

---

**Uso de Realidade Aumentada associada a  
Building Information Modeling para  
visualização de dados em ativos de Subestações  
de Energia Elétrica**

---

**Maurício José Aureliano Júnior**



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

Uberlândia  
2019

**Maurício José Aureliano Júnior**

**Uso de Realidade Aumentada associada a  
Building Information Modeling para  
visualização de dados em ativos de Subestações  
de Energia Elétrica**

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

Área de concentração: Computação Gráfica

Orientador: Alexandre Cardoso, Dr.

Coorientador: Edgard A. Lamounier Jr, PhD

Uberlândia

2019

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

A927 Aureliano Junior, Mauricio José, 1982-  
2019 Uso de Realidade Aumentada associada a Building Information  
Modeling para visualização de dados em ativos de Subestações de  
Energia Elétrica [recurso eletrônico] / Mauricio José Aureliano  
Junior. - 2019.

Orientador: Alexandre Cardoso.

Coorientador: Edgard A. Júnior Lamounier.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Pós-graduação em Engenharia Elétrica.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2241>

Inclui bibliografia.

1. Engenharia elétrica. I. Cardoso, Alexandre, 1963-, (Orient.). II.  
Lamounier, Edgard A. Júnior, 1963-, (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

**MAURÍCIO JOSÉ AURELIANO JÚNIOR**

**USO DE REALIDADE AUMENTADA ASSOCIADA A *BUILDING INFORMATION MODELING* PARA VISUALIZAÇÃO DE DADOS EM ATIVOS DE SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ciências.**

**Comissão examinadora:**

**Prof. Dr. Alexandre Cardoso  
(Orientador – UFU)**

**Prof. PhD. Edgard Afonso Lamounier Junior  
(Coorientador – UFU)**

**Prof. Dr. Keiji Yamanaka  
(Examinador – UFU)**

**Prof. Dr. José Remo Ferreira Brega  
(Examinador – UNESP)**

**Uberlândia, 12 de dezembro de 2019**



**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:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 720, PPGEELT.				
Data:	Doze de dezembro de dois mil e dezenove	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	11:15
Matrícula do Discente:	11712EEL011				
Nome do Discente:	Maurício José Aureliano Júnior				
Título do Trabalho:	Uso de Realidade Aumentada associada a Building Information Modeling para visualização de dados em ativos de Subestações de Energia Elétrica.				
Área de concentração:	Processamento da Informação				
Linha de pesquisa:	Computação Gráfica				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Título: Práticas BIM para manutenção e operação de Subestações Elétricas Agência Financiadora: CAPES/Fapemig Início: 08/2017 Término: em andamento No. do Projeto na agência: Bolsas de IC, Mestrado e Doutorado. Professor Coordenador: Alexandre Cardoso				

Reuniu-se no Anfiteatro 1E, Campus Santa Mônica, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores: Edgard Afonso Lamounier Junior- FEELT/UFU; Keiji Yamanaka - FEELT UFU; José Remo Ferreira Brega - UNESP; 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 Mestre.

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 **Alexandre Cardoso, Presidente**, em 12/12/2019, às 16:18, 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 **Keiji Yamanaka, Professor(a) do Magistério Superior**, em 12/12/2019, às 19:51, 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 **JOSE REMO FERREIRA BREGA, Usuário Externo**, em 13/12/2019, às 15:02, 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 **Edgard Afonso Lamounier Junior, Professor(a) do Magistério Superior**, em 16/12/2019, às 11:41, 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](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1706029** e o código CRC **FCE30673**.

---

# Agradecimentos

Inicio meus agradecimentos por DEUS, já que Ele colocou pessoas tão especiais a meu lado, sem as quais certamente não teria dado conta! A meus pais, Sr. Mauricio e D. Lúcia, meu infinito agradecimento. Sempre acreditaram em minha capacidade. Obrigada pelo amor incondicional! A Joelma, Jô, agradeço pela paciência, compreensão, apoio, carinho e por ser tão importante na minha vida. Obrigado por tudo! Ao meu irmão agradeço pelo companheirismo e exemplo de superação. Muito grato a você Caião.

Aos meus professores minha eterna gratidão. Ao professor Alexandre Cardoso, meu orientador e guia, agradeço pela sabedoria e conselhos. Ao professor Edgard Lamounier Junior, agradeço pelos conselhos e dedicação. Obrigado sempre. Agradeço ao Gerson Flávio de Lima pelo apoio e presteza.

Aos meus tios e tias, a minha família, agradeço sempre pelo apoio.

Aos meus amigos agradeço pelo apoio e força. A minha família do LABCG sem palavras para demonstrar meu carinho e admiração a todos. Obrigado pelo apoio.

Aos alunos da iniciação científica obrigado pela ajuda.

Ao meu parceiro de Jornada, que iniciamos juntos em 2003, professor Robinson C. da Cruz, agradeço pela força e apoio. Meu muito obrigado.

Ninguém vence sozinho... OBRIGADO A TODOS!

*“Sua vida pode ser dividida em dois períodos: antes de agora e a partir de agora.”*  
*(Prof. Obvious Stating)*



---

# Resumo

*Building Information Modeling* (BIM) é mais do que um modelo para visualização do espaço projetado, é um o modelo digital composto por um banco de dados que permite agregar informações para diversas finalidades. Contrariamente aos sistemas do tipo CAD, onde os elementos possuem somente informações geométricas, um modelo BIM é representado pela junção de elementos individuais onde cada um deles possui uma informação física e geométrica além de outros atributos. Apesar de suas vantagens e potencial, a implementação do BIM envolve uma variedade de barreiras e processos organizacionais que tendem a influenciar a resistência em sua utilização, baseado em questões técnicas ou econômicas. Conforme Meža, Turk e Dolenc (2015) a metodologia BIM ainda é pouca utilizada principalmente em ambiente de produção. Poucas são as pesquisas que buscam otimizar o processo de utilização do BIM para orientação de tarefas em ambientes reais de trabalho. Dessa forma buscando novas alternativas para a melhor implantação e adoção da metodologia BIM, tanto a Realidade Aumentada (RA), como a Realidade Virtual (RV), demonstram grande potencial para a integração e suporte a mesma. Segundo Kirner e Tori (2004), os ambientes de Realidade Aumentada facilitam a atuação do usuário em espaços tridimensionais, aumentam o desempenho dos sistemas e permitem melhores técnicas de interação. Assim sendo o presente trabalho apresenta uma proposta de integração da metodologia BIM, com um sistema de Realidade Aumentada para assim otimizar o processo de adoção e implementação do BIM. O objetivo dessa integração é proporcionar benefícios aos processos de visualização da informação devido a capacidade que o BIM proporciona em agregar elevadas quantidades de informações aos modelos e devido às características de facilidades de uso da RA.

**Palavras-chave:** *Building Information Modeling*, Realidade Aumentada.

---

# Abstract

Building Information Modeling (BIM) is more than just a model for visualization of projected space, is a digital model consisting of a database that allows you to aggregate information for various purposes. Unlike the CAD systems, where the elements have only geometric information, a BIM model is represented by the junction of individual elements where each of them has physical and geometric information and other attributes. Despite its advantages and potential, BIM implementation involves a variety of barriers and processes organizational factors that tend to influence resistance in their use, based on technical or economic issues. According to Meža, Turk and Dolenc (2015) the methodology BIM is still little used mainly in production environment. There are few research that seeks to optimize the process of using BIM for task guidance in real work environments. Thus seeking new alternatives for the best implementation and adoption of the BIM methodology, both Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR), demonstrate great potential for integration and support for same. According to Kirner and Tori (2004), Augmented Reality environments facilitate the user performance in three-dimensional spaces, increase the performance of the systems and allow for better interaction techniques. Thus, the present paper presents a proposal to integrate the BIM methodology with an Augmented Reality system thus optimizing the process of adoption and implementation of BIM. The purpose of this integration is to provide benefits to information visualization processes due to BIM's ability to add large amounts of information to models and due to the features of RA use facilities.

**Keywords:** Building Information Modelin, Augmented Reality .

---

## Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de Ciclo de vida BIM . . . . .	21
Figura 2 – CAD X BIM . . . . .	22
Figura 3 – The Hype Cycle for Emerging Technologies - 2018 . . . . .	24
Figura 4 – Visão genérica de um Sistema de Realidade Aumentada . . . . .	26
Figura 5 – Exemplo de um marcador fiducial . . . . .	27
Figura 6 – Esquema do sistema de visualização utilizando óculos HMD . . . . .	27
Figura 7 – Cubículo Média Tensão . . . . .	30
Figura 8 – Aplicação das etapas de busca para revisão bibliográfica. . . . .	33
Figura 9 – Demonstração do Aplicativo em execução. . . . .	34
Figura 10 – Inspeção utilizando o aplicativo. . . . .	35
Figura 11 – Modelo texturizado. . . . .	36
Figura 12 – Geometria com modelo de informação 2D. . . . .	37
Figura 13 – Modelo de geometria única. . . . .	37
Figura 14 – Armação de arame do modelo - Wireframe. . . . .	37
Figura 15 – Arquitetura do Sistema de Realidade Mista. . . . .	39
Figura 16 – Arquitetura do sistema proposto. . . . .	40
Figura 17 – Interface do usuário em RA. . . . .	41
Figura 18 – Interface do usuário em RV. . . . .	42
Figura 19 – Diagrama de Caso de Uso. . . . .	47
Figura 20 – Diagrama de Atividades. . . . .	49
Figura 21 – Data Managment Services . . . . .	51
Figura 22 – Arquitetura do processo de montagem de cenas . . . . .	56
Figura 23 – Foto - Exemplo para modelagem . . . . .	57
Figura 24 – Planta CAD - CUBÍCULO DE ENTRADA . . . . .	58
Figura 25 – Interface Autodesk Inventor . . . . .	59
Figura 26 – Autodesk Revit - categorização dos elementos . . . . .	60
Figura 27 – Modelo Conceitual Arquitetura Proposta. . . . .	62
Figura 28 – Arquitetura Aplicação. . . . .	63

Figura 29 – Modelo BIM do Cubículo - Vista Frontal. . . . .	67
Figura 30 – Modelo BIM do Cubículo - Vista Explodida. . . . .	67
Figura 31 – Modelo BIM do Cubículo - Vista Lateral. . . . .	68
Figura 32 – Tela Inicial Aplicação Proposta . . . . .	68
Figura 33 – Tela - Cena Salva e Exibição Modelo BIM . . . . .	69
Figura 34 – Tela - Cena Salva e Exibição Modelo BIM e as Informações BIM . . . .	70
Figura 35 – Tela - Cena Salva e Exibição Modelo BIM - Vista Explodida . . . . .	70
Figura 36 – Tela - Modo Resolver Cena . . . . .	71
Figura 37 – Exemplo - Google HEART <i>framework</i> . . . . .	75
Figura 38 – Cálculo NPS . . . . .	77
Figura 39 – Cálculo taxa conclusão de tarefas . . . . .	77
Figura 40 – Gráfico Análise NPS - Score . . . . .	79

---

## Lista de tabelas

Tabela 1 – Tabela Comparativa dos Principais Aspectos dos Trabalhos Correlatos.	43
Tabela 2 – Requisitos Funcionais e Não Funcionais. . . . .	46
Tabela 3 – Descrição do Diagrama de Casos de Uso. . . . .	48
Tabela 4 – <i>Framework</i> Heart - Aplicação Trabalho . . . . .	76
Tabela 5 – Resultado NPS . . . . .	78
Tabela 6 – Conclusão tarefas T1 e T2 . . . . .	80
Tabela 7 – Tempo gasto por usuário - tarefa T3 . . . . .	80

---

# Lista de siglas

**2D** duas dimensões

**3D** três dimensões

**API** *Application Programming Interfaces*

**BIM** *Building Information Model*

**CAD** *Computer Aided Design*

**IHC** Interação Humano Computador

**NPS** *Net Promoter Score*

**OAuth** *Open Authentication Protocol*

**PaaS** *Platform as a Service*

**RA** Realidade Aumentada

**RV** Realidade Virtual

**SDK** *Software Development Kits*

**SE** Subestação de Energia Elétrica

**SEP** Sistema Elétrico de Potência

**UX** User Experience

---

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Motivação e Contextualização</b>	<b>15</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
<b>1.3</b>	<b>Organização da Dissertação</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>BIM - <i>Building Information Model</i></b>	<b>19</b>
2.1.1	Histórico	19
2.1.2	Definição de BIM	20
2.1.3	Funcionalidades BIM	22
<b>2.2</b>	<b>Realidade Aumentada</b>	<b>24</b>
2.2.1	Justificativas para o Uso da Realidade Aumentada	28
<b>2.3</b>	<b>Subestações de Energia Elétrica</b>	<b>29</b>
2.3.1	Subestação Primária Compacta Blindada	30
<b>3</b>	<b>TRABALHOS CORRELATOS</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Trabalhos Correlatos</b>	<b>33</b>
3.2.1	Montagem de Modelos Físicos através do Uso de BIM e Realidade Aumentada	33
3.2.2	Realidade Aumentada suportada por BIM em Projetos de Construção Civil	35
3.2.3	Realidade Aumentada para Modelagem de Informações nDimensional.	36
3.2.4	BIM Integrado a Realidade Mista para Manutenção Preventiva de Prédios Históricos	38

3.2.5	Integrando BIM e Realidade Aumentada para Visualização Arquitetural Interativa . . . . .	39
3.2.6	Realidade Aumentada com Suporte ao BIM Centrado no Usuário . . . . .	41
<b>3.3</b>	<b>Estudo Comparativo dos Trabalhos Relacionados . . . . .</b>	<b>42</b>
<b>3.4</b>	<b>Considerações Finais . . . . .</b>	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução . . . . .</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Especificação do Sistema . . . . .</b>	<b>45</b>
4.2.1	Requisitos Funcionais e Não Funcionais . . . . .	45
4.2.2	Casos de Uso . . . . .	46
4.2.3	Atividades . . . . .	48
<b>4.3</b>	<b>Tecnologias e Ferramentas Utilizadas no desenvolvimento da aplicação . . . . .</b>	<b>49</b>
4.3.1	Forge APIs . . . . .	49
4.3.2	ARCore . . . . .	53
4.3.3	Unity . . . . .	54
<b>4.4</b>	<b>Estratégias de Modelagem . . . . .</b>	<b>55</b>
4.4.1	Autodesk Inventor . . . . .	58
4.4.2	Autodesk Revit . . . . .	59
<b>5</b>	<b>ARQUITETURA DA SOLUÇÃO PROPOSTA . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>5.1</b>	<b>Introdução . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>5.2</b>	<b>Arquitetura Conceitual . . . . .</b>	<b>61</b>
<b>5.3</b>	<b>Arquitetura Aplicação . . . . .</b>	<b>62</b>
5.3.1	Camada – Cliente . . . . .	63
5.3.2	Camada de Serviços . . . . .	65
<b>5.4</b>	<b>Criação modelo BIM . . . . .</b>	<b>66</b>
<b>5.5</b>	<b>Funcionamento do Sistema . . . . .</b>	<b>68</b>
<b>5.6</b>	<b>Considerações Finais . . . . .</b>	<b>71</b>
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>72</b>
<b>6.1</b>	<b>Introdução . . . . .</b>	<b>72</b>
<b>6.2</b>	<b>Metodologia de Avaliação . . . . .</b>	<b>72</b>
6.2.1	Experiência do Usuário - <i>User Experience - UX</i> . . . . .	72
<b>6.3</b>	<b>Aplicação do <i>framework</i> HEART . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>6.4</b>	<b>Amostra da população . . . . .</b>	<b>78</b>
<b>6.5</b>	<b>Resultados e Discussão . . . . .</b>	<b>78</b>



7	CONCLUSÃO . . . . .	81
7.1	Introdução . . . . .	81
7.2	Conclusões . . . . .	81
7.3	Trabalhos Futuros . . . . .	82
	REFERÊNCIAS . . . . .	83
	APÊNDICES . . . . .	88
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO . . . . .	90

---

# Introdução

## 1.1 Motivação e Contextualização

O desenho assistido por computador, *Computer Aided Design (CAD)*, trouxe uma melhor metodologia de trabalho e eficiência no tratamento dos projetos, seja no que diz respeito à criação do desenho ou na sua edição em si (EASTMAN, 2018). Mediante a utilização dos sistemas CAD, os elementos (linhas, pontos, textos, etc.) são inseridos em um espaço virtual através de vetores de coordenadas com precisão matemática. Inicialmente com objetos de duas dimensões (2D) os sistemas CAD evoluíram ao oferecer elementos em três dimensões (3D) para a construção de superfícies e sólidos em um espaço tridimensional (SANTOS; GARCÍA; WANDSCHEER, 2014).

Já metodologia *Building Information Model (BIM)* prevê a construção em um ambiente 3D virtual de objetos característicos e não da sua representação física somente. Tais objetos, chamados de modelos inteligentes paramétricos, apresentam além das propriedades espaciais associadas a sua representação física, bem como as propriedades intrínsecas aos mesmos, como volume, peso, altura, custo de manutenção, dentre outras (BELCHER; JOHNSON, 2008).

De acordo com a *National Institute of Building Standards*, organização não governamental norte americana, *BIM*, define-se com uma representação digital das características funcionais e físicas de um objeto, de um modelo ou desenho. O conceito BIM é baseado em uma metodologia de compartilhamento e troca de informações durante todas as fases do ciclo de vida de um projeto. Por exemplo, em um projeto de construção civil, o compartilhamento de informações, ocorre desde as fases iniciais da concepção do projeto, até as fases de demolição e reciclagem do mesmo (MANZIONE, 2013).

A metodologia BIM vem evoluindo dentro das áreas de arquitetura e de engenharia deste seu surgimento. No Brasil o governo federal instituiu a estratégia nacional de disseminação da metodologia BIM, a Estratégia BIM Brasil. O Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018, instituiu de maneira oficial essa estratégia a fim de contribuir para a adoção do BIM no cenário nacional (BRITO; FERREIRA; COSTA, 2019).

No entanto, apesar das vantagens e potencial, a implementação do BIM envolve uma variedade de barreiras e processos organizacionais que tendem a influenciar a resistência em sua utilização, baseado em questões técnicas ou econômicas (HOSSEINI et al., 2016). Para Crespo e Ruschel (2017), o principal obstáculo se refere à complexidade dos programas BIM, quando comparado com as ferramentas do tipo CAD.

Outro empecilho é a não cooperação das informações para formatos mais usuais, como o .dwg <sup>1</sup>, por exemplo. Os *softwares* BIM, em sua generalidade, trabalham com a extensão .ifc <sup>2</sup>, um formato particular de documentação (EASTMAN et al., 2014). De acordo com Kassem, Succar e Dawood (2017) a adoção do BIM no Brasil possui áreas de difusão desbalanceadas e baixos níveis de capacidade de modelagem, colaboração e integração.

Conforme Meža, Turk e Dolenc (2015) a metodologia BIM ainda é pouca utilizada principalmente em ambiente de produção. Poucas são as pesquisas que buscam otimizar o processo de utilização do BIM para orientação de tarefas em ambientes reais de trabalho. Um dos principais fatores para não utilização do BIM apontados por Davies e Harty (2013) é que a falta de interação das informações digitais BIM com o mundo real limita o processo de comunicação e compartilhamento dessas informações em tempo real.

Outro fator relevante é que de acordo com Meža, Turk e Dolenc (2015) todo o processo de documentação de um projeto, seja ele qual for, é preparado através da utilização de *softwares* especializados e armazenados digitalmente. Essa documentação se baseia na construção de modelos BIM contendo informações espaciais, de cronograma de manutenções, ciclo de vida, dentre outras. Porém quando da sua utilização em um ambiente de produção essa informação geralmente é impressa e utilizada na forma física bidimensional, 2D.

Representações bidimensionais auxiliam na demonstração de detalhes técnicos e também simplificam a exibição de medidas e *layouts*. Porém, não representam um esboço da realidade de forma tátil, o que dificulta a compreensão do modelo em si (BONATO, 2015).

Dessa forma buscando novas alternativas para a melhor implantação e adoção da metodologia BIM, tanto a Realidade Aumentada (RA), como a Realidade Virtual (RV), demonstram grande potencial para a integração e suporte a mesma. Ambas tecnologias demonstram-se úteis em cenários de simulações, treinamento, visualização da informação, sistemas industriais, representações gráficas e outras demais aplicações.

A RA é uma tecnologia de interface de usuário promissora e cada vez mais viável (SOUZA et al., 2016; CARDOSO et al., 2007). De acordo com Azuma et al. (2001) a Realidade Aumentada aplica-se em todos os sentidos humanos e proporciona ao usuário uma interação segura, sem necessidade de treinamento ou maiores dificuldades, uma vez que ele pode trazer para o seu ambiente real, objetos virtuais, incrementando e aumentando a visão que o usuário tem do mundo real. Sendo o compartilhamento de informações entre as diversas etapas da elaboração de um projeto uma das principais premissas da

<sup>1</sup> Extensão de arquivos de desenho em 2D e 3D nativa do software AutoCAD

<sup>2</sup> Formato arquivo aberto que contém um específico formato de dados que tem a finalidade de permitir o intercâmbio de um modelo informativo sem perda ou distorção de dados ou informação

metodologia BIM, é de fundamental importância prover também a criação de ferramentas que possam compartilhar seu uso entre diversos usuários.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Sob tais considerações apresentadas na Seção 1.1, este trabalho tem como objetivo propor uma arquitetura baseada na integração de *Building Information Model* (BIM) com Realidade Aumentada (RA), que possibilite a visualização de informações em módulos de subestação primária de média tensão de distribuição bem como a utilização por múltiplos usuários. O objetivo dessa integração é proporcionar benefícios aos processos de visualização da informação devido a capacidade que a metodologia BIM proporciona em agregar elevadas quantidades de informações aos modelos e devido às características de facilidades de uso da RA.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Levando em consideração o fundamento da proposta aqui apresentada, são objetivos específicos:

- A) Permitir a visualização de informações *Building Information Model* (BIM) referentes a construção e manutenção em módulos de tensão primária;
- B) Permitir o compartilhamento dessas informações por múltiplos usuários por meio de Realidade Aumentada (RA);
- C) Avaliar a Experiência do Usuário com relação ao uso da aplicação desenvolvida baseada na arquitetura proposta através do *framework* HEART.

## 1.3 Organização da Dissertação

Além do presente capítulo introdutório, esta dissertação apresenta-se desenvolvida e documentada dentro da seguinte estrutura organizacional:

No Capítulo 2: Fundamentação Teórica, são apresentados os fundamentos teóricos dos principais temas que serão abordados ao longo desta dissertação. Além de proporcionar ao leitor os conceitos mais difundidos sobre os assuntos levantados.

No Capítulo 3: Trabalhos Correlatos apresenta-se o levantamento bibliográfico sobre trabalhos ligados ao tema pesquisado, chegando-se ao estado da arte necessário para o desenvolvimento da pesquisa.

No Capítulo 4: Especificação do Sistema Proposto, são apresentadas as definições do protótipo, e suas especificações bem como as tecnologias utilizadas para seu desenvolvimento.

No Capítulo 5: Arquitetura da Solução Proposta, inicialmente apresenta os detalhes do desenvolvimento e implantação da aplicação. Em seguida detalha todo seu processo de funcionamento da aplicação proposta.

No Capítulo 6: Resultados e Discussões, apresenta-se o método utilizado para avaliação bem como os resultados obtidos. Isto é possível por meio de uma análise gráfica dos resultados obtidos.

No Capítulo 7: Conclusões e Trabalhos Futuros, são apresentadas as considerações finais e as expectativas para os trabalhos futuros.

---

## Fundamentação Teórica

A presente pesquisa aborda a integração e avaliação de uma aplicação de Realidade Aumentada, RA, baseada em BIM. Dessa forma, neste capítulo é feita uma fundamentação teórica sobre o assunto em questão. Além disso, são apresentados os principais conceitos envolvidos na utilização de RA, da metodologia BIM, bem como, Subestações de Energia Elétrica.

