
**Uma aplicação para suporte a atividades de
manutenção em campo baseada em Realidade
Aumentada sem uso de marcadores**

Giuliano Ferreira Dela Coleta



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Uberlândia
2023

Giuliano Ferreira Dela Coleta

**Uma aplicação para suporte a atividades de
manutenção em campo baseada em Realidade
Aumentada sem uso de marcadores**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de concentração: Processamento da Informação
Linha de Pesquisa: Computação Gráfica

Orientador: Alexandre Cardoso

Coorientador: Gerson Flavio Mendes de Lima

Uberlândia

2023

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C694 Coleta, Giuliano Ferreira Dela, 1978-
2023 Uma aplicação para suporte a atividades de manutenção
em campo baseada em Realidade Aumentada sem uso de
marcadores [recurso eletrônico] / Giuliano Ferreira Dela
Coleta. - 2023.

Orientador: Alexandre Cardoso.

Coorientador: Gerson Flavio Mendes de Lima.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Engenharia Elétrica.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2023.109>

Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica. I. Cardoso, Alexandre, 1964-,
(Orient.). II. Lima, Gerson Flavio Mendes de, 1969-,
(Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia.
Pós-graduação em Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDU: 621.3

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4707 - www.posgrad.feelt.ufu.br - copel@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Elétrica				
Defesa de:	Tese de Doutorado, 315, PPGEELT				
Data:	Quinze de fevereiro de dois mil e vinte e três	Hora de início:	08:00	Hora de encerramento:	12:00
Matrícula do Discente:	11613EEL004				
Nome do Discente:	Giuliano Ferreira Dela Coleta				
Título do Trabalho:	Uma aplicação para suporte a atividades de manutenção em campo baseada em Realidade Aumentada sem uso de marcadores				
Área de concentração:	Processamento da Informação				
Linha de pesquisa:	Metodologia e Técnicas da Computação				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Coordenador do Projeto: Alexandre Cardoso Título do projeto: Desenvolvimento de Ambientes Virtuais para Utilização no Ensino de Componentes, Estruturas, Equipamentos e Usinas de Geração de Energia Elétrica Agência Financiadora: CAPES, Fapemig, CNPq – bolsas de pesquisa Início: 2006 Término: em andamento No. do Projeto na agência: N/A				

Reuniu-se por meio de videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores: Edgard Afonso Lamounier Júnior - FEELT/UFU; Márcio José da Cunha - FEELT/UFU; Gérson Flávio Mendes de Lima - CGW; Antônio Carlos Sementille - UNESP; Alexandre Carvalho Silva - IFGoiano; Alexandre Cardoso - FEELT/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Alexandre Cardoso, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Gerson Flavio Mendes de Lima, Usuário Externo**, em 15/02/2023, às 11:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Edgard Afonso Lamounier Junior, Professor(a) do Magistério Superior**, em 15/02/2023, às 12:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Antonio Carlos Sementille, Usuário Externo**, em 15/02/2023, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Cardoso, Professor(a) do Magistério Superior**, em 16/02/2023, às 10:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **ALEXANDRE CARVALHO SILVA, Usuário Externo**, em 16/02/2023, às 10:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcio José da Cunha, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/02/2023, às 16:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **4198549** e o código CRC **FDA1222D**.

*Este trabalho é dedicado à minha família:
Alessandra, Vítor e Lucas.*

Agradecimentos

À minha querida esposa, Alessandra, pela cumplicidade de todos estes anos,
Aos meus filhos, Vítor e Lucas, pelo apoio e compreensão durante todo o período do programa de Doutorado,
Aos meus pais, José Augusto Dela Coleta e Marília Ferreira Dela Coleta, por me incentivarem a sempre buscar o melhor caminho: da dedicação, honestidade e integridade,
Aos meus irmãos, Marcelo e Graziella. Cada um buscou um caminho profissional distinto, mas sempre estiveram em união e atitude de apoio com a família,
Ao meu sogro, Cabral de Menezes, pelo incentivo constante na missão de evoluir na carreira acadêmica,
Ao meu cunhado Leonardo, que compartilhou experiências valiosas durante todo o programa de Doutorado,
Ao meu orientador, professor Alexandre Cardoso, um mestre inspirador e apoiador, que esteve sempre presente, iluminando a trilha da pesquisa,
Aos professores Gerson Flavio Mendes de Lima e Edgard Afonso Lamounier Júnior, que sempre se mostraram disponíveis e ajudaram a remover as barreiras desta grande missão,
Aos colegas de Faculdade Mateus Fernandes e Maurício Aureliano Júnior, cujas contribuições foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho,
Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia e todos seus docentes.

*“Julgue seu sucesso pelas coisas que você teve que renunciar para conseguir.”
(Dalai Lama)*

Resumo

Nos últimos anos, várias aplicações baseadas em Realidade Aumentada (RA) foram desenvolvidas para uso em dispositivos móveis, com a popularização de aparelhos mais acessíveis e com mais tecnologia embarcada. De forma mais recente, a Realidade Aumentada tem sido procurada também pelas empresas, que vislumbraram a possibilidade de sua aplicação, visando obter diminuição de custos em diversas atividades operacionais, como, por exemplo tarefas de manutenção. A motivação deste trabalho surgiu da constatação de um problema atual das operadoras de telecomunicações, que é a manutenção de um cadastro de rede óptica atualizado e disponível de forma online, com informações de localização geográfica e utilização dos elementos de rede. Avaliando-se publicações e aplicações comerciais relacionadas a este tema em específico, percebe-se algumas iniciativas que fazem uso de tecnologias juntamente com RA, como por exemplo reconhecimento de imagens ou geolocalização. No entanto, as aplicações desenvolvidas não exploram o benefício de utilização de todos esses recursos de forma combinada. O objetivo deste trabalho é a construção de uma aplicação denominada “ARNet”, baseada em Realidade Aumentada, dados georreferenciados e reconhecimento de imagens em dispositivos móveis, de forma a possibilitar que um usuário receba a identificação de um equipamento de rede óptica desejado diretamente na tela de seu *smartphone*, bem como informações adicionais que auxiliem suas tarefas de interação com o equipamento. A proposta deste trabalho apresenta uma solução distinta sobre o uso de RA em atividades de manutenção, na medida em que busca informações sobre o objeto de interesse em tempo real, em uma base de dados existente, integrando técnicas de reconhecimento de imagens com dados sobre a posição geográfica do objeto e permitindo ao usuário atualizar informações relacionadas a ele, ao término de suas atividades. Uma revisão sistemática foi executada, com o objetivo de confrontar abordagens já implementadas que pudessem contribuir para o desenvolvimento da solução. Também foram efetuados testes em uma aplicação comercial, e avaliados estudos de caso relacionados a este tema. A aplicação proposta foi então desenvolvida e validada por um estudo de caso, aplicando o sistema em atividades de instalação de fibra óptica, executadas por técnicos de campo. O reconhecimento de imagens funcionou de forma adequada, ocorrendo a correta identificação do equipamento georreferenciado e exibindo a informação solicitada através de RA. Verificou-se, assim, que a aplicação proposta pode ser utilizada para tarefas de técnicos de telecomunicações em campo e trazer redução do tempo médio de manutenção e maior precisão das informações necessárias ao trabalho dos técnicos.

Palavras-chave: Realidade Aumentada; Telecomunicações; FTTH; Gestão de ativos.

Abstract

In recent years, several Augmented Reality (AR)-based applications have been developed for use on mobile devices, along with the large offer of more accessible devices with significant embedded technology. More recently, Augmented Reality has also been sought by companies, which have envisioned the possibility of its application, obtaining cost savings in several operational activities, such as maintenance tasks. The motivation for this work arose from the observation of a current problem for telecommunications operators, which is the maintenance of an updated optical network register available online, with information regarding geographic location and use of network elements. By evaluating publications and commercial applications related to this specific topic, it is possible to find some initiatives that apply technologies along with AR, such as image recognition or geolocation. However, the developed applications do not explore the benefit of using all those resources combined. The objective of this work is the implementation of a new application, called “ARNet”, based on Augmented Reality, geographical data and image recognition on mobile devices, in order to allow a user to receive the identification of a desired optical network equipment directly on the screen of his smartphone, as well as additional information to assist his tasks of interacting with the equipment. The proposal of this work brings a novel solution for the use of AR in maintenance activities, as it fetches information about a desired object in real time, in an existing database, integrating image recognition techniques with information regarding the geographical position of the object and allowing the user to update information related to it, at the end of his activities. A systematic review was carried out to compare approaches already implemented that could contribute to the development of the solution. Tests were also carried out in a commercial application, and case studies related to this theme were evaluated. The proposed application was then developed and validated by a case study, applying the system to fiber optics installation activities, performed by field technicians. The image recognition worked properly, with the correct identification of the georeferenced object and displaying the requested information through AR. It was verified, therefore, that the proposed application can be used for tasks performed by field technicians and can reduce the average maintenance time and provide greater accuracy of the information needed by the technicians.

Keywords: Augmented Reality; Telecommunications; FTTH; Assets management.

Lista de ilustrações

Figura 1 – <i>Hype Cycle</i> para tecnologias emergentes.	22
Figura 2 – Principais tecnologias emergentes e tendências.	23
Figura 3 – <i>Hype Cycle</i> para tecnologias e aplicações de suporte e atendimento a clientes.	24
Figura 4 – Categorias de aplicações de Realidade Aumentada na indústria.	26
Figura 5 – Representação da realidade/virtualidade contínua.	35
Figura 6 – Algoritmos de detecção de rostos	36
Figura 7 – Serviço de vigilância por reconhecimento facial.	37
Figura 8 - Tecnologias envolvidas na Computação Geoespacial Móvel.	39
Figura 9 – Resultados de busca por estabelecimentos no aplicativo <i>Google Maps</i> .	40
Figura 10 – Estrutura geral da biblioteca OpenCV	42
Figura 11 – Filtros de Haar	43
Figura 12 – Conjunto de 8 pixels binários construído a partir da vizinhança de um pixel central	44
Figura 13 – Cálculo do valor decimal 23, formado a partir da sequência de bits dos vizinhos do pixel central	45
Figura 14 – Gravação do valor LBP calculado	45
Figura 15 – Código LBP calculado para um pixel de uma imagem	46
Figura 16 – Fluxograma do classificador LBP	46
Figura 17 – Comparativo do tempo de execução e nível de precisão entre os classificadores Haar e LBP	47

Figura 18 - Ilustração dos cinco estágios de filtragem	50
Figura 19 - Diálogo com vídeo entre o técnico de campo e o especialista	58
Figura 20 - Instruções exibidas automaticamente ao <i>tablet</i> do técnico utilizando Realidade Aumentada	59
Figura 21 - Técnico equipado com óculos de Realidade Aumentada	60
Figura 22 - Visualização de posição dos cabos subterrâneos através de Realidade Aumentada	60
Figura 23 - Sistema implementado por Ogushi	61
Figura 24 - Funcionamento do sistema proposto por Ogushi	62
Figura 25 - Equipamento de rede utilizado para os testes por Bergenti et al.	63
Figura 26 – Componente de tracking do framework implementado por Zhang et al.	65
Figura 27 – Resultados de testes realizados com a versão baseada em visão computacional por Zhang et al.	66
Figura 28 – Resultado de teste realizado com a versão baseada em sensores de Zhang et al.	66
Figura 29 – Imagem da aplicação desenvolvida, com os 3 modos de operação	68
Figura 30 - Visualização da interseção de dutos, com interação do usuário aplicando zoom na área mostrada na tela	68
Figura 31 - Etapas de utilização do app de RA da empresa TechSee.	75
Figura 32 - Técnico efetuando uma montagem de turbina e acessando em seus óculos inteligentes um vídeo que o auxilia sobre um detalhe da atividade	76

Figura 33 - Pontos de dados carregados em um mapa no site do ARCGIS®	77
Figura 34 - Visualização em um <i>smartphone</i> de um “pop-up” no AuGeo®	78
Figura 35 – Imagem extraída do vídeo “Urban Futurability” da Enel	79
Figura 36 – Descrição do aplicativo AuGeo® instalado no dispositivo móvel	81
Figura 37 – Novo mapa criado no software ARCGIS®	81
Figura 38 – 25 pontos carregados no mapa do software ARCGIS® Online	83
Figura 39 – Propriedades de cada item carregado no mapa	83
Figura 40 – Visualização dos elementos de rede carregados no mapa	84
Figura 41 – Indicação do elemento de rede próximo ao usuário	85
Figura 42 – Indicação dos dois elementos de rede que se encontram no campo de visão do usuário	85
Figura 43 – Arquitetura macro proposta para o sistema	88
Figura 44 – Arquitetura de blocos do sistema	88
Figura 45 – Fluxograma da aplicação ARNet	91
Figura 46 – Técnicas de <i>tracking</i> utilizadas nas publicações selecionadas pela RBS de Palmarini (2018)	93
Figura 47 – Ilustração da arquitetura da rede GPON	99
Figura 48 – Divisores (<i>splitters</i>) da rede GPON	99
Figura 49 – Evolução dos acessos de Banda Larga fixa	101
Figura 50 – Trecho de mapa de rede GPON da Algar Telecom	104

Figura 51 – Software de gerenciamento do mapa de rede	105
Figura 52 – Informações sobre o divisor atualmente exibidas no software de gerenciamento de mapas de rede	106
Figura 53 – Exemplos de imagens adquiridas para composição do conjunto de imagens positivas	108
Figura 54 - Exemplos de imagens adquiridas para composição do conjunto de imagens negativas	108
Figura 55 – Tela inicial da interface GUI Cascade Trainer	110
Figura 56 – Diagrama com os elementos da aplicação ARNet	112
Figura 57 – Caso de uso do procedimento do técnico	116
Figura 58 – Mapa dos elementos de rede	116
Figura 59 – Reconhecimento de postes pela aplicação	117
Figura 60 – Exemplos de postes reconhecidos, com coordenadas geográficas coincidentes com as tabelas de coordenadas	118
Figura 61 – Relação de portas do equipamento selecionado	118
Figura 62 – Opção de marcação de porta	119
Figura 63 – Relação atualizada de status das portas	120
Figura 64 - Resultados de reconhecimento de postes após o treinamento 1	141
Figura 65 - Resultados de reconhecimento de postes após o treinamento 2	143
Figura 66 - Resultados de reconhecimento de postes após o treinamento 3	144

Lista de quadros

Quadro 1 – Quantidade de publicações após cada estágio	50
Quadro 2 – Principais características dos trabalhos avaliados	56
Quadro 3 – Abordagens dos autores dos artigos de referência	71
Quadro 4 – Abordagens dos correlatos comerciais	80
Quadro 5 – Dados utilizados para testes no software AuGeo®	82
Quadro 6 – Elementos utilizados pela aplicação ARNet	94
Quadro 7 – Parâmetros de configuração utilizados	111
Quadro 8 – Exemplo da tabela de dados para consulta	113

Lista de siglas

ARGIS	Augmented Reality Geographic Information System
BIM	Building Information Model
CAD	Computer-aided design
CEPC	Central Electric Power Cooperative
CTO	Caixa de Terminação Óptica
CTOE	Caixa de Terminação Óptica Externa
CV	Computer Vision
FTTH	Fiber to the Home
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
GPON	Gigabit Passive Optical Network
HHD	Hand-Held Device
IPTV	Internet Protocol Television
LBP	Local Binary Pattern
MAR	Mobile Augmented Reality
MD	Mobile Device
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Terminal
RA	Realidade Aumentada
VoD	Video on Demand

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 Motivação	19
1.2 Hipótese	28
1.3 Objetivos da Pesquisa	28
1.4 Metodologia	30
1.5 Contribuição	31
1.6 Organização deste texto	33
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	34
2.1 Conceitos básicos	34
2.1.1 Realidade Aumentada	34
2.1.2 Visão Computacional	36
2.1.3 Computação Geoespacial Móvel	38
2.1.4 Biblioteca OpenCV	41
3 TRABALHOS CORRELATOS	48
3.1 Revisão Bibliográfica Sistemática	48
3.1.1 Definição da Questão	48
3.1.2 Busca de Publicações	49
3.1.3 Avaliação da Qualidade dos Estudos	49
3.1.4 Estudos Selecionados	51
3.1.5 Artigos de referência	57
3.1.5.1 Cordonnier, Michel et al., 2017	57
3.1.5.2 Ogushi, Ikutaro et al., 2013	61
3.1.5.3 Bergenti, Federico et al., 2014	63
3.1.5.4 Zhang et al., 2016	65
3.1.5.5 Ortega et al., 2019	67
3.1.6 Avaliação preliminar das publicações	69
3.1.7 Análise Comparativa dos Artigos de Referência	70

3.2 Correlatos Comerciais	72
3.2.1 Estudo de Caso – CEPC	72
3.2.2 Estudo de Caso – Techsee	74
3.2.3 Estudo de Caso – General Electric	75
3.2.4 Estudo de Aplicação Comercial – AuGeo ®	76
3.2.5 Projeto “Urban Futurability” da ENEL	78
3.3 Análise Comparativa dos Correlatos Comerciais	79
3.4 Testes com a aplicação comercial: AuGeo ®	80
3.4.1 Etapas dos testes	80
3.4.2 Conclusões dos testes	86
4 ARQUITETURA DA SOLUÇÃO ARNET	87
5 DETALHES DA IMPLEMENTAÇÃO	98
5.1 A Rede GPON	98
5.2 Cenário de uma empresa de Telecomunicações	100
5.3 Estudo de Caso	106
5.3.1 Coleta de amostras	107
5.3.2 Treinamento	109
5.3.3 Utilização da aplicação	113
6 RESULTADOS	115
7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	121
7.1 Aspectos gerais	121
7.2 Trabalhos futuros	122
7.3 Considerações finais	124
REFERÊNCIAS	
APÊNDICE A – TRECHOS DE CÓDIGOS	
APÊNDICE B – RESULTADOS DA ETAPA DE TREINAMENTO	

Coleta, G. F. D., Cardoso, A., Lamounier Júnior, E. A., Lima, G. F. M. & Fernandes, M. (2022). Um framework baseado em Realidade Aumentada como apoio a atividades de manutenção em campo. *Research, Society and Development*, 11(13), p. e242111335336. DOI: 10.33448/rsd-v11i13.35336.

<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/35336>.

Coleta, G. F. D., Cardoso, A., Lamounier Júnior, E. A., Lima, G. F. M. (2019). Telecommunications Field Operations Supported by Augmented Reality – a Systematic Review. *2019 21st Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, p. 77–83. IEEE. DOI: 10.1109/SVR.2019.00028.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8921137>.

APRESENTAÇÕES EM EVENTOS CIENTÍFICOS

Coleta, G. F. D., Cardoso, A., Lamounier Júnior, E. A., Lima, G. F. M. Telecommunications Field Operations Supported by Augmented Reality – a Systematic Review. *Full Paper presentation of the XXI Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR, 2019)*, Rio de Janeiro-RJ, October 28th - 31st, 2019.

1. Introdução

Este capítulo contextualiza o tema da pesquisa, o problema a ser resolvido e seus objetivos. São apresentadas as hipóteses levantadas para nortear o desenvolvimento do trabalho. A metodologia é descrita, e por fim é apresentada a estrutura deste documento.

1.1 Motivação

Aplicações baseadas em Realidade Aumentada vêm ganhando cada vez mais espaço e popularidade no mercado. Existem distintas necessidades a serem atendidas por aplicativos baseados em Realidade Aumentada. A rápida proliferação dos *smartphones* provê uma possibilidade de atendimento a milhões de usuários. Nos últimos anos, as aplicações de Realidade Aumentada se expandiram a inúmeros campos de aplicação (GALLALA et al., 2019). Além da popularização dos *smartphones*, outro responsável por este efeito é a facilidade de desenvolvimento de aplicativos para os dispositivos móveis (BOTTANI et al., 2019).

Um exemplo de benefício desta abordagem é o observado em atividades de treinamento, em que os alunos atingem melhores resultados e demonstram maiores níveis de motivação, atenção e confiança em aprender se for utilizada a tecnologia de Realidade Aumentada (CHIANG et al., 2014). Além disso, verifica-se que o uso da RA permite maior velocidade na transferência de conhecimento (RAMIREZ et al., 2013). Pela Realidade Aumentada, os educadores obtêm acesso a uma poderosa ferramenta para (1) engajar, estimular e motivar os alunos a explorar os assuntos da aula de diferentes perspectivas (KERAWALLA et al. 2006); (2) facilitar o ensino de assuntos aos quais os estudantes provavelmente não terão acesso no mundo real (por

exemplo, astronomia, geografia, história) (SHELTON, HEDLEY, 2002); (3) melhorar a colaboração entre professor e aluno (BILLINGHURST, 2002); (4) ajudar a alavancar a imaginação e criatividade (KLOPFER, YOON, 2004); e (5) permitir aos estudantes controlar o ritmo e direção de seu aprendizado (HAMILTON, OLENEWA, 2011).

Avaliando de forma mais específica uma modalidade de ensino que é o treinamento corporativo, verifica-se que em diversas aplicações o auxílio de um aplicativo aumenta a efetividade e diminui o risco inerente a algumas atividades de ensino e manutenção que seriam feitas em campo (ALAVIKIA et al., 2019). Os *smartphones* oferecem ao trabalhador de campo possibilidades de criar, acessar, processar, armazenar e comunicar informações sem restrições relacionadas a um determinado local físico (ALEKSY et al., 2014).

Com relação a atividades de instalação e manutenção, distintas pesquisas demonstram os benefícios em se utilizar a Realidade Aumentada como auxílio para o técnico em campo, seja no campo de engenharia de telecomunicações (OGUSHI, 2013), atividades de manutenção de uma concessionária de energia elétrica (CORDONNIER et al., 2017; ALAVIKIA et al., 2019) ou na construção civil (OLBRICH et al., 2013; LAMBERTI et al., 2014) e sugerem a continuidade do desenvolvimento de facilidades adicionais para aumentar a eficiência dos trabalhos realizados, e diminuir a incidência de erros.

As atividades industriais assistidas por Realidade Aumentada podem trazer ganho geral de desempenho, reduzindo erros e o tempo necessário para as tarefas (QUINT et al., 2017), como por exemplo em um estudo que demonstrou uma redução de 30% do tempo necessário para a fabricação de uma estrutura de asa de avião, quando os trabalhadores estavam equipados com *tablets* (CERUTI et al., 2019). Além do ganho de tempo e performance, outros benefícios da utilização da RA nas atividades industriais são: reduzir a probabilidade de falhas, atualizar o trabalhador

sobre condições do ambiente, diminuir a utilização de papéis e aumentar o nível de segurança (MARTINETTI et al., 2017).

É fundamental, no entanto, considerar os aspectos de percepção do usuário, ergonomia e usabilidade das aplicações (DEL AMO et al., 2018). Um ponto de atenção especial diz respeito à visualização da informação, ou seja, a forma como as informações serão apresentadas ao usuário, de forma a maximizar a cognição (CARDOSO, 2019). Outros desafios são as dificuldades do usuário por falta de concentração ou fadiga, baixa velocidade de transmissão de dados, ou custo das aplicações (MASOOD; EGGER, 2019).

A tendência da utilização da tecnologia de Realidade Aumentada tem sido objeto de estudo de consultorias de tecnologia.

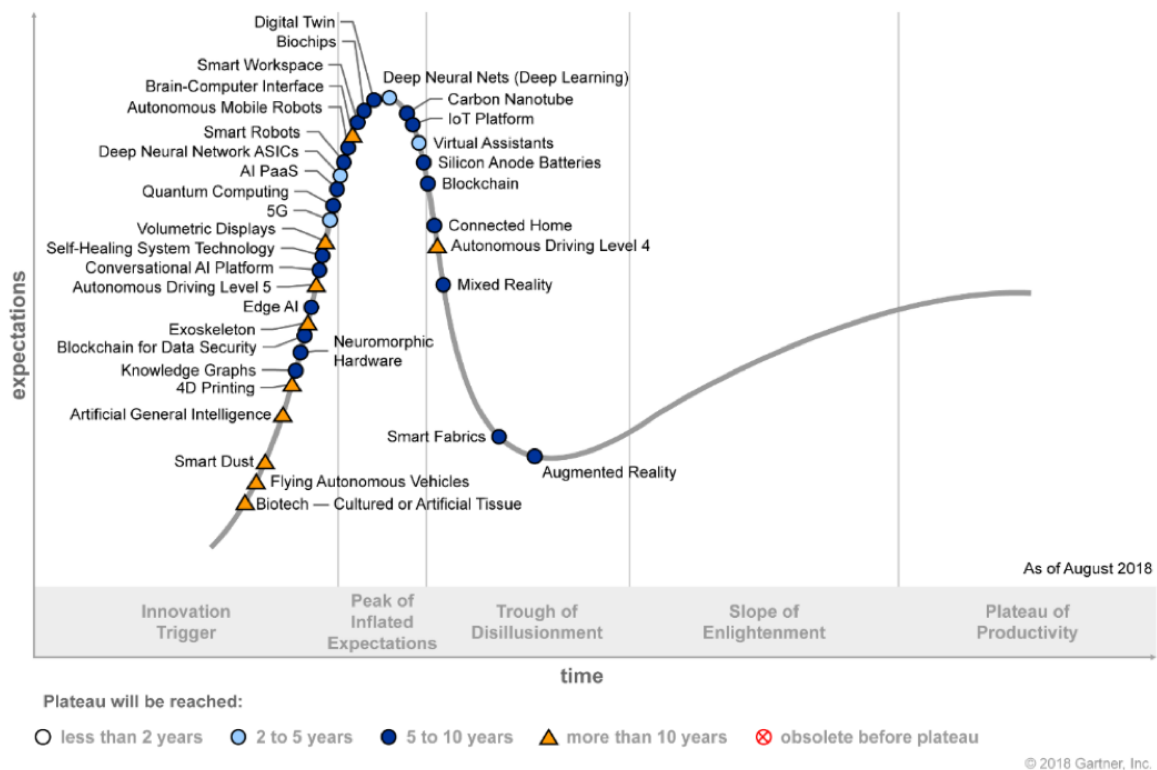
Como exemplo, a Figura 1 ilustra o estágio de diversas tecnologias de acordo com o grupo Gartner em 2018. Trata-se do *Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*. Ele é uma representação gráfica dos estágios do ciclo de vida de novas tecnologias, desde a concepção até a maturidade.

Esta ferramenta de análise de tendências foi criada pelo grupo Gartner, uma empresa norte-americana de pesquisa em Tecnologia da Informação. Os 5 estágios são:

- a) *Innovation trigger*: início da divulgação de uma nova tecnologia;
- b) *Peak of inflated expectations*: auge das expectativas a respeito da tecnologia;
- c) *Trough of disillusionment*: queda da curva, indicando que houve um exagero nas expectativas geradas;
- d) *Slope of enlightenment*: entendimento de como de fato a nova tecnologia pode ser melhor aproveitada e tudo o que ela tem a oferecer;
- e) *Plateau of productivity*: caracterizada pela aceitação do grande público, após ter sido aprimorada e conseguir atender às necessidades da forma esperada.

Nota-se que a Realidade Aumentada neste período ainda não se encontrava em um estágio maduro. Sendo assim, o caminho natural seria a evolução das aplicações, passando a provocar mudanças significativas e impactando de forma global o cotidiano das pessoas.

Figura 1: *Hype Cycle* para tecnologias emergentes (Agosto/2018)



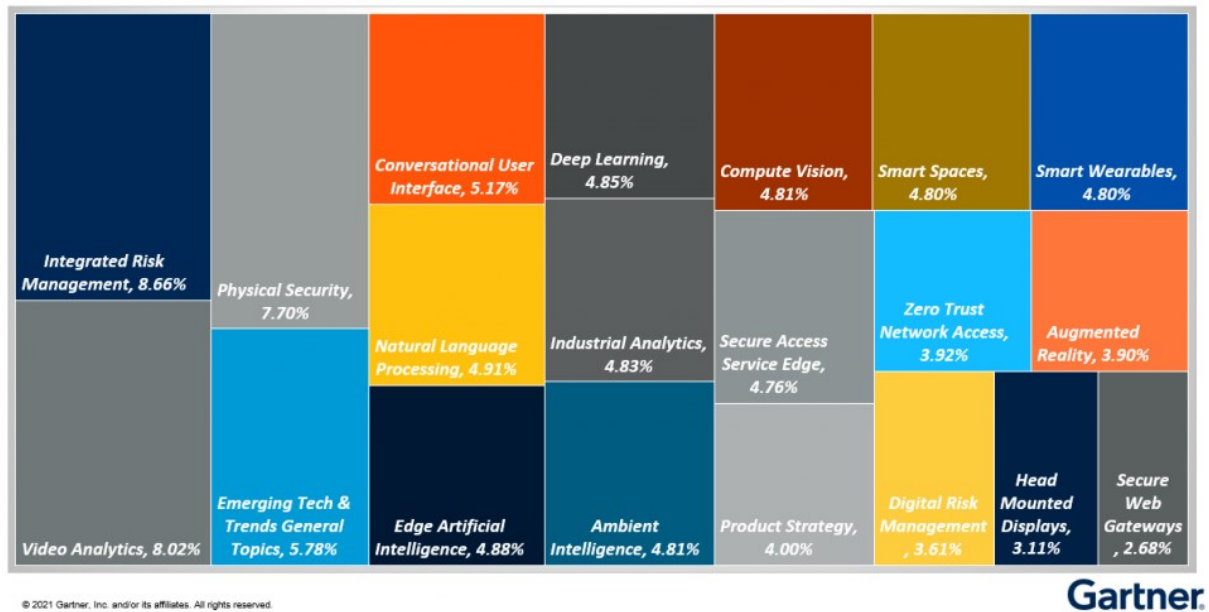
Fonte: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2018-08-20-gartner-identifies-five-emerging-technology-trends-that-will-blur-the-lines-between-human-and-machine>>.

Acesso em: 18/12/19.

Da mesma forma, o relatório *Top Emerging Technologies and Trends Topics 2020*, do mesmo Instituto Gartner, considera a Realidade Aumentada como uma tendência de tecnologias emergentes, conforme mostrado na Figura 2. Este mesmo relatório também considera como uma tendência a Visão Computacional, que também foi utilizada na aplicação desenvolvida neste trabalho.

Figura 2: Principais tecnologias emergentes e tendências (Dezembro/2020).

