

GUILHERME FRANCISCO ZUCATELLI

**MÉTODOS DE VISUALIZAÇÃO DE PROJETOS DE REDES DE
ESGOTO EM REALIDADE AUMENTADA VIA DISPOSITIVO
MÓVEL: ESTUDO DE CASO UFSC-CURITIBANOS**

Dissertação submetido ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de
Transportes e Gestão Territorial da
Universidade Federal de Santa Catari-
na para a obtenção do Grau de Mestre
em Engenharia Civil
Orientador: Prof. Dr. Carlos Loch

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

ZUCATELLI, GUILHERME FRANCISCO
MÉTODOS DE VISUALIZAÇÃO DE PROJETOS DE REDES DE
ESGOTO EM REALIDADE AUMENTADA VIA DISPOSITIVO MÓVEL:
ESTUDO DE CASO UFSC-CURITIBANOS / GUILHERME
FRANCISCO ZUCATELLI ; orientador, CARLOS LOCH, 2018.
106 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão
Territorial, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

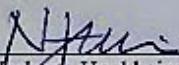
1. Engenharia de Transportes e Gestão
Territorial. 2. Realidade aumentada móvel. 3.
Fotogrametria. 4. Redes de esgoto. I. LOCH, CARLOS.
II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Transportes e Gestão Territorial. III. Título.

GUILHERME FRANCISCO ZUCATELLI

**MÉTODOS DE VISUALIZAÇÃO DE PROJETOS DE REDES
COLETORAS DE ESGOTO EM REALIDADE AUMENTADA
VIA DISPOSITIVO MÓVEL: ESTUDO DE CASO UFSC-
CURITIBANOS**

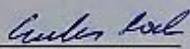
Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre” e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Gestão Territorial

Florianópolis, 12 de junho de 2018.



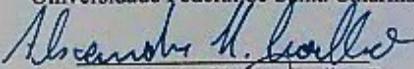
Prof. Norberto Hochheim, Dr.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

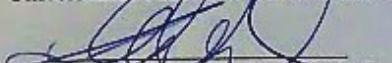


Prof. Carlos Loch, Dr.
Orientador

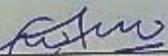
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Alexandre Hering Coelho, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Yuzi Anai Zanardo Rosenfeldt, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Emanuele Teles Ouriques de Mello, Dra.
Faculdade de Tecnologia Nova Palhoça

Este trabalho é dedicado à todos que considero minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que fizeram parte desta caminhada até aqui:

Aos meus pais, Valdir e Martina, que sempre me ensinaram que conhecimento é algo valioso e um bem precioso que ninguém pode retirar de nós.

À Flora, minha filha, que tem me ensinado muito sobre a vida e valores.

À Morgana, minha irmã, que sempre me apoiou nessa caminhada.

À Maria Elisabete, minha noiva, que me acudiu, deu força e incentivo para concluir este percurso;

Ao engenheiro Adriano Ziero, que me auxiliou nos serviços de campo.

Ao engenheiro Denis Bertazo Watashi, pelo auxílio na elaboração das tabelas e gráficos.

Ao professor Jurgen Phillips, orientador inicial deste trabalho, que infelizmente veio a falecer durante este percurso.

Ao professor Carlos Loch, meu grande amigo e orientador, por acreditar nesta obra.

Professores que me ensinaram mais que regras ou conceitos, foram exemplos de vida.

"Nada neste mundo é tão poderoso como uma ideia cuja oportunidade chegou." (Victor Hugo)

RESUMO

A realidade aumentada (RA) mistura, por meio de dispositivos de visualização, ambientes reais com objetos virtuais em tempo real de forma geometricamente referenciada. O uso de realidade aumentada móvel (RAM) como apoio à locação, fiscalização e monitoramento de obras ainda é pouco explorado no Brasil, tendo foco maior atualmente em publicidade. Esta pesquisa tem como objetivo propor a aplicação de realidade aumentada móvel no auxílio à visualização de rede coletoras de esgoto in loco. Através da revisão bibliográfica, de posse do projeto de redes coletora de esgotos do Campus Sede da UFSC em Curitibanos e de um tablet, buscou-se desenvolver uma aplicação em RAM a fim de visualizar poços de visita e tubulações de tal projeto em campo. O método de rastreamento escolhido foi o de visão computacional, utilizando a câmera e o processamento de imagens, com reconhecimento de modelos texturizados e feições ambientais. Para a geração do modelo texturizado utilizou-se a fotogrametria. Foram analisadas as limitações de ordem prática do sistema desenvolvido. Os resultados obtidos revelam que o sistema proposto possui uma grande variação posicional do modelo tridimensional da rede de esgoto quando dependente das feições ambientais, sendo que, para a melhor obtenção dos resultados, o modelo texturizado deve estar mais próximo da cena da câmera.

Palavras-chave: Realidade aumentada móvel, redes de esgoto, fotogrametria.

ABSTRACT

The augmented reality (RA) mixes, through visualization devices, real environments with virtual objects in real time in a geometrically referenced way. The use of augmented mobile reality (RAM) as support for the leasing, supervision and monitoring of works is still little explored in Brazil, having a major focus on advertising. This research aims to propose the application of augmented mobile reality in the aid of visualization of sewage collection networks in loco. Through the bibliographic review, in possession of the project of sewage collection networks of the Campus Headquarters of UFSC in Curitiba and a tablet, it was tried to develop an application in RAM in order to visualize wells of visit and pipes of such project in field. The chosen method of screening was computer vision, using camera and image processing, with recognition of textured models and environmental features. For the generation of the textured model, photogrammetry was used. The practical limitations of the developed system were analyzed. The results show that the proposed system has a large positional variation of the three-dimensional model of the sewage network when it depends on the environmental features. In order to obtain better results, the textured model should be closer to the camera scene.

Keywords: Mobile augmented reality, Sewer networks, Photogrammetry

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de esgoto sanitário	30
Figura 2. Exemplo de prancha cadastral de redes de esgoto	31
Figura 3. Continuum.....	36
Figura 4. Sistema em RAM com notebook	37
Figura 5. Sistemas RAM em celulares e tablets	38
Figura 6. Google Glass sendo testado em fábrica de tratores.....	39
Figura 7. Exibição através de sistema óptico.....	41
Figura 8. Exibição através de sistema de vídeo	42
Figura 9. Exibição através de projeção.....	43
Figura 10. Equipamentos utilizados para visualização de simulação de cheias	44
Figura 11. Marcador fiducial e a visualização de lavatório/tubulação em RAM	45
Figura 12. Fluxo de trabalho: rastreamento baseado em arestas	46
Figura 13. (1) a imagem original. (2) a delimitação dos pontos-chaves. (3) o modelo tridimensional aumentado sob textura.....	47
Figura 14. Oclusão desabilitada e habilitada	50
Figura 15. Sistema RAM para acompanhamento de obras de engenharia.	53
Figura 16. Posicionamento da câmara na monorrestituição	56
Figura 17. Fotografia original e imagem com a fachada retificada	56
Figura 18. Levantamento estereoscópico	57
Figura 19. Kit Image Station SSK	58
Figura 20. Princípio da fotogrametria de eixos convergentes	59
Figura 21. Modelos tridimensionais de loteamento urbano utilizando fotogrametria aérea por drones (1) nuvem de pontos (2) modelo de arestas (3) modelo sólido (4) modelo sólido texturizado.....	65
Figura 22. Fluxograma da metodologia do trabalho.....	68
Figura 23. Localização do Campus Sede da UFSC em Curitibaanos	70
Figura 24. Procedimento de calibração de uma câmera digital com o software Photoscan lenses	73
Figura 25. Ponto de tomada ideal de foto e o ponto possível de tomada em campo para a restituição monoscópica.....	74
Figura 26. Obtenção das coordenadas de três pontos dos vértices da fachada através de levantamento fotogramétrico prévio.....	75

Figura 27 - (1)Definição do plano da ortofoto e os paralelismos de suas arestas (2) Modelo tridimensional com a textura da ortofoto (3) Ortofoto da fachada	76
Figura 28. Modelo tridimensional da rede coletora de esgotos do Campus sede da UFSC em Curitibaanos	77
Figura 29. Fluxograma de funcionamento do sistema em RAM com rastreo baseado em modelo texturizado e com reconhecimento das feições naturais	78
Figura 30. Localização dos pontos-chaves da ortofoto através do sistema Vuforia.	79
Figura 31. (1) Localização do marco utilizado para teste de precisão (2) Fotografia da chapa metálica sob o marco (3) Definição dos pontos chaves da fotográfica da chapa do marco.	81
Figura 32. Pontos de inicialização do sistema proposto até a chegada do marco topográfico	82
Figura 33. Fotografia obtida pelo tablet da fachada do edificio.	83
Figura 34. Valores obtidos da calibração de câmera pelo software Agisoft Photoscan Lenses.	84
Figura 35. Ortofoto da fachada com os pontos de seus vértices e dimensões obtidas.	85
Figura 36. Pontos-chave obtidos da ortofoto através do sistema Vuforia.	88
Figura 37. Desenvolvimento do sistema no software Unity.....	88
Figura 38. Visualização da rede de esgoto pelo visor do tablet.	89
Figura 39. Pontos dos testes elaborados em campo	90
Figura 40. Gráfico mostrando a distância obtida de cada teste, conforme ponto de saída.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores obtidos dos pontos dos vertices da fachada através do levantamento fotogramétrico prévio.	84
Tabela 2. Coordenadas UTM dos pontos utilizados e os valores trasladados para plano topográfico local	86
Tabela 3. Testes e observações de campo	91
Tabela 4. Resultados dos testes, em metros, partindo do ponto P1	92
Tabela 5. Resultados dos testes, em metros, partindo do ponto P2	92
Tabela 6. Resultados dos testes, em metros, partindo do ponto P3	93
Tabela 7. Resultados dos testes, em metros, partindo do ponto P4	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ETE – Estação de tratamento de esgoto
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
RA – Realidade Aumentada
RAM – Realidade Aumentada Móvel
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
CBS-02 – Edifício em construção no Campus UFSC de Curitibanos
SDK – *Software Development Kit*
SFM – *Structure from motion*
SLAM - *Simultaneous localization and mapping*
UTM – Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	JUSTIFICATIVA.....	27
1.2	OBJETIVOS	28
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	REDES COLETORA DE ESGOTOS.....	29
2.1.1	Órgãos acessórios e materiais utilizados	30
2.1.2	Cadastro das redes de esgoto	31
2.1.3	Projetos de redes de esgoto	32
2.1.4	Representação gráfica de projetos de redes de esgoto	33
2.2	REALIDADE AUMENTADA MÓVEL	35
2.2.1	Plataformas de computação móvel	37
2.2.2	Classificação dos sistemas de visualização	39
2.2.3	Métodos de rastreamento	43
2.2.4	Oclusão	50
2.2.5	Bibliotecas de realidade aumentada móvel	51
2.2.5.1	Wikitude.....	51
2.2.5.2	Vuforia	52
2.2.6	RAM e a gestão da infraestrutura urbana	53
2.3	A FOTOGRAMETRIA DIGITAL.....	54
2.3.1	Modelos de restituição fotogramétrica	55
2.3.1.1	Monorrestituição	55
2.3.1.2	Estereorrestituição.....	57
2.3.1.3	Baseado em eixos convergentes	58
2.3.2	Calibração de câmera	60
2.3.3	Pontos de controle	60
2.3.4	Plano de tomadas de imagens	61
2.3.5	Produtos fotogramétricos	62
2.3.5.1	Nuvem de pontos	62

2.3.5.2	Modelo de arestas	64
2.3.5.3	Modelos sólidos	65
2.3.5.4	Ortofotos e ortofotomosaicos.....	66
2.3.5.5	Desenhos por delimitação de feições.....	66
2.3.6	Produtos fotogramétricos em apoio ao desenvolvimento de sistemas RAM.....	67
3	ÁREA DE ESTUDOS, MATERIAIS E MÉTODO	67
3.1	ÁREA DE ESTUDO	69
3.2	MATERIAIS UTILIZADOS.....	70
3.2.1	Projeto da Rede de esgoto do Campus UFSC de Curitibaanos.....	70
3.2.2	Levantamento fotogramétrico do Campus.....	71
3.2.3	Equipamentos.....	71
3.2.4	Ferramentas computacionais.....	71
3.3	LEVANTAMENTO FOTOGRAFÉTICO.....	72
3.3.1	Calibração da câmera.....	72
3.3.2	Tomada de foto.....	73
3.3.3	Locação dos pontos de referência.....	74
3.3.4	Processamento das imagens e geração da ortofoto	75
3.4	CONVERSÃO DE DADOS DO PROJETO PARA UM MODELO TRIDIMENSIONAL	76
3.5	DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA EM REALIDADE AUMENTADA MÓVEL	77
3.5.1	Testes e verificações	80
3.5.1.1	Quanto ao desempenho	80
3.5.1.2	Quanto a usabilidade.....	80
3.5.1.3	Quanto à precisão e acurácia do sistema proposto.....	80
4	RESULTADOS	83
4.1	Geração de ortofoto	83
4.2	Desenvolvimento do sistema em realidade aumentada móvel	86

4.3	DESEMPENHO, USABILIDADE E ERROS.....	89
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	95
	REFERÊNCIAS	97

1 INTRODUÇÃO

A representação dos projetos de engenharia para clientes ou para a própria equipe de obras muitas vezes fica limitada por representações bidimensionais. Além disso, em serviços como locação os elementos do projeto ficam dependentes de equipe de topografia. Com o desenvolvimento tecnológico, novas ferramentas surgem para sanar tais limitações.

A realidade aumentada tem como objetivo principal a integração de informações virtuais ao ambiente físico buscando a imersão do usuário em um ambiente construído virtualmente. Dessa forma, além de promover maior realismo à experiência do usuário, não há necessidade de recriar um mundo virtual à parte, reduzindo os custos de desenvolvimento e aumentando as possibilidades de aplicações. (Kirner et al, 2011)

A RAM é uma das áreas de pesquisa que mais crescem no campo de realidade aumentada. Isso se deve principalmente ao surgimento de smartphones, que proporcionam um ambiente poderoso e onipresente para apoiar tal tecnologia (Azuma et al., 2001). Entretanto, no Brasil, o tema é ainda pouco explorado no campo da engenharia.

Neste sentido, este trabalho busca explorar a RAM em um canteiro de obras. Utilizando-se das informações de um projeto de rede coletora de esgotos da UFSC em Curitiba, um sistema RAM é proposto para visualizar os elementos do projeto em campo, sendo analisado seu potencial e limitações.

1.1 JUSTIFICATIVA

Tradicionalmente, a implantação de redes de esgoto é locada através de topografia. Em campo, são inseridas estacas de madeira que representam a posição dos elementos e/ou alinhamentos dos mesmos. Durante as obras, esses elementos podem se tornar um problema no canteiro de obras, assim como podem ser removidos com facilidade. Para relocar, novamente a equipe de topografia deve retornar ao local. Com uma rede implantada, para saber o exato ponto de uma possível futura ligação em campo, novamente a resposta vem somente da topografia.

A visualização in loco de projetos e redes existentes através do uso da realidade aumentada móvel é promissora. Os dispositivos móveis, como celulares e tablets, possuem componentes suficientes para sua aplicação. Nesse sentido, a exemplo, um fiscal poderá visualizar através do seu celular se a rede está sendo executada conforme projeto.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento de uma aplicação de realidade aumentada móvel para visualização de projetos de redes de esgoto em campo visando a utilização na locação, fiscalização e monitoramento de obras.

Os objetivos específicos a serem alcançados no trabalho são:

- a) Verificar a atual normatização brasileira referente à elaboração de projetos de redes coletoras de esgoto e sua representação gráfica.
- b) Verificar a atual disponibilidade de componentes, softwares e aspectos práticos relacionados com a operacionalização de um sistema RAM.
- c) Descrever a utilização dos produtos fotogramétricos como base para elaboração dos sistemas RAM.
- d) Identificar o potencial e limitações do sistema RAM desenvolvido neste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REDES COLETORA DE ESGOTOS

Um sistema de esgotamento sanitário é definido pelo conjunto de obras e instalações destinadas a realizar a coleta, permitindo o condicionamento sanitário adequado das águas servidas geradas pela comunidade. A coleta é feita por meio de coleta individual ou coletiva nas residências/comércios/indústrias e o afastamento dos esgotos por meio de rede coletora e transporte do esgoto até a unidade de tratamento.

Tsutiya et al (2000, p.3) definem a rede coletora de esgoto:

“[...]conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos edifícios; o sistema de esgotos predial se liga diretamente à rede coletora por uma tubulação chamada coletor predial, A rede coletora é composta de coletores secundários, que recebem diretamente as ligações prediais, e, coletores tronco. O coletor tronco é o coletor principal de uma bacia de drenagem, que recebe a contribuição dos coletores secundários, conduzindo seus efluentes a um interceptor ou emissário.”

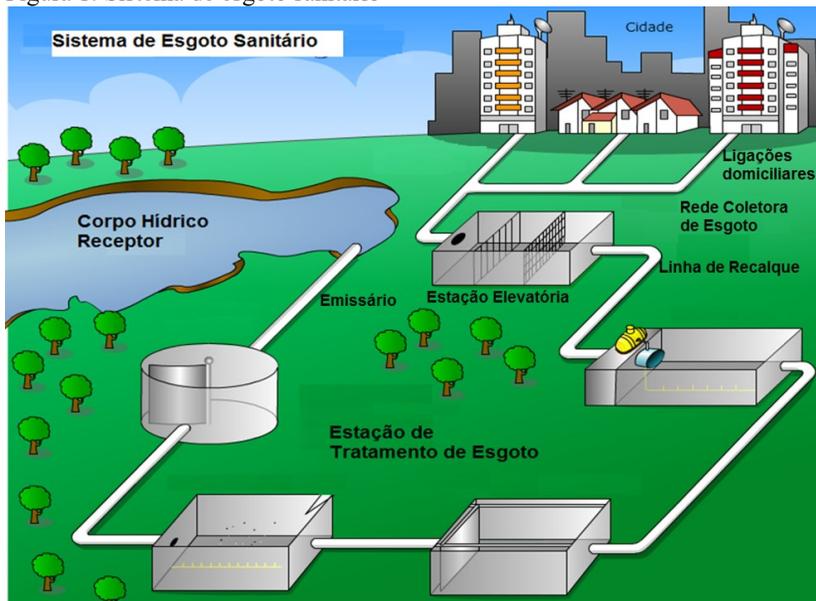
O Brasil adota um sistema de esgotamento sanitário denominado Sistema de Esgoto Sanitário Separador que de acordo com a NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário (1986, p.1) é o “Conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar somente esgoto sanitário a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro”. Neste sentido, nota-se a importância da eficácia deste sistema para a preservação da saúde pública e dentro deste contexto pode-se relacionar a implantação deste sistema de esgoto a aspectos higiênico, social e econômico.

O sistema de esgoto sanitário é constituído de partes interdependentes, como demonstrados na figura 01. A rede coletora de esgotos é o conjunto constituído por ligações prediais, coletores de esgotos e seus órgãos acessórios, destinados a receber e conduzir os esgotos das edificações.

Segundo Soares et al (2002) nos últimos anos, a finalidade dos projetos de saneamento tem abandonado sua concepção sanitária clássica, recaindo em uma abordagem ambiental que visa a promover não só a saúde humana, mas também a conservação do meio físico e biótico. Além disto, a implantação e manutenção das redes coletoras de

esgoto é um desafio, frente a um emaranhado de redes e sistemas subterrâneos existentes nas cidades que não estão devidamente cadastrados.

Figura 1: Sistema de esgoto sanitário



Fonte: (Tsutiya et al, 2000)

2.1.1 Órgãos acessórios e materiais utilizados

A NBR 9649 define como órgão acessório todo dispositivo fixo desprovido de equipamentos mecânicos. Estes equipamentos são destinados à visitação, manutenção e limpeza da rede coletora de esgotos.

O poço de visita (PV) é uma câmara visitável através de abertura existente em sua parte superior, destinados ao trabalho de manutenção. O tubo de inspeção e limpeza (TIL) é um dispositivo não visitável que permite a inspeção e introdução de equipamento de limpeza. Já o terminal de limpeza (TL) permite a introdução de equipamento de limpeza, localizado na cabeceira de qualquer coletor. Por fim, a caixa de passagem (CP) é uma câmara sem acesso localizado em pontos singulares por necessidade construtiva, como curvas acentuadas, por exemplo.

Os materiais mais utilizados em sistemas de coleta e transporte de esgoto são os tubos cerâmicos, o concreto, o PVC, o ferro fundido e o aço. A escolha adequada destes materiais a serem utilizados no sistema

de coleta de esgoto varia conforme as características do solo, do efluente, do método construtivo aplicado, dos esforços que as tubulações estarão sujeitas, dos diâmetros disponíveis no mercado e do custo.