### 2.1 BIM - *Building Information Model*

#### 2.1.1 Histórico

O desenho, assim como a escrita e a fala, é uma forma natural de linguagem humana. É uma das primeiras formas de expressão encontrada pela humanidade para representar seus pensamentos bem como a comunicação. No início dos anos 60 a representação gráfica começou a ser associada às novas tecnologias emergentes daquela época aliadas a computação (ALVES et al., 2015).

Em 1963, Ivan Sutherland desenvolveu uma interface gráfica denominada *Sketchpad*, onde possibilitaria ao usuário criar desenhos virtuais através de uma caneta. Na década seguinte, os programas do tipo CAD, começaram a ser desenvolvidos, e nos anos 80 deu-se o surgimento do *software* CAD AutoCad. Apesar da inovação tecnológica, o CAD era uma ferramenta poderosa para desenhos 2D que no entanto, só permitia a modelação e renderização 3D num outro computador devido ao custo computacional que era necessário para tal tarefa naquela época (ALVES et al., 2015; CARREIRO; PINTO, 2013).

"Através do uso deste tipo de programa, agora era possível desenvolver um projeto arquitetônico com clara consciência de sua forma tridimensional e facilmente detectar, ainda no processo de projeto, situações complexas que até então eram difíceis de prever e exigiam um forte esforço mental da combinação de elementos (CARREIRO; PINTO, 2013)."

Diante desse cenário, no fim dos anos 80 surge uma nova forma de representação da três dimensões, o BIM, *Building Information Modelling*. Segundo Belcher e Johnson (2008) o conceito de BIM foi originado pelo *Eastman's Building Product Model*. O BIM é um sistema para representação e comunicação de informação gerada através do ciclo de vida de um projeto (CARREIRO; PINTO, 2013).

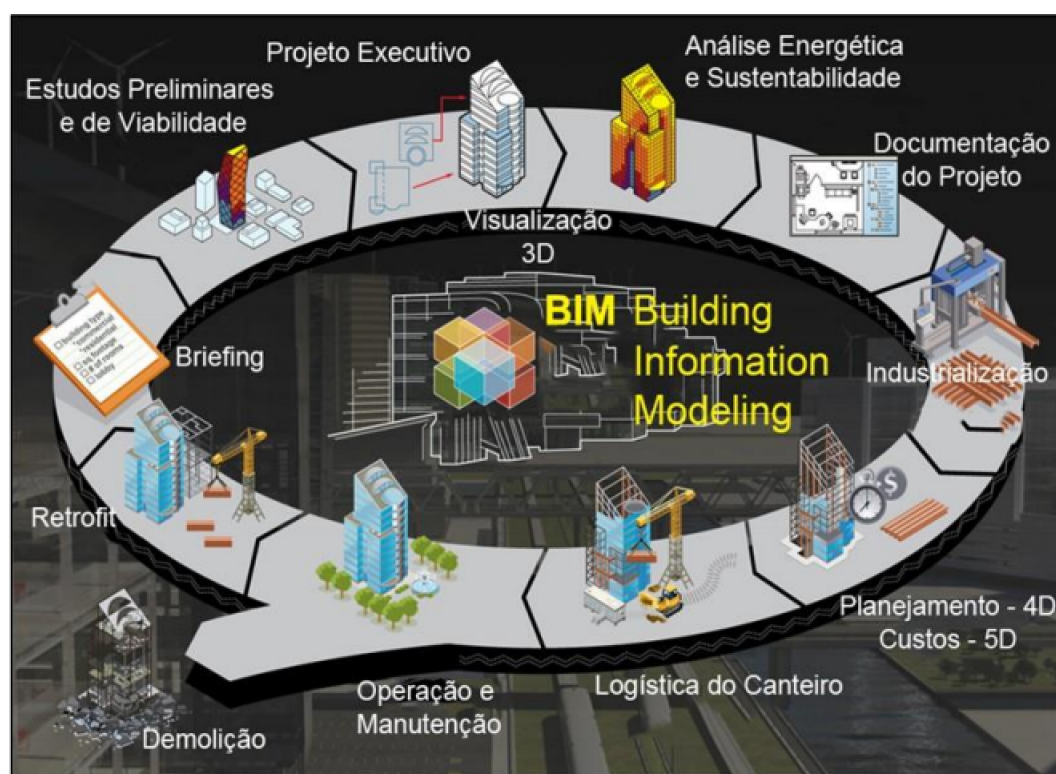
A modelagem 3D é objeto de extensa pesquisa devido a sua ampla aplicação, não somente voltadas a áreas de Arquitetura e Engenharia, bem como no desenvolvimento de jogos eletrônicos, publicidade, entre outros. Desde a década de 70, o estudo de sólidos já era desenvolvido por Ian Braid, na Universidade de Cambridge, Bruce Baumgart, na Universidade de Stanford, e Ari Requicha e Herb Voelcker, na Universidade de Rochester, dando origem a primeira geração de soluções para modelagem 3D (ALVES et al., 2015).

### 2.1.2 Definição de BIM

Existem várias definições a respeito do que significa o acrônimo BIM, e, ao mergulhar na sua história, entende-se como ferramentas e conceitos de modelagem estão atrelados. A modelagem da informação da construção é mais que um modelo 3D parametrizado, é uma forma de coordenar informações através de bancos de dados (EASTMAN et al., 2014).

O conceito BIM serve de embasamento para as ferramentas que permitem simular o desenvolvimento de um bairro, de uma cidade; o comportamento de uma edificação frente a questões climáticas, de segurança, energética e de consumo de materiais; ou seja, permite simular o ciclo de vida de um edifício, por exemplo, conforme Figura 1, seus impactos, interferências e ganhos sociais. Com o BIM as fases de projeto destacam-se por sua importância, pois possibilitam realizar análises mais exatas da viabilidade econômica, urbanística, ambiental e social, no curto, médio e longo prazo, ou seja, da sustentabilidade da benfeitoria do projeto em questão (EASTMAN et al., 2014; FREITAS, 2014).

Figura 1 – Exemplo de Ciclo de vida BIM



Fonte: Adaptado de (MANZIONE, 2013)

Assim sendo o BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de uma representação em 3D, seja ela uma peça, um edifício. Essa representação digital serve como um recurso de conhecimento compartilhado para obter informações sobre um determinado modelo, permitindo a criação de uma base confiável para decisões durante o seu ciclo de vida, desde a concepção até a manutenção de um projeto, construção, entre outros (FREITAS, 2014).

Com o BIM, podem ser construídos digitalmente um ou mais modelos virtuais. Estes modelos gerados por computador, contém geometria e os dados necessários para apoiar o ciclo de vida, manutenção, dentre outras atividades. O BIM é a representação digital compartilhada baseada em normas abertas de interoperabilidade. Como tal, pode-se afirmar que o BIM é um modelo inteligente (FREITAS, 2014).

De acordo com Costa;

“BIM é uma representação digital das características físicas e funcionais de um edifício, modelo, peça, entre outros, constituindo uma base de dados de conhecimento, compartilhado ao longo do ciclo de vida dos mesmos. Em BIM, a geometria, função, dados e respectivo comportamento estão integrados, permitindo estabelecer relações entre os mesmos. As suas características únicas permitem a representação e simulação do comportamento real de edifícios (energético, estrutural, acústico, sustentável, etc.), por exemplo, a quantificação de materiais e a determinação de custos associados ao projeto e respectiva execução, a identificação de erros

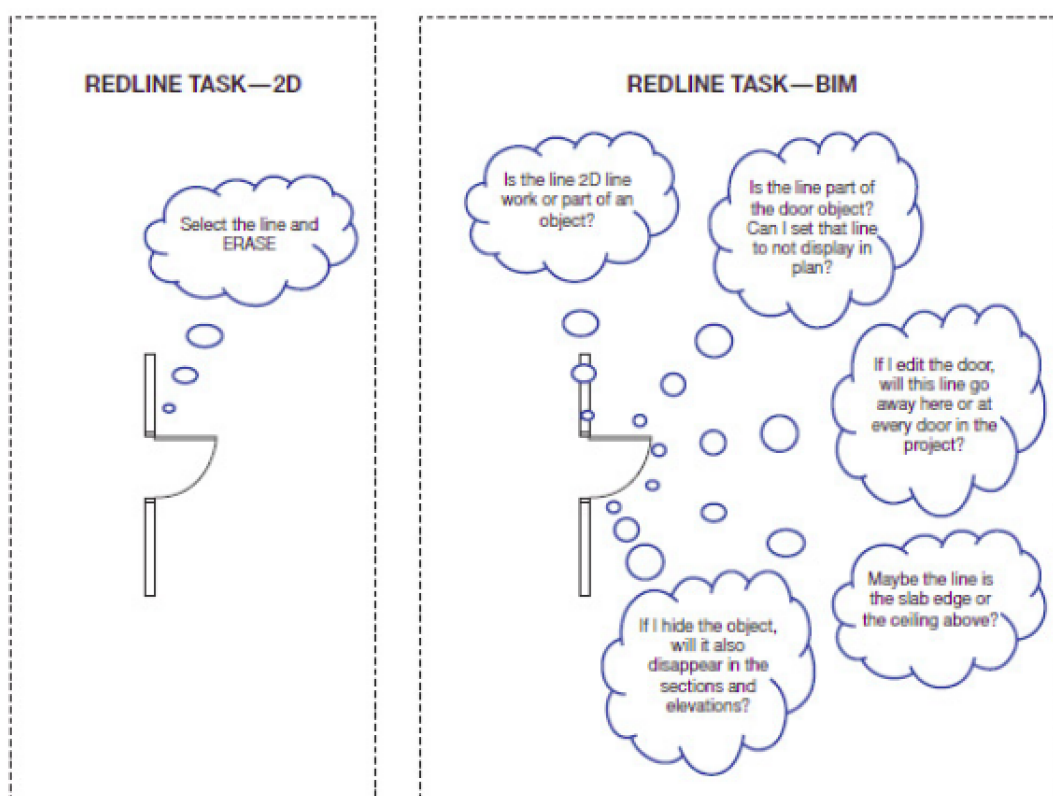


e omissões, a automatização da produção de documentação incluindo a introdução de alterações, facilitando em simultâneo a comunicação e coordenação e permitindo um elevado incremento de produtividade. BIM é um processo de produção/comunicação/colaboração apoiado em tecnologia de modelação, análise e simulação.” (COSTA, 2013).

### 2.1.3 Funcionalidades BIM

Contrariamente aos sistemas do tipo CAD, onde os elementos não possuem informação construtiva, um modelo BIM é representado pela junção de elementos individuais onde cada um possui uma informação física e geométrica. Este sistema apresenta como principais vantagens a possibilidade de visualização 3D, como também a possibilidade de gestão de informação ao longo de toda a vida de um modelo em si (CHECCUCCI; PEREIRA; AMORIM, 2013). A Figura 2 traz a representação de um modelo CAD e de um modelo BIM.

Figura 2 – CAD X BIM



Fonte: (DEUTSCH, 2011)

Assim sendo projetos desenvolvidos em BIM rapidamente se transformaram, de um simples modelo 3D, em modelos cada vez mais complexos e com uma carga de informação que torna o processo de projeto mais eficiente. Conseqüentemente devido a crescente complexidade e utilização de um mesmo modelo 3D em diversas fases de um projeto, há a

necessidade de se criar normas para permitir a elaboração de modelos BIM de forma que possam atender a todas as etapas de um projeto bem como ser compreensível àqueles que terão acesso a esses modelos (ALVES et al., 2015).

### 2.1.3.1 Modelos BIM

Devido a identificação dos benefícios do BIM e pela imposição do uso em alguns países, é notório o crescente desenvolvimento dessa metodologia. Os primeiros softwares BIM trabalhavam apenas com o componente de modelação tendo incorporado posteriormente a possibilidade de modelos mais rigorosos com diversas informações (ALVES et al., 2015; EASTMAN, 2018).

Frequentemente referências relativas a dimensões “nD” são encontradas. Estas dimensões vão do 2D ao 7D, sendo que, as dimensões entre o 2D e 5D apresentam um maior consenso relativo à sua definição e são comumente encontradas em projetos desenvolvidos em BIM. Segundo HENRIQUES (2012), sobre o 6D e o 7D ainda não se tem um consenso no que se diz respeito à definição destas dimensões.

O BIM possui uma quarta dimensão, 4D. Esta transposição passa a ser relativa também a valores temporais, como a extensão do projeto/obra, tendo em conta quando ocorre o início e no fim, de modo a efetuar o estudo sequencial de trabalhos e concretizar planejamentos relativos à sua construção. De acordo com Henriques (2012) à quarta dimensão podem ser acrescentados os custos, passando assim a ter 5D. No modelo passa assim a existir a capacidade de definir custos a cada componente, tornando mais simples o processo de orçamentação e análise de custos bem.

### 2.1.3.2 Modelagem Paramétrica

A modelação dos diversos elementos de um modelo em BIM é feita através de famílias de objetos que se encontram pré-carregadas em um *software* ou então que possam ser modeladas por um desenvolvedor criando um novo elemento. A criação de um novo elemento possui vários parâmetros definidos pelo desenvolvedor como por exemplos dimensões e materiais que compõem esse modelo. Os materiais atribuídos aos diversos elementos podem ser completamente configurados pelo criador do modelo o que permite criar modelos 3D mais representativos, caracterizando uma modelagem parametrizada (CARDOSO BRUNO MAIA, 2012).

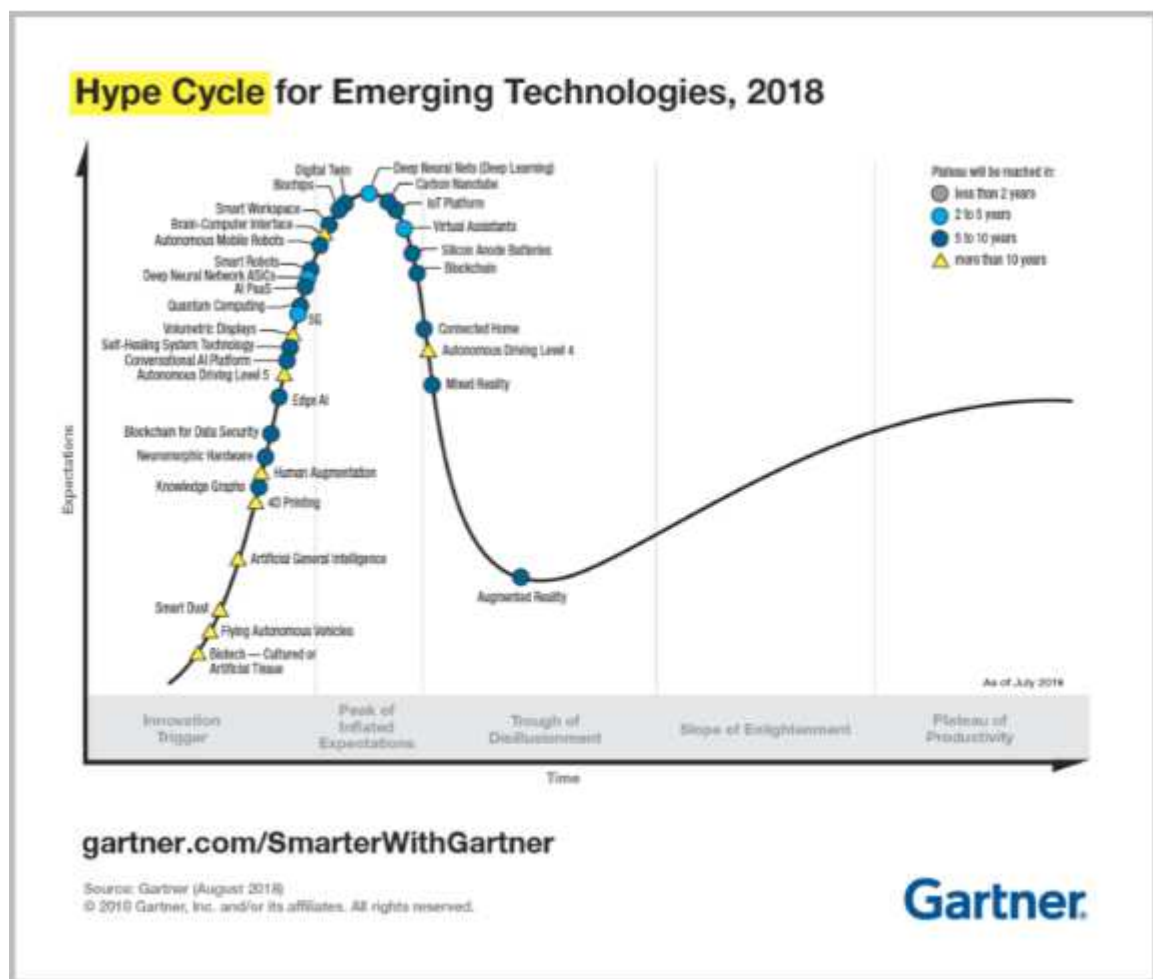
No sistema paramétrico de modelagem, uma forma é definida por um conjunto de operações. Cada operação é definida com seus parâmetros. Portanto, a forma será definida como uma equação algébrica, onde os valores de variáveis são atribuídos no momento da criação da forma. A título de exemplo, ao criar um projeto onde deve-se inserir um objeto que represente uma porta, deve-se definir a largura, bem como altura e para qual lado será a abertura da mesma. Todos os outros demais parâmetros de definição da porta

estão inseridos no contexto da porta previamente definida conforme padrões do projeto (EASTMAN, 2018).

## 2.2 Realidade Aumentada

Nos últimos vem se destacando cada vez mais com o surgimento de diversas aplicações de Realidade Aumentada (RA). De acordo com Gartner (2018), RA se destaca como uma tecnologia emergente nos próximos 5 a 10 anos, conforme mostra a Figura 3. O Gartner é uma empresa que realiza pesquisas no ramo da tecnologia, sendo o relatório “*The Hype Cycle for Emerging Technologies*” uma versão anual que traz uma perspectiva de toda a indústria da Tecnologia da Informação sobre tecnologias e tendências que estrategistas de negócios (OLIVEIRA et al., 2017; PANETTA, 2018).

Figura 3 – The Hype Cycle for Emerging Technologies - 2018



Fonte: (PANETTA, 2018) - Adaptado

Realidade Aumentada (RA) consiste na inserção de objetos virtuais no ambiente físico,

que permite a visualização por um usuário, em tempo real. No geral, para que seja possível o uso de RA é necessário algum dispositivo tecnológico, *smartphone*, *tablet*, entre outros, usando a interface do ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos reais e virtuais (CARDOSO et al., 2007). Segundo (CARDOSO et al., 2007)

"Pode-se definir Realidade Aumentada (RA) como a amplificação da percepção sensorial por meio de recursos computacionais. Assim, associando dados computacionais ao mundo real, a RA permite uma interface mais natural com dados e imagens geradas por computador. Um sistema de RA deve prover ao usuário condições de interagir com estes dados de forma natural."

É uma tecnologia de interface de usuário promissora e cada vez mais viável. Recentemente, a Realidade Aumentada tem recebido grande atenção, devido à iminente liberação de novos dispositivos por diversas empresas, como a *Microsoft* com o *Hololens* e a *Google* que apoia o projeto *Google Magic Leap* (OLIVEIRA et al., 2017).

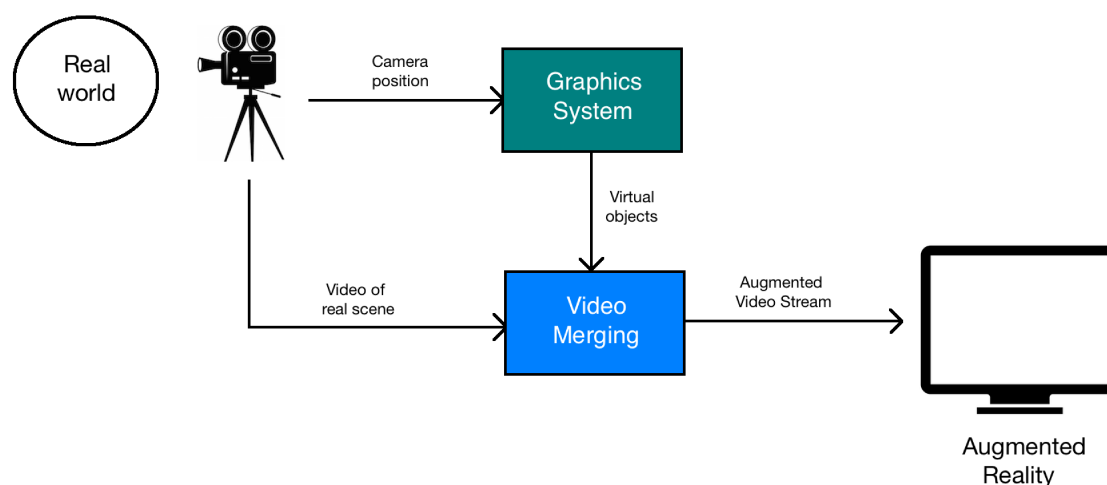
De acordo com Azuma et al. (2001) a Realidade Aumentada aplica-se em todos os sentidos humanos e proporciona ao usuário uma interação segura, sem necessidade de treinamento ou maiores dificuldades, uma vez que ele pode trazer para o seu ambiente real, objetos virtuais, incrementando e aumentando a visão que o usuário tem do mundo real. Isto é possível através de técnicas de Visão Computacional e de Computação Gráfica/Realidade Virtual, o que resulta na sobreposição de objetos virtuais com o ambiente real.

Efetivamente, sistemas de RA conseguem simular e apresentar as leis da Física, mesmo àqueles que não são possíveis de visualizar no mundo real, como por exemplo, a visualização do campo magnético de um motor elétrico. A RA é uma área enriquecida por ambientes reais emergentes e por objetos do mundo, predominantemente, reais como modelos geométricos, imagens, sons, textos, o que contribui para a melhoria da percepção do usuário (MEIGUINS et al., 2006).

Para que os objetos virtuais sejam sobrepostos ao ambiente real e possam ser manipulados é necessário o uso de um *software* com capacidade de visão do ambiente real e de posicionamento dos objetos virtuais, além do uso de dispositivos tecnológicos, *hardware*, adequados para Realidade Aumentada. O *hardware* de Realidade Aumentada pode usar dispositivos de Realidade Virtual, mas tende a não obstruir as mãos, que devem atuar naturalmente no ambiente misturado Tori, Kirner e Siscoutto (2006).

Um sistema de RA é composto por um capacete ou óculos, ou um dispositivo com um sistema de rastreamento de posição que serve para a visualizar o objeto virtual no ambiente real no exato lugar que o mesmo deve ser sobreposto, ou seja, a câmera é responsável por rastrear o local onde o objeto vai ser sobreposto, além de captar imagens em tempo real. Assim o óculos/dispositivo renderiza o objeto na posição exata que foi rastreado. Um misturador combina as duas imagens e mostra o resultado ao usuário, a Figura 4 traz uma visão geral de um sistema de RA (KIRNER; PINHO, 1997; CALVO; JOSHI, 2018).

Figura 4 – Visão genérica de um Sistema de Realidade Aumentada



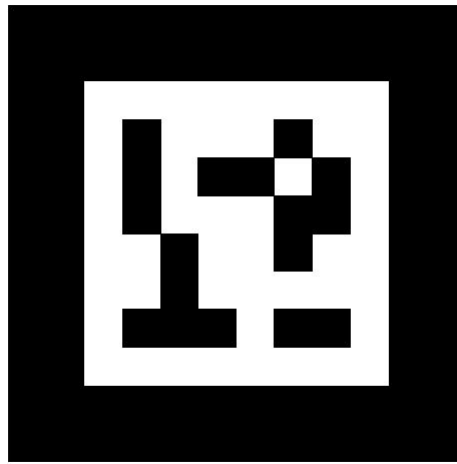
Fonte: (CALVO; JOSHI, 2018)

Para que seja possível a visualização de um objeto virtual em um ambiente real, pode-se utilizar um marcador fiducial, como apresentado na Figura 5, que determina a área da sobreposição dos objetos virtuais. Assim sendo, os marcadores são padrões definidos que possam ser reconhecidos pelo o sistema de RA. Sendo reconhecido o padrão, a imagem que representa o marcador capturado pela câmera que compõe o sistema de RA, sua posição é utilizada para mapear e demarcar o posicionamento dos elementos virtuais que serão adicionados ao ambiente real. Uma alternativa ao marcador é o uso de informações a respeito do Sistema de Posicionamento Global, GPS, *Global Positioning System* (BRAGA; SILVEIRA, 2016).