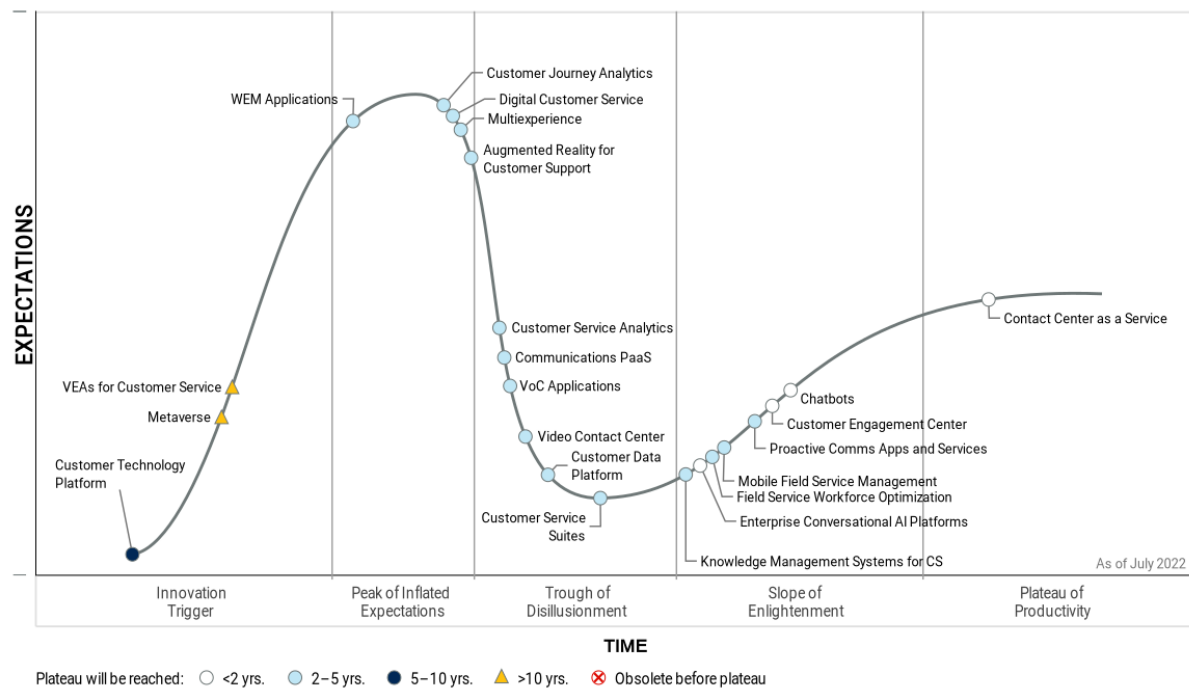
Top Emerging Technologies & Trends Topics - 2020



Fonte: <<https://blogs.gartner.com/john-wheeler/gartners-top-20-emerging-technologies-and-trends-topics-for-2020/>>. Acesso em: 14/02/21.

A Figura 3 lista tecnologias e aplicações de suporte e atendimento a clientes, e em qual estágio de maturidade o grupo Gartner considera que cada uma se encontrava em 2022. Dois itens merecem destaque por estarem relacionados ao escopo deste trabalho. São eles: “Mobile Field Service Management” e “Field Service Workforce Optimization”, que se encontram no início do estágio denominado *Slope of enlightenment*.

Figura 3: *Hype Cycle* para tecnologias e aplicações de suporte e atendimento a clientes
(Agosto/2022).



Fonte: <<https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2022-08-17-gartner-identifies-four-pillars-driving-technology-innovation-in-customer-service-and-support-organizations>>.

Analisando-se as aplicações de Realidade Aumentada na indústria, diversas opções são apresentadas (ALAVIKIA; SHABRO, 2019):

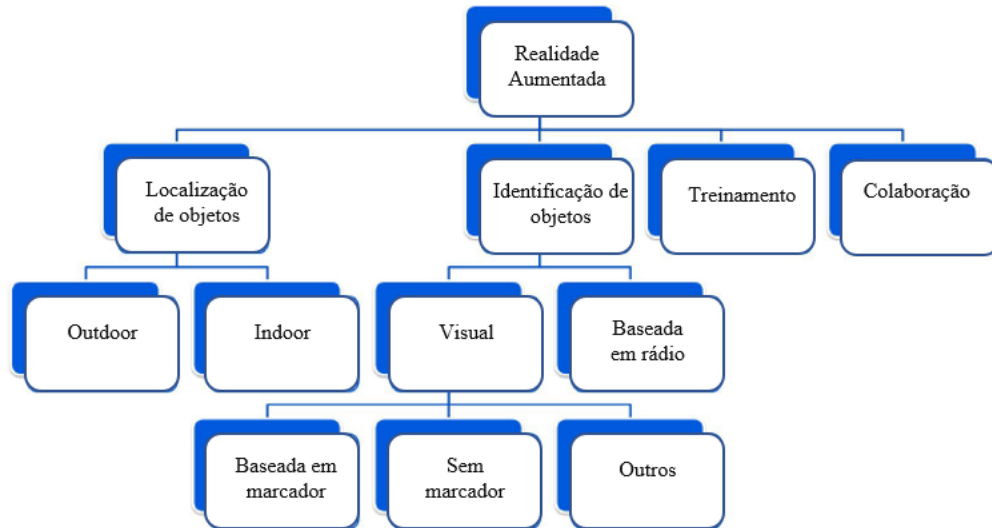
- a) Transferência de conhecimento: A RA pode ser usada para registrar observações e formas de trabalho de empregados mais experientes, de forma que os registros podem ser posteriormente acessados por trabalhadores mais jovens e sem experiência;
- b) Treinamento: O aprendizado pode ser facilitado através de aplicações de RA, que trazem informações adicionais sobre o equipamento objeto de estudo;
- c) Logística: A RA pode auxiliar os trabalhadores a gerenciar o inventário, trazendo informações de procedimentos corretos para armazenagem e retirada de itens do estoque;

- d) Inspeção de ativos: Considerada uma das aplicações mais práticas de RA na indústria, por permitir redução do tempo necessário para cada inspeção;
- e) Assistência remota: Através da RA, um técnico em campo que está, por exemplo, realizando atividades de manutenção em um equipamento, pode tirar suas dúvidas com um especialista remoto. Este tipo de apoio é mais efetivo do que uma chamada de voz tradicional;
- f) Localização de ativos: A RA permite aos funcionários saberem a posição geográfica precisa de um ativo, de forma que podem se deslocar até ele com facilidade e rapidez. Esta abordagem substitui os tradicionais mapas impressos, que acompanham os técnicos ainda nos dias de hoje;
- g) Visualização de equipamentos e estrutura: Informações históricas relacionadas aos ativos podem ser apresentadas ao trabalhador, como por exemplo: localização, comandos relacionados ao ativo, conexões, histórico de inspeções e condições estruturais;
- h) Visualização de ativos ocultos: Muitos ativos em diversas indústrias (ex: rede subterrânea de Telecomunicações ou de Energia elétrica), estão em locais não visíveis diretamente, por exemplo enterrados. Para facilitar a localização destes elementos, os técnicos recorrem a mapas e informações tácitas de sua experiência, o que não confere ao processo a precisão necessária. Usando RA, a localização de ativos ocultos é facilitada;
- i) Consciência da situação (*situational awareness*): o nível de consciência de um empregado é aumentado através da exibição de informações de equipamentos no local onde ele se encontra.

A aplicação desenvolvida neste trabalho está relacionada aos itens: transferência de conhecimento, treinamento, inspeção de ativos, localização de ativos, visualização de equipamentos e estrutura e consciência da situação.

Uma outra forma de categorização de aplicações de Realidade Aumentada é apresentada por ALEKSY et al. (2014), mostrada na Figura 4.

Figura 4: Categorias de aplicações de Realidade Aumentada na indústria.



Fonte: Adaptado de ALEKSY et al. (2014)

A Figura 4 lista quatro categorias principais de aplicações de Realidade Aumentada na indústria, cada uma podendo ter mais de uma modalidade. A aplicação que possui relação direta com este trabalho é a de identificação de objetos, da forma visual.

As indústrias em que a Realidade Aumentada vem provando seu potencial são, dentre outras: automotiva, aviação e manufaturas, nos campos de manutenção, treinamento, montagem e design de produtos (BOTTANI et al., 2019).

A adoção de tecnologias de Realidade Aumentada no suporte a atividades de técnicos de manutenção é certamente um cenário de aplicações considerado um caso de sucesso da aplicação de Realidade Aumentada (ALEKSY et al., 2014); (OLIVEIRA et al., 2013). A visualização das informações é mais eficiente através da Realidade Aumentada em aplicações como localização de ativos e assistência remota, com relação a outras tecnologias (GATTULLO et al., 2017). Estudos da utilização

da RA em atividades de manutenção mostram resultados promissores com relação ao aumento da performance dos técnicos na execução de suas tarefas, com maior gestão de operações e suporte à tomada de decisão (PALMARINI et al., 2018).

Neste contexto de atividades de manutenção, foi evidenciada uma oportunidade de contribuição no setor específico de telecomunicações, para um problema clássico das operadoras, que diz respeito à manutenção de um cadastro de rede confiável. Este tem sido um grande desafio para as operadoras de telecomunicações nas últimas décadas (ZEISS, 2019).

Para otimizar custos com equipe técnica e a qualidade do serviço prestado aos clientes, as operadoras dependem de um cadastro atualizado de todos os seus elementos de rede dispersos nas localidades em que atua. Este cadastro é normalmente impreciso ou desatualizado, mantido em sistemas que geram altos custos anuais de suporte. Visando reduzir erros de cadastro, as operadoras periodicamente contratam serviços de pesquisas de campo para que os equipamentos sejam novamente catalogados e georreferenciados no sistema de cadastro. A manutenção de um cadastro de rede atualizado serve como apoio a planejamento de futuras ampliações da rede, seja em adensamentos de regiões atendidas atualmente ou expansão de rede para novas geografias. Se as tomadas de decisão de investimentos da empresa são baseadas em informações confiáveis, ela pode reduzir o risco de novos projetos e esperar maior retorno sobre os investimentos realizados.

Além das questões de cadastro, outra limitação dos processos de manutenção atuais é a dependência dos técnicos de mapas impressos de rede, que são transportados nos veículos da empresa para facilitar o direcionamento do técnico a cada ponto de manutenção em suas tarefas diárias.

Por fim, a empresa possui severas preocupações com a produtividade de sua equipe, de forma que algum tipo de monitoramento das atividades dos técnicos é desejado, seja para buscar iniciativas para redução do tempo de deslocamento ou

para tornar o tempo de manutenção em cada equipamento o menor possível, sem comprometer a qualidade do serviço prestado.

Visando simplificar as atividades de manutenção e solucionar os problemas listados, foi desenvolvida a aplicação “ARNet”, que será explorada nas seções seguintes deste trabalho.

1.2 Hipótese

A partir da motivação que deu origem à ideia deste trabalho, formula-se uma hipótese que deverá ser comprovada na etapa de avaliação dos resultados:

H1: É possível desenvolver um sistema para dispositivos móveis que integra tecnologias de Realidade Aumentada e Visão Computacional com acesso a bancos de dados de ativos georreferenciados, em um sistema GIS (Geographic Information System) e informações de sensores disponíveis nos dispositivos móveis, aderente às tarefas de manutenção rotineiras de ativos efetuadas por técnicos de telecomunicações, que necessitam de informações atualizadas sobre os ativos, com mobilidade, precisão e de forma prática.

1.3 Objetivos da Pesquisa

Objetivo geral:

Propor uma aplicação da Realidade Aumentada em dispositivos móveis, utilizando visão computacional, coordenadas de GPS (*Global Positioning System*) e utilização de informações geográficas de um banco de dados existente (sistema GIS), sem uso de marcadores, para disponibilizar ao usuário informações relacionadas a

equipamentos e instalações de campo que sejam pertinentes às suas tarefas de manutenção. Esta aplicação visa atender a necessidades de disponibilização de dados de ativos para trabalhadores que se deslocam constantemente, percorrendo os imóveis e equipamentos de uma empresa. Pretende-se validar a aplicação através de um estudo de caso real relacionado a atividades de manutenção em ativos de uma empresa local de telecomunicações, especificamente equipamentos de rede de fibra óptica (GPON).

Objetivos específicos:

Foram definidos os seguintes objetivos específicos para o atingimento do objetivo geral citado:

- a) Construir uma aplicação associada com RA e dispositivos móveis, que integre informações de ativos, disponíveis em bancos de dados existentes disponibilizados na nuvem, com tecnologias de Visão Computacional e coordenadas geográficas obtidas da posição do dispositivo móvel, comparadas com as coordenadas dos ativos;
- b) Possibilitar ao usuário (técnico) o acesso a informações relevantes ao contexto, em seu dispositivo móvel, através da implementação da aplicação proposta;
- c) Capacitar o usuário (técnico) com a opção de modificar as informações exibidas sobre os ativos de rede óptica, para que os registros estejam sempre atualizados nos mapas de projetos e no banco de dados GIS da empresa de telecomunicações;
- d) Validar a utilização da aplicação por meio de um estudo de caso, utilizando o sistema em atividades de instalação de fibra óptica, executadas por técnicos de campo da empresa de telecomunicações;

1.4 Metodologia

Inicialmente, foi realizada uma Revisão Bibliográfica Sistemática, buscando publicações relacionadas à utilização de Realidade Aumentada como apoio a tarefas de manutenção. O processo da Revisão Bibliográfica Sistemática é descrito na seção 3.1 deste trabalho. Ao final do processo, chegou-se a cinco artigos de referência, relacionados de forma mais próxima com a aplicação proposta: Bergenti et al. (2014), Cordonnier et al. (2017), Ogushi et al. (2013), Ortega et al. (2019) e Zhang et al. (2016). Também foram avaliadas aplicações comerciais, com objetivo de identificar lacunas e oportunidades de melhorias das funcionalidades relacionadas com o escopo deste trabalho, bem como comprovar o caráter de ineditismo.

Com o término das etapas de Revisão Bibliográfica Sistemática e estudo de aplicações comerciais existentes, o design da solução proposta foi refinado e passou-se à etapa de implementação. Esta consiste na utilização de Realidade Aumentada fundamentada na aplicação proposta, de forma a disponibilizar aos técnicos de campo de uma empresa de telecomunicações informações relevantes para a realização de suas tarefas diárias de manutenção de redes ópticas passivas. Também foi necessário implementar um sistema de reconhecimento de imagens, e integração com informações de coordenadas geográficas, de forma a aumentar a confiabilidade e precisão do aplicativo. Por fim, uma funcionalidade de feedback foi implementada, para permitir ao usuário alterar informações do banco de dados utilizados.

Houve criação de diversos protótipos que foram sucessivamente aperfeiçoados, visando conferir ao sistema maior eficiência. Todas as versões da aplicação passaram por testes de uso, para permitir identificação e correção de erros, bem como melhorias de performance.

A aplicação desenvolvida foi utilizada em um estudo de caso com equipamentos de rede de uma operadora de telecomunicações com sede em Uberlândia (MG), a Algar Telecom, de forma a validar sua usabilidade e possibilidade de contribuição.

1.5 Contribuição

A pesquisa realizada neste trabalho mostra que houve contribuição na forma de uma arquitetura, que traz algumas inovações com relação ao que está disponível. A aplicação utiliza Realidade Aumentada para exibir ao usuário (técnico) informações relacionadas ao equipamento objeto da manutenção, sem necessidade de utilização de marcadores, com integração com um banco de dados de ativos e coordenadas (sistema GIS da empresa), visão computacional e relacionamento com informações geográficas da posição do usuário.

Conforme será melhor explorado adiante, os trabalhos correlatos avaliados não apresentam uma solução que trate de forma simples o apoio a atividades de manutenção em ativos localizados em ambiente outdoor, referenciados geograficamente em um banco de dados legado, com opção de permitir ao técnico atualização das informações após suas tarefas de manutenção. Ademais, os trabalhos desenvolvidos trazem foco em aplicações de Realidade Aumentada com reconhecimento de objetos, ou com localização de objetos, mas sem combinar estas duas abordagens. A utilização conjunta delas foi incorporada à aplicação desenvolvida, o que trouxe ganhos relacionados à precisão da aplicação.

A solução desenvolvida resolve os seguintes problemas listados na seção 1.1:

- a) Erros de cadastro: o técnico tem em mãos, em seu *smartphone*, ou *tablet*, a aplicação que identifica cada elemento de rede em campo, trazendo por meio de Realidade Aumentada informações como: nome do equipamento,

coordenadas, e relação de portas disponíveis. Esta base de dados é acessada em tempo real, diretamente no sistema de cadastro da operadora. Se for verificada pelo técnico, no momento da manutenção, alguma inconsistência entre as características do equipamento e o cadastro, existe a opção do técnico solicitar diretamente na aplicação uma correção da informação. Adicionalmente, ao fim de sua atividade de instalação de fibra óptica para um cliente, por exemplo, o técnico realiza na aplicação a marcação da porta que foi utilizada, e esta informação é atualizada em tempo real no sistema de cadastro da operadora. Desta forma, a atividade de designação de portas aos clientes ocorre de forma precisa e integrada com o banco de dados da área de operações da empresa de Telecom, eliminando necessidade de envolvimento de mais pessoas no processo, por exemplo da área de *backoffice*;

- b) Os técnicos não precisam mais carregar mapas impressos, visto que a aplicação provê um mapa 2D com visão aérea, identificando a posição e orientação do técnico, e mostra a ele os elementos de rede mais próximos, bem como a distância de deslocamento até cada um. Além disso, a identificação do elemento de rede de interesse é mais rápida do que se fossem utilizados mapas impressos, pois estes dependem da capacidade de leitura e interpretação espacial do mapa de rede;
- c) Sobre o acompanhamento da atividade dos técnicos, assim que uma atividade de manutenção é encerrada, o técnico atualiza as portas disponíveis do equipamento em que efetuou o serviço. Isto permite à empresa gerar estatísticas sobre a quantidade de manutenções por dia para cada técnico, bem como verificar se o roteiro indicado a ele no início do dia foi seguido (sequência de manutenções em equipamentos diferentes).

1.6 Organização deste texto

Este trabalho é constituído por sete capítulos.

O primeiro capítulo apresenta a introdução. Neste capítulo exploram-se: a motivação, os objetivos gerais e específicos, as hipóteses levantadas, a contribuição desejada e a metodologia escolhida para o desenvolvimento do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica do trabalho, listando os principais conceitos envolvidos.

O terceiro capítulo consiste na Revisão Sistemática da Literatura que foi executada, visando avaliar as contribuições já feitas sobre o tema e verificar se a proposta do novo sistema é relevante. Também são mostrados alguns correlatos comerciais (aplicações). Exploram-se os resultados obtidos com a realização de testes em uma aplicação comercial disponível, visando mostrar a viabilidade da solução proposta.

O quarto capítulo descreve a arquitetura da proposta apresentada neste trabalho.

O quinto capítulo apresenta detalhes de implementação, abordando o estudo de caso executado em um ambiente de trabalho real de uma empresa de telecomunicações.

O sexto capítulo analisa os resultados obtidos com a aplicação do estudo de caso.

O sétimo capítulo contém a conclusão do trabalho. É feita uma avaliação da relevância do tema proposto e de sua aplicação prática, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

Este capítulo apresenta conceitos básicos de Realidade Aumentada, Visão Computacional, Computação Geoespacial Móvel e da biblioteca OpenCV, que fazem parte da solução que é apresentada ao longo deste trabalho.

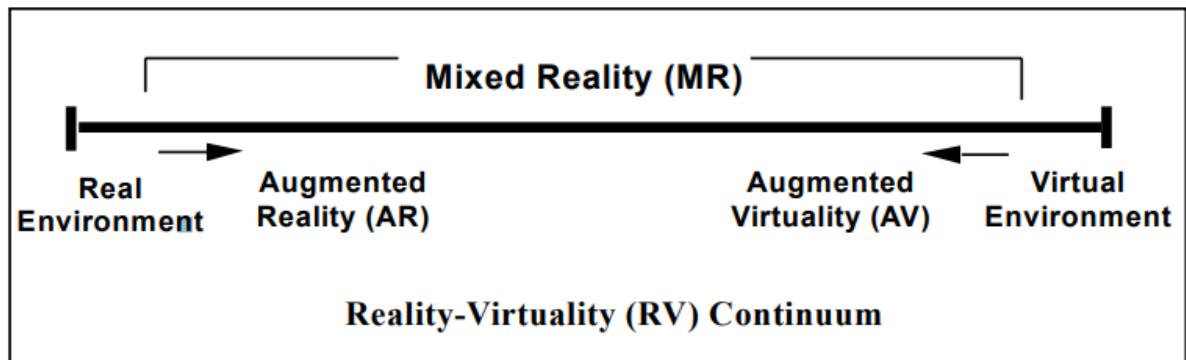
2.1 Conceitos básicos

2.1.1 Realidade Aumentada

Realidade Aumentada é o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real (TORI e HOUNSELL, 2020).

O conceito de realidade/virtualidade contínua foi proposto pelo professor Paul Milgram em 1994. Neste conceito, a mistura de mundos reais e virtuais ocorre em algum ponto da realidade/virtualidade contínua, que conecta ambientes completamente reais a ambientes completamente virtuais, da forma representada pela Figura 5 (MILGRAM et al., 1994). Neste contexto, o usuário interage com elementos virtuais projetados dentro do ambiente real.

Figura 5: Representação da realidade/virtualidade contínua.



Fonte: MILGRAM et al. (1994).

No contexto da tarefa de entrada de dados, a RA pode ser classificada pelo critério da forma de rastreamento (WANG et al., 2016): Quando se usam recursos de processamento da imagem capturada para fazer o rastreamento dos objetos virtuais, tem-se a RA baseada em visão; quando estes objetos virtuais estão associados a algum tipo de sensor, tem-se a RA baseada em sensores (TORI et al., 2018).

Normalmente, dispositivos móveis como, por exemplo, *tablets* ou *smartphones* são utilizados como interface para combinar a perspectiva do usuário com o ambiente físico em que a informação, por exemplo texto ou imagens, será sobreposta (ALAVIKIA et al., 2019). A mobilidade é um fator chave para o uso da RA, de forma que o usuário possa interagir com o ambiente em qualquer local e momento (BILLINGHURST et al., 2015).

Existe também a definição de MAR (Mobile Augmented Reality), para os sistemas que atendem a quatro requisitos (CHATZOPOULOS, 2017):

- a) Combinam objetos reais e virtuais;
- b) São interativos e em tempo real;
- c) Registram e alinham objetos reais e virtuais entre si; e
- d) Apresentam a visão aumentada em um dispositivo móvel.

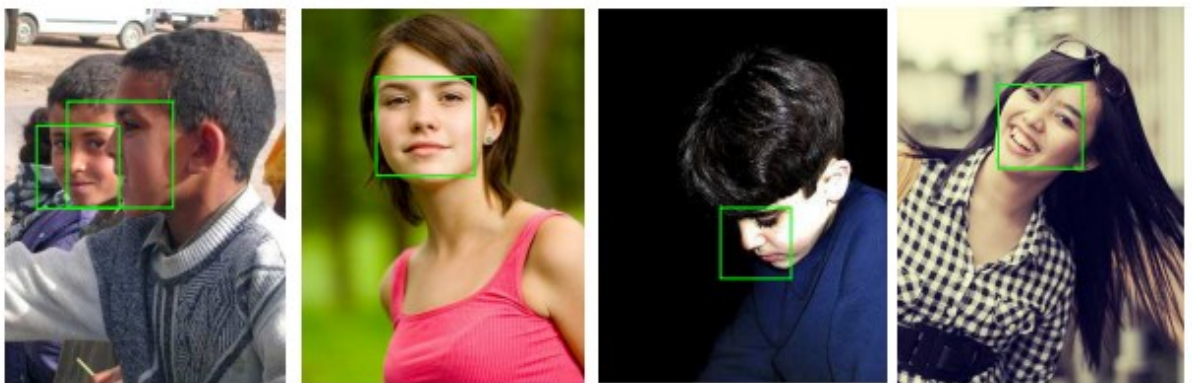
2.1.2 Visão Computacional

A visão computacional procura integrar as áreas de Processamento Digital de Imagens e Inteligência Artificial, tendo como objetivo a obtenção de algoritmos capazes de interpretar o conteúdo visual de imagens. Suas aplicações estão presentes em diversos segmentos tecnológicos que envolvem análise de imagens, reconhecimento de padrões e controle inteligente, abrangendo múltiplas áreas do conhecimento (NEVES et al., 2012).

As pessoas vêm utilizando cada vez mais o processamento de imagens e a visão computacional em suas vidas cotidianas. Sistemas de manufatura, análise de imagens médicas, veículos autônomos e verificação de impressões digitais são ótimos exemplos do uso destas tecnologias (NIXON, 2019).

Um uso de visão computacional bastante comum atualmente é o reconhecimento de pessoas em imagens, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Algoritmos de detecção de rostos. São destacadas as áreas reconhecidas com retângulos na cor verde.



Fonte: QIN et al. (2016).

Um exemplo mais específico de utilização de Visão Computacional é a detecção de rostos conhecidos, tecnologia que vem sendo aprimorada e que já constitui uma ferramenta importante no apoio a sistemas de vigilância das autoridades na China.

Outra vantagem do sistema de reconhecimento facial mencionado é a implementação de uma lista de restrição de cidadãos procurados pelos órgãos de segurança e fiscalização, que são facilmente reconhecidos e localizados pelo sistema, assim de forma oculta e não invasiva (LOPES, 2018). O sistema se apoia em tecnologias de inteligência artificial e *Big Data*. A Figura 7 ilustra esta aplicação.

Figura 7: Serviço de vigilância por reconhecimento facial.

a: Monitoramento de transeuntes em uma rua de Beijing, mostrado em um telão.

b: Policial chinesa utiliza óculos inteligentes com funcionalidade de reconhecimento facial.



Fonte: <<https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2019/01/19/a-sociedade-mais-vigiada-do-mundo-como-a-china-usa-o-reconhecimento-facial.htm>>. Acesso em: 03/02/2020.

A visão computacional é particularmente útil quando se deseja identificar objetos sem a utilização de marcadores. Desta forma, os algoritmos empregados buscam reconhecer o objeto através de padrões e contornos das suas formas, por comparação com um conjunto de imagens catalogadas do objeto que deve ser reconhecido. Um software disponível pode ser destacado: o Vuforia (VUFORIA, 2020), que permite que desenvolvedores utilizem seu algoritmo de visão computacional para integrar soluções de Realidade Aumentada.

Na utilização de aplicativos deste tipo, o primeiro passo é a definição de um “alvo”, uma imagem que sirva como referência para ser rastreado pelo algoritmo de reconhecimento. Em seguida, o usuário define a ação que deseja que ocorra, quando

esta imagem for reconhecida. Esta ação pode ser a visualização de um texto, ou uma imagem, ou um objeto 3D. Após a definição da imagem “alvo” e da ação desejada, o funcionamento da aplicação pode ser verificado, assim que o usuário apontar a câmera de seu dispositivo móvel para o objeto desejado. Quando isto ocorrer, o sistema projeta a ação definida na tela de seu dispositivo móvel.

Os principais desafios da integração da Realidade Aumentada com a Visão Computacional podem ser concentrados em três grupos:

- a) Etapa de aquisição e reconhecimento da imagem: a efetividade depende de condições climáticas, de foco, iluminação, e posição do usuário em relação ao objeto. Estes fatores críticos de sucesso puderam ser evidenciados durante a Revisão Bibliográfica Sistemática que foi realizada neste trabalho, e serão discutidos ao longo deste trabalho.
- b) Etapa de disposição de elementos textuais e imagens na tela do dispositivo móvel: para garantir a usabilidade adequada da aplicação, cuidado especial deve ser tomado na escolha das fontes, cores, tamanho e posição em que as informações serão exibidas na tela do usuário;
- c) Performance geral do sistema: o tempo de resposta depende das condições de acesso à Internet, da extensão do banco de dados de imagens usado como referência para reconhecimento dos objetos e das características de processador de memória do dispositivo móvel.

2.1.3 Computação Geoespacial Móvel

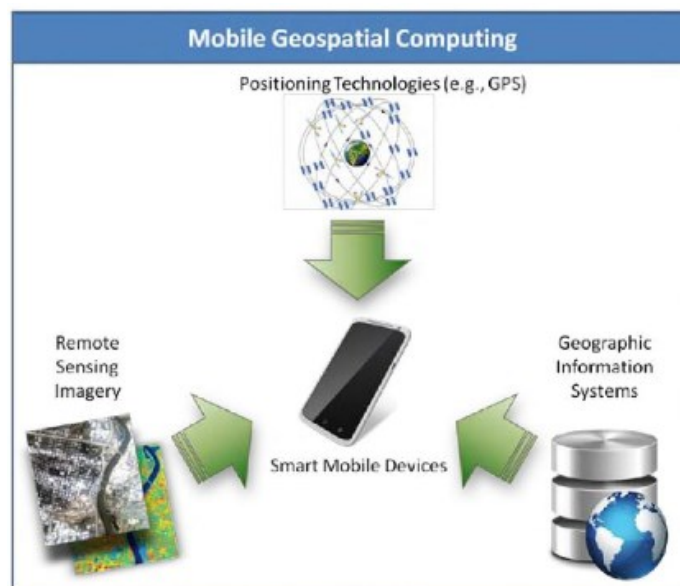
O GPS é um sistema de navegação baseado em satélites, criado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos na década de 70 (EL-RABBANY, 2002). Inicialmente, seu uso era militar, mas posteriormente o uso civil foi liberado. O sistema fornece ao usuário informações relacionadas à sua posição, através de

cruzamento de dados de satélites, posicionados de forma a garantir que o sistema funcione sob qualquer condição climática (EL-RABBANY, 2002). A queda do custo de hardware ao longo das últimas décadas permitiu que a tecnologia GPS fosse embarcada em *smartphones*.

A computação geoespacial pode ser definida como um conjunto de tarefas computacionais que envolvem dados geográficos (CHEN; GUINNESS, 2014).

Com a popularização dos *smartphones*, que possuem diversos sensores embarcados, dentre eles o GPS, surgiu o conceito de Computação Geoespacial Móvel, que pode ser traduzida como a convergência das tecnologias GPS, Imagens de Satélite disponíveis ao público em geral, e sistemas GIS, conforme a Figura 8 (CHEN; GUINNESS, 2014).

Figura 8: Tecnologias envolvidas na Computação Geoespacial Móvel.

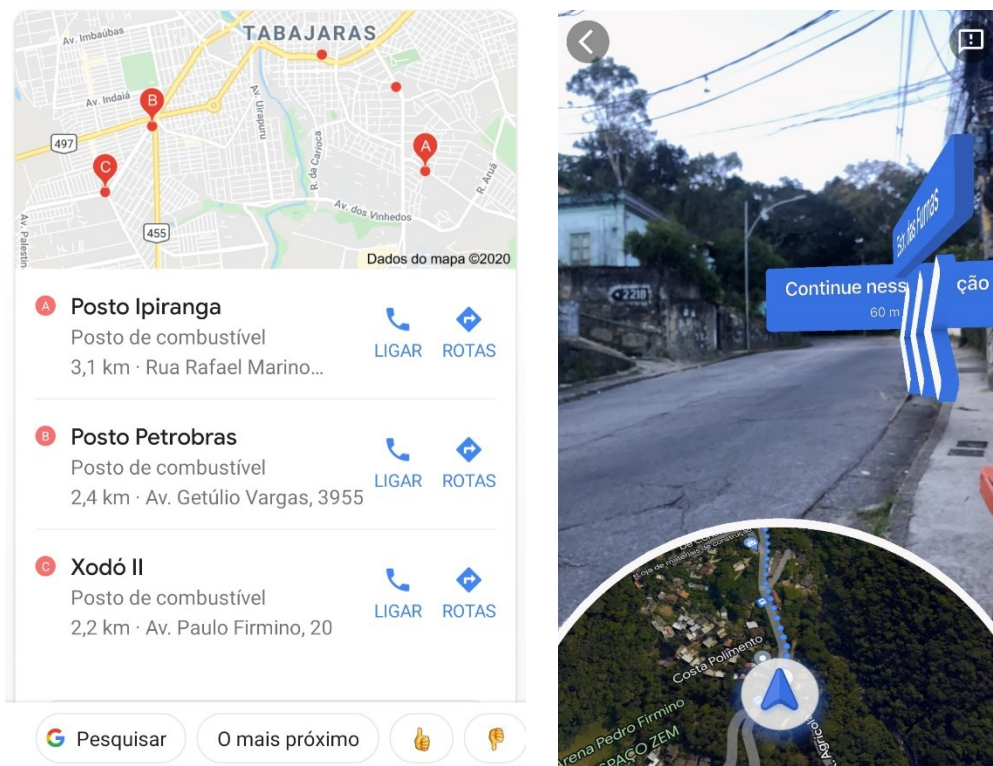


Fonte: CHEN & GUINNESS (2014).

