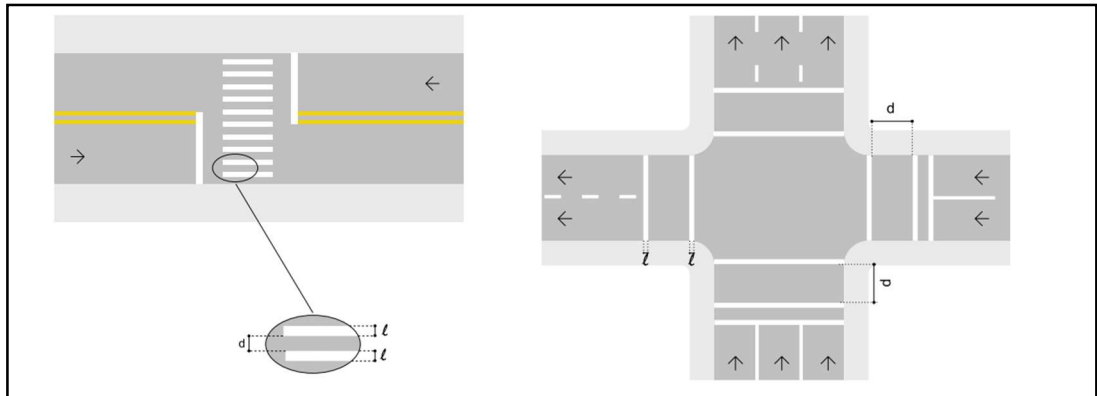


Fonte: Autora, 2023.

- Faixa de Travessia de Pedestres, que delimita a área destinada à travessia de pedestres e regulamenta a prioridade de passagem dos mesmos em relação aos veículos, nos casos previstos pelo CTB e pode

ser do “tipo Zebrada” ou paralela (utilizada somente em interseções semaforizadas e nos casos em que o volume de pedestres indique a necessidade de uma faixa de travessia com largura superior a 4,00 m, esta deve ser do “tipo zebrada”).

Figura 21: Faixa de Travessia de Pedestres do tipo zebrada e paralela, respectivamente.

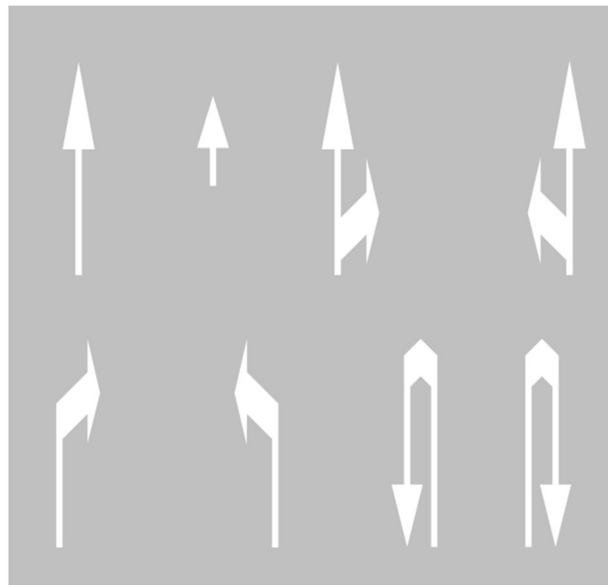


Fonte: autora, 2023.

As inscrições no pavimento podem ser de três tipos:

- Setas direcionais: Orientam os fluxos de tráfego na via, indicando o correto posicionamento dos veículos nas faixas de trânsito de acordo com os movimentos possíveis e recomendáveis para aquela faixa.

Figura 22: Exemplo de setas direcionais

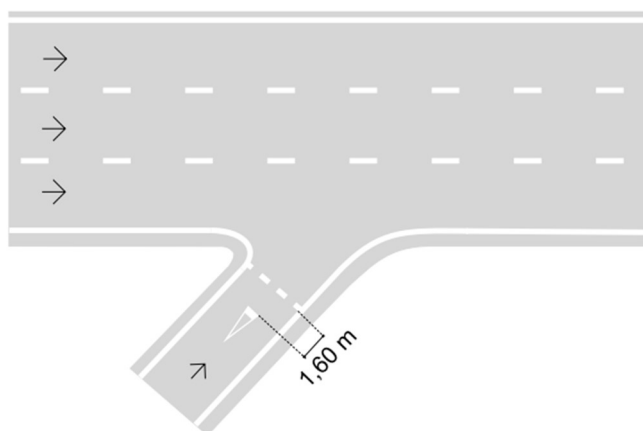


Fonte: Autora, 2023.

- Símbolos: Indicam e alertam o condutor sobre situações específicas na

via.

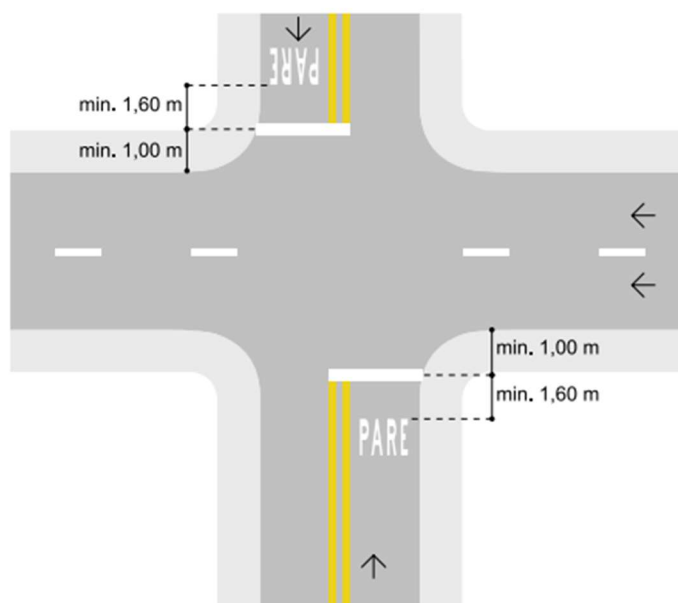
Figura 23: Exemplo de símbolos: “Dê preferência”



Fonte: Autora, 2023.

- Legendas: São formadas a partir de combinações de letras e algarismos, aplicadas no pavimento da pista de rolamento, com o objetivo de advertir aos condutores acerca das condições particulares de operação da via. As principais legendas utilizadas são para indicar que há escolas na região, indicar velocidade permitida, reduzir a velocidade e “PARE” que ser utilizada como reforço ao sinal de regulamentação Parada Obrigatória.

Figura 24: Legenda PARE.



Fonte: autora, 2023.

O padrão de cores utilizados para a sinalização horizontal analisadas nesse trabalho são:

- Amarela: Para separar movimentos veiculares de fluxos opostos; regulamentar ultrapassagem e deslocamento lateral; Delimitar espaços proibidos para estacionamento e/ou parada; e Demarcar obstáculos transversais à pista (lombada).
- Branca: Para separar movimentos veiculares de mesmo sentido; delimitar áreas de circulação; Delimitar trechos de pistas, destinados ao estacionamento regulamentado de veículos em condições especiais; regulamentar faixas de travessias de pedestres; Regulamentar linha de transposição e ultrapassagem; Demarcar linha de retenção e linha de “Dê a preferência”; Inscrever setas, símbolos e legendas.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

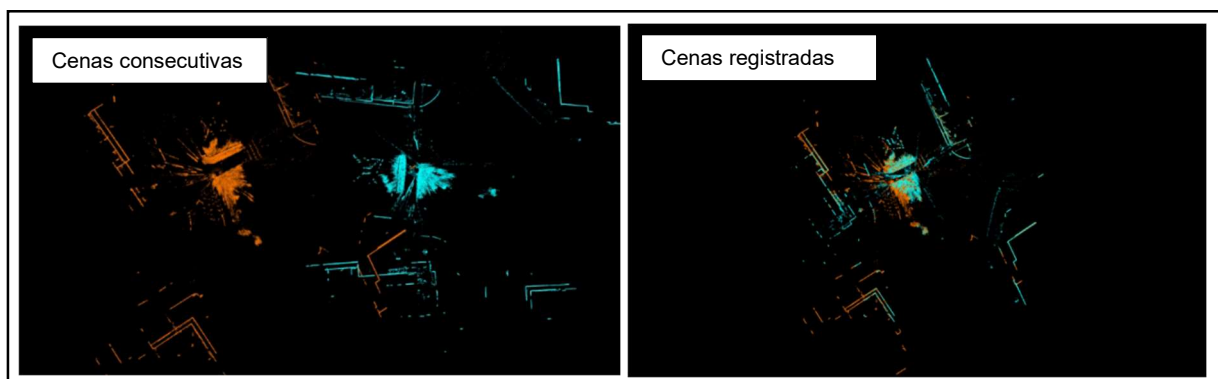
6.1 Reconstrução tridimensional do local do acidente

A partir da técnica de varredura *laser*, foram obtidas 19 nuvens de pontos para a reconstrução tridimensional do local do acidente, contabilizando uma área total de aproximadamente 3.800,00 m².