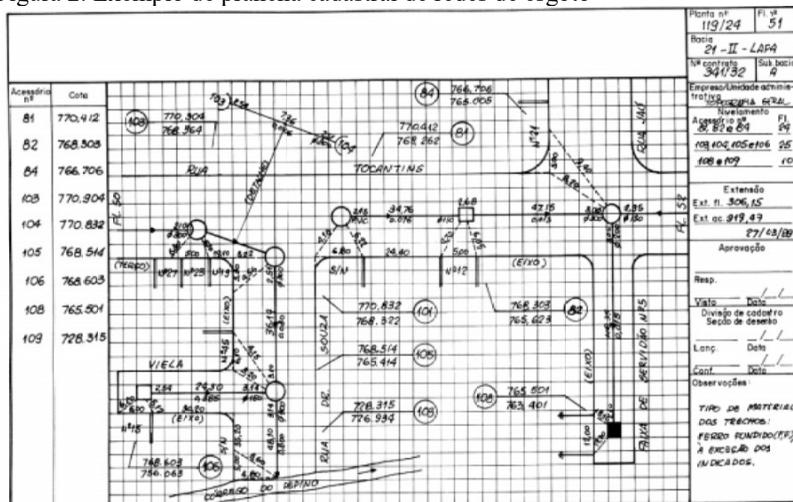
2.1.2 Cadastro das redes de esgoto

Não é possível o planejamento sem o conhecimento prévio do local. Assim o cadastro é de suma importância para as futuras tomadas de decisões.

O cadastro de redes de esgoto sanitário pode ser definido como a representação gráfica de trechos, de elementos de redes, interceptores e emissários através de desenhos e dados técnicos.

“É considerado como um conjunto de informações, sistematicamente elaboradas e arquivadas, sob a forma de anotações ou representações gráficas, em arquivo analógico e/ou digital, que permitem a rápida identificação das características de uma rede de esgoto implantada” (NURENE, 2008, p. 153)

Figura 2. Exemplo de prancha cadastral de redes de esgoto



Fonte: (NBR12587/1992)

A execução do cadastro operacional de redes pertencentes aos sistemas de esgoto sanitários operados ou em vias de serem operados pelos prestadores de serviços de saneamento permite a localização física de tubos, poços de visitas, siões, entre outros.

A norma brasileira que trata do cadastro de rede de esgotos sanitário é a NBR 12587. Além desta, concessionárias de abastecimento de água possuem normas complementares.

Os problemas causados pela falta de conhecimento do espaço físico, representados em uma moderna e confiável base cartográfica que permita ao gestor político e ao agente técnico formular propostas condizentes com os meios e a realidade local, podem trazer consequências muito danosas ao crescimento ordenado e sustentável do território. Por isto, ressalta-se a necessidade e importância de uma base cartográfica como referência espacial para o planejamento e desenvolvimento de projetos (Pereira, 2009).

2.1.3 Projetos de redes de esgoto

As condições exigíveis na elaboração de projeto hidráulico-sanitário de redes coletoras de esgoto sanitário estão presentes na NBR 9649 e demais dispositivos legais específicos de cada município. É notório que muitos municípios brasileiros dispõem de convênios com companhias de saneamento, sendo assim, elas quem definem seus próprios dispositivos legais.

As atividades que contemplam um projeto de rede coletora de esgotos consistem em:

- a) Delimitação das bacias e sub-bacias de esgotamento cujas contribuições podem influir no dimensionamento da rede, inclusive as zonas de expansão previstas, desconsiderando os limites políticos administrativos.
- b) Delimitação da área do projeto.
- c) Fixação do início de operação da rede e determinação do alcance do projeto e respectivas etapas de implantação para as diversas bacias de esgotamento.
- d) Cálculo das taxas de contribuição inicial e final.
- e) Traçado da rede, interligações com a rede existente, se prevista sua utilização, e posição dos outros componentes do sistema em relação à rede.
- f) Verificação da capacidade da rede existente, se prevista sua utilização.
- g) Dimensionamento hidráulico da rede e seus órgãos acessórios.
- h) Desenho da rede coletora e de seus órgãos acessórios. Devem ser localizadas em planta as contribuições industriais e outras contribuições singulares.

- i) Relatório de apresentação do projeto contendo no mínimo: apreciação comparativa em relação às diretrizes da concepção básica, cálculo hidráulico, aspectos construtivos, definição dos tubos, materiais e respectivas quantidades, especificações de serviços, orçamentos, aspectos de operação e manutenção, desenhos.

Enfatizando a representação gráfica dos desenhos, o capítulo seguinte tratará das ferramentas modernas de sua elaboração.

2.1.4 Representação gráfica de projetos de redes de esgoto

As melhorias tecnológicas, ligadas aos processos de representação gráfica de projetos, estão em constante evolução, passando desde os desenhos desenvolvidos a lápis e papel, até as representações virtuais tridimensionais com a inclusão de sistemas complexos de produção e desenvolvimento dos projetos.

A implementação dos softwares CAD, em substituição ao lápis e papel, trouxe uma melhor metodologia de trabalho e eficiência no tratamento dos projetos, seja no que diz respeito à criação do desenho ou na sua edição. Por meio dos sistemas CAD os elementos (linhas, pontos, textos, etc.) são inseridos em um espaço virtual através de vetores de coordenadas. Inicialmente com objetos 2D os sistemas CAD evoluíram ao oferecer elementos 3D para a construção de superfícies e sólidos em um espaço tridimensional. Segundo Scheer et al. (2007, p. 2, apud Sperling, 2002), “Apesar desta significativa evolução, a forma de projetar em sistemas CAD não pode ser considerada uma mudança de paradigma, visto que apenas as ferramentas de desenho foram transferidas para o computador, diminuindo erros, tempo de dedicação e proporcionando maior facilidade para a aplicação de alterações necessárias, ou seja, a modelagem ficou mais eficiente, mas o resultado final manteve-se para fim de representação”.

O conceito BIM prevê a construção em ambiente 3D virtual de objetos característicos e não da sua representação. Segundo Crespo e Ruschel (2007) BIM é mais do que um modelo para visualização do espaço projetado, é um o modelo digital composto por um banco de dados que permite agregar informações para diversas finalidades, além de aumento de produtividade e racionalização do processo. Agora comumente conhecido como Modelagem da Informação da Construção ou Modelo Paramétrico da Construção Virtual

Dessa forma, o BIM provê toda informação necessária aos desenhos, à expressão gráfica, à análise construtiva, à quantificação de traba-

lhos e tempos de execução, desde a fase inicial do projeto, até a conclusão da obra. Com isso, os dados para a validação do projeto são automaticamente associados a cada um dos elementos que o constituem.

Entre os recursos computacionais mais utilizados como instrumento eficiente de gestão da informação pública e de tomada de decisões destaca-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG). O SIG, ou GIS (Geographic Information System), como é mais difundido, é uma base instrumental já bem estabelecida há décadas nos meios da produção geográfica, cartográfica e de planejamento urbano e regional. Trata-se, entre outras características, de uma base de dados digital de múltiplas finalidades, na qual um sistema de coordenadas espaciais em comum é o meio básico de referência. Em razão de aglomerar dados oriundos de bases textuais (dados tabulares) a bases gráficas georreferenciadas (mapas, fotos aéreas e afins), consagrou-se como um sistema altamente eficaz para tomada de decisões, ao permitir uma livre manipulação destes dados por meio de pesquisas (queries) e combinações variadas, sempre amparadas por uma representação gráfica, vetorial ou raster (Foote & Lynch, 1995). É necessário destacar que o SIG não é uma ferramenta de elaboração de projeto.

Através do CAD, BIM e SIG é possível visualizar dados gráficos da rede de esgoto, podendo ser em 2D ou 3D. Além disto, é possível gerar pranchas impressas para as mais distintas finalidades (burocrática, executiva, etc). Assim sendo, o processo de visualização virtual dos desenhos podem ser em três dimensões, mas o produto físico - mapas, cartas, pranchas – é em duas dimensões.

Segundo Speck (2005, p. 34):

“A grande vantagem da representação gráfica em 3D sobre a representação bidimensional, (representação através das vistas ortográficas), é que o usuário trabalha com a forma real do objeto ou da peça sem precisar interpretá-la a partir da representação das vistas, o que normalmente apresenta um percentual razoável de erros de interpretação, principalmente quando as peças ou objetos possuem um alto grau de detalhamento ou complexidade.”

A visualização tridimensional dos dados de projeto e cadastro das redes de esgotos diretamente no mundo real seriam muito uteis na execução, fiscalização e manutenção das obras. Um sistema de realidade aumentada móvel apresenta tal possibilidade.

2.2 REALIDADE AUMENTADA MÓVEL

Para entendermos o que é RAM se faz necessário entender de realidade virtual. Segundo Kirner et al (2011, p 36),

“Realidade virtual é uma interface computacional avançada que permite ao usuário interagir em tempo real com um ambiente tridimensional gerado por computador, usando seus sentidos, através de dispositivos especiais. A modelagem em ambientes virtuais [...] permite que o usuário visualize ambientes, manipule objetos e outros elementos do cenário virtual, além de movimentar-se no espaço tridimensional.”

Deste modo, em realidade virtual o usuário interage dentro de um ambiente virtual. A realidade aumentada (RA), por sua vez, mantém o usuário no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para o mundo real. Azuma (1997) define os requisitos básicos, independente de tecnologia utilizada, para que possa ser considerado um sistema de realidade aumentada

- Combinar o ambiente real e virtual
- Ser interativo em tempo real (o sistema deve reagir ao utilizador e fazer as atualizações em tempo real)
- Ser registrado em três dimensões (ou seja, as posições espaciais dos objetos virtuais devem ser bem definidas e consistentes, de forma que estes objetos coexistam no mesmo espaço do mundo real da forma mais harmoniosa possível).

A realidade aumentada complementa a realidade em vez de substituí-la e, em sua forma ideal, causa a impressão de que tanto os objetos reais quanto os virtuais estão convivendo harmoniosamente no mesmo espaço. Devido suas características, a realidade aumentada além de promover maior realismo à experiência do usuário, não necessita de recriação de um mundo virtual à parte, reduzindo assim os custos de desenvolvimento e aumentando as possibilidades de aplicações. (Tori et al., 2006)

Milgram e Kishino (1994) propuseram um gráfico denominado Continuum (“Contínuo”, em tradução nossa), em que aparecem os ní-

veis de composições entre o ambiente real e o ambiente virtual. Para os autores, os ambientes reais e virtuais não são opostos, eles fazem parte de um mesmo Contínuo, e as coisas existentes entre os dois fazem parte de uma Realidade Mixada ou Misturada (*Mixed Reality*).

Figura 3. Continuum



Fonte: Milgram; Kishino (1994)

Na Realidade Mixada ou Misturada, tanto o Ambiente Real quanto o Ambiente Virtual são exibidos juntos em um mesmo display, em maior ou menor grau de um ou de outro. O que implicará sua classificação será a quantidade de informações virtuais inseridas no ambiente real ou a quantidade de elementos reais que são inseridos em ambientes predominantemente virtuais: será considerada Realidade Aumentada quando a maior parte das imagens tiver origem no mundo real, e será Virtualidade Aumentada quando a maior parte das imagens tiver origem virtual (Milgram; Kishino, 1994).

Existem diversas formas de acrescentar ao mundo real elementos virtuais de forma interativa e em tempo real. Para mostrar corretamente os objetos virtuais acrescidos no campo de visão do usuário, um sistema de realidade aumentada deve conter basicamente tecnologias de captura de vídeo, de rastreamento (*tracking*) e de geração de imagem. Tori et al. (2006) resumiram em quatro itens os componentes básicos mais utilizados para o funcionamento desse tipo de sistema:

- a) Um objeto real com um identificador de referência, que permite a esse objeto o reconhecimento através de um software específico.
- b) Uma câmera de vídeo.
- c) Um software capaz de interpretar, através do sinal transmitido pela câmera, o identificador de referência, para estabelecer as coordenadas espaciais e a orientação dos objetos reais a partir de seu posicionamento.

- d) Um dispositivo de saída responsável por exibir a imagem gerada pelo software.

O conceito de realidade aumentada móvel (RAM) delimita a definição de Azuma no campo da tecnologia utilizada. Em RAM, a plataforma computacional e/ou a visualização ocorrem em um dispositivo móvel.

2.2.1 Plataformas de computação móvel

É notório que nos últimos anos houve um significativo progresso na miniaturização e na melhoria do desempenho das plataformas móveis. Com isso, as aplicações de RAM puderam levar o usuário à locais com espaço limitado, ou sem uma quantidade excessiva de equipamentos a campo.

Figura 4. Sistema em RAM com notebook



Fonte: Coelho (2004)

Os computadores portáteis ou notebooks eram normalmente utilizados nos primeiros projetos RAM (Kalkusch et al., 2002). Comparando com computadores de mesa, os computadores portáteis são possíveis de carregar de um lado a outro, sem a necessidade de cabos ligados ao fornecimento de energia. No entanto, tamanho e peso ainda é o obstáculo. Em algumas aplicações os computadores notebook são configurados como somente processamento de dados, assim, são necessários dispositivos de exibição adicionais, como exibições montadas na cabeça

(HMDs) para exibição. A figura 4 mostra a utilização de computadores portáteis e RAM.

Desde o primeiro protótipo do RAM no telefone celular, estes alcançaram um grande progresso em todos os aspectos, desde câmeras embutidas, sensores embutidos até poderosos processadores e hardware gráfico dedicado (Mohring et al., 2004). A câmera incorporada é suficiente para exibição de vídeo no visor para a visualização em RA. Sensores embutidos também facilitam o rastreamento de poses.

Muitas aplicações RAM (Júnior, 2015; Nascimento et al., 2013; Regina et al., 2017), foram construídas em telefones celulares. Os telefones celulares tornaram-se plataformas predominantes para os sistemas RAM devido à intrusão mínima, mobilidade e alta portabilidade. No entanto, apesar dos avanços rápidos em telefones celulares, plataformas de computação, seu desempenho para aplicativos em tempo real é limitado. A câmera incorporada tem limitações de atraso no fornecimento da imagem. O acelerômetro também apresenta distorções para se obter uma posição precisa. Os magnetômetros são propensos a serem distorcidos por fatores ambientais.

Figura 5. Sistemas RAM em celulares e tablets



Fonte: Dey et al. (2012)

Os tablets são muito parecidos com os celulares, porém possuem tamanho de tela maior que sete polegadas e bateria maior. Essas vantagens facilitam a exibição de conteúdo e operações interativas. Muitos sistemas RAM (Renevier et al., 2005; Vlahakis et al., 2002; Hespanhol, 2013) foram construídos em Tablet PCs. Por possuírem sistemas operacionais, câmeras e sensores similares, os tablets e celulares tendem a

compartilhar os mesmos aplicativos em RAM. Dey et al. (2012) apresenta um estudo comparativo entre tablets e celulares.

Os avanços em computação móvel e exibição de projeção levaram a RAM a um novo patamar. Os óculos de RA fornecem a experiência de deixar as mãos livres, eliminando a intrusão do equipamento nos levantamentos - funcionam de tal forma que os usuários não precisam olhar para os dispositivos móveis. Os óculos RA trabalham a interface do usuário para interagir com o mundo real, de forma análoga à maioria dos sistemas RAM. Atualmente, o Google Glass (Goose et al., 2002), apresentado na figura 6, ainda é o padrão para a pesquisa de aplicativos RAM, embora existam outros desenvolvimentos, como o MAD Gaze6, Microsoft HoloLens7, Epson Moverio BT-300FPV Drone Edition, Magic Leap Lightwear, Vuzix Blade AR, Meta 2 e Optinvent Ora-2 (Kleinman, 2018).

Figura 6. Google Glass sendo testado em fábrica de tratores



Fonte: Loeblein (2017)

O Google Glass é um dispositivo de RAM desenvolvido pelo Google. Ele exibe informações sobre a superfície do vidro diante dos olhos dos usuários e permite que os usuários controlem a interface com comandos de voz em linguagem natural. Suporta várias funções nativas de telefones celulares, como envio de mensagens, captura de fotos, gravação de vídeos, pesquisa de informações e navegação. Vídeos e imagens podem ser compartilhados com outras pessoas por meio do Google+.

2.2.2 Classificação dos sistemas de visualização

Uma das possíveis formas de classificação dos sistemas de realidade aumentada se dá por meio do tipo de visualização que proporciona

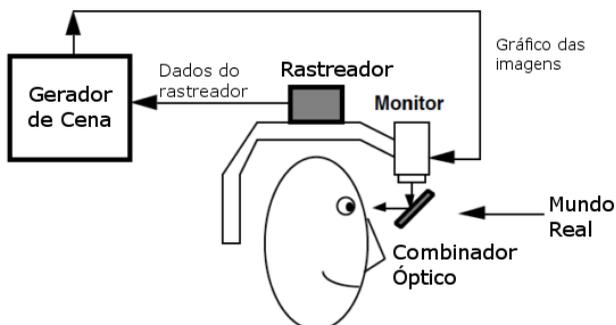
nam, dividindo as possibilidades em dois grupos (Mendes apud Tori, 2015):

- a) A Realidade Aumentada Direta ou Imersiva ocorre quando o usuário visualiza o ambiente real a olho nu ou através de vídeo, enquanto os objetos virtuais podem ser gerados nos olhos, misturados ao vídeo do mundo real ou projetados diretamente no cenário real. A Realidade Direta pode ser implantada com o uso de capacetes ópticos ou projeções de objetos virtuais no ambiente real, por exemplo.
- b) A Realidade Aumentada Indireta ou Não Imersiva, por sua vez, ocorre quando as imagens do mundo real e do mundo virtual são misturadas em vídeo e mostradas ao usuário através de um monitor ou projetor não alinhado com as posições reais dos objetos. Como exemplos de equipamentos possíveis para a obtenção desse tipo de Realidade Aumentada podem ser citados os monitores, as câmeras e os projetores.

Também, em realidade aumentada móvel, é possível classificar a partir da tecnologia dos dispositivos de exibição. Segundo Chatzopoulos et al. (2017), existem três tipos :

- a) Exibição através de sistema óptico (*Optical see-through display*) faz com que os conteúdos virtuais são projetados na interface para misturar opticamente com a cena real. Ela requer que a interface seja semitransparente e semi-reflexiva, de modo que as cenas reais e virtuais possam ser vistas. O rastreador frontal é usado para obter as posições e orientações dos usuários para o alinhamento de conteúdo. Ele permite que os usuários assistam ao mundo real com seu senso natural de visão sem distorção de cena. O maior problema é que este reduz a luminosidade. Além disso, é difícil distinguir conteúdos virtuais do mundo real quando o ambiente de segundo plano é muito claro.

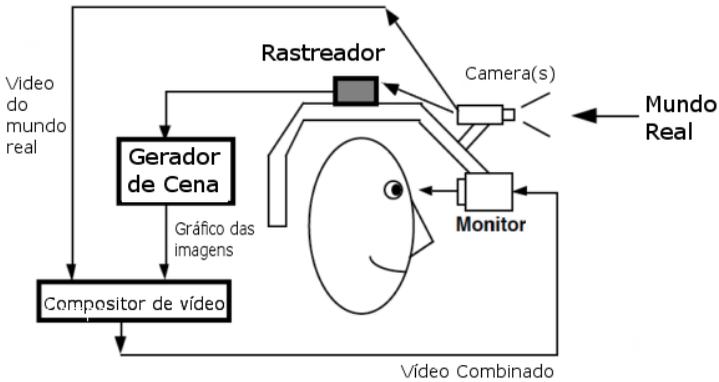
Figura 7. Exibição através de sistema óptico



Fonte: adaptado de Azuma (1997)

- b) Exibição através de sistema de vídeo (*Video See-Through*) possui duas modalidades de trabalho. Uma delas é usar dispositivos HMD para substituir os olhos do usuário por câmeras de vídeo montadas na cabeça para capturar a cena do mundo real. O vídeo capturado é mesclado com conteúdo gerado por computador e enviado para a tela do HMD para exibição. Um rastreador de cabeça é usado para obter a posição e orientação dos usuários. Este é semelhante ao visor óptico transparente. O outro modo funciona com a câmera e a tela em dispositivos portáteis. Ele usa as câmeras incorporadas para capturar vídeo ao vivo e misturar o vídeo com informações virtuais antes de exibi-las na tela. Este modo é predominante em aplicativos com dispositivos portáteis. O primeiro modo obtém melhor experiência de imersão ao custo de menos mobilidade e portabilidade. Em comparação com o sistema de exibição através de sistema óptico, os conteúdos misturados são menos afetados pelas condições do ambiente, mas apresentam problemas de latência e resolução de vídeo limitada.

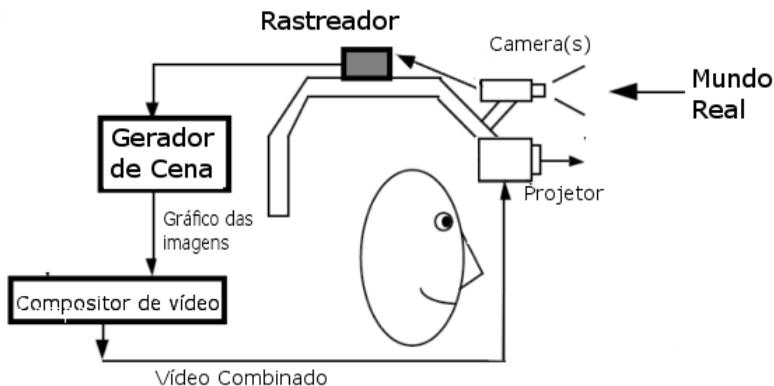
Figura 8. Exibição através de sistema de vídeo



Fonte: adaptado de Azuma (1997)

- c) Exibição através de projeção em superfície (*Surface Projection Display*): aqui os conteúdos virtuais são exibidos na superfície real do objeto, em vez de exibir conteúdo misto em uma interface específica. Qualquer superfície de objeto, como parede, papel e até mesmo palma humana, pode ser usada como interface para exibição. Tem muitas vantagens, incluindo auto-calibração, alto brilho e comprimento focal infinito. Como a informação virtual é projetada para qualquer superfície arbitrária, a exibição da projeção de superfície requer distorção de imagem adicional para combinar projetores reais e virtuais para alinhamento de conteúdo.