A fim de que o marcador funcione de maneira adequada, a escolha do melhor marcador para determinada aplicação deve ser feita com base em alguns parâmetros como, desenho do marcador, ambiente e iluminação. Com o propósito de aprimorar a utilização de RA, contornando os problemas causados pela má escolha de um marcador, recomenda-se a utilização marcadores mais complexos ou mesmo capturar características da própria cena e utilizá-las como padrões de posicionamento como por exemplo a superfície de um objeto presente na cena real. A escolha entre o uso de marcadores ou não em um sistema de RA deve ser feita com base nos parâmetros dos dispositivos de *hardware* utilizados para que o resultado seja o esperado (BRAGA; SILVEIRA, 2016; KIRNER; PINHO, 1997).

A Realidade Aumentada é uma área que, associada à comunicação móvel, permite ao usuário experiências interativas e dinâmicas na apresentação de um conteúdo (SÁ; CHURCHILL, 2012). É uma das áreas de pesquisa que mais crescem, parcialmente devido ao surgimento de dispositivos como *smartphones*, *HMDs*, *tablets*, que proporcionam uma plataforma onipresente, isto é, que está presente em toda parte, e poderosa que facilita

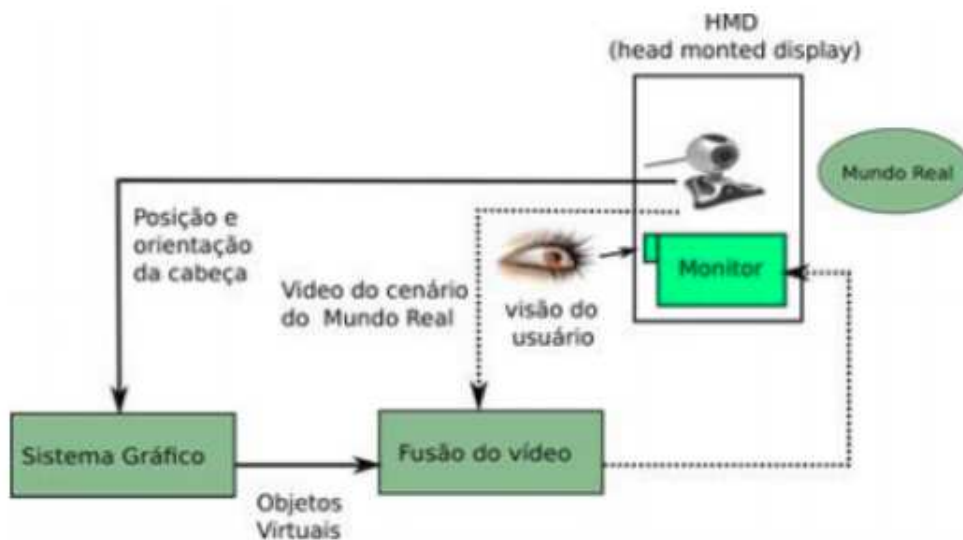
Figura 5 – Exemplo de um marcador fiducial



Fonte: (BRAGA; SILVEIRA, 2016)

o acesso da população à informação (AZUMA; BILLINGHURST; KLINKER, 2011). A Figura 6 traz um exemplo de um sistema imersivo de RA utilizando HMD.

Figura 6 – Esquema do sistema de visualização utilizando óculos HMD



Fonte: (AZUMA, 1997) - Adaptado

A classificação dos sistemas de Realidade Aumentada, relacionados com a percepção de imagens, de acordo com Azuma et al. (2001) se divide em quatro tipos de sistemas, sendo:

- Sistema de Visão Ótica Direta;

- ❑ Sistema de Visão direta por Vídeo;
- ❑ Sistema de Visão por Vídeo baseado em monitor;
- ❑ Sistema de Visão Ótica por projeção.

O Sistema de Visão Ótica Direta se utiliza de óculos ou capacetes com a capacidade de recebimento direto da imagem real em conjunto com a projeção de imagens, objetos virtuais ajustados com o ambiente real de forma adequada. Para esse fim, por exemplo, pode-se trabalhar com uma lente inclinada de tal forma que possa se ter visão direta que reflita a projeção de imagens geradas por computador diretamente nos olhos do usuário (CARDOSO et al., 2007).

Já o sistema de visão direta por vídeo utiliza-se de capacetes equipados com micro câmeras. Assim sendo, o ambiente real capturado pela micro câmera é exibido juntamente com os objetos virtuais gerados por computador diretamente nos olhos do usuário por meio de pequenos monitores acoplados ao capacete. Neste cenário o sistema de projeção obstrui a imagem real. O sistema de visão por vídeo baseado em monitor utiliza uma câmera para a captura da cena real. Após a captura, a cena real é combinada com os elementos virtuais gerados via computador e exibidos em um monitor convencional. Por fim o sistema de visão ótica por projeção usa das superfícies da cena real para a projeção dos objetos virtuais sendo todo esse conjunto disponibilizado ao usuário sem a necessidade de nenhum equipamento auxiliar (CARDOSO et al., 2007).

Deve-se ressaltar que a escolha do tipo de sistema de realidade aumentada abrange vários fatores como, condições da superfície projetada, no caso da escolha por um sistema de visão ótica por projeção, ou se o uso de capacetes será apropriado ao tipo de usuário, entre outros (CARDOSO et al., 2007).

A Realidade Aumentada pode ser utilizada em diversas áreas, dentre elas; indústria através do treinamento e apoio a tarefas que exigem complexidade como manutenção de máquinas; na visualização de elementos construtivos e sinalização de ambientes; na engenharia e arquitetura; na visualização de dados, para otimização da análise e interação; em ambientes de simulação; na Educação, possibilitando a inserção de informações complementares e/ou relevantes ao cenário real, entre outros.

### **2.2.1 Justificativas para o Uso da Realidade Aumentada**

Cada vez é maior o número de dispositivos móveis no mercado. Em 2016, estudos mostravam que mais de 4,5 bilhões de pessoas possuíam um aparelho celular, sendo que esse número tende a crescer. Dados da Anatel indicam que o Brasil terminou novembro de 2018 com 231,8 milhões de celulares e densidade de 110,55 cel/100 hab (STARTUPI, 2018; OLIVEIRA et al., 2017).

A evolução destes dispositivos móveis é notória. Os mesmos possuem diversos recursos como câmeras de alta definição, conectividade em várias tecnologias, ótima interface visual, GPS, entre outros. Assim sendo, a mobilidade e conectividade estão cada vez mais conhecidas e utilizadas. Isso faz com que surja a necessidade de mais aplicações que executem nesses dispositivos a fim de sincronizar informações principalmente de organizações de trabalho (OLIVEIRA et al., 2017).

Uma das principais vantagens da mobilidade é o fato que as aplicações podem ser utilizadas em qualquer momento e lugar. Outro fato a se destacar é que os dispositivos móveis podem atuar como ferramentas de auxílio para aprendizagem e, alinhados a RA, tornarem-se estratégias de desenvolvimento em outras áreas, como simulação, jogos, manutenção de equipamentos e visualização da informação (OLIVEIRA et al., 2017; AZUMA; BILLINGHURST; KLINKER, 2011).

Com a evolução e praticidade tanto de smartphones como tablets, os mesmos se tornam boas plataformas para Realidade Aumentada além de facilitar a sincronização de dados e comunicação através do suporte a tecnologias de redes sem fio. Com o crescimento dos usuários de dispositivos móveis, crescem também o número de aplicações de Realidade Aumentada (JIN; PARK, 2011).

Destacam-se como os principais benefícios do uso de dispositivos móveis para RA, segundo Heiphetz e Woodill (2010), sendo: a portabilidade, a mobilidade e o acesso, de forma flexível, a diversos recursos e em tempo real, economia de tempo, rapidez da comunicação, capacitação e envolvimento dos usuários e o fato da aprendizagem móvel, *mobile learning*, ser abrangente e dinâmica.

Outros fatores de mercado contribuem para o crescimento de aplicativos de Realidade Aumentada, como por exemplo, a redução do custo de equipamentos o que torna cada vez mais acessíveis, contribuindo para uma maior abrangência no uso desses aplicativos. De acordo com Jin e Park (2011) a amplitude em que a RA vem atuando se torna imprescindível e coerente para várias soluções, contribuindo para o desenvolvimento social e tecnológico.

## 2.3 Subestações de Energia Elétrica

Uma Subestação de Energia Elétrica (SE) pode ser definida como um conjunto de dispositivos e equipamentos, interligados entre si, que fazem parte de um Sistema Elétrico de Potência (SEP). Uma SE tem o objetivo de transformar, distribuir e ainda direcionar blocos de energia dentro de tensões, potências e parâmetros definidos, assim como garantir a proteção do sistema elétrico, ou seja, consiste em um número de circuitos conectados a um barramento comum de forma a possibilitar o desempenho das funções de transformação de tensão, manobra e proteção do sistema de energia elétrica (ALVES, 2017).

No SEP, a subestação tem como função principal a instalação de equipamentos de



transformação de níveis de tensão, manobra e de proteção. Os equipamentos de proteção proporcionam a conexão de circuitos com níveis de tensão diferenciados, os equipamentos de manobra são responsáveis pela distribuição do fluxo de potência através dos diversos circuitos conectados à subestação e os equipamentos de proteção têm a função de garantir a segurança das pessoas e equipamentos (MUZY, 2012).

Durante o percurso de transmissão de energia elétrica entre a geração e o consumo, a eletricidade passa por inúmeras subestações, onde os transformadores aumentam ou diminuem sua tensão, com o objetivo de reduzir a perda excessiva de energia ao longo do caminho e a distribuição de energia, respectivamente (MUZY, 2012; ALVES, 2017).

### 2.3.1 Subestação Primária Compacta Blindada

Utilizada para entrada, medição e proteção de energia elétrica de consumidores em tensão primária (média tensão) de distribuição, através de rede aérea ou subterrânea, para instalação abrigada no ponto de entrega da concessionária de energia. De espaço e manutenção reduzida, alta confiabilidade e maior segurança de operação (MUZY, 2012; ALVES, 2017).

Também chamadas de cubículos blindados de média tensão, são equipamentos amplamente utilizados no segmento industrial e tem a principal função de armazenar quadros de energia elétrica e disjuntores de alimentação energética, protegendo o estabelecimento contra problemas relacionados a choques elétricos, bem como barramento TPs, TCs e cabos de média tensão. A Figura 7 demonstra um cubículo de média tensão. Os mesmos também podem funcionar como compartimento de componentes de baixa tensão, sendo isolantes de alta eficiência (MATTIOLI et al., 2015; MUZY, 2012).

Figura 7 – Cubículo Média Tensão



Os cubículos blindados de média tensão contam com tensão nominal de 2.4 a 38 kV, com frequência de 50 a 60 Hz, e com potência de transformação de 300 kVA. Além disso, todos os equipamentos devem ser confeccionados conforme as normas técnica e especificações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), principalmente a NBR IEC 60529 (ALVES, 2017).

---

## Trabalhos Correlatos

### 3.1 Introdução

O presente capítulo apresenta o estado da arte referente ao uso de BIM aliado a sistemas de Realidade Aumentada. A maioria dos trabalhos encontrados tem uso restrito a construção civil. Como metodologia para análise dos trabalhos, primeiramente, uma busca foi realizada nas bases *IEEE Xplore Digital Library*, *ACM Digital Library*, *ScienceDirect*, *Springer*, além de bibliotecas digitais como Banco de Teses de Dissertações da Universidade Federal de Uberlândia, Biblioteca Digital Brasileira de Computação, dentre outras.

Para a realização da busca pelos trabalhos correlatos, foi utilizada a seguinte *string* de pesquisa: *((("BIM") OR ("Building Information Model")) AND ("Augmented reality"))*, do ano de 2008 até 2019.

Os resultados foram os seguintes:

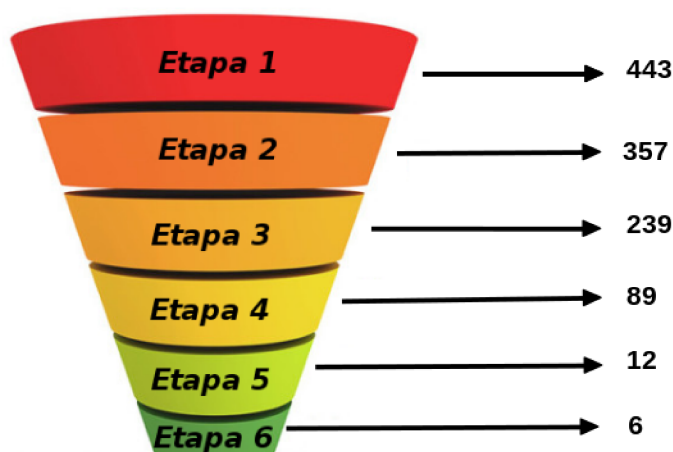
- ❑ Base IEEE Xplore Digital Library: 14 resultados encontrados;
- ❑ Base ACM Digital Library: 6 resultados encontrados;
- ❑ ScienceDirect: 29 resultados encontrados;
- ❑ Springer: 18 resultados encontrados.

Após a realização da pesquisa nas bases com o uso da *string*, obteve-se um resultado de 67 ocorrências. Após essa primeira etapa de busca, com o auxílio da ferramenta *Mendeley - software* para gerenciamento de referências bibliográficas - foram aplicados filtros no corpo dos textos encontrados. Todo processo foi dividido em 6 etapas sendo:

1. Pesquisa nas bases com o uso das *strings*;
2. Busca pelas palavras chaves definidas;
3. Filtro Mendeley (corpo do texto): *Augmented Reality*;
4. Filtro Mendeley (corpo do texto): BIM;
5. Leitura do título, resumo, introdução e conclusão;
6. Leitura Integral do texto.

Realizadas todas as etapas anteriores, cinco trabalhos foram escolhidos para estudo da arte, os quais serão apresentados a seguir. A Figura 8 demonstra o resultado da aplicação de cada uma das etapas no processo de revisão do estado da arte relacionado ao tema de pesquisa da proposta em questão, definindo-se num total de 6 trabalhos correlatos ao tema proposto.

Figura 8 – Aplicação das etapas de busca para revisão bibliográfica.



Fonte: Acervo Pessoal, 2018.

As bases Banco de Teses de Dissertações da Universidade Federal de Uberlândia, Biblioteca Digital Brasileira de Computação, entre outras, não retornaram resultados relevantes.

## 3.2 Trabalhos Correlatos

### 3.2.1 Montagem de Modelos Físicos através do Uso de BIM e Realidade Aumentada

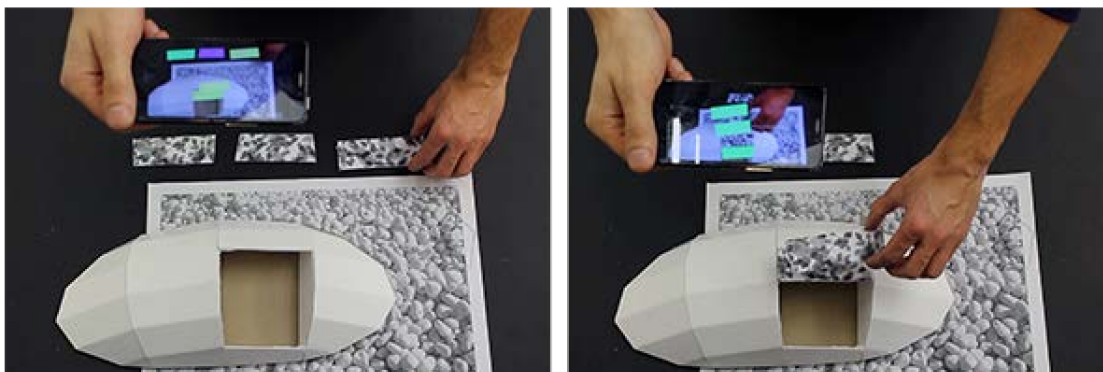
O trabalho proposto por Buyuklieva e Kosicki (2015), demonstra uma aplicação onde um sistema de Realidade Aumentada foi configurado para tarefas de montagem que

normalmente são guiadas por referência à documentação, ou seja, por manuais, sendo testado através de uma série de experimentos. Um modelo do tipo *LEGO* foi utilizado como a tarefa de montagem e teste experimental (BUYUKLIEVA; KOSICKI, 2015).

A experimentação foi concebida e conduzida para validar os ganhos cognitivos que podem ser derivados do uso da RA para auxiliar no processo de montagem de um modelo. Dois experimentos formais com 50 participantes foram conduzidos para comparar um sistema proposto em comparação com o processo de montagem através do sistema convencional que utiliza como guia um manual impresso (BUYUKLIEVA; KOSICKI, 2015).

A ideia do trabalho em discussão era acrescentar informações BIM exibidas ao usuário através da RA que auxiliassem no processo de montagem. O aplicativo desenvolvido é flexível o suficiente para acomodar qualquer geometria. Para provar isso, dois modelos foram criados e testados, sendo o primeiro foi um quebra-cabeça do tipo Soma, que foi escolhido por causa de sua complexa Geometria 3D. Já o segundo modelo foi uma estrutura de telhado paramétrica. A aplicação foi desenvolvida em grande parte na engine de jogos *Unity* com a ajuda do *Vuforia SDK*. A Figura 9 traz uma demonstração do aplicativo em uso (BUYUKLIEVA; KOSICKI, 2015).

Figura 9 – Demonstração do Aplicativo em execução.



Fonte: (BUYUKLIEVA; KOSICKI, 2015) - Adaptado

Através do posicionamento de um dispositivo móvel sobre o marcador uma animação é exibida que auxilia o usuário a montagem da peça em questão, além de exibir informações BIM do modelo. Após a realização dos testes, o comparativo entre o processo de montagem utilizando o aplicativo e sem, demonstrou que é relevante o uso do aplicativo, já que informações BIM acrescentadas ao modelo, contribui para que o tempo gasto para montagem fosse menor quando da montagem sem o uso do aplicativo (BUYUKLIEVA; KOSICKI, 2015).

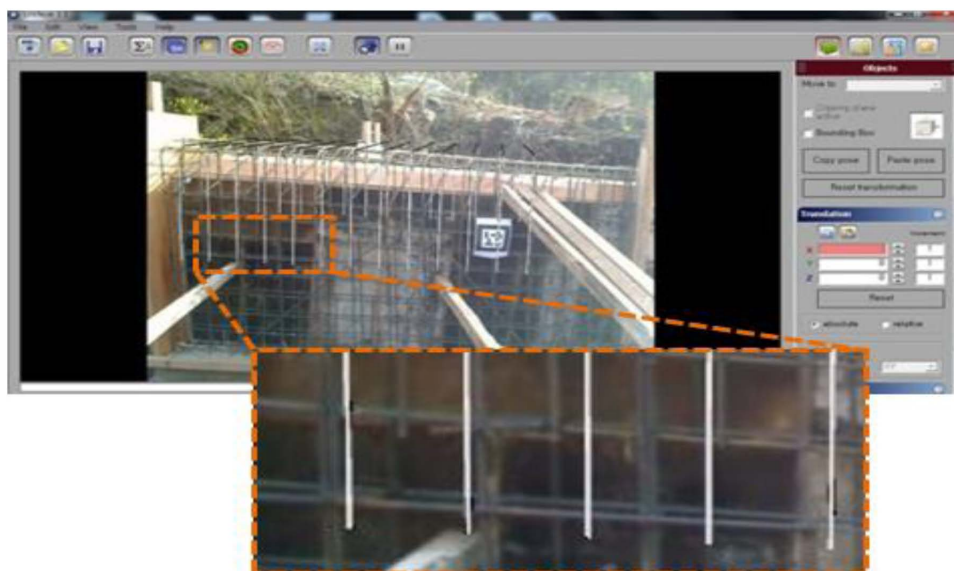
### 3.2.2 Realidade Aumentada suportada por BIM em Projetos de Construção Civil

Este trabalho propõe uma metodologia de aplicação da tecnologia de RA para um projeto de construção civil em obras que trabalham com materiais do tipo vergalhão. A ideia é utilizar RA juntamente com BIM para trazer informações de construção ao longo do ciclo de vida do projeto de obra, incluindo a manutenção. Para a aplicação da tecnologia de RA a esse trabalho, primeiramente foram coletadas informações sobre os modelos 3D para a geração dos marcadores responsáveis pelo reconhecimento do modelo 3D (KIM et al., 2013).

Para o rastreamento dos marcadores, todas as imagens capturadas por meio de um HMD, *Head Mounted Display* são examinadas a fim de identificar se as mesmas correspondem a um marcador e quando do reconhecimento os dados modelos correspondentes são carregados. Após o rastreamento a sobreposição é feita no ambiente real. A modelagem dos objetos foi feita através da ferramenta *Unifeye* juntamente com arquivos VRML do modelo 3D (KIM et al., 2013).

Após os primeiros três estágios internos serem concluídos (desenho análise, modelagem 3D, geração de marcador RA), o sistema de RA e os marcadores gerados foram integrados ao aplicativo. A Figura 10 traz a aplicação em uso (KIM et al., 2013).

Figura 10 – Inspeção utilizando o aplicativo.



Fonte: (KIM et al., 2013) - Adaptado

O teste do aplicativo foi feito para a tarefa de inspeção dos arranjos compostos por vergalhões. A tarefa era medir o tempo gasto durante do processo de inspeção. Os resultados do teste mostram que, usando o AR tecnologia, levou de 1.8 vezes a 2.4 vezes

menos tempo para se inspecionar um o arranjo do vergalhão. Esse resultado foi realizado comparando o tempo de trabalho de inspeção de vergalhões entre método de inspeção tradicional e o método de inspeção com o uso de RA e BIM. Nesse caso o status de progresso projeto de construção por cronograma de atividades foram visualizados através de BIM (KIM et al., 2013).

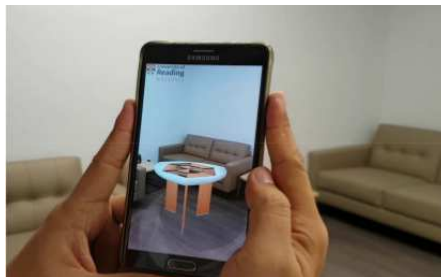
### 3.2.3 Realidade Aumentada para Modelagem de Informações nDimensional.

O trabalho em questão aborda o uso da Realidade Aumentada alinhada ao BIM com o objetivo da construção e exibição de modelos 3D em ambientes, como por exemplo uma sala, para o uso de engenheiros e arquitetos, para verificação de posicionamento e de arranjo desse objeto em um determinado ambiente. Neste estudo, foram contemplados 4 tipos de modelos de BIM assistidos por RA (LEE et al., 2016):

1. Modelo texturizado;
2. Geometria com modelo de informação 2D;
3. Modelo de geometria única e;
4. Modelo *Wireframe*.

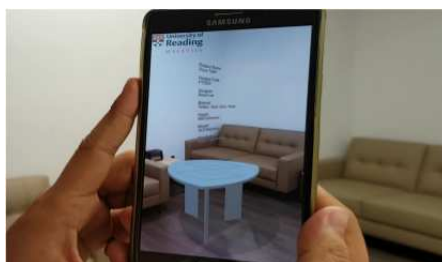
As Figuras 11 e 12 trazem respectivamente o modelo texturizado e o modelo com informação BIM em 2D.

Figura 11 – Modelo texturizado.



Fonte: (LEE et al., 2016) - Adaptado

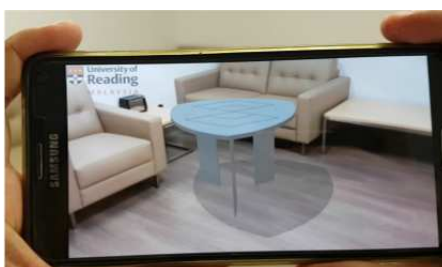
Figura 12 – Geometria com modelo de informação 2D.