A Reconstrução tridimensional do local do acidente foi dada após o registro das cenas obtendo uma nuvem de pontos em um sistema referencial arbitrário.

A figura 25 apresenta o procedimento de registro entre duas cenas consecutivas. As duas nuvens que estão sendo registradas aparecem em cores diferentes, para facilitar o processo de registro. É nesta etapa que o processo de sobreposição das nuvens torna-se importante. Nuvens com áreas de sobreposição maiores são mais fáceis de serem registradas. Quanto mais complexa for a geometria da cena local, maior deve ser está sobreposição.

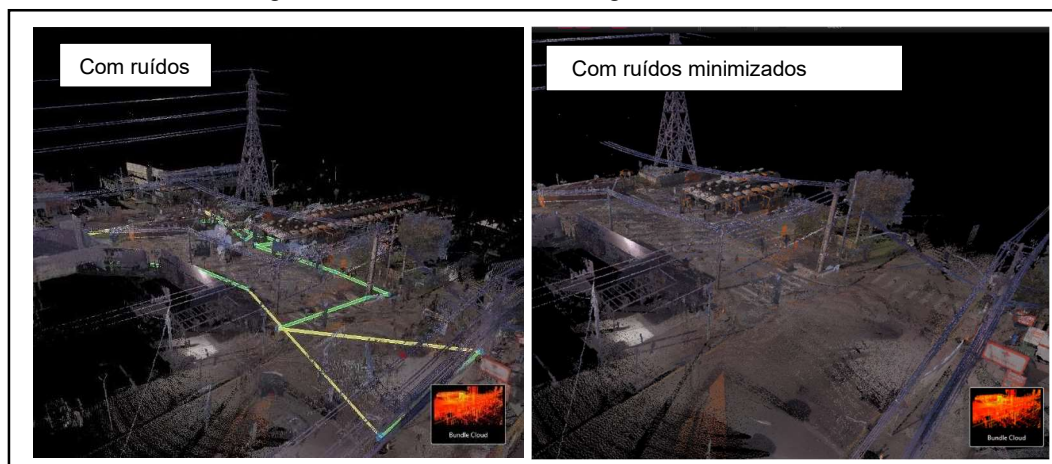
Figura 25: Processo de Registro das cenas



Fonte: Autora, 2023.

Após o registro, é realizado o processo de filtragem da nuvem obtida, a figura 26 apresenta os resultados obtidos após o registro das cenas, com a presença de ruídos e os resultados após a filtragem da nuvem de pontos, com os ruídos minimizados.

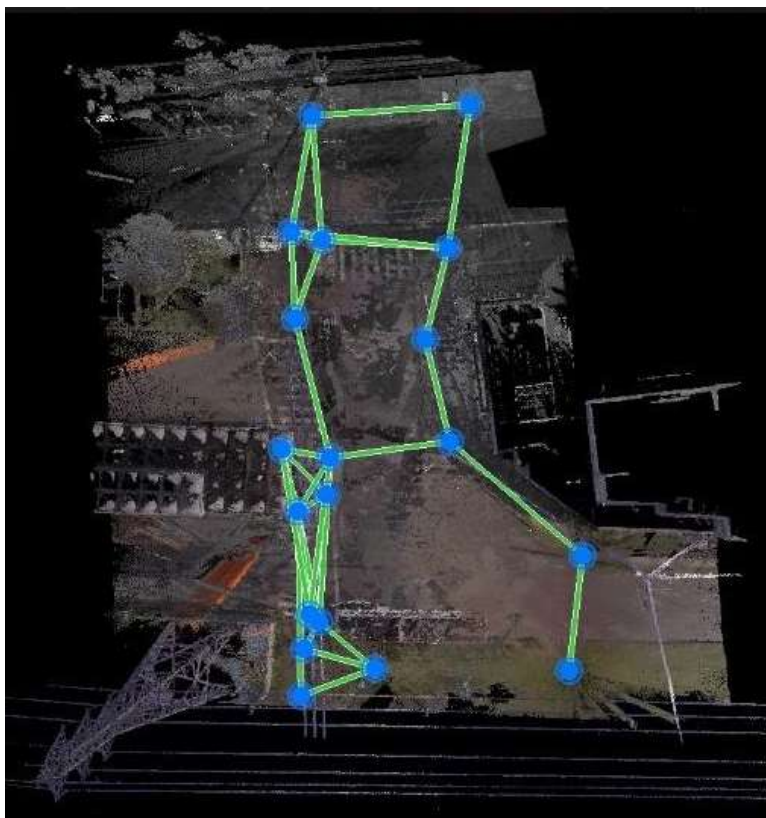
Figura 26: Todas as nuvens registradas.



Fonte: Autora, 2023.

E por fim a figura 27, apresenta a nuvem final menos densa, e com pontos apenas da área de estudo. É possível visualizar os links de ligação entre uma cena e outra, representados em verde.

Figura 27: Nuvem de pontos apenas da área de estudo



Fonte: Autora, 2023.

A sobreposição média entre as nuvens de pontos foi de 44%, com o erro médio de 0,9 cm. Para este estudo tal sobreposição e erro, atendem as necessidades. Na figura 28, é possível visualizar a nuvem de pontos tridimensionalmente.

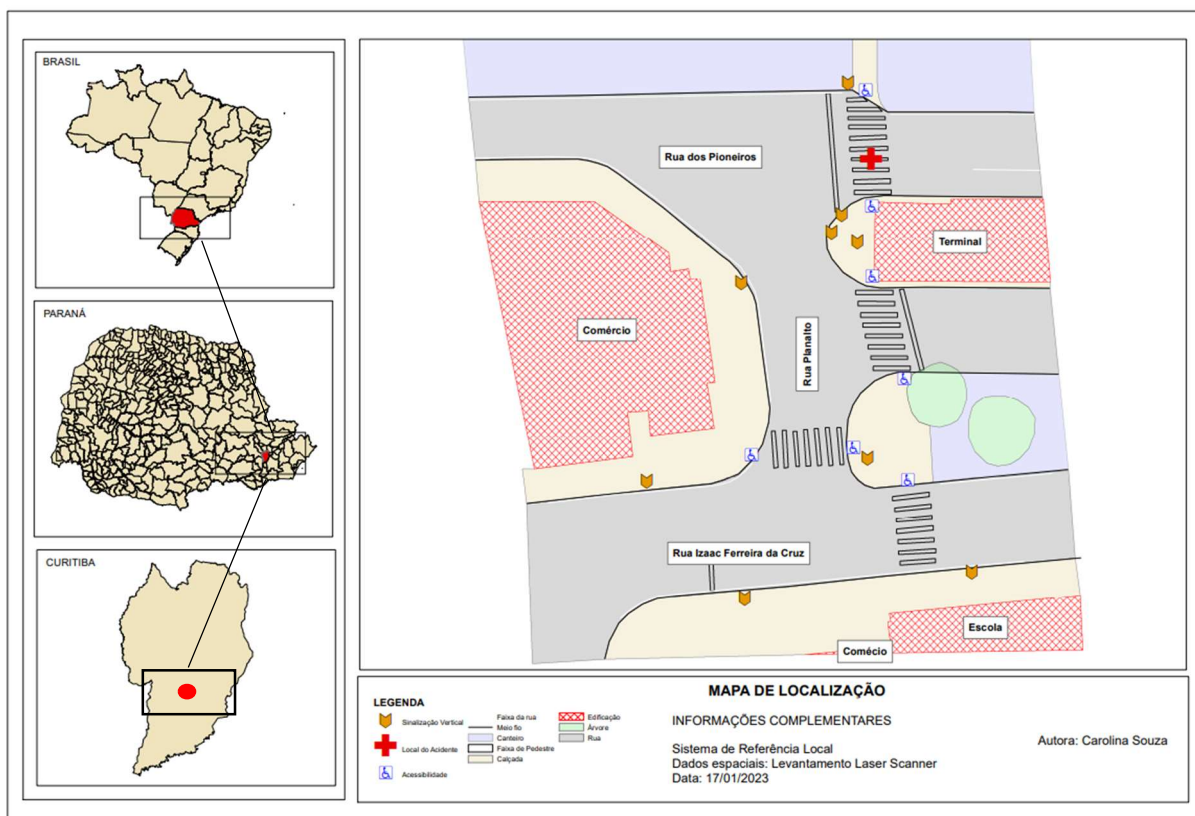
Figura 28: Nuvem de pontos da área de estudo.



