

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

NATHAN CARDOSO FERREIRA DOS SANTOS

O Estado da Arte da Realidade Virtual e Aumentada em Engenharia Civil : Uma Revisão
Sistemática da Literatura em retrospecto dos últimos 11 anos

Guaratinguetá

2023

Nathan Cardoso Ferreira dos Santos

O Estado da Arte da Realidade Virtual e Aumentada em Engenharia Civil : Uma Revisão Sistemática da Literatura em retrospecto dos últimos 11 anos

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil .

Orientador: Prof^a Dra. Márcia Regina de Freitas

Guaratinguetá
2023

S237e

Santos Nathan Cardoso Ferreira dos

O Estado da arte da realidade virtual e aumentada em engenharia civil: uma revisão sistemática da literatura em retrospecto dos últimos 11 anos / Nathan Cardoso Ferreira dos Santos - Guaratinguetá, 2023.

102 f : il.

Bibliografia: f. 71-78

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Márcia Regina de Freitas

1. Realidade virtual. 2. Construção civil. 3. Tecnologias de informação e comunicação. I. Título.

CDU 69

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

NATHAN CARDOSO FERREIRA DOS SANTOS

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO
REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE "GRADUANDO EM
ENGENHARIA CIVIL "

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL


Profª Dra. ISABEL CRISTINA DE BARROS TRANNIN
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:

unesp



Assinado de forma digital por
Marcia Regina de
Freitas:06743669806
Dados: 2023.03.06 09:42:23 -03'00'

Profª Dra. Márcia Regina de Freitas
Orientador/UNESP-FEG

Profº Dr. Emerson Felipe Felix
UNESP-FEG

Profº Dra. Lisiane Pereira Prado
UNESP-FEG

Janeiro, 2023

DADOS CURRICULARES

NATHAN CARDOSO FERREIRA DOS SANTOS

NASCIMENTO 25/04/1997 - São Paulo / SP

FILIAÇÃO Israel Ferreira dos Santos
Marcia Regina Cardoso dos Santos

2017 / 2021 Engenharia Civil
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, que durante todos esses meses me acompanhou nessa jornada, dando todo o apoio necessário para a elaboração do projeto.

Aos meus pais, que estiveram comigo a cada momento e me deram o carinho e suporte necessário para que não desistisse.

Aos meus amigos, pela compreensão desse período de afastamento e ausência.

RESUMO

Os avanços tecnológicos nas últimas décadas promoveram o surgimento de soluções inovadoras no campo das engenharias. No contexto das tecnologias envolvidas na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), existem muitos casos de sucesso e produções aliando Tecnologias da Informação e Comunicação a esta área. Algumas destas tecnologias, a Realidade Aumentada (RA), a Realidade Virtual (RV) e Realidade Mista (RM) podem promover melhoras no compartilhamento de informações durante todas as etapas dos projetos, desde o desenvolvimento do anteprojeto, construção e manutenção de edifícios. Assim, esse estudo objetiva verificar de que forma RA e RV vem sendo utilizadas em AEC, por meio de uma revisão sistemática da literatura sobre suas aplicações neste âmbito. A primeira etapa foi a definição de palavras-chave e busca em três diferentes bases de pesquisa, quando foi utilizado o programa de referências bibliográficas Zotero. Para a análise e quantificação dos dados foi utilizada a linguagem de programação Python, para tratamento dos dados, e o programa Power BI, para análise e geração dos gráficos. O trabalho teve como objetivo responder às perguntas: (a) Quais os principais Temas no uso das aplicações de tecnologias de RA e RV em AEC? (b) Quais as práticas de maior destaque estão sendo aplicadas à AEC em relação ao uso das tecnologias de RA e RV? (c) Quais as ferramentas de Realidade Aumentada, Virtual e Mista aplicadas em AEC, tiveram maiores destaques no período? (d) Quais são as oportunidades para pesquisas futuras? O resultado das análises conclui que a academia tem voltado cada vez mais suas pesquisas para a área de tecnologia, mesmo durante o período pandêmico da Covid 19. Com base nos resultados, foi notado crescente interesse e inclusão de novas áreas de aplicação das tecnologias de RV e RA em AEC. Notou-se também que nos últimos anos a tecnologia de RM passa a ganhar mais espaço entre as tecnologias aplicadas. Este trabalho aponta que os estudos futuros devem envolver, cada vez mais, os usos dessas tecnologias na criação de ambientes colaborativos e integrados.

PALAVRAS-CHAVE: Realidade Virtual; Realidade Aumentada; Revisão Sistemática de Literatura; Construção Civil.

ABSTRACT

Technological advances in recent decades have promoted the emergence of innovative solutions in the field of engineering. In the context of the technologies involved in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) industry, there are many success stories and productions combining Information and Communication Technologies with this area. Some of these technologies, Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR) and Mixed Reality (RM) can promote improvements in information sharing during all stages of projects, from the development of the preliminary design, construction and maintenance of buildings. Thus, this study aims to verify how AR and VR have been used in AEC, through a systematic review of the literature on their applications in this context. The first stage was the definition of keywords and search in three different research bases, when the Zotero bibliographic reference program was used. For data analysis and quantification, the Python programming language was used for data processing, and the Power BI program for analysis and graph generation. The objective of the work was to answer the questions: (a) What are the main themes in the use of AR and VR technologies in AEC? (b) What are the most prominent practices being applied to AEC in relation to the use of AR and VR technologies? (c) Which Augmented, Virtual and Mixed Reality tools applied in AEC, had the greatest highlights in the period? (d) What are the opportunities for future research? The result of the analyzes concludes that the academy has increasingly turned its research to the area of technology, even during the pandemic period of Covid 19. Based on the results, it was noticed a growing interest and inclusion of new areas of application of VR technologies and RA in AEC. It was also noted that in recent years RM technology has gained more space among applied technologies. This work points out that future studies should increasingly involve the use of these technologies in the creation of collaborative and integrated environments.

KEYWORDS: Virtual Reality; Augmented Reality; Systematic Literature Review; Civil construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 1	Níveis e Objetivos da Inovação	17
Quadro 2	Gerações da Tecnologia CAD	19
Figura 1	Elementos formadores da Indústria 4.0	22
Quadro 3	Princípios básicos da Indústria 4.0 na literatura	23
Figura 2	Pôster de divulgação do Sensorama	24
Figura 3	Primeiro sistema de Head-mounted displays, The Sword of Damocles por Ivan Sutherland	25
Quadro 4	Sistemas Imersivos de RV	27
Figura 4	Funcionamento do Sistema de Realidade Virtual	27
Figura 5	"Samsung HMD Odyssey", <i>Head-mounted display</i> da empresa Samsung	28
Figura 6	"The Mechdyne CAVE"	29
Figura 7	<i>Wired Gloves e Wands</i>	29
Figura 8	"Sensor de movimento — Microsoft Kinect"	30
Figura 9	Ambiente da Realidade Misturada	30
Figura 10	Exemplos de <i>Optical see through</i> (A), <i>Video see through</i> (B), <i>Monitor AR</i> (C) e <i>Projective AR</i> (D)	32
Figura 11	Funcionamento do Sistema de Realidade Aumentada	33
Figura 12	Exemplos de Dispositivo <i>Video see through</i> - Microsoft Óculos Hololens 2	33
Figura 13	Sistema de RA com marcadores	34
Figura 14	Marcador Fiducial	34
Figura 15	Exemplo de Realidade Aumentada com auxílio de <i>tablet</i>	35
Figura 16	Morpholio AR Sketchwalk, ferramenta de RA para imersão de usuários no <i>Design</i>	37
Figura 17	Augment, aplicativo de holograma de modelo 3D	37
Figura 18	Coral Visualizer, aplicativo de pintura de paredes da AkzoNobel	38
Figura 19	"Smart Helmet", equipamento de "visão raio-x", da DAQRI	38
Figura 20	Realidade Aumentada para visualização de futuras instalações na obra, simulando a localização e estrutura de uma parede de <i>dry wall</i>	39
Figura 21	Serviço de alvenarias orientado por holografia, na construção do Hospital Hobart	40
Figura 22	Representação de dispositivo móvel utilizando a aplicação GAMMA AR e Augin	40
Figura 23	Interface do <i>software</i> Zotero	41
Figura 24	Interface do <i>software</i> Power BI	44
Figura 25	Fases da Revisão Sistemática da Literatura	46
Figura 26	Fluxograma do processo de desenvolvimento do estudo de RSL	46
Quadro 5	Protocolo de Pesquisa	47
Figura 27	<i>String</i> de busca	48
Quadro 6	Resultado da etapa de qualificação das publicações	49
Quadro 7	Definição dos Temas tratados nos artigos	50