Fonte: (LEE et al., 2016) - Adaptado

Já as Figuras 13 e 14 trazem o modelo em uma geometria única e o mesmo objeto modelado em uma armação de arames, *wireframe*.

Figura 13 – Modelo de geometria única.



Fonte: (LEE et al., 2016) - Adaptado

Figura 14 – Armação de arame do modelo - Wireframe.



Fonte: (LEE et al., 2016) - Adaptado

Os dados obtidos do estudo foram transcritos e analisados pelos autores. Devido ao número limitado de entrevistados que tiveram êxito relacionado ao uso do aplicativo, apenas a porcentagem de aceitação acima de 70% foram considerados válidos. Os resultados demonstram consistência entre os preferências dos entrevistados. O tipo de modelo mais preferido é modelo texturizado, seguido de geometria com o modelo de informação 2D.



Esses dois tipos de modelos são reconhecidos a partir dos aspectos que ajudando os usuários a contextualizar e personalizar o conteúdo da aplicação (LEE et al., 2016).

Como comparação, os modelos que apresentam somente geometria e *wireframe* não são tão amplamente reconhecidos como bons modelos para representação. Enquanto este estudo piloto concentra-se principalmente na indústria da construção civil profissionais, é interessante usar os mesmos modelos e interface para investigar outros grupos-alvo com base em diferentes categorias como sexos, idade, níveis de especialização, etc (LEE et al., 2016).

De acordo com Lee et al. (2016) o potencial da integração em Realidade Aumentada e BIM é promissor e desafiador e há uma grande capacidade de inovação para uma nova direção de pesquisa a partir dos aspectos de contextualização, customização e tutoria (LEE et al., 2016).

### 3.2.4 BIM Integrado a Realidade Mista para Manutenção Preventiva de Prédios Históricos

Fonnet et al. (2017) propõem o uso de BIM integrado a realidade mista para inspeção e manutenção preventiva de prédios históricos. Em sua grande maioria para o processo de inspeção e manutenção preventiva de prédios históricos, os inspetores usualmente trabalham com papel, câmera e laptop como principal fonte de entrada de dados.

Esta combinação permite capturar todas as informações necessárias, mas gera ineficiência no trabalho devido à exigência de alternar entre eles. Para minimizar esse problema é proposto o uso de um dispositivo de realidade mista (FONNET et al., 2017).

Além disso, um requerido recurso, mesmo que não seja obrigatório, foi construir uma aplicação que suportasse comandos via voz para facilitar o uso do sistema pelos inspetores. Com base nessas restrições, o *Microsoft HoloLens (MH)* foi selecionado como o principal *hardware* para este projeto (FONNET et al., 2017).

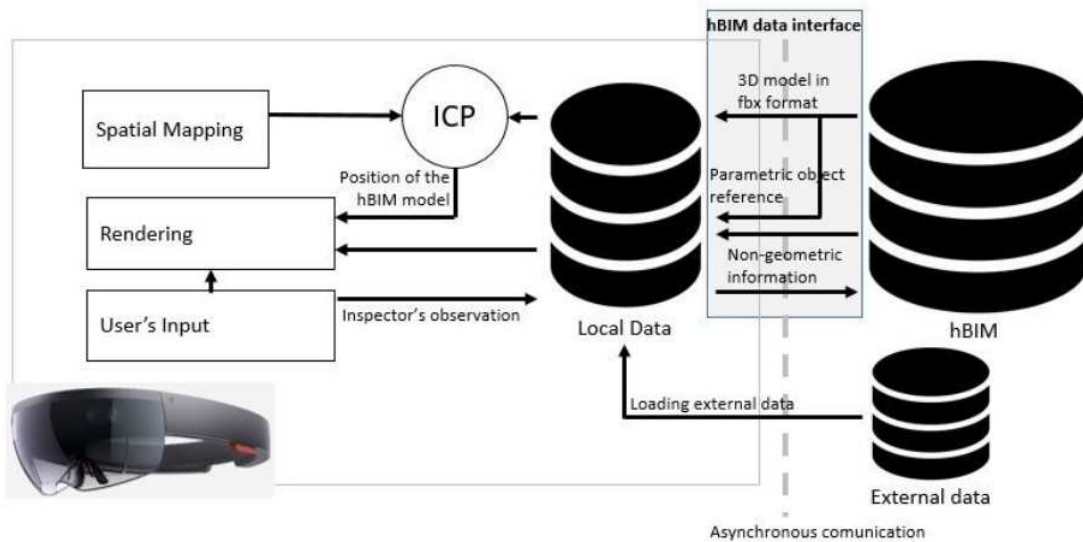
O sistema tinha a capacidade de exibir informações extraídas diretamente de um modelo paramétrico BIM e salvar as observações realizadas pelo usuário dentro do sistema. O trabalho foi dividido em três eixos principais. Primeiro, um foco na interface do usuário e a experiência do usuário (FONNET et al., 2017).

O segundo eixo, sobre como posicionar o modelo 3D paramétrico no sistema de coordenadas do *HoloLens* para ser sobreposto ao edifício real e por último, preservar o vínculo entre o não-geométrico e o modelo virtual convertido. Com base nestas reflexões, uma arquitetura de sistema foi proposta. A Figura 15 traz a arquitetura proposta pelo trabalho (FONNET et al., 2017).

O posicionamento do modelo virtual e referência de informação não geométrica junto ao modelo paramétrico foram consideradas pelos autores do trabalhos tarefas desafiadoras. Além disso, uma reflexão quanto ao limite do poder de processamento do *HoloLens* para

suportar o sistema de realidade mista proposto foi também considerado um desafio (FONNET et al., 2017).

Figura 15 – Arquitetura do Sistema de Realidade Mista.



Fonte: (FONNET et al., 2017)

Segundo Fonet et al. (2017) uma rigorosa avaliação terá que ser conduzida no futuro para determinar a qualidade da solução proposta. O trabalho futuro visa desenvolver um sistema de realidade mista antes de entrar no último fase do projeto, onde será testado e usado em um ambiente real.

### 3.2.5 Integrando BIM e Realidade Aumentada para Visualização Arquitetural Interativa

O objetivo desta pesquisa é investigar uma nova abordagem apoiada na modelagem de informações de construção civil baseadas em BIM juntamente com uma ferramenta de Realidade Aumentada para aprimorar a visualização de informações durante o ciclo de vida de uma construção (WANG et al., 2014).

Em conformidade com Wang et al. (2014) as abordagens tradicionais para a visualização de objetos arquitetônicos concentram-se em imagens estáticas ou modelos de escala tridimensional. O que causam problemas como deficiência na evolução de design, falta de comunicação das partes interligadas ao projeto de construção além de possuir reusabilidade limitada.

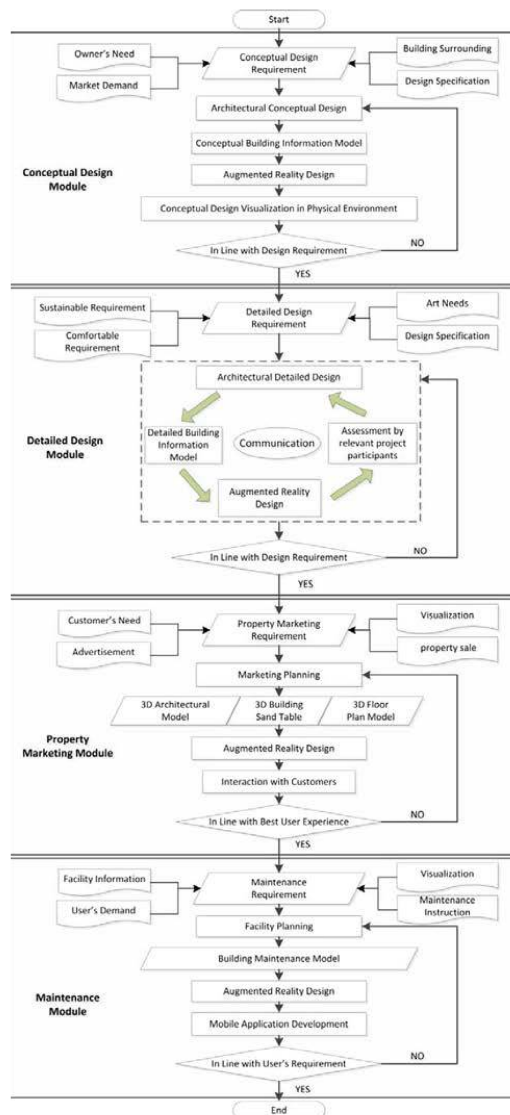
O trabalho propõe a construção de um sistema constituído por quatro módulos principais: módulo projeto conceitual, módulo de design detalhado, módulo de marketing e

módulo de manutenção. A Figura 16 traz a arquitetura do sistema proposto por Wang et al. (2014).

A abordagem para integrar BIM a RA foi concebida por meio de três componentes, sendo eles: a modelagem BIM, a transformação de dados e a plataforma RA. O componente de modelagem BIM é responsável pelas informações geométricas e não geométricas do modelo, além de carregar informações sobre os fabricantes de cada modelo construído bem como informações de manutenção (WANG et al., 2014).

O componente de transformação de dados é responsável por "traduzir" dados do modelo BIM para que fossem suportados pelo componente de RA. A plataforma RA permitia a interação dos usuários com o modelo BIM em tempo real para visualização e avaliação (WANG et al., 2014).

Figura 16 – Arquitetura do sistema proposto.



Fonte: (WANG et al., 2014) - Adaptado

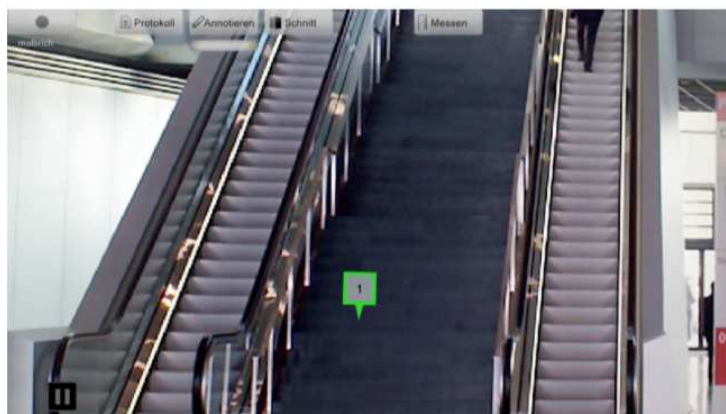
De acordo com Wang et al. (2014) a prática tradicional de visualização arquitetônica é demorada e tediosa pois na maioria dos casos, projetistas trabalham com desenhos CAD 2D, imagens e animações. RA permite a visualização instantânea o que facilita particularmente a comunicação e tomada de decisão. A integração com o BIM torna-se a aplicação eficiente do ponto de vista em que várias informações podem ser acessadas de maneira intuitiva.

### 3.2.6 Realidade Aumentada com Suporte ao BIM Centrado no Usuário

Este trabalho proposto por Olbrich et al. (2013) descreve uma arquitetura de um sistema de RA integrado a visualização de informações BIM com suporte a um mecanismo de anotação centrado no usuário. A arquitetura proposta baseia na integração de tecnologias de rastreamento indoor juntamente com BIM. Os modelos BIM suporta um mecanismo de adição de informações coletadas via sensores e usuários da aplicação a fim de estabelecer uma trilha evolutiva dos modelos BIM, sendo possível suas atualizações durante o ciclo de vida de um projeto arquitetônico (OLBRICH et al., 2013).

O sistema foi construído sob duas camadas sendo uma responsável pela parte de criação das cenas, tanto em Realidade Virtual ou Aumentada, e uma outra camada responsável em armazenar as informações dos modelos BIM. A ideia da aplicação é que seja possível a construção de uma ferramenta de RA para a documentação de procedimentos de manutenção via dispositivos móveis com suporte a integração de informações BIM perante a captura de informações de ambientes reais. Uma solução em RV permite que usuários tenham acesso a essas informações via Web. A Figura 17 traz a versão RA e a Figura 18 demonstra o aplicativo em RV (OLBRICH et al., 2013).

Figura 17 – Interface do usuário em RA.



Fonte: (OLBRICH et al., 2013) - Adaptado

Figura 18 – Interface do usuário em RV.



Fonte: (OLBRICH et al., 2013) - Adaptado

O trabalho propõe a não utilização de marcadores. A estrutura utiliza o sistema de *InstanVision* proposto por Becker et al. (2007) que engloba o rastreamento da câmera para que não seja necessário o uso de marcadores. Outros métodos de rastreamento baseados em modelos e estruturas propostos por Wuest (2008) e Wuest, Wientapper e Stricker (2007) também foram utilizados. Para validação da ferramenta, a mesma foi utilizada num processo de instalação de um sistema de ventilação que abordasse as etapas de planejamento técnico, documentação das operações executadas bem como a descrição do processo de instalação (OLBRICH et al., 2013).

De acordo com Olbrich et al. (2013) a combinação de BIM com RA oferece a construção de dados relacionados diretamente a um modelo e fornece uma base para a documentação móvel local. Assim sendo os autores afirmam que a utilização de RA sem marcadores oferecem um grande potencial.

### 3.3 Estudo Comparativo dos Trabalhos Relacionados

A Tabela 1 apresenta uma pesquisa no qual foram encontrados estudos publicados na literatura ao longo dos últimos 9 anos, lidando com aplicações envolvendo o uso de BIM aliado a Realidade Aumentada. Apesar de apresentarem escopos diferentes, os trabalhos relacionados acima contribuem para a elaboração desta dissertação em diferentes formas. Devido a sua importância um trabalho que aborda Realidade Mista foi considerado também para análise.

O trabalho de maior inspiração é proposto por Buyuklieva e Kosicki (2015) que demonstra uma aplicação onde um sistema de Realidade Aumentada aliado ao BIM foi configurado para tarefas de montagem que normalmente são guiadas por referência à documentação, ou seja, por manuais, sendo testado usando uma série de experimentos.

Tabela 1 – Tabela Comparativa dos Principais Aspectos dos Trabalhos Correlatos.

Autor(es)	Características							
	Interface		Uso de Marcadores	Tipo de Armazenamento Modelo		Plataforma		Compartilhamento de Cena Multiusuário
	Realidade Aumentada	Realidade Mista		Nuvem	Local	Desktop	Móvel	
<i>BUYUKLIEVA E KOSICKI, 2015</i>	●	■	●	■	●	■	●	■
<i>KIM et al., 2013</i>	●	■	●	■	●	●	■	■
<i>LEE et al., 2016</i>	●	■	●	■	●	■	●	■
<i>FONNET et al., 2017</i>	■	●	■	■	●	■	●	■
<i>WANG et al., 2014</i>	●	■	●	■	●	■	●	■
<i>OLBRICH et al., 2013</i>	●	■	■	●	■	●	●	■
<i>Trabalho Proposto</i>	●	■	■	●	■	■	●	●

■ Característica Ausente / ● Característica Presente

Fonte: Autor, 2018

Observa-se, entretanto que o processo é realizado para auxílio de montagem de peças, simulando e comparando o mesmo processo de montagem com e sem o auxílio da aplicação.

Analisando outras formas de emprego do BIM e aplicações de Realidade Aumentada, o trabalho proposto por Kim et al. (2013) se demonstra efetivo no processo de inspeção em construções que trabalham com vergalhões. O mesmo demonstra que a integração entre RA e BIM torna-se o processo de inspeção dentro desse cenário eficaz.

O trabalho que traz a integração BIM com realidade mista para construção de manutenção preventiva mostra-se um trabalho interessante, porém o mesmo não passou por testes. Segundo o Fonnet et al. (2017) uma rigorosa avaliação terá que ser conduzida no futuro para determinar a qualidade da solução proposta. O trabalho futuro visa desenvolver um sistema de realidade mista antes de entrar no último fase do projeto, onde será testado e usado em um ambiente real.

O sistema proposto por Olbrich et al. (2013) aborda o não uso de marcadores o que aumenta o potencial das aplicações de RA por não mais depender dos mesmos. Esse trabalho também traz uma arquitetura que engloba duas camadas separando a parte relacionado a criação de cena em si, com a parte de armazenamento de modelos o que foi de grande valia.

### 3.4 Considerações Finais

Como se pode observar na Tabela 1, a maioria dos trabalhos relacionados abordam o uso de Realidade Aumentada com suporte a informações BIM, com exceção do trabalho proposto por Fonnet et al. (2017) que faz uso de Realidade Mista. Somente um trabalho possui suporte a armazenamento em nuvem e somente dois deles foram desenvolvidos

para uso em plataformas do tipo *desktop*. Assim sendo pode-se comprovar que o uso de dispositivos móveis para tais aplicações é eficiente.

Todos os trabalhos utilizam-se de marcadores para o uso de RA os quais são propícios à reflexão da luz, além do que as condições de iluminação do local de uso da aplicação também pode influenciar no seu funcionamento, com exceção de dois. O trabalho proposto por Olbrich et al. (2013) que utiliza uma técnica de rastreamento proposta por Wuest (2008) e o trabalho proposto por Fonnet et al. (2017) que traz um sistema de Realidade Mista sem o uso de marcadores. Ambos comprovam que o não uso de marcadores otimiza o uso das aplicações. Assim sendo o trabalho proposto implementará uma aplicação que suporte o armazenamento em nuvens devido suas vantagens principalmente por questões de segurança, além de abordar o uso de detecção de planos em vez de marcadores para RA.

Com base na comparação e análise das características dos trabalhos relacionados, foi possível elaborar um sistema de Realidade Aumentado e BIM com um conjunto de características que serão apresentados nos capítulos seguintes. Outra fato importante é que nenhum dos trabalhos descritos anteriormente apresentam qualquer tipo de testes relacionados a experiência do usuário em si com o uso da aplicação.

---

# Especificação do Sistema Proposto

## 4.1 Introdução

Este capítulo apresenta o processo de concepção e desenvolvimento do sistema proposto, abordando os requisitos levantados para supri arquitetura proposta, juntamente com diagramas para representação de seus componentes. São abordados também as tecnologias utilizadas e detalhando todos os seus componentes.

## 4.2 Especificação do Sistema

De acordo com Pressman (2006) a Engenharia de Requisitos, auxilia os projetistas a entenderem quais as necessidades da aplicação a ser desenvolvida. Os requisitos de um sistema são compostos a partir do levantamento das funcionalidades com base nas necessidades de seus futuros usuários, ou seja, as capacidades que ele deve possuir para satisfazer as exigências de quem possui o domínio do problema que o sistema propõe resolver. Para o desenvolvimento do sistema proposto, foram levantados requisitos funcionais e não funcionais, sendo apresentados a seguir. Os requisitos funcionais se referem aos serviços e funções que o sistema deve fornecer ao usuário. Já os requisitos não funcionais consistem nas restrições sobre esses serviços e funções (SOMMERVILLE, 2011).

### 4.2.1 Requisitos Funcionais e Não Funcionais

O sistema disponibiliza uma aplicação para visualização de informações BIM em ativos de Subestações de Energia Elétrica por meio do uso de Realidade Aumentada integrada ao BIM. O sistema disponibiliza uma interface pela qual o referido modelo é sobreposto ao mundo real por meio de um sistema de detecção de superfície.

Os principais requisitos funcionais de um sistema de realidade aumentada envolvem a correta aquisição de dados, o processamento dos mesmos e a apresentação destes dados obtidos ao usuário. As habilidades motores e cognitivas definem o perfil do usuário o



que influência nos aspectos de desenvolvimento de um sistema de auxílio no processo de manutenção em ativos do setor elétrico. Assim, os principais Requisitos Funcionais são descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Requisitos Funcionais e Não Funcionais.

<b>Requisitos</b>	
<b>Funcionais</b>	<b>Não Funcionais</b>
<i>Permitir a visualização de um modelo BIM.</i>	<i>Utilizar dispositivos móveis.</i>
<i>Mapear e configurar ambientes.</i>	<i>Utilizar a tecnologia de Realidade Aumentada (RA).</i>
<i>Incorporar o uso detecção de superfície.</i>	<i>Oferecer resposta em tempo real.</i>
<i>Permitir o compartilhamento do objeto virtual com outros usuários.</i>	<i>Oferecer suporte a plataforma Android.</i>

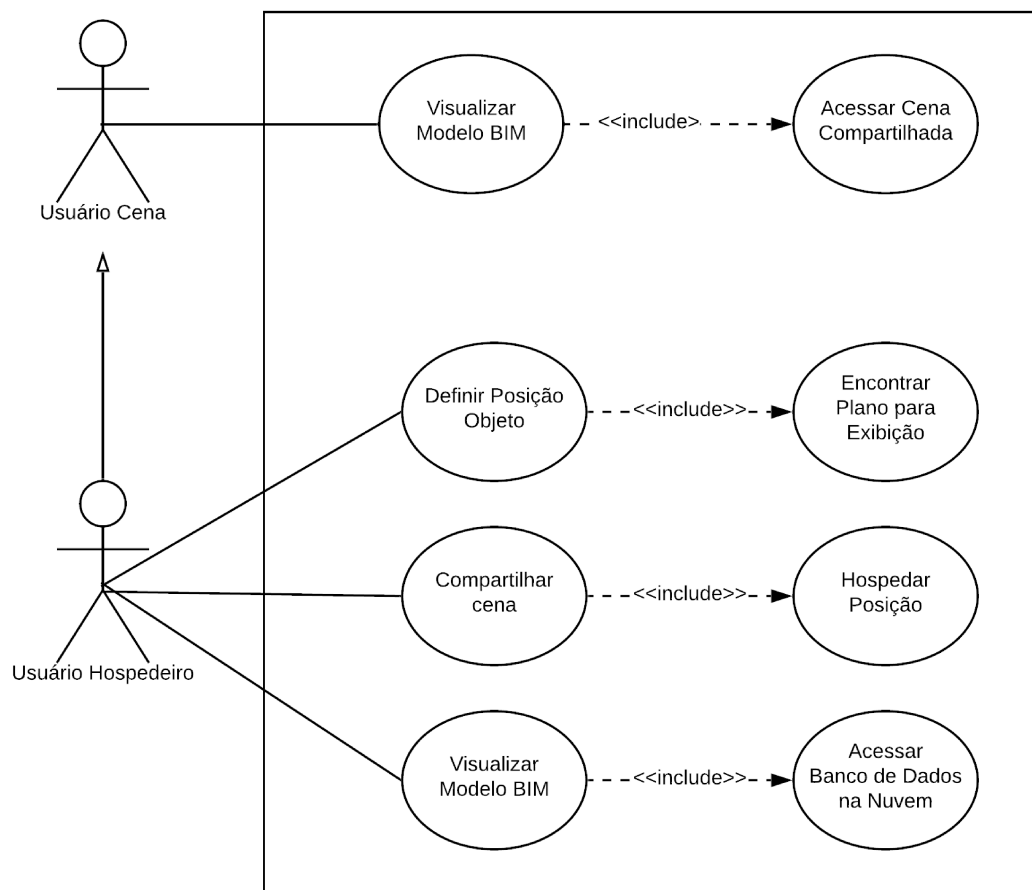
Fonte: Autor, 2018

#### 4.2.2 Casos de Uso

Neste item serão apresentados os principais casos de usos do aplicativo desenvolvido onde serão descritos os detalhes da arquitetura e funcionamento do sistema de autoria proposto, no intuito de validar o objeto de estudo e atingir os objetivos pesquisa.

Assim sendo o modelo de casos de uso é uma representação das funcionalidades observáveis do sistema e dos elementos externos ao mesmo os quais interagem com o sistema. De acordo com Bezerra (2006) o modelo de casos de uso representa os requisitos funcionais de um sistema seja ela qual for. A Figura 19 apresenta o diagrama de caso de uso principal do sistema.

Figura 19 – Diagrama de Caso de Uso.



Fonte: Autor, 2018

O diagrama de caso de uso apresentado anteriormente é descrito pela Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição do Diagrama de Casos de Uso.