Fonte: Autora, 2023.

A partir da nuvem de pontos foi possível extrair um ortomosaico para a elaboração de uma planta do local do acidente (figura 29) a partir de uma vetorização das feições para a realização das análises posteriores.

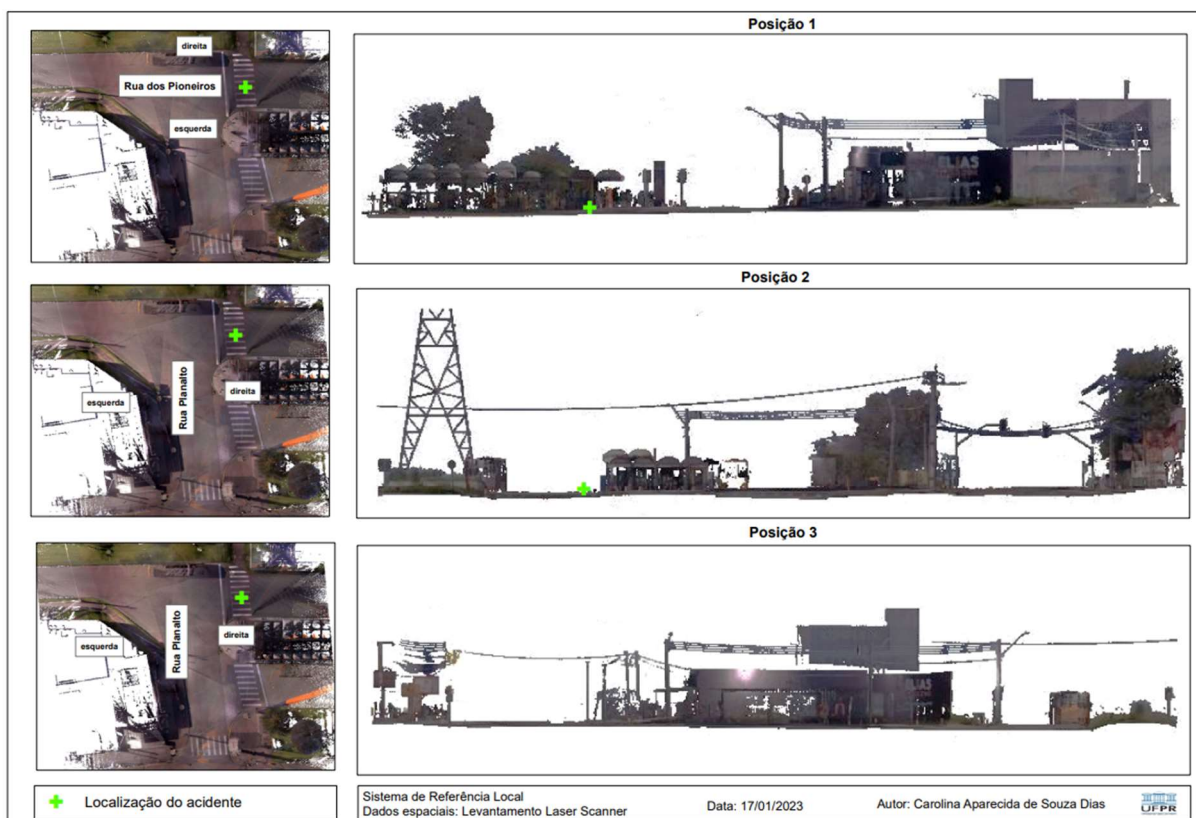
Figura 29: Localização dos elementos do local do acidente



Fonte: Autora, 2023.

Foram também extraídos ortomosaicos em diferentes perfis para a visualização do local do acidente, mas devido a quantidade de pontos coletados durante a varredura *laser* o ortomosaico ficou pixelado. A figura 30, apresenta três pontos de vistas distintos do local do acidente a partir de ortomosaicos obtidos com a varredura *laser*.

Figura 30: Perfis da posição do acidente



Fonte: Autora, 2023.

As perspectivas adotadas para a obtenção do ortomosaico são:

- Posição 1 – Para o lado esquerdo da rua dos Pioneiros sentido terminal
- Posição 2 – Para o lado direito da rua Planalto sentido rua dos Pioneiros,
- Posição 3 – Para o lado esquerdo da rua Planalto sentido rua dos Pioneiros

Durante a realização do levantamento no local de estudo foi possível analisar e constatar alguns problemas que podem ter auxiliado para o ocorrido e um deles foi a obstrução que o totem, placa de identificação do terminal, causa no momento de atravessar a faixa de pedestre na rua dos Pioneiros.

O totem está localizado na esquina da rua Planalto com a rua dos Pioneiros, que possivelmente obstruiu a visão do condutor que ao se aproximar da rua dos Pioneiros para realizar a conversão a direita não identificou o pedestre atravessando na faixa.

A figura 31, exemplifica a situação de visibilidade entre os envolvidos.

Figura 31: Campo de visibilidade do condutor e do pedestre



Fonte: Autora, 2023.

Com os dados levantados em campo foi possível extrair informações como a altura e largura dos elementos em cena. Para o dimensionamento do totem foi utilizado o software Cyclone, a partir do qual apresentou uma altura de 3,587 m e 0,727 m de largura, como é apresentado na figura 32.

Figura 32: Dimensionamento do totem.



Fonte: Autora, 2023.

Outro problema que foi possível verificar em campo é referente a direção que os pedestres e os motoristas se atêm ao atravessar a rua dos Pioneiros. Em pouco tempo no local do acidente foi possível observar que as pessoas olham apenas para

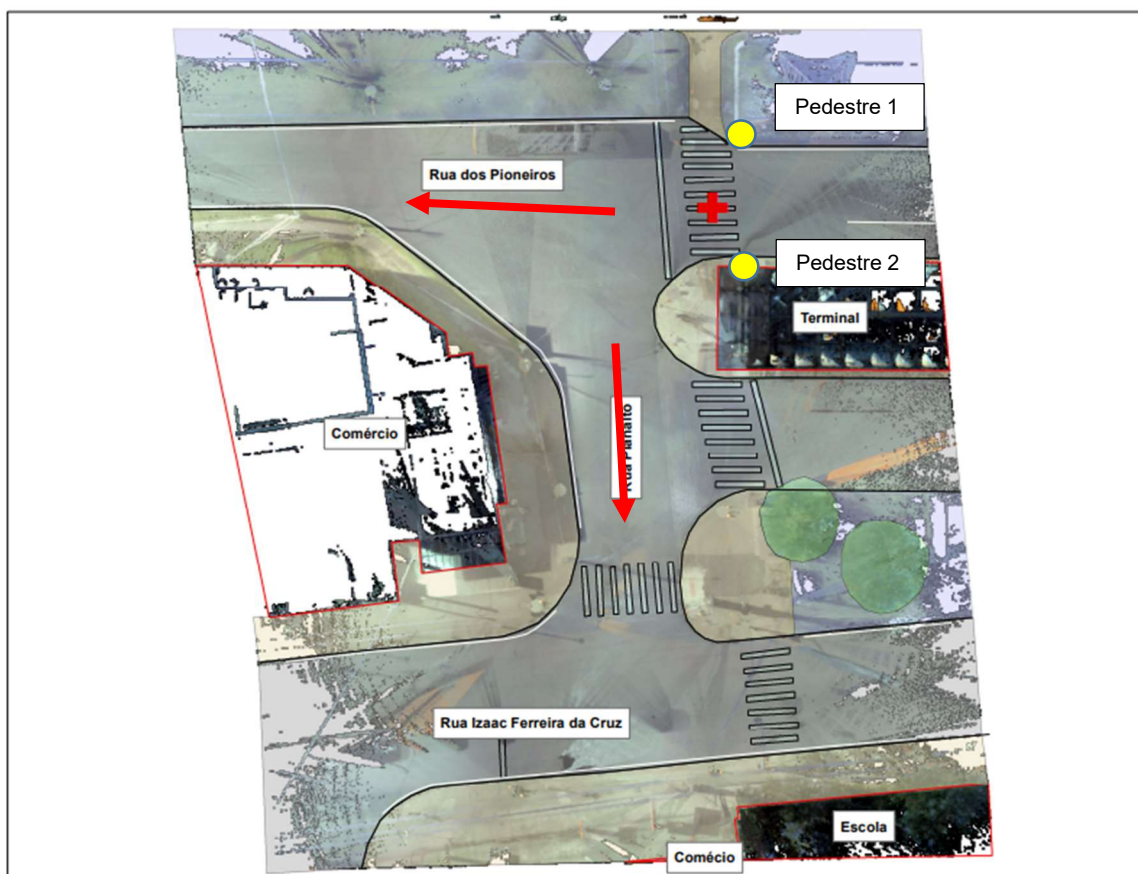
uma direção, como é apresentado na figura 33. A pedestre 1 olha para a mesma direção que a pedestre 2, mas sentidos opostos (Rua dos Pioneiros). A figura 34, apresenta as direções que necessitam de atenção que são: a rua Planalto e a rua dos Pioneiros, além de indicar o local em que o acidente ocorreu.