Figura 9. Exibição através de projeção



Fonte: adaptado de Azuma (1997)

2.2.3 Métodos de rastreamento

Rastreamento e registro é o processo para avaliar as informações atuais sobre as poses, de modo a alinhar o conteúdo virtual aos objetos físicos no mundo real. Existem dois tipos de rastreamento e registro: baseado em sensor e baseado em visão. Os métodos baseados em sensores empregam campos inerciais e eletromagnéticos, ultra-som e ondas de rádio, e calculam a informação da pose; os métodos baseados em visão estimam as informações de gestos a partir dos relacionamentos de correspondência pontual de marcadores e recursos de imagens ou vídeos capturados.

Segundo Amim (2007), os métodos de rastreamento baseado em sensores utilizam sensores presentes em alguns dispositivos como:

- a) Inercial: medem a aceleração e a velocidade angular e é utilizado nas aplicações de captura e análise de movimento. Conhecidos como acelerômetro e giroscópio.
- b) Magnético: possuem um contato produzido com material magnético – ferro, níquel e outros – e é acionado na presença de um campo magnético. Conhecido como magnetômetro.
- c) Eletromagnéticos: utilizam sinais eletromagnéticos para que, por meio de triangulação, estimem a posição. Os

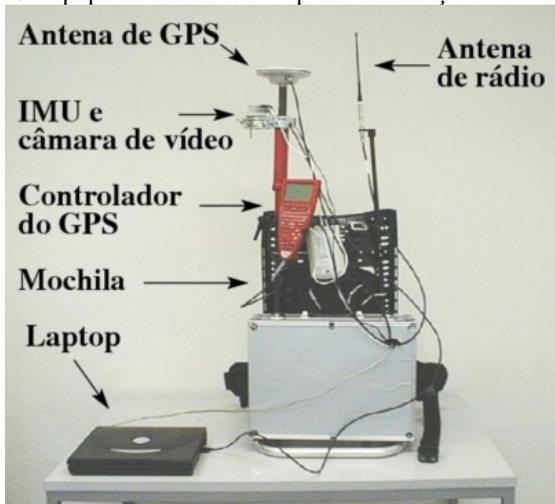
mais comuns são os GNSS (GPS, GLONAS, etc), redes Wi-fi, bluetooth, infravermelho , RFID e UWB.

- d) Ultrassônico: utilizam ondas sonoras de alta frequência e pode detectar a passagem de objetos e a presença de pessoas.

Neste método é necessário a calibração dos sensores e câmera para o correto posicionamento da visualização. Sua precisão está ligada diretamente aos dados fornecidos pelos sensores.

Para as aplicações em campo, é comum a utilização conjunta de mais de um sensor. O trabalho de Coelho e Bähr (2005) utilizam um sistema RAM através do uso de GPS RTK, sensores inerciais e magnéticos para a visualização de simulações de enchentes. A figura Figura 1044 demonstra o equipamento utilizado. Existem outros métodos, como balizas infravermelhas e sensores inerciais (Goose et al. , 2002), sensores UWB e inerciais (Kalkusch et al., 2002), infravermelho e RFID (Mantjarvi et al., 2006)e Wi-Fi e Bluetooth (Wang et al., 2011).

Figura 10. Equipamentos utilizados para visualização de simulação de cheias

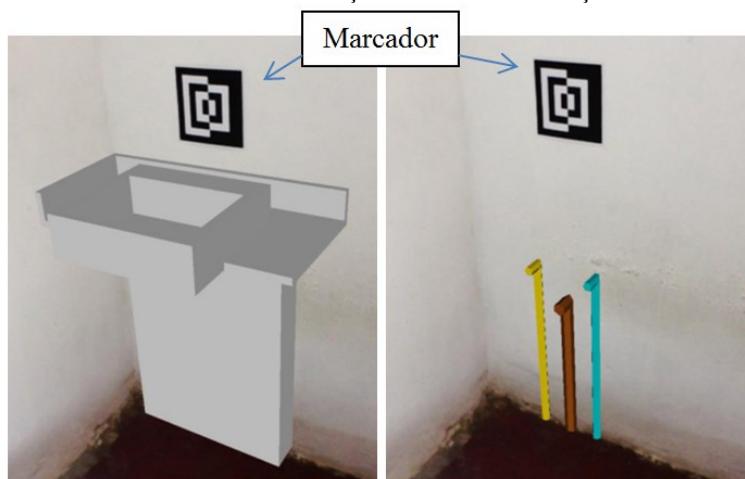


Fonte: Coelho (2004)

O rastreamento baseado em visão computacional usa correspondências de feições para estimar informações sobre pose. De acordo com os recursos rastreados, ele pode ser classificado em método baseado em marcadores e baseado em feições naturais.

O método baseado em marcadores utiliza marcas fiduciais. Uma marca fiducial possui geometria e propriedades, como padrões de forma, tamanho e cor, para serem facilmente identificáveis. O marcador fiducial, demonstrado na figura 11, é atribuído à sua precisão e robustez superiores na alteração das condições de iluminação. Várias bibliotecas disponíveis usaram o padrão planar para rastreamento, como ARToolkit, ARTag, ARToolKit-Plus e OpenTracker. Muitas aplicações RAM (Kirner et al., 2004; Regina et al., 2017; Assis, 2016; Rovadosky et al., 2012) usam essas bibliotecas para rastreamento. Siltanen (2012) demonstra a teoria do funcionamento dos sistemas RAM rastreado por marcadores.

Figura 11. Marcador fiducial e a visualização de lavatório/tubulação em RAM

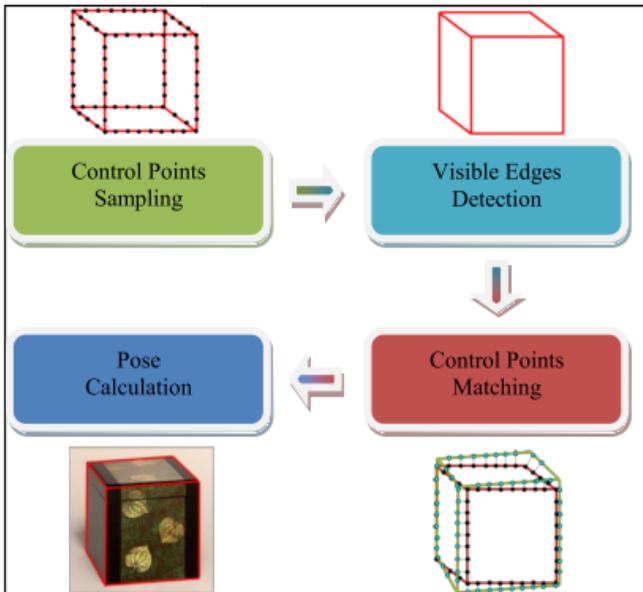


Fonte: Assis (2016)

Nos métodos baseados em modelo, um modelo tridimensional é utilizado para estimar a pose da câmera e escala (Lima et al., 2010). São divididos em dois: modelo definido por arestas e modelo definido por texturas.

Os rastreadores baseados em arestas constroem seus modelos com base em linhas ou arestas no modelo. As bordas são os recursos usados com mais frequência, pois são computacionalmente eficientes para encontrar e robustos às mudanças na iluminação. Uma abordagem popular é procurar gradientes fortes na imagem em torno de uma primeira estimativa da pose do objeto, sem extrair explicitamente os contornos. A figura 12 demonstra o fluxo do rastreamento baseado em arestas.

Figura 12. Fluxo de trabalho: rastreamento baseado em arestas

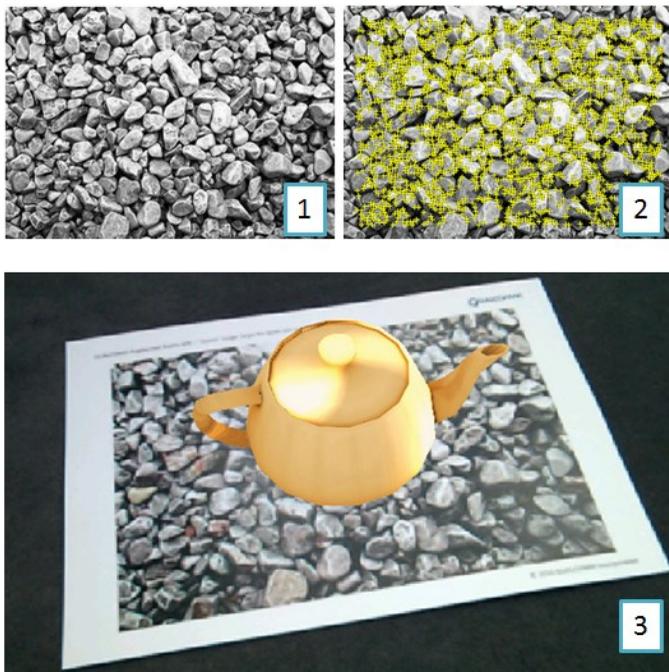


Fonte: Lima et al. (2010)

Comport et al. (2003) usam um modelo CAD criado manualmente e uma representação paramétrica por partes de objetos complexos, como linhas retas, esferas e cilindros. Bleser et al. (2006) apresentam uma abordagem de rastreamento baseado em modelo.

A textura é outro recurso útil para a construção de modelos. Reitmayr e Drummond (2006) apresentaram um sistema de rastreamento híbrido baseado em modelo 3D texturizado combinado com informações de borda, determinadas dinamicamente em tempo de execução através da detecção de bordas. Vacchetti et al. (2004) utilizam as informações de borda combinadas com pontos-chaves nas texturas das faces dos objetos, permitindo ao rastreador lidar com objetos texturizados e não-texturizados, e eram mais estáveis e menos propensos a desvios. Da mesma forma, Pressigout e Marchand (2007) propuseram um sistema híbrido de visão monocular baseado em modelos, combinando extração de borda e análise de textura para obter uma computação de pose mais robusta e precisa.

Figura 13. (1) a imagem original. (2) a delimitação dos pontos-chaves. (3) o modelo tridimensional aumentado sob textura.



Fonte: Vuforia (2018)

Os métodos de rastreamento por detecção baseados em textura são conhecidos como baseados em pontos-chave (Skrypnyk; Lowe, 2004). Pontos-chave são invariantes a escala, ponto de vista e mudanças de iluminação. Eles são extraídos da imagem do objeto a cada quadro, provendo as correspondências 2D-3D necessárias para a estimação da pose. Simões (2011) demonstra o desempenho e robustez dos sistemas RAM baseados em texturas.

O método de reconhecimento de ambiente rastreia características de pontos e regiões em sequências de imagens para calcular relações correspondentes para estimar a posição em formação. O método não requer informações prévias do ambiente. O rastreamento quadro a quadro ajuda a remover incompatibilidades e erros de desvio que a maioria dos métodos baseados em sensores sofre. No entanto, sofre de deficiências de distorção de imagem, variação de iluminação e oclusão (Neumann; You, 1999). Além disso, o registro adicional da sequência de imagens com o mundo real é necessário para obter resultados finais. O

principal problema do método é refere-se a sobrecarga computacional, o que é especialmente severo para aplicativos RAM com requisitos de desempenho em tempo real em dispositivos móveis. Muitas pesquisas focaram na melhoria de desempenho de diferentes aspectos, como aceleração de GPU, terceirização de computação e melhoria de algoritmo.

Exemplos deste método são SFM (Nister, 2003) e o SLAM (Siciliano; Khatib, 2008). Métodos baseados em SFM também são capazes de recuperar a estrutura da cena em tempo real, com diferentes níveis de detalhe, dependendo da abordagem usada. Em SLAM, o principal foco é na localização precisa, sem recuperar a estrutura da cena.

Com as técnicas baseadas em SFM é possível reconstruir um ambiente totalmente desconhecido quando necessário. Como desvantagem, abordagens baseadas em SFM são bastante complexas. Elas também possuem restrições com relação à densidade da malha de pontos 3D reconstruídos devido ao fato de rodarem em tempo real. As técnicas de SFM e SLAM podem ser vistas como complementares, pois o SLAM provê uma localização mais precisa, enquanto que o SFM reconstrói a cena, tornando possível lidar com oclusões de objetos virtuais por elementos reais, por exemplo.

O SFM é uma técnica clássica usada em visão computacional para realizar reconstrução 3D. Sua implementação tradicional segue uma sequência que não se preocupa com restrições de tempo real. Usualmente, o SFM é composto das seguintes fases: rastreamento de características, geração de hipóteses de câmera, autocalibração, triangulação, estimação de mapas de profundidade e geração do modelo 3D da superfície e do modelo 3D texturizado. O SFM produz ótimos resultados relativo à malha final gerada, mas alguns algoritmos requerem certo tempo de processamento para concluir seu trabalho, sendo assim inadequados para aplicações em tempo real. Para poder trabalhar de forma eficaz, o SFM necessita de algumas modificações com o intuito de remover alguns gargalos e acelerar o processo como um todo, permitindo a reconstrução 3D em tempo real. O SFM em tempo real elimina e/ou substitui algumas fases do SFM original de forma a suportar restrições de tempo real ao mesmo tempo em que mantém a robustez da técnica (JOÃO et al., 2010 apud Niestér, 2005). A fotogrametria de eixos convergentes utiliza a técnica SFM, que será vista no capítulo 2.3.1.3.

O SLAM, por sua vez, é uma abordagem bem definida e muito utilizada na comunidade de robótica para construir uma representação do ambiente em tempo real e estimar o movimento dos dispositivos. O SLAM usa métodos modernos de inferência bayesiana e normalmente utiliza sensores tais como escâneres a laser e sonares. Já o SLAM mo-

nocular se baseia na metodologia probabilística do SLAM, porém usando como sensor uma única câmera que se movimenta livremente. Nas técnicas de SLAM monocular, as imagens da câmera são processadas por um arcabouço probabilístico que constrói um mapa esparsos de marcos 3D relativo ao ambiente real (Klein; Murray, 2007). Este mapa auxilia no cálculo preciso da pose da câmera durante a sequência de quadros. Zhou e Zhang (2014) apresentam a combinação das técnicas SLAM e SFM.

Cada método individual tem suas vantagens e limitações. Uma solução é superar as limitações inerentes do método individual, combinando diferentes métodos juntos. Por exemplo, os sensores inerciais não são rápidos e robustos sob movimento rápido drástico. Podemos acoplá-lo com rastreamento baseado em visão para fornecer antecedentes precisos em movimentos rápidos.

Behringer et al. (2002) propuseram um algoritmo de rastreamento híbrido para estimar o vetor de movimento 3D ideal a partir dos deslocamentos dos recursos de imagem 2D. O método híbrido empregou GPS e bússola digital para obter uma posição inicial aproximada e orientação. Um rastreamento de visão calculou a posição da câmera prevendo novos recursos na projeção em perspectiva de modelos ambientais. Obteve uma precisão de rastreamento visual de 0,5 graus e foi capaz de trabalhar sob um movimento de rotação máxima de 40 graus por segundo.

Jiang et al. (2004) usaram o giroscópio para prever a orientação e as posições da linha de imagem. O desvio foi compensado por um método de rastreamento de visão baseado em linha. Um sistema de controle heurístico foi integrado para garantir a robustez do sistema reduzindo o erro de re-projeção para menos de 5 pixels após uma operação de longa data.

Hu e Uchimura (2006) desenvolveu um algoritmo de correspondência para fundir dados do GPS, giroscópio inercial 3D e rastreamento de visão. O sensor inercial foi usado para avaliar o movimento inicial e estabilizar a saída da pose. O método teve resultados precisos e robustos.

Wagner et al. (2008) combinaram o rastreamento da visão com o giroscópio para obter resultados precisos em tempo real. Rastreador de visão foi usado para localização e giroscópio para movimento rápido. Um filtro de Kalman (Kalman, 1960) foi usado para fundir ambas as medidas.

Rastreamento híbrido requer fusão dos resultados de diferentes fontes. Qual método usar depende da precisão e granularidade necessárias para um cenário de aplicativo específico.

2.2.4 Oclusão

Quando objetos reais e virtuais coexistem em uma cena, objetos virtuais às vezes ficam ocultos atrás de objetos reais, e objetos reais podem ser obscurecidos por objetos virtuais.

No contexto de RAM por vídeo, qualquer coisa processada pelo computador aparecerá por padrão na frente da imagem do vídeo; oclusões de objetos reais por virtuais não são, portanto, um problema. No entanto, para objetos reais esconderem os virtuais, os virtuais não devem ser desenhados. Isso pode ser conseguido de várias maneiras (Klein, 2006).

Figura 14. Oclusão desabilitada e habilitada



Fonte: Behzadan et al. (2015)

As abordagens iniciais para lidar com a oclusão de objetos reais e virtuais incluem as de Wloka e Anderson (1995) e Breen et al. (1996). Ambos investigam o uso de câmeras estéreo para estimar um mapa de profundidade dos objetos reais na visão do usuário e usam esse mapa de profundidade para lidar com a oclusão de elementos visuais aumentados. Kanbara et al. (2001) difere dos métodos anteriores de profundidade de estereo calculando a profundidade estereoa somente nas caixas delimitadoras dos objetos virtuais a serem renderizados.

Coelho (2004) utilizou dados LIDAR e CAD tridimensionais para eliminar edifícios e objetos indesejáveis a cena. Behzadan et al. (2015)

utiliza uma câmera RGBD para estimar a profundidade dos objetos reais e eliminá-los quando necessário.

Berger (1997) não estima explicitamente a profundidade e não utiliza modelos 3D de geometria de oclusão real. Em vez disso, uma estimativa das regiões de oclusão é construída seguindo os contornos 2D encontrados na imagem. Ao observar o movimento desses contornos ao longo do tempo, eles podem ser rotulados como "em contato" ou "por trás" de elementos individuais de imagens virtuais.

2.2.5 Bibliotecas de realidade aumentada móvel

Existem diversas ferramentas que propõem o uso de realidade aumentada para dispositivos móveis. Amin e Govilkar (2015) apresentam as avaliações de algumas principais bibliotecas que compõem a fundamentação teórica da pesquisa realizada no presente trabalho. Os softwares estudados foram Wikitude, Vuforia, Metaio, Artoolkit e D'Fusion. Metaio foi comprado pela Apple em 2014 e deixou de existir. Novas ferramentas surgem: o Arcore, da Google (Grut, 2017) e o ARKit da Apple (Sudarshan, 2017).

Este trabalho dará ênfase aos SDKs Vuforia e Wikitude, sendo que, suas principais diferenças entre os demais são:

- a) Possuir ambiente de desenvolvimento visual
- b) Possuir ferramentas de importação de diferentes formatos de arquivos
- c) Podem-se utilizar diferentes formas de rastreamento
- d) Geram arquivo executável para os sistemas operacionais mais utilizados no mercado

2.2.5.1 Wikitude

O Wikitude inclui reconhecimento e rastreamento de imagens, oferece suporte à renderização de modelos 3D com sobreposição de vídeo e fornece AR baseada em localização. O Wikitude SDK combina capacidades de reconhecimento de imagem e geolocalização para fornecer rastreamento híbrido e é baseado em tecnologias web (HTML, JavaScript e CSS) que permitem escrever experiências de realidade aumentada em várias plataformas. O Wikitude SDK pode ser integrado a aplicativos adicionando o componente de visualização específico da plataforma chamado ARchitectView à interface do usuário do aplicativo.

O Wikitude SDK é uma solução comercial, mas também está disponível como uma versão de teste com algumas limitações, como o logotipo do Wikitude na visualização de câmeras. O SDK da Wikitude está atualmente disponível para a plataforma Android e iOS.

O Wikitude também fornece ao Wikitude studio, o que facilita o processo de desenvolvimento, onde nenhuma habilidade de programação é necessária e o aplicativo pode ser criado simplesmente arrastando o objeto na tela do estúdio.

2.2.5.2 Vuforia

A plataforma Vuforia usa uma técnica estável e eficiente, baseada em visão computacional, e fornece vários recursos, permitindo a capacidade de aplicativos móveis e libera os desenvolvedores de limitações técnicas. A plataforma Vuforia consiste em diferentes componentes, como o *Target Management System*, disponível no portal do desenvolvedor (*Target Manager*), no *Cloud Target Database* e no *Device Target Database* e no framework Vuforia. Um desenvolvedor simplesmente carrega a imagem de entrada para o alvo que ele quer rastrear.

Os recursos de destino são acessados pelo aplicativo móvel por meio do link da nuvem ou diretamente do armazenamento local do aplicativo móvel. Um aplicativo RAM baseado em SDK do Vuforia consiste em uma câmera que captura o quadro e transmite o conteúdo para o rastreador.

O SDK oferece suporte ao desenvolvimento nativo para iOS e Android, além de ativar o desenvolvimento de aplicativos RAM em Unity que são facilmente portáveis para ambas as plataformas. O SDK Vuforia suporta diferentes tipos de alvos, tanto 2D quanto 3D, incluindo multi-alvo configurações, alvos de cilindros para rastrear imagens em uma superfície cilíndrica, marcador texturizado e reconhecimento de nuvem para rastrear 1 milhão de alvos simultaneamente.