Quadro 8	Relação dos Facilitadores e Instrumentos	51
Figura 28	Grandes distribuições das publicações	53
Figura 29	Distribuição percentual das publicações sobre RA/RV por ano	54
Figura 30	Variação percentual anual de publicações.	54
Figura 31	(1) Distribuição das publicações por fonte, (2) Evolução do volume de publicações das fontes por ano.	54
Figura 32	(1) Distribuição das publicações por tecnologia, (2) Evolução do volume de tecnologias por ano	55
Figura 33	Distribuição das tecnologias por Temas	56
Figura 34	Evolução do volume de Temas por ano	56
Figura 35	Distribuição dos Temas abordados por ano.	57
Figura 36	Distribuição percentual dos Temas	57
Figura 37	Evolução dos principais Temas por ano	58
Figura 38	Evolução dos Temas com referência à Covid-19 por ano da pandemia, dentre o total de publicações no período	58
Figura 39	Evolução da quantidade de Facilitadores abordados por ano	59
Figura 40	Distribuição dos Facilitadores por ano	60
Figura 41	Distribuição percentual dos Facilitadores	60
Figura 42	Distribuição dos novos Facilitadores nos últimos 4-6 anos	61
Figura 43	Distribuição dos Facilitadores por tecnologias	62
Figura 44	Distribuição dos Temas por Facilitadores	62
Figura 45	(1) Evolução da quantidade de Instrumentos abordadas por ano, (2) Distribuição dos Instrumentos por Facilitadores	63
Figura 46	Distribuição dos Instrumentos por Facilitadores	64
Figura 47	Evolução dos Instrumentos por tecnologias em relação aos Facilitadores "BIM Software" e "Game Engine"	65
Figura 48	Evolução dos Instrumentos e Facilitadores utilizados em "Software 3D", "Head-mounted display" e "Hand-held display"	67
Figura 49	Campo Informações	79
Quadro 9	Definição dos atributos	80
Figura 50	Etapa de exportação das publicações do Zotero.	81
Quadro 10	Exemplo — Estrutura em tabela, sem tratamento	81
Quadro 11	Exemplo Estrutura em tabela, tratada	82
Figura 51	Exemplo de Lista	84
Figura 52	Exemplo de Tupla	84
Figura 53	Exemplo Dicionário	84
Figura 54	Exemplo de Algoritmo para média bimestral (A), Escrita em Python do algoritmo (B)	85
Figura 55	Blocos em Python	85
Quadro 12	Protocolo de Pesquisa	86

Figura 56	Exemplo de resultado obtido com Pandas	86
Figura 57	Exemplo de leitura de um arquivo JSON	87
Figura 58	Formato .json do arquivo base de pesquisa	88
Quadro 13	Algoritmo de Tratamento da base para análise	88
Quadro 14	Definindo variáveis amigáveis - Parte 1	89
Quadro 15	Definindo variáveis amigáveis - parte 2	90
Quadro 16	Relação Facilitadores e Instrumentos	91
Figura 59	Resultado da Função 'export' — Base Tratada	96
Figura 60	Janela inicial do Power BI	97
Figura 61	Janela de seleção do tipo de conexão	98
Figura 62	Janela de conexão com a base	98
Figura 63	Janela do Power BI com a tabela 'baseRSL' carregada	99
Figura 64	Exemplos de gráficos de Linha e Colunas agrupadas	100
Figura 65	Exemplos de gráficos de Colunas estacadas	101
Figura 66	Exemplos da visualização do tipo Gráfico de Donut, Matriz e Mapa	102

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificava	14
1.2	Limitações	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Tecnologia em AEC	16
3.2	Evolução das Tecnologias Computacionais na AEC	17
3.2.1	<i>Computer Aid Design (CAD)</i>	18
3.2.2	<i>Building Information Modeling (BIM)</i>	20
3.2.3	Indústria 4.0 e as Tecnologias Envolvidas	21
3.2.4	Realidade Virtual	25
3.2.5	Realidade Aumentada	30
3.3	Aplicação da Realidade Aumentada e Virtual na Construção Civil	35
3.3.1	Projeto	36
3.3.2	Construção	37
3.3.2.1	Acompanhamento de obra com auxílio da Realidade Aumentada	37
3.3.2.2	Auxílio em Obra	39
3.4	Revisão Sistemática de Literatura e ferramentas para desenvolvimento	40
3.4.1	Ferramentas utilizadas para a RSL	41
3.4.1.1	Apresentando o Zotero	41
3.4.1.2	Apresentando o Python	41
3.4.1.3	Apresentando Power BI	43
3.4.1.3.1	<i>Interface do Software</i>	43
4	METODOLOGIA	45
4.1	Etapas de Desenvolvimento da RSL	45
4.2	Fase 1: Planejamento e Formalização da Pesquisa	46
4.3	Fase 2: Execução da pesquisa	48
4.3.1	Levantamento e seleção das publicações	48
4.3.2	Triagem e Categorização das publicações selecionadas	48
4.4	Fase 3: Sumarização dos dados coletados	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53

6	CONCLUSÃO	69
6.1	Desenvolvimentos Futuros	70
	REFERÊNCIAS	71
	APÊNDICE A – TRATAMENTO DAS PUBLICAÇÕES NO ZOTERO, EXTRAÇÃO E TRATAMENTO DAS BASES	79
A.1	Definições dos "campos de informação" no Zotero	79
A.2	Extração dos Publicações	80
A.3	Tratamento da Base exportada	80
	APÊNDICE B – DESENVOLVIMENTO USANDO O PYTHON	83
B.1	Conceitos de programação em Python	83
B.2	Bibliotecas em Python utilizadas no desenvolvimento do <i>script</i>	86
B.3	Desenvolvimento do <i>script</i> de tratamento da base	87
	APÊNDICE C – CONEXÃO COM BASES E CRIAÇÃO DOS GRÁFICOS EM POWER BI	97
C.1	Estabelecendo conexão da fonte de dados com o Power BI	97
C.2	Criação dos gráficos no Power BI	99

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), tem-se vislumbrado mudanças e progressos nos métodos tradicionais utilizados na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). O uso dessas tecnologias, possibilita uma visão mais significativa dos projetos, modificando como a interação e a informação são compartilhadas entre todos os envolvidos, durante o ciclo de vida dos edifícios (FREITAS; RUSCHEL, 2013). Segundo pesquisadores do uso das tecnologias de RA e RV em AEC ((FREITAS; RUSCHEL, 2010); (JUNQUEIRA, 2021); (AGUIAR; BRANDÃO, 2021)), os recursos digitais podem facilitar de várias maneiras os processos de concepção e construção de edifícios. Em um projeto que seria basicamente desenvolvido em elementos 2D, estes recursos conseguem auxiliar os envolvidos a verificar inconsistências, falhas, antes e durante a etapa de construção, criando um sistema mais dinâmico, claro e interativo para os envolvidos.

Muitos são os casos de sucesso do uso das TICs durante o processo de construção, gestão, manutenção e desenvolvimento de edifícios. Para Feitosa (2019), nas últimas décadas a inclusão dessas inovações permitiram a elaboração de projetos e modelos digitais mais nítidos, de fáceis conferências quanto as não-conformidades, que possibilitam experienciar um ambiente mais realista. Mesmo com esses avanços, segundo Meža, Turk e Dolenc (2014), ainda existem diversas limitações no uso de modelos digitalizados em construção, pois esses exigem grande capacidade de processamento, e apresentam maior proveito em dispositivos com tela de tamanho razoável.

Com a evolução da capacidade de processamento de dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*, as tecnologias de Realidade Aumentada (RA) e Virtual (RV) destacam-se como possíveis soluções para esse problema, tendo um grande potencial de utilização no âmbito da AEC (AGUIAR; BRANDÃO, 2021). Segundo Tori, Kirner e Siscoutto (2006, p. 25), uma das definições de Realidade Aumentada é “o enriquecimento do ambiente real com objetos virtuais, usando algum dispositivo tecnológico, funcionando em tempo real, enquanto para Boas (2013), a Realidade Virtual visa criar um mundo virtual, imersivo e que permita a interação do usuário através de dispositivos que simulam o ambiente e estimulam os sentidos, para criar uma experiência virtual realista.