Figura 33: Atenção dos pedestres ao atravessar a faixa de pedestre



Fonte: Autora, 2023.

Figura 34: Sentido que requer atenção do pedestre ao atravessar.



Fonte: Autora, 2023.

Referente a atenção do condutor, para ter acesso a rua dos Pioneiros, que é a rua de acesso para embarque e desembarque dos passageiros, é necessário que o condutor respeite a sinalização de parada obrigatória na rua Planalto antes de realizar a conversão. Entretanto, há uma edificação de grande porte impedindo a identificação de outros veículos na rua dos Pioneiros (Figura 35).

Figura 35: Identificação do ponto de parada e a edificação.



Fonte: Autora, 2022.

No vídeo capturado pela câmera interna, é possível identificar qual a direção que o condutor está olhando segundos antes de iniciar a conversão à direita para acessar a rua dos Pioneiros. Logo após o desembarque do passageiro, o motorista começa a deslocar o veículo para verificar se outro veículo se aproxima pela rua dos Pioneiros (figura 36).

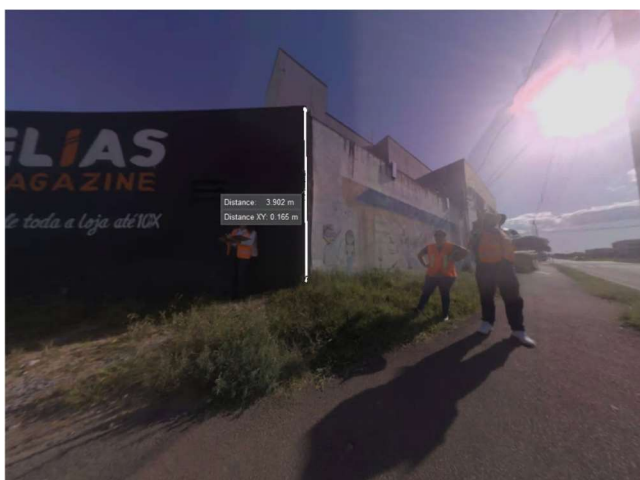
Figura 36: Direção da atenção do motorista, para ter acesso a rua dos Pioneiros.



Fonte: Autora, 2022.

A edificação apresenta uma altura de 3,902m de altura (Figura 37), o que dificulta a identificação de outro veículo.

Figura 37: Dimensões da edificação.

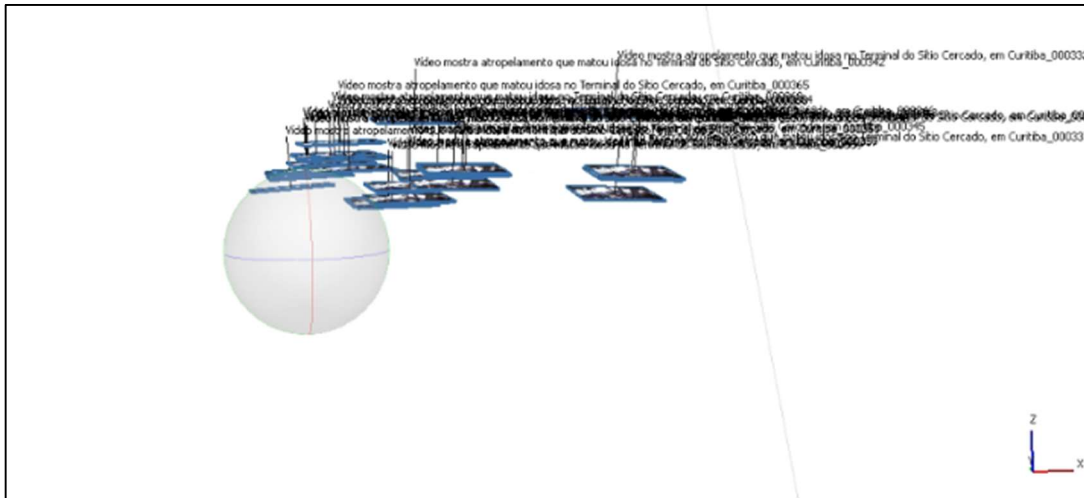


Fonte: Autora, 2023.

6.2 Reconstrução da Trajetória do Veículo

Na figura 38 é apresentado o resultado obtido do alinhamento das imagens realizado no software Metashape utilizando a técnica SfM. Pode-se notar que o processo falhou, uma vez que o posicionamento relativo entre as imagens encontra-se visivelmente errado.

Figura 38: Procedimento de alinhamento das imagens.



Fonte: Autora, 2023.

A falta de alinhamento das imagens implica que o algoritmo não conseguiu identificar pontos homólogos entre as imagens.

A figura 39, apresenta as possíveis causas da identificação errada e/ou inexistente de pontos homólogos como:

- 1) Pequena porção das imagens que são passíveis de serem utilizadas para identificação de pontos homólogos, uma vez que essa região se restringe às janelas do veículo em que se pode ver o ambiente externo,
- 2) Baixa qualidade e resolução das imagens,
- 3) Falta de pontos distintos para serem identificados devido a falta de textura do ambiente externo visualizado através das janelas,
- 4) Redução da qualidade da imagem nas regiões de interesse devido ao vidro que causa refração, auxiliando no erro da identificação de pontos homólogos.

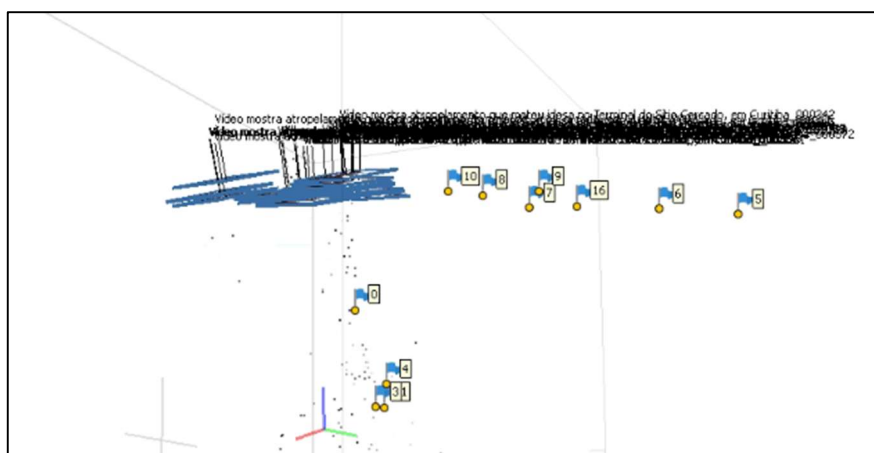
Figura 39: Elementos que podem causar problemas no processo de modelagem.



Fonte: Autora, 2023.

Para esse trabalho, outro problema encontrado foi a distribuição inadequada dos pontos de apoio. Os pontos de apoio aparecem alinhados, como é apresentado na figura 40, pois a área de sobreposição entre as imagens e o *laser* é pequena e possui poucos pontos fixos para a coleta de coordenada.

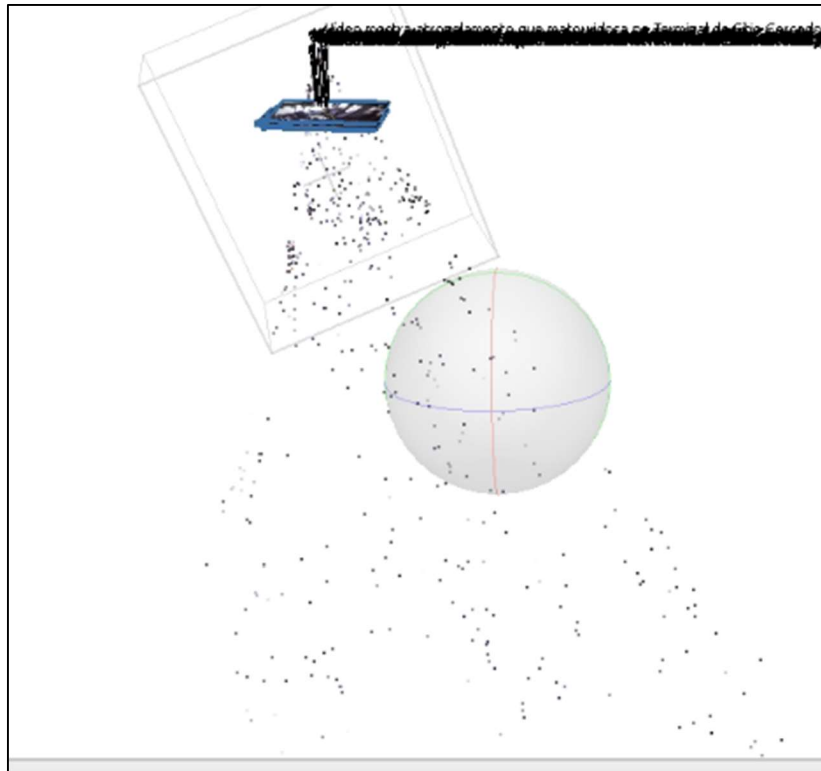
Figura 40: Distribuição inadequada dos pontos de apoio.