O SDK fornece recursos como detecções de oclusão localizadas usando botões virtuais, alvo de imagem seleção em tempo real e tem capacidade de reconfigurar e criar conjuntos de cenário. Ele também suporta o destino de texto para reconhecer e rastrear palavras.

Algumas funcionalidades:

- Fornecer detecção local mais rápida de alvos com capacidade de rastrear 100 alvos simultaneamente.
- Rastreamento eficiente em condições de pouca luz e mesmo que o alvo seja coberto parcialmente.

- Recursos de rastreamento de ambiente, que permitem que o aplicativo continue rastreando alvos e ajuda manter uma referência consistente para aumentos de objetos, mesmo quando os alvos não são mais visíveis na visualização da câmera em tempo real.

2.2.6 RAM e a gestão da infraestrutura urbana

A RAM é uma ferramenta que traz melhores práticas atuais de visualização de projeto, processos de design, processos de construção civil e sistemas de gerenciamento de infraestrutura. A gestão da infraestrutura urbana envolve a geração de grandes quantidades de dados e informações que devem ser acessados por muitas pessoas e em vários locais.

As principais questões no campo da gestão da infraestrutura urbana que a RAM pode solucionar são relacionadas a falta de informação precisa para os operadores de campo, lacunas entre soluções planejadas e implementações práticas e comunicação deficiente entre os participantes de projetos (Chi et al., 2013). Neste sentido, vários estudos em RAM foram desenvolvidos.

Golparvar-Fard et al. (2009) apresentam um sistema RAM para o monitoramento, acompanhamento do cronograma e elaboração de as-built de obras, integrado com um sistema BIM.

Figura 15. Sistema RAM para acompanhamento de obras de engenharia.



Fonte: Golparvar-Fard et al. (2009)

Shen e Jiang (2012) utilizam RAM para a visualização de equipamentos e tubulações hidráulicas dentro de edificações, através do uso de telefones celulares. O banco de dados das informações tridimensionais são disponibilizadas on-line.

Para os gestores a aplicação da RAM vem a aumentar a produtividade, segurança e eficiência nos processos. Para isto, necessita-se do

conhecimento prévio do ambiente a ser trabalhado, dos dispositivos computacionais a serem utilizados e do desenvolvimento da aplicação.

2.3 A FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Fotogrametria, segundo Loch e Lapolli (1994), é a ciência e tecnologia de obter informações através de processos de registro, interpretação e medições de imagens fotográficas. Tem como objetivo a reconstrução do espaço tridimensional (espaço objeto), a partir de imagens bidimensionais.

A aplicação da fotogrametria é dividida em dois tipos, a terrestre, fotografias tomadas a partir da superfície terrestre, e a aérea, também chamada de aerofotogrametria, quando câmaras são montadas em aeronaves ou espaçonaves e tiradas a partir de voos sobre a área de registro.

Em fotogrametria digital, diferente da fotogrametria analógica e analítica, os dados de entrada (fotografias), o processamento e as informações geradas são todos em processo digital. A fotogrametria digital tem como objetivo principal a reconstrução automática do espaço tridimensional a partir de imagens bidimensionais (Brito; Coelho Filho, 2007).

A fotogrametria como método de medição, tem uma série de vantagens sobre as técnicas de levantamento topográfico (Loch; Lapolli, 1994), a saber:

- a) o objeto não é tocado durante a medição;
- b) os fotogramas armazenam grandes quantidades de informações semânticas e geométricas;
- c) as fotografias são documentos legais, refletindo a época de sua obtenção;
- d) podem ser medidos movimentos e deformações (avaliação temporal);
- e) os fotogramas podem ser avaliados a qualquer momento, podendo a medição ser repetida várias vezes;
- f) superfícies complicadas e movimentos podem ser determinados;

Segundo Luhmann et al. (2006), as principais etapas de um levantamento fotogramétrico podem ser resumidas em:

- i. registro – em que são obtidas informações sobre o objeto como determinação de pontos de controle para definição do sistema de coordenadas do objeto, dimensões de referência e a captura fotográfica;

- ii. orientação – nessa etapa, é feito o ajuste dos feixes de raios perspectivos (*bundle adjustment*) que determinará os parâmetros de orientação como também, a correlação dos pontos de controle (obtidos na etapa de campo) com os pontos da imagem; e
- iii. restituição – a partir da orientação, é possível a obtenção de informações gráficas ou geométricas sobre o objeto fotografado, uma vez que o sistema bidimensional foi transformado no sistema tridimensional que representa o espaço-objeto.

Por conveniência, será apresentado inicialmente os modelos de restituição, orientação e registro.

2.3.1 Modelos de restituição fotogramétrica

A restituição fotogramétrica é a reconstrução geométrica (tridimensional ou bidimensional) de um objeto, a partir das suas fotografias. Existem três métodos de se restituir um objeto: por monoscopia, por estereoscopia e por fotogrametria de eixos convergentes.

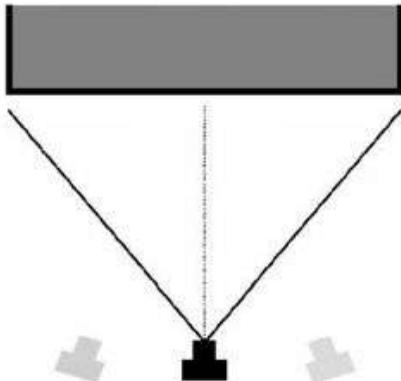
2.3.1.1 Monorrestituição

A monorrestituição pressupõe a solução do problema em uma única fotografia, sendo necessárias informações sobre aspectos geométricos do objeto. A figura 16 demonstra o posicionamento da câmara na monorrestituição. Em preto, o eixo ótico da câmara está perpendicular ao objeto e, em cinza, ele está oblíquo.

Segundo Groetelaars e Amorim (2004), em uma fotografia, um ponto (x,y) pode corresponder a uma infinidade de pontos (X, Y, Z) no espaço objeto. Assim, teoricamente não seria possível a resolução do problema fotogramétrico com uma única imagem, representando o espaço objeto e relacionada a este, através dos parâmetros de orientação. Porém, se estiverem disponíveis algumas informações sobre a forma do objeto, como paralelismo e perpendicularidade de suas arestas ou identificação dos eixos X, Y e Z , é possível reconstruir a posição da câmara no momento da tomada fotográfica e restituir o objeto fotografado. Para a determinação da escala do modelo, é necessário o conhecimento de, pelo menos, uma dimensão do objeto. Assim, podemos utilizar da monorrestituição nos seguintes casos:

- a) objetos planos, que apresentam suas extremidades com formas conhecidas, como arestas paralelas e perpendiculares;
- b) objetos planos com formas irregulares, onde são conhecidas pelo menos duas dimensões nas direções horizontal e vertical ou as coordenadas de quatro vértices;
- c) objetos que apresentam diversos planos com características geométricas bem definidas, onde é possível a identificação dos eixos X, Y e Z.

Figura 16. Posicionamento da câmara na monorrestituição



Fonte: Groetelaars; Amorim (2004)

Basicamente em monorrestituição trabalha-se definindo na imagem de origem o plano escolhido, transformando este plano em uma projeção ortogonal (imagem retificada). A partir destes planos podemos extrair as informações - como vetorizar os detalhes de interesse.

Figura 17. Fotografia original e imagem com a fachada retificada



Fonte: Yanaga (2006)

A monorrestituição possibilita aplicações limitadas, pois há restrições quanto à forma dos objetos e ao tipo dos resultados obtidos, uma

vez que só poderão ser restituídas as partes visíveis na fotografia. No entanto, é uma técnica que apresenta baixo custo e rapidez na obtenção dos produtos, sendo muito interessante para a restituição de monumentos históricos que não mais existem quando se dispõe de apenas uma fotografia.

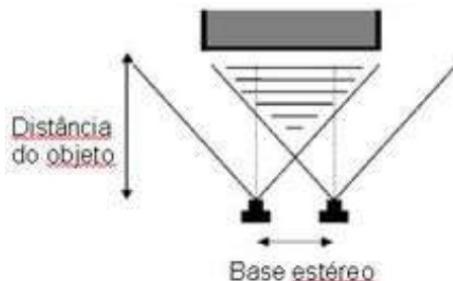
A precisão dos produtos obtidos pela monorrestituição depende da escala da foto, da inclinação da fotografia com relação à perpendicular ao eixo ótico da câmara e, principalmente, ao grau de conformidade das informações com a forma real do objeto fotografado.

2.3.1.2 Estereorrestituição

O método de estereorrestituição baseia-se na utilização simultânea de duas fotografias de um mesmo objeto (chamado de estereopar), obtidas com centros de perspectiva diferentes, de forma que as direções dos eixos óticos da câmara nos dois posicionamentos sejam paralelas entre si (ou próximas a isso) e perpendiculares ao plano do objeto. Essa condição, chamada caso normal, é similar à visão humana e garante a visualização estereoscópica (3D) do objeto (quando as fotografias estão devidamente combinadas), efeito este que é usado na restituição do objeto fotografado.

A estereorrestituição foi, e ainda é, um dos métodos fotogramétricos mais utilizados em aerolevantamentos e levantamentos urbanos e arquitetônicos, por apresentar elevada precisão e permitir o levantamento de qualquer tipo de objeto, sem restrições quanto à forma geométrica, como na monorrestituição (Groetelaars; Amorim, 2004).

Figura 18. Levantamento estereoscópico



Fonte: Groetelaars; Amorim (2004)

Na estereorrestituição, cada ponto do espaço objeto é determinado a partir da identificação de seus dois pontos homólogos sobre as partes

superpostas das fotografias. Para a identificação dos pontos homólogos nas fotografias, é necessário que as fotografias sejam tomadas de tal forma, que haja uma área de superposição das imagens. Geralmente os valores de superposição são 60% na horizontal e 30% na vertical (Brito; Coelho Filho, 2007)

A estereofotogrametria pode e deve ser usada no levantamento de superfícies não planas e permite a representação em plantas, cortes ou elevações através de isolinhas isométricas ou curvas de isovalor. A equidistância entre as curvas é determinada com base no relevo do objeto, na escala do levantamento e na precisão requerida.

A estereorestituição digital é realizada por programas específicos em ambiente computacional juntamente com alguns dispositivos de visão estereoscópica, como óculos, monitores especiais e dispositivos de medição estereoscópica. É uma técnica que apresenta elevada precisão, no entanto, requerente de alguns cuidados especiais na tomada fotográfica. Utiliza geralmente câmaras métricas ou semi-métricas e necessita de alguns equipamentos específicos para a visão estereoscópica. Para utilização desta técnica, o Laboratório de Fotogrametria da Universidade Federal de Santa Catarina possui o Kit Image Station SSK .

Figura 19. Kit Image Station SSK



Fonte: Altrock (2004)

2.3.1.3 Baseado em eixos convergentes

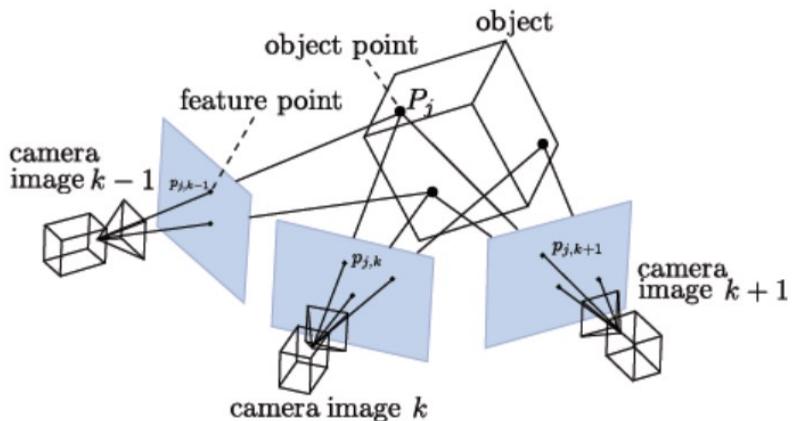
Nesta técnica, os objetos são fotografados em diversas posições, onde cada parte do objeto deve ser fotografada mais de uma vez, de

preferência mais de três vezes. A partir da identificação dos pontos comum do objeto é possível realizar as interseções para a restituição do objeto. A técnica se baseia em SFM, e pode se definir os pontos homólogos manualmente ou com um sistema automático de reconhecimento de pontos.

Segundo Kraus (2004), em fotogrametria de eixos convergentes, em vez de termos um modelo estereofotogramétrico, nós temos um grupo de raios ou direções interceptando-se. Uma fotografia grava simultaneamente um conjunto de direções espaciais de todos os pontos visíveis do objeto. Este conjunto de direções pode ser convertido para o meio digital por medições nas fotografias. As medições são mono-oculares e, portanto, os pontos no objeto devem estar sinalizados, ou pelo menos constituírem-se de detalhes que sejam facilmente identificáveis e mensuráveis de forma acurada em fotografias individuais.

Os conjuntos de raios das fotografias individuais são amarradas entre si por pontos chamados de pontos homólogos. As estações de tomadas das fotografias não precisam ser fixas, isto é, possuem posições livres e até mesmo pode ser dispensável o uso de tripés, de forma que a orientação externa do conjunto de raios seja a priori desconhecida. Os pontos no objeto devem aparecer em no mínimo duas fotografias e os raios não devem se interceptar formando ângulos estreitos.

Figura 20. Princípio da fotogrametria de eixos convergentes



Fonte: OpenMVG (2017)

A posição no espaço determinada para os pontos do objeto é obtida então por um ajustamento de blocos utilizando-se mínimos quadra-

dos. As variáveis desconhecidas no ajustamento são os seis elementos de orientação externa em cada fotografia e as três coordenadas de cada ponto novo.

De acordo com Atkinson (1996), o método de ajustamento por mínimos quadrados torna possível explorar completamente o potencial para acurácia em sistemas de restituição fotogramétrica. Este método tem evoluído à condição de uma técnica padrão na fotogrametria à curta distância para medição precisa de coordenadas, rastreamento e extração de propriedades com o relacionamento das imagens objetivando modelar o objeto. É praticamente indispensável como uma ferramenta básica em qualquer sistema digital de fotogrametria à curta distância.

2.3.2 Calibração de câmera

Os parâmetros resultantes do processo de calibração descrevem a geometria interna de uma câmara incluindo a modelagem das distorções provocadas pelas imperfeições no sistema de lentes, as quais podem comprometer a precisão dos processos fotogramétricos. Para o caso das câmaras digitais, o conjunto de parâmetros de orientação interior a ser considerado na calibração destes equipamentos compreende (i) distância focal gaussiana equivalente da câmara (ii) coordenadas do ponto principal (iii) parâmetros de distorção radial simétrica (iv) parâmetros de distorção descentrada (v) Coeficientes de afinidade. Galo et al. (2011) apresentam diversos métodos de calibração de câmeras.

Alguns softwares possuem métodos próprios de calibração. O Agisoft Photoscan e o Photomodeler possuem uma prancha de calibração, onde, tomadas as fotos de ângulos distintos e processando-as podem-se obter os parâmetros de calibração.

2.3.3 Pontos de controle

Para se estabelecer uma relação métrica ao levantamento fotogramétrico, há de se definir, em campo e nas imagens, pontos de controle (ou apoio). Os pontos devem ter suas coordenadas conhecidas e serem facilmente identificáveis nas imagens.

Em estereoscopia, o espaçamento entre os pontos de controle devem ser três a cinco bases, no sentido longitudinal do bloco, e de duas bases, no sentido transversal. O termo base é considerado valor da distância, no sistema do espaço-objeto, entre os centros de perspectiva de duas exposições sucessivas, ao longo da mesma faixa de tomada de fotos.

Em monorrestituição, um plano pode ser representado por 4 pontos, como visto anteriormente. Portanto, o número de pontos de controle depende de quantos planos se quer obter da imagem.

No método baseado em eixos convergentes, teoricamente, com três pontos é suficiente para se estabelecer a relação métrica, porém, segundo GEODRONES (2017), um número bom seriam dez, bem distribuídos na região a ser levantada.

2.3.4 Plano de tomadas de imagens

O levantamento métrico utilizando técnicas fotogramétricas segue recomendações que servem como guias para o processo. Este conjunto de regras denominado de “regras 3x3 da fotogrametria” foi proposto por Herbig e Waldhäusl (1996). Embora se referissem a estereofotogrametria, podem ser aplicados a qualquer técnica fotogramétrica, simplificando o processo de aquisição de imagens até mesmo dispensando o uso de instrumentos topográficos (Almagro, 2013)

Nesta matriz são definidas três regras geométricas, três regras correspondentes à câmera e três regras de procedimentos. Para cada uma das regras, são descritos procedimentos a serem considerados, conforme sintetizado a seguir:

Regras geométricas:

- controle - medir grandes distâncias entre pontos bem definidos; definir no mínimo duas medidas de controle - uma medida vertical e uma horizontal em cada fachada da edificação; quando necessário estabelecer uma rede de pontos de controle (coordenadas tridimensionais);
- cobertura fotográfica – capturar as fotografias com uma sobreposição mínima de 50% e se possível a meia altura do edifício; incluir o entorno e se possível a cobertura; adicionar uma fotografia ortogonal das fachadas para uma visão global e eventual utilização na retificação; e
- cobertura fotográfica dos detalhes – garantir a distância da câmera e o objeto na razão de 1:4/1:5 a 1:15 (fotografias paralelas) e 1:10 e 1:15 (fotografias convergentes); incluir fotografias frontais.

Regras a respeito da câmera:

- propriedades – utilizar, sempre que possível, objetiva com distância focal fixa; fixar a distância focal no infinito ou a meia distância; desligar a função autofocus; consi-

derar como documentos originais os arquivos no formato RAW;

- calibração – utilizar a melhor qualidade; a maior resolução e a maior dimensão de sensor possíveis; utilizar, preferencialmente, lentes grande angulares evitando o uso de lentes olho de peixe; câmeras calibradas (ou métricas) são melhores do que câmeras não-métricas; é necessária uma calibração para cada conjunto de câmera e objetiva;
- exposição da imagem – evitar zonas com sombras; utilizar o tripé como forma de controle; e utilizar formatos de arquivos com baixa compressão no caso de câmeras digitais.

Regras de procedimentos:

- registro – executar croquis e esquemas apropriados para registrar a planta geral; o posicionamento das estações na tomada fotográfica; e registrar pontos de controle e distâncias;
- registro de metadados – incluir dados do local (nome, localização e georeferência); dados climáticos; e dados da câmera, se possível, com relatório de calibração e descrição do sítio; e
- arquivo – deve ser completo, estável, seguro e acessível.

2.3.5 Produtos fotogramétricos

Nesta Seção serão discutidos os principais produtos obtidos a partir dos levantamentos fotogramétricos.

2.3.5.1 Nuvem de pontos

O modelo de “nuvem de pontos” pode ser obtido a partir da captura através de sistemas de varredura a laser ou através da fotogrametria digital utilizando a técnica de Dense Stereo Matching (DSM).

O modelo de “nuvem de pontos” é o nível mais básico de visualização de dados obtidos a partir da captura por sistemas de varredura a laser, como também, ser gerado a partir da fotogrametria digital utilizando a técnica de DSM.

Nos modelos de nuvem de pontos as superfícies do objeto são representadas por meio de uma quantidade de pontos, sem nenhum tipo de relação topológica entre si, em que cada ponto da nuvem é descrito por

suas coordenadas cartesianas (x , y , e z) e um ou mais atributos associados a estes pontos.

Segundo Groetelaars e Amorim (2004) a nuvem de pontos pode corresponder aos componentes RGB normalmente expressos através de uma escala de 8 bits (0 a 255), como também a outros atributos como refletância do material, a temperatura, a distância do ponto a um dado referencial ou a outras propriedades de interesse, sendo mostradas em “falsa cor”.

Existe um vasto campo de aplicações possíveis que utilizam esse recurso, como: animações; aplicações industriais (controle de qualidade e medições); simulações em criminalística; e visualização tridimensional. Para a maior parte das aplicações é necessário que a nuvem seja convertida, através de modelagem apropriada, em modelos de superfície.

Para Mateus (2012), o modelo de superfície mais comum obtido partir de nuvem de pontos é um arranjo espacial de polígonos adjacentes, denominado de malha (mesh), em que esses polígonos são as faces da malha. Quando os polígonos são regulares, a malha é denominada de rede (grid); já para o caso de triângulos distribuídos de modo irregular a malha é chamada de Triangular Irregular Network (TIN). A construção da malha é feita por meio de algoritmos matemáticos de interpolação que permitem definir seus vértices e suas faces. A geração dos modelos pode ser realizada com maior ou menor grau de automação a depender da ferramenta utilizada.

Para Remondino (2003), a conversão da nuvem de pontos em uma superfície é realizada a partir de quatro etapas: o pré-processamento, em que são eliminados pontos indesejáveis, reduzidos os ruídos e preenchidos os vazios; a segunda etapa consiste na determinação da topologia dos objetos da superfície, agrupando-os de acordo com suas relações de vizinhança; na terceira fase é realizada a geração da superfície por meio da criação de uma malha triangular ou tetraédrica que satisfaça os padrões de precisão requeridos; a última etapa consiste nas operações de pós-processamento onde é feito o refinamento da malha (correção de vértices, inserção de triângulos, edição de polígonos, etc.).