Nesse sentido, nota-se o potencial do uso dessas tecnologias para o avanço tecnológico e digital na AEC. Assim, o presente estudo visou realizar uma análise de publicações, a partir de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), sobre como a RA e RV estão sendo aplicadas em AEC, no ciclo de vida das edificações, nos últimos 11 anos. A primeira etapa da RSL foi a definição de palavras-chave e busca em três diferentes bases de pesquisa. Nessa etapa foi utilizado um gerenciador de referências bibliográficas, Zotero, para armazenar e categorizar as publicações analisadas. Para trazer um viés tecnológico que faça jus ao tema da pesquisa, foi utilizado, na segunda etapa da análise e quantificação dos dados, a linguagem de programação Python e o programa Power BI, para análise e geração dos gráficos.

Analisando as publicações, buscou-se responder quais práticas de maior destaque no uso das tecnologias de RV e RA, quais os Temas mais populares e quais os Instrumentos dessas tecnologias tiveram maior destaque nos últimos anos, em AEC. Dessa forma, este trabalho tem por intuito reunir

e analisar referências sobre o tema, observando as aplicações de RV e RA na engenharia, trazendo maior familiaridade sobre o assunto e servindo de embasamento para estudos e práticas futuras de pesquisadores e interessados no aprofundamento do tema.

1.1 JUSTIFICAVA

A escolha das tecnologias de Realidade Aumentada e Virtual para esse trabalho está diretamente atrelada a um interesse pessoal em análise de dados, linguagem de programação e as tecnologias de Realidade Aumentada e Virtual. Durante o estágio em uma empresa de tecnologia, o autor desenvolveu grande interesse por *business intelligence* (BI) e, como forma de desafio pessoal, propôs utilizar a ferramenta Power BI e a linguagem de programação Python para realizar uma revisão sistemática de literatura sobre as tecnologias de RV e RA.

Ainda como motivação, durante a graduação o autor teve a oportunidade de conhecer a Prof^a Dra. Márcia Regina de Freitas, que apresentou ao autor seu artigo, em conjunto a professora Regina Coeli Ruschel, "What is Happening to Virtual and Augmented Reality Applied to Architecture". Esse é um artigo de referência sobre RV e RA aplicado em Arquitetura e auxiliou nas definições dos parâmetros e objetivos desse trabalho. Apesar de não ser objetivo replicar o mesmo trabalho que as autoras, muito do desenvolvimento foi orientado por esse artigo.

1.2 LIMITAÇÕES

Algumas limitações devem ser pontuadas em relação ao alcance deste estudo. Esse trabalho é um recorte dos últimos 11 anos e o principal foco da análise foi nos grandes números. As publicações com menor expressão foram subtraídas e, quando possível, agrupadas em conjuntos maiores.

Este trabalho não utiliza um programa próprio de revisão de bibliográfica, como o StArt, do Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da UFSCAR, e nenhum tipo de planilha em "Microsoft Excel". Para armazenar e organizar as publicações analisadas foi utilizado um gerenciador de referências, Zotero. Assim, a quantidade de informação que pode ser armazenada dependeu da quantidade de campos disponíveis no programa. Dessa forma, foi exigido uma maior generalização dos Temas, dispositivos e Instrumentos estudados.

Outra limitação refere-se à complexidade do trabalho. O cerne do trabalho foi a utilização de Python para tratamento das informações exportadas do Zotero. Assim sendo, na etapa de geração dos gráficos em Power BI, evitou-se o uso de qualquer outra linguagem, como DAX ou "M" (linguagens nativas do Power BI). Essa decisão forçou que os gráficos tivessem baixa ou nenhuma complexidade, resumindo-os apenas ao estudo de volumetria, distribuição e aplicação de fórmulas estatísticas simples.

Foi disponibilizada, em Power BI *Service*, a base exportada das fontes científicas, as análises e os gráficos que suportaram os resultados desta pesquisa. Esses podem ser acessados através do link <<http://bit.ly/3DSkBQu>>. Contudo, essa é uma aplicação paga e requer que cada interessado tenha uma licença. Isso limitou o potencial de compartilhar informação do Power BI a apenas a geração dos gráficos deste trabalho.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho apresenta um estudo de revisão sistemática da literatura (RSL) sobre as aplicações das tecnologias de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) envolvidas na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), nos últimos 11 anos, para contribuir como base e fonte de informação para pesquisadores, desenvolvedores e interessados em aplicações neste campo de conhecimento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atingir o objetivo geral, buscar-se-á:

- Identificar e analisar a tendência do uso das tecnologias de Realidade Virtual ou Aumentada para a AEC, no Brasil e no mundo, entre os anos de 2011 as 2022;
- Analisar quais os setores da AEC mais incorporaram as tecnologias de Realidades Virtuais ou Aumentada;
- Verificar quais os Instrumentos de RV e RA são comumente aplicadas nas diversas áreas de AEC;
- Apontar quais as lacunas onde se encontram as oportunidades de novas pesquisas e desenvolvimento dentro deste escopo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este trabalho toma base em dois conceitos: Inovação e Tecnologia, Realidade Virtual e Realidade Aumentada envolvidas na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Estes serão, esclarecidos para poderem orientar nas respostas às questões de pesquisa levantadas.

3.1 TECNOLOGIA EM AEC

No Brasil, a partir da abertura do mercado nos anos 90, observou-se uma tendência de as empresas de construção investirem na incorporação de produtos tecnológicos (MARTINS; BARROS, 2005). Mesmo que, historicamente, este setor seja considerado como conservador, o desenvolvimento tecnológico e a inovação ocorrem lentamente (AGOPYAN, 2005).

De certa forma, esta lentidão está atrelada, segundo Junior (2008), a uma resistência dos profissionais envolvidos em assumir os riscos da incerteza em mudar o seu *status quo*. Somados a isso, outros diversos fatores, como a natureza multidisciplinar dos projetos, pesquisas por novos materiais e equipamentos e do envolvimento com múltiplas empresas, fazem com que a modernização da construção civil ocorra em um ritmo diferente de outros setores produtivos (JUNIOR, 2008).

Apesar dessa resistência, diversos eventos nos últimos anos promovem o contínuo interesse do setor em inovação, como o ingresso das construtoras e incorporadoras no mercado financeiro. Isto eleva os aportes financeiros para esse setor, além da facilidade de crédito em projetos governamentais, como foi o caso do "Minha Casa Minha Vida" e o "Programa de Aceleração do Crescimento", que proporcionaram mudanças e crescimento significativo (MARTINS; BARROS, 2005).

Os interesses em inovação tecnológica foram acelerados a partir do aumento do nível de exigências na qualidade das entregas dos projetos, ocorrida em 2005, com disponibilização de Instrumentos legais de apoio à inovação nas empresas, como a lei de incentivo fiscal à Pesquisa e Desenvolvimento (NIGRI; KUBOTA, 2008). Além de que, a inovação, segundo MARTINS e Barros (2005), pode representar uma vantagem competitiva e conduzir as empresas a uma posição de destaque frente a seus concorrentes.

Um exemplo de vantagem obtida ao agregar inovações tecnológicas nos canteiros de obra, segundo Junior (2008), é o aumento da produtividade, racionalização dos processos construtivos, redução do consumo de materiais e agilização de serviços, através de um melhor aproveitamento dos mesmos. Sendo, assim, de grande interesse para o mercado da construção, segundo MARTINS e Barros (2005), devido principalmente ao acirramento da concorrência entre as empresas do setor.

Em um ambiente competitivo, é exigido que as organizações desenvolvam melhorias e atualizações constantes para manterem-se no mercado. As empresas, então, recorrem a essas melhorias para fornecerem os melhores produtos, com maior qualidade e com preços atrativos ao consumidor, além de gerar compensações aos proprietários e acionistas (BEUREN; FLORIANI; HEIN, 2014). Segundo Junior (2008), nos últimos anos, diversas construtoras investiram na modernização dos meios de produção, observando-se a crescente industrialização nos canteiros.

3.2 EVOLUÇÃO DAS TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS NA AEC

Na seção anterior observou-se como, nos últimos anos, o aumento da competitividade e exigências do mercado por produtos de maior qualidade, redução do desperdício e agilidade, induziu a indústria da construção civil a repensar suas formas de produção. Nesse cenário, as empresas são induzidas ao desenvolvimento de inovação ou a sua incorporação para manterem a competitividade (COSTA; DUARTE; SCHIRMER, 2011).