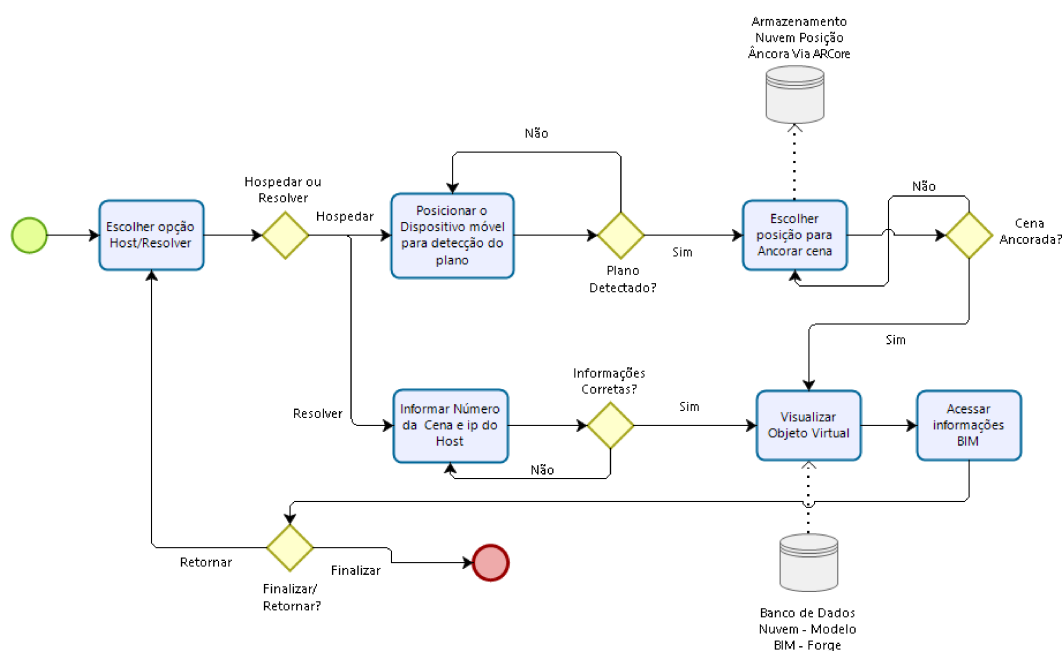
Definir Posição Objeto	
Descrição	Este caso de uso tem por objetivo descrever o processo de definição da posição do objeto BIM a ser visualizado
Ator	Usuário Hospedeiro
Cenário Principal	
- Encontrar superfície para definir como apta a receber o modelo virtual	
- Definir a posição para exibir o modelo virtual.	
Cenário Alternativo	
- Cancela o acesso ao sistema;	
- Determina outra localização correta.	
Compartilhar Cena	
Descrição	Este caso de uso tem por objetivo descrever o processo de compartilhamento da posição onde será exibido o objeto BIM
Ator	Usuário Hospedeiro
Cenário Principal	
- Compartilhar a posição pré definida.	
Cenário Alternativo	
- Cancela o acesso ao sistema;	
- Reiniciar o processo de compartilhamento.	
Visualizar Modelo BIM	
Descrição	Este caso de uso tem por objetivo descrever o processo de visualização da posição do objeto BIM
Ator	Usuário Hospedeiro
Cenário Principal	
- Visualizar modelo BIM na posição definida.	
Cenário Alternativo	
- Cancela o acesso ao sistema;	
- Reiniciar o processo de visualização.	
Visualizar Modelo BIM	
Descrição	Este caso de uso tem por objetivo descrever o processo de visualização da posição do objeto BIM através da cena compartilhada
Ator	Usuário Cena
Cenário Principal	
- Visualizar modelo BIM na posição definida pela cena de compartilhamento.	
Cenário Alternativo	
- Cancela o acesso ao sistema;	
- Reiniciar o processo de visualização.	

Fonte: Autor, 2018

### 4.2.3 Atividades

O diagrama de atividades ilustra graficamente como será o funcionamento de um sistema (em nível micro ou macro), como será a execução de alguma de suas partes, como será a atuação do sistema na realidade para qual será inserido (FURLAN, 1998). A Figura 20 traz um diagrama que demonstra a sequência de atividades para que seja possível o funcionamento da aplicação.

Figura 20 – Diagrama de Atividades.



Fonte: Autor, 2018

### 4.3 Tecnologias e Ferramentas Utilizadas no desenvolvimento da aplicação

Para que se torne possível o desenvolvimento da aplicação, utilizando a arquitetura proposta anteriormente, as tecnologias utilizadas para o desenvolvimento de uma aplicação de Realidade Aumentada integrado a metodologia BIM serão detalhadas a seguir bem como processo de funcionamento do protótipo em questão.

#### 4.3.1 Forge APIs

A plataforma *Forge* consta de um conjunto de APIs desenvolvida por um grupo de colaboradores sobre a tutela da empresa *Autodesk*. A ideia é a criação de uma plataforma que permita conectar equipes, fluxos de trabalhos, relacionados a engenharia, bem como a criação de novos serviços para ambientes conectados (FORGE, 2018).

Essa plataforma é um conjunto de serviços em nuvem que auxiliam nos estágios iniciais de desenho, engenharia, visualização, colaboração, produção e operação. É um serviço baseado em computação nas nuvens do tipo *Platform as a Service* (PaaS). Várias *Application Programming Interfaces* (API) e *Software Development Kits* (SDK) são disponibilizadas, sendo abertas, o que possibilita pequenas e grandes empresas de desenvolvimento cria-

rem aplicativos intuitivos baseados em nuvem, serviços e experiências para usuários e profissionais (FORGE, 2018).

Dentre suas diferenças a plataforma *Forge* tem suporte a engine de jogos *Unity*, permitindo conectar ao fluxo de dados do BIM diretamente ao *Unity*, conhecido como *Forge AR/VR Toolkit*. Este foi projetado para criar um *link* direto em projetos que trabalham com a API BIM360 grandes e complexos para dentro do *Unity*. À medida que o projeto muda, o mesmo acontece com os dados 3D no *Unity* (FORGE, 2018).

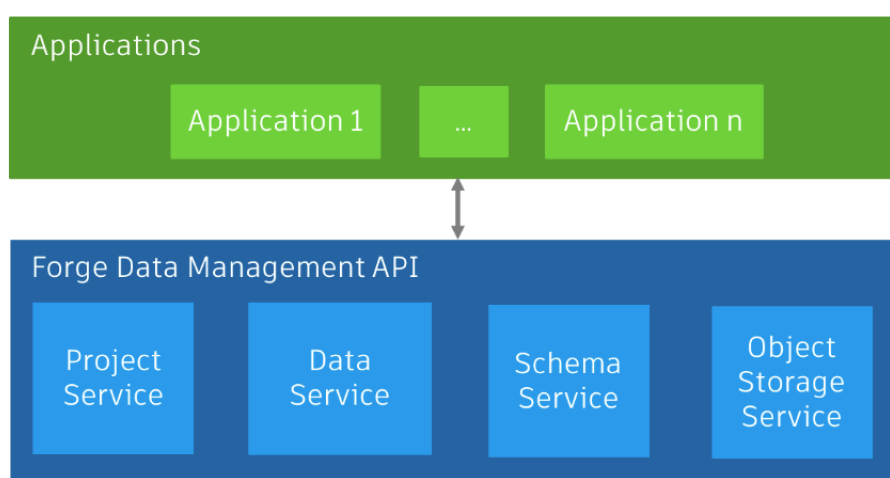
A plataforma *Forge* é constituído por 9 APIs, sendo elas:

- ❑ *Authentication*: esta API é a responsável por trabalhar com o processo de autenticação do cliente no servidor para que possa ter acesso aos demais recursos disponíveis pela plataforma. Ela trabalha com o padrão aberto *Open Authentication Protocol* (OAuth), versão 2, usado na plataforma *Forge* para autenticação e autorização baseada em tokens. A aplicação que utilizará a plataforma *Forge* realiza uma chamada HTTP para o *endpoint OAuth REST* e fornecendo suas credenciais. Após a confirmação das credenciais um *token* é enviado a aplicação que realizou a requisição. Ao fazer chamadas HTTP subsequentes para várias APIs na plataforma, o aplicativo em questão inclui o *token* em um cabeçalho de solicitação que é utilizado em todo o processo de comunicação entre o aplicativo e a API em uso (FORGE, 2018).
- ❑ *BIM360*: a API BIM 360 permite que desenvolvedores implementem suas aplicações de forma a se integrarem à plataforma Autodesk BIM 360 para ampliar seus recursos de visualização e acompanhamento de informações BIM. Essa API automatiza o processo de configuração de projetos BIM, a atribuição de administradores dentro de um projeto e o gerenciamento de diretórios, podendo também sincronizar dados com sistemas (FORGE, 2018). Ela permite o envio e compartilhamentos de modelos 2D, modelos BIM 3D e quaisquer outros documentos relacionados a um determinado projeto a fim de maximizar o processo de colaboração. O BIM 360 permite que uma determinada aplicação possa visualizar modelos BIM 3D através de um Viewer que recebe o nome de *Forge Viewer* (FORGE, 2018).
- ❑ *Data Management*: a API Data Management fornece uma maneira unificada e consistente de acesso a todas as informações utilizadas pela API BIM 360 no serviço de armazenamento de objetos (FORGE, 2018). Com a utilização dessa pode-se obter de forma estruturada e ordenada, IDs e propriedades de cada modelo BIM armazenado, além de gerar uma lista de materiais que compõem o mesmo. A API é composta pelos seguintes serviços:  
  
*Project Service* (Serviço de Projetos): este serviço permite acessar um determinado projeto, modelo, que esteja armazenado no banco do BIM 360. O mesmo atua como um ponto de ancoragem para dados disponíveis por meio dessa API (FORGE, 2018).

*Data Service* (Serviço de Dados): através desse serviço é possível gerenciar os metadados do BIM 360, em termos de pastas, itens e versões, bem como os relacionamentos entre essas entidades. Assim sendo um item pode ser um arquivo, planta 2D, ou um modelo BIM, onde cada item pode ter várias versões (FORGE, 2018).

*Schema Service* (Serviço de Esquema): permite que uma aplicação entenda a estrutura e a semântica dos tipos de dados estendidos, como os designs de seus modelos (FORGE, 2018). Pode-se ter qualquer número de aplicativos, logicamente separados, que utilizam uma ou mais dessas funcionalidades, conforme demonstra a Figura 21.

Figura 21 – Data Management Services



Fonte: Forge (2018)

- *Design Automation*: anteriormente conhecida como “API de E/S do AutoCAD”, a Design Automation API fornece a capacidade de executar scripts em arquivos de design, aproveitando a escala da Forge Platform para automatizar tarefas repetitivas. A API fornece a capacidade de executar scripts em arquivos AutoCAD DWG, com planos em andamento para expandir para tipos de arquivos gerados por outro software de design (FORGE, 2018). Assim sendo as atuais funcionalidades incluem:
  - criação de novos arquivos DWG;
  - consulta de informações em arquivos DWG existentes;
  - edição e salvamento em outros formatos de arquivo DWF;
  - plotagem de arquivos DWG para DWF e para PDF;
  - tradução de texto de um idioma para outro.

Através dessa API é possível transferir todo processo de tradução de um arquivo em DWG para PDF, por exemplo, executando scripts em grande escala e de forma eficiente.

- ❑ *Model Derivative*: a API *Model Derivative* permite a representação e compartilhamento de diferentes formatos de projetos, bem como a extração de metadados dos mesmos. Os seguintes recursos estão presentes nessa API, como, a tradução de designs para o formato SVF o que permite a renderização dentro do Forge Viewer, a extração de metadados de design, incluindo vistas de modelo e propriedades de objetos, a extração de partes selecionadas de um determinado desenho e a tradução em diferentes formatos, como STL e OBJ (FORGE, 2018).
- ❑ *Reality Capture*: esta fornece a capacidade de fotogrametria para processar imagens digitais em malhas texturizadas de alta resolução. Essa API altamente escalonável de fácil utilização trabalha na nuvem para computar algoritmos de estrutura de movimento e geometria de múltiplas visualizações. Qualquer aplicativo móvel, desktop ou web compatível com REST pode se conectar a essa API (FORGE, 2018). Os dados resultantes do Reality Capture (RCM, OBJ, RCS, GeoTIFF) podem ser visualizados em vários aplicativos de desktop da Autodesk, como: ReCap Photo, ReCap Pro, Civil 3D e InfraWorks (FORGE, 2018).
- ❑ *Token Flex*: a API Token Flex é um modelo de licenciamento com base no uso da plataforma. Essa API permite o uso da plataforma por clientes corporativos. A API fornece relatórios com nível de detalhamento de uso por cada cliente. Além disso, clientes podem acessar os dados de uso do contrato atual e expirado (FORGE, 2018).
- ❑ *Viewer*: o Viewer é uma API construída em JavaScript baseada em WebGL para renderização de modelos 3D e 2D. Os dados de modelos 3D e 2D podem vir de uma ampla variedade de aplicativos, como o AutoCAD, Fusion 360, Revit e muitos outros. O Visualizador se comunica nativamente com a API derivativa do modelo para buscar dados do modelo, em conformidade com seus requisitos de autorização e segurança. A API possui suporte aos seguintes navegadores Web: Chrome 50+, Firefox 45+, Ópera 37+, Safari 9+, Microsoft Edge 20+ e Internet Explorer 11 (FORGE, 2018).
- ❑ *Webhooks*: a API Webhooks envia dados para URLs, endpoints, quando um determinado evento ocorre. A mesma permite que aplicativos escutem os eventos do Forge e recebem notificações quando da ocorrência das mesmas. Quando um evento é acionado, a API Webhooks envia uma notificação para uma URL, conhecida como URL Callback, definida no momento da criação de um aplicativo (FORGE, 2018). Vários tipos de eventos podem ser personalizados para o recebimento de notificações, como por exemplo, quando houver modificação ou exclusão de arquivos em um determinado projeto.

### 4.3.2 ARCore

O ARCore é uma plataforma para criar aplicativos de Realidade Aumentada (RA) para sistemas operacionais do tipo Android desenvolvida pela Google. O ARCore usa três tecnologias-chave para integrar o conteúdo virtual com o mundo real, visto pela câmera de um dispositivo móvel:

1 - O rastreamento de movimento permite que o dispositivo compreenda e rastreie sua posição em relação ao mundo.

2 - A compreensão do ambiente permite que o dispositivo detecte o tamanho e a localização de superfícies planas horizontais como o chão ou uma mesa.

3 - A estimativa de luz permite que o dispositivo estimule as condições atuais de iluminação do ambiente.

Basicamente essa plataforma permite rastrear a posição do dispositivo móvel à medida que se move no ambiente e construir sua própria compreensão do mundo real. A documentação da plataforma especifica suporte a engine de jogos Unity, que apesar de ser uma plataforma de desenvolvimento de jogos 3D e 2D, a Unity3D possui várias ferramentas integradas para o desenvolvimento de animações e suporte para ferramentas de terceiros, como a sua documentação já estruturada com o SDK Google ARCore, que se integra diretamente à Unity3D para o desenvolvimento e representação de modelos 3D. A plataforma apresenta as seguintes tecnologias que permitem o desenvolvimento de uma aplicação de RA, sendo elas:

- *Rastreamento de Movimento:* essa função permite ao dispositivo móvel utilizar sua câmera para identificação dos chamados pontos de recursos, ou seja, pontos interessantes, além de rastrear a movimentação desses pontos ao longo do tempo. Com uma combinação do movimento desses pontos e leituras dos sensores inerciais do dispositivo, permite determinar a posição e a orientação do dispositivo à medida que o mesmo se move através do espaço. Ao alinhar a posição da câmera virtual que renderiza seu conteúdo 3D com a posição da câmera do dispositivo fornecida pela ARCore, o objeto virtual pode ser renderizado na perspectiva correta. O objeto virtual renderizado pode ser sobreposta à imagem obtida da câmera do dispositivo, fazendo parecer que o conteúdo virtual faz parte do mundo real.
- *Compreensão do Ambiente:* o ARCore procura grupos de pontos de recurso que parecem estar em superfícies horizontais ou verticais comuns, como mesas ou paredes, e disponibiliza essas superfícies para o aplicativo como planos onde serão posicionados os objetos virtuais. O ARCore também pode determinar o limite de cada plano e disponibilizar essas informações para a aplicação. Assim sendo através dessas informações é possível colocar objetos virtuais em superfícies planas.



- ❑ *Estimativa de Luz:* a plataforma pode detectar informações sobre a iluminação do ambiente e fornecer a intensidade média e a correção de cores de uma determinada imagem da câmera. Essas informações permitem iluminar seus objetos virtuais nas mesmas condições que o ambiente ao seu redor, o que proporciona o usuário maior realismo da cena.
- ❑ *Interação com o Usuário:* um teste de ocorrência é realizada pela plataforma para se obter uma coordenada (x,y) que corresponde à tela do dispositivo. Essa informação é obtida através de um toque ou qualquer outra interação que a aplicação permita o usuário realizar. Sendo assim, após a obtenção dessa coordenada, é possível que usuários selecionem ou interajam com os objetos virtuais no ambiente. Isso possível pois um raio é projetado no campo de visão da câmera retornando todos os pontos e planos que cruzam esse raio mediante a posição do dispositivo móvel no ambiente real.
- ❑ *Âncoras:* as posições podem mudar à medida que o ARCore melhora a compreensão de sua própria posição dentro de um ambiente. Quando se deseja colocar um objeto virtual, é necessário definir uma âncora para garantir que a plataforma rastreie a posição do objeto ao longo do tempo. Uma âncora com base na posição é retornada por um teste de ocorrência, conforme descrito na interação do usuário. O fato de as posições poderem mudar significa que o ARCore pode atualizar a posição de objetos ambientais, como planos e pontos de recurso ao longo do tempo. Planos e pontos são um tipo especial de objeto chamado rastreável. Como o nome sugere, esses são objetos que o ARCore rastreará ao longo do tempo. Pode-se ancorar objetos virtuais em rastreáveis específicos para garantir que o relacionamento entre seu objeto virtual e o rastreável permaneça estável, mesmo quando o dispositivo se mova.
- ❑ *Compartilhamento:* a plataforma oferece uma API chamada de ARCore Cloud Anchor permite criar aplicativos colaborativos ou multiplayer para dispositivos Android e iOS. Através dessa API um dispositivo envia uma âncora e pontos de recurso próximos à nuvem para hospedagem. Essas âncoras podem ser compartilhadas com outros usuários em dispositivos Android ou iOS no mesmo ambiente. Isso permite que os aplicativos renderizem os mesmos objetos 3D anexados a essas âncoras, permitindo que os usuários tenham a mesma experiência RA simultaneamente.

### 4.3.3 Unity

Partindo para a geração da cena em si, foi utilizado a Engine de jogos Unity3D para que os objetos modelados pelo Autodesk Inventor junto ao Autodesk Revit, pudessem ser instanciados e posicionados de forma correta para que a aplicação funcionasse de maneira correta que permitisse ao usuário a visualização do modelo BIM através do

uso de Realidade Aumentada. A Unity 3D, o engine escolhido para o desenvolvimento deste projeto, é um exemplo de software popular para o desenvolvimento de aplicações tridimensionais.

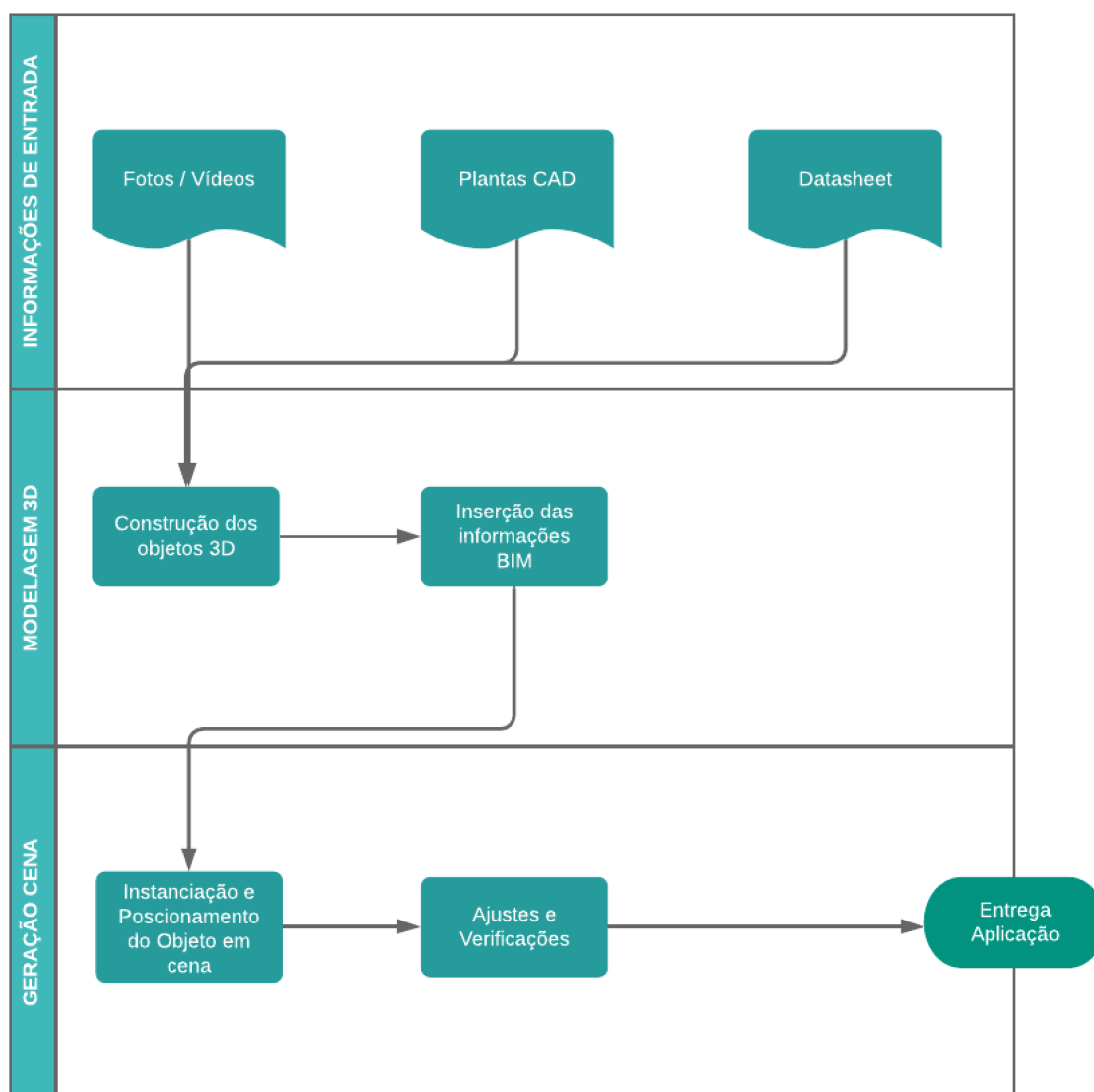
Assim como várias outras engines de jogos, oferece um ambiente de desenvolvimento com ferramentas próprias para a criação de conteúdo 3D com possibilidade de interação. Também oferece suporte a diversas plataformas como o iOS, Android, PS3, Linux, Web Player com boa qualidade visual e performance, disponível em versão gratuita ou comercial. A Unity 3D ainda suporta sistemas de iluminação, áudio, efeitos especiais e animação oferecendo ao desenvolvedor a possibilidade de testar e editar, simultaneamente, a aplicação que está sendo desenvolvida (Unity, 2013).

Um dos maiores motivos para a escolha deste *game engine* foi a sua documentação completa e a disponibilidade na comunidade Unity. Possui uma comunidade com milhares de membros e com uma grande diversidade de conteúdos capaz de auxiliar os desenvolvedores, desde os iniciantes até os mais experientes. Assim, todas essas funcionalidades e potencialidades contribuem drasticamente para redução do tempo e custo do trabalho, justificando a escolha da Unity para o desenvolvimento deste projeto. Todo cenário tridimensional, arquitetura de aquisição e envio de dados e mecanismos de interação que compõem a aplicação proposta por este trabalho foram construídos utilizando a engine, com a importação de objetos tridimensionais e desenvolvimento de scripts (Códigos de Programação).