As nuvens de pontos devem ser tratadas antes da geração dos modelos. Essas operações visam eliminar pontos indesejados e remover ruídos, melhorando a qualidade do modelo. Para Van Genchten (2008), o primeiro passo é a remoção de ruídos, seguido da reamostragem (redução do número de pontos da nuvem), onde pontos que representam áreas mais planas e homogêneas são retirados sem que se percam as

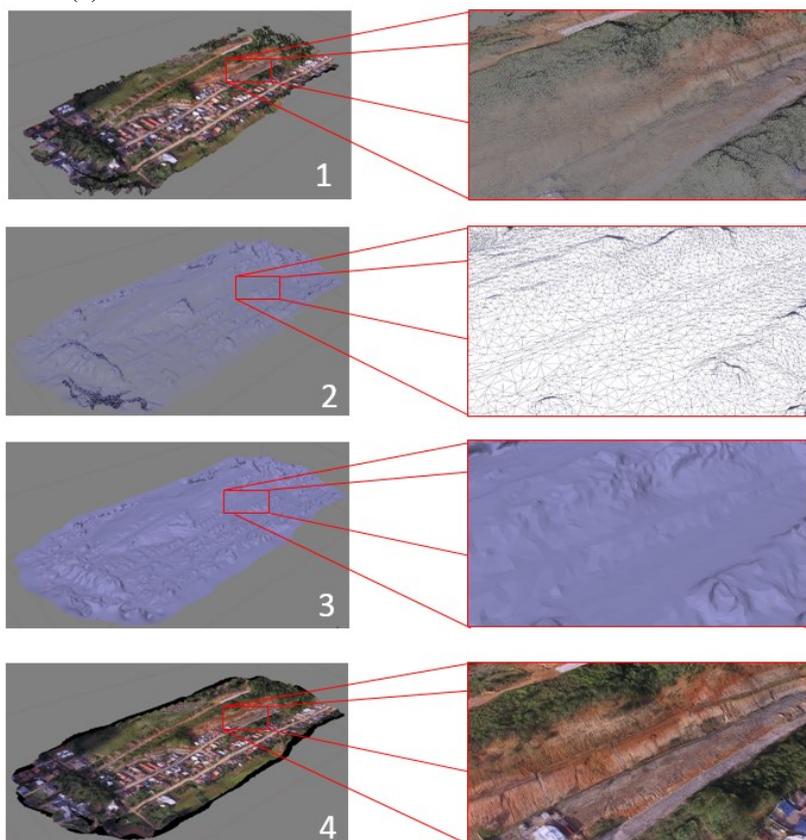
características do objeto. A partir desse ponto já possível passar para a fase de processamento.

Nesta fase, a primeira etapa é a triangulação, mais comumente realizada por meio de algoritmos de Delaunay (PITERI et al., 2007), em que os pontos são ligados formando triângulos ou quadriláteros; a segunda parte do processamento, realizada por algoritmos de interpolação, resolve o problema dos vazios gerados devido à falta de dados causada pelas oclusões existentes na fase de aquisição/geração da nuvem. Embora na fase de pré-processamento o número de pontos tenha sido reduzido, é necessária uma segunda etapa conhecida como decimação, para otimização da malha objetivando diminuir a quantidade de triângulos gerados e reduzir o tamanho do arquivo sem que se perca o nível de detalhe. Outras formas de otimizar a malha é por meio de aproximação, utilizando-se superfícies do tipo *Non Uniform Rational Basis Spline* (NURBS), que podem ser manipuladas a partir de pontos de controle (Van Genchten, 2008)

2.3.5.2 Modelo de arestas

Os modelos de arestas (wireframe) são definidos por arestas que se conectam por meio de vértices. Segundo Weiler (1986), foi uma das primeiras técnicas desenvolvidas para modelagem, derivada dos primeiros sistemas de desenho auxiliado por computador (CAD). Esses modelos descrevem o objeto de forma precisa e simples, mas sua representação é ambígua e requer interpretação, uma vez que não é possível determinar quais arestas pertencem às faces frontais ou posteriores do objeto. Assim, como a manipulação do objeto só é possível por meio de suas arestas, isto pode acarretar a geração de um modelo que não represente um objeto fisicamente.

Figura 21. Modelos tridimensionais de loteamento urbano utilizando fotogrametria aérea por drones (1) nuvem de pontos (2) modelo de arestas (3) modelo sólido (4) modelo sólido texturizado



Fonte: Zucatelli et al. (2017)

2.3.5.3 Modelos sólidos

Os modelos de superfície, ainda segundo Weiler (1986), foram desenvolvidos a partir de 1960, como um avanço das representações wireframe realizado através de descrições matemáticas das superfícies dos objetos, o que permite um controle maior na construção do mesmo. A principal informação da estrutura de dados do modelo de superfície é dada por superfícies mais simples que, quando combinadas, formam a envoltória do objeto. Geralmente as superfícies mais complexas são representadas por malhas poligonais que podem ser parametrizadas,

como curvas de Bezier, spline. A desvantagem desse tipo de modelo é não apresentar as propriedades do interior do objeto Hanke; Grussenmeyer (2002).

A aplicação de texturas fotorrealísticas às superfícies dos modelos permite a visualização e a análise de vários aspectos do objeto como cores, materiais de acabamento, estilo, dentre outros.

2.3.5.4 Ortofotos e ortofotomosaicos

As imagens capturadas por câmeras convencionais estão sujeitas a deformações inerentes à perspectiva cônica e ao sistema óptico; assim sendo, não são uma fonte precisa de informação métrica. No caso de uma projeção ortogonal, a imagem final não possui distorções e, portanto, pode ser utilizada em qualquer aplicação como fonte de dados; essa imagem sem distorções é chamada de ortofoto ou ortoimagem (Brito; Coelho Filho, 2007).

Para que se possa obter uma ortofoto, a imagem passa por transformações que eliminam as distorções de perspectiva. Essa operação pode ser realizada por meio do método da estereorrestituição, baseado na utilização de duas fotografias do mesmo objeto (estereopar), , através da restituição a partir de várias fotografias (fotografias convergentes) tiradas de pontos de vista diferentes e também da monorrestituição.

Um outro produto é o mosaico de ortofotos composto pela junção de várias ortofotos, cobrindo assim uma área mais extensa. Estes também são conhecidos por ortofotomosaicos.

Segundo Hu et al. (2008), as ortofotos também podem ser obtidas em modelos sólido texturizado a partir da projeção ortogonal das feições sobre um determinado plano, definido pelo usuário.

2.3.5.5 Desenhos por delimitação de feições

A partir da delimitação de feições dos objetos pode-se extrair em ortofotos informações bidimensionais e em estereoscopia informações tridimensionais. O processo é chamado de vetorização, onde imagens *rasters*, formada por pixels, são convertidas em vetores.

A vetorização sob ortofotos pode ser feita de forma interativa, utilizando editor de desenhos CAD, em que as imagens são importadas, colocadas como pano de fundo, e sobre elas traçadas as características geométricas do objeto de interesse. Outra forma de extração de feições é através da vetorização automática (Bastian, 2015). Em estereoscopia,

além do sistema CAD há a necessidade de equipamentos especiais - placas de vídeo, mouse, óculos de visualização 3D (Altrock, 2004).

2.3.6 Produtos fotogramétricos em apoio ao desenvolvimento de sistemas RAM

Como visto, a fotogrametria digital é uma ferramenta para extrair informações geométricas a partir de imagens digitais. Já a realidade aumentada é uma forma de visualizar essa informação. Assim a fotogrametria digital pode ser tanto útil na elaboração de modelos tridimensionais para visualização em RA, quanto na oclusão e rastreo.

Regina et al. (2017) utiliza um modelo tridimensional de um objeto gerado em fotogrametria para representação em realidade aumentada.

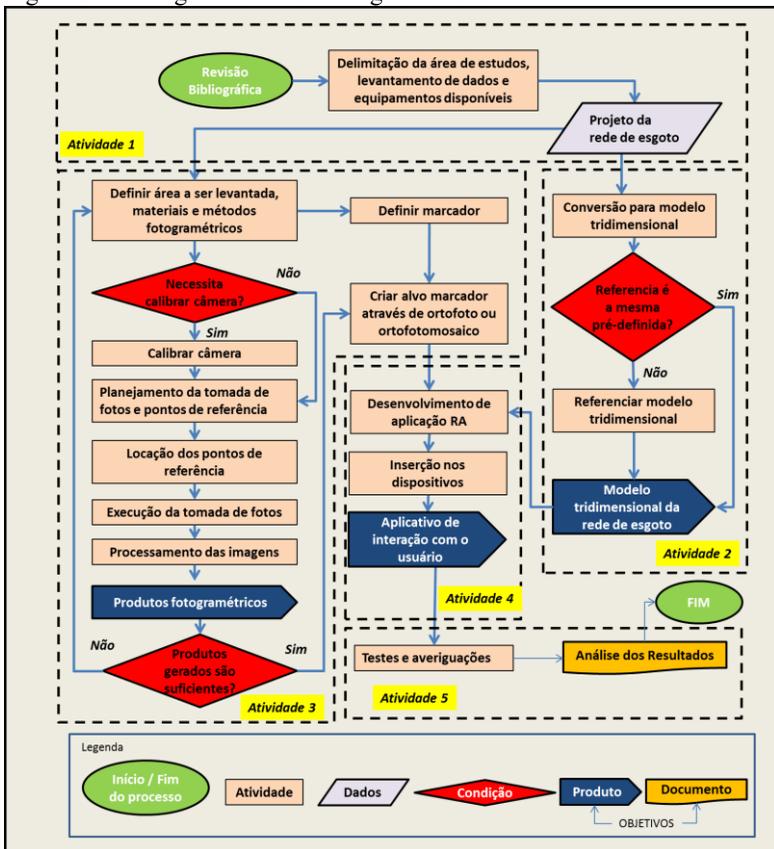
A oclusão também pode ser resolvida através de um modelo tridimensional prévio. Portalés et al. (2010) utilizaram a fotogrametria a curta distância para modelar edifícios indesejáveis na cena.

Outra possibilidade é de se utilizar produtos fotogramétricos para rastreo. O modelo tridimensional de arestas pode ser utilizado no rastreo por arestas. As ortofotos de objetos planos podem ser utilizadas para o rastreo por textura. Este trabalho tratará justamente desta segunda opção.

3 ÁREA DE ESTUDOS, MATERIAIS E MÉTODO

A realização da pesquisa foi dividida em cinco atividades, conforme indicado na figura 22:

Figura 22. Fluxograma da metodologia do trabalho



Fonte: autor

(1) a primeira consiste nos levantamentos bibliográficos referentes ao tema, delimitação da área de estudo, no levantamento de dados existentes, equipamentos disponíveis e definição do sistema de referência terrestre adotado.

(2) a segunda etapa consiste na conversão do projeto da rede coletora de esgotos para um modelo tridimensional referenciado;

(3) A terceira etapa trata do levantamento fotogramétrico: definição da área a ser levantada, materiais e métodos, calibração de câmera, planejamento das tomadas de fotos, locação dos pontos de referência, execução das tomadas de fotos, processamento das imagens, definição do marcador de rastreamento em realidade aumentada, geração de ortofoto do marcador definido.

(4) A quarta etapa trata do desenvolvimento da aplicação em realidade aumentada móvel, sua inserção nos dispositivos, e a interatividade da aplicação com o usuário;

(5) e por fim, a quinta e última etapa consiste na elaboração de testes e averiguação da aplicação quanto a realidade aumentada móvel e a análise dos resultados

3.1 ÁREA DE ESTUDO

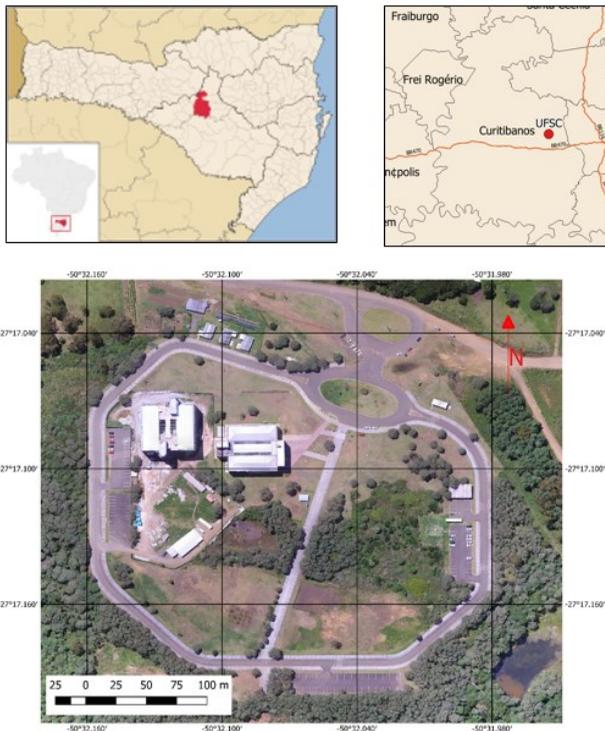
O Campus Sede da Universidade Federal de Santa Catarina na cidade de Curitiba, localizado acerca das coordenadas 27°17'7.47"S e 50°32'3.89"O, foi utilizado para os devidos estudos.

Tal Campus teve sua pedra fundamental lançada no ano de 2007 e suas atividades acadêmicas iniciaram no ano de 2009. Desde então conta com um tratamento de efluentes no sistema fossa - filtro e vala de infiltração para o único edifício em atividade.

No ano de 2015, o Departamento de Arquitetura e Engenharia da UFSC decidiu executar uma estação de tratamento de esgoto, assim como uma rede coletora que atenda o plano de ocupação proposto em 2013. Desta maneira, no mesmo ano, elaborou-se o projeto executivo da rede de esgotos, assim como o anteprojeto da ETE.

Curitiba possui um clima subtropical de tipo úmido. O verão é fresco, com frio predominante durante a maior parte do ano. O inverno é moderadamente rigoroso, com geadas anuais e neve eventual. As chuvas são predominante na primavera. O município apresenta 65.5% de domicílios com esgotamento sanitário adequado, 14.5% de domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 23.4% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio). Atualmente, a rede urbana de rede coletora de esgotos mais próximos a UFSC está a 3km de distância, sem previsão de extensão. Esta foi uma das justificativas para se executar uma ETE no Campus, ficando economicamente inviável a extensão de uma rede até o ponto de coleta da rede pública.

Figura 23. Localização do Campus Sede da UFSC em Curitibaanos



Fonte: elaborado pelo autor

3.2 MATERIAIS UTILIZADOS

3.2.1 Projeto da Rede de esgoto do Campus UFSC de Curitibaanos

O material para aplicação do sistema de realidade aumentada proposto neste trabalho trata-se do projeto executivo de rede de esgoto projetado para o Campus sede da UFSC de Curitibaanos. Tal projeto apresenta as coordenadas UTM – Datum Sirgas 2000 dos poços de visita, formato CAD, em duas dimensões.

Esta rede prevê poços de visita em concreto armado e tampa de aço, tubulações em PVC que conectam tais poços e levam até a estação de tratamento a ser instalada no Campus. A rede inicia dentro do anel viário, passando sob o pavimento, atravessa uma região de floresta, até chegar a ETE.

3.2.2 Levantamento fotogramétrico do Campus

Em março de 2017, o DPAE realizou um levantamento fotogramétrico com drone do Campus. Como pontos de apoio foi utilizado os marcos de concreto existente nos vértices e internamente ao Campus. Assim, o levantamento também se encontra georreferenciado em coordenadas UTM, com Datum Sirgas 2000.

O material encontra-se com formato de arquivo psx, utilizado pelo AGISOFT Photoscan. Com isso, é possível, através deste software, extrair valores de coordenadas de pontos de interesse, fazer medições e gerar ortofotos.

3.2.3 Equipamentos

O equipamento utilizado para a visualização do sistema RAM foi um tablet TAB S da Samsung, com processador quadcore 2.3Ghz Qualcomm Snapdragon, 3Gb de memória dinâmica, 16Gb de memória estática, câmera de 8 MP, acelerômetro e giroscópio, com sistema operacional Android 5.1.

Para o desenvolvimento da aplicação utilizou-se um notebook HP Envy dv7, com 8Gb de memória r.a.m, 1 Tb de memória rígida, com placa de vídeo NVIDIA GEFORCE 635M.

3.2.4 Ferramentas computacionais

Dentre as ferramentas computacionais utilizadas para este trabalho estão:

AUTOCAD CIVIL 3D- é um software de desenho técnico, utilizado para manipulação dos dados do projeto, além de possuir ferramentas de conversão de coordenadas. Este software é proprietário com versão gratuita a estudantes.

SKETCH UP - é um software CAD que opera num ambiente em 3D. Ele possibilita aos usuários criar desde esboços até projetos com precisão de forma fácil e tridimensionais. Este software é proprietário com versão gratuita a estudantes.

Photomodeler 5.3 – software de processamento fotogramétrico de imagens. Através deste, serão gerados as ortofotos da fachada, utilizada como modelo para rastreamento em realidade aumentada. Este software é proprietário.

AGISOFT PHOTOSCAN 1.2: software que realiza processamento fotogramétrico de imagens digitais e gera dados espaciais em 3D e

fazer medições indiretas de objetos. Com o levantamento fotogramétrico do Campus, será possível extrair as coordenadas de pontos de interesse para a geração de ortofoto atualizada de fachada, que será explicada com mais detalhes no item 4.3.2.

Vuforia: um kit de desenvolvimento de software em realidade aumentada. É possível com esta ferramenta reconhecer marcadores, figuras, cilindros, além de dispor de ferramenta de reconhecimento de feições no ambiente.

Unity 3D - é um motor de jogos (game engine, em inglês) proprietários e um ambiente de desenvolvimento integrado destinados a desenvolvimento de jogos 2D e 3D, gráficos para computadores e dispositivos móveis. Com esta ferramenta será possível fazer conexão entre os arquivos do projeto da rede de esgotos em AUTOCAD com as ferramentas de desenvolvimento em realidade aumentada, além de criar uma aplicação deste para dispositivos móveis.

3.3 LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

Em campo, procurou-se o maior plano para definir como modelo texturizado para rastreo. Como a rede passa próximo ao edifício CBS-02, foi definido uma fachada plana, ao norte.

Analisando os dados do levantamento fotogramétrico, observou-se que no momento do voo, o edifício encontrava-se em construção, tendo a fachada inacabada (falta de esquadrias e pintura). Com isso, atualizou-se os dados desta fachada, executando um novo levantamento fotogramétrico.

Foi possível a determinação dos vértices da fachada pelo levantamento fotogramétrico. Assim, tratando-se de um plano específico, pode ser gerada uma ortofoto através da restituição monoscópica. A câmera utilizada foi a do tablet.

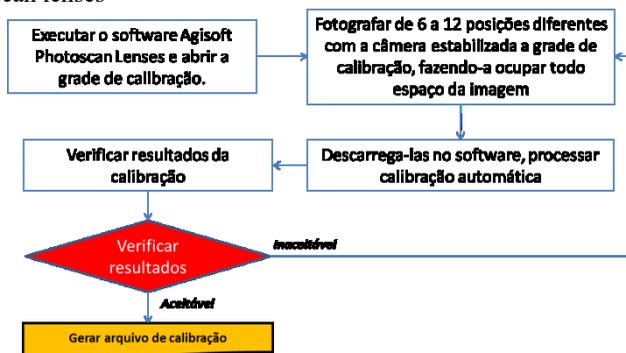
Para isto, executou-se a calibração da câmera, obteve-se a foto, definiu-se as coordenadas na imagem, ortorretificou-se e gerou-se um arquivo da ortofoto.

3.3.1 Calibração da câmera

Utilizando a metodologia apresentada no tutorial do software Photomodeler, a calibração consiste inicialmente na obtenção de seis a doze fotos da folha de calibração de diferentes ângulos e posições. A folha de calibração está presente na pasta onde o software fora instalado,

com o nome do arquivo PhotoModelerCalibrationGrid.pdf. Esta folha em tamanho A4 deve ser fixada em uma superfície lisa, podendo ser o chão ou uma parede. O fluxograma com o procedimento de calibração é mostrado na figura a seguir:

Figura 24. Procedimento de calibração de uma câmera digital com o software Photoscan lenses



Fonte: elaborado pelo autor

A câmera deve ser ajustada com a distância focal no infinito, conforme capítulo 2.3.4. Para as tomadas de fotos, fixou-se a folha de calibração no chão, capturando-se 8 fotos de quatro posições diferentes. O tablet foi posicionado sobre o tripé e de cada posição foi obtida duas fotos, uma na posição retrato, outra em paisagem. A folha de calibração deve recobrir mais de 50% da imagem.