Contudo, a inovação na construção civil depende do setor quanto à pesquisa de novos materiais e equipamentos (ARO; AMORIM, 2004). Os fornecedores de material representam uma importante fonte de inovação, quando se trata de desenvolvimento de novos produtos ofertados no mercado. Enquanto as construtoras adquirem e introduzem essas inovações nos canteiros de obra, colaborando, assim, para o aprimoramento dos processos de produção de edifícios (MARTINS; BARROS, 2005).

As inovações propostas, entretanto, quando aplicadas pontualmente, não surtem o efeito desejado. Sendo assim, é necessário tomar ações planejadas e elaboradas, de forma que representem grande valia para a racionalização, resultando em produtos de qualidade superior a baixo custo, implicando em maior lucro para as empresas (ARO; AMORIM, 2004).

Por outro lado, segundo Sabbatini (1989), a inovação tecnológica na construção civil ocorre ao se incorporar uma nova ideia que represente um avanço na tecnologia existente, resultando em melhor desempenho, qualidade ou redução do custo e desperdício de material. Dessa forma, entende-se que o aperfeiçoamento da produção dos edifícios é resultado do trabalho de pesquisa e desenvolvimento da tecnologia e inovação (BARROS, 1996).

Segundo Amorim (1996), as inovações podem ser classificadas em três níveis, cada qual com seus objetivos associados, como mostrado no Quadro 1:

Quadro 1 – Níveis e Objetivos da Inovação

Nível de Inovação	Objetivos associados principais
Produto (Um novo tipo de imóvel como prédios inteligentes)	Competitividade: prazos e variedade dos produtos
Processo (Insumos e equipamentos como novo tipo de revestimento ou novo equipamento de transporte)	Produtividade: controle e intensificação do trabalho
Organização (Novo modelo de gerência do trabalho e do projeto)	Flexibilidade: capacidade de adaptação a um mercado “mutante”

Fonte: Amorim (1996).

Assim, entende-se que a incorporação de inovações e tecnologias em AEC aumenta a produtividade e qualidade do projeto, e melhoraram o gerenciamento do processo construtivo para manter a competitividade e adaptabilidade do setor em um mercado dinâmico (AMORIM; CHECCUCI, 2008). Da perspectiva da indústria da construção civil, o projeto, além de prover instrumento de decisão sobre as características do empreendimento, é a etapa fundamental para o seu sucesso (FABRICIO; MELHADO, 2007). Nesse contexto, um ambiente competitivo torna inviável projetos de engenharia de longo tempo de desenvolvimento, explicando as exigências do mercado em mitigar o dispendioso

trabalho manual a favor da digitalização dos desenhos técnicos, nas fases posteriores à concepção do projeto (FREITAS; RUSCHEL, 2000).

Nesse sentido, observa-se a necessidade por ferramentas mais eficientes na solução dos desafios de manter um produto a baixo custo e tempo de desenvolvimento, mas mantendo os padrões de qualidade do mercado (NETO *et al.*, 2012). Historicamente, essas inovações surgiram nos anos 50, contudo apenas nos anos 80, com o desenvolvimento dos primeiros computadores pessoais, empresas como a *Autodesk* disponibilizaram os primeiros produtos de desenho em camadas, chamados de Desenho Assistido por Computador ou *Computed-Aided Design* (CAD). Estes, se utilizavam dos avanços tecnológicos do período, aplicando métodos computacionais pautados na matemática Euclidiana (AMARAL; FILHO, 2015).

Desde os primeiros produtos de CAD, inovações em termos de tecnologias nesse setor não pararam de surgir; nos anos seguintes foram atribuídas novas ferramentas e funcionalidades. Entre elas, a possibilidade de criação de objetos tridimensionais e integração com dados geográficos, *Geographic Information System* (GIS) ou Informações Geográficas. Essas inclusões resultaram em um modelo de informação em três dimensões, que seria a base da tecnologia BIM *Building Information Modeling* ou Modelagem de Informação da Construção (NETO *et al.*, 2012).

O gerenciamento correto do projeto, mitiga o aumento dos custos pela falta de otimização, e a existência de erros pela falta de detalhamento (NORONHA *et al.*, 2016). Nesse contexto, BIM surge como a inovação tecnológica do sistema de modelagem da informação em n-dimensões, tornando os projetos mais complexos, de natureza não apenas gráficas, e permite transmissão de toda informação necessária ao fluxo do empreendimento (BOTTEGA, 2012). Dessa forma, garantindo um aumento da produtividade, qualidade do projeto, melhoria do gerenciamento do processo construtivo e a comunicação entre os agentes envolvidos (AMORIM, 1996).

3.2.1 *Computer Aid Design* (CAD)

Os avanços sem precedentes da Tecnologia da Informação (TI) revolucionaram a forma de executar os projetos de arquitetura, processo até então manual. A aplicação do sistema *Computer Aid Desing* (CAD) propiciou mais qualidade, eficiência e agilidade e, a partir da sua ampla utilização, se tornou indispensável na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (NUNESA; LEÃO, 2018).

Os estudos em tecnologia CAD tiveram início no final de 1950, início de 1960, sendo o sistema *Sketchpad*, integrador de aparelhos de desenho e computadores em desenhos de duas e três dimensões, a base para o desenvolvendo de projetos. Contudo, no início, sistemas como *Sketchpad* eram protótipos caros, resultando que grande parte dos primeiros usuários da tecnologia CAD fossem companhias aeroespaciais, automobilística e eletrônicas. Por outro lado, com os desenvolvimentos tecnológicos nos anos de 1960 e 1970, com microcomputadores mais potentes, resultaram na diminuição dos custos com hardware e o aprimoramento do software, facilitando a maturidade da tecnologia CAD (KALE; ARDITI, 2005).

A tecnologia CAD vem evoluindo de uma ferramenta de automatização de desenho para uma ferramenta de comunicação, para um ambiente de projeto integrado e uma estrutura de dados. Um resumo breve, no Quadro 2, revela três gerações distintas da tecnologia CAD.

Quadro 2 – Gerações da Tecnologia CAD

Gerações do CAD	Evoluções Tecnológicas
Desenho Orientado ao Desenho	Ferramentas de automação e geração de desenhos simples. Desenhos são armazenados em um formato eletrônico, mas não reconhecem objetos de construção e edificação. Os desenhos impressos são interpretados da mesma forma que os desenhos realizados à mão.
Modelagem Geométrica	Descrição Matemática da geometria de um objeto. Definição de símbolos e <i>libraries</i> de elementos paramétricos. Componentes carregam informações em três dimensões.
Modelagem de Produto	Integração entre informação geométrica com dados não geométricos. Dados Geométricos incluem a definição do objeto em termos de superfícies ou sólidos tridimensionais, desenvolvidos pelo usuário ou pela base de dados de informações paramétricas. Dados Não Geométricos incluem informações sobre as características físicas do objeto, peso, material, força etc.

Fonte: Kale e Arditi (2005).

Os desenvolvimentos tecnológicos do CAD, apresentados pelas suas três gerações, apresentam uma série de oportunidades e poder de competitividade para as firmas de arquitetura. Segundo Kale e Arditi (2005), tais oportunidades são:

- Melhor comunicação com os clientes, construtoras, órgãos reguladores etc.;
- Melhor manuseio dos documentos;
- Aumento na qualidade dos desenhos;
- Maior eficiência na produção dos desenhos;
- Redução do tempo de produção dos desenhos;
- Simplificação e redução de tempo de alteração dos desenhos;
- Maior controle da informação;
- Maior consistência entre projetos;
- Poderosa forma de apresentação e visualização;
- Forma mais conveniente de armazenamento dos projetos para uso futuro.

Apesar de serem notáveis as vantagens do uso de CAD em AEC, o processo de desenvolvimento de edificações é, tradicionalmente, fragmentado e dependente do uso de desenhos 2D e, nesse contexto, erros e omissões nos documentos ocorrem frequentemente. Esses erros resultam em custos imprevistos, atrasos, falhas e inconsistências (SACKS *et al.*, 2021). Esses são um dos fatores que incitaram o desenvolvimento da Modelagem da Informação da Construção.

3.2.2 *Building Information Modeling (BIM)*

Da evolução da tecnologia CAD surge o *Building Information Modeling (BIM)*, visando integrar todos os processos de produção de uma edificação em um só modelo (COSTA; FIGUEIREDO; RIBEIRO, 2015). A metodologia é baseada na representação dos parâmetros exatos de uma edificação em um protótipo virtual, com informações detalhadas e geometria precisa.