## 4.4 Estratégias de Modelagem

Segundo Quintana e Mendoza (2009) o processo de modelagem de Subestações de Energia Elétrica é composto por várias etapas segmentadas por uma série de estratégias. Mattioli et al. (2015) descreve um processo de modelagem que foi base para o desenvolvimento desse trabalho. A Figura 22 ilustra as etapas adotadas para a modelagem dos objetos deste trabalho.

Figura 22 – Arquitetura do processo de montagem de cenas



Fonte: Adaptado de Mattioli et al. (2015)

Descrevendo esse processo de montagem de cenas, as informações de entrada são dados fornecidos pela concessionária, empresa, que possam ser utilizados no processo de modelagem e construção da cena 3D para o funcionamento da aplicação. Esses dados são utilizados como referência para a construção dos modelos. As fotos e vídeos são imagens capturadas dos ambientes reais das subestações e possuem um grande impacto para o processo modelagem, tal que, para se obter um modelo com características visuais similares a elementos reais, as fotos devem conter vários ângulos de captura dos elementos, como as vistas laterais e superiores. A Figura 23 ilustra um exemplo de fotografia para modelagem 3D.

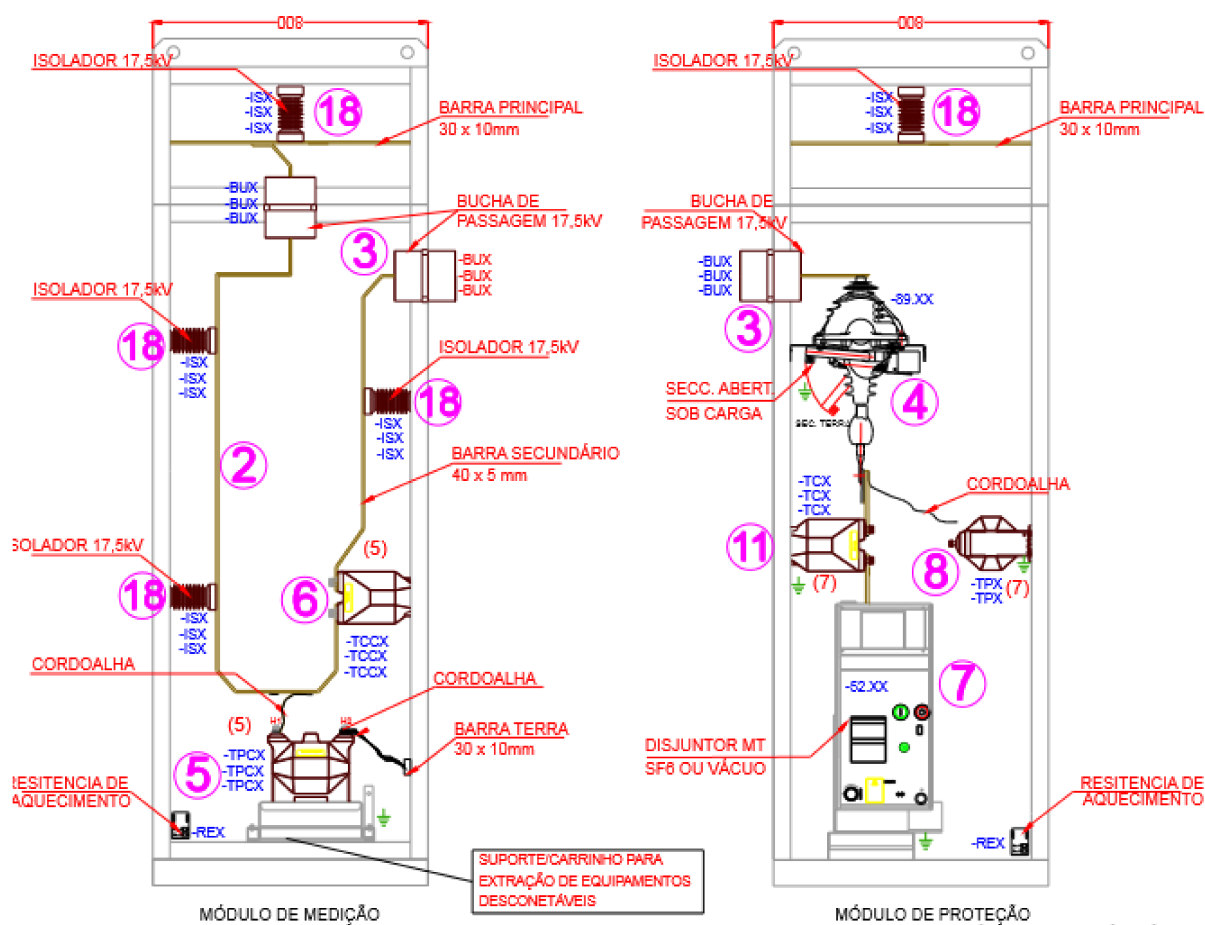
Figura 23 – Foto - Exemplo para modelagem



Fonte: Autor, 2018

Os arquivos do tipo CAD trazem informações necessárias para a modelagem de cada um dos objetos que se deseja construir como por exemplo a proporção de tamanho entre as diversas partes que compõem um modelo como todo, conforme a Figura 24, além dos detalhes construtivos. Já os *datasheet* são destinados as informações para nomeação de objetos e verificação de composição de cada um deles.

Figura 24 – Planta CAD - CUBÍCULO DE ENTRADA



Fonte: Autor, 2018

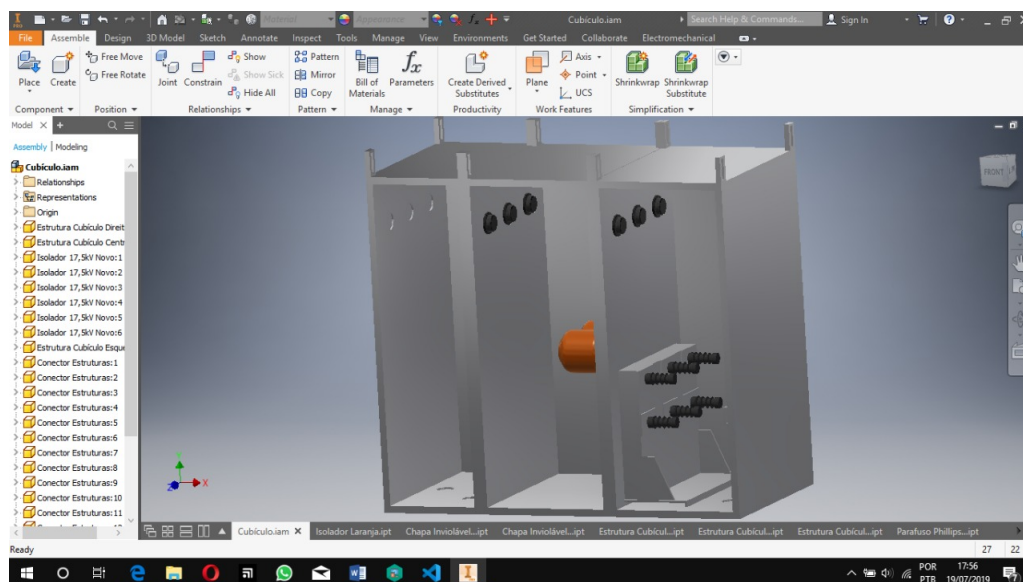
Seguindo para a parte da modelagem tridimensional, como em toda aplicação de Realidade Aumentada objetos tridimensionais são essenciais. Para a modelagem destes objetos tridimensionais que compõem uma subestação, por exemplo, Transformadores, Chaves Seccionadoras, Para-Raios, cubículos, etc., foram utilizados duas ferramentas: Autodesk Inventor 2019/2018 para a modelagem do objeto 3D e Autodesk Revit 2018 para a criação do modelo paramétrico com as informações BIM pertencentes ao modelo.

#### 4.4.1 Autodesk Inventor

O Autodesk Inventor é um software de modelagem desenvolvido pela empresa Autodesk para a criação de protótipos digitais em 3D. É muito utilizado para design mecânico 3D, comunicação de projetos, criação e simulação de produtos. Este software permite que os usuários produzam modelos 3D precisos para auxiliar na concepção, visualização e simulação de produtos antes que eles sejam construídos, ou mesmo depois da sua criação. Esta ferramenta também permite a simulação de movimentos dos objetos modelados além de oferecer uma tecnologia de otimização que permite ao desenvolvedor a criação de

modelos totalmente parametrizados. A Figura 25 ilustra o uso da ferramenta no processo de modelagem de um modelo utilizado pela aplicação.

Figura 25 – Interface Autodesk Inventor



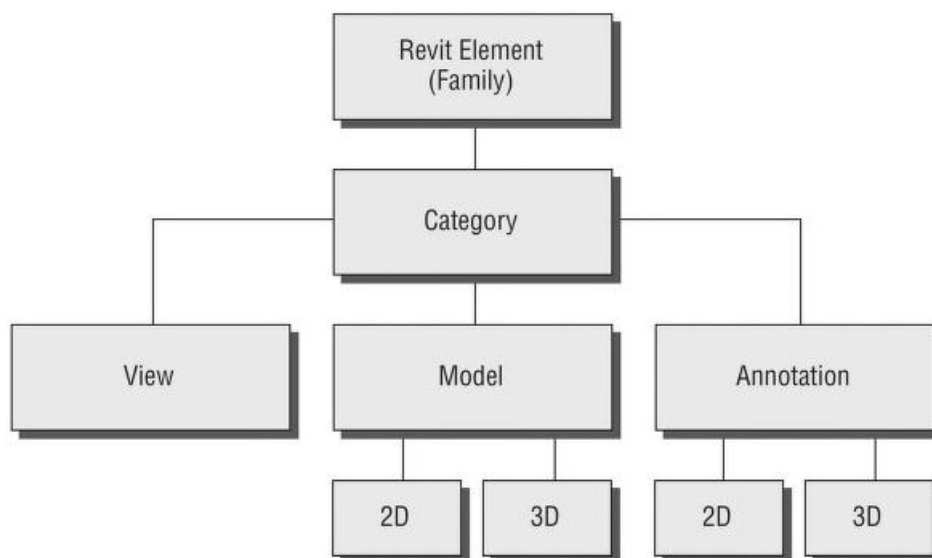
Fonte: Autor, 2018

#### 4.4.2 Autodesk Revit

A solução Autodesk Revit inclui ferramentas para projeto de arquitetura, engenharia mecânica, elétrica, hidráulica e projetos estruturais o que permite a criação documentação consistente e completa com base em um modelo. Desenvolvido pela empresa Autodesk é um software BIM multidisciplinar. O Revit foi projetado desde o início como uma plataforma BIM para abordar especificamente as áreas problemáticas da arquitetura, engenharia e construção, como a comunicação, coordenação e gestão de projetos. O mesmo possui um mecanismo que permite a inserção bem como alteração de dados paramétricos em um projeto e/ou modelo.

Cada elemento no Revit é considerado uma família e cada família pertence a uma categoria conforme a Figura 26. Essa ferramenta possui um sistema de classificação que permite organizar as famílias de elementos dentro de um modelo, sendo que cada elemento desta família pertence a uma categoria, e essa categoria é um modelo ou um objeto de anotação. Além disso, cada elemento pode ser de natureza 2D ou 3D.

Figura 26 – Autodesk Revit - categorização dos elementos



Fonte: Autor, 2018

As categorias de objeto do tipo anotação, Annotation, incluem todas as anotações, símbolos e dados descritivos adicionados a uma vista para descrever um determinado modelo. Em sumo a maioria das anotações são do tipo 2D específicos de cada modelo. Por exemplo, podem ser a informação sobre dimensões, tags, notas de texto, entre outros. Já as Views, visões, são elementos que possuem propriedades para auxiliar no processo de exibição de informações de um modelo. Uma view não altera o modelo de forma alguma, ela apenas age como um filtro através do qual permite diversos tipos de vistas de um modelo.

---

# Arquitetura da Solução Proposta

## 5.1 Introdução

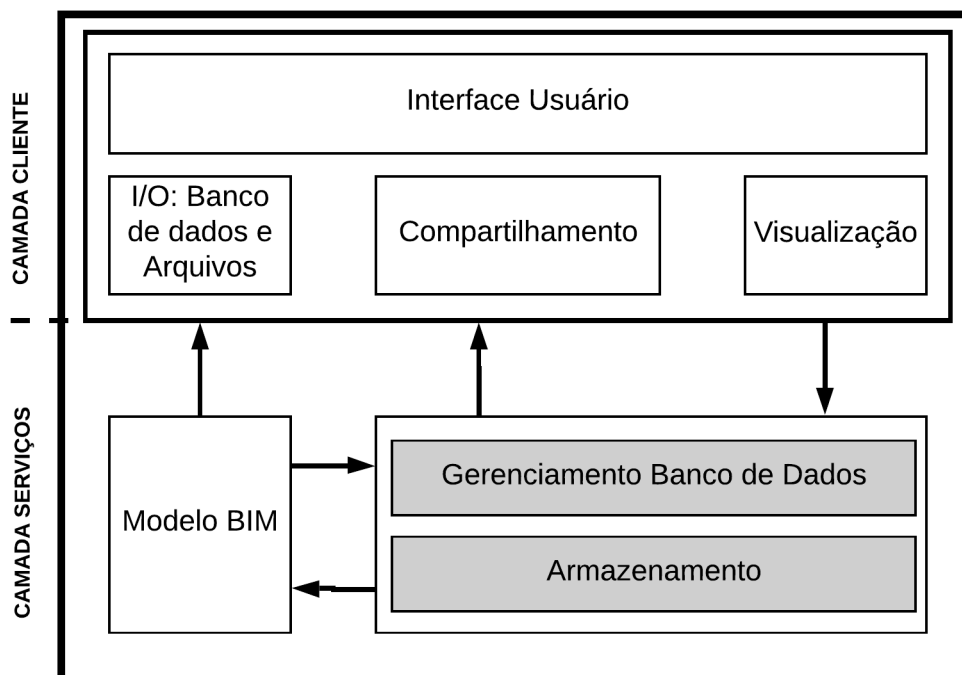
Este capítulo, inicialmente, apresenta os detalhes da arquitetura proposta bem como o desenvolvimento e implementação da aplicação. Em seguida detalha todo o processo de funcionamento do protótipo.

## 5.2 Arquitetura Conceitual

Para que seja possível a construção de um sistema de Realidade Aumentada integrado a metodologia BIM são necessários alguns parâmetros para que o mesmo seja construído de maneira mais otimizada. Para tal o sistema deve prover o uso de modelos 3D para representação de informações BIM, além de permitir o uso de modelos BIM em diversos formatos e que seja possível a sua utilização de maneira colaborativa. Para tal foi pensado uma arquitetura conceitual que permita o desenvolvimento de uma aplicação que suporte tais características. A Figura 27 traz o modelo conceitual desta arquitetura proposta.



Figura 27 – Modelo Conceitual Arquitetura Proposta.



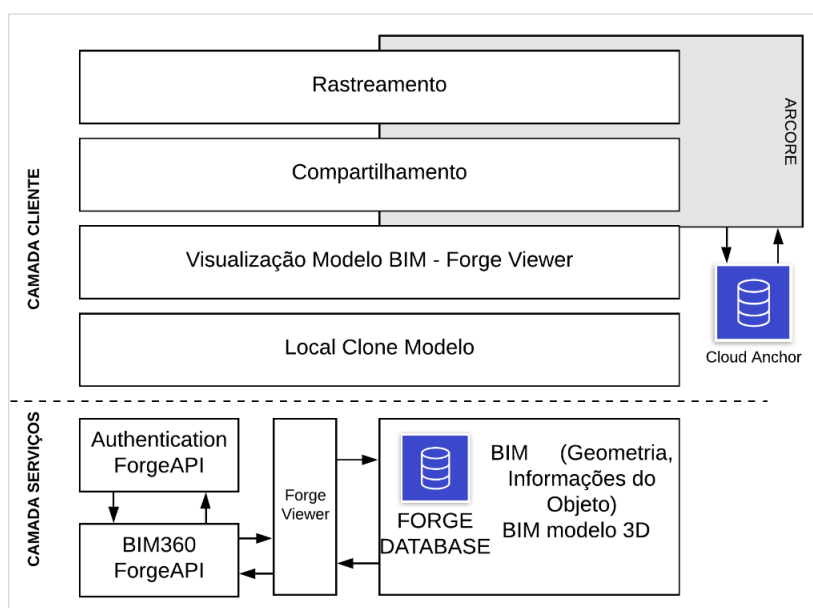
Fonte: Autor, 2018

A arquitetura em si é composta de duas camadas, sendo a camada Cliente e a camada de Serviços. A camada Cliente é responsável pela criação e exibição da cena RA para o usuário além de prover os serviços de interface e interação, bem como as chamadas externas para a utilização de serviços como acesso a banco de dados, dentre outros. Já a camada de Serviços é responsável por oferecer acesso aos serviços externos necessários para o funcionamento da aplicação. A seguir será apresentada a arquitetura da aplicação desenvolvida baseada a arquitetura conceitual proposta.

### 5.3 Arquitetura Aplicação

Quando um sistema de Realidade Aumentada é projetado, uma análise das suas necessidades devem ser levadas em consideração dependendo do perfil do usuário e do tipo de localidade onde o mesmo será utilizado. Sendo assim a Figura 28 apresenta a arquitetura proposta baseando no uso de Realidade Aumentada que permite o rastreamento e compartilhamento de modelos BIM, baseado na arquitetura conceitual proposta.

Figura 28 – Arquitetura Aplicação.



Fonte: Autor, 2018

Os modelos BIM trazem informações relacionadas a construção do modelo, informações relacionadas a fabricantes, dentre outras. A arquitetura é baseada em uma camada para clientes RA e outra baseada em serviços.

### 5.3.1 Camada – Cliente

O módulo cliente contempla o acesso à visualização do modelo BIM, o rastreamento para o posicionamento do objeto virtual no ambiente real, além de agrupar os processos de sincronização e compartilhamento do modelo entre dispositivos móveis. Esse módulo tem a capacidade de ser conectar a mais de um dispositivo móvel interligadas por um nó central, nuvem, que mantém armazenado os modelos BIM bem como informações referentes a construção e geometria destes modelos.

Para que seja possível o compartilhamento dos modelos entre mais de um dispositivo móvel é necessário criar um sistema de Realidade Aumentada que suporte múltiplos usuários. A proposta é permitir que vários usuários possam visualizar e interagir com modelos BIM simultaneamente de diferentes posições em um espaço físico compartilhado. Assim sendo a arquitetura foi pensada para suportar tal finalidade.

#### 5.3.1.1 Rastreamento

Para o posicionamento do objeto virtual no ambiente real não é utilizado marcadores e sim uma técnica de rastreamento de movimento que detecta um plano que suporte a exibição do objeto virtual em questão. Isso é possível devido ao uso do framework Arcore,

que conforme o dispositivo móvel se movimenta pelo ambiente real, esse framework se utiliza de um processo chamado de odometria e mapeamento, para entender onde está o dispositivo em relação ao mundo real que o cerca.

O ARCore detecta recursos visualmente distintos na imagem da câmera capturada chamada pontos de recurso e usa esses pontos para calcular sua alteração no local. As informações visuais são combinadas com medições inerciais da IMU do dispositivo para estimar a pose (posição e orientação) da câmera em relação ao mundo externo. Ao alinhar a pose da câmera virtual que renderiza o objeto 3D com a pose da câmera do dispositivo fornecida pela ARCore, pode-se então renderizar o conteúdo virtual na perspectiva correta. A imagem virtual renderizada pode ser sobreposta à imagem obtida da câmera do dispositivo, fazendo parecer que o conteúdo virtual faz parte do mundo real.

Esse processo de detecção procura grupos de pontos, denominados pontos de recurso que possam estar em superfícies horizontais ou verticais comuns, como paredes ou mesas, fornecendo ao aplicativo como uma superfície válida para o posicionamento do objeto 3D. Com uso dessa técnica, superfícies planas e sem textura, como uma parede totalmente branca, podem não ser detectadas corretamente como superfícies aptas para o posicionamento de um objeto.

#### 5.3.1.2 Compartilhamento

Através do uso de Cloud Anchors é possível a criação de aplicativos multiplayer para o compartilhamento de cenas através do uso de Realidade Aumentada. Assim, o framework envia uma anchor, âncora, com pontos de recurso para nuvem. Para habilitar essas experiências compartilhadas, o ARCore se conecta ao serviço da API do ARCore Cloud Anchor para hospedar e resolver âncoras permitindo que os usuários tenham a mesma experiência RA simultaneamente.

Para estabelecer e hospedar uma âncora, usa-se um mapa de recursos 3D do espaço rastreado pelo dispositivo determinando um centro de interesse. Para obter esse mapa de recursos, se utiliza a câmera traseira do dispositivo que deve mapear o ambiente dentro e ao redor do centro de interesse, a partir de diferentes ângulos de visão e posições. Após o processo de hospedagem da âncora na nuvem, para que o seja possível outros usuários compartilharem a mesma cena, bastam apontar para a localização da âncora no espaço onde a mesma foi posicionada.

#### 5.3.1.3 Visualização do Modelo BIM

O processo de visualização do modelo BIM é realizado após a conclusão do processo de compartilhamento, ou seja, após a hospedagem da âncora. Esse processo depende da integração das APIS ARcore e Forge AR/VR Toolkit. O Forge disponibiliza um servidor na nuvem para que os modelos sejam armazenados. Para que seja possível o carregamento de um modelo BIM são realizadas várias calls para o servidor Forge, developer-api.autodesk.io.

Essas calls são realizadas por meios de scripts que acessam as REST API endpoints fornecidas pelo servidor da Autodesk.

Todas as calls devem ser definidas através de um cabeçalho de autorização com um token válido para que o processo de autenticação seja realizado com sucesso. Para se obter um token válido, é necessário o cadastro e a criação de uma aplicação disponibilizada pelo site <https://forge.autodesk.com/>. Basicamente esses scripts são uma série simplificada de solicitações HTTP que prepara um arquivo de dados de design, ou seja, um modelo BIM, usando a autenticação do Forge.

Assim é possível fazer o download de um arquivo para a API de gerenciamento de dados do Forge, chamar a API model derivative para converter os dados que possam ser carregados para uma cena de RA, criar um ID de cena para os dados no serviço developer-api.autodesk.io, executar um trabalho de tradução que extrai os dados visíveis do modelo em uma árvore de cena. Após todo esse processo é possível finalmente carregar a árvore de maior nível dos objetos de cena para sua visualização, o que possibilita colocar o objeto BIM 3D no ambiente real.

#### 5.3.1.4 Local Clone Modelo

Após a autenticação realizada com sucesso ao banco de dados Forge é realizado o download do modelo referido para armazenamento temporário no dispositivo móvel. Assim que a aplicação é finalizada, o modelo é destruído dos arquivos do dispositivo.

### 5.3.2 Camada de Serviços

Essa camada é responsável por prover a aplicação serviços que são necessários para comunicação com o banco de dados em nuvem onde se armazena o modelo BIM, além de integrar os serviços de compartilhamento ofertados pela API ARCore.

#### 5.3.2.1 Authentication Forge

Para ter acesso ao banco de dados inicialmente se utiliza da API Authentication Forge que suporta o padrão OAuth2 para autenticação. Este é um padrão aberto para autenticação e autorização baseada em token. Nesse processo de autenticação basicamente a aplicação segue as seguintes etapas: 1. A aplicação faz uma chamada HTTP para um ponto de extremidade OAuth REST e fornece suas credenciais, clientID e clientSecret. 2. Um token é retornado ao aplicativo. 3. Ao fazer chamadas HTTP subsequentes para as demais APIs na plataforma, o aplicativo inclui o token no cabeçalho da solicitação.