O termo ARGIS refere-se à combinação entre as tecnologias de Realidade Aumentada e de Sistemas de Informações Geográficas, permitindo ao usuário visualizar dados geográficos em aplicações em seu dispositivo móvel (BOULOS et al., 2017).

Diversas aplicações têm se beneficiado da facilidade de uso do GPS em dispositivos móveis. Por meio das coordenadas do usuário, que podem ser obtidas de seu dispositivo móvel, é possível mostrar ao usuário informações relevantes ao contexto em que se encontra, ou seja, sua posição geográfica. Um exemplo desta abordagem é o recurso de auxiliar o usuário a localizar um posto de gasolina em uma localidade desconhecida por ele. Este caso se constitui em uma aplicação de Computação Geoespacial Móvel, ou seja, integração das tecnologias GPS e GIS, pois são cruzadas informações da posição atual do usuário com dados georreferenciados (coordenada geográfica de cada posto de gasolina), disponíveis em mapas. Os resultados encontrados são mostrados na tela do *smartphone* do usuário, conforme ilustrado pela Figura 9.

Figura 9: Resultados da busca por estabelecimentos (postos de gasolina) próximos ao usuário, realizada em um *Smartphone*, no aplicativo *Google Maps*.



Fonte: Aplicativo Google Maps.

Conforme ilustrado pela Figura 9, o mesmo sistema possui também funcionalidades de Realidade Aumentada, mostrando ao usuário a direção a seguir para se direcionar a um ponto de interesse selecionado, bastando para isso que ele selecione o modo de deslocamento a pé, dê permissão para o aplicativo acessar a câmera do seu dispositivo móvel e o mova em diversas direções em torno de si, buscando uma indicação em sua tela através de Realidade Aumentada. Neste exemplo, a aplicação aponta com uma seta e um texto a direção a ser seguida para se chegar ao ponto de interesse, com uma visão mais fácil de ser interpretada do que o tradicional mapa bidimensional. Para este modelo de funcionamento, devem ser considerados também dados provenientes da bússola do dispositivo, além do GPS, para que seja possível estimar a direção em que o usuário está apontando o dispositivo.

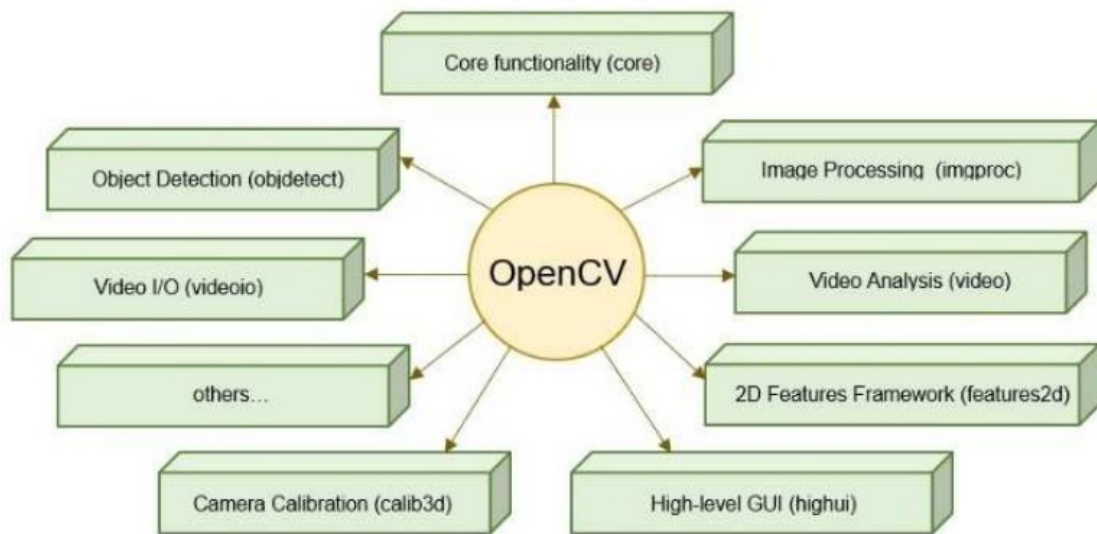
Outro exemplo de aplicação que faz uso do conceito de Computação Geoespacial Móvel é o AuGeo®, aplicativo móvel de Realidade Aumentada lançado pela ESRI Labs em 2017, com o objetivo de permitir aos usuários visualizarem seus dados GIS em um ambiente de Realidade Aumentada. Este aplicativo será explorado na seção 3.2.4 deste texto.

2.1.4 Biblioteca OpenCV (operador estatístico)

A OpenCV (*Open Source Computer Vision*) é uma biblioteca de programação de código aberto que tornou a Visão Computacional mais acessível para os desenvolvedores. Ela possui integração com as linguagens C e C++, Python e Java.

A estrutura geral da OpenCV é ilustrada na Figura 10.

Figura 10: Estrutura geral da biblioteca OpenCV



Fonte: RALEV et al. (2022)

A biblioteca OpenCV possui estrutura modular, sendo seus componentes (RALEV et al., 2022):

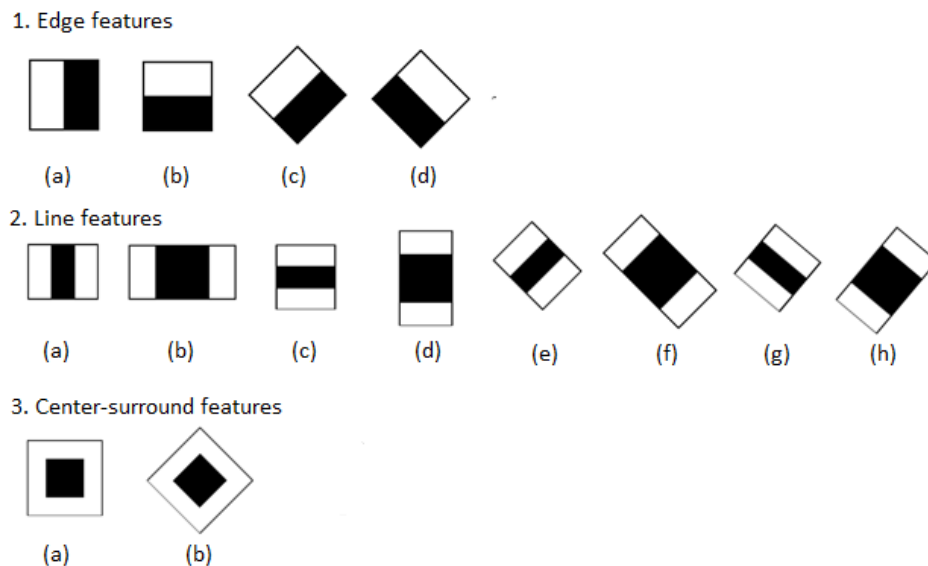
- a) Funcionalidade central (core) – definição de estruturas e funções básicas de dados;
- b) Processamento de imagem (imgproc) - usado para processamento de imagem, que inclui filtragem linear e não linear, transformações geométricas, conversão de espaço de cores, dentre outros;
- c) Análise de vídeo (video) - análise e processamento de vídeo, incluindo remoção de fundo, estimativa de movimento e rastreamento de objetos;
- d) Calibração de câmera e reconstrução 3D (calib3d) - calibração de uma câmera 3D, determinação da posição de um objeto, dentre outras funções;
- e) Framework de funcionalidades 2D (features2d) - define descritores e correspondências de descritores;
- f) Objdetect - Detecção de objetos de classes predefinidas (por exemplo, gestos, rostos ou objetos);

- g) Interface gráfica de usuário de alto nível (highgui) - interface de fácil utilização para recursos de interface de aplicativo simples;
- h) Entrada/saída de vídeo (videoio) - interface de captura de vídeo;
- i) Outros módulos - módulos de ajuda do Python, Google, dentre outros.

A OpenCV utiliza detectores baseados em *cascades* (cascata). Eles são chamados assim pois treinam uma árvore de decisão em que cada nível analisa um conjunto de atributos diferentes e avalia se esses atributos representam ou não o objeto de interesse (Medium, 2018).

A OpenCV disponibiliza dois tipos de modalidades para treinamento de cascades: Haar e LBP (Local Binary Pattern). Atributos Haar são extraídos por subtração de diferentes pixels da imagem de acordo com as máscaras mostradas na Figura 11.

Figura 11: Filtros de Haar.



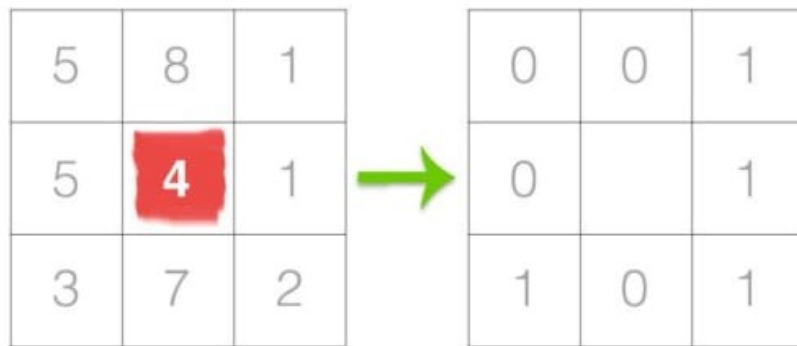
Fonte: Medium (2018)

Por sua vez, o LBP é um descritor de texturas que calcula uma representação local de textura, construída comparando cada pixel com sua vizinhança de 8 pixels (PYIMAGESEARCH, 2015).

Os passos desse processo são os seguintes:

- a) Conversão da imagem original para *grayscale* (escala de tons de cinza);
- b) Para cada pixel desta imagem, um valor LBP é calculado e armazenado em um *array* de mesma largura e altura que a imagem original, conforme ilustrado na Figura 12;

Figura 12: Conjunto de 8 pixels binários construído a partir da vizinhança de um pixel central.

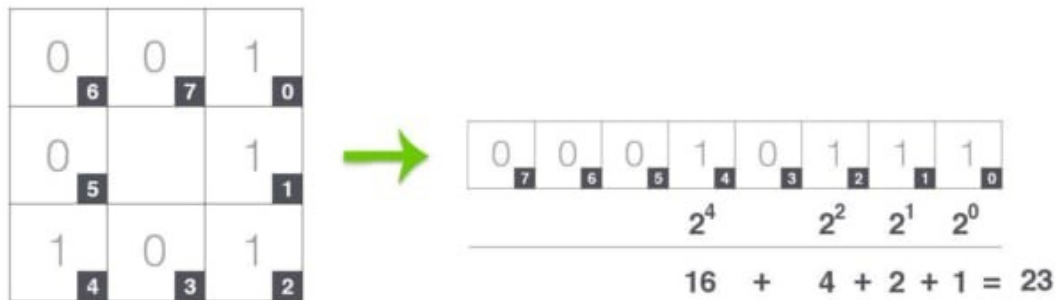


Fonte: PYIMAGESEARCH (2015)

Na figura 12, o pixel central, destacado em vermelho, é comparado com seus 8 pixels vizinhos. Se o valor do pixel central for maior ou a igual a um pixel vizinho, então o valor do pixel vizinho é definido para 1, caso contrário é definido como valor igual a zero.

Em seguida, é calculado o valor LBP para pixel central. Este número é uma representação decimal da sequência de 8 bits formada pelos dígitos binários mostrados na Figura 12. O cálculo do valor LBP do pixel central é ilustrado pela Figura 13.

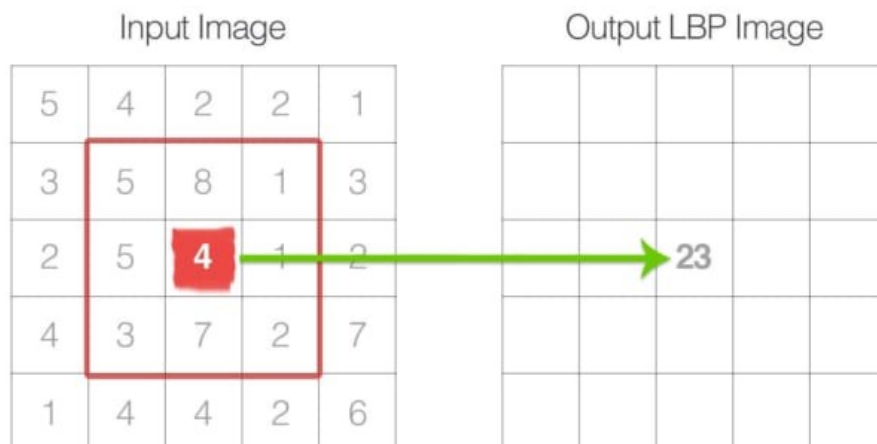
Figura 13: Cálculo do valor decimal 23, formado a partir da sequência de bits dos vizinhos do pixel central.



Fonte: PYIMAGESEARCH (2015)

Em seguida, o valor LBP é armazenado em uma matriz de mesmas dimensões da imagem original, conforme mostrado na Figura 14.

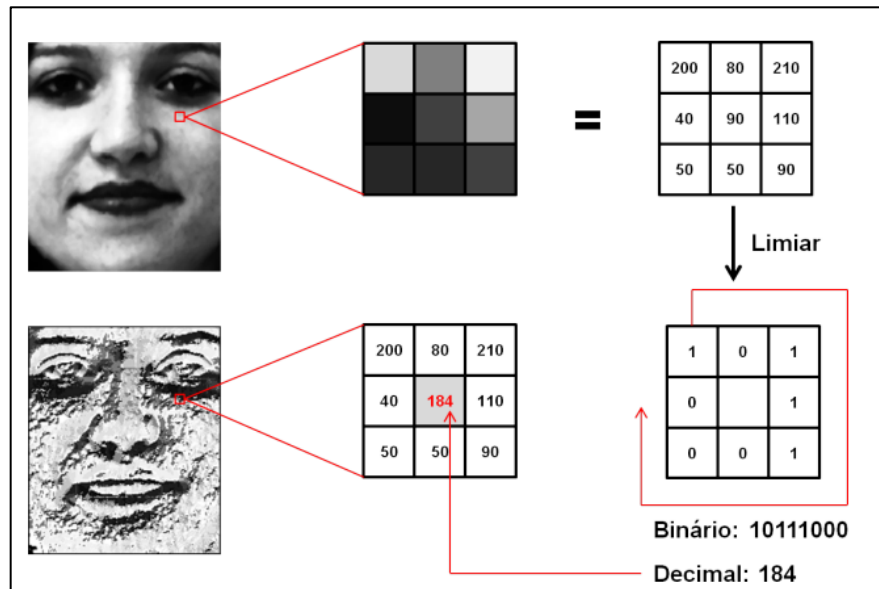
Figura 14: Gravação do valor LBP calculado.



Fonte: PYIMAGESEARCH (2015)

Em seguida, esses passos são repetidos para cada pixel da imagem original. O processo completo é ilustrado pela Figura 15, em que pode ser verificada a imagem resultante de todos os pixels processados pelo descritor LBP.

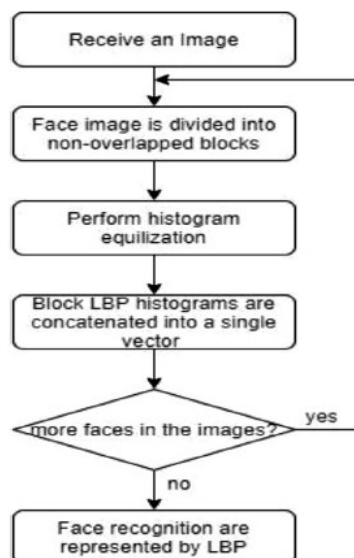
Figura 15. Código LBP calculado para um pixel, com valor decimal resultante 184.



Fonte: AMARAL et al. (2013).

Um exemplo de fluxograma do classificador LBP aplicado para reconhecimento de faces é mostrado na Figura 16.

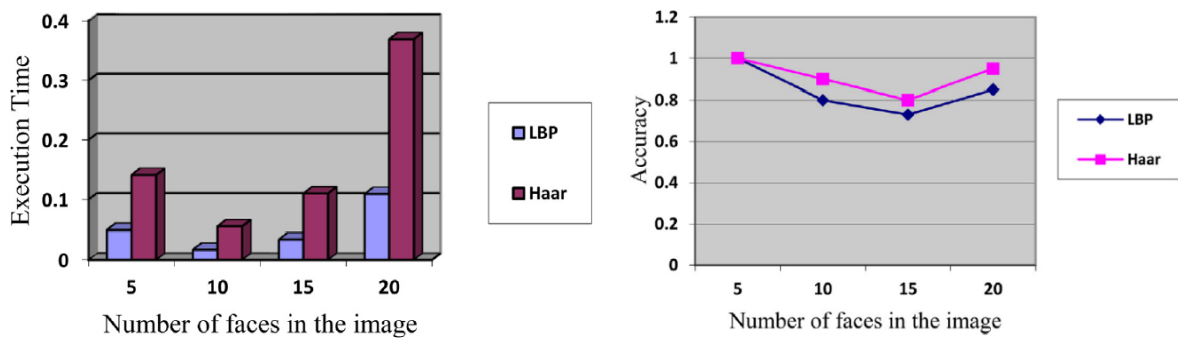
Figura 16. Fluxograma do classificador LBP.



Fonte: SHETTY et al (2021).

A vantagem do método LBP sobre o método Haar é o tempo de processamento consideravelmente menor. Sua desvantagem é a perda de acurácia do reconhecimento, como pode ser mostrado na Figura 17, em uma aplicação que envolveu reconhecimento de faces.

Figura 17: Comparativo do tempo de execução e precisão de classificadores Haar e LBP



Fonte: SHETTY et al. (2021)

Para a aplicação desenvolvida (ARNet), o método LBP foi aplicado em um conjunto de imagens contendo elementos que se pretende reconhecer (postes de iluminação pública). O método LBP foi escolhido para a aplicação porque verificou-se que ele é mais adequado para a realização de detecção de texturas únicas ou padrões característicos em meio a um fundo complexo, detectando o objeto desejado com facilidade. Como o objeto que se deseja reconhecer na aplicação desenvolvida é um poste de iluminação pública, sua textura é basicamente composta de uma cor característica acinzentada, referente ao material do poste. Desta forma, o filtro LBP se mostrou aderente a este propósito.

A etapa de treinamento com o conjunto de imagens e as ferramentas utilizadas são exploradas no capítulo 5.

3. Trabalhos correlatos

Este capítulo apresenta os resultados da Revisão Bibliográfica Sistemática realizada, um estudo comparativo dos artigos de referência, bem como alguns correlatos comerciais que possuem afinidade com o tema.

3.1 Revisão Bibliográfica Sistemática

Um processo de Revisão Sistemática pode ser definido como um método científico para busca e análise de artigos de uma determinada área da Ciência (CONFORTO et al., 2011). Ela ajuda a definir a linha limítrofe da pesquisa que se deseja desenvolver, considerando uma perspectiva científica (DANE, 1990).

Uma Revisão Sistemática consiste em cinco etapas (KHAN et al., 2003). O primeiro passo é estruturar a questão, que é o problema a ser tratado pela revisão. Em seguida, é necessário identificar o trabalho relevante. Nesse ponto, a pesquisa deve ser extensa, usando várias fontes. O terceiro passo é avaliar a qualidade dos estudos, nos quais aplicamos filtros para selecionar os artigos mais relevantes. Durante a etapa quatro, as evidências são resumidas e os estudos são comparados entre si. O passo final é interpretar os resultados.

3.1.1 Definição da questão

A pergunta foi definida como “Quais são os aplicativos mais comuns criados com o objetivo de trabalhar com Realidade Aumentada, envolvendo localização e visão computacional de dispositivos móveis, para tarefas de manutenção?”

Esta questão teve como objetivo determinar a quantidade de publicações abordando o assunto desejado, bem como questões e preocupações comuns relacionadas a ele.

3.1.2 Busca de publicações

As pesquisas consideraram artigos publicados entre 2010 e 2020 e em inglês. Foram incluídas quatro bases de dados: IEEE Xplore, Science Direct, Google Scholar e ACM Digital Library.

As seguintes frases foram usadas como parâmetros durante a fase de busca:

- “augmented reality” AND “field services”;
- “augmented reality” AND “power line” AND “recognition”;
- “augmented reality” AND “equipment” OR “maintenance management” OR “facility management”;
- “augmented reality” AND “outdoor” AND “technician” AND “GPS”;
- “augmented reality” AND “field work” AND “engineering”.

Após todas as pesquisas individuais, foram listados 1.122 artigos disponíveis.

3.1.3 Avaliação da qualidade dos estudos

Com o objetivo de tornar a leitura menos demorada e otimizar o processo, foram realizadas cinco etapas de filtragem. Eles estão listados no Quadro 1, bem como o número de artigos restantes após cada processo de filtragem, também mostrado na Figura 18.

Quadro 1: Quantidade de publicações após cada estágio

Estágio de filtro	1	2	3	4	5
Número de publicações	821	527	209	98	25

Fonte: Autor

O Quadro 1 lista os cinco estágios aplicados, que foram os seguintes:

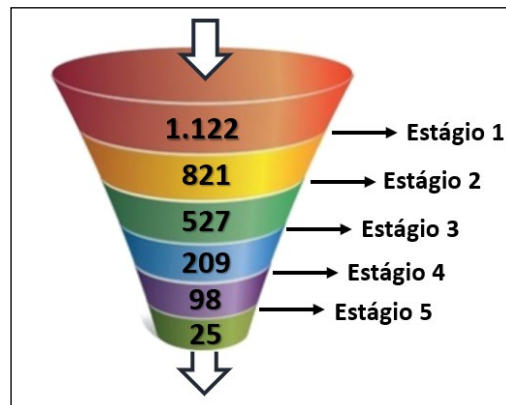
Estágio 1. Filtragem de texto pelo software Mendeley®: “Realidade Aumentada”

Estágio 2. Filtragem de texto pelo software Mendeley®: “visão”

Estágio 3. Filtragem de texto pelo software Mendeley®: “GPS”

Estágio 4. Leitura do Título, resumo, introdução e conclusão

Estágio 5. Leitura de texto completo

Figura 18: Ilustração dos cinco estágios de filtragem.

Fonte: Autor

Como pode-se verificar na Figura 18, a quantidade final de publicações após o terceiro estágio (filtros de texto) foi de um total de 209 artigos.

A quarta etapa mencionada consistiu na leitura dessas quatro seções de todas as 209 publicações, descartando aquelas que não atendiam aos critérios desejados, que foram: a) publicações que apresentaram qualquer tipo de experimento bem-sucedido que utilizasse o reconhecimento de imagem em um dispositivo móvel; e b) publicações

que fizeram realmente uso da Realidade Aumentada. Somente as publicações que não atenderam aos critérios foram descartadas. No caso de dúvida se uma publicação atendeu aos critérios, lendo estas quatro seções, ela não foi descartada. Como resultado dessa etapa, 98 publicações foram deixadas para a fase seguinte e final.

Nesse ponto, todas as publicações foram lidas, com o objetivo de determinar se elas atendiam aos critérios estabelecidos. Apenas 25 publicações passaram nesta etapa.

3.1.4 Estudos selecionados

Os 25 estudos resultantes do último estágio de filtragem serviram como diretrizes para a estrutura proposta, pois ajudaram a indicar se o novo aplicativo trará algo novo para essa área.

Os estudos selecionados estão listados abaixo, por ordem alfabética de autor principal:

Outdoor Augmented Reality System For Geological Applications (ABABSA et al., 2012), Context-aware maintenance support for augmented reality assistance and synchronous multi-user collaboration (ABRAMOVICI et al., 2017), Semantically augmented exploitation of pervasive environments by intelligent agents (AMATO et al., 2012), Reliving video experiences with mobile devices (ARAKAWA et al., 2012), Rapid Image-Based Localization using Clustered 3D Point Cloud Models with Geo-Location Data for AEC/FM Mobile Augmented Reality Applications (BAE et al., 2014), Augmented reality for field maintenance of large telecommunication networks (BERGENTI, 2014), SmartVisionApp: A framework for computer vision applications on mobile devices (CASANOVA et al., 2013), Contribution of augmented reality to the maintenance of network equipment (CORDONNIER et al., 2017), Mobile augmented reality for books on a shelf (CHEN et al., 2011), Sensitivity analysis of

augmented reality-assisted building damage reconnaissance using virtual prototyping (DONG et al., 2013), Development of tangible user interface for linking context modeling and 3D map in smartphone (KANG et al., 2010), ConstructAide: Analyzing and Visualizing Construction Sites through Photographs and Building Models (KARSCH et al., 2014), Mobile Augmented Reality Application for Telugu Language Learning (MEDA et al., 2014), Operation and maintenance work using AR technology for optical access networks (OGUSHI et al., 2013), Augmented reality supporting user-centric building information management (OLBRICH et al., 2013), Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality (MASONI, 2017), Outdoor Augmented Reality using Optical see-through HMD System for Visualizing Building Information (MIYAKE et al., 2016), Augmented reality application to support remote maintenance as a service in the robotics industry (MOURTZIS, 2017), Secure access augmented reality solution for mobile maintenance support utilizing condition-oriented work instructions (NEGES, 2015), Multiclass object recognition using smart phone and cloud computing for augmented reality and video surveillance applications, (PAUL et al., 2013), Augmented reality annotations to assist persons with Alzheimer's and their caregivers (QUINTANA et al., 2013), A mobile outdoor augmented reality method combining deep learning object detection and spatial relationships for geovisualization (RAO et al., 2017), Augmented reality for human-based assembly: using product and process semantics (RENTZOS, 2013), 3D mobile augmented reality in urban scenes (TAKACS et al., 2011) e Wide-area scene mapping for mobile visual tracking (VENTURA et al., 2012).

Considerando apenas os artigos que abordaram problemas relacionados a tarefas de treinamento ou manutenção, restam 16 das 25 publicações listadas. Um resumo de cada artigo é descrito na sequência deste texto.

Ababsa et al. (2012) implementaram um aplicativo baseado em Realidade Aumentada que é executado em um *tablet* para ajudar os geólogos em seu trabalho de campo. Assim que uma imagem é capturada, um modelo 3D é mostrado na tela, representando a cena, e o usuário pode executar algumas interações com o modelo, por exemplo, rotação. O aplicativo também traz informações relevantes sobre a cena capturada.

Abramovici et al. (2016) propuseram um framework que possibilita a colaboração entre usuários com Realidade Aumentada, para visualização de dados de manutenção e comunicação com outros técnicos. Como teste, foram efetuadas manobras em um trecho de uma rede hidráulica, simultaneamente com dois usuários, realizando tarefas complementares.

Amato et al. (2012) apresentaram uma aplicação de Realidade Aumentada para *smartphones* para exploração de sítios arqueológicos. Ao apontar a câmera para as estruturas, a imagem é reconhecida e, junto com os dados de localização do GPS, vários conteúdos são mostrados na tela do dispositivo.

Bae et al. (2014) desenvolveram um aplicativo de Realidade Aumentada para *smartphones* como suporte para operações de construção (informações do projeto) e manutenção. A localização e a orientação do dispositivo são avaliadas apenas com base na imagem adquirida, sem o uso de sensores.

Bergenti et al. (2014) criaram um protótipo de aplicação que usa Realidade Aumentada para auxiliar técnicos em suas atividades de manutenção em equipamentos de telecomunicações, com foco específico em atividades de troca de portas, para o caso em que há portas defeituosas.

Cordonnier et al. (2017) apresentam três protótipos implementados por *start-ups* francesas para suportar técnicos de campo com ferramentas de Realidade Aumentada, com foco em atividades de uma concessionária de energia elétrica na França.

Dong et al. (2013) trabalharam em um protótipo para simular a viabilidade de lançar comercialmente um sistema de reconhecimento de falhas em edifícios, sem contato físico com a propriedade. Os seguintes itens são avaliados: mudança de posição dos vértices, desalinhamento entre paredes e problemas de fundação.

Karsch et al. (2014) criaram uma ferramenta para apoiar a medição de obras. Com base nos modelos 3D (BIM) do trabalho, o desempenho atual é comparado ao planejado, e os avanços e atrasos do trabalho são representados por áreas destacadas em verde e vermelho.

Ogushi et al. (2013) desenvolveram um sistema com Realidade Aumentada para auxiliar o trabalho em redes de fibra óptica, facilitando a identificação dos conectores no quadro de distribuição.

Olbrich et al. (2013) criaram um aplicativo de Realidade Aumentada no qual uma imagem capturada por um *smartphone* traz informações estruturais, pesquisadas em um banco de dados (BIM) da propriedade. Possui uso interno e externo.

Masoni et al. (2017) produziram uma aplicação para auxiliar tarefas de manutenção. O usuário que está em campo captura com seu dispositivo móvel uma foto do equipamento em que será feita a manutenção. O sistema, através de reconhecimento de imagem, identifica o modelo de equipamento, e estabelece uma conexão com um especialista remoto. O especialista orienta então o técnico com instruções que são exibidas usando RA.

Miyaki et al. (2016) produziram um aplicativo para exibir informações sobre um edifício, usando Realidade Aumentada. Ele se baseia na própria imagem capturada, não usando informações de GPS.

Mourtzis et al. (2017) criaram um framework para manutenção remota que conecta o técnico em campo ao fabricante do equipamento. O técnico pode gravar informações sobre o defeito em questão, e o fabricante retorna informações através de uma interface com Realidade Aumentada.

Neges et al. (2015) criaram uma aplicação em um dispositivo móvel para auxiliar tarefas de manutenção. O usuário efetua a captura de um código de barras que está ao lado do equipamento em que será feita a manutenção, para registrar sua posição. Em seguida são mostradas informações para auxiliar a tarefa e o usuário pode reportar diretamente na aplicação o estado atual do equipamento e gerar relatórios da manutenção efetuada.

Rao et al. (2017) desenvolveram um sistema de reconhecimento de objetos sem uso de marcadores, combinado com informações do GPS do dispositivo móvel, que projeta, usando RA, informações sobre os objetos reconhecidos, na tela do dispositivo móvel.

Rentzos et al. (2013) desenvolveram um sistema baseado em Realidade Aumentada para exibir para um técnico de montagem de motores, o modelo CAD tridimensional das etapas de montagem, sobreposto ao modelo em que o técnico está trabalhando.