Novas alterações no projeto são refletidas em todas as estruturas do mesmo, o que permite realizar uma análise mais profunda do processo de construção e a verificação de possíveis interferências (REZENDE, 2008), mitigando as falhas, reduzindo os custos e melhorando a qualidade do produto final.

Enquanto no sistema CAD, a geometria dos elementos é armazenada na forma de coordenada e as modificações são feitas manualmente, no BIM adotam-se modelos paramétricos dos elementos construtivos, permitindo alterações dinâmicas que refletem no projeto na totalidade, desde o desenho, tabelas e planilhas associadas ao projeto (REZENDE, 2008).

Dessa forma, os projetos realizados a partir da metodologia BIM dispõem de informações que superam a geometria do projeto e introduzem: relações espaciais, indicadores gráficos, quantidades e propriedades dos materiais e produtos empregados na produção da edificação etc. (REZENDE, 2008). Permite-se, assim, que em diversos estágios dos projetos seja possível: quantificar, planejar, coordenar e recuperar informações a qualquer momento da vida útil do empreendimento, além de ser possível simular os efeitos de diversas ações e verificar interferências no projeto (ADDOR *et al.*, 2010).

A construtora M. A. Mortenson Company, que tem usado extensamente o modelo BIM em seus empreendimentos (CAMPBELL, 2006), define BIM como sendo uma simulação inteligente da arquitetura, cujas principais características são seis, exemplificadas por Addor *et al.* (2010), sendo:

- **DIGITAL:** Não ser uma mera representação gráfica, ser paramétrica, tridimensional.
- **ESPACIAL:** Ter três ou mais dimensões para simular o processo.
- **MENSURÁVEL:** Ser quantificável, dimensionável.
- **ABRANGENTE:** Conter o máximo de informações da edificação, tais como comportamento dos sistemas, sequência executiva no espaço e no tempo, custos do projeto.
- **ACESSÍVEL:** A toda a cadeia produtiva, projetistas, construtoras, usuários, proprietários. Ser interoperável entre plataformas de softwares e hardwares.
- **DURÁVEL:** Que possa ser usada em todas as fases do empreendimento, projeto e planejamento, fabricação e construção, operação e manutenção.

Reitera-se, assim, que o BIM é a tecnologia das associações dos processos voltados para a produção da obra, comunicação e análise do modelo do edifício, na forma de dados organizados em três ou mais dimensões.

As dimensões do BIM referem-se a como os dados são vinculados a um modelo de informação. Cada dimensão e dado a ela associado, ampliam a compreensão do projeto, ou seja, como ele será

construído, quando sera construído, quanto custará etc. (PIASECKIENĖ, 2022). Ainda nos estudos de Piaseckienė (2022) são compiladas e apresentadas as principais considerações sobre as atuais dimensões do BIM, são elas:

- 1D — Processos e Gerenciamento;
- 2D — Modelagem bidimensional;
- 3D — Modelagem tridimensional, simulações, medições, planejamento do canteiro;
- 4D — Planejamento de Construção, cronograma, prazos, fases da obra e implantação;
- 5D — Planejamento de Custos, monitoramento e controle;
- 6D — Gestão de operações e manutenção do empreendimento;
- 7D — Sustentabilidade;
- 8D — Prevenção de Acidentes;
- 9D — Digitalização de edifícios existentes e conversão de dados digitalizados em modelos;
- 10D — Realidade Aumentada em construção.
- nD — Etc.

3.2.3 Indústria 4.0 e as Tecnologias Envolvidas

A evolução tecnológica é papel fundamental e compartilhado em todas as revoluções industriais dos últimos séculos, cada qual com seus próprios avanços no período. Na Primeira Revolução, a introdução das máquinas a vapor, dos teares mecânicos, culminando na centralização do processo de produção em fábricas; na Segunda Revolução tem-se a transformação do ferro em aço, melhorias no transporte, comunicação e produção em massa; e na Terceira Revolução, o desenvolvimento da automação, robótica, Internet, computadores e eletrônicos, a partir do surgimento do primeiro controlador lógico programável, dando início aos sistemas digitais (DRATH; HORCH, 2014).

Em 2011, durante a Feira de Hannover, na Alemanha, o governo alemão lançou um projeto denominado Plataforma Indústria 4.0, coordenado por um grupo público-privado, de um lado público, liderado por Henning Kagermann da Academia Nacional de Ciência e Tecnologia (Acatec) e, do outro lado, por Siegfried Dias da empresa Bosch (SACOMANO *et al.*, 2018).

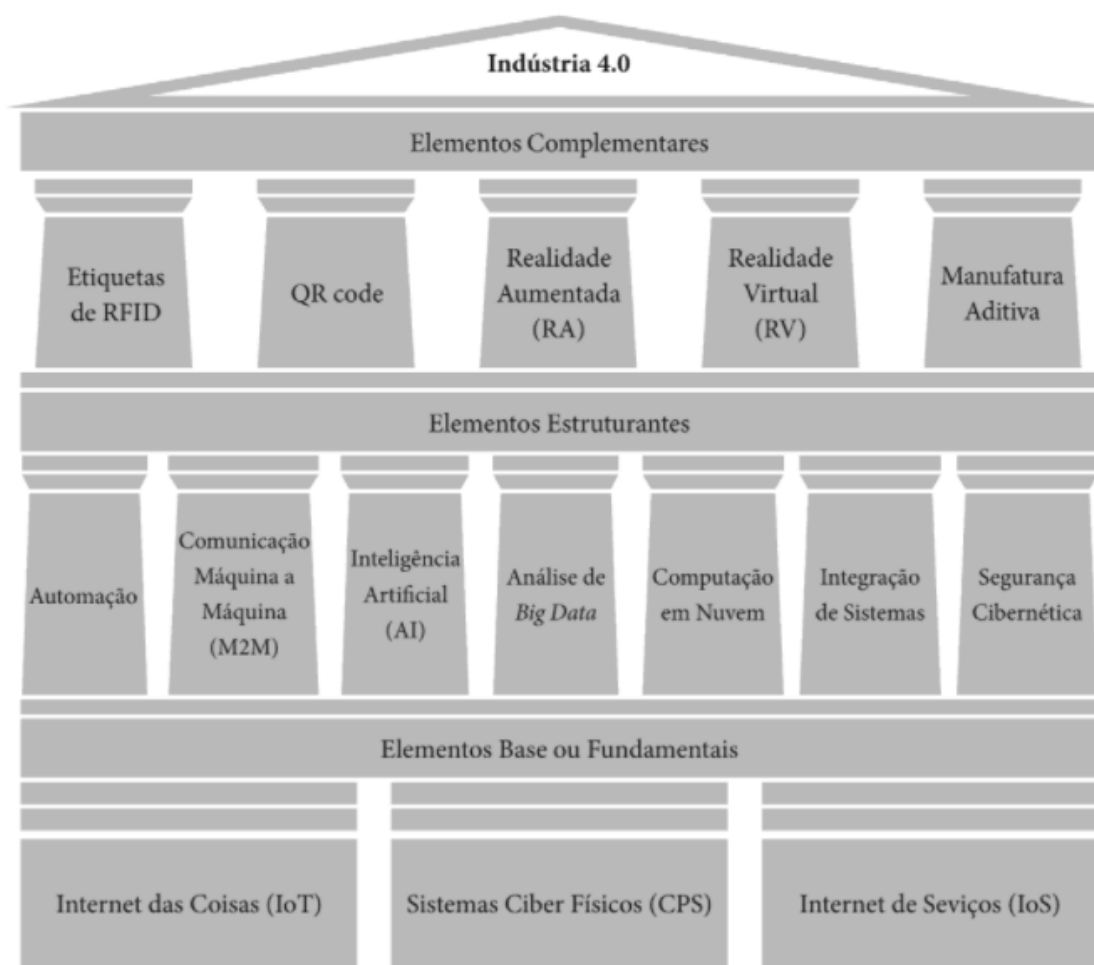
Nas palavras de Sacomano *et al.* (2018), o objetivo dessa nova plataforma é desenvolver alta tecnologia, de modo a fazer com que os sistemas automatizados que controlam os equipamentos industriais pudessem se comunicar, trocando, assim, informações/dados entre máquinas e seres humanos, visando otimizar todo o processo de produção.