Fonte: Autora, 2023.

Uma vez inseridos os pontos de apoio, a função “Alinhar Imagens” foi novamente executada. O resultado é mostrado na figura 41. Novamente observou-se que o alinhamento não obteve sucesso uma vez que o algoritmo não encontrou pontos homólogos suficientes para realizar o alinhamento. Os pontos de controle poderiam ter auxiliado no alinhamento das imagens caso fossem melhores distribuídos e em maior quantidade entre as imagens onde o alinhamento falhou, porém não foi o caso deste estudo onde pôde-se identificar poucos pontos, novamente devido a ausência de pontos distintos nas imagens.

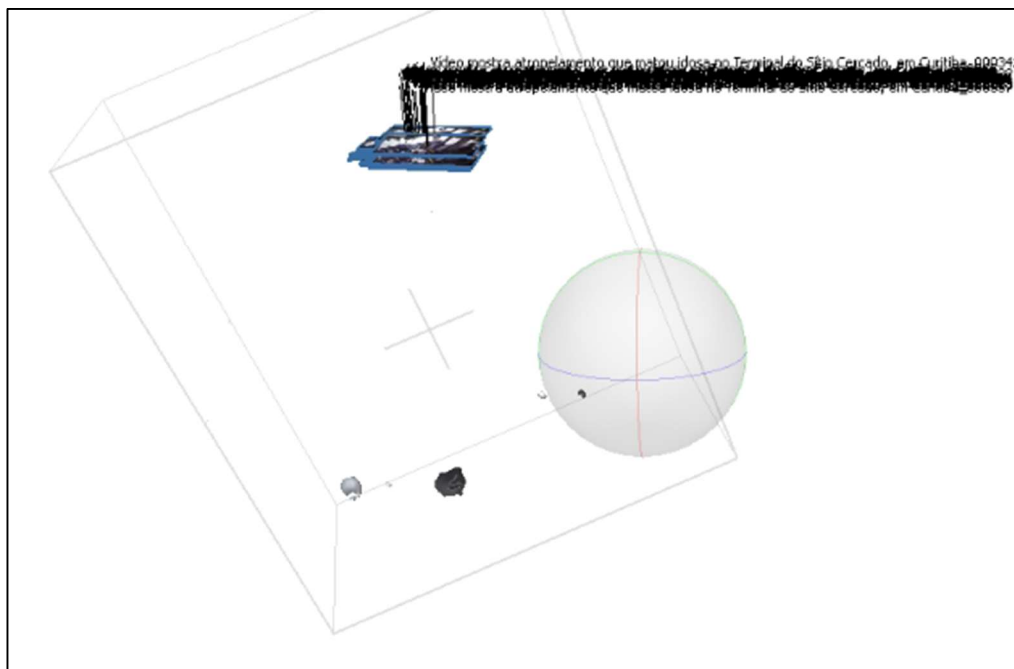
Figura 41: Nuvem de pontos espaçadas



Fonte: Autora, 2023.

A figura 42, mostra a última etapa do SfM que consiste em densificar a nuvem espada para gerar uma superfície.

Figura 42: Densificação da nuvem de pontos.

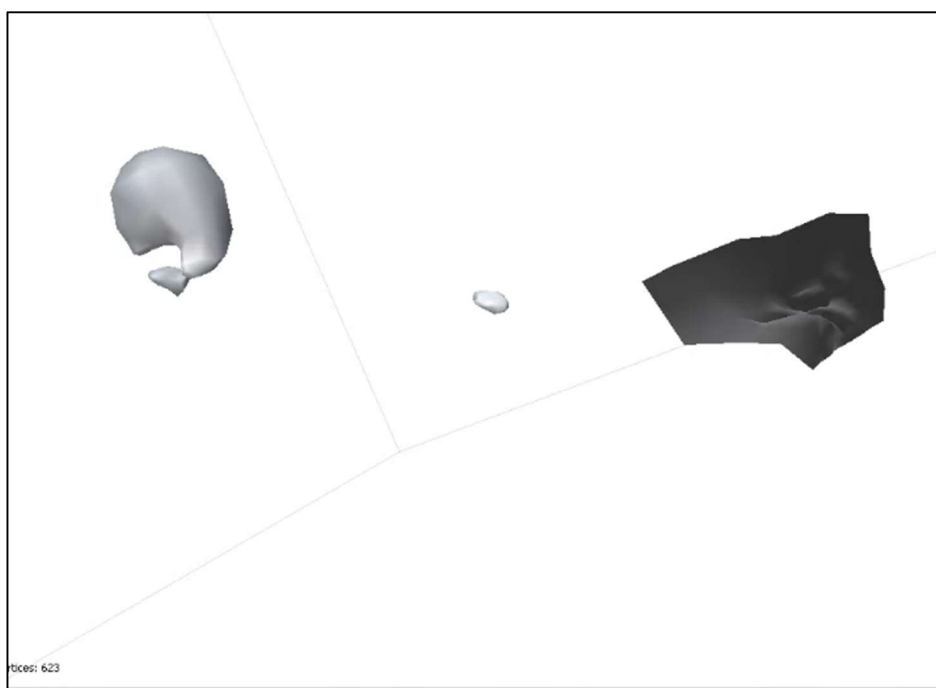


Fonte: Autora, 2023.

A investigação realizada neste trabalho mostrou não ser possível obter a trajetória da câmera devido a impossibilidade de realizar a orientação (“alinhamento”) das imagens devido à dificuldade de obtenção de pontos homólogos pelas razões discutidas anteriormente.

Será necessário um estudo mais detalhado para poder tentar identificar as causas dos possíveis problemas e soluções. A figura 43 apresenta o modelo, visivelmente errado, obtido dentro das condições descritas nesse trabalho.

Figura 43: Modelo 3D, gerado.



Fonte: autora, 2023.

Foram realizados testes e uma das melhores representações obtidas está ilustrada na figura 44, em que não foi colocado pontos de apoio, apenas com a identificação de pontos homólogos pelo algoritmo e mesmo assim o resultado não foi o esperado.

Figura 44: Modelo gerado sem pontos de apoio.



Fonte: Autora, 2023.

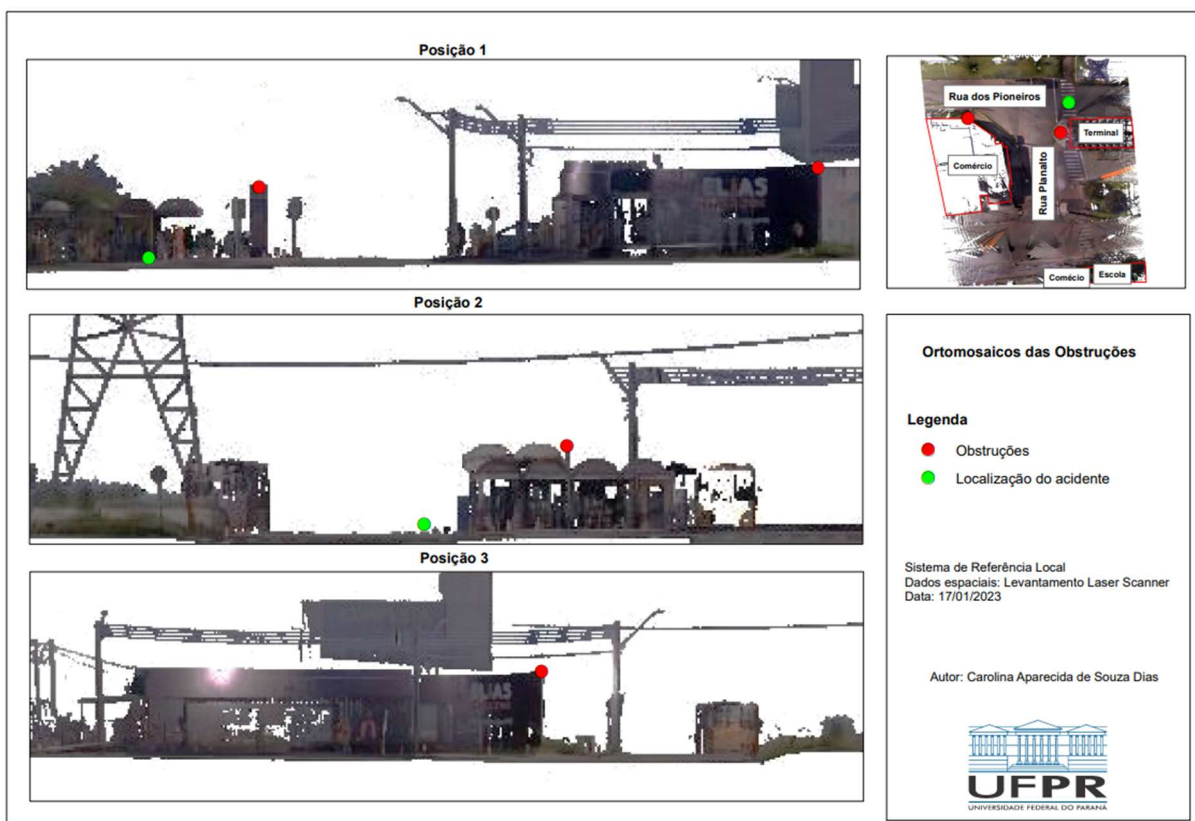
Sendo assim conclui-se que dentro dessas condições, não foi possível modelar a superfície. Consequentemente não foi possível atingir o objetivo de reconstituir a trajetória do ônibus.