O Quadro 2 mostra as abordagens consideradas em cada um dos 16 estudos, para cada um dos sete critérios considerados nas colunas do quadro. Estes critérios foram selecionados para comparação por se tratarem de tecnologias ou funcionalidades usualmente empregadas no desenvolvimento de aplicações de Realidade Aumentada.

Quadro 2: Principais características dos trabalhos avaliados

Autores	GPS ¹	RA ²	VC ³	Marker ⁴	Feed-back ⁵	Nova base de dados ⁶	Base de dados legada ⁷
Ababsa et al. (2012)							
Abramovici et al. (2016)							
Amato et al. (2012)							
Bae et al. (2014)							
Bergenti et al. (2014)							
Cordonnier et al. (2017)							
Dong et al. (2013)							
Karsch et al. (2014)							
Ogushi et al. (2013)							
Olbrich et al. (2013)							
Masoni et al. (2017)							
Miyaki et al. (2016)							
Mourtzis et al. (2017)							
Neges et al. (2015)							
Rao et al. (2017)							
Rentzos et al. (2013)							

Fonte: Autor

^{1.} A aplicação utilizou o GPS embarcado no dispositivo

^{2.} A aplicação utilizou tecnologia de Realidade Aumentada

^{3.} A aplicação utilizou algum tipo de visão computacional

^{4.} A aplicação fez uso de marcadores

^{5.} A aplicação permite funcionalidade de feedback ao usuário

^{6.} A aplicação demanda adequação da base de dados existente

^{7.} A aplicação se conectou a uma base de dados já existente, sem adequações

Como o principal objetivo desta revisão sistemática envolvia avaliar aplicativos diretamente relacionados à manutenção de ativos, um último filtro pode ser aplicado, considerando apenas as publicações que tratam de atividades de manutenção em campo. Isso leva a três artigos, publicados por Ogushi et al. (2013), Bergenti et al. (2014) e Cordonnier et al. (2017).

Posteriormente, foram encontradas duas Revisões Sistemáticas com o foco em utilização de RA em rotinas de manutenção, publicadas por Palmarini et al. (2018) e Cardoso et al. (2020). Avaliando as referências bibliográficas destas duas publicações e outras publicações que as citaram, foram encontrados mais dois artigos relacionados à manutenção de ativos, publicados por Zhang et al. (2016) e Ortega et al. (2019), que foram incluídos na relação de artigos de referência.

As cinco publicações consideradas como sendo de referência são exploradas na seção seguinte.

3.1.5 Artigos de referência

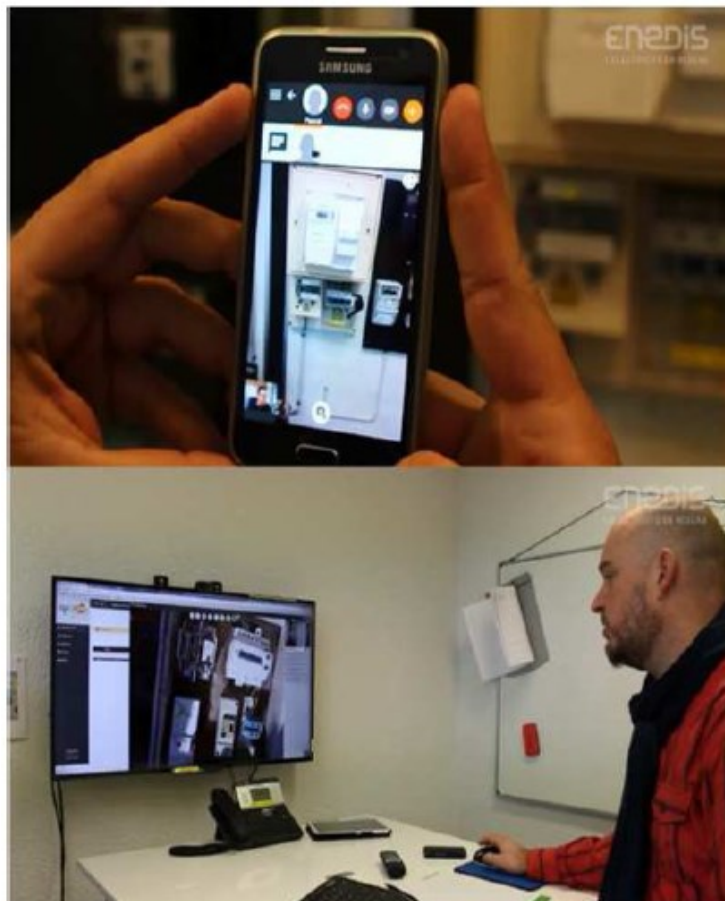
Cinco artigos encontrados possuem relação próxima com o escopo da aplicação proposta neste trabalho que será implementada. A seguir é feito um resumo do texto de cada um deles.

3.1.5.1 Cordonnier, M. et al. (2017). Contribution of augmented reality to the maintenance of network equipment

Os autores apresentam três protótipos implementados por *start-ups* francesas para suportar técnicos de campo com ferramentas de Realidade Aumentada, com foco em atividades de uma concessionária de energia elétrica na França.

A primeira ferramenta consiste em um aplicativo que permite comunicação por vídeo entre um técnico em campo e um especialista que o auxilia remotamente. O especialista pode destacar algum ponto da imagem que está sendo exibida através do *smartphone* do técnico utilizando Realidade Aumentada. Uma ilustração do funcionamento desta ferramenta é mostrada pelos autores do artigo, e reproduzida na Figura 19.

Figura 19: Diálogo com vídeo entre o técnico de campo e o especialista.



Fonte: Cordonnier (2017).

A segunda ferramenta utiliza Realidade Aumentada como auxílio a atividades de manutenção preventiva de técnicos. São mostradas informações necessárias para atividades da fase preparatória da manutenção preventiva. O sistema reconhece o

tipo de equipamento que está em frente ao técnico (por exemplo, um painel ou uma chave) e auxilia operações como remoção de fusíveis, ou manipulação de chaves.

De acordo com os autores, o feedback dos técnicos da concessionária de energia (ENEDIS) foi bastante positivo, de forma que a empresa decidiu ir adiante com o desenvolvimento da solução, ampliando o seu escopo para que seja possível reconhecer e fornecer auxílio para manutenção de todos os equipamentos e infraestruturas da empresa.

A Figura 20 ilustra o tipo de informações exibidas ao técnico durante a manutenção.

Figura 20: Instruções exibidas automaticamente ao *tablet* do técnico utilizando Realidade Aumentada.



Fonte: Cordonnier (2017).

A terceira ferramenta estudada serve para ajudar a localizar pontos de falha de cabos subterrâneos. Este tipo de atividade é bastante comum para uma concessionária de energia, e se baseia principalmente em utilização de mapas de rede, que o técnico carrega na forma impressa em seu veículo de trabalho. De acordo com os autores, os mapas não são de fácil utilização e compreensão.

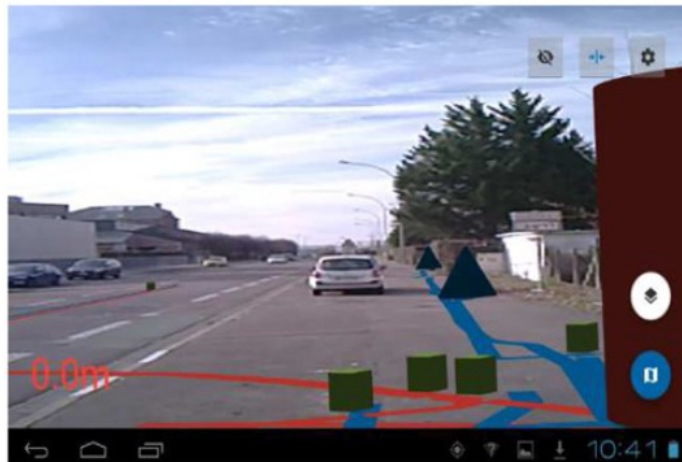
A ideia do protótipo implementado consiste em exibir as rotas dos cabos para os técnicos usando Realidade Aumentada, através de uma projeção 3D que pode ser visualizada em óculos de Realidade Aumentada, como mostram as Figuras 21 e 22.

Figura 21: Técnico equipado com óculos de Realidade Aumentada.



Fonte: Cordonnier (2017).

Figura 22: Visualização de posição dos cabos subterrâneos através de Realidade Aumentada.

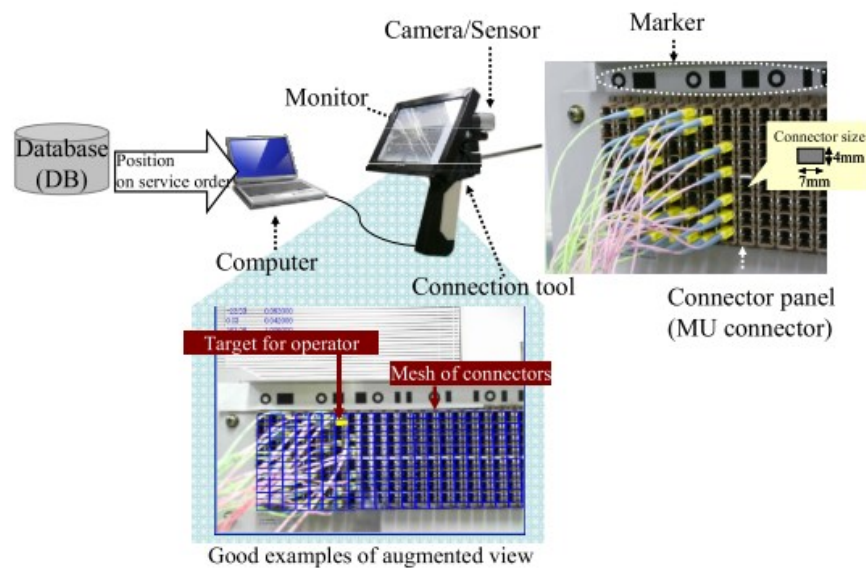


Fonte: Cordonnier (2017).

3.1.5.2 Ogushi, I. (2013). Operation and maintenance work using AR technology for optical access networks

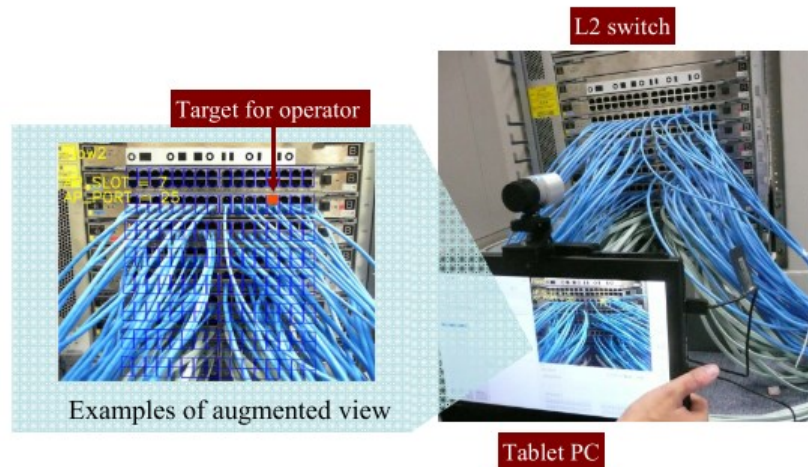
Os autores desenvolveram um sistema com Realidade Aumentada para auxiliar o trabalho em redes de fibra óptica, facilitando a identificação dos conectores no quadro de distribuição de uma empresa de Telecomunicações, conforme mostrado nas Figuras 23 e 24.

Figura 23: Sistema implementado por Ogushi.



Fonte: Ogushi et al. (2013).

Figura 24: Funcionamento do sistema proposto por Ogushi.



Fonte: Ogushi et al. (2013).

Sempre que um novo cliente da operadora solicita o serviço de ultra banda larga via fibra óptica, um técnico deve alterar os dois conectores de um cabo de fibra óptica que se encontra no quadro de distribuição óptica mostrado na Figura 24, movendo os conectores de posições não utilizadas para a posição correta, de forma a provisionar o serviço ao cliente. Conforme relatado pelos autores, esta tarefa é relativamente demorada, pois o técnico deve procurar a posição correta, confirmar seu julgamento e fazer a operação de conexão. Como outros elementos dificultadores podem ser citados a grande quantidade de fibras próximas umas das outras, e o receio que o técnico tem de acidentalmente causar a desconexão de outro cliente que já estaria provisionado, caso ele não identifique corretamente os cabos.

O framework proposto (OGUSHI et al., 2013) faz uso de marcadores para identificar o equipamento em que o técnico executará as atividades de manutenção. Uma vez identificado o equipamento, o sistema busca informações para auxiliar o técnico em um banco de dados, e ilustra, utilizando Realidade Aumentada, as posições dos conectores que devem ser alteradas, diretamente na tela do dispositivo móvel do técnico, trazendo a ele maior segurança e agilidade na condução das atividades.

3.1.5.3 Bergenti, F. & Gotta, D. (2014). Augmented reality for field maintenance of large telecommunication networks

Esta publicação também endereça o auxílio da Realidade Aumentada para atividades de manutenção em equipamentos de telecomunicações, visando a redução do custo de atividades operacionais e melhoria de índices de produtividade.

O equipamento selecionado para servir de protótipo da implementação realizada foi um elemento de rede NGN (*Next Generation Networks*), e a atividade foco relacionada a este equipamento é o processo de troca de portas.

Uma aplicação piloto foi desenvolvida com intuito de auxiliar o técnico em atividades de troca de portas, para o caso em que há portas defeituosas. O técnico deve identificar o par de portas que apresenta problema e fazer uma troca manual das conexões, escolhendo um novo par de portas para realizar as duas conexões.

A Figura 25 ilustra o equipamento usado pelos autores para os testes da aplicação.

Figura 25: Equipamento de rede utilizado para os testes por Bergenti et al.



Fonte: Bergenti et al. (2014).

A aplicação auxilia o técnico a identificar o equipamento correto que deve ser abordado (através de comparação com banco de dados de imagens), bem como aponta qual par de portas deve ser alterado.

Os autores reportaram alguns problemas na etapa de aquisição de imagens, tais como:

- a) Falha no reconhecimento do objeto (equipamento de rede) devido à baixa taxa de similaridade entre as imagens de referência do banco de dados e a imagem sendo capturada pelo dispositivo. Um dos motivos que explicam essa dificuldade é a presença de vários cabos de fibra óptica presentes no equipamento real e não presentes nas imagens de referência, que foram adquiridas sem nenhum cabo conectado. Outro motivo é a vasta variedade de diferenças visuais entre equipamentos da operadora, mesmo dentre aqueles que são do mesmo fabricante e supostamente do mesmo modelo;
- b) Necessidade do técnico apontar a câmera do dispositivo em uma exata direção, de frente ao equipamento e com a câmera na mesma altura do chão que o equipamento se encontra, para que a identificação ocorresse.

Após a etapa de verificação de problemas no primeiro conjunto de testes, os autores sugeriram alternativas para melhorar a taxa de reconhecimento, como a utilização de um conjunto maior de imagens de referência, e implementação de um método de rastreamento de imagens usando como base modelos tridimensionais.

Mesmo com as dificuldades apontadas, de acordo com os autores, o protótipo confirmou a validade deste tipo de aplicação no suporte a técnicos de campo.

3.1.5.4 Zhang, Xiaolei et al. (2016). ARGIS-based outdoor underground pipeline information system

O foco deste trabalho foi a criação de um sistema de visualização de posição de dutos subterrâneos através de Realidade Aumentada, que constitui uma aplicação categorizada como ARGIS (Augmented Reality Geographic Information System).

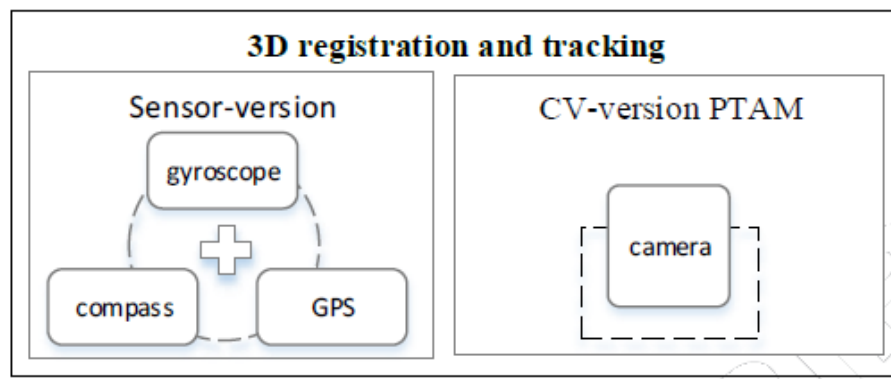
Foram utilizados dados de dutos subterrâneos da cidade de Qingdao, na China, para duas modalidades da aplicação desenvolvida:

- a) *CV-version* (versão da aplicação baseada em visão computacional)
- b) *Sensor-version* (versão da aplicação baseada em sensores do dispositivo)

Estes dois mecanismos de *tracking* foram implementados e comparados, visando listar pontos fortes e fracos e escolher a melhor opção para a aplicação.

A Figura 26 ilustra os componentes das duas versões da aplicação.

Figura 26: Componente de tracking do framework implementado



Fonte: (Zhang et al., 2016).

Na versão baseada em visão computacional, o método utilizado foi o SFM (*Structure From Motion*) que processa várias imagens obtidas pela câmera para determinar a posição e orientação da câmera.

Os resultados obtidos para a versão baseada em visão computacional apontam que a performance do sistema fica comprometida em situações desfavoráveis de

iluminação, que podem dificultar o foco ideal da câmera. O funcionamento da aplicação é mostrado na Figura 27, com condições de iluminação adequadas.

Figura 27: Resultados de testes realizados com a versão baseada em visão computacional.



Fonte: (Zhang et al., 2016).

Na versão baseada em sensores, a aplicação utiliza informações provenientes do giroscópio, bússola e GPS do dispositivo móvel para determinar a posição e orientação da câmera.

Os autores reconhecem que uma vantagem deste modelo de *tracking* é que ele é imune a condições variáveis de iluminação, uma vez que não usa visão computacional. O funcionamento da aplicação com esta configuração é mostrado na Figura 28.

Figura 28: Resultado de teste realizado com a versão baseada em sensores.



Fonte: (Zhang et al., 2016).

A conclusão dos autores ao comparar as duas modalidades testadas, com a aplicação de questionários a usuários de teste, foi que a versão baseada em visão computacional traz melhores resultados no que diz respeito ao efeito de superposição de elementos virtuais no mundo real, trazendo uma experiência mais realista ao usuário. No entanto, a versão baseada em sensores se mostrou mais robusta a variações de condições do ambiente.

Os autores não implementaram o modelo híbrido de *tracking*, que seria obtido combinando as vantagens das duas modalidades, e deixam esta sugestão para futuros trabalhos na área. Concluem, ainda, que com a evolução do poder de processamento dos dispositivos móveis e a melhor precisão de sensores como o GPS, aplicações desta natureza serão bastante populares e eficientes.

3.1.5.5 Ortega, Sebastián et al. (2019). Making the Invisible Visible - Strategies for Visualizing Underground Infrastructures in Immersive Environments

Esta publicação também aborda uma proposta para fazer uso da Realidade Aumentada em visualização de dutos subterrâneos, em dispositivos móveis.

Os autores utilizaram dados da planta de dutos subterrâneos de um parque tecnológico da cidade de Karlsruhe, na Alemanha.

A posição dos dutos pode ser visualizada através de Realidade Aumentada e também Realidade Virtual. A mesma aplicação pode alterar de um modo de visualização para outro, de acordo com a preferência do usuário. Os modos de operação são ilustrados na Figura 29.

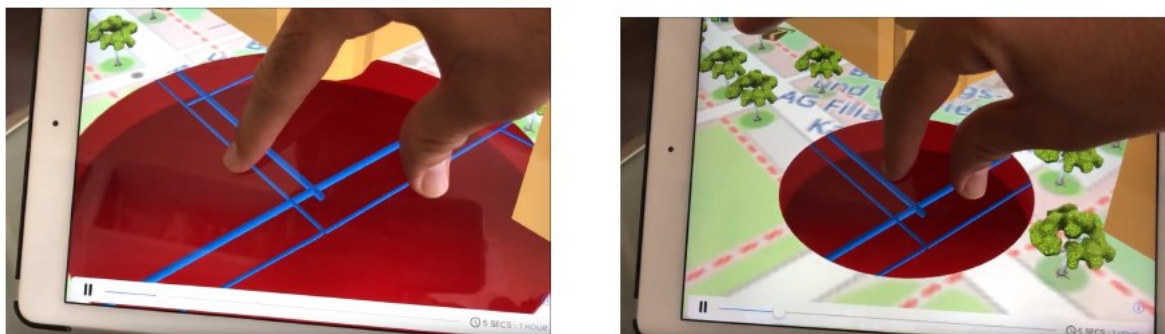
Figura 29: Imagem da aplicação desenvolvida, com os 3 modos de operação.



Fonte: (Ortega et al., 2019).

A Figura 30 ilustra o modo de funcionamento baseado em Realidade Virtual. Neste modo, é possível a interação com a cena usando comandos de toque na tela.

Figura 30: Visualização da interseção de dutos, com interação do usuário aplicando zoom na área mostrada na tela.



Fonte: (Ortega et al., 2019).

Os autores destacam que o nível de precisão do GPS do dispositivo móvel pode ser um fator limitante para aplicações que necessitem de altos níveis de precisão de localização e sugerem que as informações do GPS sejam combinadas com outras modalidades de localização para melhorar a precisão do sistema.

3.1.6 Avaliação preliminar das publicações

Por meio da Revisão Sistemática efetuada, constatou-se que existe uma variedade de aplicativos que envolvem reconhecimento de imagem e Realidade Aumentada.

Muitos autores se concentraram no campo da engenharia civil, usando os conceitos BIM (Modelagem de Informações da Construção), mas apenas alguns abordaram aplicações de manutenção, o que representa um grande espaço para melhorias.

Outros campos comuns de aplicativos incluem: saúde humana, sistemas de navegação, ferramentas de gerenciamento de projetos, aplicações geológicas e aprendizado de idiomas.

Alguns problemas foram relatados pelos autores, ao trabalhar com esse tipo de aplicativo. Uma limitação comum que foi notada é a precisão do GPS do dispositivo, em alguns casos. Para resolver esse problema, em vez de usar as leituras de GPS, alguns autores fizeram uso do reconhecimento de objetos por meio da visão computacional, usando a câmera do dispositivo, para determinar a localização, ou utilizaram alguns tipos de marcadores artificiais ou naturais. Em relação à visão computacional, alguns autores relataram problemas com vários modelos de reconhecimento de objetos, para aplicações externas, de forma que muitas vezes o desempenho do sistema não é adequado. Em outros casos, as coordenadas obtidas no GPS foram o único parâmetro para determinar a localização e nenhum método de visão computacional foi utilizado.

Outra grande questão diz respeito ao estágio de aquisição da imagem. Primeiro, as condições de foco e iluminação devem exceder os níveis mínimos. Então, há o problema de posição da câmera, em relação à posição dos usuários em relação ao objeto, o que pode causar algumas dificuldades para o reconhecimento e a correspondência corretos do objeto.

A experiência do usuário também é uma grande preocupação. O aplicativo deve proporcionar uma usabilidade agradável ao usuário, com interface simples e amigável e processamento rápido, mas sem prejudicar a qualidade dos resultados. Um equilíbrio ideal entre tempo de processamento e qualidade deve ser encontrado. Assim, como a maioria dos aplicativos estudados é executada em dispositivos móveis, o consumo de bateria também é importante. Por exemplo, na estrutura proposta que foi aplicada como estudo de caso neste trabalho, um técnico de telecomunicações deve executar dezenas de operações de manutenção por dia. Desta forma, seu dispositivo móvel deve ter bateria suficiente durante todo o dia de trabalho.

3.1.7 Análise comparativa dos artigos de referência

Avaliando os artigos de referência encontrados, pode-se comparar algumas características deles, de forma a justificar a utilização da proposta deste trabalho, conforme demonstrado no Quadro 3.

Quadro 3: Abordagens dos autores dos artigos de referência

Autores	GPS ¹	RA ²	VC ³	Marker ⁴	Feed-back ⁵	Nova base de dados ⁶	Base de dados legada ⁷
Bergenti et al. (2014)							
Cordonnier et al. (2017)							
Ogushi et al. (2013)							
Ortega et al. (2019)							
Zhang et al. (2016)							

Fonte: Autor

- ¹. A aplicação utilizou o GPS embarcado no dispositivo
- ². A aplicação utilizou tecnologia de Realidade Aumentada
- ³. A aplicação utilizou algum tipo de visão computacional
- ⁴. A aplicação fez uso de marcadores
- ⁵. A aplicação permite funcionalidade de feedback ao usuário
- ⁶. A aplicação demanda adequação da base de dados existente
- ⁷. A aplicação se conectou a uma base de dados já existente, sem adequações

Após a análise comparativa das publicações, conclui-se que a proposta apresentada traz inovação, uma vez que ela utiliza tecnologia GPS, RA, Visão Computacional, não utiliza marcadores, permite funcionalidade de feedback do usuário e utiliza uma base de dados que já existia, com as informações dos ativos.

A proposta será detalhada no capítulo 4 deste trabalho.

Ainda de acordo com o Quadro 3, pode-se verificar que não há muitas publicações disponíveis que realmente abordem o uso de Realidade Aumentada para atividades de manutenção em ativos. Assim, considerou-se necessário buscar aplicações comerciais relacionadas ao tema, de forma a expandir a pesquisa.

Por meio de entrevistas com profissionais que trabalham com aplicações que utilizam georreferenciamento e pesquisas de estudos de caso na Internet, foram

identificadas cinco aplicações que apresentam algum grau de semelhança com a aplicação objeto deste trabalho, listadas na seção a seguir.

3.2 Correlatos Comerciais

3.2.1 Estudo de caso – CEPC (2019)

Em outubro de 2019, a empresa Esri (ESRI, 2019) disponibilizou em formato digital um e-book intitulado “Digitally Transform Field Operations – Using the Power of Location in Field Operations”

Este documento relata a utilização de aplicativos destinados a trabalhadores em campo, em uma concessionária de Energia Elétrica nos Estados Unidos.

A CEPC (Central Electric Power Cooperative) fornece transmissão de energia elétrica na região central do estado de Missouri, nos Estados Unidos.

Todos os postes devem passar anualmente por rotinas de inspeção e manutenção. Um dificultador destas tarefas é o fato de os mapas utilizados pelas equipes de campo não serem precisos. Além disso, os dados necessários estão registrados em diferentes formatos e de difícil utilização. Como consequência, há redução de produtividade do trabalho em campo.

Percebendo a oportunidade de melhorias, a empresa CEPC buscou uma solução para disponibilizar mapas precisos e informações adicionais que estivessem disponíveis de forma digital a seus trabalhadores.

Primeiramente, a equipe da empresa construiu um mapa digital atualizado de toda a sua área de atuação, de forma a baixar os mapas necessários nos dispositivos móveis dos trabalhadores, para que pudessem acessá-los mesmo que não haja sinal de internet disponível.

Um formulário online também foi implementado, para que os trabalhadores de campo pudessem informar detalhes das inspeções realizadas, diretamente em seus dispositivos móveis. Além disso, o módulo do aplicativo de navegação foi disponibilizado, otimizando rotas e tempo de deslocamento dos técnicos.

Estes aplicativos funcionaram em forma de um piloto na empresa, por um período de três meses. Os resultados foram promissores e a empresa foi convencida a seguir com o desenvolvimento integral da solução de mobilidade para campo.

Para treinar os trabalhadores a utilizarem os aplicativos, a CEPC criou um manual do usuário detalhado e conduziu sessões de treinamento com os colaboradores.

O pessoal do staff da empresa acompanhou os técnicos de campo em suas primeiras utilizações do aplicativo em seus *tablets*. O feedback deles foi bastante positivo. Pela primeira vez, eles possuíam em suas mãos toda a informação necessária para suas tarefas, e poderiam completar suas tarefas diárias sem precisar fazer chamadas telefônicas ao escritório, para buscar detalhes dos ativos da empresa ou tirar dúvidas sobre os mapas.

Este caso ilustra a possibilidade de se obter ganhos de produtividade através da integração entre sistemas GIS e tecnologia GPS, levando as informações diretamente aos técnicos em seus *tablets*. Não foi utilizada nenhuma forma de visão computacional ou Realidade Aumentada, o que levanta possibilidades de melhorias futuras.

3.2.2 Estudo de caso – TECHSEE® (2020)

A empresa TechSee, sediada em Israel, tem foco em soluções de assistência visual para suporte, com tecnologias de inteligência Artificial e Realidade Aumentada. Suas soluções facilitam a resolução de problemas por técnicos em campo, oferecendo diagnóstico remoto por assistência via vídeo. A proposta é a redução de custos da empresa, através de atendimentos mais rápidos e menos recorrentes.

O produto TechSee Live Field TechSee Live permite que os técnicos transmitam vídeos e imagens de problemas técnicos do campo, enquanto consultam um especialista ou supervisor remoto, aumentando as taxas de correção, reduzindo custos e melhorando significativamente a satisfação do cliente.

Os benefícios citados no site da empresa são:

- Aumento da produtividade em campo com comunicação visual interativa
- Maior satisfação do cliente através de despachos bem-sucedidos
- Aumento da taxa de correção inicial e redução do tempo de resolução
- Redução do tempo de treinamento do técnico e aumento da capacidade de suporte especializado
- Redução de custos operacionais e melhoria dos KPIs de serviço

A Figura 31 ilustra as etapas de utilização do aplicativo da empresa. Neste caso, é usada Realidade Aumentada para que o especialista remoto ressalte pontos importantes a serem observados pelo técnico em campo, incluindo textos e marcando cabos e outros equipamentos. O técnico em campo visualiza na tela de seu *smartphone* as instruções do especialista remoto e assim tem maior segurança na condução de sua atividade.

Se a aplicação passasse a incorporar alguma forma de visão computacional, o auxílio do técnico remoto poderia ser substituído por um manual de instruções interativo com Realidade Aumentada, em que o próprio sistema reconhecesse o

estágio em que o técnico se encontra na manutenção, e apontasse o próximo passo a ser executado, com elementos textuais e imagens como forma de apoio.

Figura 31: Etapas de utilização do aplicativo de RA comercializado pela empresa TechSee.



Fonte: TechSee (2019).

3.2.3 Estudo de caso: General Electric (2017)

Em maio de 2017, a empresa General Electric disponibilizou um artigo com o título “Looking Smart: Augmented Reality Is Seeing Real Results In Industry” (GENERAL ELECTRIC, 2017).

O artigo relata que tradicionalmente os técnicos da empresa interrompiam algumas vezes suas atividades para checar manuais ou pedir uma opinião de especialistas para garantir que as atividades de montagem de peças estavam sendo feitas corretamente.