De acordo com ??), Indústria 4.0 também é conhecida como *smart factory*, *intelligent factory*, *factory of the future*, manufatura avançada ou Quarta Revolução Industrial. Estes são os termos que descrevem a visão do que será a "fábrica no futuro". Dentre todas as revoluções industriais, a Quarta Revolução industrial introduziu novos patamares de produtividade, qualidade e gerenciamento

(SACOMANO *et al.*, 2018), possibilitando novas estruturas de negócio, modeladores da sociedade que vemos hoje.

Essa estrutura abrange um conjunto de tecnologias de ponta ligadas à Internet, cujo objetivo é tornar o sistema de produção mais colaborativo e flexível (SANTOS *et al.*, 2018). As suas bases tecnológicas são compostas por sistemas cibernéticos fundamentais como *Internet of Things* (IOT) ou Internet das Coisas, *Cyber Physical Systems* (CPS), Internet de Serviços (IoS); por elementos estruturantes como *Big Data*, Inteligência Artificial (IA), Automação; e os elementos complementares, Etiquetas de Identificação por Rádio-frequência ou RFID, QR Code, Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (RV), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Elementos formadores da Indústria 4.0



Fonte: Sacomano *et al.* (2018).

O desenvolvimento das tecnologias de informação (TI) nas últimas décadas e sua posterior integração aos processos de produção, permitiram, para os processos industriais, uma melhor relação custo/benefício (CHENG *et al.*, 2015), criando espaço para o desenvolvimento e pesquisa de novos processos e de uma nova mão de obra, mais especializada (EUROPEIA, 2016).

As novas estruturas de informação possibilitam a interconexão entre diversos dispositivos, ampliando a informação guiada por estruturas de comunicação inteligentes, os *tablets*, celulares, estruturadas a partir dos softwares. Esses sistemas são os responsáveis pelos ambientes de fábricas inteligentes do

futuro (SANTOS *et al.*, 2018).

Os princípios básicos da Indústria 4.0 ou princípios de *design*, ou "*design principles*", por apresentarem um conjunto de tecnologias difusas, podem ser divididos em seis categorias (HERMANN *et al.*, 2015), sete (RUPPERT *et al.*, 2018) ou mesmo doze categorias (GHOBAKHLOO, 2018). O Quadro 3 apresenta esses princípios.

Quadro 3 – Princípios básicos da Indústria 4.0 na literatura

Autores	<i>Design Principles</i>
Hermann <i>et al.</i> , 2015	Interoperabilidade; virtualização; descentralização; controle em tempo real; Orientação a serviço; modularização.
Ruppert <i>et al.</i> , 2018	Interoperabilidade; virtualização; descentralização; Personalização de produto; Responsabilidade social corporativa; modularização; Integração de sistemas.
Ghobakhloo, 2018	Interoperabilidade; virtualização; descentralização; personalização de produto; responsabilidade social corporativa; modularização; Orientação a serviço; Produto Inteligente (<i>smart</i>); Fábrica inteligente (<i>smart</i>); controle em tempo real; Integração Vertical; Integração Horizontal.

Fonte: Adaptado de Hermann *et al.* (2015), Ruppert *et al.* (2018) e Ghobakhloo (2018).

Os seis princípios de Hermann *et al.* (2015) podem ser explicitados como:

- **INTEROPERABILIDADE:** permite que organizações e diversos sistemas trabalhem em conjunto.
- **VIRTUALIZAÇÃO:** com auxílio de sensores, é possível realizar o monitoramento remoto de todos os processos realizados na indústria.
- **DESCENTRALIZAÇÃO:** a partir da virtualização, é possível descentralizar a tomada de decisão, permitindo a operação à distância, seja por um profissional ou sistema *cyber* físico, das necessidades de produção, em tempo real, com ajuste das variáveis de controle.
- **CAPACIDADE EM TEMPO REAL:** Em um sistema integrado, ou seja, cujas variáveis de entrada ou "*input*" são recebidas automaticamente, é possível realizar as análises em tempo real por um gestor, permitindo, assim, que as decisões sejam tomadas mediante aos cenários analisados nos dados.
- **ORIENTAÇÃO A SERVIÇO:** Os sistemas podem ser alinhados com os objetivos do negócio e da organização, permitindo a integração entre os diversos setores e departamentos do empreendimento, culminando na simplificação e agilidade dos processos.
- **MODULARIDADE:** É possível agilizar os processos de produção com o acoplamento de módulos de produção, a partir das análises de demandas por etapa.

Em um contexto geral, a Indústria 4.0 prevê a integração entre os humanos e as máquinas, ao nível global, sem barreiras geográficas (PEREIRA; SIMONETTO, 2018). Nesse cenário, questões sobre

segurança digital, base e estrutura tecnológica, e mão de obra qualificada tornam-se os novos desafios a serem encarados pelas empresas no setor de tecnologia (PEREZ, 2010).

Pesquisas apontam a importância no desenvolvimento de estudos de métodos ou inovações tecnológicas que melhorem o desempenho do setor da construção civil ((OLIVEIRA *et al.*, 2010), (POZIN; NAWI; ROMLE, 2016), (AIBINU; PAPADONIKOLAKI, 2020), (ZHAN; PAN, 2020)). Para este trabalho, abordou-se as tecnologias nas áreas da Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV), como inovações em construção civil para melhoria, dinamização e desenvolvimento dos empreendimentos.

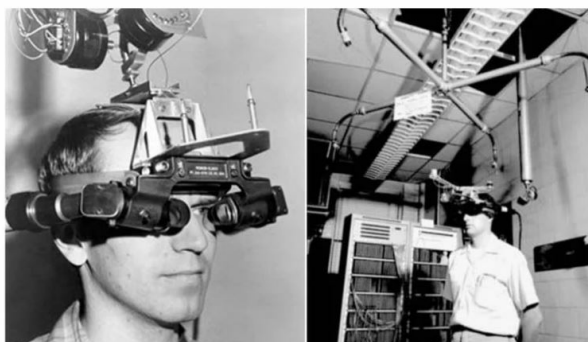
Os primeiros exemplos desta tecnologia remetem aos anos 50, com a publicação do livro *The Cinema of the Future* de Heilig (1955), que retrata um aparelho capaz de simular diversos sentidos simultaneamente, chamado “Sensorama” (Figura 2). Nesse mesmo período, Ivan Sutherland (1965) publica o trabalho “*Ultimate Display*”, que conceitua um *display* que auxilia o usuário a ver e interagir com objetos virtuais (Figura 3), também envolvendo estímulos físicos. Diferentemente do projeto de Heilig, o projeto de Sutherland é um dos primeiros sistemas *Head-mounted display* (HMD) de RV e RA, definido como o marco da história da RV, o que definiu o conceito de imersão (RIBEIRO; ZORZAL, 2011).

Figura 2 – Pôster de divulgação do Sensorama



Fonte: Options (2008).

Figura 3 – Primeiro sistema de Head-mounted displays, The Sword of Damocles por Ivan Sutherland



Fonte: ACIID (2020).

No período dos anos 80 a 90, os avanços tecnológicos refletiram positivamente para o desenvolvimento de inovações na área da Realidade Virtual. Contudo, a necessidade de equipamentos como luvas, óculos e capacetes afetaram a popularidade dessa tecnologia. Ainda nesse mesmo período, surgiu também a Realidade Aumentada, que permitia interações entre o ambiente físico e virtual sem que fossem necessários equipamentos especiais (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006).

Nos anos 80, a Força Aérea Americana criou o simulador "Super Cockpit", sendo um dos primeiros registros de RA no período. Este funcionava com um capacete de visão óptica, permitindo que os pilotos tivessem uma visão aumentada com informações sobre o avião (RIBEIRO; ZORZAL, 2011).

Os conceitos de Realidade Virtual e Aumentada são estudados há muito tempo, como pode-se notar. Contudo, somente a partir das evoluções tecnológicas recentes e significativas, que os estudos e aplicações foram aprofundados, contribuindo com avanços industriais da atualidade. Não obstante, no setor da construção civil, há estudos que indicam o potencial destas tecnologias nos empreendimentos e nos canteiros de obras (JUNQUEIRA, 2021).

Para entender a importância da Realidade Virtual e Aumentada para a construção civil é necessário entender, primeiramente, seu funcionamento.

3.2.4 Realidade Virtual

Realidade Virtual (RV) está no campo da computação e visa criar um mundo virtual, imersivo e que permita a interação do usuário através de dispositivos que simulam o ambiente e estimulam os sentidos, para criar uma experiência virtual realista (BOAS, 2013).