O clientID é uma sequência alfanumérica de 32 caracteres e é transmitida como o valor do parâmetro de consulta client\_id e do atributo JSON. Já a clientSecret é uma sequência alfanumérica de 16 caracteres e é transmitida como o valor do parâmetro de consulta client\_secret, ou seja, a senha de acesso. Ambos são fornecidos pela API assim

que uma aplicação é criada em seu servidor. Após o processo de autenticação ser finalizado corretamente, tem-se acesso aos demais serviços como, por exemplo, acesso ao banco de dados onde se encontram armazenados os modelos BIM.

### 5.3.2.2 BIM 360 Forge

Responsável pela integração da aplicação com o acesso ao banco de dados. A API de gerenciamento de documentos do BIM 360 acessa, carrega e compartilha planos 2D, modelos 3D BIM e quaisquer outros documentos do projeto para maximizar a colaboração. A mesma utiliza do suporte da Forge Viewer para a exibição do modelo em si. O ForgeViewer é uma biblioteca JavaScript do lado do cliente baseada em WebGL para renderização de modelos 3D e 2D. Os dados do modelo 3D e 2D podem vir de uma ampla variedade de padrões como arquivos do tipo DWG, IFC, FBX, dentre outros.

### 5.3.2.3 Forge Database

Com essa API, é possível realizar vários fluxos de trabalho, incluindo o acesso a um modelo e a obtenção de uma estrutura ordenada de itens, IDs e propriedades para gerar uma lista de materiais em um processo para o processo de exibição no Viewer. Os seguintes serviços compõem essa API:

- Serviço de Projeto: permite acessar um projeto através do BIM 360.
- Serviço de dados: gerencie os metadados BIM 360 em termos de pastas, itens e versões, bem como os relacionamentos entre essas entidades. Um item pode ser um arquivo ou um design. Cada item pode ter várias versões.
- Serviço de Armazenamento de Objetos (OSS): este permite que o aplicativo faça download ou upload de arquivos brutos (como PDF, XLS, DWG ou RVT) gerenciados pelo serviço de dados.

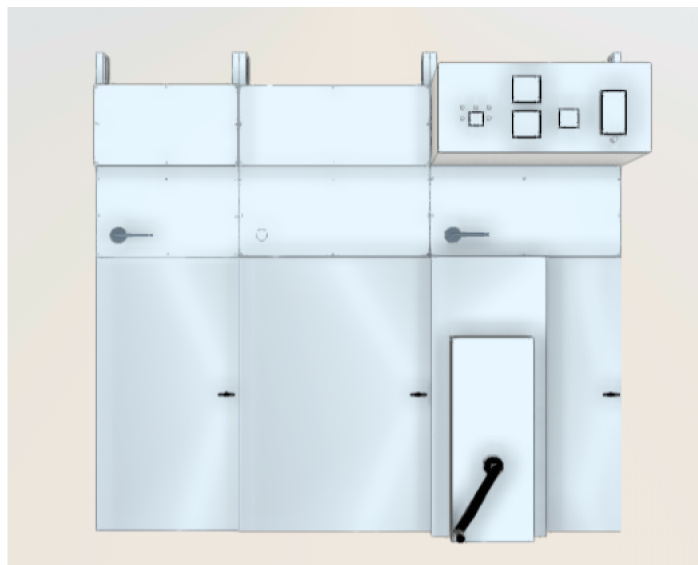
## 5.4 Criação modelo BIM

Para o desenvolvimento do protótipo foram utilizados os seguintes *softwares* conforme descrito anteriormente: Autodesk Inventor 2019, Autodesk Revit 2018, Unity Personal versão 2017.4.1 junto ao ARCore versão 1.1 e a IDE Microsoft Visual Studio 2017. Com a definição das ferramentas e do escopo do sistema proposto, iniciou-se o desenvolvimento. O primeiro passo se deu a partir da criação de um modelo BIM, parametrizado, de uma subestação primária de média tensão de distribuição.

O modelo BIM foi desenvolvido utilizando Autodesk Inventor com uma grande riqueza de detalhes para suportar a características de um modelo paramétrico. A ferramenta Autodesk Revit 2018 foi utilizada para a parametrização do modelo em si, sendo o Autodesk Inventor utilizado para a criação da representação sólida do modelo criado. A Figura 29

mostra o modelo BIM de um módulo de uma subestação primária de média tensão de distribuição, também conhecida como cubículo.

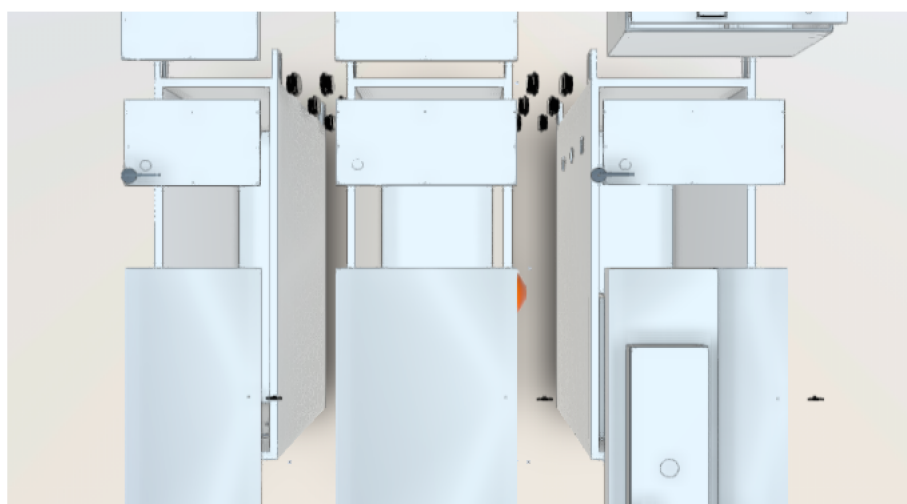
Figura 29 – Modelo BIM do Cubículo - Vista Frontal.



Fonte: Autor, 2018

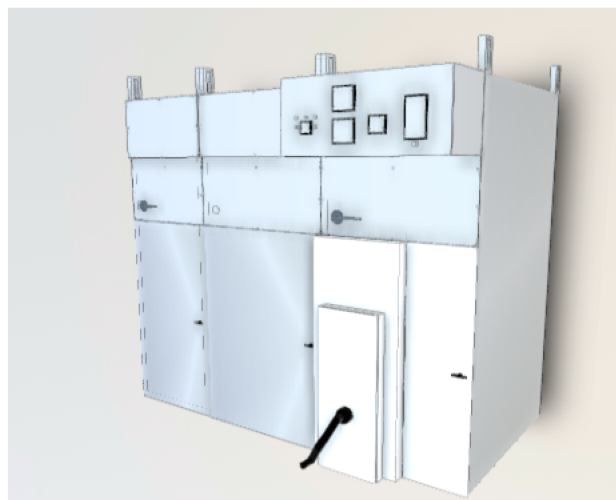
As Figuras 30 e 31 trazem respectivamente a vista explodida do modelo como também o modelo visualizado lateralmente.

Figura 30 – Modelo BIM do Cubículo - Vista Explodida.



Fonte: Autor, 2018

Figura 31 – Modelo BIM do Cubículo - Vista Lateral.



Fonte: Autor, 2018

## 5.5 Funcionamento do Sistema

O aplicativo gerado para estudo de caso apresenta uma arquitetura proposta e desenvolvido com as tecnologias descritas anteriormente. A tela inicial do aplicativo é demonstrado na Figura 32.

Figura 32 – Tela Inicial Aplicação Proposta



Fonte: Autor, 2018

A tela inicial é composta por três, 3, botões sendo eles, o botão Hospedar, o botão

Resolver e o botão BIM. No canto superior direito da tela do dispositivo são exibidas as informações do número da Cena, e o endereço IP do dispositivo. A parte inferior é composta por uma barra de Status onde são exibidas mensagens relativa as ações do usuário. Para que seja possível o uso da aplicação através de múltiplos usuários, todos devem estar conectados na mesma rede para que seja possível o compartilhamento da cena.

A função Hospedar é responsável por definir uma âncora em cena e posicionar o modelo BIM em questão, além de armazenar essa posição para que o compartilhamento da cena seja possível. Após a aplicação detectar uma superfície que possa ser reconhecida como um plano, conforme a Figura 30, a representação do plano é feita por uma malha, com um toque na tela do dispositivo móvel, o objeto é posicionado e a cena disponível para compartilhamento como demonstra a Figura 33. Um número é atribuído a cena criada para que a mesma seja informada a outros usuários no momento do compartilhamento bem como o endereço IP para que seja possível estabelecer o acesso à cena.

Figura 33 – Tela - Cena Salva e Exibição Modelo BIM

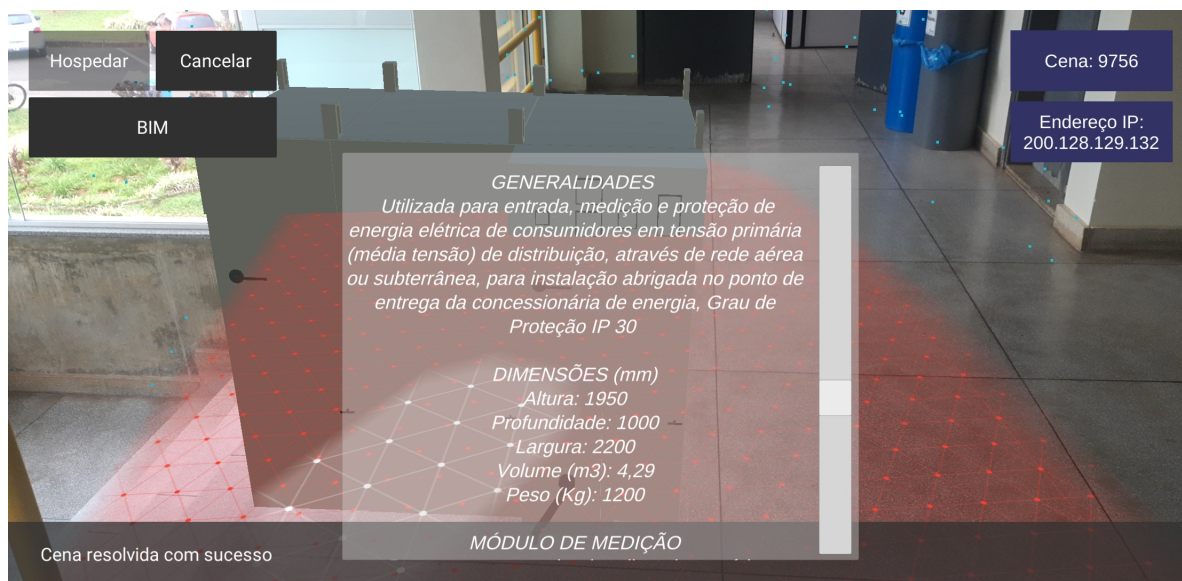


Fonte: Autor, 2018

Após o usuário posicionar o modelo BIM em cena, é possível continuar na função hospedar, onde as informações BIM do modelo são acessadas via o botão BIM no canto superior esquerdo sendo possível também explodir o modelo conforme as Figuras 34 e 35.



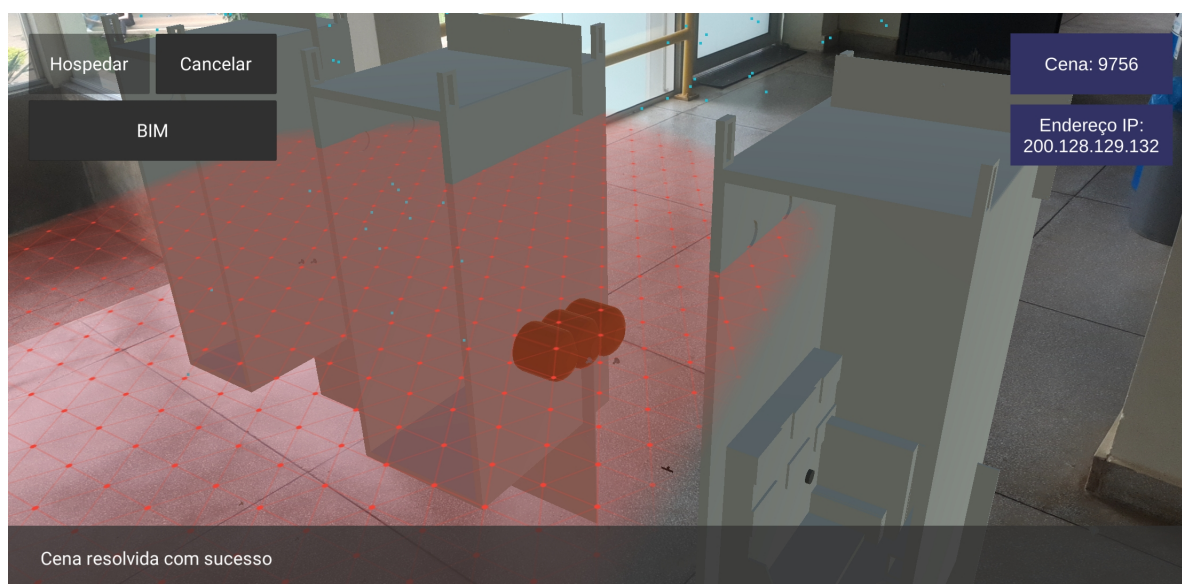
Figura 34 – Tela - Cena Salva e Exibição Modelo BIM e as Informações BIM



Fonte: Autor, 2018

A função de se explodir o modelo em cena é possível pelo movimento de deslizamento na tela para o lado direito, sendo possível retornar o objeto para a forma inicial realizando o movimento para o lado esquerdo. A Figura 35 traz o modelo explodido em cena.

Figura 35 – Tela - Cena Salva e Exibição Modelo BIM - Vista Explodida



Fonte: Autor, 2018

A Figura 36 demonstra a tela do aplicativo no modo Resolver, ou seja, quando o usuário executa a ação de apertar o botão Resolver. Se o usuário estiver no modo Hospedar,

deve-se pressionar o botão Cancelar para habilitar o botão Resolver. Ao entrar nesse modo, o aplicativo exibe uma tela onde é possível escolher a opção de Resolver a cena localmente, onde é necessário informar somente o número da cena, ou se estiver em outro dispositivo é necessário informar além do número da cena, o endereço IP do dispositivo que hospedou a cena.

Figura 36 – Tela - Modo Resolver Cena



Fonte: Autor, 2018

Após as informações serem inseridas corretamente, o modelo BIM de forma compartilhada. Todas as funções como explodir e exibir as informações BIM do modelo também estão presentes nesse modo de funcionamento também.

Após a superfície ser condicionada pelo aplicativo apto a receber o modelo BIM, a aplicação verifica os mesmos. Quando dessa verificação de entrada é válida, inicia-se o processo de exibição do modelo.

Os modelos ficam armazenados na estrutura disponibilizada pela API Forge, após o usuário estar na localização correta, a aplicação conecta pelo processo de autenticação baseado em OAuth 2.0, carrega o modelo correspondente e gera sua exibição ao usuário.

A interface da aplicação permite o usuário além de exibir as informações do modelo BIM, permite também rotacionar o objeto, explodir e combinar o modelo.

## 5.6 Considerações Finais

Neste capítulo, foram apresentados todos os detalhes do desenvolvimento e da implementação do sistema proposto. Além de detalhar todo seu processo de funcionamento do protótipo.

---

## Resultados e Discussão

### 6.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados inicialmente os métodos aplicados nesta pesquisa para a realização dos testes da aplicação. Em seguida serão apresentados os resultados obtidos após a realização dos testes.

### 6.2 Metodologia de Avaliação

#### 6.2.1 Experiência do Usuário - *User Experience* - *UX*

Hekkert e Schifferstein (2008) observam que a interação entre indivíduo e aplicação, não é obrigatoriamente uma ação unicamente física, mas também pode-se resultar da percepção do usuário, muitas das vezes, visual, com relação ao *software*. Diante destas diferentes formas de interação, surgem uma variedade de áreas de pesquisas e desenvolvimento relacionadas a essa vertente, tais como: Usabilidade, Interação Humano Computador (IHC), Ergonomia (ou Fatores Humanos), User Experience (UX), Experiência do Usuário, Ciência Cognitiva, entre outras (REDISH, 2010; SAFFER, 2007).

O que observar-se de comum entre essas diversas áreas é que as mesmas possuem uma forte similaridade entre elas, que é o foco no usuário durante o desenvolvimento de uma determinada aplicação com a finalidade de proporcionar uma melhor interação entre usuário e produto (KRIPPENDORFF, 2006). Dessa forma o termo User Experience (UX), vem sendo amplamente utilizado e discutido por diversas disciplinas, não somente na área voltado ao design, mas em outras diversas áreas de aplicação como indústria, engenharia, entre outras. Para este trabalho, considera-se como User Experience (UX) a definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT (ISO, 2002):

“Experiência do usuário: percepções e respostas das pessoas, resultantes do uso e/ou uso antecipado de um produto, sistema ou serviço.”

Conseqüentemente para que os processos de interação do usuário com uma determinada aplicação sejam avaliados são realizados experimentos relacionados a Experiência do Usuário, dentre eles, estudos de usabilidade, que utilizam métodos, dimensões e métricas específicas, com a finalidade de mensurar e compreender diversos fatores durante a UX (TULLIS; ALBERT, 2008).

Assim sendo para que a Experiência do Usuário seja avaliada mediante ao trabalho proposto, fez o uso do *framework* HEART descrito por Rodden, Hutchinson e Fu (2010) e aplicado a 20 produtos da empresa Google para a avaliação da UX em relação a suas aplicações. Esse *framework* divide-se em temas, que são responsáveis por nortear a avaliação da UX, sendo:

- ❑ *Happiness*: medidas de atitudes, *feedback* e resoluções do usuário, coletados muitas das vezes através de pesquisas. Por exemplo, como os usuários estão lidando com mudanças feitas no produto? Eles estão satisfeitos ou desaprovam? Algumas métricas que podem ser seguidas: Satisfação, Perceptível facilidade de uso, Net-promoter score - NPS;
- ❑ *Engagement*: este tema está relacionado com o envolvimento do usuário. Algumas métricas utilizadas: Número de visitas por semana, Número de uploads realizados por dia, Número de compartilhamentos. Geralmente são dados obtidos por ferramentas do tipo *analytics*;
- ❑ *Adoption*: define o número de novos usuários em um determinado período de tempo. Ela mede o sucesso ou fracasso em atrair novos usuários. Pode-se dizer que é uma medida que dependerá muito de outros fatores além da experiência do usuário, como as atividades de vendas e marketing. Nessa categoria são comuns métricas do tipo, número de atualizações para a nova versão, número de novas assinaturas criadas;
- ❑ *Retention*: demonstra o comportamento dos usuários frente as mudanças, ou falta delas, de um determinado produto ao longo do tempo. Algumas métricas que possam ser utilizadas nesse tema: Número de usuários ativos, Taxa de renovação ou de desistência;
- ❑ *Task Success*: Eficiência, efetividade e taxa de falhas. Mede o grau de facilidade com que o usuário executa determinada ação em um produto. A medida utilizada, por exemplo, o tempo que o usuário leva para realizar uma tarefa ou a quantidade de pessoas que conseguem concluí-la.

Assim o *framework* propõem uma sequência de definições dentro de cada um dos temas para que a avaliação seja realizada, sendo:

- Goals (Objetivos): o primeiro passo é identificar os objetivos do produto ou recurso, especialmente em termos de experiência do usuário. Basicamente é identificar quais tarefas os usuários precisam realizar ao utilizar aquela aplicação.
- Signals (Sinais): com base na definição de um determinado objetivo, qual a reação do usuário ao não cumprir aquele objetivo traçado, ou seja, quais ações indicariam que o objetivo foi ou não cumprido. Nesse caso há a necessidade de se perceber quais sentimentos ou percepções se correlacionariam com sucesso ou fracasso do cumprimento de um objetivo. Nesse caso deve-se considerar quais sinais de comportamentos serão levados em consideração para serem utilizados como registros de fato. Assim sendo deve-se escolher sinais que sejam específicos e ligados a um determinado objetivo, por exemplo, detectar o abandono de uma tarefa, ao realizar uma determinada ação dentro da aplicação. Nesse caso, a frustração seria o sinal que pudesse ser registrado.
- Metrics (Métricas): as métricas são traduções reais dos sinais, ou seja, a medição de fato de um determinado sinal.

A Figura 37 traz um exemplo de definição de Goals, Signals e Metrics dentro de cada um dos temas.

Figura 37 – Exemplo - Google HEART *framework*

**Google HEART Framework Example** CleverTap

	<b>GOALS</b>	<b>SIGNALS</b>	<b>METRICS</b>
<b>Happiness</b>	Users find the app helpful, fun, and easy to use	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responding to surveys</li> <li>• Leaving 5-star ratings</li> <li>• Leaving user feedback</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Net Promoter Score</li> <li>• Customer satisfaction rating</li> <li>• Number of 5-star reviews</li> </ul>
<b>Engagement</b>	Users enjoy app content and keep engaging with it	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spending more time in the app</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Average session length</li> <li>• Average session frequency</li> <li>• Number of conversions (consuming content, uploading files, purchases, etc.)</li> </ul>
<b>Adoption</b>	New users see the value in the product or new feature	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Downloading, launching app</li> <li>• Signing up for an account</li> <li>• Using a new feature</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Download rate</li> <li>• Registration rate</li> <li>• Feature adoption rate</li> </ul>
<b>Retention</b>	Users keep coming back to the app to complete a key action	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Staying active in the app</li> <li>• Renewing a subscription</li> <li>• Making repeat purchases</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Churn rate</li> <li>• Subscription renewal rate</li> </ul>
<b>Task Success</b>	Users complete their goal quickly and easily	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Finding and viewing content quickly</li> <li>• Completing tasks efficiently</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Search exit rate</li> <li>• Crash rate</li> </ul>

Fonte: Braga e Silveira (2016)

Pela sua simplicidade e flexibilidade de uso, sendo aplicado em diversos tipos de produtos, o *framework* HEART vem em crescente utilização Braga e Silveira (2016).

### 6.3 Aplicação do *framework* HEART

Para a aplicação do *framework* HEART como ferramenta de verificação para a validação da Experiência do Usuário em relação ao trabalho proposto, os objetivos, sinais e métricas foram definidos afim de capturar aspectos diferentes e complementares dos usuários da aplicação. Estes aspectos estão organizados nos temas centrais da estrutura do HEART baseados nos objetivos, sinais e métricas que se deseja obter da avaliação do trabalho desenvolvido. Dois temas foram escolhidos para a avaliação da UX conforme a Tabela 4, sendo *Happiness* e *Task Success*.

Tabela 4 – *Framework Heart* - Aplicação Trabalho

Temas	Goals	Signals	Metrics
<b>Happiness</b>	Deseja-se que 50% dos usuários forneçam um retorno positivo. Zona de Aperfeiçoamento NPS = de 0 até 50	Executar uma pesquisa com o seguinte questionamento: Qual a probabilidade de recomendar esse aplicativo a outro usuário?	NPS - Score**
<b>Engagement</b>	N/A	N/A	N/A
<b>Adoption</b>	N/A	N/A	N/A
<b>Retention</b>	N/A	N/A	N/A
<b>Task Success</b>	Deseja-se que 60% dos usuários consigam visualizar as informações BIM através do uso da aplicação de um determinado objeto.	Verificar o número de usuários que consigam realizar tal tarefa sem abandonar o uso do aplicativo	Taxa de conclusão de tarefas*
<b>Task Success</b>	Deseja-se que 60% dos usuários consigam explorar o modelo exibido pela aplicação	Verificar o número de usuários que consigam realizar tal tarefa sem abandonar o uso do aplicativo	Taxa de conclusão de tarefas*
<b>Task Success</b>	Deseja-se que o tempo médio de execução da tarefa de rotacionar o modelo seja entre 3 a 6 segundos	Verificar o tempo médio dos usuários para realizar a tarefa.	Média do tempo gasto

$$* \text{ taxa de conclusão de tarefas} = \frac{\text{número de tarefas concluídas com sucesso}}{\text{número total de tarefas com e sem êxito}} * 100 \%$$

$$** \text{ nps} = \frac{(\text{promotores} - \text{destratores})}{\text{total participantes}} * 100 \%$$

Fonte: Autor, 2018

Para que fosse possível a aplicação da metodologia HEART, um questionário foi proposto com a finalidade de se obter as informações necessárias para o processo de avaliação. Foram levadas em consideração as métricas definidas anteriormente para a elaboração do questionário. Cada usuário respondeu o questionário (Apêndice A) após a utilização da aplicação.