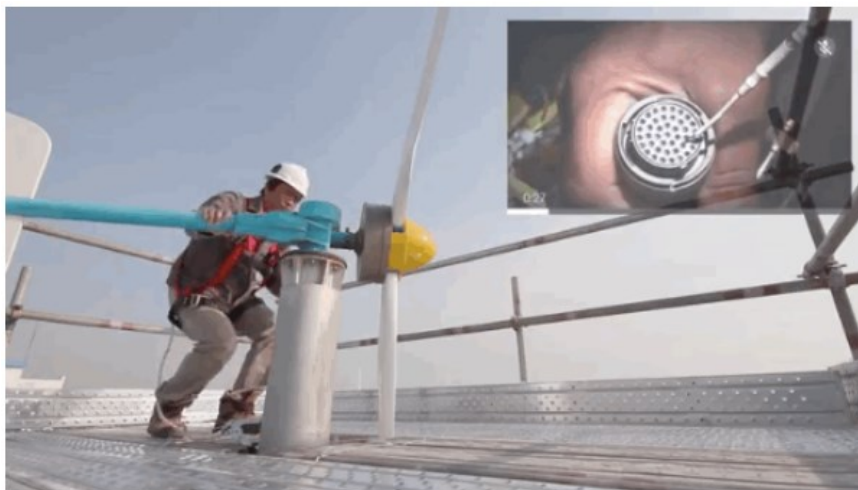
A empresa firmou, então, parceria com a empresa Upskill, que é especializada em desenvolvimento de software para dispositivos vestíveis (wearables).

Os técnicos passaram a usar óculos inteligentes (smart glasses) com o software criado pela Upskill, em atividades de montagem de turbinas de vento. Com esta inovação, os técnicos podem acessar informações de passo-a-passo de montagem. É possível também rever um vídeo de treinamento, usar comandos de voz para fazer

chamadas a um especialista e estabelecer uma chamada de vídeo entre o técnico e um especialista remoto, de forma que o especialista possa ver exatamente em que ponto da atividade o técnico se encontra, de forma a orientá-lo mais facilmente, conforme ilustrado pela Figura 32.

Um estudo piloto mostrou incremento de 34% de produtividade, comparando a primeira vez em que os técnicos usaram os óculos inteligentes e o método tradicional.

Figura 32: Técnico efetuando uma montagem de turbina e acessando em seus óculos inteligentes um vídeo que o auxilia sobre um detalhe da atividade.



Fonte: <https://www.ge.com/reports/looking-smart-augmented-reality-seeing-real-results-industry-today/>>. Acesso em 27/01/20.

3.2.4 Estudo de Aplicação comercial -AUGEO® (2021)

A ESRI Labs (ESRI, 2019) é a plataforma de inovação da ESRI® de projetos de inovação e colaborativos.

Em 2017, a Esri Labs lançou um aplicativo móvel de Realidade Aumentada, o AuGeo®, com o objetivo de permitir aos usuários visualizarem seus dados GIS em um ambiente de Realidade Aumentada.

Para isso, este aplicativo se conecta a um banco de dados no software ARCGIS® e busca os campos de informações desejados para o usuário. Os dados, compostos por pontos geográficos, são enviados pelo usuário, que deve possuir uma conta ARCGIS® e, em seguida, um mapa é salvo, para ser baixado posteriormente no aplicativo AuGeo® em um *smartphone*, conforme ilustrado na Figura 33.

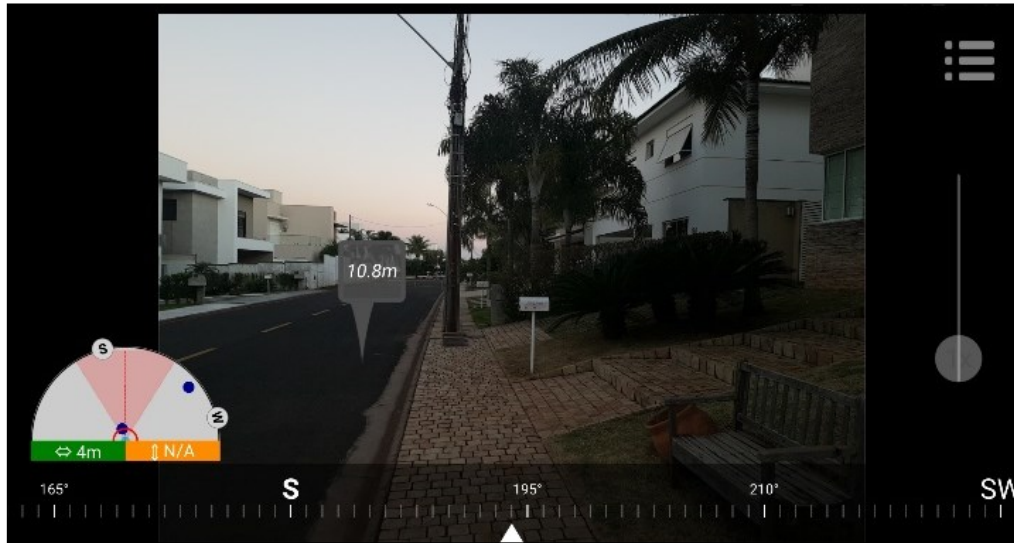
Figura 33: Pontos de dados carregados pelo autor em um mapa no site do ARCGIS®. Esta ilustração é a tela real do aplicativo AuGeo® em um *smartphone*.



Fonte: Aplicativo AuGeo®

A Figura 34 mostra a visualização de um texto “pop-up” indicando a localização do divisor GPON. Nesse caso, o equipamento está conectado a um poste, e as indicações apontam para um local que fica a 2-3 metros da posição real. Como verificado, a precisão do dispositivo depende de vários itens, como cobertura GPS ou calibração da bússola.

Figura 34: Visualização em um *smartphone* de um “pop-up” no aplicativo AuGeo®.



Fonte: Aplicativo AuGeo®

A seção 3.4 explora com maiores detalhes alguns testes realizados nesta aplicação.

3.2.5 Projeto “Urban Futurability” da ENEL (2019)

Em 2019, a empresa distribuidora de energia de São Paulo ENEL (ENEL DISTRIBUIÇÃO SP, 2019) anunciou o início de um grande projeto que visa implementar na Vila Olímpia, na Zona Sul da capital paulista, mais de 40 iniciativas de digitalização e inteligência artificial para gestão da rede de energia. Foi anunciado investimento de aproximadamente R\$ 125 milhões no projeto “Urban Futurability” nos próximos três anos, com recursos do programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).

Uma das funcionalidades propostas prevê o reconhecimento de ativos através de inteligência artificial, conforme ilustrado na Figura 35, em um trecho de vídeo conceitual divulgado pela empresa, que mostra a identificação de ativos em um poste, demarcando o elemento e trazendo, através de Realidade Aumentada, o nome do ativo da rede.

Figura 35: Imagem extraída do vídeo “Urban Futurability” da Enel.



Fonte: <<https://www.eneldistribuicao.com.br/urban-futurability>>. Acesso em 05/01/20.

“A digitalização dos processos, por meio da Realidade Aumentada, somada à disponibilidade de dados, aumentarão a segurança e eficiência das operações de campo, acelerando o diagnóstico do problema e oferecendo mais rapidamente uma solução assertiva. A imersão digital em simulações de atividades de treinamento em um ambiente completamente virtual reduzirá riscos e disponibilizará feedbacks em tempo real, possibilitando o aperfeiçoando e aprendizado cognitivo” (ENEL DISTRIBUIÇÃO SP, 2019).

3.3 Análise comparativa dos correlatos comerciais

Avaliando os correlatos comerciais listados, pode-se comparar algumas características deles, de forma a justificar a utilização da proposta deste trabalho, conforme mostrado no Quadro 4.

Quadro 4: Abordagens dos correlatos comerciais

Aplicação	GPS ¹	RA ²	VC ³	Marker ⁴	Feed-back ⁵	Nova base de dados ⁶	Base de dados legada ⁷
CEPC							
TECHSEE							
General Electric							
AuGeo®							
ENEL							

Fonte: Autor

- 1. A aplicação utilizou o GPS embarcado no dispositivo*
- 2. A aplicação utilizou tecnologia de Realidade Aumentada*
- 3. A aplicação utilizou algum tipo de visão computacional*
- 4. A aplicação fez uso de marcadores*
- 5. A aplicação permite funcionalidade de feedback ao usuário*
- 6. A aplicação demanda adequação da base de dados existente*
- 7. A aplicação se conectou a uma base de dados já existente, sem adequações*

Após a análise comparativa dos correlatos comerciais, conclui-se que a proposta apresentada traz inovação, e será detalhada no Capítulo 4.

3.4 Testes com a aplicação comercial: AuGeo®

3.4.1 Etapas dos testes

a) Criação da conta ARGGIS® online

O primeiro passo é a criação de uma conta de usuário, disponível no endereço <https://www.esri.com/pt-br/arcgis/trial>.

b) Instalação do aplicativo AuGeo® no *Smartphone*

Para a realização dos testes, foi utilizado um *smartphone* Samsung Galaxy S9+. A Figura 36 ilustra a descrição do aplicativo instalado através da loja de aplicativos *Play Store*.

Figura 36: Descrição do aplicativo AuGeo® instalado no dispositivo móvel.

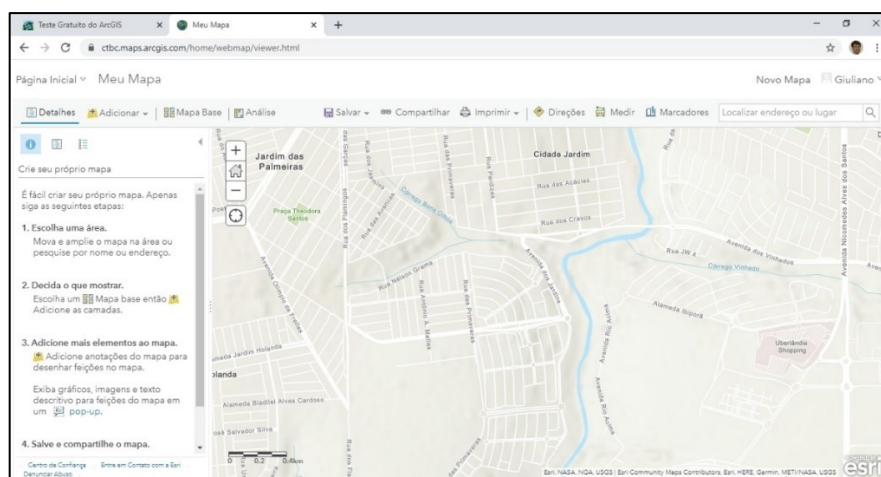


Fonte: loja de aplicativos *Play Store*.

c) Entrada de dados geográficos na conta ARCGIS® online

Deve-se criar um mapa, como no exemplo da Figura 37.

Figura 37: Novo mapa criado no software ARCGIS®.



Fonte: software ARCGIS®

Os dados podem ser carregados através de uma tabela (arquivo com extensão csv). No teste realizado, foi utilizada uma tabela extraída do cadastro de elementos de rede da Algar Telecom, composto por 7 colunas. A informação de cada coluna é a seguinte: nome da caixa (splitter), localidade, estado, latitude, longitude, quantidade de portas ocupadas, quantidade total de portas.

Quadro 5: Dados utilizados para testes no software AuGeo®

Nome da caixa	Localidade	Estado	Latitude	Longitude	Portas ocupadas	Total de portas
CTO-ULA-03767	UBERLANDIA	MG	-18,960212	-48,295787	12	16
CTO-ULA-03768	UBERLANDIA	MG	-18,959931	-48,295145	4	16
CTO-ULA-03769	UBERLANDIA	MG	-18,958884	-48,295175	7	16
CTO-ULA-03770	UBERLANDIA	MG	-18,959443	-48,294327	9	16
CTO-ULA-03771	UBERLANDIA	MG	-18,959378	-48,293807	5	16
CTO-ULA-03772	UBERLANDIA	MG	-18,959428	-48,293079	5	16
CTO-ULA-03773	UBERLANDIA	MG	-18,957476	-48,294568	3	16
CTO-ULA-03774	UBERLANDIA	MG	-18,956954	-48,294109	11	16
CTO-ULA-03775	UBERLANDIA	MG	-18,956352	-48,293542	3	16
CTO-ULA-03776	UBERLANDIA	MG	-18,957206	-48,29332	10	16
CTO-ULA-03777	UBERLANDIA	MG	-18,95626	-48,292867	4	16
CTO-ULA-03778	UBERLANDIA	MG	-18,959086	-48,296502	5	16
CTO-ULA-03779	UBERLANDIA	MG	-18,960151	-48,296453	8	16
CTO-ULA-03780	UBERLANDIA	MG	-18,959215	-48,297164	8	16
CTO-ULA-03781	UBERLANDIA	MG	-18,960342	-48,29711	8	16
CTO-ULA-03782	UBERLANDIA	MG	-18,959473	-48,297803	8	16
CTO-ULA-03783	UBERLANDIA	MG	-18,957348	-48,29814	5	16
CTO-ULA-03784	UBERLANDIA	MG	-18,958098	-48,297284	6	16
CTO-ULA-03785	UBERLANDIA	MG	-18,956737	-48,297618	5	16
CTO-ULA-03786	UBERLANDIA	MG	-18,957564	-48,294732	1	16
CTO-ULA-03787	UBERLANDIA	MG	-18,956887	-48,295532	7	16
CTO-ULA-03788	UBERLANDIA	MG	-18,957779	-48,295993	8	16
CTO-ULA-03789	UBERLANDIA	MG	-18,956558	-48,296296	6	16
CTO-ULA-03790	UBERLANDIA	MG	-18,957906	-48,296656	10	16
CTO-ULA-03791	UBERLANDIA	MG	-18,956675	-48,296955	5	16

Fonte: Autor

A tabela utilizada está replicada no Quadro 5, e consiste em 25 splitters de uma rede GPON em um condomínio horizontal na cidade de Uberlândia.

A Figura 38 mostra o posicionamento de cada um dos 25 elementos de rede após a carga dos dados.

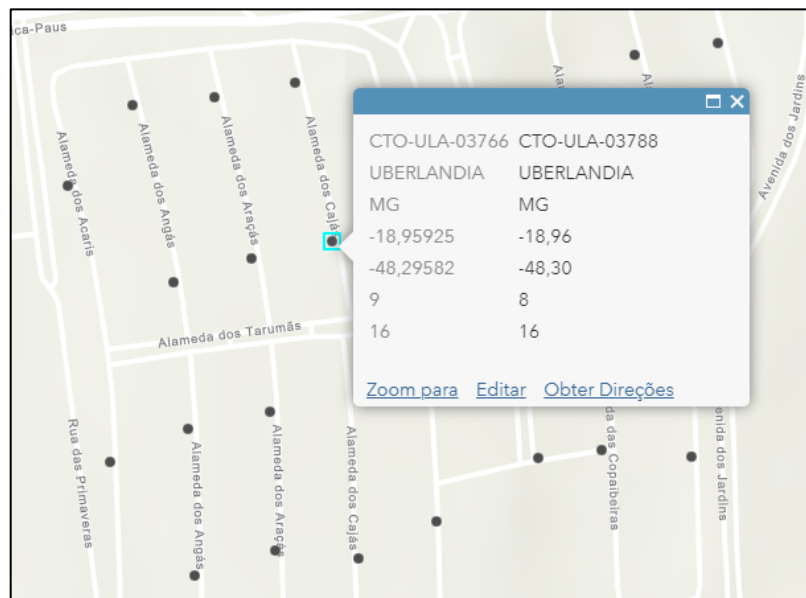
Figura 38: 25 pontos carregados no mapa do software ARCGIS® Online.



Fonte: software ARCGIS® Online

Ao selecionar um destes elementos no software online, é possível obter as informações que foram carregadas, conforme Figura 39.

Figura 39: Propriedades de cada item carregado no mapa.



Fonte: Software ARCGIS® Online

d) Configuração da conta no *smartphone*

O usuário deve realizar login no aplicativo AuGeo® com o mesmo usuário e senha utilizados para a criação da conta do ARCGIS® Online.

Desta forma, o mapa salvo no aplicativo web estará disponível para utilização no *smartphone*. A Figura 40 mostra a visualização do mapa no *smartphone*, com os 25 elementos de rede cadastrados.

Figura 40: Visualização dos elementos de rede carregados no mapa.



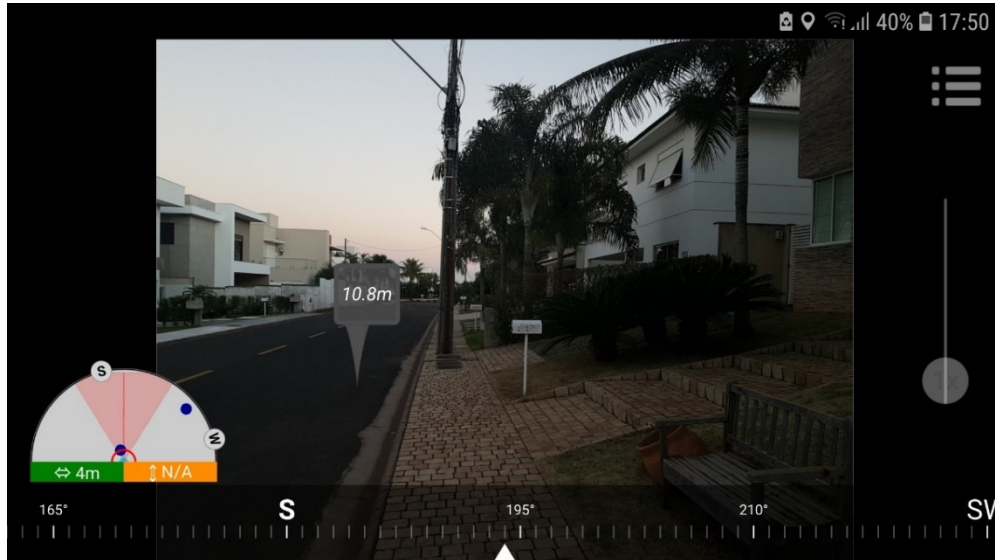
Fonte: Aplicativo AuGeo®

e) Resultados de utilização

Ao iniciar o modo de navegação no aplicativo, é mostrada uma bússola na parte inferior da tela, bem como os elementos de rede cadastrados que estão no campo de visão enquadrado pelo usuário.

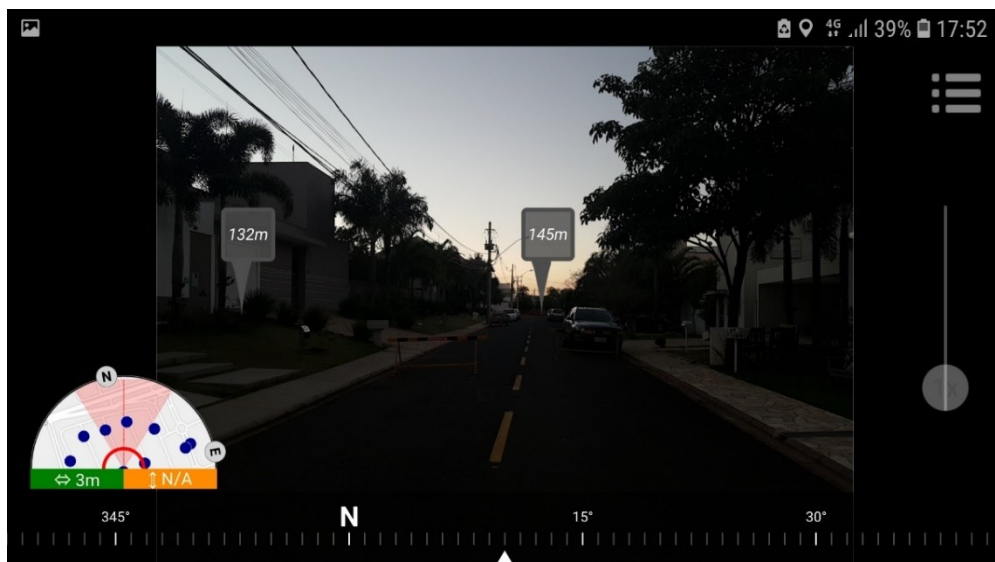
Todos os elementos de rede que estiverem no campo de visão terão sua posição demarcada com uma caixa que indica também a distância entre o usuário e o elemento de rede em questão, conforme mostrado pelas Figuras 41 e 42.

Figura 41: Indicação do elemento de rede próximo ao usuário. Nota-se o erro associado à imprecisão dos sensores do *smartphone* ou da aplicação, uma vez que a posição indicada está a cerca de 2 metros da posição real do poste.



Fonte: Aplicativo AuGeo®

Figura 42: Indicação dos dois elementos de rede que se encontram no campo de visão do usuário, e distâncias entre eles e o usuário.



Fonte: Aplicativo AuGeo®

3.4.2 Conclusões dos testes

Os testes realizados neste aplicativo reafirmam a contribuição que a RA traz para as empresas, ajudando a reduzir os custos operacionais. O sistema proposto neste trabalho possui um modo de operação semelhante, mas com algumas diferenças importantes, que serão explanadas no capítulo a seguir.

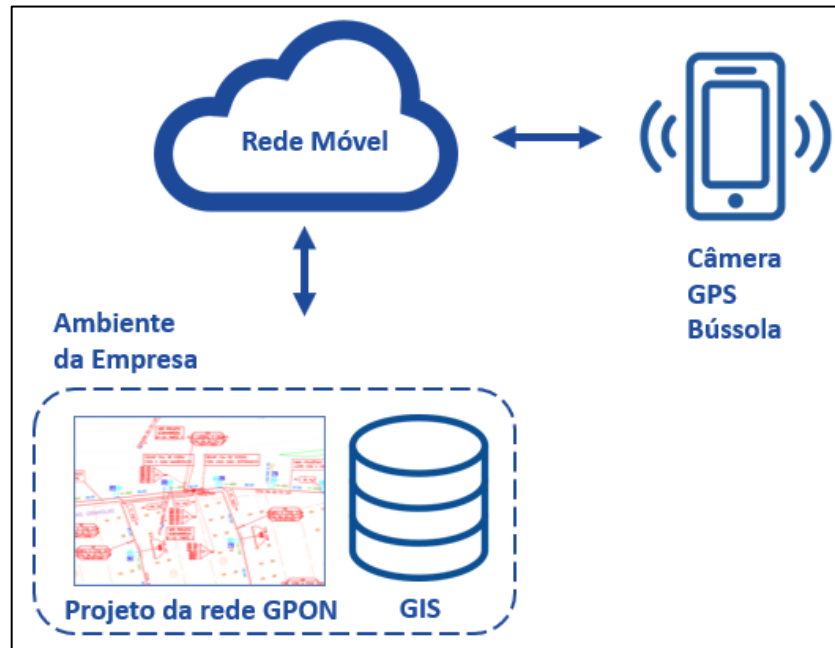
4. Arquitetura da Solução ARNet

Este capítulo apresenta a arquitetura desenvolvida da aplicação, denominada ARNet. Os elementos que compõem a solução são abordados, e ao final do capítulo comparam-se os recursos da aplicação com os observados nos artigos de referência e correlatos comerciais encontrados.

A aplicação desenvolvida integra Realidade Aumentada, coordenadas obtidas a partir do GPS do dispositivo móvel, uma conexão com uma base de dados (GIS) já existente de uma empresa, e visão computacional, para auxiliar tarefas de manutenção de técnicos que trabalham em campo, percorrendo dezenas de ativos da empresa por dia, dispersos geograficamente.

A arquitetura macro do sistema é mostrada na Figura 43. Na utilização da aplicação, o usuário captura uma imagem do objeto desejado usando a câmera de seu dispositivo móvel. O objeto desejado, que aparece na imagem, é reconhecido por meio da visão computacional. O sistema consulta dados da bússola e do GPS do dispositivo móvel e um banco de dados (GIS) remoto de equipamentos, pela conexão via internet móvel, busca informações relevantes a respeito do objeto e as apresenta na tela do dispositivo móvel, usando Realidade Aumentada. O sistema permite, ainda, que o usuário entre com informações diretamente na aplicação, por exemplo para informar uma nota relacionada ao uso do sistema, ou para informar um erro relacionado à identificação do objeto ou às informações mostradas.

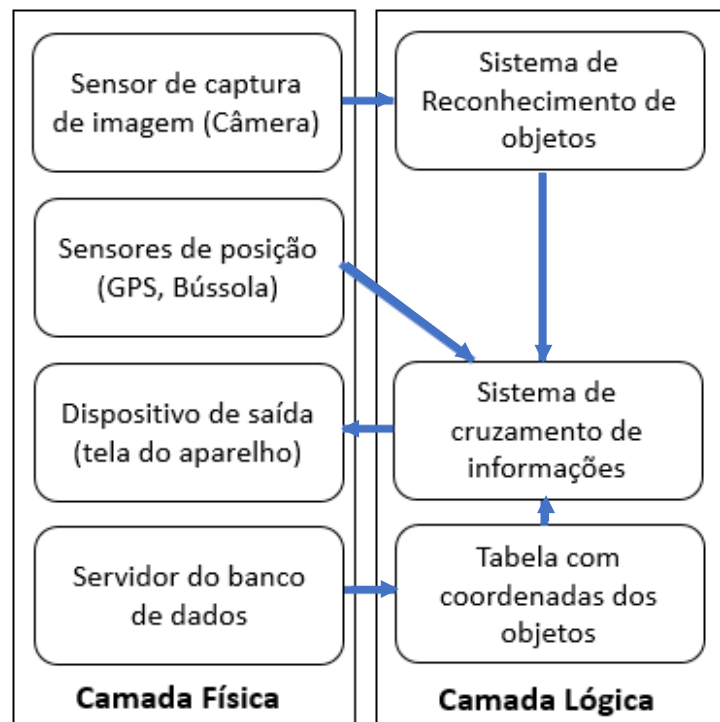
Figura 43: Arquitetura macro proposta para o sistema.



Fonte: Autor

O diagrama de blocos da arquitetura é mostrado na Figura 44.

Figura 44: Arquitetura de blocos do sistema.



Fonte: Autor

Na Figura 44, os elementos da arquitetura implementada são agrupados em camada física (sensores, equipamentos e dispositivos) e camada lógica (algoritmos e tabelas utilizados).

Os módulos representados na Figura 44 são:

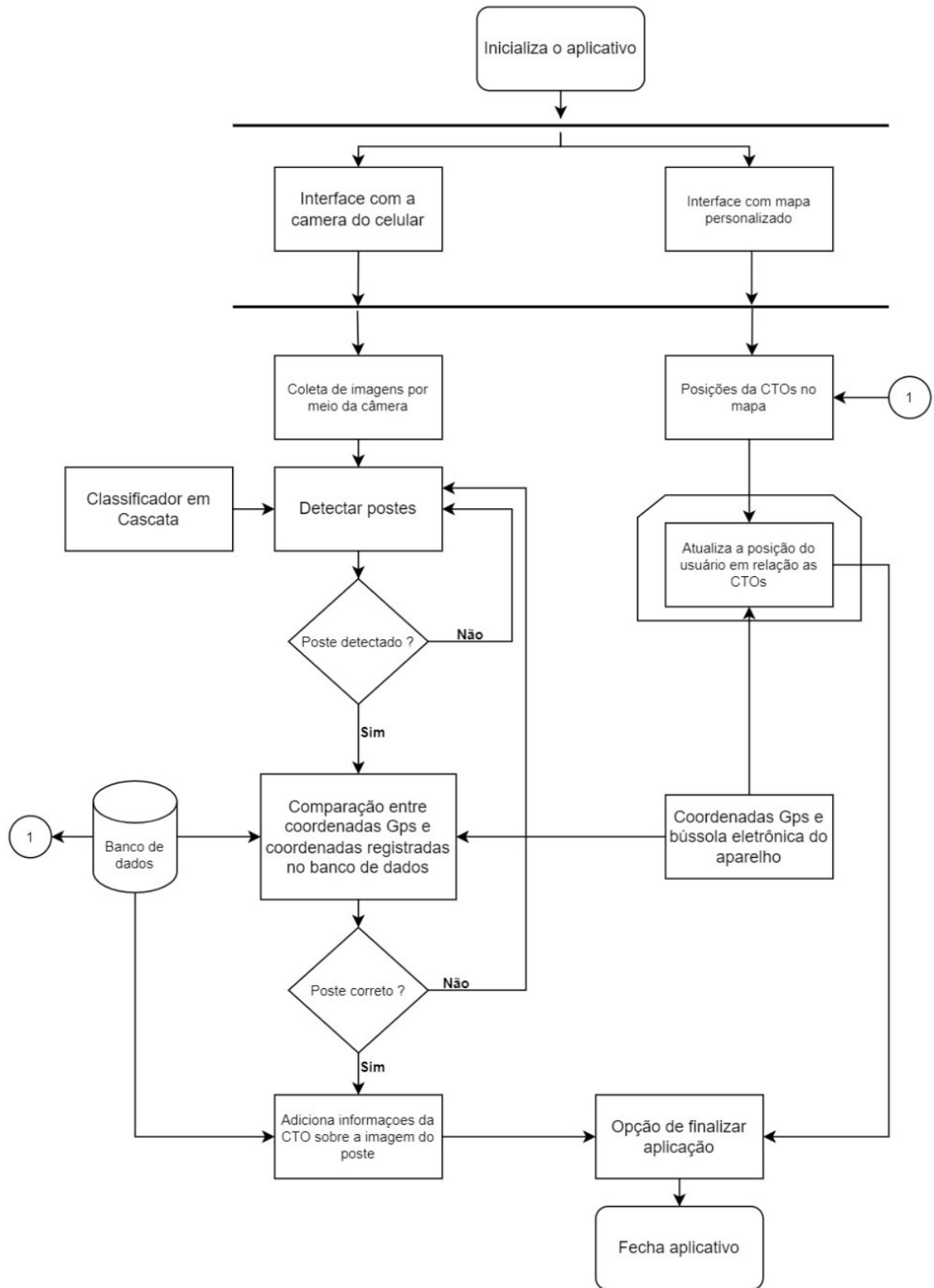
- a) Sensor de captura de imagem (Câmera): elemento incorporado ao dispositivo móvel. Pode ser por exemplo a câmera embutida em um *smartphone*. Responsável pela aquisição das imagens. Este módulo é executado no *smartphone*;
- b) Sensores de posição: o GPS embarcado no dispositivo móvel será usado para obtenção das coordenadas geográficas (latitude e longitude) em que o usuário se encontra. A bússola servirá para identificação da direção em que o usuário está apontando seu dispositivo móvel. Ambos servem como entrada do Sistema de Cruzamento de informações. Este módulo é executado no *smartphone*;
- c) Dispositivo de saída (tela do aparelho): utilizada na interação do usuário com a aplicação. Exibe as imagens continuamente capturadas pela câmera (sem necessidade do usuário pressionar o botão de captura de fotos) e também as informações e gráficos disponibilizados via Realidade Aumentada. Estas indicações por Realidade Aumentada serão geradas diretamente no dispositivo móvel, por se tratarem de gráficos e textos simples, sem necessidade de muito poder de processamento. Este módulo é executado no *smartphone*;
- d) Servidor do banco de dados: computador que hospeda o banco de dados GIS que possui informações relacionadas aos ativos (nome e posição geográfica). Este banco de dados é acessado de forma remota pela aplicação;
- e) Sistema de reconhecimento de objetos: aplicação que compara as imagens obtidas pela câmera com um conjunto de imagens que serve como referência.