Existem diversos grupos com ideias divergentes sobre a abrangência do termo Realidade Virtual. Contudo, podemos entender esta tecnologia a partir da divisão dos seus termos, "virtual", como aquilo que é em essência ou efeito, mas não um fato, e "realidade", tentando evitar a discussão filosófica complexa por trás, como algo que pode ser distinguido de algo meramente aparente (SHERMAN; CRAIG, 2018). Nesse sentido, é mais condizente analisar RV do ponto de vista de "algo que exista e possa ser experienciado", do que da perspectiva de uma única definição (PRATSCHKE, 2000).

Os elementos-chave para a experimentação da Realidade Virtual, ou qualquer realidade, são três: a Imersão, Interação e a Simulação. A Simulação abrange o conceito de Mundo Virtual, representado por uma coleção de objetos no espaço e as regras que os governam (SHERMAN; CRAIG, 2018).

O elemento Imersão é entendido e medido a partir da sensação da ausência da descrença da não-realidade (BOAS, 2013), ou seja, é proporcional à percepção do ambiente pelo usuário, que através das suas ações e senso físico, moldam o ambiente virtual (JUNQUEIRA, 2021).

Nesse contexto, a imersão pode ser enxergada por dois espectros, a imersão física e mental. Enquanto a mental representa o estado de estar engajado no ambiente, ou seja, há a ausência da descrença da não-realidade, a imersão física refere-se à imersão do corpo a partir de estímulos sintéticos (SHERMAN; CRAIG, 2018).

Ainda do ponto de vista da Imersão, a comunidade de RV abraçou também o termo "Presença". Esse termo corresponde à característica de poder se sentir presente em algum lugar diferente da sua localização, ou a capacidade de estar ciente do ambiente a nossa volta, através do senso tátil (BOAS, 2013).

Para que um ambiente de RV pareça autêntico, de alguma forma ele deve responder às ações dos usuários e possibilitar a mudança dos pontos de vista no mundo virtual. O elemento "Interação", corresponde, então, à capacidade dos usuários de interagir com os objetos, movendo-os e mudando de local (SHERMAN; CRAIG, 2018).

Os ambientes colaborativos, ou seja, de interação com outras pessoas, são uma extensão do elemento de Interação e referem-se a um sistema com muitos usuários interagindo no mesmo espaço virtual ou simulação, presente ou remotamente (SHERMAN; CRAIG, 2018). As possibilidades de comunicação remota permitem a terceirização de problemas complexos ao nível internacional, além de permitir a integração do time de projetos de diversos espaços geográficos (TRUONG *et al.*, 2021).

Para experienciar o Mundo Virtual é necessário o uso de um Sistema de RV, um conjunto de sistemas integrados de software e hardwares que produzem a experiência em Realidade Virtual. Esse sistema, permite o operador interagir com os objetos virtuais imersivamente (SHERMAN; CRAIG, 2018).

Existem três tipos de Sistemas de RV, Quadro 4, os "não imersivos", como ambientes que se utilizam apenas de monitores e telas; os "imersivos", sendo estes os que permitem o usuário desfrutar de uma experiência mais realista, com alta qualidade de gráficos; e os "semi-imersivos", um intermédio entre as duas outras (BOAS, 2013).

O desenvolvimento de um sistema de Realidade Virtual depende do envolvimento de um determinado número de fatores como: comunicação de rede, criação de ambientes virtuais, além da própria atuação dos usuários do sistema. Os elementos essenciais para o sistema são os dispositivos de entrada e saída, as bases de dados dos objetos virtuais e os softwares de Realidade Virtual para criação e projeção do ambiente virtual (PRATSCHKE, 2000).

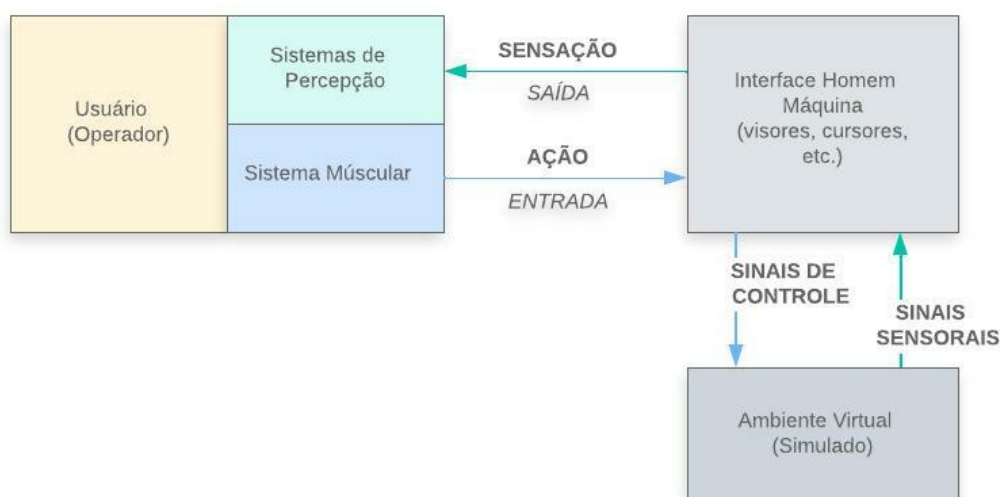
Em termos técnicos, a criação de um Sistema de RV consiste em três bases: o usuário, a interface homem-máquina e um computador, conforme a Figura 4. Os movimentos do sistema muscular do usuário, no mundo real, são convertidos pela interface homem-máquina (dispositivos de entrada) em sinais de controle atuados diretamente no mundo virtual, alterando seus parâmetros. Em resposta, o ambiente virtual responde ao estímulo do usuário através de sinais sensoriais que, novamente, são convertidos pela interface (dispositivo de saída) em sensações que atingem o sistema de percepção do operador (PASQUALOTTI, 2002).

Quadro 4 – Sistemas Imersivos de RV

Tipos de Sistema	Nome	Descrição
Sistema Não Imersivo	Sistema de Janelas	A tela do computador é uma janela ou portal para o mundo tridimensional.
Imersivos	Sistemas Virtuais Imersivos	Usuários utilizam dispositivos, como capacetes estereoscópicos, que garantem um certo número de sentidos gerados por computador.
	Sistema de Cavernas	Usuários entram em salas ou cômodos com projeções quase contínuas do mundo virtual, em grandes telões. Óculos 3D são utilizados para potencializar o sentido de espaço.
Semi-Imersivos	Sistema auxiliado por veículo	Usuários entram no que seria um veículo e operam controles que simulam o mundo virtual. Frequentemente projetado em telas. Ex: Simuladores de Voo.
	Sistemas de Espelho	Usuários olham para telas de projeção e enxergam sua própria imagem no mundo virtual. Através da utilização de equipamentos de captura de imagem e computadores que sobrepõem a imagem do usuário no fundo gráfico.

Fonte: Adaptado de Pratschke (2000) e Boas (2013).

Figura 4 – Funcionamento do Sistema de Realidade Virtual



Fonte: Adaptado Pasqualotti (2002).

As tecnologias em RV são compostas de um conjunto de dispositivos de entrada e saída. Os dispositivos de entrada são relacionados às funções motoras do seu operador, enquanto os dispositivos de saída estão relacionadas às funções sensoriais, ou seja, que ligam o computador aos sentidos humanos, com foco na presença e imersão como objetivo final (PRATSCHKE, 2000).

Nos estudos de Boas (2013) e Pratschke (2000) são apresentados estes dois conjuntos de dispositivos de Realidade Virtual. Boas (2013) define da mesma forma que Pratschke (2000) o conceito de

"Dispositivo de Entrada", que o primeiro chama de *Input Devices*, ou seja, dispositivos que fornecem informações e dados sobre o movimento do usuário, para a máquina. Enquanto Pratschke (2000) define que o "Dispositivo de Saída" pode ser entendido como a forma que as funções sensoriais recebem e processam as interações do usuário com o Mundo Virtual. Nesse sentido, pode-se afirmar que se um dispositivo de Realidade Virtual contribui, tanto para a *input* de informação do movimento do usuário quanto para as funções sensoriais da interface homem-máquina, esse dispositivo é, então, de entrada e saída.

De acordo com Boas (2013), existem diversos tipos de dispositivos de Realidade Virtual e os mais comuns e próximos da realidade comercial são: *Head-Mounted Display (HMD)*, *Cave Automatic Virtual Environment (CAVE)*, *Wired gloves*, *Wands* e *Computer Vision*.