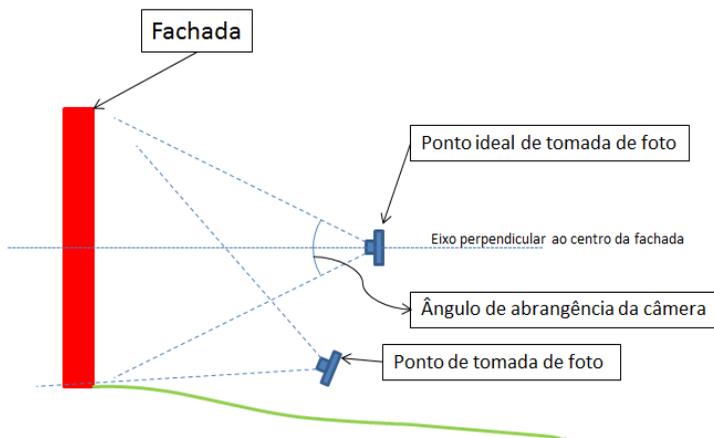
Após a tomada das fotos, inicia-se no software Photomodeler um projeto de calibração. Dá-se um nome a câmera e descarregam-se os arquivos das fotos da folha de calibração. Automaticamente o software encontrará os pontos e fará o cálculo dos parâmetros da câmera.

Os parâmetros da câmera obtidos são: distância focal, coordenadas do ponto principal e coeficientes para correção das distorções - acompanhados dos respectivos desvios-padrão. Após este processo, se salva o projeto criando um arquivo com a extensão pnr. Tal arquivo pode ser utilizado para qualquer projeto que se utilizará o tablet.

3.3.2 Tomada de foto

A tomada de foto ideal para a monoscopia seria no eixo perpendicular ao plano da fachada e que abrangesse toda a fachada. Assim, a diferença do GSD da imagem obtem a menor variação possível. O GSD (Ground Sample Distance) é a representação do pixel da imagem em unidades de terreno. Melhor compreensão sobre distorção de monoscopia estão em Kraus (2004)

Figura 25. Ponto de tomada ideal de foto e o ponto possível de tomada em campo para a restituição monoscópica.



Fonte: elaborado pelo autor

Isso em campo não foi possível devido a não existência de alguma equipamento que levasse até o quarto andar do edifício. Assim sendo, tomou-se uma imagem do chão, com o centro da imagem mirando para o centro geométrico da fachada.

3.3.3 Locação dos pontos de referência

A partir do levantamento fotogramétrico realizado, obteve-se os pontos dos vértices da fachada. Para isto, utilizou-se o software Agisoft Photoscan, e foram marcados os pontos em três imagens do levantamento. O resultado é obtido em coordenadas UTM-SIRGAS 2000, juntamente com os erros médios obtidos.

Figura 26. Obtenção das coordenadas de três pontos dos vértices da fachada através de levantamento fotogramétrico prévio.



Fonte: elaborado pelo autor

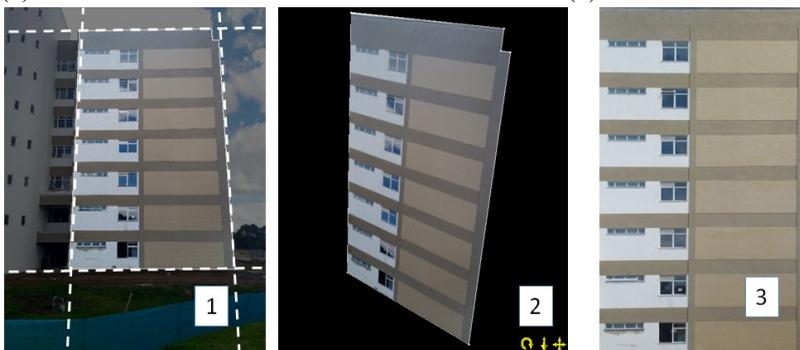
3.3.4 Processamento das imagens e geração da ortofoto

Conhecendo-se três pontos do plano, utilizou-se o software Photomodeler para a geração da ortofoto. Inicialmente define-se a região na imagem em que se encontra a fachada e adiciona-se os pontos de referência. Como somente foi possível a definição de 3 dos vértices da fachada, houve a necessidade de se adicionar outros dois vértices a mais e definir paralelismos nas fotos para o correto processamento da imagem. Assim, as arestas na vertical foram delimitadas para isto.

Ao processar o projeto, apresenta-se uma imagem ortoretificada delimitada pelos pontos e vértices definidos.

Para se obter a ortofoto, é necessário definir o plano que contenha a fachada em interesse. Este plano pôde ser definido por três pontos deste levantamento e o paralelismo dos vértices da fachada.

Figura 27 - (1) Definição do plano da ortofoto e os paralelismos de suas arestas (2) Modelo tridimensional com a textura da ortofoto (3) Ortofoto da fachada



Fonte: elaborado pelo autor

Com o arquivo raster da ortofoto e seus vértices especializados, passasse para a fase de desenvolvimento do sistema RAM proposto.

3.4 CONVERSÃO DE DADOS DO PROJETO PARA UM MODELO TRIDIMENSIONAL

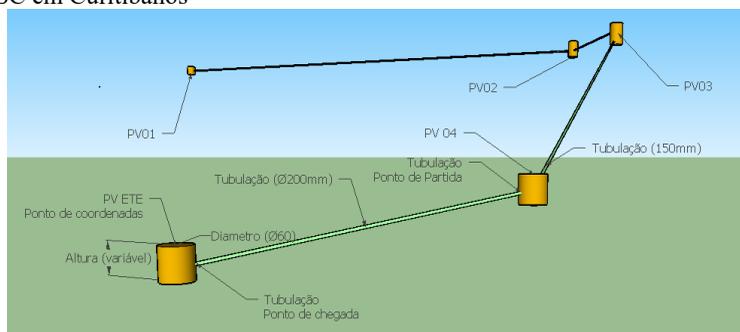
Para a conversão do projeto (2D) em um modelo tridimensional, faz-se necessário a definição de um sistema único de referência entre modelo tridimensional e marcador. O projeto apresenta as coordenadas UTM do centro geométrico da tampa de cada poço de visita (PV). É válido lembrar que o sistema de projeção UTM apresenta distorções em relação ao mundo real. Neste trabalho, as coordenadas UTM foram convertidas para um plano topográfico local, afim de eliminar tais distorções. O ponto de referência utilizado para a conversão foi um marco topográfico próximo à instalação da rede de esgotos. O software AutoCAD Civil3D foi utilizado para tal conversão.

A conversão de coordenadas geodésicas para topográficas é explicada por Dal'Forno et al. (2010).

Os elementos a serem visualizados em RAM do projeto são os poços de visita e a tubulação. Para simplificação, os poços de visita foram considerados cilindros, com diâmetro igual ao diâmetro externo (60cm), altura de cada poço conforme projeto e o centro do círculo superior do cilindro (representando a tampa) locados conforme coordenada UTM. As tubulações, também representados por elementos cilíndricos

foram considerados o ponto inicial e final conforme coordenada UTM, com diâmetro conforme bitola do tubo. Adotou-se a cor amarela para os PVs e verde para as tubulações. Os valores altimétricos dos PVs estavam em forma de texto nas pranchas do projeto e memorial.

Figura 28. Modelo tridimensional da rede coletora de esgotos do Campus sede da UFSC em Curitibaanos



Fonte: elaborado pelo autor

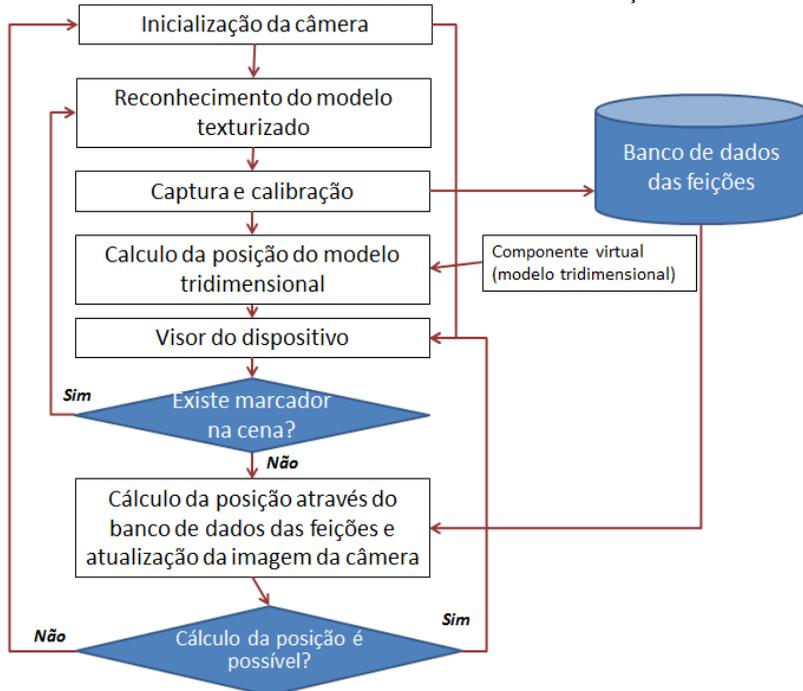
Visando a utilização futura no sistema Unity, a conversão foi realizada através do software Sketchup, redesenhando o projeto. Isso porque o Unity somente aceita arquivos no formato VRML e COLLADA e o Sketchup possui ferramentas nativas para tal conversão.

3.5 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA EM REALIDADE AUMENTADA MÓVEL

O sistema RAM proposto baseia-se no rastreo por visão computacional, com métodos baseado em modelo texturizado e reconhecimento de ambiente por SLAM. O sistema foi desenvolvido pelo software Unity, onde o modelo tridimensional da rede coletora de esgotos e a ortofoto (usada para o rastreamento) são inseridos em um ambiente virtual, podendo-se criar interações entre si.

Para reconhecimento do modelo texturizado utiliza-se a ferramenta Vuforia, presente no Unity. Com esta, é possível definir a ortofoto como modelo texturizado de rastreo e utilizar o SLAM quando o modelo estiver fora de cena. A figura 29 demonstra o funcionamento do sistema.

Figura 29. Fluxograma de funcionamento do sistema em RAM com rastreo baseado em modelo texturizado e com reconhecimento das feições naturais



Fonte: adaptado de Vuforia (2018)

Ao inicializar a câmera a imagem capturada é disponibilizada no visor. A seguir, há o processamento para o reconhecimento do marcador pré-definido. Ao reconhecê-lo, o sistema inicia o processo de captura de feições do ambiente e também a calibração da câmera para o sistema RAM. Então, é calculada a posição do componente virtual, que em neste trabalho trata-se do projeto da rede de esgoto. Assim, o sistema projeta o modelo tridimensional da rede no visor, juntamente com a imagem capturada pela câmera.

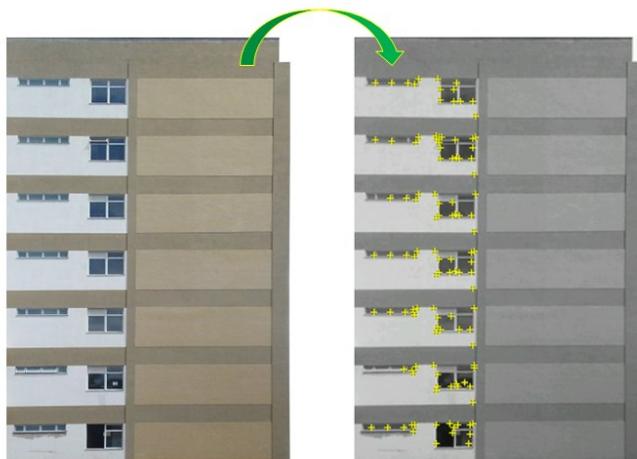
A seguir, na próxima tomada da imagem da câmera, caso o marcador ainda esteja presente, o processo descrito no paragrafo anterior se reinicia. Do contrário, o sistema busca rever a posição da câmera através dos pontos das feições obtidas no ambiente, capturando a nova imagem e buscando novos pontos de feições, alimentando o banco de dados de

feições, recalibrando o sistema e então o novo cálculo da posição do elemento virtual (rede de esgoto) e disponibilizando-a no visor junto a imagem da câmera. No caso de numa nova tomada sem marcador o sistema não conseguir reconhecer os pontos homólogos, o processo se reinicia.

Assim sendo, o modelo tridimensional da rede de esgotos está associada a posição do modelo a ser rastreado. Como previamente definiu-se utilizar as coordenadas UTM-Sirgas2000, ambos os componentes estão com a mesma referência e sua relação espacial é coerente.

Para que o sistema reconheça a ortofoto como marcador, o Vuforia necessita que a imagem raster seja convertida para o arquivo marcador. Em seu portal, é possível descarregar a imagem da ortofoto (em diversos formatos de arquivo) e retornar o arquivo com os pontos chave da imagem.

Figura 30. Localização dos pontos-chaves da ortofoto através do sistema Vuforia.



Fonte: elaborado pelo autor

Gerado o arquivo marcador, é necessário fazer a correspondência interativa do mesmo ao modelo tridimensional da rede de esgotos. Este procedimento no ambiente Unity é totalmente gráfico, eliminando linhas de código para o desenvolvimento.

Por fim, para a aplicação rodar no tablet, o Unity dispõe ferramentas de geração de arquivo executável. Nesta aplicação toda a infor-

mação fica armazenada dentro do arquivo executável, sendo que o usuário final, após instalação da aplicação, não necessita de acesso a rede para seu uso.

3.5.1 Testes e verificações

O objetivo é verificar se o sistema RAM atende aos requisitos funcionais e não funcionais especificados. Um sistema RAM deve projetar o modelo tridimensional com precisão e rapidez.

3.5.1.1 Quanto ao desempenho

O teste de desempenho consiste em avaliar a capacidade de resposta, robustez, disponibilidade de uma aplicação, conforme a quantidade de informação disponibilizada, avaliando seu desempenho conforme a carga de trabalho e considerando seu comportamento em circunstâncias normais.

Em particular, o objetivo de tais experiências pode ser o de garantir que o software não apresente problemas ou indisponibilidade em condições de insuficiência dos recursos computacionais (como memória, processamento ou espaço em disco).

Para isto, serão analisados o tempo de carregamento da aplicação no dispositivo, tempo para localização do modelo texturizado, tamanho do arquivo gerado, e observações quanto ao uso da aplicação.

3.5.1.2 Quanto a usabilidade

O teste de usabilidade tem por objetivo analisar qual a área em que o sistema reconhece o modelo texturizado e o alcance do rastreamento pelas feições ambientais. Em campo, foram testados a distância e mínima para o reconhecimento do marcador, ângulo máximo entre o eixo perpendicular ao centro do marcador, distância percorrida desde o reconhecimento do marcador até o ponto mais afastado da rede coletora de esgotos.

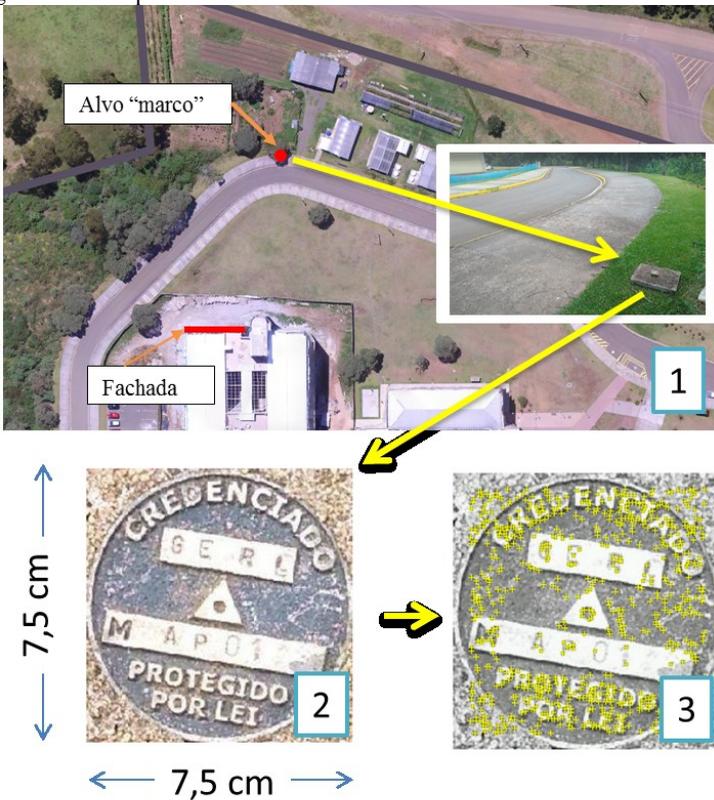
3.5.1.3 Quanto à precisão e acurácia do sistema proposto

Em campo, ao inicializar o arquivo executável e por o alvo fechada na cena, o modelo tridimensional da rede de esgoto é exibido. Embora aparente estar próximo ao local definido em projeto, não foi possível a verificação devido a falta de uma referência que evidencie o

local exato. Para esta verificação, inseriu-se um outro ponto juntamente com o modelo tridimensional da rede de esgoto, de coordenadas conhecidas e evidente em campo.

Para se verificar a precisão e acurácia do sistema desenvolvido, utilizou-se um marco topográfico de coordenadas conhecidas. O ponto do marco é adicionado ao modelo tridimensional como um novo modelo texturizado. O processo de verificação consiste em, após o sistema localizar o modelo “fachada” e calcular a posição do modelo tridimensional, este compara a distância entre o ponto do marco definido no modelo tridimensional e a real posição do mesmo.

Figura 31. (1) Localização do marco utilizado para teste de precisão (2) Fotografia da chapa metálica sob o marco (3) Definição dos pontos chave da fotográfica da chapa do marco.

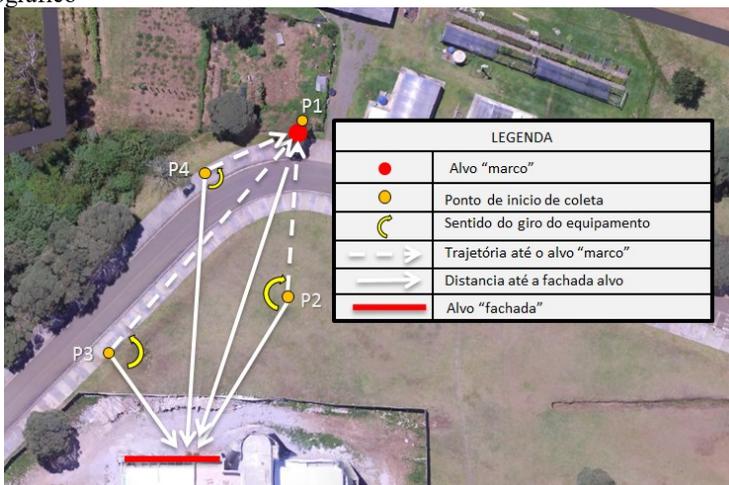


Fonte: elaborado pelo autor

A definição do modelo “marco” consiste na figura da chapa de aço superior. Seu diâmetro é de 7,5cm e seu centro definido por um triângulo com um ponto ao meio. A distancia entre o ponto virtual do marco (v) de coordenadas (x',y',z') dista do modelo texturizado de coordenadas (X, Y, Z) conforme formula abaixo. As coordenadas do marco foram transformadas de UTM para o plano topográfico local conforme item 3.4.

Para este, utilizou-se o tripé para estabilizar a posição dos equipamentos, tanto no reconhecimento do alvo fachada quanto na leitura do alvo marco. Quatro trajetórias aleatórias foram estabelecidas do momento da captura do alvo fachada até o marco. O ponto de partida P1 consiste em iniciar a certa altura do marco, visando a fachada e, somente com o movimento angular, mirar a câmera no alvo marco. Os demais pontos – P2, P3 e P4 - foram distribuídos em posições distintas, e inicialmente visa-se o modelo “fachada”, então rotaciona-se até a direção do alvo marco e move-se até o mesmo para o reconhecimento do mesmo ao sistema. A câmera fora mantida o mais horizontal possível durante o percurso. Para cada ponto de partida foram realizados dez testes. A figura abaixo ilustra as posições iniciais de cada trajetória.

Figura 32. Pontos de inicialização do sistema proposto até a chegada do marco topográfico



Fonte: elaborado pelo autor

O cálculo de coordenadas iniciam a partir do momento do reconhecimento do alvo “marco”. Como há um tempo de estabilização do dispositivo móvel com a colocação do tripé, a medida da distância foi obtida após dez segundos com o equipamento estabilizado.

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os valores dos dados obtidos durante o processo de desenvolvimento e da aplicação em RAM para a visualização da rede coletora de esgotos.

4.1 Geração de ortofoto

Para a geração da ortofoto a ser utilizada como marcador, foi utilizada parte da fachada norte como tal. Embora o melhor posicionamento da fachada fosse a fachada oeste, pois ficaria de frente para o início da rede de esgotos, a mesma possui saliências como breezes e colunas, com até 80cm de diferença da parede da fachada. A fachada oeste possui saliências menores, como diferenças de reboco (1 cm) e recuo de janelas (5 cm).

Figura 33. Fotografia obtida pelo tablet da fachada do edifício.



Fonte: elaborado pelo autor

As coordenadas dos pontos obtidos através do levantamento fotogramétrico existente do Campus compreende a parte superior da fachada. Os pontos foram determinados em doze fotos. O erro associado à estimativa dos pontos são gerados pelo software. As coordenadas estão em UTM – SIRGAS 2000, zona 22S.