Este módulo é uma entrada do Sistema de Cruzamento de Informações, repassando a informação relativa ao objeto que foi identificado pelas suas formas. Este módulo é executado no *smartphone*;

- f) Sistema de Cruzamento de Informações: algoritmo que recebe a identificação do objeto informada pelo Sistema de Reconhecimento de Objetos, bem como a posição de cada elemento próximo ao usuário, provenientes da Tabela com Coordenadas dos Objetos, e a posição geográfica do usuário, e com isso consegue diminuir os erros inerente à precisão da tecnologia GPS ao reconhecimento de imagens. Desta forma, se o algoritmo reconhece que um objeto deveria estar em uma determinada posição (conclusão obtida a partir da Tabela com Coordenadas dos Objetos) e encontra um objeto que se assemelha ao que existe em imagens de referência, então conclui-se que aquele objeto é o mesmo que se encontra na Tabela com Coordenadas dos Objetos. Este módulo é executado no *smartphone*;
- g) Tabela com Coordenadas dos objetos: Tabela que lista todos os ativos que se pretende identificar, e tem em cada coluna uma informação que caracteriza cada um: Nome, Latitude e Longitude do objeto. Esta tabela se encontra em um servidor remoto.

O fluxograma da aplicação ARNet é mostrado na Figura 45.

Figura 45: Fluxograma da aplicação ARNet.



Fonte: Autor.

A escolha cautelosa do hardware é fundamental para uma melhor usabilidade da solução. Uma Revisão Bibliográfica Sistemática conduzida por Palmarini et al. (2018) a respeito do uso de aplicações com RA em atividades de manutenção concluiu que o hardware mais comum em aplicações deste tipo é o HMD (head-mounted display), presente em 30% das publicações analisadas, seguido pelo HHD (hand-held device), presente em 27% dos estudos analisados. De forma similar, outra Revisão Bibliográfica Sistemática conduzida por Cardoso et al. (2020) com o foco em Realidade Aumentada Industrial mostrou preferência pelo uso de HMDs (40% das publicações) e de HHDs (28% das publicações).

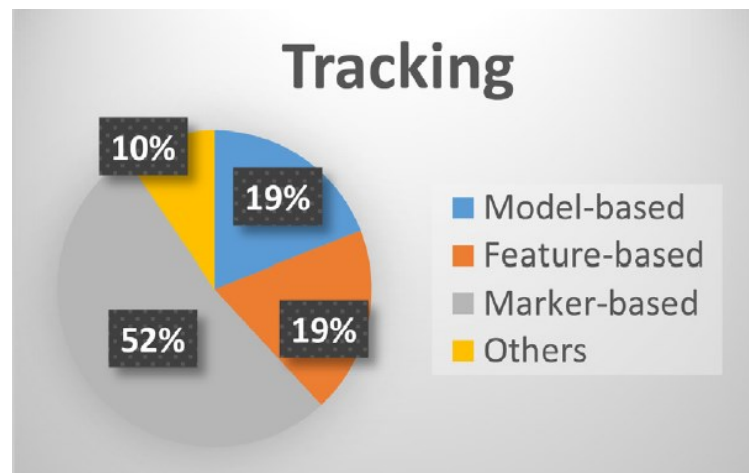
A preferência pelo uso do HHD neste trabalho se justifica pelos seguintes itens:

- a) Atividades de manutenção em campo são comumente realizadas por dezenas ou centenas de técnicos. Equipar cada um dos técnicos com HMDs geraria um alto custo;
- b) Técnicos em campo normalmente já possuem *smartphones*, para que possam entrar em contato ou serem supervisionados pelo staff de operação das empresas;
- c) Na aplicação proposta, o usuário não tem a necessidade de utilizar a aplicação por muito tempo em cada manutenção, o que poderia justificar o uso de HMDs (para manter as mãos livres). Sendo assim, ele pode realizar consulta de dados de ativos na aplicação, tomar suas decisões e em seguida não é mais necessário que ele permaneça visualizando a tela do *smartphone* enquanto realiza suas atividades;
- d) A utilização de uma aplicação executada em *smartphone* seria de fácil utilização pelos técnicos, com necessidade somente de um treinamento básico, ao passo que a utilização de HMDs demandaria investimento considerável em treinamento.

Com relação ao modelo de *tracking* aplicado, as abordagens utilizadas podem ser baseadas em visão, baseadas em sensores ou ambos (estratégia híbrida) (PALMARINI et al., 2018).

Os modelos híbridos pertencem à classe “outros” mostrada na Figura 46. Eles fazem uso de uma estratégia de visão combinada com informações de sensores. Na aplicação proposta, o *tracking* será híbrido, utilizando a modalidade “feature-based” e como sensores o GPS e bússola do dispositivo móvel. A escolha por modalidades sem marcadores se justifica pela grande quantidade de ativos que uma empresa possa ter em diferentes locais, o que levaria à necessidade de identificar cada um deles com um marcador.

Figura 46: Técnicas de tracking utilizadas nas publicações selecionadas pela RBS de Palmarini.



Fonte: Palmarini et al. (2018).

Quanto à solução de *authoring*, a solução mais simples e efetiva para o que se propõe neste trabalho é a modalidade manual, com exibição de texto. Informações sobre o ativo em que o usuário está trabalhando serão mostradas na tela de seu *smartphone*. Uma das vantagens de se utilizar o texto simples, sobre o uso de imagens 2D ou 3D, é a menor necessidade de processamento na geração do conteúdo, tornando

a solução mais aderente a dispositivos que tenham configurações de hardware mais simples.

A inovação apresentada difere-se das demais avaliadas no terceiro capítulo, nos seguintes quesitos (Quadro 6):

Quadro 6: Elementos utilizados pela aplicação ARNet.

Autores	GPS ¹	RA ²	VC ³	Marker ⁴	Feed-back ⁵	Nova base de dados ⁶	Base de dados legada ⁷
Bergenti et al. (2014)							
Cordonnier et al. (2017)							
Ogushi et al. (2013)							
Ortega et al. (2019)							
Zhang et al. (2016)							
CEPC							
TECHSEE							
General Electric							
<u>AuGeo®</u>							
ENEL							
ARNet							

Fonte: Autor.

- a) O sistema não faz uso de marcadores, como o proposto por exemplo por Ogushi (OGUSHI et al, 2013). Os ativos são identificados através da sua posição geográfica, e um algoritmo de visão computacional foi implementado para apontar a localização exata do ativo;

- b) A aplicação é exclusivamente de uso outdoor (e não indoor, como em Bergenti (BERGENTI et al, 2014) e Ogushi (OGUSHI et al., 2013);
- c) A aplicação é capaz de reconhecer e buscar informações relevantes de cada um dos milhares de ativos disponíveis, ao invés de um único equipamento, como em Bergenti (BERGENTI et al., 2014) e Ogushi (OGUSHI et al., 2013), de forma que o georreferenciamento é fundamental nesta abordagem;
- d) O sistema não depende de um mapeamento prévio da rede com criação de um novo cadastro de ativos, como no caso da proposta da empresa ENEL e nas aplicações descritas pelos cinco autores de referência. O sistema legado da empresa é consultado em tempo real para a busca e apresentação das informações dos ativos por meio de Realidade Aumentada;
- e) Foi implementada uma opção de *feedback*, que permite atualização de informações de cadastro diretamente pelo técnico, ao perceber algum erro nas informações apresentadas, ou cadastro incompleto de algum equipamento, através de uma interface simples e intuitiva. Assim que o técnico realizar a atualização de algum dado, a mesma estará disponível para consulta pelos demais técnicos e também pela equipe de *backoffice* da empresa;
- f) O sistema faz uso da modalidade híbrida de *tracking*, diferentemente por exemplo de Zhang (ZHANG et al., 2016) que implementou uma versão da aplicação usando visão computacional, e outra usando informações de sensores, mas não combinou as duas informações.

A proposta apresentada também é diferente dos correlatos comerciais encontrados, nos seguintes pontos:

- a) O sistema implementado pela empresa CEPC utiliza informações de GPS para orientar os técnicos sobre direções e rotas, em um sistema integrado com a base de dados dos ativos da empresa (sistema GIS) de forma que auxilie os

técnicos em seus trabalhos, mas nenhuma modalidade de visão computacional ou Realidade Aumentada foram aplicadas. Ademais, um novo mapa digital foi criado exclusivamente para esta aplicação;

- b) A solução comercializada pela empresa TECHSEE se resume a um compartilhamento de vídeo entre um técnico e um especialista remoto. Este auxilia o técnico exibindo informações na tela de seu dispositivo móvel para ajudá-lo em suas tarefas de manutenção. Nenhuma informação geográfica é usada, e tampouco visão computacional;
- c) O caso da General Electric relata uma aplicação com visão computacional e Realidade Aumentada. Um diferencial deste sistema é que ele se integra com a base de dados legada da empresa, sem necessidade de adaptação ou criação de novos mapas ou informações de equipamentos. No entanto, não há utilização de informações geográficas, e também não existe opção de interação pelo usuário no sentido de digitar informações (feedback);
- d) O aplicativo AuGeo® permite com facilidade a entrada de dados pelo site da aplicação, para posterior visualização da posição geográfica dos elementos através de Realidade Aumentada, em dispositivos móveis. O aplicativo pode, ainda, em sua versão corporativa, acessar o GIS existente da empresa, caso ela utilize a plataforma ARCGIS do desenvolvedor ESRI. Como lacunas destacam-se a falta de um módulo de visão computacional e a opção do usuário realizar alterações no cadastro dos equipamentos, caso seja detectada alguma inconsistência de informações. A falta do módulo de visão computacional compromete a precisão do sistema, que depende da precisão da leitura das coordenadas do GPS do dispositivo móvel, bem como calibragem da bússola do dispositivo. Por fim, a empresa informa que não é possível exibir polígonos na tela do dispositivo, somente a marcação dos pontos geográficos de interesse.

- e) O protótipo em desenvolvimento da empresa ENEL se assemelha ao que se pretende desenvolver neste trabalho. São utilizadas coordenadas geográficas, visão computacional (para identificação visual dos ativos da empresa) e Realidade Aumentada. No entanto, o estágio inicial deste desenvolvimento prevê o mapeamento de todos os ativos e criação de um novo banco de dados. Não foi relatada funcionalidade de feedback.

5. Detalhes da Implementação

Este capítulo descreve o escopo do estudo de caso executado, de forma a validar a aplicação desenvolvida. É feita uma introdução sobre as características de uma rede de acesso à internet por fibra óptica (GPON). É abordado também o panorama da empresa de Telecomunicações escolhida para o estudo de caso, evidenciando seus sistemas de cadastro de ativos atuais e delimitando as tarefas de manutenção exercidas pelos técnicos. Em seguida, as etapas do desenvolvimento são detalhadas.

5.1 A rede GPON

Com o aumento do tráfego cursado em redes de telecomunicações devido às recentes aplicações, como o IPTV e o vídeo sob demanda (VoD), cresceu a demanda por maiores bandas disponíveis aos clientes (CALE et al., 2007). Desta forma, houve um movimento natural de trazer o acesso à fibra óptica cada vez mais próxima dos clientes, chegando por fim até suas residências (GIRARD, 2006).

Dentre as tecnologias de redes de fibra óptica disponíveis, a modalidade passiva se mostrou adequada por permitir uma expansão simples, em caso de necessidade (URBAN et. al, 2013). No entanto, o aumento da quantidade de acessos torna mais complexa a atividade de manutenção destas redes (URBAN et al., 2013).

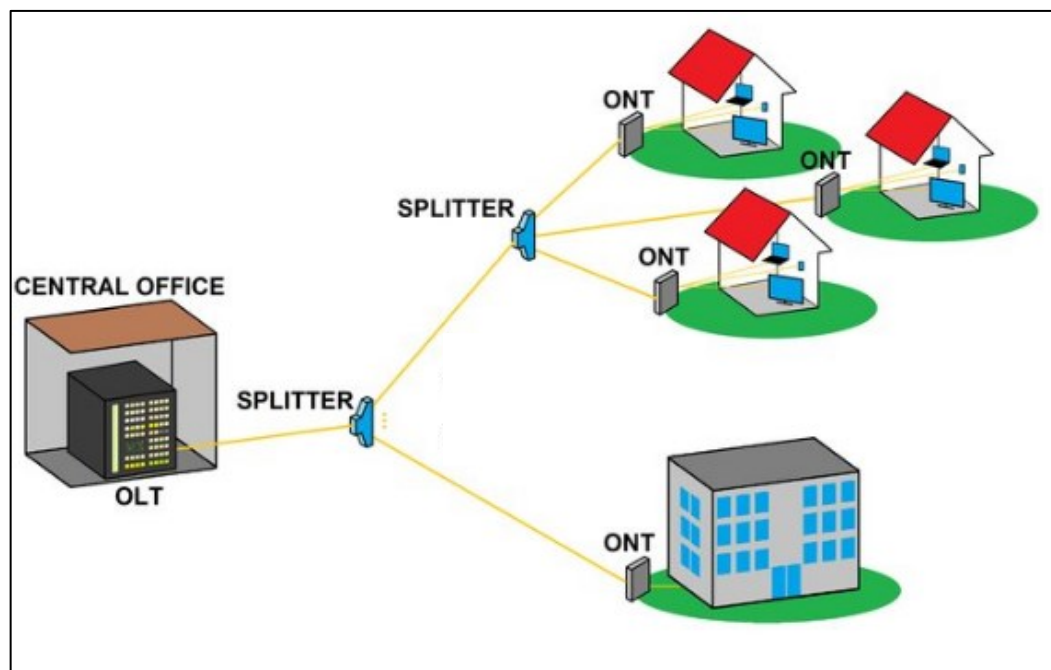
Esta modalidade é denominada GPON (Gigabit Passive Optical Network).

As redes GPON são redes de transmissão de alto desempenho baseadas na tecnologia de fibra óptica. Uma topologia de rede comum para esse tipo de rede é mostrada na Figura 47. Os divisores (splitters) são posicionados nos postes, como mostra a Figura 48. Esses elementos, como podem ser vistos na Figura 48, são caixas plásticas seladas que conectam os clientes à rede. O divisor possui uma entrada e

várias portas de saída. O sinal óptico de entrada é dividido entre as portas de saída, permitindo a vários usuários compartilharem uma única fibra óptica. Tipicamente, cada divisor pode atender a até 16 clientes, oferecendo acesso à Internet de ultra banda larga, com taxas de transmissão de até 300 Gbps (Gigabits por segundo).

Figura 47: Ilustração da arquitetura de rede GPON. Um OLT (terminal de linha óptica) é um equipamento de rede central e um ONT (terminal de rede óptica) é um equipamento de cliente.

Um divisor (*splitter*) se conecta a vários ONTs.



Fonte: SÁNCHEZ-AZQUETA et al. (2019).

Figura 48: Divisores (splitters) de rede GPON.



Fonte: Autor.

5.2 Cenário de uma empresa de Telecomunicações

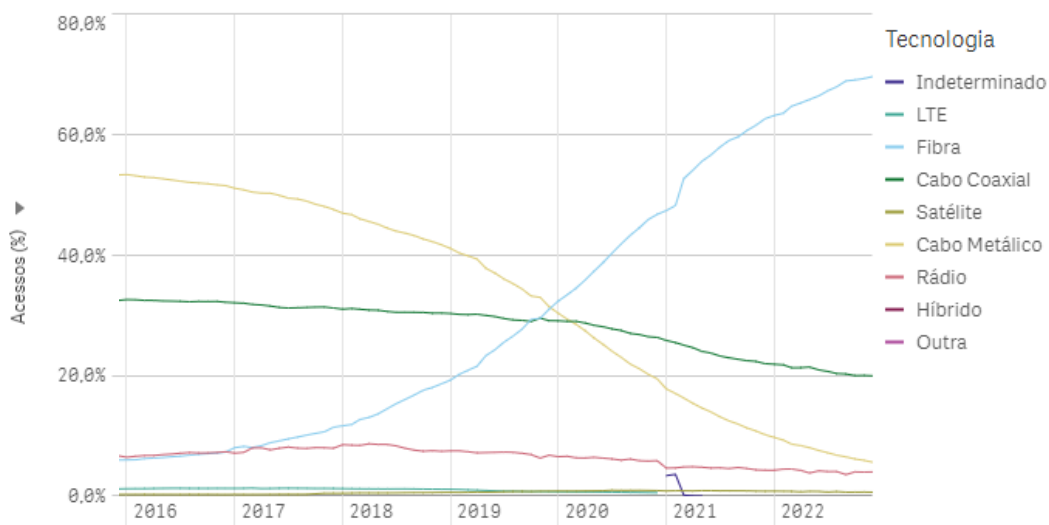
Como estudo de caso real, a aplicação do sistema proposto foi testada nas operações de campo de uma operadora de telecomunicações com sede administrativa em Uberlândia(MG), a Algar Telecom.

Este estudo de caso aborda os seguintes itens descritos por ALAVIKIA (2019): treinamento, inspeção de ativos, localização de ativos, visualização de equipamentos e estrutura; e consciência da situação.

A empresa possui atuação em clientes corporativos (B2B) e de varejo (B2C). Sua infraestrutura, construída com moderna tecnologia, é suportada por uma rede de aproximadamente 66 mil km de fibra óptica com presença, atualmente, em 16 estados, 350 cidades e no Distrito Federal.

Desde 2014, a Algar Telecom vem modernizando suas redes legadas, de forma a entregar a seus clientes um acesso à internet moderno e eficiente, com tecnologia de fibra óptica. Todos os seus concorrentes estão fazendo uso cada vez maior desta tecnologia (ANATEL, 2020).

Atualmente, a tecnologia predominante de acesso à internet fixa é por meio de fibra óptica, conforme pode ser visto na Figura 49 (mais de 70% dos acessos atualmente).

Figura 49: Evolução dos acessos de banda larga fixa

Fonte: ANATEL < <https://informacoes.anatel.gov.br/paineis/acessos/banda-larga-fixa> >. Acesso em 06/01/23.

O crescimento dos acessos à fibra óptica dos clientes da Algar Telecom é expressivo. A empresa, em sua área de atuação, passou de cerca de 120 mil clientes, em dezembro de 2018, para aproximadamente 470 mil clientes, em dezembro de 2022, com acesso à esta modalidade de internet, o que representa um crescimento de quase 4 vezes em 4 anos (ALGAR TELECOM, 2022).

A queda dos custos dos equipamentos de fibra óptica tem atraído novos concorrentes no mercado de Telecomunicações, e com isto tornou-se comum o processo de comoditização das ofertas de produtos de acesso à internet pelas operadoras. As margens são reduzidas, e existe um esforço de eliminação de custos em toda a cadeia da entrega de serviços aos clientes. Nos últimos anos, a Algar Telecom vem investindo em projetos que visem a otimização de seus processos, trazendo de forma imediata uma redução de custos, com projetos que fazem parte de um grande programa denominado Transformação Digital (ALGAR TELECOM, 2022).

Uma preocupação constante em atividades de manutenção é maximizar a disponibilidade e segurança e reduzir custos (DEL AMO et al., 2018).

Através de entrevistas realizadas com técnicos que atuam com instalação e manutenção de fibra óptica e seus supervisores na referida empresa, foi possível confirmar que eles são receptivos a novos aplicativos e tecnologias que possam trazer ganhos de produtividade.

O foco do estudo de caso foi o processo de ativação de novos clientes com a tecnologia de acesso por fibra óptica. Neste processo, o trabalho dos técnicos consiste em identificar o divisor mais próximo de um novo cliente que solicitou o serviço de ultra banda larga, conectando uma fibra do divisor ao ONT do cliente e executando testes de conectividade e velocidade. Como eles têm várias tarefas atribuídas a eles ao longo do dia, seria útil ter um aplicativo móvel para ajudar na instalação e manutenção, identificando o equipamento mais próximo do funcionário e mostrando informações relevantes para ajudá-lo. Qualquer aumento de produtividade é muito bem-vindo, pois o setor de telecomunicações enfrenta a necessidade de reduzir os custos operacionais o máximo possível.

Além disso, à medida que a demanda por esse acesso à Internet de alta velocidade está aumentando, alguns clientes podem passar vários dias em espera, desde a solicitação inicial até a prestação do serviço. Isso pode causar frustração e muitos clientes desistem em algum momento do processo. O prazo de instalação informado aos clientes no momento da aquisição do serviço é de 4 dias. O atingimento do prazo médio também é acompanhado pela Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), que pode aplicar penalidades às operadoras de telecomunicações se julgar que a prestação de serviços não está adequada.

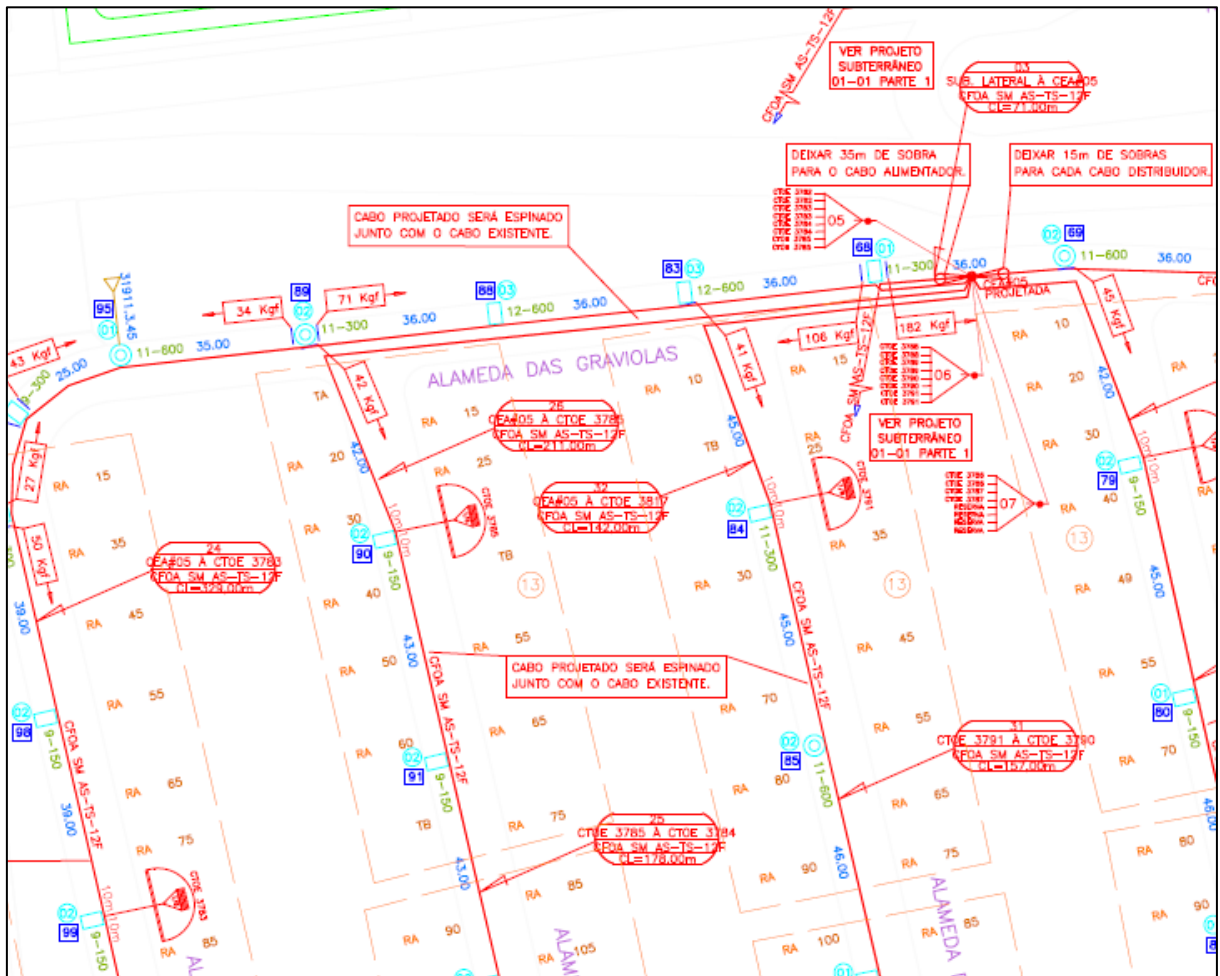
Para ajudar a reduzir o tempo de ativação e aumentar a satisfação do cliente, além de reduzir custos, a Algar Telecom pode se beneficiar do aplicativo ARNet a ser utilizado por seus técnicos em campo, em seus *smartphones*.

Esse aplicativo é capaz de fornecer informações relevantes precisas em tempo real, ajudando a preencher algumas lacunas atuais enfrentadas pelo operador. Geralmente, o técnico nunca tem certeza se um determinado divisor tem uma porta disponível para conectar-se ao cliente. Além disso, ele não tem um mapa de rede em seu *smartphone*, de forma que consulta muitas vezes mapas impressos que se encontram no veículo da empresa, que são volumosos e de difícil leitura. Por fim, o registro de rede pode estar desatualizado, indicando posições incorretas dos divisores (splitters). Todos esses problemas fazem com que o técnico faça ligações telefônicas para uma área de suporte várias vezes durante o dia. Isso aumenta o tempo de ativação e gera custos desnecessários.

De fato, manter dados de ativos atualizados foi um grande desafio para as operadoras de telecomunicações nas últimas décadas (ZEISS, 2019).

Um trecho de mapa de rede da operadora Algar Telecom é mostrado na Figura 50. Ele identifica os equipamentos de rede de fibra óptica (GPON) do condomínio horizontal Jardins Roma, situado na cidade de Uberlândia (MG).

Figura 50: Trecho de mapa de rede GPON da Algar Telecom em Uberlândia

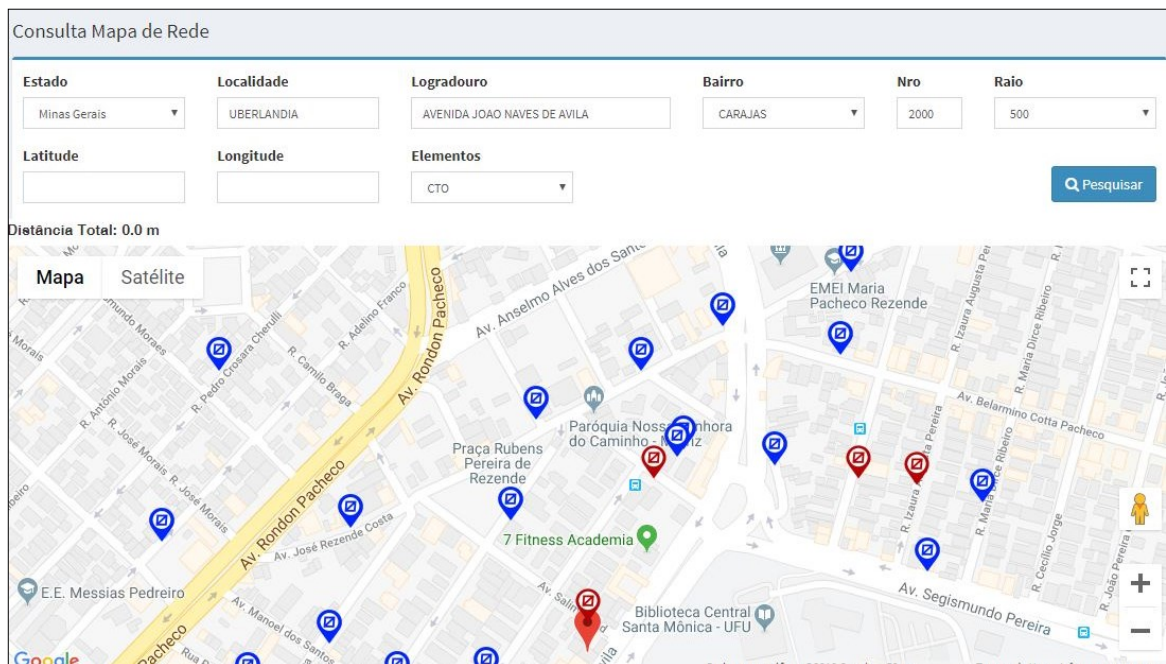


Fonte: Algar Telecom (2021).

Observa-se que de forma geral as operadoras de telecomunicações não utilizam muitas tecnologias de apoio ao trabalho dos técnicos. Desta forma, o trabalho proposto representa inovação relevante para a empresa.

O software de gerenciamento de mapa de rede existente é mostrado na Figura 51. Este é acessado por um número limitado de funcionários, chamados operadores de rede, que trabalham dentro da sede da empresa. Este mapa não está disponível para milhares de técnicos, que trabalham nas ruas, chegando às casas dos clientes.

Figura 51: Software de gerenciamento de mapa de rede.



Fonte: Algar Telecom

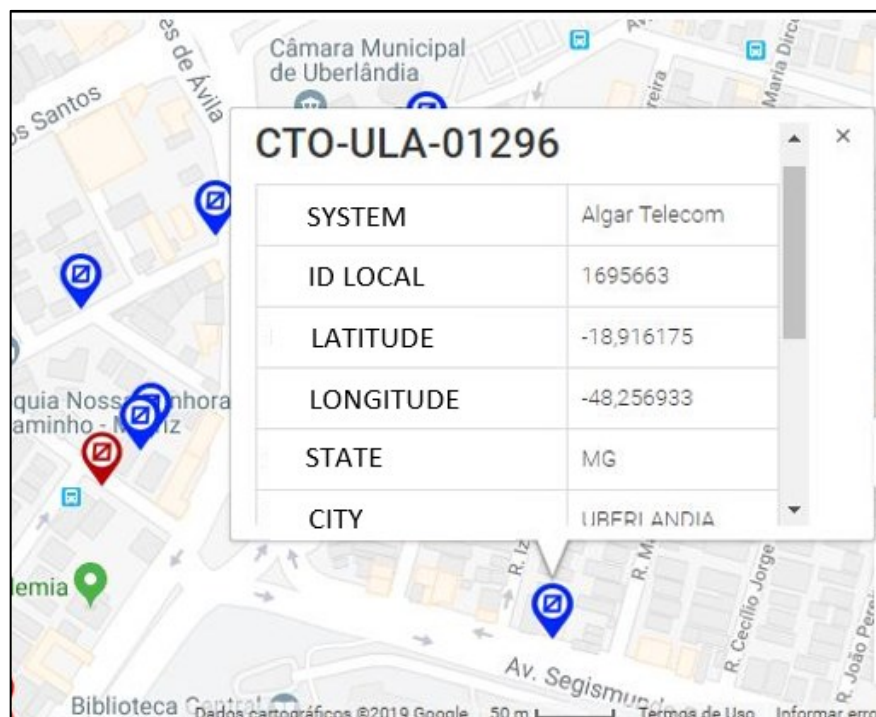
Os elementos visuais em forma de balões azuis na Figura 48 indicam divisores que têm pelo menos uma porta disponível, que pode ser usada para conectar um novo cliente no processo de ativação. Os balões vermelhos indicam divisores que não têm portas disponíveis. Mesmo que um cliente esteja muito mais próximo de um desses divisores, o técnico deve atribuir um divisor diferente que possua portas disponíveis, o mais próximo possível do cliente. Essa tarefa pode ser difícil, pois o técnico não tem esse mapa de rede disponível para ele, devido a limitações de quantidade de licenças do software do cadastro de rede GPON.