Para um resultado mais expressivo uma das possíveis soluções seria um melhor posicionamento da câmera de forma que a área externa seja mais evidente nas imagens, ou seja, uma câmera na parte externa do veículo para captura da região durante o seu deslocamento.

6.3 Análise de Visibilidade do Condutor do Veículo

Os possíveis pontos de obstruções foram identificados durante a coleta de dados e nos ortomosaicos, como é possível visualizar, na figura 45, em três perfis diferentes com relação a posição do acidente.

Figura 45: Localização das obstruções com relação ao local do acidente.



Fonte: Autora, 2023.

A primeira posição, é do ponto de vista para o lado esquerdo da rua Pioneiros sentido terminal é possível identificar a rua Planalto, a altura da edificação de esquina entre as ruas Planalto e Pioneiros, e a largura do totem comparada aos outros elementos do ortomosaico.

Na segunda posição, se refere a visão de quem está se aproximando do terminal pela rua dos Pioneiros. Para ambos, a sinalização é de parada obrigatória e velocidade máxima de 20km/h pois, tanto o veículo da rua dos Pioneiros quanto da rua Planalto não tem visibilidade um para o outros.

A terceira e última posição, é da frente do terminal, lado esquerdo da rua Planalto, sentido rua dos Pioneiros. Não é possível visualizar o local do acidente no ortomosaico, mas podemos mais uma vez verificar uma das possíveis obstruções na visão do motorista. Na figura 46, são apresentadas as dimensões das obstruções.

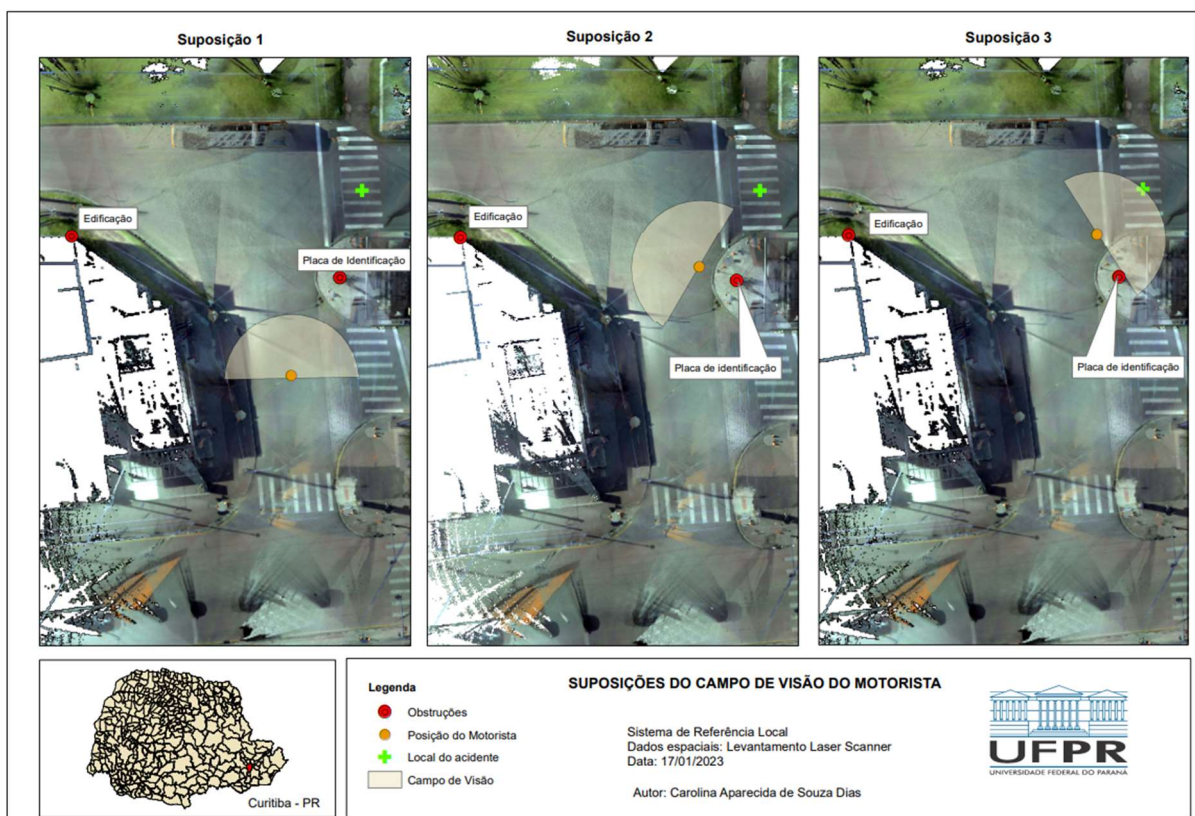
Figura 46: Dimensões das obstruções.



Fonte: Autora, 2023.

Devido ao não posicionamento do veículo através do SfM, discutido no capítulo anterior, para dar continuidade no estudo, serão supostos três casos para analisar as obstruções presentes no campo de visão do condutor do veículo. A fim de localização, figura 47, indica a localização de onde está sendo analisado o campo de visão do motorista.

Figura 47: Localização das suposições da visibilidade do condutor



Fonte: Autora, 2023.

Além das obstruções externas como a placa de identificação do terminal e a edificação, nas próximas imagens também serão representadas as obstruções na parte interna do veículo.

Para a suposição 1, o condutor acaba de realizar a conversão à esquerda para ter acesso a rua Planalto e segue em linha reta, ou seja, apresenta apenas obstruções externas como a placa de identificação do terminal (totem) que possivelmente impede a identificação de pedestres na faixa. A figura 48, capturada pela câmera interna do veículo, ilustra a orientação da cabeça do condutor em uma posição aproximada do que está sendo representado no mapa de suposições do campo de visão do motorista.

Figura 48: Câmera na Suposição 1



Fonte: Autora, 2023.

A suposição 2, é o momento após a parada para o passageiro desembarcar, em que o condutor desloca o veículo para frente até conseguir verificar se não há outro veículo se aproximando pela rua dos Pioneiros, visto que há um ponto de obstrução para a direção indicada no campo de visibilidade do condutor que é a edificação, a figura 49 apresenta a orientação da cabeça do condutor em uma posição aproximada ao apresentado na suposição 2. Em seguida inicia a conversão à esquerda, vista na próxima suposição.

Figura 49: Câmera na suposição 2.



Fonte: Autora, 2023.

Para suposição 3, o condutor está com a cabeça orientada para a direção indicada no campo de visibilidade e apresenta obstruções internas como o passageiro 1 e a coluna do veículo, como são representadas na figura 50.

Figura 50: Câmera na suposição 3



Fonte: Autora, 2023.

Duas possíveis obstruções que impedem a visibilidade do condutor.

6.4 Análise da Adequação da Sinalização

Foram identificadas sete placas de sinalização vertical que são classificadas em regulamentação e advertência e estão descritas na tabela 6. Para a sinalização horizontal observou-se que há uma precariedade na sinalização, em que não há sinalização ou as demarcações estão apagadas da pista.