Para a captura da primeira métrica definida no tema *Happiness* do HEART, foi utilizada o *Net Promoter Score* (NPS) proposto por Reichheld (2006). O NPS mensura os promotores e detratores de um produto, empresa, produzindo uma medida clara do desempenho do produto através da ótica dos usuários. De acordo com Reichheld (2006) este indicador é coletado através de uma pergunta do tipo: Em uma escala de 1 a 10, qual é a probabilidade de se recomendar o uso de determinado produto ou empresa para outros usuários?

As respostas são divididas em três categorias: sendo os participantes que responderam ao questionamento e deram nota até 6 considerados de detratores, aqueles que deram notas 7 ou 8 são chamados passivos ou neutros e os que indicam nota 9 ou 10 são considerados promotores (REICHHELD, 2006). A fórmula do cálculo do NPS está descrita na Figura 38.

Figura 38 – Cálculo NPS

$$nps = \frac{(\text{promotores} - \text{detratores})}{\text{totalparticipantes}} * 100 \%$$

Fonte: Adaptado de Reichheld (2006)

Para a obtenção das métricas do tema *Task Success* foram elaborados duas questões que envolvem o cumprimento de determinadas tarefas utilizando o aplicativo além da coleta do tempo gasto para realizar uma determinada tarefa. Para duas das métricas foi utilizado o cálculo da taxa de conclusão de cada uma das tarefas conforme Figura 39 (REICHHELD, 2006). Já para a terceira métrica foi calculado a média de tempo gasto pelos usuários para a conclusão da tarefa proposta.

Figura 39 – Cálculo taxa conclusão de tarefas

$$\text{taxa de conclusão de tarefas} = \frac{\text{número de tarefas concluídas com sucesso}}{\text{número total de tarefas com e sem êxito}} * 100 \%$$

Fonte: Adaptado de Reichheld (2006)

Os temas *Engagement*, *Adoption e Retention*, não foram abordados nos testes pois não se aplicam ao trabalho proposto. Uma das vantagens da metodologia HEART é a flexibilidade da mesma, podendo se adequar a diversos tipos de produtos.



## 6.4 Amostra da população

Há uma percepção incorreta de que os tamanhos de amostra devem ser grandes para usar estatísticas e interpretar dados quantitativos. Porém, mais importante do que o tamanho da amostra é a composição da amostra, ou seja, deve ser representativa. É melhor ter uma amostra de 5 representativa do que uma amostra de 1000 que não seja representativa (SAURO; LEWIS, 2016).

Para responder o objetivo específico de avaliar a Experiência do Usuário com relação ao uso da arquitetura proposta através da aplicação do *framework HEART* para validação da mesma, o *software* foi testado com 5 usuários seguindo a recomendação de Nielsen (1999), sendo estes profissionais do setor elétrico. Os testes aconteceram na subestação de energia elétrica de distribuição do UMC, Uberlândia Medical Center, acompanhados pelo responsável técnico do local.

Após a utilização da ferramenta proposta, os usuários responderam a um questionário que avalia a Experiência do Usuário (Anexo I), conforme proposto pelo *framework HEART*.

## 6.5 Resultados e Discussão

Conforme dito anteriormente, os testes aplicados foram baseados na metodologia *framework HEART* para a avaliação do trabalho proposto.

Após a aplicação dos testes e do questionário, os seguintes resultados foram obtidos. A primeira pergunta do questionário foi "Qual a probabilidade de recomendar esse aplicativo a outro usuário?". A mesma foi utilizada para se calcular a métrica NPS. Da amostra total obteve-se o seguinte cenário conforme Tabela 5.

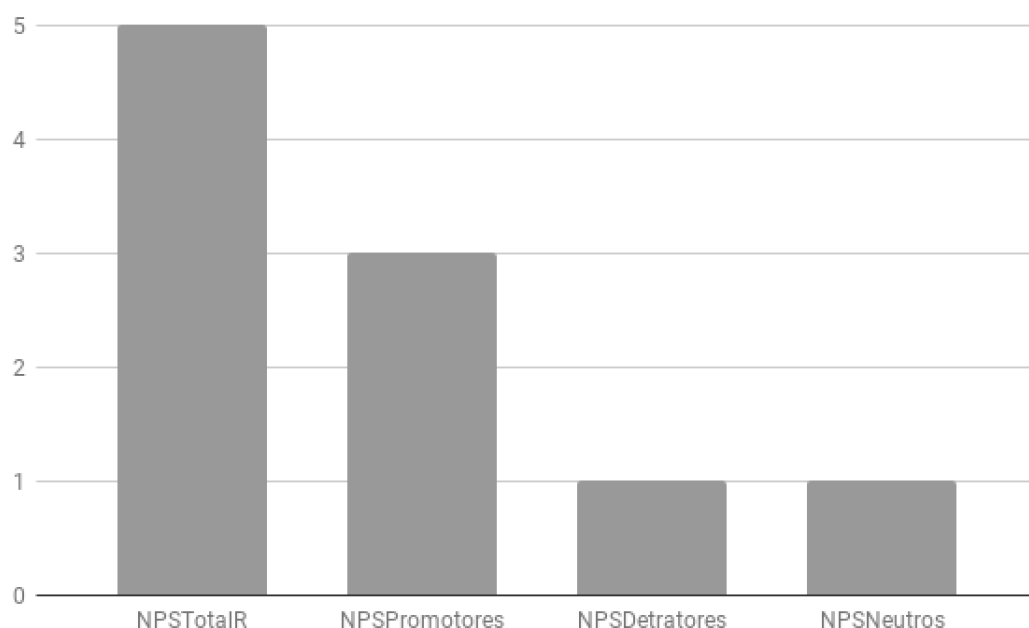
Tabela 5 – Resultado NPS

Total de Respondentes	Detratores	Neutros	Promotores
5	1	1	3

Autor, 2019.

O Figura 40 traz o gráfico referente a Tabela 4.

Figura 40 – Gráfico Análise NPS - Score



Autor, 2019

Baseado no cálculo do NPS, obteve-se um resultado de **40**. De acordo com as notas do *Net Promoter Score* é possível classificar o resultado obtido em 4 Zonas de Classificação, que em termos gerais exemplificam o quão bem está o produto avaliado em relação a satisfação dos usuários (REICHHELD, 2006). As zonas são:

- ❑ Zona de Excelência – NPS entre 76 e 100;
- ❑ Zona de Qualidade – NPS entre 51 e 75;
- ❑ Zona de Aperfeiçoamento – NPS entre 1 e 50;
- ❑ Zona Crítica – NPS entre -100 e 0.

De acordo com a pontuação obtida pelo teste, o trabalho se encontra classificado na Zona de Aperfeiçoamento. Pode se observar que o mesmo atingiu o objetivo do tema *Happiness* cuja a pontuação definida era entre 0 a 50. Em sequência o usuário respondeu a mais duas questões que estão relacionadas ao tema *Task Success*, sendo a primeira, "Conseguiu visualizar as informações BIM do ativo em questão pelo aplicativo sem abandonar seu uso?", referente a tarefa 1 (T1), e a segunda, Conseguiu explodir o modelo?, referente a tarefa 2 (T2). Assim após a coleta e verificação das respostas se obteve o seguinte resultado conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Conclusão tarefas T1 e T2

Total Participantes T1	Total Participantes T2	Total de Tarefas 1 Concluídas com Êxito	Total de Tarefas 2 Concluídas com Êxito
5	5	5	4

Autor, 2019.

A taxa de conclusão da tarefa T1, Visualizar as informações BIM do ativo em questão pelo aplicativo, foi de 100% levando em consideração do cálculo da mesma. Já a taxa de conclusão da tarefa, Explodir o modelo T2, foi de 80% baseada também no cálculo descrito anteriormente pela Figura 39. A terceira métrica foi calculada através da média do tempo gasto para a conclusão da tarefa 3 (T3), rotacionar modelo. A Tabela 7 traz a relação de tempo gasto por cada um dos usuários para a conclusão das tarefas.

Tabela 7 – Tempo gasto por usuário - tarefa T3

Usuário	Tempo (segundos)
1	4
2	3
3	6
4	3
5	3

Autor, 2019.

Baseado nos resultados da Tabela 7 a média do tempo gasto para a realização da tarefa T3 foi de 3,8 segundos. Sendo assim, após a realização da aplicação do questionário e da metodologia HEART as métricas definidas foram alcançadas porém novas métricas devem ser estabelecidas para melhorias futuras a serem propostas a aplicação.

---

## Conclusão e Trabalhos Futuros

### 7.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentadas as considerações finais, sobre o uso de Realidade Aumentada associada a metodologia BIM para visualização de informações em ativos de subestações de energia elétrica. Em seguida, serão apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

### 7.2 Conclusões

Nesta dissertação propôs-se uma aplicação que faz uso de técnicas de Realidade Aumentada associada a metodologia BIM. A aplicação depende de um dispositivo móvel o qual suporte a instalação da mesma além de estar conectada a uma rede onde possa se obter um IP.

As ferramentas de modelagem *Autodesk Inventor* versão 2019 juntamente com *Autodesk Revit* 2018 se mostram adequadas, eficientes e estáveis não causando transtornos para o desenvolvimento e modelagem BIM o que foi de suma importância para a criação de modelos paramétricos que seriam utilizados na aplicação. A *Unity Personal* versão 2017.4.1 também se mostrou eficaz como engine de criação de cenas.

Relativas ao uso da *API Forge* versão 2017.1.2f1 *update 3* pode-se observar que a mesma apresentou desempenho e quantidade de recursos satisfatórios com relação:

- a) integração a engine *Unity*;
- b) flexibilidade para escolha de linguagens de programação (C#, NodeJS);
- c) possibilidade de criação/importação de modelos BIM para automatização do editor de cenas.

Por outro lado, deve-se relatar que em alguns momentos a *API Forge da Autodesk* apresentou comportamento confuso com relação a importação da base de dados BIM no momento de inicialização da aplicação. Com isso, foram implementados mecanismos para assegurar a correta importação das informações referentes a cada modelo.

O *framework* ARCore cumpre bem seu papel como *engine* de Realidade Aumentada. O suporte a detecção de superfícies ao contrário do uso de marcadores para a exibição do modelo virtual no ambiente real, se mostra satisfatório. Alguns testes foram realizados com o uso de marcadores porém os mesmos são propícios à reflexão da luz, não sendo recomendados pois a luz atrapalha na detecção dos polígonos do marcador o que afetou o funcionamento da aplicação.

A questão do compartilhamento de cenas se demonstra eficaz diante de uma rede que suporte a quantidade de mensagens que são trocadas entre os usuários diante o processo de compartilhamento. Diante disto, para o uso da aplicação a mesma deve estar conectada em uma rede que não possua um grande tráfego de informações.

A aplicação da metodologia *HEART* para avaliação da *UX* mostrou-se satisfatória pois a mesma fornece uma série de métricas centradas no usuários que permitem medir sua experiência com relação a aplicação proposta. Assim esses resultados podem ser utilizados para melhorias futuras e atuais no processo de desenvolvimento contínuo da aplicação. Pode-se ser observar que a aplicação da métrica *NPS score* abordada pelo tema *Happiness* necessita de um aprimoramento para que se possa ter do usuário que avaliou com nota entre 1 a 6 o real motivo da sua avaliação.

A presente arquitetura proposta para o desenvolvimento de uma aplicação de Realidade Aumentada integrada a metodologia BIM se mostrou satisfatório pois através da mesma foi possível o desenvolvimento de uma aplicação para tal finalidade.

### 7.3 Trabalhos Futuros

Os seguintes trabalhos futuros foram identificados, com o intuito de explorar o uso de Realidade Aumentada associada a metodologia BIM, destacando-se:

- 1) implementar integração com *software* do tipo SCADA para possibilitar o monitoramento em tempo real do ativo em questão;
- 2) avaliar novos requisitos, como por exemplo, visualização de informações BIM de forma individualizada de cada componente pertencente ao modelo;
- 3) implementar a integração entre dispositivos móveis diferentes, ou seja, dois usuários vendo e interagindo com o mesmo modelo por dispositivos móveis diferentes.

---

## Referências

- ALVES, L. J. V. et al. **VIARModes4BIM: Interação multimodal com informação BIM**. Tese (Doutorado), 2015.
- ALVES, N. A. Estudo de caso referente a exigência do corpo de bombeiros para o uso de sistema de hidrante sob comando em uma subestação elétrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017.
- AZUMA, R. et al. **Recent advances in augmented reality**. [S.l.], 2001. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/38.963459>>.
- AZUMA, R.; BILLINGHURST, M.; KLINKER, G. **Special section on mobile augmented reality**. [S.l.]: Pergamon, 2011.
- AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**, MIT Press, v. 6, n. 4, p. 355–385, 1997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>>.
- BECKER, M. et al. An architecture for prototyping and application development of visual tracking systems. In: IEEE. **2007 3DTV Conference**. [S.l.], 2007. p. 1–4.
- BELCHER, D.; JOHNSON, B. **MxR: A Physical Model-Based Mixed Reality Interface for Design Collaboration, Simulation, Visualization and Form Generation**. [S.l.], 2008. 464–471 p.
- BEZERRA, E. Princípios de análise e projeto de sistemas com uml. 2ª edição. **Rio de**, 2006.
- BONATO, R. K. Revisão bibliográfica em realidade virtual e modelagem 3d aplicada à engenharia civil e à exploração e produção de petróleo e gás natural. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2015.
- BRAGA, P. H. C.; SILVEIRA, I. F. Slap: Storyboard language for animation programming. **IEEE Latin America Transactions**, IEEE, v. 14, n. 12, p. 4821–4826, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/TLA.2016.7817016>>.
- BRITO, D. M. de; FERREIRA, E. d. A. M.; COSTA, D. B. Avaliação de papéis e mecanismos governamentais para disseminação do bim no setor aeoco. In: **II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO**. [S.l.: s.n.], 2019.

- BUYUKLIEVA, B.; KOSICKI, M. Bim, mar: Assembling physical objects by virtual information. In: **Proceedings of the 4th International Symposium on Pervasive Displays**. New York, NY, USA: ACM, 2015. (PerDis '15), p. 257–258. ISBN 978-1-4503-3608-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2757710.2776810>>.
- CALVO, G. G.; JOSHI, P. **OpenCV 3. x with Python By Example: Make the most of OpenCV and Python to build applications for object recognition and augmented reality**. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2018.
- CARDOSO, A. et al. Tecnologias e ferramentas para o desenvolvimento de sistemas de realidade virtual e aumentada. **Editora Universitária UFPE**, p. 1–19, 2007.
- CARDOSO BRUNO MAIA, D. S. J. N. M. M. A. **BIM: O que é?** Tese (Doutorado), 2012.
- CARREIRO, M.; PINTO, P. The evolution of representation in architecture'. In: **1st eCAADe Regional International Workshop Proceedings, Porto, Portugal**. [s.n.], 2013. p. 27–38. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.13110/antipodes.27.1.0038>>.
- CHECCUCCI, ; PEREIRA, A. P.; AMORIM, A. Difusão e apropriação do paradigma bim no brasil. **Gestão amp; Tecnologia de Projetos**, v. 1, n. 8, p. 19, set. 2013. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/62201>>.
- COSTA, E. N. Avaliação da metodologia bim para a compatibilização de projetos. 2013.
- CRESPO, C. C.; RUSCHEL, R. C. Ferramentas bim: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. **Encontro de Tecnologia de Informação e comunicação na construção civil**, v. 3, 2017.
- DAVIES, R.; HARTY, C. Implementing 'site bim': a case study of ict innovation on a large hospital project. **Automation in construction**, Elsevier, v. 30, p. 15–24, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.024>>.
- DEUTSCH, R. **BIM and integrated design: strategies for architectural practice**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2011.
- EASTMAN, C. et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. [S.l.]: Bookman Editora, 2014.
- EASTMAN, C. M. **Building product models: computer environments, supporting design and construction**. [S.l.]: CRC press, 2018.
- FONNET, A. et al. Heritage bim integration with mixed reality for building preventive maintenance. In: IEEE. **Computação Gráfica e Interação (EPCGI), 2017 24º Encontro Português de**. [S.l.], 2017. p. 1–7.
- FORGE, A. **Developers - Guide - Documentation**. 2018. Disponível em: <<https://forge.autodesk.com/>>.
- FREITAS, J. G. A. **Metodologia BIM: uma nova abordagem, uma nova esperança**. Tese (Doutorado), 2014.

- FURLAN, J. D. **Modelagem de objetos através da UML-the unified modeling language**. [S.l.]: Makron books, 1998.
- HEIPHETZ, A.; WOODILL, G. **Training and collaboration with virtual worlds: How to create cost-saving, efficient, and engaging programs**. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 2010.
- HEKKERT, P.; SCHIFFERSTEIN, H. N. **Product experience**. [S.l.]: Elsevier Amsterdam, 2008.
- HENRIQUES, A. **Integração do ProNIC em ambiente BIM: Um modelo para o trabalho em ambiente colaborativo**. Tese (Doutorado) — Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura . . . , 2012.
- HOSSEINI, M. R. et al. Bim adoption within australian small and medium-sized enterprises (smes): an innovation diffusion model. **Construction Economics and Building**, UTS ePress, v. 16, n. 3, p. 71–86, 2016.
- ISO, N. Iec 14598-3. associação brasileira de normas técnicas nbr iso/iec 14598-5 tecnologia de informação—avaliação de produto de software—parte 3: Processo para desenvolvedores. **Rio de Janeiro ABNT**, 2002.
- JIN, M.-S.; PARK, J.-I. Interactive mobile augmented reality system using a vibro-tactile pad. In: IEEE. **VR Innovation (ISVRI), 2011 IEEE International Symposium on**. [S.l.], 2011. p. 329–330.
- KASSEM, M.; SUCCAR, B.; DAWOOD, N. A proposed approach to comparing the bim maturity of countries. In: **30th International Conference on Applications of IT in the AEC Industry**. [S.l.: s.n.], 2017.
- KIM, H.-s. et al. Application of augmented reality object in construction project. In: IEEE. **Information and Communication Technologies (WICT), 2013 Third World Congress on**. [S.l.], 2013. p. 117–120.
- KIRNER, C.; PINHO, M. S. Introdução à realidade virtual. In: **Workshop de Realidade Virtual**. [S.l.: s.n.], 1997. v. 1, p. 1–40.
- KIRNER, C.; TORI, R. Introdução à realidade virtual, realidade misturada e hiper-realidade. **Realidade Virtual: Conceitos, Tecnologia e Tendências**. 1ed. São Paulo, v. 1, p. 3–20, 2004.
- KRIPPENDORFF, K. The semantic turn: A new foundation for design. **ARTIFACT-ROUTLEDGE-**, Taylor & Francis group, v. 1, n. 11, p. 51, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4324/9780203299951>>.
- LEE, X. S. et al. Augmented reality for ndimensional building information modelling: Contextualization, customization and curation. In: IEEE. **Virtual System & Multimedia (VSMM), 2016 22nd International Conference on**. [S.l.], 2016. p. 1–5.
- MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2013.



- MATTIOLI, L. R. et al. Uma proposta de um procedimento para a geração semiautomática de ambientes virtuais para subestações de energia elétrica. Universidade Federal de Uberlândia, 2015.
- MEIGUINS, B. S. et al. Multidimensional information visualization using augmented reality. In: ACM. **Proceedings of the 2006 ACM international conference on Virtual reality continuum and its applications**. [S.l.], 2006. p. 391–394.
- MEŽA, S.; TURK, Ž.; DOLENC, M. Component based engineering of a mobile bim-based augmented reality system. **Automation in construction**, Elsevier, v. 42, p. 1–12, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.011>>.
- MUZY, G. L. C. de O. **Subestações Elétricas**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- NIELSEN, J. **Designing Web Usability: The Practice of Simplicity**. Thousand Oaks, CA, USA: New Riders Publishing, 1999. ISBN 156205810X.
- OLBRICH, M. et al. Augmented reality supporting user-centric building information management. **The visual computer**, Springer, v. 29, n. 10, p. 1093–1105, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00371-013-0840-2>>.
- OLIVEIRA, L. C. d. et al. Realidade aumentada móvel aplicada na navegação indoor para cadeirantes. Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- PANETTA, K. trends emerge in the gartner hype cycle for emerging technologies, 2018. Retrieved November, v. 4, p. 5, 2018.
- PRESSMAN, R. S. **Engenharia de Software**. São Paulo. [S.l.]: McGraw-Hill, 2006.
- QUINTANA, J.; MENDOZA, E. 3d virtual models applied in power substation projects. In: IEEE. **2009 15th International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems**. [S.l.], 2009. p. 1–3.
- REDISH, J. Technical communication and usability: Intertwined strands and mutual influences. **IEEE Transactions on Professional Communication**, IEEE, v. 53, n. 3, p. 191–201, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/TPC.2010.2043459>>.
- REICHHELD, F. The ultimate question. **Harvard Business School Press, Boston, MA**, 2006.
- RODDEN, K.; HUTCHINSON, H.; FU, X. Measuring the user experience on a large scale: user-centered metrics for web applications. In: ACM. **Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. [S.l.], 2010. p. 2395–2398.
- SÁ, M. D.; CHURCHILL, E. Mobile augmented reality: exploring design and prototyping techniques. In: ACM. **Proceedings of the 14th international conference on Human-computer interaction with mobile devices and services**. [S.l.], 2012. p. 221–230.
- SAFFER, D. **Designing For Interaction. Creating Smart Applications and Clever Devices**. New Riders. [S.l.]: AIGA Design Press, Berkeley, 2007.

- SANTOS, F. F. d. F. dos; GARCÍA, D. S. P.; WANDSCHEER, M. A. Diretrizes para o desenvolvimento de um sistema avançado para estudos e projetos viários: análise da visibilidade de ultrapassagem vertical. 2014.
- SAURO, J.; LEWIS, J. R. **Quantifying the user experience: Practical statistics for user research**. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2016.
- SOMMERVILLE, I. **Software engineering**. [S.l.]: Addison-Wesley/Pearson, 2011.
- SOUZA, W. de O. et al. A realidade aumentada na apresentação de produtos cartográficos. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Universidade Federal do Paraná, v. 22, n. 4, p. 790–806, 2016.
- STARTUPI. **Gartner identifica cinco tendências de tecnologias emergentes que vão mesclar o trabalho entre humanos e máquinas**. 2018.
- TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. [S.l.]: Editora SBC, 2006.
- TULLIS, T.; ALBERT, B. Measuring the user experience: Collecting. **Analyzing and Presenting Usability Metrics**, 2008.
- WANG, J. et al. Integrating bim and augmented reality for interactive architectural visualisation. **Construction Innovation**, Emerald Group Publishing Limited, v. 14, n. 4, p. 453–476, 2014.
- WUEST, H. **Efficient line and patch feature characterization and management for real-time camera tracking**. Tese (Doutorado) — Wuest, 2008.
- WUEST, H.; WIENTAPPER, F.; STRICKER, D. Adaptable model-based tracking using analysis-by-synthesis techniques. In: SPRINGER. **International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns**. [S.l.], 2007. p. 20–27.

# Apêndices

APÊNDICE **A**

---

# Questionário de Avaliação

Qual a probabilidade de recomendar esse aplicativo a outro usuário? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Pouco provável           Muito provável

Qual sua profissão? \*

1. Engenheiro Eletricista
2. Operador
3. Técnico em Manutenção
4. Estudante
5. Outra

Conseguiu visualizar as informações BIM do ativo em questão pelo aplicativo sem abandonar seu uso? \*

- SIM
- NÃO

Conseguiu explodir o modelo ? \*

- SIM
- NÃO