Como um posicionamento correto desses divisores é crucial para a aplicação, é importante que ele utilize sensores móveis incorporados, como bússola e GPS, para ajudar a determinar a localização do equipamento. Como os equipamentos de rede estão localizados ao ar livre, a precisão do GPS do dispositivo móvel deve ser suficiente para esta aplicação. Para corrigir eventuais distorções relacionadas ao posicionamento, é necessário um algoritmo de visão computacional para realizar o

reconhecimento de imagem. Como resultado do processo, as informações relacionadas ao equipamento são mostradas diretamente na tela do dispositivo.

As informações a serem exibidas pela aplicação estão disponíveis no software de gerenciamento de mapas de rede, como mostrado na Figura 52.

Figura 52: Informações sobre o divisor atualmente exibidas no software de gerenciamento de mapas de rede. As informações incluem: nome do divisor, coordenadas, cidade, estado, nome da estação e ocupação.



Fonte: Algar Telecom, 2021

5.3 Estudo de Caso

Para a realização do estudo de caso, selecionou-se o escopo de tarefas de manutenção da operadora de telecomunicações, cujos técnicos precisam diariamente se deslocar até a residência de cada cliente. Em seguida eles buscam por um elemento de rede denominado CTOE (Caixa de Terminação Óptica Externa) fixado a um poste de iluminação pública, o mais próximo possível à residência do cliente. O

técnico acessa então este elemento de rede, verifica se existem portas disponíveis para a conexão da fibra óptica até a residência do cliente, e efetua a conexão entre este elemento e o modem (equipamento localizado dentro da residência do cliente).

A contribuição evidenciada da nova aplicação para tarefas deste tipo é a utilização de Realidade Aumentada para exibição de informações relacionadas a estes elementos de rede, diretamente no *smartphone* do técnico de campo, de forma a agilizar suas tarefas.

A aplicação ainda não foi homologada pela operadora Algar Telecom e não está em uso pelos seus técnicos, no entanto existe perspectiva futura de utilização.

A seguir, são listados os passos da implementação para este Estudo de Caso.

5.3.1 Coleta de amostras

Nesta etapa, foram adquiridas amostras (imagens) por meio da câmera de um dispositivo móvel, para realizar o treinamento do algoritmo de reconhecimento. Foram adquiridas imagens de postes reais de dois condomínios horizontais da cidade de Uberlândia (MG), denominados Morada do Sol e Jardins Roma. Foram utilizadas 92 amostras positivas (imagens que contém o poste de iluminação pública que se pretende reconhecer) e 239 amostras negativas (imagens que não possuem o poste). As imagens das amostras negativas foram adquiridas de forma a abranger o cenário próximo ou atrás do poste, com cenas comumente encontradas e que poderiam ser confundidas com o poste, como por exemplo árvores.

As imagens tiveram resolução de 3120 x 4160 pixels. Não houve nenhum tipo de tratamento no conjunto de imagens adquiridas, mantendo-se a resolução original das mesmas, sem a aplicação de filtros.

A Figura 53 mostra algumas imagens utilizadas no conjunto de imagens positivas.

Figura 53: Exemplos de imagens adquiridas para composição do conjunto de imagens positivas.



Fonte: Autor.

Pode-se observar, na Figura 53, que houve preocupação especial na aquisição de imagens de postes de diferentes cores e formatos, bem como condições de iluminação distintas, para aumentar a eficácia da etapa de treinamento.

A Figura 54 mostra algumas imagens utilizadas no conjunto de imagens negativas.

Figura 54: Exemplos de imagens adquiridas para composição do conjunto de imagens negativas.



Fonte: Autor.

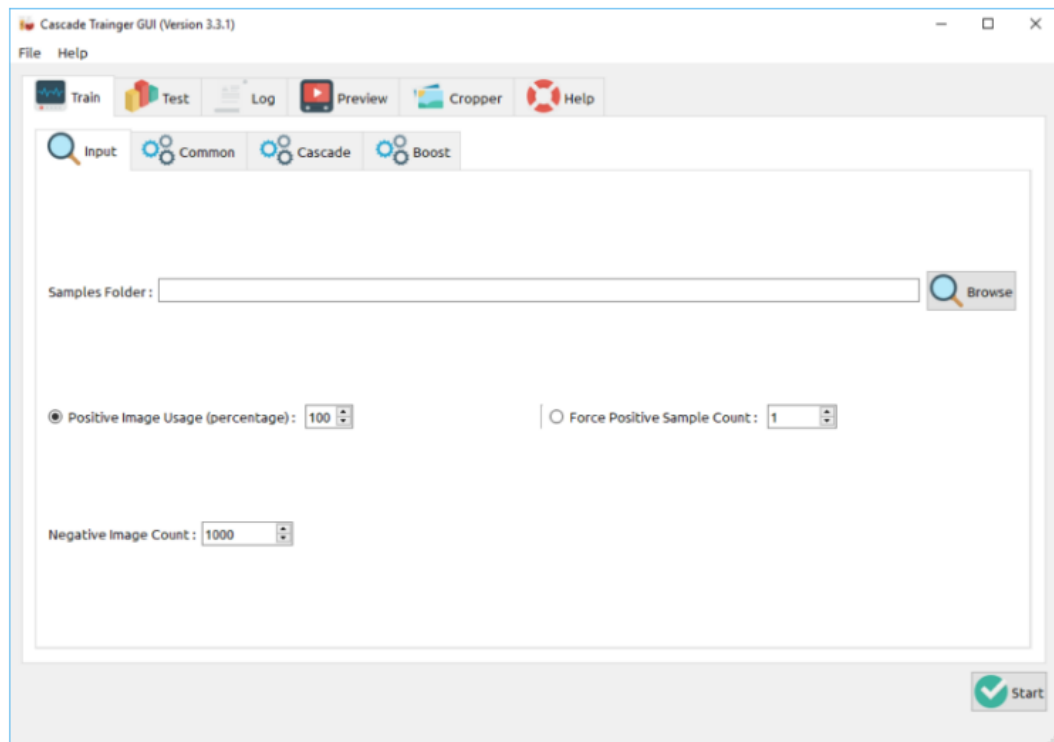
De acordo com o mostrado na Figura 54, para formar o conjunto de imagens negativas, procurou-se adquirir imagens de objetos normalmente encontrados próximos aos postes de iluminação pública, que possuem em suas formas linhas verticais, como lixeiras ou árvores, justamente para que na etapa de treinamento ocorresse com mais facilidade a diferenciação destes objetos em relação aos postes.

5.3.2 Treinamento

A etapa de treinamento é utilizada para ensinar a ferramenta utilizada a reconhecer padrões de imagem que permitam identificar um poste em uma imagem. Para a realização do treinamento foi utilizada a interface GUI Cascade Trainer. Este é um programa que pode ser usado para treinar, testar e melhorar modelos de classificadores em cascata. Ele usa uma interface gráfica para definir os parâmetros e facilitar o uso da ferramenta OpenCV para as etapas de treinamento e teste de classificadores.

A tela inicial da interface GUI Cascade Trainer é mostrada na Figura 55.

Figura 55: Tela inicial da interface GUI Cascade Trainer.



Fonte: GUI Cascade Trainer (2021).

O Funcionamento da ferramenta é o seguinte:

- a) Deve-se criar uma pasta para o classificador;
- b) Dentro desta pasta, uma nova pasta deve ser criada para armazenar as amostras de imagens positivas;
- c) Uma outra pasta deve ser criada para armazenar as amostras de imagens negativas.

Para iniciar o treinamento, deve-se clicar no botão “browse” da Figura 52, e selecionar a pasta criada para o classificador.

Em seguida, os parâmetros de treino da ferramenta são revisados, e deve-se escolher a opção “Start” para iniciar o treinamento do classificador em cascata escolhido (no caso, o LBP).

Ao final da etapa de treinamento, um novo arquivo é adicionado à pasta do classificador: “cascade.xml”. Trata-se de uma matriz de reconhecimento. Este é o

arquivo a ser usado como classificador para realizar o reconhecimento dos postes pela OpenCV, e concluir se nas imagens que compõem o vídeo capturado pelo usuário contém ou não postes de iluminação pública.

Os parâmetros utilizados para a aplicação desenvolvida, para a etapa de treinamento, bem como para as demais etapas, estão listados no Quadro 7.

Quadro 7: Parâmetros de configuração utilizados pela aplicação desenvolvida

Treinamento	Mapa
numPos: 92 numNeg: 239 numStages: 20 precalcValBufSize[Mb] : 1024 precalcIdxBufSize[Mb] : 1024 acceptanceRatioBreakValue : 0 stageType: BOOST featureType: LBP sampleWidth: 30 sampleHeight: 500 boostType: GAB minHitRate: 0.999 maxFalseAlarmRate: 0.5 weightTrimRate: 0.95 maxDepth: 1 maxWeakCount: 100	Integração com a plataforma Mapbox
Servidor	GPS
Banco de dados local	Leitura das coordenadas de latitude e longitude do usuário (dispositivo móvel)
Câmera	Bússola
Acesso à câmera do dispositivo móvel. São usados 15 fps (quadros por segundo) do vídeo capturado pela câmera para análise das imagens	Dispositivos que possuem bússola: a posição da bússola é lida pela aplicação Dispositivos que não possuem bússola: uma função para apontamento de direção de deslocamento é utilizada

Fonte: Autor

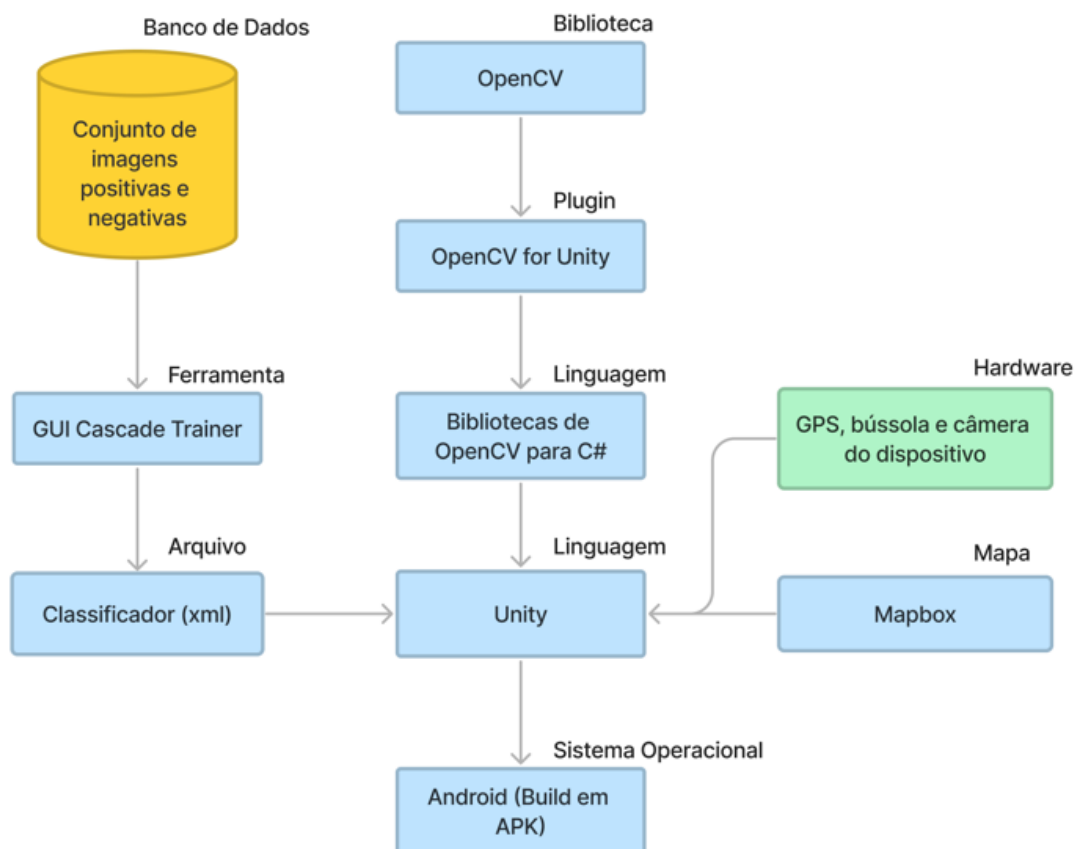
O Quadro 7 relaciona os parâmetros e métodos utilizados para cada dimensão da aplicação desenvolvida: definições da etapa de treinamento, qual mapa foi utilizado, tipo de servidor, forma de obtenção das coordenadas geográficas, uso da câmera e da bússola do dispositivo móvel.

Para o treinamento, a OpenCV disponibiliza dois tipos de recursos: Haar e LBP. Para esta implementação, foi escolhido o método LBP (Local Binary Pattern), que apresenta maior rapidez nas etapas de treinamento e reconhecimento da imagem.

A aplicação foi desenvolvida em linguagem Python e adaptada para uso em dispositivos móveis com uso da Unity (versão 2020.3.19f1). Os recursos utilizados pela aplicação foram: acesso à câmera, ao GPS e ao mapa. Para o mapa, foi utilizada uma integração da Unity com a Mapbox, que é uma plataforma de localização. Para a realização dos testes no dispositivo móvel, foi utilizado um *smartphone* Samsung Galaxy S9+.

A Figura 56 representa um diagrama com os elementos desenvolvidos para a aplicação ARNet.

Figura 56: Diagrama com os elementos da aplicação ARNet.



Fonte: Autor.

5.3.3 Utilização da aplicação

Ao se iniciar a aplicação, a mesma obtém, a partir das informações do GPS do dispositivo móvel, a localização atual do usuário. Para diminuir o tempo de resposta e melhorar a experiência do usuário, assim que é verificada a sua posição, é carregada a base de dados somente do bairro ou condomínio em que ele se encontra. Desta forma, a aplicação escolhe automaticamente o banco de dados relativo à posição atual do usuário, dentre todos os bancos de dados existentes no servidor (um banco de dados para cada bairro da cidade). Este banco de dados consiste em uma tabela com as coordenadas de cada elemento de rede, como a do exemplo do Quadro 8.

Quadro 8: Exemplo da tabela de dados disponibilizada para consulta

CTOE	Latitude	Longitude	Portas Ocupadas	Total de Portas
CTO-ULA-03766	-18,959250	-48,295820	9	16
CTO-ULA-03767	-18,960212	-48,295787	12	16
CTO-ULA-03768	-18,959931	-48,295145	4	16
CTO-ULA-03769	-18,958884	-48,295175	7	16
CTO-ULA-03770	-18,959443	-48,294327	9	16
CTO-ULA-03771	-18,959378	-48,293807	5	16

Fonte: Autor.

No Quadro 8, cada equipamento (CTOE) possui coordenadas geográficas, a quantidade de portas ocupadas e quantidade total de portas.

Para o Estudo de Caso, foram criados dois bancos de dados, contendo as posições de 75 CTOEs, dispersas em dois bairros da cidade de Uberlândia (MG): Jardins Roma e Morada do Sol.

A aplicação desenvolvida possui dois modos de operação:

a) Visão de mapa, para facilitar deslocamento do usuário em direção aos equipamentos que são objeto de manutenção;

b) Visão da câmera do dispositivo móvel, em que a informação é mostrada por RA quando um objeto cadastrado é reconhecido.

São extraídos 15 fps (quadros por segundo) do vídeo capturado pela câmera do dispositivo móvel, de forma a obter imagens para análise da presença ou não do objeto de interesse (poste de iluminação pública).

O algoritmo reconhece o poste na imagem adquirida, em um tempo normalmente de 1 a 2 segundos, e por meio da geolocalização (coordenadas) é feita uma verificação se no poste reconhecido encontra-se uma CTOE. O algoritmo compara as coordenadas do usuário (obtidas a partir do GPS do dispositivo móvel) e verifica se elas estão próximas das coordenadas de alguma CTOE do banco de dados. Para esta etapa, é definida uma faixa de distâncias em metros para as informações de latitude e longitude, formando um “quadrado” em torno de cada CTOE. Se o usuário estiver dentro de um determinado quadrado, o algoritmo conclui que o poste reconhecido na imagem adquirida possui uma CTOE, e então o nome da CTOE e suas informações de ocupação de portas são lidas no banco de dados e apresentadas ao usuário por Realidade Aumentada.

6. Resultados

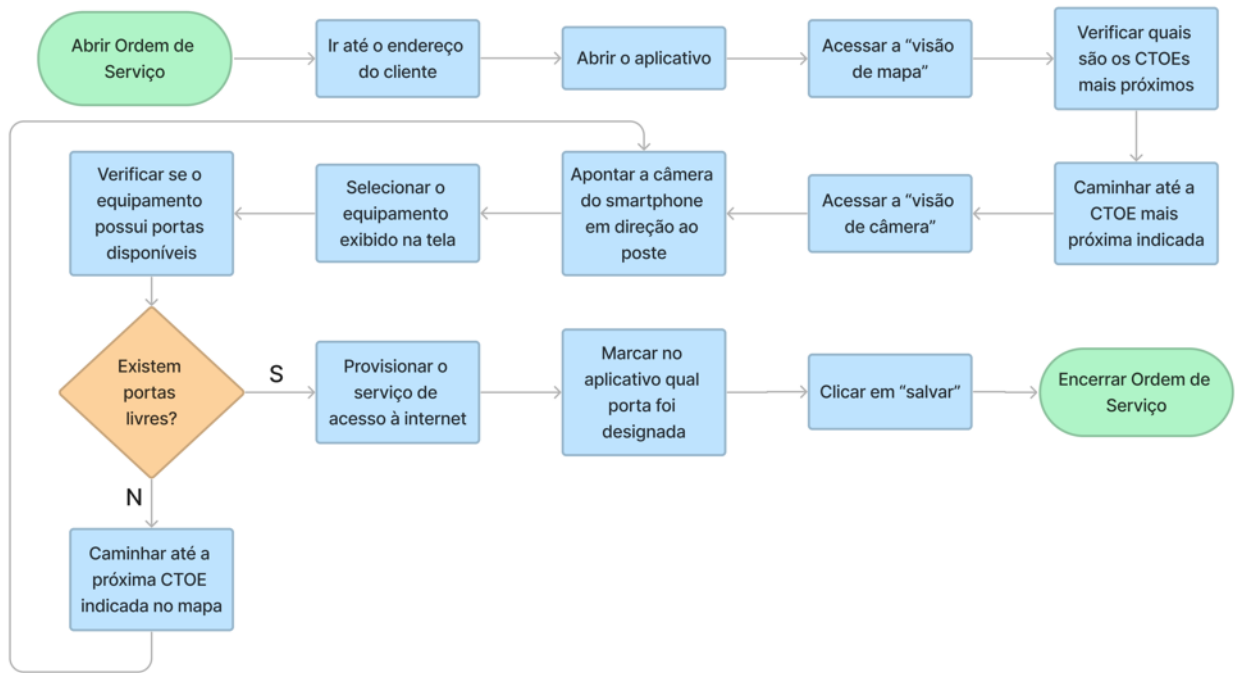
Este capítulo relata os resultados obtidos na execução do estudo de caso. São listados os passos normalmente seguidos pelo usuário ao realizar suas tarefas, mostrando as telas da aplicação que são exibidas no dispositivo móvel do usuário.

No contexto dos testes efetuados, um técnico em campo é solicitado a executar suas rotinas diárias de instalação e manutenção, de posse de seu *smartphone*, com o aplicativo desenvolvido devidamente instalado. O teste consistiu das seguintes etapas:

- a) O técnico deve se deslocar em seu veículo à residência de cada cliente que solicitou o serviço;
- b) Ao chegar ao endereço, o técnico abre o aplicativo e acessa a “visão de mapa”, verificando quais são os elementos de rede (CTOEs) mais próximos da residência do cliente;
- c) O técnico se dirige a pé até o poste indicado no mapa, e alterna para a “visão de câmera”;
- d) O técnico aponta a câmera de seu *smartphone* na direção do poste, que é reconhecido pelo sistema;
- e) O nome do elemento de rede associado àquele poste é exibido em seu *smartphone*;
- f) O técnico seleciona a caixa de texto com o nome do elemento, e informações de ocupação de portas são exibidas;
- g) Havendo portas disponíveis, o técnico efetua a instalação do serviço;
- h) O técnico marca no aplicativo qual porta foi utilizada para a conexão do cliente.

A Figura 57 ilustra melhor os passos mencionados para a ativação do serviço de internet por fibra óptica a um novo cliente da empresa:

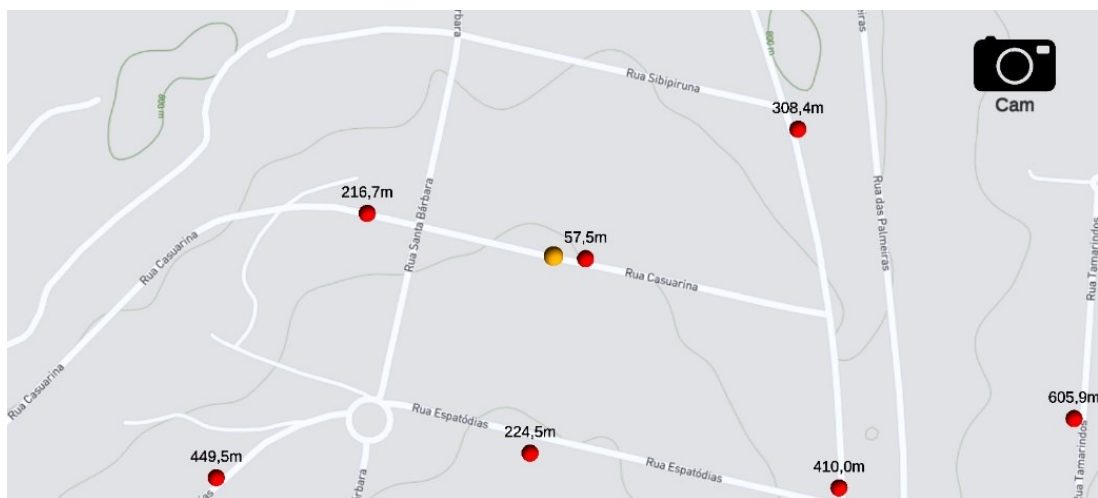
Figura 57: Caso de uso do procedimento do técnico



Fonte: Autor.

A Figura 58 ilustra a disposição geográfica dos elementos de rede em um mapa do bairro em que foi realizada o estudo de caso.

Figura 58: Mapa dos elementos de rede



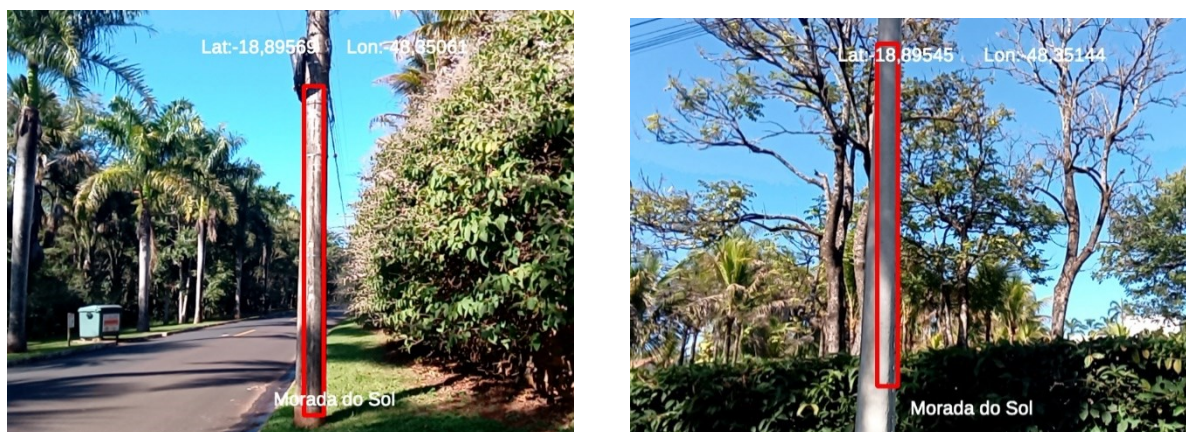
Fonte: Autor.

Na Figura 58, a posição do usuário é ilustrada por um círculo amarelo, e a distância (em metros) entre o usuário e cada elemento de rede (identificados por pontos vermelhos) aparece sobre cada elemento de rede.

Quando o usuário seleciona o botão “Cam” mostrado na Figura 58, a aplicação alterna para o modo “visão de câmera”.

A Figura 59 mostra a “visão de câmera”, modo em que a informação aumentada é mostrada em frente ao poste que teve as coordenadas verificadas e o reconhecimento de imagens processado. Nos testes realizados, o reconhecimento do poste leva cerca de um a dois segundos para ser realizado.

Figura 59: Reconhecimento de postes pela aplicação



Fonte: Autor.

A Figura 59 ilustra que o poste foi devidamente reconhecido, sendo destacado por um retângulo vertical vermelho sobre seus contornos, gerado pela aplicação.

Quando o usuário clica sobre um retângulo vermelho que identifica o contorno de um poste que contém um elemento de rede, informações sobre este elemento são mostradas, conforme mostrado na Figura 60.

Figura 60: Exemplos de postes reconhecidos, com coordenadas geográficas coincidentes com as tabelas de coordenadas.

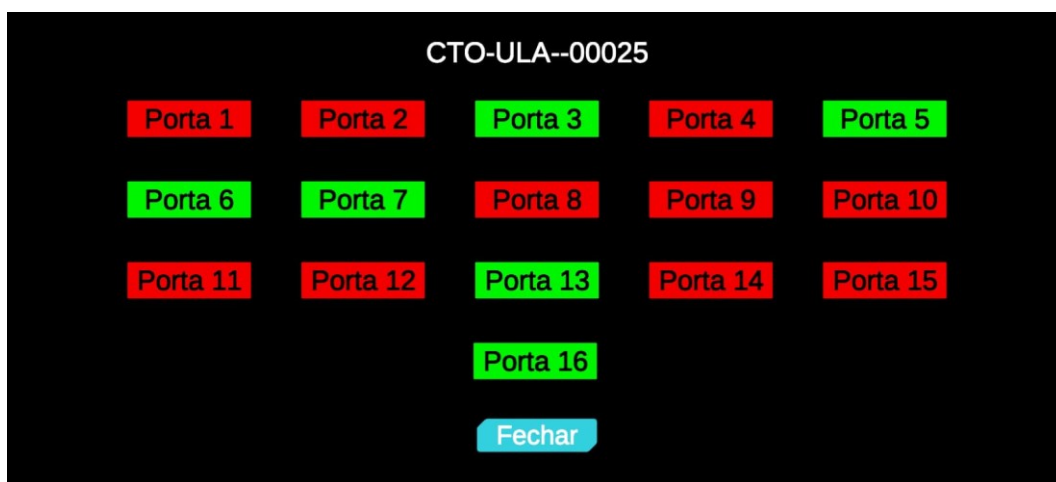


Fonte: Autor.

A Figura 60 mostra o resultado obtido quando um determinado elemento (retângulo vermelho) é selecionado. São mostradas as informações do nome do equipamento. Uma vez selecionado o retângulo vermelho, a caixa de texto exibida acompanha o poste, seguindo a movimentação da direção da câmera. Desta forma, após exibido o nome do equipamento, caso o usuário movimente seu dispositivo móvel, o nome do equipamento é sempre exibido na mesma posição do poste.

A Figura 61 mostra as informações exibidas ao se selecionar um determinado equipamento (retângulo com o nome do equipamento) na tela do dispositivo móvel.

Figura 61: Relação de portas do equipamento selecionado.



Fonte: Autor.

Na Figura 61, as portas ocupadas são destacadas em vermelho. Já as portas livres possuem caixas na cor verde. Após a instalação do acesso por fibra óptica a um novo cliente, o técnico deve selecionar a porta que acaba de ser designada a ele, fazendo a conexão física da fibra óptica desta porta até o modem dentro da residência do cliente. Desta forma, ao selecionar uma porta livre (Figura 61), é exibida a tela de alteração de status da porta, conforme ilustrado pela Figura 62.

Figura 62: Opção de marcação de porta (designação de rede)

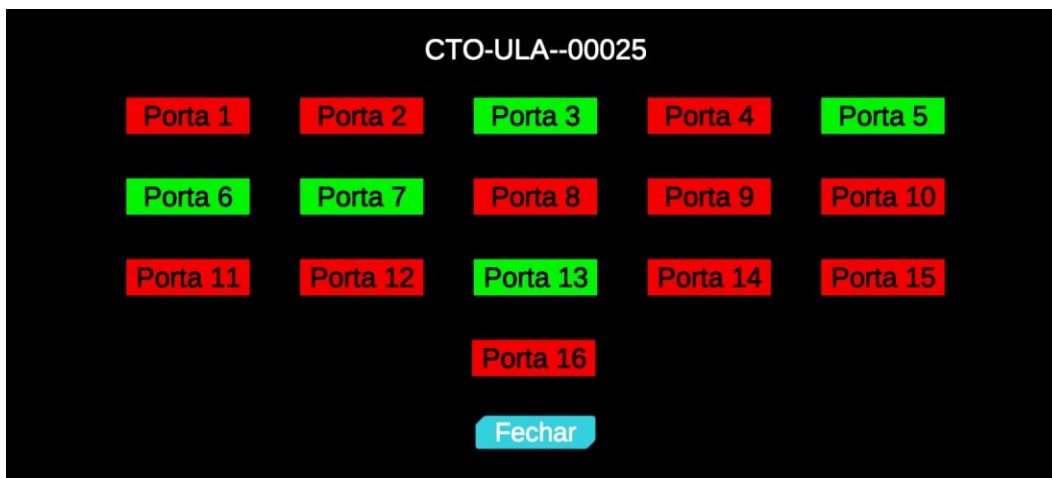


Fonte: Autor.

Após alterar o status de uma determinada porta para “ocupado”, esta informação é gravada no banco de dados, permanecendo desta forma atualizada para futuras consultas pelo mesmo técnico ou por qualquer outro técnico com acesso à aplicação.

A Figura 63 mostra a ocupação das portas do equipamento após selecionada a opção de marcar a porta 16 como status “ocupado”.

Figura 63: Relação atualizada de status das portas



Fonte: Autor.

Desta forma, foram realizados com sucesso testes da funcionalidade de designação de portas, na atividade de instalação do produto de fibra óptica, com atualização do banco de dados.

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

7.1. Aspectos gerais

Os resultados apresentados mostram a viabilidade da aplicação de Realidade Aumentada como apoio a atividades de campo, visando maior comodidade e velocidade para a execução das tarefas dos técnicos. Sem o apoio de tal ferramenta, o técnico precisaria utilizar mapas de rede impressos, bem como precisaria com frequência recorrer ao apoio de equipes de *backoffice* caso fosse encontrada alguma inconsistência nas informações dos mapas.

Com relação à performance do sistema, a aplicação foi testada em *smartphones* de configuração considerada intermediária pelo mercado, mostrando-se adequada para o público-alvo (técnicos de campo), que possuem *smartphones* desta categoria, fornecidos pela empresa para realização de suas atividades.

Sobre a etapa de treinamento para o reconhecimento de objetos, várias combinações de quantidades de imagens foram testadas. A situação que mostrou maior taxa de sucesso foi a utilização de 92 imagens positivas e 239 imagens negativas. A aplicação reconheceu com sucesso postes diferentes dos que estavam presentes nas imagens usadas no treinamento.