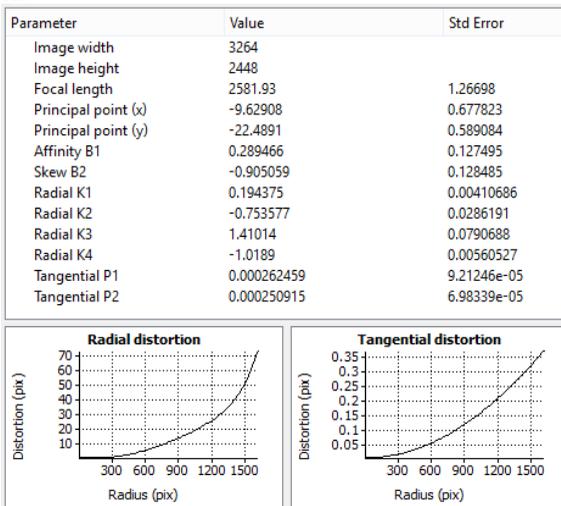
Tabela 1. Valores obtidos dos pontos dos vértices da fachada através do levantamento fotogramétrico prévio.

Ponto	Leste	Norte	Altura	Erro (cm)
Orto-P001	545.959.542	6.981.966.088	1.111,53	3,2
Orto-P002	545.960.306	6.981.966.004	1.113,12	3,4
Orto-P003	545.977.477	6.981.966.024	1.113,03	6,3

Fonte: elaborado pelo autor

Seguindo a metodologia de calibração de câmeras do AGISOFT LENS, obtiveram-se os valores dos parâmetros da câmera do tablet. A mesma configuração dos parâmetros foi utilizada na aquisição de fotos. A figura abaixo demonstra os valores obtidos para a calibração da câmera do tablet.

Figura 34. Valores obtidos da calibração de câmera pelo software Agisoft Photoscan Lenses.

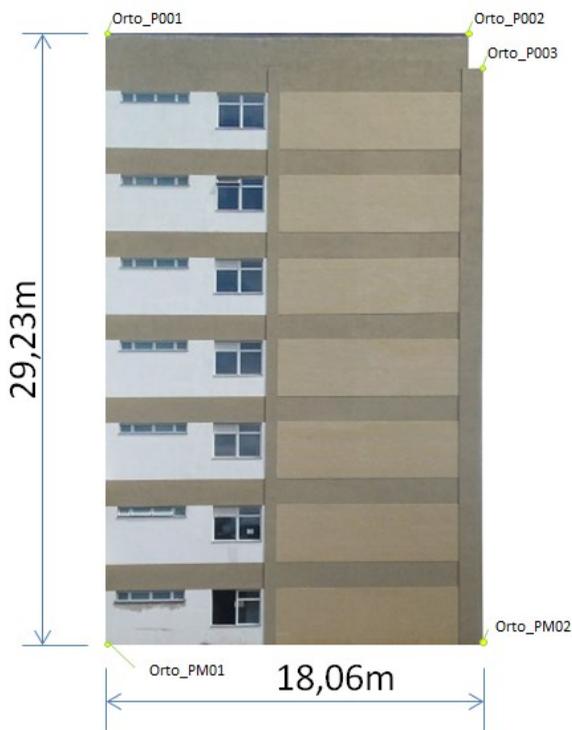


Fonte: elaborado pelo autor

De posse destes valores, iniciou-se o projeto no software Photo-modeler para criação da ortofoto. Uma foto em campo foi adquirida com uso do tablet para a restituição monoscópica. A figura 35 demonstra a ortofoto, com suas dimensões, pontos de controle (Orto_P001; Orto_P002; Orto_P003) e pontos calculados (PM01 e PM02). As coordenadas

nadas destes pontos foram transladadas para um sistema topográfico local, afim de eliminar as distorções presentes na projeção UTM. A tabela 2 demonstra o resultado da conversão, obtido com auxilio do software Autocad Civil3D, tendo como base o marco topográfico e angulo de rotação 0.

Figura 35. Ortofoto da fachada com os pontos de seus vértices e dimensões obtidas.



Fonte: elaborado pelo autor

Devido aos erros associados a determinação da ortofoto, a limitações quanto ao uso do sistema para a locação. Nos serviços de engenharia não há um padrão de precisão para locação. Por exemplo, estruturas metálicas exigem precisão, por vezes, milimétricas, já um serviço de terraplenagem não seria necessário tal precisão. Para as redes de esgoto sanitário, segundo a NBR12587, os projetos de redes coletoras são apresentados em escala 1:500. De acordo com a NBR 13133 (Execução de

Levantamentos Topográficos), o erro de graficismo admissível na elaboração do desenho topográfico para lançamento de pontos e traçados de linhas é de 0,2mm. Portanto, nesta escala o erro admissível é de 10 cm.

Tabela 2. Coordenadas UTM dos pontos utilizados e os valores trasladados para plano topográfico local

Ponto	UTM - SIRGAS 2000 - Zona 22S			Plano topográfico local (m)		
	Leste	Norte	Altura	X	Y	Z
MARCO	545.945,78	6.982.075,77	1.089,58	500,00	300,00	1.089,58
Orto-P001	545.959,54	6.981.966,09	1.111,53	513,76	190,36	1.111,53
Orto-P002	545.960,31	6.981.966,00	1.113,12	514,52	190,28	1.113,12
Orto-P003	545.977,48	6.981.966,02	1.113,03	531,69	190,30	1.113,03
PM01	545.959,54	6.981.966,09	1.082,50	513,76	190,36	1.082,50
PM02	545.960,31	6.981.966,00	1.082,50	514,52	190,28	1.082,50
PV01	545.959,16	6.981.959,59	1.088,48	513,38	183,86	1.088,48
PV02	545.959,16	6.981.832,57	1.089,00	513,38	56,89	1.089,00
PV03	545.914,73	6.981.807,73	1.085,44	468,96	32,06	1.085,44
PV04	545.830,77	6.981.808,20	1.063,59	385,03	32,53	1.063,59
PVETE	545.813,25	6.981.815,51	1.060,74	367,52	39,83	1.060,74

4.2 Desenvolvimento do sistema em realidade aumentada móvel

Através do Vuforia Developer Portal, é enviado o arquivo da imagem ortoretificada para localização dos pontos-chaves, gerando o arquivo de definição do modelo texturizado. Este arquivo contém os pontos-chave, onde o sistema RAM consegue se orientar e calibrar. A figura Figura 36. Pontos-chave obtidos da ortofoto através do sistema Vuforia.



demonstra, em cruces amarelas, os pontos-chaves localizados pelo portal. Foram localizados 98 pontos chaves, mais concentrados para a esquerda do modelo.

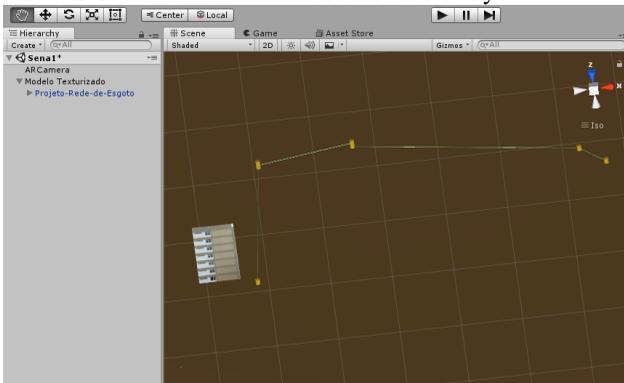
No software Unity, modelo tridimensional da rede coletora e alvo são posicionados conforme coordenada topográfica de seus vértices, estabelecendo as interações entre estes e gerando o arquivo executável. Quanto ao modelo tridimensional da rede, também houve a necessidade de se transladar as coordenadas UTM para o plano topográfico local. A tabelaTabela 2. Coordenadas UTM dos pontos utilizados e os valores transladados para plano topográfico local apresenta os valores de coordenadas adotados para cada poço de visita.

Figura 36. Pontos-chave obtidos da ortofoto através do sistema Vuforia.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 37. Desenvolvimento do sistema no software Unity



Fonte: elaborado pelo autor

Para este protótipo, criou-se um arquivo executável através do Unity para a visualização do sistema RAM. Foram desconsiderados efeitos de oclusão. O vídeo foi configurado para uma atualização de imagem de 30 frames por segundo.

O arquivo executável gerado contém 27mb, disponível para Android, versão 4.0 ou superior. Também seria possível disponibilizá-lo para sistemas IOS e Windows. Ao abrir o arquivo, o sistema inicia o

processo contido na figura 29. A figura 38 demonstra uma cena capturada em campo, com o uso do sistema.

Figura 38. Visualização da rede de esgoto pelo visor do tablet.



Fonte: elaborado pelo autor

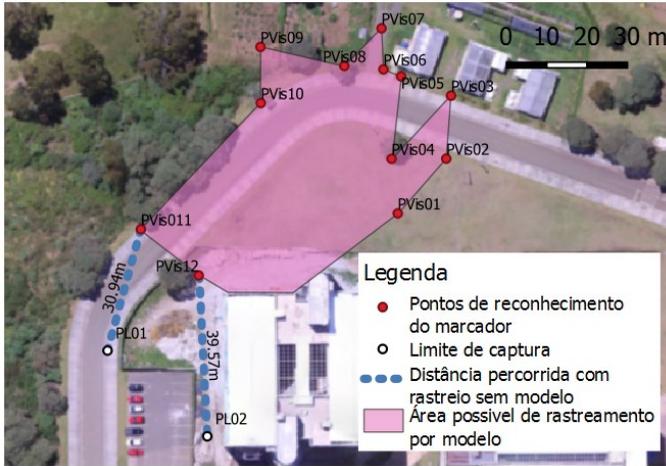
4.3 DESEMPENHO, USABILIDADE E ERROS

Cronometrando o iniciar da aplicação até a disponibilização das imagens, foram quatro segundos. Ao mirar a câmera na fachada utilizada para rastreamento, o modelo tridimensional aparece no visor do dispositivo com menos de um segundo. É imperceptível o atraso na disponibilização do modelo tridimensional enquanto a fachada se encontra na cena visada. Ao tirar a fachada de cena, passando para o rastreamento por feições ambientais, percebe-se um atraso na disponibilização da imagem ao percorrer um trecho de aproximadamente 10 metros.

Foram coletados em campo doze pontos de visada em regiões limítrofes de reconhecimento do modelo texturizado. A figura 39 de-

monstra o posicionamento destes pontos em relação a fachada. A região em rosa é possível o reconhecimento do modelo texturizado pelo sistema RAM. O ponto PVis07 foi o ponto mais distante do centro geométrico da fachada, sendo a distância linear entre estes 72 metros. O ponto PVis12 apresenta o maior ângulo de abertura entre o eixo perpendicular ao centro geométrico do modelo texturizado.

Figura 39. Pontos dos testes elaborados em campo



Fonte: elaborado pelo autor

Ao mover o dispositivo próximo a fachada, há uma confusão pelo sistema devido à similaridade das janelas. Percebe-se que, em alguns momentos, o modelo tridimensional se posiciona muito abaixo do local da rede projetada. Neste caso, o ideal é visarmos a fachada toda na cena da imagem.

Mirando-se na fachada e retirando a mesma da cena, inicia-se o processo de rastreamento por feições ambientais. Dos pontos Pvis011 e PVis12, após a visada da fachada, caminhando em direção ao sul, onde encontra-se a rede de esgotos projetada, há um limite onde o sistema consegue registrar o modelo tridimensional. Em campo partindo do ponto PVis011, pode-se visualizar até uma distancia de 30,94 metros (até ponto PL01). Do ponto PVis12, o máximo obtido foi de 39,57m (até ponto PL02). Dois pontos podem ter influenciado tal resultado: a coleta de feições por objetos em movimento (folhas das arvores, pedestres) e a não obtenção de feições pelo fato de ambientes com texturas homogê-

neas. Devido a estes, o sistema de rastreio por feições ambientais torna-se vulnerável em ambientes externos.

É importante observar que ambos os métodos de rastreio possuem limitações. Porém, com o modelo texturizado é possível, em um determinado ponto, se reestabelecer o referencial. Já o rastreio por feições ambientais pode haver um acumulo de erros nas leituras e seu referencial está atrelado ao modelo texturizado. A tabela3 traz um resumo das observações de campo.

Tabela 3. Testes e observações de campo

Equipamento	TABLET
Tempo de inicialização do sistema	4,0 segundos
Tempo de reconhecimento da feição	< 1 segundo
Atraso na disponibilidade de imagem aumentada (taxa de atualização da imagem em 30 fps)	Após o percurso de aproximadamente 10 metros sem visualizar o marcador
Distância máxima de detecção do modelo texturizado	72 metros
Ângulo máximo de reconhecimento do alvo em relação ao eixo perpendicular ao centro do marcador.	83 graus
Detalhes de utilização	<ul style="list-style-type: none"> • O modelo tridimensional desaparece ao aproximar a câmera áreas do alvo onde não possuem mais que 6 pontos-chaves. • Quando muito perto, o sistema confunde a posição devida similaridade das janelas.

Fonte: elaborado pelo autor

Por fim, foram medidos os erros obtidos das medições entre o ponto virtual de coordenadas iguais ao marco topográfico, com referência ao modelo texturizado, e as coordenadas reais do marco. Os resulta-

dos obtidos partindo do ponto P1, P2, P3 e P4 estão, respectivamente, apresentados nas tabelas Tabela 4, Tabela 5, Tabela 6 e Tabela 7.

Tabela 4. Resultados dos testes, em metros, partindo do ponto P1

P1	x	y	z	Distância total
teste 1	0,068	0,126	-0,062	0,156
teste 2	0,029	0,093	-0,034	0,103
teste 3	0,021	0,117	-0,082	0,144
teste 4	0,080	0,148	-0,074	0,184
teste 5	0,060	0,126	-0,056	0,150
teste 6	0,170	0,129	-0,034	0,216
teste 7	0,066	0,113	-0,064	0,146
teste 8	-0,025	0,156	-0,134	0,207
teste 9	0,021	0,119	-0,042	0,128
teste 10	0,035	0,124	-0,060	0,142
Média	0,053	0,125	-0,064	0,158
Desvio padrão				0,033

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 5. Resultados dos testes, em metros, partindo do ponto P2

P2	x	y	z	Distância total
teste 1	3,214	1,78	2,348	4,360
teste 2	2,147	-3,245	1,327	4,111
teste 3	-1,714	3,278	1,328	3,930
teste 4	-2,364	-4,324	2,117	5,364
teste 5	-4,135	3,236	1,697	5,518
teste 6	-3,145	1,357	1,365	3,687
teste 7	-2,324	1,358	0,147	2,696
teste 8	1,348	-3,148	2,324	4,139
teste 9	1,223	13,487	-2,324	13,740
teste 10	0,789	1,365	2,347	2,827
Média	-0,4961	2,348	1,2676	5,037
Desvio padrão				3,027

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 6. . Resultados dos testes, em metros, partindo do ponto P3

P3	x	y	z	Distância total
teste 1	2,770	13,141	-3,210	13,808
teste 2	7,600	6,300	1,780	10,031
teste 3	1,799	-3,600	-6,440	7,594
teste 4	6,320	-2,440	6,780	9,585
teste 5	-1,770	14,320	17,320	22,543
teste 6	-7,200	7,666	1,980	10,702
teste 7	1,340	8,773	-6,446	10,969
teste 8	16,720	16,726	-3,160	23,860
teste 9	14,100	14,337	17,410	26,598
teste 10	1,350	-12,314	-3,261	12,810
Média	7,320	-6,320	7,850	14,850
Desvio padrão				6,477

Fonte: elaborado pelo autor

Tabela 7. Resultados dos testes, em metros, partindo do ponto P4

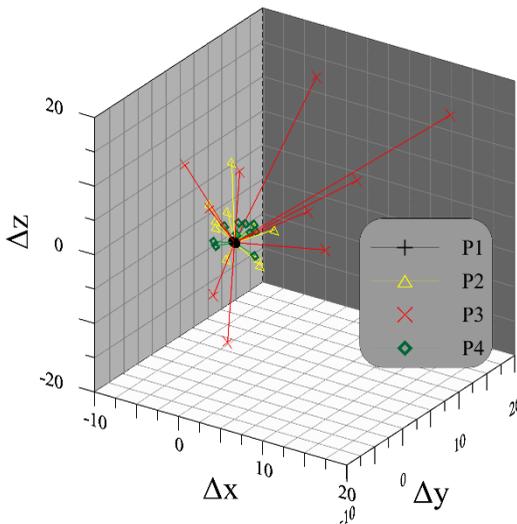
P4	x	y	z	Distância total
teste 1	1,135	1,232	1,130	2,021
teste 2	-2,340	-1,413	0,170	2,739
teste 3	-1,660	0,178	-1,156	2,031
teste 4	1,367	1,263	1,770	2,568
teste 5	1,247	3,14	0,150	3,382
teste 6	2,334	-1,17	0,147	2,615
teste 7	0,720	3,32	-0,320	3,412
teste 8	-1,882	1,17	1,110	2,478
teste 9	1,357	2,324	1,540	3,101
teste 10	0,167	1,18	0,180	1,205
Média	-1,347	1,122	0,472	2,555
Desvio padrão				0,644

Fonte: elaborado pelo autor

Fica evidente que ao retirar o alvo fachada da cena e iniciar o processo de rastreamento de feições ambientais, o sistema fica vulnerável às condições ambientais de entorno. Os valores obtidos da distância partin-

do do ponto P3 apresenta uma dispersão maior entre todos os demais pontos e também a maior distância até o alvo marco. Os pontos P2 e P4 também possuem grandes erros associados, inviabilizando um processo de locação de redes, a nível centímetro. Nos três percursos houve cenas com elementos móveis, como árvores e pedestres, que possibilitam o encontro pelo sistema de feições indesejáveis.

Figura 40. Gráfico mostrando a distância obtida de cada teste, conforme ponto de saída.



Fonte: elaborado pelo autor

Os resultados mais próximos a real localização do alvo marco foram obtidos partindo do ponto P1, onde houve somente o movimento de rotação. Neste caso, interferências ambientais foram minimizadas, pois a fachada sai da cena e prontamente o marco aparece. Os elementos do ambiente deste tempo entre um alvo e outro estão imóveis (calçadas, pista de rolamento, gramado), tornando as condições favoráveis para a aplicação do sistema.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O sistema de realidade aumentada móvel desenvolvido neste trabalho permite a visualização de um modelo tridimensional de uma rede coletora de esgotos em sua futura implantação. O usuário final basta saber onde se encontra o modelo texturizado usado para rastreamento e ter um celular ou tablet com sistema Android e câmera para poder utilizá-lo.

A ortofoto gerada para ser utilizada como modelo texturizado no rastreamento do sistema foi elaborada a partir de pontos de coordenadas de levantamento fotogramétrico prévio e uma fotografia atualizada da fachada. Estes pontos apresentam precisão da ordem de centímetros. Tal levantamento de pontos de coordenadas poderia ser medido por outros métodos mais precisos, como o levantamento utilizando equipamentos topográficos, eliminando o acúmulo de erros no desenvolvimento do sistema. Além disto, a fachada, por possuir elementos idênticos repetitivos em cada pavimento, apresenta problemas no registro da informação tridimensional ao se iniciar o sistema muito próximo à mesma.

Ao gerar o arquivo contendo os pontos-chaves do modelo texturizado, foi percebido um maior número destes na região das janelas e um espaço sem pontos a direita da ortofoto, o que limita, em distâncias menores, a coleta do número mínimo de pontos-chaves para o reconhecimento do modelo. Uma das soluções para este problema seria a adição de elementos planos, nesta região, com texturas não homogêneas (como marcadores) afim de melhorar a distribuição dos pontos-chaves.

No desenvolvimento do sistema, o modelo tridimensional da rede de esgotos foi simplificado, representando os poços de visita e as tubulações por elementos cilíndricos. Para a locação e monitoramento de obras deste tipo não haveria grandes impactos numa representação mais detalhada destes elementos. Também, com o aumento de detalhes do modelo tridimensional, o tamanho do arquivo aumentaria, acarretando um maior consumo computacional do sistema na atualização do registro.

Os efeitos de oclusão foram desconsiderados, uma vez que se trata de uma rede enterrada que virá a ser executada. O efeito de oclusão poderia ser útil, por exemplo, durante a escavação das valas, fazendo aparecer a rede somente ao atingir a cota da mesma.

O sistema RAM desenvolvido inicialmente apresentou bom desempenho em na disponibilização na imagem aumentada, sendo imperceptíveis atrasos na disponibilização da imagem. Após a retirada do alvo da cena, e conforme a movimentação do observador ocorre, o volume de informação dos novos pontos de feições capturados pelo sistema faz com que atrasos nas imagens sejam perceptíveis. Além disto, após certa

distância da fachada, há uma completa perda do registro do modelo tridimensional. Um aumento no número de modelos texturizados (múltiplos alvos) para o rastreamento no ambiente, de tal forma a cobrir uma região maior passiva de visualizar tais marcadores em cena, dariam estabilidade na visualização da rede.

Embora o método apresentado não atingisse o erro admissível do graficismo das pranchas 1/500 das redes de esgoto, os valores chegaram mais próximos quando a distância da visada do modelo texturizado para o ponto de interesse estiver mais próxima. Uma proposta de futuro estudo é de relacionar o tamanho, distância, distribuição e número de pontos-chaves dos modelos texturizados para que se obtenha maior precisão e estabilidade do sistema RAM. Além disto, a combinação do sistema proposto com sensores poderiam melhorar a qualidade do sistema.

REFERÊNCIAS

ALMAGRO, A. Surveying world heritage islamic monuments in north Africa: experiences with simple photogrammetric tools and no previous planning. **ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. II-5/W1, n. September, p. 13–18, 2013. Disponível em: <<http://www.isprs-ann-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/II-5-W1/13/2013/>>. .