Tabela 5: Sinalização vertical da área de estudo

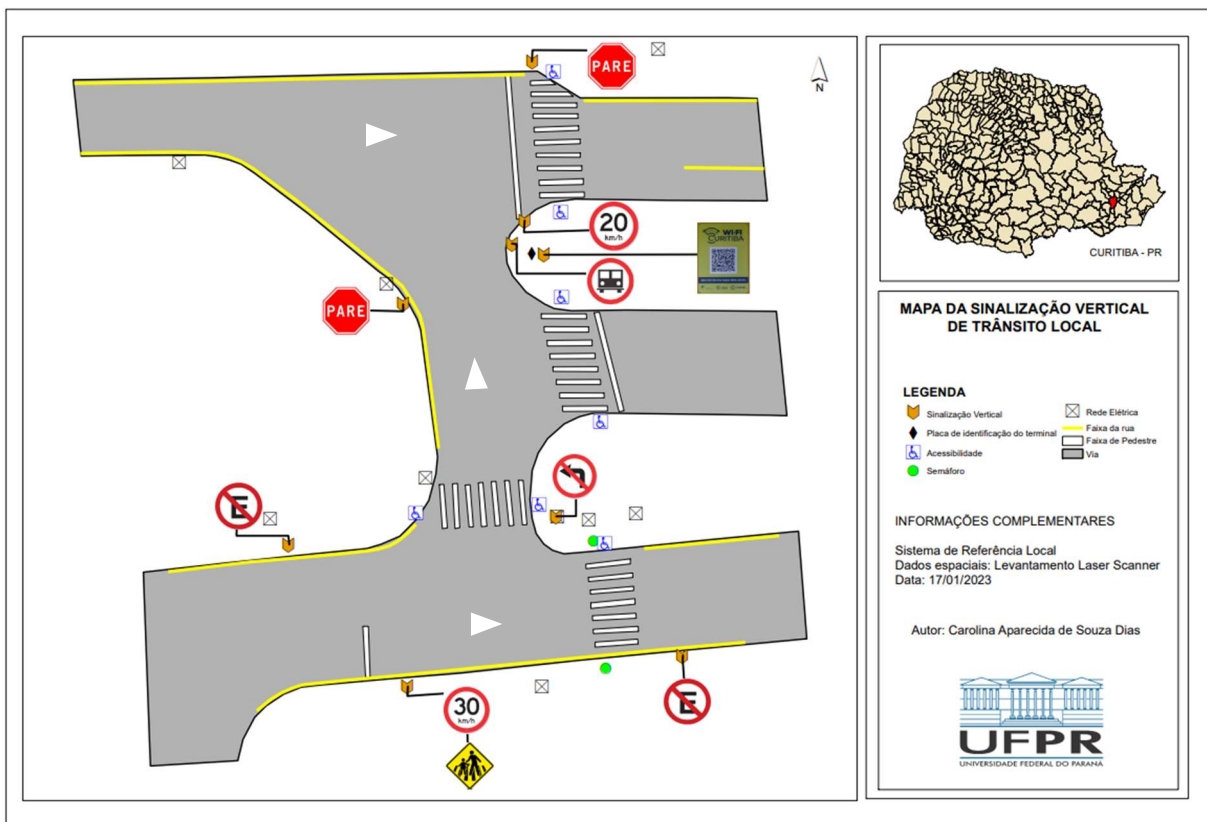
Sinalização vertical de regulamentação		
Sinal	Nome	Placa no Local
	Parada obrigatória	
	Proibido virar à esquerda	
	Velocidade máxima permitida	
	Velocidade máxima permitida	

	<p>Circulação exclusiva de ônibus</p>	
	<p>Proibido estacionar</p>	 
<p>Sinalização vertical de Advertência</p>		
	<p>Passagem sinalizada de escolares</p>	
<p>Informação</p>		



Utilizando a planta vetorizada obtida através da varredura *laser*, na figura 51, é possível visualizar a distribuição da sinalização no local de estudo que conta basicamente com a sinalização de regulamentação e advertência descritos na tabela 6.

Figura 51: Sinalização vertical no local do acidente



Fonte: Autora, 2023

A partir das informações apresentadas na figura 51 é notório a quantidade de

sinalização no local do acidente, como de velocidade máxima e de parada obrigatória.

A placa de parada obrigatória para os condutores da rua Planalto sentido rua dos Pioneiros, está em um ponto que o motorista não tem visibilidade para com outro veículo da rua dos Pioneiros (figura 52), por conta da edificação na esquina entre as ruas em questão. Sendo assim, há uma necessidade de parar mais a frente para ter certeza de que nenhum outro veículo se aproxima.

Figura 52: localização da placa de parada obrigatória próxima ao ponto de obstrução.



Fonte: Autora, 2023.

Na figura 53, é possível visualizar a necessidade de parada após a placa de parada obrigatória e olhar em direção à rua dos Pioneiros, ao verificar a ausência de outro ônibus, o motorista dá início a conversão a direita, e por conta das obstruções internas do veículo, impede a visualização do motorista para o pedestre.

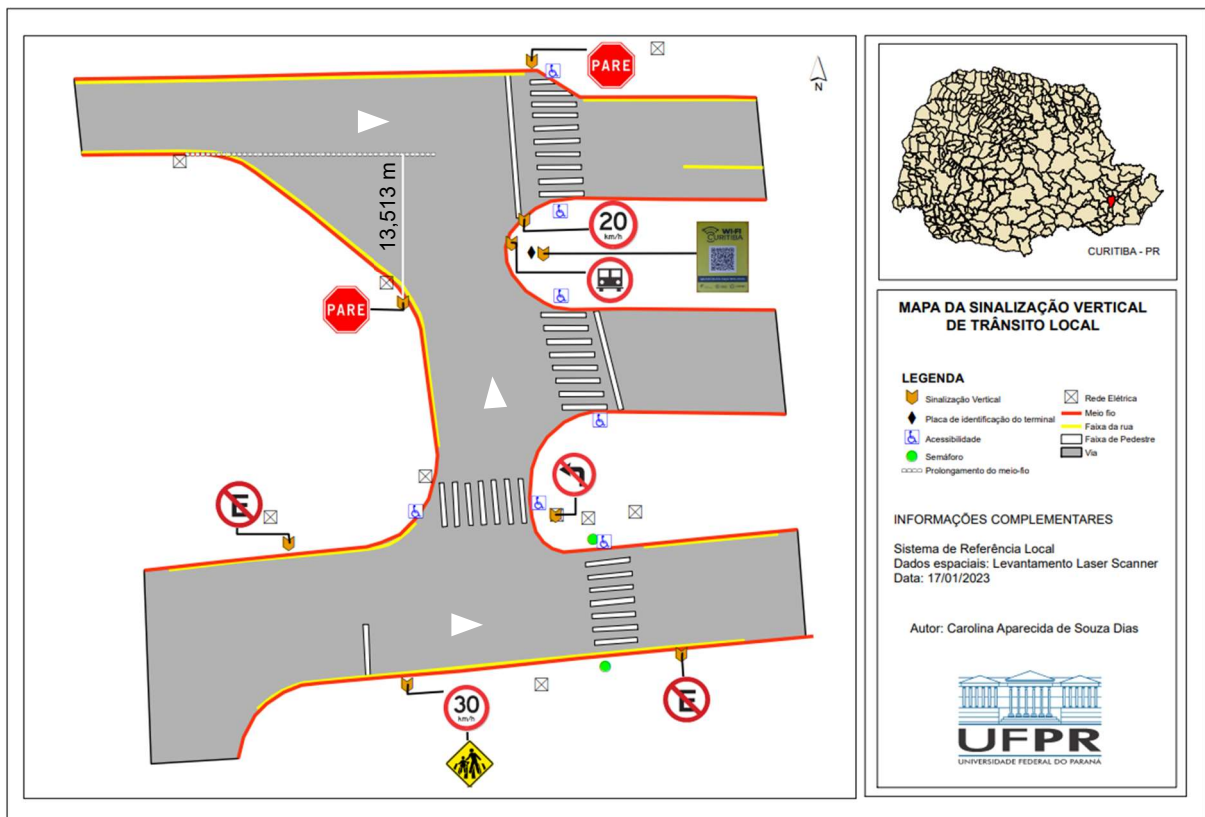
Figura 53: Posicionamento do veículo para ter visibilidade.



Fonte: Autora, 2023.

A partir dos dados da varredura *laser* constatou que a placa está posicionada ao lado esquerdo da via e com uma distância de 13,513 m até o prolongamento do meio fio, ou seja, ultrapassa os 10,0 m previsto no manual de sinalização vertical de regulamentação do CONTRAN 2007.

Figura 54: Distância da sinalização de parada obrigatória até o prolongamento do meio-fio.



Fonte: Autora, 2023.