Em outras simulações, foram utilizadas mais imagens positivas do que imagens negativas. Para estes casos, a taxa de reconhecimento foi baixa. Foi testado também o caso de se utilizar a mesma quantidade de imagens positivas e negativas, situação em que o reconhecimento falhou em alguns testes. Estes diferentes testes, e seus resultados, são ilustrados no Apêndice B deste trabalho.

Foi confirmada a importância de segmentação do banco de dados, pela análise da posição do usuário. Como a aplicação carrega as informações relativas somente

ao bairro em que usuário se encontra, isto se traduz em um menor tempo de espera para o usuário, comparativamente à utilização do banco de dados de forma integral.

Dentre as contribuições observadas pelo uso da aplicação, destacam-se:

a) Trata-se de um sistema atualizado em tempo real, contendo as posições dos elementos de interesse e informações relevantes para o usuário, que são carregadas de forma on-line conforme necessidade;

b) O uso da aplicação é bastante intuitivo, com a apresentação da posição do usuário em um mapa. Isto permite uma leitura mais fácil do que a interpretação de mapas impressos sem a posição real do usuário;

c) A possibilidade de atualização de informações do banco de dados pelo usuário, marcando uma nova ocupação de uma porta no estudo de caso realizado, confere maior agilidade no processo e elimina a necessidade de contato com outra equipe atualmente responsável pela atualização cadastral dos equipamentos;

d) Facilidade de consulta às informações de cada equipamento, o que permite apontar necessidade de correção caso seja identificado algum problema de cadastro, como por exemplo o nome errado do equipamento em questão.

7.2. Trabalhos futuros

Propõe-se como extensão deste trabalho a realização de testes em várias condições climáticas para garantir que a localização do GPS é precisa o suficiente para permitir a operação adequada. Embora tenha sido relatado por muitos autores que em várias situações os dados do GPS não foram úteis, verificou-se na aplicação desenvolvida que a precisão normalmente é suficiente para a aplicação desejada, uma vez que os equipamentos de telecomunicações estão localizados ao ar livre e bastante distantes um do outro (pelo menos 30 metros). A utilização de reconhecimento de imagens neste caso foi fundamental para o correto apontamento da localização do

elemento de interesse. Ficou evidente, portanto, a dependência da utilização combinada de geolocalização e visão computacional para o funcionamento satisfatório do sistema. Como sugestão de trabalhos futuros, outros classificadores estatísticos podem ser testados, além do LBP, que foi o método utilizado na versão final da aplicação desenvolvida. Como um método adicional para conferir maior precisão na tarefa de localização, pode ser avaliada a utilização de *beacons* (dispositivos transmissores usados para geolocalização), instalados em cada elemento que se pretende identificar. A utilização destes dispositivos traria mais custo ao sistema, mas pode ser uma solução viável para utilização *indoor*, por exemplo.

Outra sugestão de melhoria está relacionada a condições precárias de iluminação. Normalmente os técnicos não realizam tarefas de instalação durante o período noturno. De toda forma, se houver iluminação insuficiente, poderia ser implantada uma opção de desabilitar a funcionalidade de reconhecimento de imagem, permitindo ao técnico entrar manualmente com informações do equipamento que está próximo a ele, e seguir com sua rotina de instalação.

Outra extensão possível deste trabalho seria a implementação de uma aplicação utilizada em um computador pessoal (desktop) para outro usuário que se localiza no escritório da empresa, com papel de supervisão do usuário que está em campo, monitorando seus deslocamentos e tempo gasto em cada tarefa. Esta ferramenta poderia trazer novas oportunidades de ganho de produtividade, bem como reforçar atividades de treinamento de novos funcionários.

Por fim, para o estudo de caso da aplicação foram utilizados dois bancos de dados, com localização de elementos de rede de dois condomínios horizontais. Poderia ser explorada a performance do sistema com a utilização de um número maior de bancos de dados, de forma a cobrir por exemplo toda a cidade.

7.3. Considerações finais

A revisão sistemática, os testes na aplicação comercial e a utilização da aplicação desenvolvida trouxeram algumas preocupações que merecem atenção. Estas preocupações abordam variáveis que podem afetar o desempenho da aplicação desenvolvida.

Em relação ao processo de reconhecimento de imagem, é necessária atenção especial ao escolher qual algoritmo para o reconhecimento de imagem é o melhor, para garantir qualidade e um tempo de espera adequados. Outra questão poderia ser a disponibilidade de acesso à Internet móvel, pois a arquitetura depende do acesso à Internet móvel para buscar as informações em tempo real. As condições climáticas também podem interferir na usabilidade do aplicativo (por exemplo, a câmera do *smartphone* apontada para cima, na direção de um poste de rua, contra a luz do sol, dificultando a visualização de qualquer informação na tela). Por fim, deve-se verificar se o desempenho geral do aplicativo é adequado para os *smartphones* dos técnicos, que são modelos mais baratos e pouco potentes, pois são fornecidos pelo operador de telecomunicações.

Retoma-se a hipótese inicial apresentada no Capítulo 1 deste trabalho:

H1: É possível desenvolver um sistema para dispositivos móveis que integra tecnologias de Realidade Aumentada e Visão Computacional com acesso a bancos de dados de ativos georreferenciados, em um sistema GIS (Geographic Information System) e informações de sensores disponíveis nos dispositivos móveis, aderente às tarefas de manutenção rotineiras de ativos efetuadas por técnicos de telecomunicações, que necessitam de informações atualizadas sobre os ativos, com mobilidade, precisão e de forma prática.

Comparando-se os resultados obtidos com a hipótese inicial, verifica-se que este trabalho possibilitou confirmar que a aplicação desenvolvida apresenta uma nova

abordagem em campo, combinando dados de GPS, a câmera de um dispositivo móvel, consultas feitas aos bancos de dados de equipamentos existentes e também Realidade Aumentada, para aumentar a produtividade dos trabalhadores em tarefas de manutenção. Trata-se de uma ferramenta de trabalho simples, leve e acessível, sem mudanças radicais nos processos de trabalho dos funcionários, o que poderia levar à rejeição dessa inovação.;

Retoma-se também o objetivo geral deste trabalho, apresentado no Capítulo 1:

Propor uma aplicação da Realidade Aumentada em dispositivos móveis, utilizando visão computacional, coordenadas de GPS (*Global Positioning System*) e utilização de informações geográficas de um banco de dados existente (sistema GIS), sem uso de marcadores, para disponibilizar ao usuário informações relacionadas a equipamentos e instalações de campo que sejam pertinentes às suas tarefas de manutenção. Esta aplicação visa atender a necessidades de disponibilização de dados de ativos para trabalhadores que se deslocam constantemente, percorrendo os imóveis e equipamentos de uma empresa. Pretende-se validar a aplicação através de um estudo de caso real relacionado a atividades de manutenção em ativos de uma empresa local de telecomunicações, especificamente equipamentos de rede de fibra óptica (GPON).

Observa-se que o produto deste trabalho atende o objetivo geral proposto no início de seu desenvolvimento, uma vez que a aplicação desejada foi desenvolvida e possui as características listadas.

Por fim, testando o aplicativo AuGeo® da ESRI Labs, foi possível verificar que a RA pode ser aplicada a uma enorme variedade de aplicativos para diferentes setores. É razoável supor que existem dois fatores-chave de sucesso para a adoção de novas aplicações pelos funcionários: precisão e usabilidade do sistema. A interface do sistema deve ser intuitiva e de fácil aprendizado.

REFERÊNCIAS

Ababsa, F., Zendjebil, I., Didier, J. Y., Pouderoux, J., & Vairon, J. (2012). Outdoor augmented reality system for geological applications. *2012 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*, p. 416-421. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/AIM.2012.6265927>

Abramovici, M., Wolf, M., Adwernat, S., & Neges, M. (2017). Context-aware maintenance support for augmented reality assistance and synchronous multi-user collaboration. *Procedia Cirp*, 59, 18-22.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.09.042>

ACM Digital Library (2019). <https://dl.acm.org/>.

Alavikia, Z. & Shabro, M. (2019). Pragmatic Industrial Augmented Reality in Electric Power Industry, *34th Power System Conference*, 25-32.

<https://doi.org/10.1109/PSC49016.2019.9081538>

Aleksy, M. et al. (2014). Augmented reality for improved service delivery. *2014 IEEE 28th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*. IEEE, 382-9.

<https://doi.org/10.1109/AINA.2014.146>

ALGAR TELECOM (2022). Empresa brasileira de telecomunicações com sede em Uberlândia (MG), <https://www.algartelecom.com.br>.

Amaral, V., Giraldi, G. A., & Thomaz, C. E. (2013). LBP estatístico aplicado ao reconhecimento de expressões faciais. *Proceedings of the X Encontro Nacional de Inteligência Artificial e Computacional*.

Amato, A., Di Martino, B., & Venticinque, S. (2012). Semantically augmented exploitation of pervasive environments by intelligent agents. *2012 IEEE 10th International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications*, p. 807-814. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ISPA.2012.118>

ANATEL (2022). Agência Nacional de Telecomunicações,
<https://www.anatel.gov.br/institucional/>.

Arakawa, T., Kasada, K., Narumi, T., Tanikawa, T., & Hirose, M. (2012, September). Reliving video experiences with mobile devices. *2012 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia*, p. 581-584. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/VSMM.2012.6365982>

ARCGIS® (2021), <https://www.arcgis.com/home/index.html>.

AUGEO® (2021). Release note. <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/3d-gis/3d-gis/ar-for-your-gis/>.

Bae, H., Golparvar-Fard, M., & White, J. (2014). Rapid image-based localization using clustered 3d point cloud models with geo-location data for aec/fm mobile augmented reality applications. *Computing in Civil and Building Engineering (2014)*, p. 841-849.
<https://doi.org/10.1061/9780784413616.105>

Bergenti, F. & Gotta, D. (2014). Augmented reality for field maintenance of large telecommunication networks. *Conference and Exhibition of the European Association of Virtual and Augmented Reality*, 125-129.

Billinghurst, M. (2002). Augmented reality in education. *New horizons for learning*, 12(5), 1-5.

Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73-272.
<https://doi.org/10.1561/11000000049>

Bottani, E. & Vignali, G. (2019). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IISE Transactions*, 51(3), 284-310.
<https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1493244>

- Boulos, M. N. K., Lu, Z., Guerrero, P., Jennett, C., & Steed, A. (2017). From urban planning and emergency training to Pokémon Go: applications of virtual reality GIS (VRGIS) and augmented reality GIS (ARGIS) in personal, public and environmental health. *International journal of health geographics*, 16(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1186/s12942-017-0081-0>
- Cale, I., Salihovic, A., & Ivekovic, M. (2007). Gigabit passive optical network-GPON. *2007 29th International Conference on Information Technology Interfaces* (pp. 679-684). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ITI.2007.4283853>
- Cardoso, A. et al. (2019). Use of Virtual and Augmented Reality as Tools for Visualization of Information: A Systematic Review. *International Conference on Intelligent Human Systems Integration*, 407-417.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-11051-2_62
- Cardoso, L. F., Mariano, F. & Zorzal, E. (2020). A survey of industrial augmented reality. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106159.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106159>
- Ceruti, A. et al. (2019). Maintenance in Aeronautics in an Industry 4.0 Context: The Role of Augmented Reality and Additive Manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(4), 516-526.
<https://doi.org/10.1016/j.jcde.2019.02.001>
- Casanova, C., Franco, A., Lumini, A., & Maio, D. (2013). SmartVisionApp: A framework for computer vision applications on mobile devices. *Expert systems with applications*, 40(15), 5884-5894.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.04.037>
- Chatzopoulos, D., Bermejo, C., Huang, Z., & Hui, P. (2017). Mobile augmented reality survey: From where we are to where we go. *Ieee Access*, 5, 6917-6950.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2698164>
- Chen, D., Tsai, S., Hsu, C. H., Singh, J. P., & Girod, B. (2011, July). Mobile augmented reality for books on a shelf. *2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, p. 1-6. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICME.2011.6012171>

Chen, R., & Guinness, R. (2014). *Geospatial computing in mobile devices*. Artech House.

Chiang, T. H. C., Yang, S. J. H. & Hwang, G-J (2014). An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in natural science inquiry activities. *Journal of Educational Technology & Society*, 17(4), 352-65.

Cordonnier, M. et al. (2017). Contribution of augmented reality to the maintenance of network equipment. *CIREN-Open Access Proceedings Journal*, 2017(1), 87-90.
<https://doi.org/10.1049/oap-cired.2017.0413>

Conforto, E. C., Amaral, D. C., & Silva, S. D. (2011). Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *Trabalho apresentado*, 8.

Dane, F. C. (1990). *Research Methods*, Brooks/Cole Pacific Grove, California.

Del Amo, I. F. et al. (2018). Augmented Reality in Maintenance: An information-centred design framework. *Procedia Manufacturing*, 19, 148-155.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.021>

Del Amo, I. F., Galeotti, E., Palmarini, R., Dini, G., Erkoyuncu, J., & Roy, R. (2018). An innovative user-centred support tool for Augmented Reality maintenance systems design: a preliminary study. *Procedia Cirp*, 70, 362-367.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.020>

Dong, S., Feng, C., & Kamat, V. R. (2013). Sensitivity analysis of augmented reality-assisted building damage reconnaissance using virtual prototyping. *Automation in Construction*, 33, 24-36.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.005>

El-Rabbany, A. (2002). *Introduction to GPS: the global positioning system*. Artech house.

ENEL Distribuição SP (2019). Projeto Urban Futurability.
<https://www.eneldistribuicao.com.br/urban-futurability>.

ESRI (2019). Digitally transform field operations,
<https://resource.esriuk.com/esriuk-ebooks/digitally-transform-field-operations/>

Gallala, A.; Hichri, B. & Plapper, P. (2019). Survey: The Evolution of the Usage of Augmented Reality in Industry 4.0. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 521(1), 012017.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/521/1/012017>

GARTNER GROUP (2022), <https://www.gartner.com>.

Gattullo, M. et al. (2017). From paper manual to AR manual: do we still need text?. *Procedia Manufacturing*, 11, 1303-1310.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.258>

General Electric (2017). Report Looking Smart: Augmented Reality Is Seeing Real Results In Industry.
<https://www.ge.com/reports/looking-smart-augmented-reality-seeing-real-results-industry-today/>.

Girard, A. (2006). FTTx, P. O. N. Technology and Testing. *EXFO Electro-Optical Engineering Inc, Canada*.

GOOGLE ACADÊMICO (2019). <https://scholar.google.com>.

GUI Cascade Trainer (2022). <https://amin-ahmadi.com/cascade-trainer-gui>.

Hamilton, K. & Olenewa, J. (2011). Augmented reality in education. *Proc. SXSW Interactive*, 1008-1022.

IEEE Xplore (2019). <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>.

Kang, J. S., & Roh, B. H. (2010). Development of tangible user interface for linking context modeling and 3D map in smartphone. *International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems*, p. 44-49. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICUMT.2010.5676660>

- Karsch, K., Golparvar-Fard, M., & Forsyth, D. (2014). ConstructAide: analyzing and visualizing construction sites through photographs and building models. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 33(6), 1-11.
<https://doi.org/10.1145/2661229.2661256>
- Kerawalla, L. et al. (2006). "Making it real": exploring the potential of augmented reality for teaching primary school science. *Virtual reality*, 10(3), 163-174.
<https://doi.org/10.1007/s10055-006-0036-4>
- Khan, K. S., Kunz, R., Kleijnen, J., & Antes, G. (2003). Five steps to conducting a systematic review. *Journal of the royal society of medicine*, 96(3), 118-121.
<https://doi.org/10.1177/014107680309600304>
- Klopper, E. & Yoon, S. (2004). Developing games and simulations for today and tomorrow's tech savvy youth. *TechTrends*, 49(3), 33-41.
<https://doi.org/10.1007/BF02763645>
- Khobragade, K. (2012). A comparative study of converting coloured image to gray-scale image using different technologies. *Department of Computer Science, Fergusson College, Pune India*.
- Lamberti, F. et al. (2014). Challenges, opportunities, and future trends of emerging techniques for augmented reality-based maintenance. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, 2(4), 411-421.
<https://doi.org/10.1109/TETC.2014.2368833>
- Lopes, J. F. M. (2018). Governo Orientado por Dados.
- Mapbox (2022). <https://www.mapbox.com>.
- Martinetti, A.; Rajabalinejad, M. & Van Dongen, L. (2017). Shaping the future maintenance operations: reflections on the adoptions of Augmented Reality through problems and opportunities. *Procedia CIRP*, 59, 14-17.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.130>
- Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A. E., Fiorentino, M. & Di Donato, M. (2017). Supporting remote maintenance in industry 4.0 through augmented reality. *Procedia manufacturing*, 11, 1296-1302.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.257>

- Masood, T. & Egger, J. (2019). Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 58, 181-195.
<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.02.003>
- Meda, P., Kumar, M., & Parupalli, R. (2014). Mobile augmented reality application for telugu language learning. *2014 IEEE International Conference on MOOC, Innovation and Technology in Education (MITE)*, p. 183-186. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/MITE.2014.7020267>
- Medium (2018). <https://medium.com/ensina-ai/detectando-objetos-com-m%C3%A9todos-cl%C3%A1ssicos-opencv-cascades-440e29913b1b>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1994). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telematics and telepresence technologies*, 2351, 282-292. Spie.
<https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Miyake, M., Fukuda, T., Yabuki, N., Motamedi, A., & Michikawa, T. (2016). Outdoor augmented reality using optical see-through HMD system for visualizing building information. *16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*, p. 1644-1651.
- Mourtzis, D., Zogopoulos, V., & Vlachou, E. (2017). Augmented reality application to support remote maintenance as a service in the robotics industry. *Procedia Cirp*, 63, 46-51.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.154>
- Neges, M., Wolf, M., & Abramovici, M. (2015). Secure access augmented reality solution for mobile maintenance support utilizing condition-oriented work instructions. *Procedia Cirp*, 38, 58-62.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.036>
- Neves, L. A. P., Vieira Neto, H., & Gonzaga, A. (2012). Avanços em visão computacional. *Curitiba: Omnipax*, 27.
<https://doi.org/10.7436/2011.avc.0>

Nixon, M., & Aguado, A. (2019). *Feature extraction and image processing for computer vision*. Academic press.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814976-8.00003-8>

Ogushi, I. (2013). Operation and maintenance work using AR technology for optical access networks. *National Fiber Optic Engineers Conference*, NM2I-3.

<https://doi.org/10.1364/NFOEC.2013.NM2I.3>

Olbrich, M. et al. (2013). Augmented reality supporting user-centric building information management. *The visual computer*, 29(10), 1093-1105.

<https://doi.org/10.1007/s00371-013-0840-2>

Oliveira, R. et al. (2013). An augmented reality application to support maintenance—is it possible?. *Maintenance Performance Measurement and Management Conference: 12/09/2013-13/09/2013*, 260-271.

OpenCV (2022). <https://opencv.org>.

Ortega, Sebastián et al. (2019). Making the Invisible Visible - Strategies for Visualizing Underground Infrastructures in Immersive Environments. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), 152.

<https://doi.org/10.3390/ijgi8030152>

Palmarini, Riccardo et al. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 49, 215-228.

<https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>

Pyimagesearch (2015). <https://pyimagesearch.com/2015/12/07/local-binary-patterns-with-python-opencv/>

Python (2021). <https://www.python.org/>.

Paul, A. K., & Park, J. S. (2013). Multiclass object recognition using smart phone and cloud computing for augmented reality and video surveillance applications. *2013 international conference on informatics, electronics and vision (ICIEV)*, p. 1-6. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ICIEV.2013.6572719>

- Qin, H., Yan, J., Li, X., & Hu, X. (2016). Joint training of cascaded CNN for face detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, p. 3456-3465.
<https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.376>
- Quint, F.; Loch, F. & Bertram, P. (2017). The Challenge of Introducing AR in Industry-Results of a Participative Process Involving Maintenance Engineers. *Procedia Manufacturing*, 11, 1319-1323.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.260>
- Quintana, E., & Favela, J. (2013). Augmented reality annotations to assist persons with Alzheimers and their caregivers. *Personal and ubiquitous computing*, 17(6), 1105-1116.
<https://doi.org/10.1007/s00779-012-0558-6>
- Ralev, I., & Krastev, G. (2022). Components and model of implementation of a hand gesture recognition system. In *2022 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)* (pp. 1-4). IEEE.
<https://doi.org/10.1109/HORA55278.2022.9799919>
- Ramirez, Hector et al. (2013). Authoring software for augmented reality applications for the use of maintenance and training process. *Procedia Computer Science*, 25, 189-193.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.11.023>
- Rao, J., Qiao, Y., Ren, F., Wang, J., & Du, Q. (2017). A mobile outdoor augmented reality method combining deep learning object detection and spatial relationships for geovisualization. *Sensors*, 17(9), 1951.
<https://doi.org/10.3390/s17091951>
- Rentzos, L., Papanastasiou, S., Papakostas, N., & Chryssolouris, G. (2013). Augmented reality for human-based assembly: using product and process semantics. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(15), 98-101.
<https://doi.org/10.3182/20130811-5-US-2037.00053>

Sánchez-Azqueta, C., Guerrero, E., Gimeno, C., & Celma, S. (2019). A Reconfigurable Radio-Frequency Converter IC in 0.18 μm CMOS. *Electronics*, 8(10), 1146.
<https://doi.org/10.3390/electronics8101146>

Science Direct (2019). <https://www.sciencedirect.com>.

Shelton, B. E. & Hedley, N. (2002). Using Augmented Reality for Teaching Earth-Sun Relationships to Undergraduate Geography Students, *The First IEEE International Workshop Augmented Reality Toolkit*, 8.

Shetty, A. B., & Rebeiro, J. (2021). Facial recognition using Haar cascade and LBP classifiers. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), 330-335.
<https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.08.044>

Takacs, G., El Choubassi, M., Wu, Y., & Kozintsev, I. (2011). 3D mobile augmented reality in urban scenes. *2011 IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, p. 1-4. IEEE.
<https://doi.org/10.1109/ICME.2011.6012101>

TechSee (2019). <https://techsee.me/techsee-live-field-services>.

Tori, R.; Hounsell, M. S. (2020) *Introdução à Realidade Virtual e Aumentada*. Porto Alegre: Editora SBC.
<https://doi.org/10.5753/sbc.6654.2>

UOL (2020). A sociedade mais vigiada do mundo: como a China usa o reconhecimento facial, <https://www.uol.com.br/tilt/noticias/redacao/2019/01/19/a-sociedade-mais-vigiada-do-mundo-como-a-china-usa-o-reconhecimento-facial.htm>.

Unity (2021). <https://unity.com>.

Urban, P. J., Vall-Llosera, G., Medeiros, E., & Dahlfors, S. (2013). Fiber plant manager: An OTDR-and OTM-based PON monitoring system. *IEEE Communications Magazine*, 51(2), S9-S15.
<https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6461183>

Ventura, J., & Höllerer, T. (2012). Wide-area scene mapping for mobile visual tracking. *2012 IEEE international symposium on mixed and augmented reality (ISMAR)*, p. 3-12. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ISMAR.2012.6402531>

VUFORIA (2020), <https://www.ptc.com/pt/products/augmented-reality>.

Wang, X., Ong, S. K., & Nee, A. Y. (2016). A comprehensive survey of augmented reality assembly research. *Advances in Manufacturing*, 4(1), 1-22.

<https://doi.org/10.1007/s40436-015-0131-4>

Zeiss, G. (2019). Bringing reliable near real-time GIS within reach of every utility. <https://geospatial.blogs.com/geospatial/2019/03/bringing-reliable-near-real-time-gis-within-reach-of-every-utility.html>.

Zhang, Xiaolei et al. (2016). ARGIS-based outdoor underground pipeline information system. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 40, 779-790.

<https://doi.org/10.1016/j.jvcir.2016.07.011>

Apêndice A – Trechos de códigos de programação

Esta seção lista alguns trechos de códigos da aplicação ARNet, de forma a explicar melhor o funcionamento do software.

É descrito o procedimento que trata da coleta de imagens por meio da câmera do dispositivo móvel e do reconhecimento realizado pelo classificador em cascata LBP.

Bibliotecas utilizadas:

Foram utilizadas quatro bibliotecas relacionadas ao plugin da Biblioteca OpenCV para a Unity, e mais duas bibliotecas que são nativas da Unity:

```
using OpenCVForUnity.CoreModule;
using OpenCVForUnity.ImgprocModule;
using OpenCVForUnity.ObjdetectModule;
using OpenCVForUnity.UnityUtils;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;
```

Variáveis mais relevantes:

```
private WebCamTexture webcamTexture;
private string filename;
private CascadeClassifier cascade;
```

A variável `webcamTexture` transforma as imagens da câmera em texturas dentro da Unity.

A variável `filename` é uma string para a qual é importado o classificador em cascata (xml).

A variável `cascade` é usada para aplicar o classificador importado.

O texto a seguir descreve este procedimento.

```
this.GetComponent<RectTransform>().Rotate(new Vector3(0, 0,
webcamTexture.videoRotationAngle));
```

```
filename = "cascade.xml";
cascade = new CascadeClassifier();
cascade.load(Utils.getFilePath(filename));
```

Execução:

Na etapa de execução, aplica-se o OpenCV na textura que recebe as imagens coletadas pela câmera, juntamente com o marcador retangular e a caixa com informações do equipamento desejado na imagem reconhecida. Também foi adicionada uma temporização (delay) para reduzir a possibilidade de um efeito “piscante” no elemento gráfico apresentado.

```
temporizador += Time.deltaTime;
Utils.webCamTextureToMat(webcamTexture, rgbaMat);
Imgproc.cvtColor(rgbaMat, grayMat, Imgproc.COLOR_RGBA2GRAY);
cascade.detectMultiScale(grayMat, faces, 1.1, 4);
OpenCVForUnity.CoreModule.Rect[] rects = faces.toArray();
for (int i = 0; i < rects.Length; i++)
{
    temporizador = 0;
    Imgproc.rectangle(rgbaMat, new Point(rects[i].x, rects[i].y), new Point(rects[i].x +
rects[i].width, rects[i].y + rects[i].height), new Scalar(255, 0, 0, 255), 5);
    x = (rects[i].x + rects[i].x * 0.51f);
}
if((temporizador > 3f))
{
    texto.text = "";
    caixa.enabled = false;
    texto_caixa.enabled = false;
    buton.SetActive(false);
}
if ((temporizador < 3f))
{
```

```

        caixa.enabled = true;
        boton.SetActive(true);
        texto_caixa.enabled = true;
    }

```

Latitude e longitude aplicadas ao reconhecimento:

Neste passo, o algoritmo verifica em qual bairro o usuário se encontra, e carrega apenas as CTOEs de seu bairro, dentre todos os cadastros de bairros disponíveis. Em seguida, o algoritmo passa a verificar se o usuário está próximo à alguma CTOE para realizar o reconhecimento do poste e então realizar a varredura de qual CTOE é aquela associada ao poste em questão.

```

if (((gps_coordenadas.latitude >= -18.894474f - range_bairro_morada) &&
(gps_coordenadas.latitude <= -18.894474f + range_bairro_morada)) &&
((gps_coordenadas.longitude >= -48.348124f - range_bairro_morada) &&
(gps_coordenadas.longitude <= -48.348124f + range_bairro_morada)))
{
    nome_bairro = "Morada do Sol";

    for (int i = 0; i < linesInFile_morada.Length; i += 2)
    {
        latitude = float.Parse(linesInFile_morada[i]);

        longitude = float.Parse(linesInFile_morada[i + 1]);

        if (((gps_coordenadas.latitude >= float.Parse(linesInFile_morada[i]) - range) &&
(gps_coordenadas.latitude <= float.Parse(linesInFile_morada[i]) + range)) &&
((gps_coordenadas.longitude >= float.Parse(linesInFile_morada[i + 1]) - range) &&
(gps_coordenadas.longitude <= float.Parse(linesInFile_morada[i + 1]) + range)))
        {
            Nome_CTO = linesInFile_name_CTO_morada[i / 2];

            temporizador = 0;
        }
    }
}

```

Apêndice B – Resultados da etapa de treinamento

Na etapa de exploração dos parâmetros a serem usados para o treinamento, dezenas de testes foram realizados.

Para fins ilustrativos, esta seção apresenta os parâmetros utilizados em três testes distintos, utilizando a ferramenta GUI Cascade Trainer. São mostrados os resultados da etapa de reconhecimento dos postes de iluminação, após cada treinamento.

Treinamento 1:

Tempo de treinamento: 2 horas e 8 minutos.

Parâmetros:

numPos: 102

numNeg: 103

numStages: 20

precalcValBufSize[Mb] : 1024

precalcIdxBufSize[Mb] : 1024

acceptanceRatioBreakValue : 0

stageType: BOOST

featureType: HAAR

sampleWidth: 20

sampleHeight: 400

boostType: GAB

minHitRate: 0.999

maxFalseAlarmRate: 0.5

weightTrimRate: 0.95

maxDepth: 1

maxWeakCount: 100

mode: BASIC

Resultados obtidos:

Figura 64: Resultados de reconhecimento de postes após o treinamento 1.



Fonte: Autor.

É possível observar na Figura 64 que grande parte dos postes foram reconhecidos pela aplicação, mas nem todos.

Treinamento 2:

Tempo de treinamento: 3 horas e 14 minutos.

Parâmetros:

numPos: 200
numNeg: 104
numStages: 20
precalcValBufSize[Mb] : 1024
precalcIdxBufSize[Mb] : 1024
acceptanceRatioBreakValue : 0
stageType: BOOST
featureType: HAAR
sampleWidth: 20
sampleHeight: 400
boostType: GAB
minHitRate: 0.999
maxFalseAlarmRate: 0.5
weightTrimRate: 0.95
maxDepth: 1
maxWeakCount: 100
mode: BASIC

Resultados obtidos:

A Figura 65 mostra que o reconhecimento falhou no treinamento 2. Muitos elementos das imagens que não são postes foram reconhecidos como sendo postes. Neste cenário, foram utilizadas mais imagens positivas do que negativas.

Figura 65: Resultados de reconhecimento de postes após o treinamento 2.



Fonte: Autor.

Treinamento 3:

Tempo de treinamento: 46 minutos.

Parâmetros:

numPos: 92

numNeg: 239

numStages: 20

precalcValBufSize[Mb] : 1024

precalcIdxBufSize[Mb] : 1024

acceptanceRatioBreakValue : 0

stageType: BOOST

featureType: LBP

sampleWidth: 30

sampleHeight: 500

boostType: GAB

minHitRate: 0.999

maxFalseAlarmRate: 0.5

weightTrimRate: 0.95

maxDepth: 1

maxWeakCount: 100

Resultados obtidos:

Figura 66: Resultados de reconhecimento de postes após o treinamento 3.



Fonte: Autor.

A Figura 66 apresenta os melhores resultados obtidos de reconhecimento dos postes, para os diferentes treinamentos realizados.

Os parâmetros deste treinamento de maior sucesso foram os utilizados no desenvolvimento da solução final deste trabalho.