ALTROCK, P. VON. **Aplicações da fotogrametria arquitetural digital na documentação de edificações históricas – estudo das obras do Brigadeiro Joseph da Silva Paes, séc. XVIII**, 2004. Florianópolis: Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina.

AMIM, R. R. **Realidade aumentada aplicada à arquitetura e urbanismo**, 2007. Rio de Janeiro: Monografia (Departamento de Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

AMIN, D.; GOVILKAR, S. Comparative study of augmented reality SDK's. **International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA)**, v. 5, n. 9, p. 873–892, 2015. New Panvel, India.

ASSIS, J. H. G. DE. Aplicações de Realidade Aumentada no Canteiro de Obras. SIGraDi 2016, XX Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics. **Anais...** . p.662–667, 2016. Buenos Aires, Argentina.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. , p. 5, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 12587 Cadastro de sistema de esgotamento sanitário**. 1992.

ATKINSON, K. B. **Close range photogrammetry and machine vision**. Scotland: Whittles Publishing, 1996.

AZUMA, R.; BAILLOT, Y.; BEHRINGER, R.; et al. Recent advances in augmented reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 21, n. 6, p. 34–47, 2001. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/963459/>>. Acesso em: 11/4/2018.

AZUMA, R. T. A Survey of Augmented Reality. **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997. Disponível em: <<http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/pres.1997.6.4.355>>. Acesso em: 11/4/2018.

BASTIAN, A. V. **Métodos e técnicas de baixo custo para**

levantamento métrico de sítios históricos, 2015. Salvador: Monografia (Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Bahia.

BEHRINGER, R.; PARK, J. P. J.; SUNDARESWARAN, V. Model-based visual tracking for outdoor augmented reality applications. **Proceedings. International Symposium on Mixed and Augmented Reality**, p. 277–322, 2002. Darmstadt.

BEHZADAN, A. H.; DONG, S.; KAMAT, V. R. Augmented reality visualization: A review of civil infrastructure system applications. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 2, p. 252–267, 2015. Elsevier Ltd.

BERGER, M.-O. Resolving occlusion in augmented reality: a contour based approach without 3D reconstruction. *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. **Anais...** . p.91–96, 1997. IEEE Comput. Soc. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/609304/>>. Acesso em: 11/4/2018.

BLESER, G.; WUEST, H.; STRICKER, D. Online camera pose estimation in partially known and dynamic scenes. 2006 IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. **Anais...** . p.56–65, 2006. IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4079257/>>. Acesso em: 11/4/2018.

BREEN, D. E.; WHITAKER, R. T.; ROSE, E.; TUCERYAN, M. Interactive Occlusion and Automatic Object Placement for Augmented Reality. **Computer Graphics Forum**, v. 15, n. 3, p. 11–22, 1996. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1111/1467-8659.1530011>>.

BRITO, J. L. N. E. S.; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: UERJ - Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2007.

CHATZOPOULOS, D.; BERMEJO, C.; HUANG, Z.; HUI, P. Mobile Augmented Reality Survey: From Where We Are to Where We Go. **IEEE Access**, v. 5, p. 6917–6950, 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7912316/>>. Acesso em: 13/1/2018.

CHI, H.-L.; KANG, S.-C.; WANG, X. Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction. **Automation in Construction**, v. 33, p. 116–122, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.017>>. Acesso em: 5/7/2017.

COELHO, A. H. **Erweiterte Realität zur Visualisierung simulierter Hochwasserereignisse**, 2004. Karlsruhe: Tese (Bauingenieur-Geo- und Umweltwissenschaften) Universität Fridericiana zu Karlsruhe. Disponível em: <<https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000001685>>. Acesso em: 11/4/2018.

COELHO, A. H.; BÄHR, H.-P. Visualização de dados de CAD e

LIDAR por meio de Realidade Aumentada. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 2925–2932, 2005. Goiania. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.11.08.15/doc/2925.pdf>>. Acesso em: 6/10/2017.

COMPORT, A. I.; MARCHAND, É.; CHAUMETTE, F. A real-time tracker for markerless augmented reality. **Proceedings - 2nd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2003**, , n. October, p. 36–45, 2003.

CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. **Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção Civil**, , n. 3, p. 9, 2007. Porto Alegre. Disponível em: <http://www2.pelotas.ifsul.edu.br/~gpacc/BIM/referencias/CRESPO_2007.pdf>. Acesso em: 11/4/2018.

DAL'FORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L.; GREGÓRIO, F. V. Transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no plano topografico local pelos metodos da norma NBR 14166:1998 e o de rotações e translações. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, p. 1–7, 2010. Recife.

DEY, A.; JARVIS, G.; SANDOR, C.; REITMAYR, G. Tablet versus phone: Depth perception in handheld augmented reality. 2012 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR). **Anais...** . p.187–196, 2012. IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6402556/>>. Acesso em: 11/4/2018.

FOOTE, K. E.; LYNCH, M. Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Context, Concepts, and Definitions. Disponível em: <https://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/intro/intro_f.html>. Acesso em: 11/4/2018.

GALO, M.; MARIA, A.; TOMMASELLI, G. Calibração de Câmaras. In: M. A. Piter; J. C. Rodrigues (Orgs.); **Fundamentos de Visão Computacional**, 2011. Presidente Prudente. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/267633294_Calibracao_de_Cameras>. Acesso em: 11/4/2018.

VAN GENCHTEN, B. Theory and practice on terrestrial laser scanning. **Learning tools for advanced three-dimensional surveying in risk awareness project**, , n. June, p. 1–241, 2008.

GEODRONES. Pontos de Controle no mapeamento aéreo com drones – Guia básico. Disponível em: <<http://geodrones.com.br/blog/pontos-de-controle-no-mapeamento-aereo-com-drones-guia-basico/>>. Acesso em: 10/4/2018.

GOLPARVAR-FARD, M.; PEÑA-MORA, F.; SAVARESE, S. D 4 Ar – a 4-Dimensional Augmented Reality Model for Automating

Construction Progress Monitoring Data Collection , Processing and Communication. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 14, n. June, p. 129–153, 2009. Disponível em: <<http://www.itcon.org/2009/13>>. Acesso em: 11/4/2018.

GROETELAARS, N. J.; AMORIM, A. L. DE. Técnicas de restituição fotogramétricas digitais aplicadas à Arquitetura : um estudo de caso. COBRAC 2014 · 11o . Congresso Cadastro Técnico Multifinalitário. **Anais...** . p.1–12, 2004. Florianópolis. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/295908832_Tecnicas_de_restitui_cao_fotogrametricas_digitais_aplicadas_a_Arquitetura_um_estudo_de_caso>. Acesso em: 11/4/2018.

GRUT, S. Big tech goes to war over augmented reality dominance back to the future. Disponível em: <<https://mastersofmedia.hum.uva.nl/blog/2017/09/24/big-tech-goes-to-war-over-augmented-reality-ar-dominance/>>. Acesso em: 11/4/2018.

HANKE, K.; GRUSSENMEYER, P. Architectural Photogrammetry : Basic theory , Procedures , Tools. **Digital Photogrammetry**, , n. Setembro, p. 300–339, 2002. Corfu.

HERBIG, U.; WALDHÄUSL, P. APIS - Architectural photogrammetry information system. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. **Anais...** . p.23–27, 1996.

HESPANHOL, M. **Utilização de dispositivos móveis e recursos de Realidade Aumentada nas aulas de Matemática para elucidação dos Sólidos de Platão**, 2013.

HU, C.; WANG, Y.; YU, W. Mapping digital image texture onto 3D model from LiDAR data. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 37, n. 5, p. 611–614, 2008.

HU, Z.; UCHIMURA, K. Fusion of vision, gps and 3d gyro data in solving camera registration problem for direct visual navigation. **International Journal of ITS Research**, v. 4, n. 1, p. 3–12, 2006. Disponível em: <<http://trid.trb.org/view.aspx?id=869265>>. Acesso em: 11/4/2018.

JIANG, B.; NEUMANN, U.; SUYA YOU. A robust hybrid tracking system for outdoor augmented reality. IEEE Virtual Reality 2004. **Anais...** . p.3–275, 2004. IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1310049/>>. Acesso em: 11/4/2018.

JÚNIOR, G. DE P. S. **Desenvolvimento de sistema de geolocalização em realidade aumentada para multiplataforma móvel**, 2015. Uberlândia: Dissertação de mestrado (Progma de pós-graduação em engenharia elétrica) Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14599>>. Acesso em: 11/4/2018.

KALKUSCH, M.; LIDY, T.; KNAPP, N.; et al. Structured visual markers for indoor pathfinding. The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit. **Anais...** . p.8, 2002. IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1107018/>>. Acesso em: 11/4/2018.

KALMAN, R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. **Journal of Basic Engineering**, v. 82, n. 1, p. 35, 1960. Disponível em: <<http://fluidsengineering.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1430402>>. Acesso em: 11/4/2018.

KANBARA, M.; YOKOYA, N.; TAKEMURA, H. A stereo vision-based augmented reality system with marker and natural feature tracking. Proceedings Seventh International Conference on Virtual Systems and Multimedia. **Anais...** . p.455–462, 2001. IEEE Comput. Soc. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/969700/>>. Acesso em: 11/4/2018.

KIRNER, C.; JÚNIOR, N. C.; BUK, C. V.; KIRNER, T. G. Visualização de Dados em Ambientes com Realidade Aumentada. 7th Symposium on Virtual Reality. **Anais...** . v. V.1, p.45–48, 2004. Piracicaba. Disponível em: <www.lbd.dcc.ufmg.br/colecoes/wra/2004/0012.pdf>. Acesso em: 8/10/2017.

KIRNER, C.; KIRNER, T. G. **Realidade virtual e aumentada: aplicações e tendências**. Uberlândia, 2011.

KLEIN, G. **Visual tracking for augmented reality**, 2006. Cambridge: Tese de Doutorado (Department of Engineering) University of Cambridge. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/093c/f4c7cf2779cf5f5d8fa2215774d443c2ff21.pdf>>. Acesso em: 11/4/2018.

KLEIN, G.; MURRAY, D. Parallel Tracking and Mapping for Small AR Workspaces. 2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. **Anais...** . p.1–10, 2007. Oxford: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4538852/>>. Acesso em: 7/3/2018.

KLEINMAN, J. Augmented reality glasses: what you can buy now (or soon). Disponível em: <<https://www.tomsguide.com/us/best-ar-glasses,review-2804.html>>. Acesso em: 11/4/2018.

KRAUS, K. **Photogrammetry**. 2^o ed. Berlin, 2004.

LIMA, J. P. S. DO M. **Realidade aumentada sem marcadores multiplataforma utilizando rastreamento baseado em modelo**, 2010. Recife: Dissertação de mestrado (Centro de Informática) - Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/2292>>. Acesso em: 11/4/2018.

LIMA, J. P.; SIMÕES, F.; FIGUEIREDO, L.; KELNER, J. Model Based Markerless 3D Tracking Applied to Augmented Reality. **SBC**

Journal on 3D Interactive Systems, v. 1, p. 2–15, 2010. Disponível em: <<http://cin.ufpe.br/~in1123/material/10038.pdf>>. Acesso em: 3/4/2018.

LOCH, C.; LAPOLLI, E. . **Elementos básicos de fotogrametria e sua utilização prática**. Florianópolis-SC: Editora UFSC, 1994.

LOEBLEIN, G. Fabricante de tratores testa Google Glass em unidade de Canoas. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/colunistas/gisele-loeblein/noticia/2017/08/fabricante-de-tratores-testa-google-glass-em-unidade-de-canoas-9868965.html>>. Acesso em: 11/4/2018.

LUHMANN, T.; ROBSON, S.; KYLE, S.; HARLEY, I. **Close Range Photogrammetry**. Scotland, Reino Unido: Whittles Publishing, 2006.

MANTYJARVI, J.; PATERNO, F.; SALVADOR, Z.; SANTORO, C. Scan and tilt. Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services - MobileHCI '06. **Anais...** . p.191, 2006. New York, New York, USA: ACM Press. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1152215.1152256>>. Acesso em: 11/4/2018.

MATEUS, L. M. C. **Contributos para o projecto de conservação, restauro e reabilitação. Uma metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3D terrestres**, 2012. Tese de Doutorado (Faculdade de Arquitetura) - Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em: <http://home.fa.utl.pt/~lmmateus/inv_cons/VOLUME_1_web.pdf & http://home.fa.utl.pt/~lmmateus/inv_cons/VOLUME_2_web.pdf>. .

MENDES, A. L. **O potencial da realidade aumentada para dispositivos móveis no Brasil como recurso de interatividade no espaço urbano**, 2015. São Paulo: Dissertação (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo.

MILGRAM, P.; KISHINO, F. A Taxonomy of Mixed Reality Visual-Displays. **Ieice Transactions on Information and Systems**, v. E77d, n. 12, p. 1321–1329, 1994. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/231514051%0AA>>. Acesso em: 11/4/2018.

MOHRING, M.; LESSIG, C.; BIMBER, O. Video see-through AR on consumer cell-phones. **Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality**, , n. Ismar, p. 3–4, 2004.

NASCIMENTO, R.; AMARO, A. C.; BEÇA, P.; CARVALHO, F. Realidade aumentada em dispositivos móveis: modelos de navegação e interação e modelos de visualização de informação. **Revista Comunicando: os novos caminho da comunicação**, v. 2, p. 14, 2013. Disponível em: <<http://www.revistacomunicando.sopcom.pt/edicao/37>>. Acesso em: 11/4/2018.

NEUMANN, U.; YOU, S. Natural feature tracking for augmented reality. **IEEE Transactions on Multimedia**, v. 1, n. 1, p. 53–64, 1999. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/748171/>>. Acesso em: 22/1/2017.

NISTER. Preemptive RANSAC for live structure and motion estimation. Proceedings Ninth IEEE International Conference on Computer Vision. **Anais...** . v. 16, p.199–206 vol.1, 2003. IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1238341/>>. Acesso em: 11/4/2018.

NURENE – NÚCLEO REGIONAL NORDESTE. **Esgotamento Sanitário - Projetos e construção de sistemas de esgotamento sanitário**. Salvador, 2008.

OPENMVG. Structure from motion point cloud calculating. Disponível em: <<http://openmvg.readthedocs.io/en/latest/>>. Acesso em: 11/4/2018.

PEREIRA, C. C. **A importância do cadastro técnico multifinalitário para elaboração de planos diretores**, 2009. Florianópolis: Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em engenharia civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92748>>. Acesso em: 11/4/2018.

PITERI, M. A.; JUNIOR, MESSIAS MENEGUETTE SANTOS, A. G. DOS; OLIVEIRA, F. F. Triangulação de Delaunay e o princípio de inserção randomizado. Simpósio Brasileiro de Geomática. **Anais...** . p.655–663, 2007. Presidente Prudente.

PORTALÉS, C.; LERMA, J. L.; NAVARRO, S. Augmented reality and photogrammetry: A synergy to visualize physical and virtual city environments. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 65, n. 1, p. 134–142, 2010. Valencia, Espanha: Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.10.001>>. Acesso em: 11/4/2018.

PRESSIGOUT, M.; MARCHAND, E. Real-time hybrid tracking using edge and texture information. **International Journal of Robotics Research**, v. 26, n. 7, p. 689–713, 2007.

REGINA, A.; CUPERSHMID, M.; CLAUDIA, L.; et al. 123DMOAI: Realidade Aumentada a partir de fotogrametria digital. SIGRaDi 2017, XXI Congresso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital. **Anais...** . p.8, 2017.

REITMAYR, G.; DRUMMOND, T. Going out: robust model-based tracking for outdoor augmented reality. 2006 IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. **Anais...** . p.109–118, 2006. Cambridge: IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4079263/>>. .

REMONDINO, F. From point cloud to surface the modeling and

visualization problem. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. **Anais...** . p.12, 2003. Tarasp-Vulpera, Suíça. Disponível em: <<https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/147851>>. Acesso em: 11/4/2018.

RENEVIER, P.; NIGAY, L.; BOUCHET, J.; PASQUALETTI, L. Generic interaction techniques for mobile collaborative mixed systems. **Computer-Aided Design of User Interfaces IV**. p.309–322, 2005. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/1-4020-3304-4_25>. Acesso em: 6/2/2018.

ROVADOSKY, D. S.; PAVAN, W.; DALBOSCO, J.; CERVI, C. R. Uma aplicação de realidade aumentada para dispositivo móvel com sistema operacional Android. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 4, n. 1, p. 25–37, 2012. Passo Fundo. Disponível em: <<http://www.upf.br/seer/index.php/rbca/article/view/1813>>. Acesso em: 11/11/2017.

SCHEER, S.; ITO, A. L. Y.; AYRES FILHO, C.; AZUMA, F.; BEBER, M. Impactos do uso do sistema CAD geométrico e do uso do sistema CAD-BIM no processo de projeto em escritórios de arquitetura. VII Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios. **Anais...** , 2007. Disponível em: <<http://www.cesec.ufpr.br/workshop2007/Artigo-30.pdf>>. Acesso em: 11/4/2018.

SHEN, Z.; JIANG, L. An augmented 3D iPad mobile application for communication, collaboration, and learning (CCL) of building MEP systems. *Computing in Civil Engineering (2012)*. **Anais...** . p.204–212, 2012. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/9780784412343.0026>>. Acesso em: 7/2/2018.

SICILIANO, P. B.; KHATIB, O. **Springer Handbook of Robotics**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008.

SILTANEN, S. **Theory and applications of marker-based augmented reality**. Kopyjyvä Oy, Finlândia, 2012.

SIMÕES, F. P. M. **Realidade aumentada sem marcadores a partir de rastreamento baseado em textura – Uma abordagem baseada em pontos de interesse e filtro de partículas**, 2011. Recife: Dissertação de mestrado (Pós-graduação em Ciências da Computação) - Universidade Federal de Pernambuco.

SKRYPNYK, I.; LOWE, D. G. Scene Modelling, Recognition and Tracking with Invariant Image Features. Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. **Anais...** . p.110–119, 2004. IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1383048/>>. Acesso em: 11/4/2018.

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; CORDEIRO NETTO, O. D. M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 18, n. 6, p. 1713–1724, 2002. Brasília. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/%0D/csp/v18n6/13268.pdf>. Acesso em: 7/6/2017.

SPECK, H. J. **Proposta de método para facilitar a mudança das técnicas de projetos: da prancheta à modelagem sólida (CAD) para empresas de engenharia de pequeno e médio porte**, 2005. Florianópolis: Tese de Doutorado (Pós-graduação em engenharia de produção) Universidade Federal de Santa Catarina.

SUDARSHAN, S. K. **Augmented reality in mobile devices**, 2017. San José: Dissertação de mestrado (Department of Software Engineering) - San José State University.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Belém-PA, 2006.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo, 1999.

VACCHETTI, L.; LEPETIT, V.; FUA, P. Combining edge and texture information for real-time accurate 3D camera tracking. **ISMAR 2004: Proceedings of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality**, , n. Ismar, p. 48–57, 2004.

VLAHAKIS, V.; IOANNIDIS, M.; KARIGIANNIS, J.; et al. Archeoguide: an augmented reality guide for archaeological sites. **IEEE Computer Graphics and Applications**, v. 22, n. 5, p. 52–60, 2002. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/1028726/>>. Acesso em: 11/4/2018.

VUFORIA. Image target. Disponível em: <<https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Training/Image-Target-Guide.html>>. Acesso em: 11/4/2018.

WAGNER, D.; REITMAYR, G.; MULLONI, A.; DRUMMOND, T.; SCHMALSTIEG, D. Pose tracking from natural features on mobile phones. 2008 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality. **Anais...** . p.125–134, 2008. IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4637338/>>. Acesso em: 11/4/2018.

WANG, R.; ZHAO, F.; LUO, H.; LU, B.; LU, T. Fusion of Wi-Fi and bluetooth for indoor localization. Proceedings of the 1st international workshop on Mobile location-based service - MLBS '11. **Anais...** . p.63, 2011. New York, New York, USA: ACM Press. Disponível em: <<http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2025876.2025889>>. Acesso em: 12/12/2017.

WEILER, K. J. **Topological structures for geometric modeling**, 1986. Troy, Nova Yorque, USA: Tese de Doutorado - Rensselaer Polytechnic Institute.

WLOKA, M. M.; ANDERSON, B. G. Resolving occlusion in augmented reality. **Proceedings of the 1995 symposium on Interactive 3D graphics - SI3D '95**, p. 5–12, 1995. Disponível em: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=199404.199405>>. .

YANAGA, S. S. **Fotogrametria digital à curta distância na documentação do patrimônio arquitetônico – estudo de caso**, 2006. Florianópolis-SC: Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina.

ZHOU, H.; ZHANG, T. The combination of SfM and monocular SLAM. The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC). **Anais...** . p.5282–5286, 2014. IEEE. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6853123/>>. .

ZUCATELLI, G. F.; PHILIPS, J. W.; WATASHI, D. B. Fotogrametria Aplicada ao Monitoramento de Taludes em Loteamentos Urbanos – Estudo de Caso. VII Conferencia Brasileira sobre Estabilidade de Encostas. **Anais...** , 2017. Florianópolis: ABMS. Disponível em: <<http://www.cobrae2017.com.br/arearestrita/apresentacoes/68/4161.pdf>>. Acesso em: 15/12/2017.