A sinalização horizontal presente no local do acidente é precária, com as

imagens obtidas em campo foi possível verificar a falta de sinalização na pista (figura 55) e foi possível observar que em alguns trechos a sinalização está com a demarcação da tinta saindo o que dificulta a visualização. Além disso, não há inscrições no pavimento para melhorar a percepção do condutor quanto às condições de operação da via.

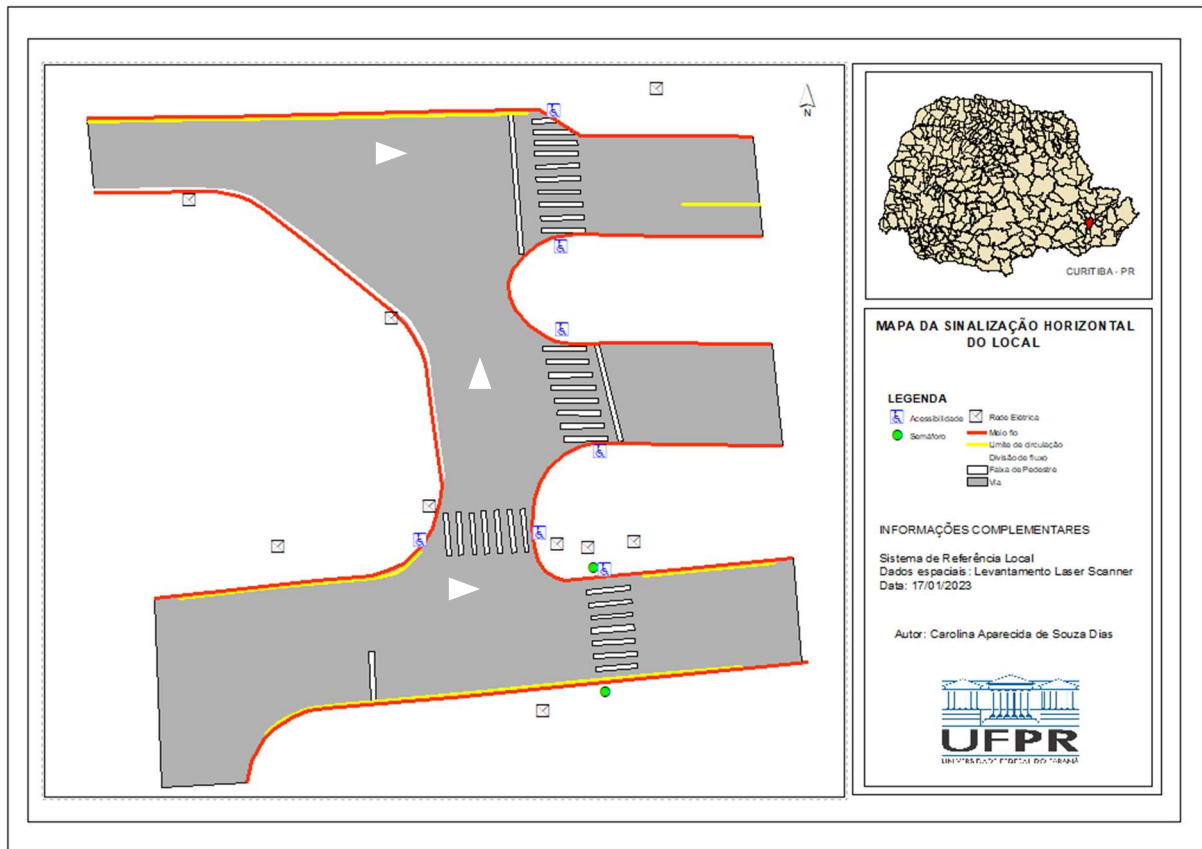
Figura 55: Sinalização horizontal inexistente ou com as demarcações fracas.



Fonte: Autora, 2023.

Com a vetorização dos dados obtidos através da varredura laser, confirmou a precariedade da sinalização horizontal no local do acidente que é apresentado na figura 56.

Figura 56: Sinalização Horizontal do local do acidente.



Fonte: Autora, 2023.

7 CONCLUSÕES

A partir da elaboração do trabalho e processamento dos dados foi possível desenvolver uma perícia utilizando geotecnologias e obter informações consistentes sobre o acidente em estudo.

A técnica de levantamento *laser* utilizada é uma forma rápida de se obter um mapeamento de grande escala, com um alto nível de detalhamento e com uma qualidade condizente a necessidade do trabalho. Através da varredura *laser* foi possível gerar a nuvem de pontos da superfície, edificações e demais objetos da cena escaneada de forma precisa para a extração de informações como o dimensionamento e a localização das obstruções possibilitando a análise da visibilidade do condutor do veículo.

O uso do vídeo obtido da câmera interna do veículo não foi suficiente para a modelagem 3D da área e principalmente para a identificação da trajetória do veículo, o resultado apresentado possui falhas ao não apresentar de forma nítida o modelo da superfície, essas falhas ocorrem devido a pequena porção das imagens que são passíveis de serem utilizadas para identificação de pontos homólogos, baixa qualidade e resolução das imagens, falta de textura do ambiente externo visualizado através das janelas, redução da qualidade da imagem devido ao vidro que causa refração.

Com o levantamento *laser*, o vídeo da ocorrência e os ortomosaicos gerados, foram analisados os pontos de obstruções, sinalizações presentes no local e suposições do campo de visão do motorista esses dados são relevantes para verificar se era possível o condutor identificar o pedestre e o pedestre observar a aproximação do ônibus.

Dessa forma o objetivo da utilização de geotecnologias na perícia foi alcançado, embora tenha sido possível a modelagem 3d da área do acidente utilizando a técnica da varredura *laser*, não foi possível a reconstrução da trajetória do veículo utilizando das imagens extraídas do vídeo da câmera de monitoramento, a qual encontra se posicionada de forma inadequada para a finalidade de reconstrução fotogramétrica a partir do ambiente externo ao veículo.

REFERÊNCIAS

Amorim, Natalia C. Avaliação Do Desempenho Da Técnica Structure From Motion Para Mapeamento De Corredores. UFPR, 2020.

Caldeira, Carlos R. T & Lopes, Wendel M. & Ortega, Mayara C. Extração De MDT Por Três Tipos De Levantamento Para Comparação De Custo-Benefício: Topográfico, Fotogramétrico E Laser Scanner. Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém – PA, 2019.

Centeno, Jorge A. S, Sensoriamento Remoto e Processo de Imagem Digitais. : Curitiba, 2009.

Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Manual de Sinalização Vertical de Regulamentação. 2ª edição – Brasília : Contran, 2007. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito;, Volume 4)

Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Manual de Sinalizacao Vertical de Advertencia. 2ª edição – Brasília : Contran, 2007. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito;, Volume 4)

Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). Sinalização horizontal. 2ª edição – Brasília : Contran, 2007. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito;, Volume 4)

Dalmolin, Q; Santos, D. R. Sistemas Laser scanner: Conceitos e Princípios de Funcionamento. 3. ed. Curitiba: Curitiba, 2004.

Daltro, Alexandre B.V. & Neves, Carolina C.P.S. & Albuquerque, Eduardo R.S.M. Biometria - Reconhecimento de Retina. UFRJ

Franco, G.G. & Naime, A.F. 2021, 'Structure from Motion (SfM) – Uma Breve Revisão Histórica, Aplicações nas Geociências e Perspectivas Futuras', Anuário do Instituto de Geociências, vol. 44: 40853.

Lowe, D.G. 2004, 'Distinctive Image Features from Scale - Invariant Keypoints', International Journal of Computer Vision, vol. 60.

Nascimento, Diogo O. Competência Da Polícia Rodoviária Federal Nos Levantamentos De Locais De Acidente De Trânsito E Realização De Perícias. IFSC, 2017.

Recursos de imagem distintos de pontos-chave invariantes em escala. Jornal Internacional de Visão Computacional, vol.60.

Stolfi, Guido. Percepção Visual Humana. USP, 2008.

Silva, Isadora R. G. Atuação E Desafios Do Profissional Da Área De Agrimensura E Cartografia Na Peritagem. UFPR, 2022.

ANEXOS

ANEXO A – Mapa da localização

ANEXO B – Trajetória percorrida pelo veículo

ANEXO C – Localização dos elementos do local do acidente

ANEXO D – Perfis da posição do acidente

ANEXO E – Localização das obstruções com relação ao local do acidente

ANEXO F – Dimensões das obstruções

ANEXO G – Localização das suposições da visibilidade do condutor

ANEXO H – Sinalização vertical no local do acidente

ANEXO I – Distância da sinalização de parada obrigatória até o prolongamento do meio-fio

ANEXO J - Mapa da sinalização Horizontal do local do acidente