Os dispositivos de *Head-Mounted Display (HMD)* consistem em sistemas com *displays* acoplados a um dispositivo de cabeça, cobrindo os olhos e um dispositivo auricular (BOAS, 2013). Neste sistema, o usuário pode visualizar as imagens diretamente no dispositivo, que também acompanha os movimentos da cabeça e podem emitir sons estéreos, que contribuem para os sentidos e localização do usuário no mundo virtual (JUNQUEIRA, 2021). Como exemplo, tem-se o Samsung HMD Odyssey, Figura 5.

Figura 5 – "Samsung HMD Odyssey", *Head-mounted display* da empresa Samsung



Fonte: Brasil (2019).

AS CAVES ou RV de Projeção, consistem em salas, cujas paredes são projetadas com imagens estereoscópicas, na qual o usuário pode interagir com os objetos virtuais sem estar no mundo virtual (BOAS, 2013). Um dos dispositivos mais conhecidos é chamado de *VideoPlace*, Figura 6, desenvolvido por Myron Krueger nos anos 70. Em seu sistema, Krueger capturava a imagem do usuário e projetava este na tela, com a projeção da Realidade Virtual (JUNQUEIRA, 2021).

Wired Gloves e *Wands* são equipamentos projetados para trazer maior fluidez na interação homem-máquina (JUNQUEIRA, 2021). Estes podem ser agrupados, pela definição apresentada por Pratschke (2000), em dois tipos distintos de dispositivos de RV, respectivamente, os Dispositivos "Táteis" e os "*Forced Feedback*".

Figura 6 – "The Mechdyne CAVE"



Fonte: Mechdyne (2020).

Os Dispositivos Táteis têm por função, simular, como o nome diz, as sensações táteis de superfície, incluindo a resistência material e física, chamados de interfaces hápticas, por exemplo, as *Wired Gloves*, capazes de medir o ângulo das articulações e pressões dos dedos, Figura 7a. O grande interesse por essa interface reside na necessidade de se por a mão ou tocar, como parte de sentir a presença de algo ou alguém (PRATSCHKE, 2000).

Os Dispositivos de *Forced Feedback* replicam a sensação da reação de uma força aplicada a um objeto virtual. Podem ser obtidos pela transmissão da sensação de colisão com uma superfície, ou deslocamento no objeto, entre outros (PRATSCHKE, 2000). O equipamento mais comuns desse tipo é o *Joysticks* ou *Wands*, Figura 7b. Esses são controles de movimento com sensores infravermelhos, acelerômetros e giroscópio, que juntos transmitem informações dos eixos e inclinação para o ambiente virtual (BOAS, 2013).

Figura 7 – *Wired Gloves* e *Wands*

(a) Luva háptica, desenvolvida por *Reality Labs Research* (b) "PlayStation Move", controle de movimento da Sony



Fonte: Meta (2021).



Fonte: Sony (2021).

Outra forma de interação com o ambiente virtual, através do movimento do operador, se dá a partir

do uso de câmeras para reconhecimento de modelos e identificação de movimento. Um dispositivo famoso no mercado com essa tecnologia é o Microsoft Kinect, Figura 8. Sua principal função é a utilização de câmeras que permitem o reconhecimento da face e um sensor de profundidade que permite escanear o ambiente a volta. Além disso, dispõem de microfones e *microchips*, responsáveis por acompanhar e reconhecer os movimentos do usuário (BOAS, 2013).

Figura 8 – "Sensor de movimento — Microsoft Kinect"



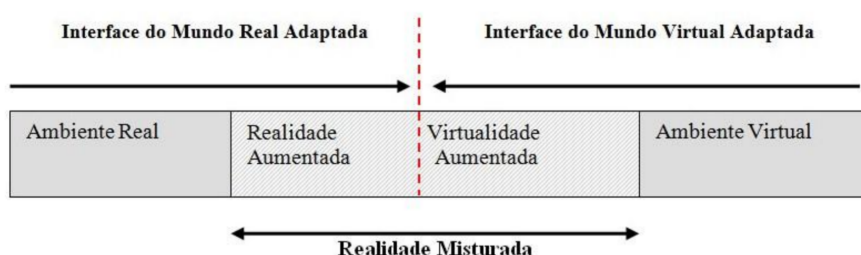
Fonte: Microsoft (2010).

3.2.5 Realidade Aumentada

Enquanto a Realidade Virtual transporta o usuário para o ambiente virtual, a Realidade Aumentada transporta o usuário do ambiente virtual ao físico. Essa tecnologia, permite inserir elementos virtuais em ambientes reais, assim, modelos geométricos digitais integrados ao real têm maior versatilidade, visibilidade e melhoram a percepção espacial (FREITAS; RUSCHEL, 2010).

A Realidade Aumentada está incluída no que se convém chamar de Realidade Misturada, Figura 9 (JUNQUEIRA, 2021). Esta, no que lhe concerne, apresenta dois extremos: a Realidade Aumentada, próxima ao ambiente real e a Virtualidade Aumentada, próxima ao ambiente virtual. Não se sabe em que momento ocorre a transição entre a Realidade e a Virtualidade Aumentada, mas como o usuário interage com o Mundo Virtual define em qual dos extremos da Realidade Misturada essa interação pode ser englobada (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006).

Figura 9 – Ambiente da Realidade Misturada



Fonte: Tori, Kirner e Siscoutto (2006).

Se o usuário interage com os objetos virtuais da mesma forma como os objetos reais, ele estará inserido no ambiente de Realidade Aumentada. Contudo, se este interage com os objetos reais e virtuais através do uso de dispositivos de Realidade Virtual, este encontra-se no ambiente de virtualidade aumentada (TORI; KIRNER; SISCOOTTO, 2006).

A Realidade Aumentada, então, pode ser definida como um sistema que combina o real com o virtual, em tempo real, e ajusta elementos e objetos virtuais no ambiente 3D (RIBEIRO; ZORZAL, 2011). Ainda, RA pode ser definida como o enriquecimento do mundo real com informações virtuais (imagens

dinâmicas, sons espaciais, sensações hápticas) geradas por computador, em tempo real, e devidamente posicionadas no espaço 3D, percebidas por dispositivos tecnológicos (KIRNER; SISCOOTTO, 2007).

Os dispositivos utilizados em RA permitem ao usuário interagir com os elementos virtuais, enquanto faz parte do mundo real, aprofundando assim sua percepção de estar em um ambiente gerado em computador (FREITAS; RUSCHEL, 2010). Ao adicionar objetos virtuais no ambiente real, RA diminui a dificuldade de localização do usuário no espaço. Os operadores têm maior noção do ambiente em que estão inseridos, com a possibilidade de utilizar suas mãos para mover os objetos virtuais (KIRNER; TORI, 2004).

Um Sistema de Realidade Aumentada é constituído de cinco componentes principais: computador para renderização e dispositivo misturador (*mix*) entre as imagens do ambiente virtual e real, um sistema de telas ou *Head Mounted Display* (HMD), um sistema de rastreamento, sistema de sensores (câmeras) e um dispositivo de entrada ou *input* adicional (teclado, *mouse* etc.) (HÖHL, 2009).

Existem diversos dispositivos de visualização utilizados em sistemas de RA e Höhl (2009) os destaca como dispositivos de: *Video see through* (VST), *Opticall see through* (OST), *Projective AR* (PAR) e *Monitor AR* (MAR). Bimber e Raskar (2005) categorizam os dispositivos de visualização como *head-attached displays*, *hand-held displays* e dispositivos espaciais.

Os *head-attached displays*, referem-se a sistemas de visualização utilizados na cabeça, divididos em três tipos: os *head-mounted displays* (HMD), *head-attached projectors* e os dispositivos de retina. Sendo os HMDs, os dispositivos mais usados para aplicações de RA, permitindo que o observador tenha uma visão combinada do ambiente virtual com o mundo ao seu redor (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012).

Os dispositivos de HMD podem ser divididos em duas tecnologias diferentes, os *Opticall see through* (OST), (Figura 10A), e os *Video see through*, VST (Figura 10B). Os sistemas OST, basicamente, utilizam lentes que permitem ao usuário assistir o mundo real com a projeção do mundo virtual nas lentes posicionadas em frente aos seus olhos. Enquanto os sistemas de VST utilizam câmeras de vídeo que fornecem ao usuário uma visão do mundo real. Nessa tecnologia ocorre a combinação das imagens virtuais e o vídeo da câmera, gerando assim uma cena misturada entre o mundo real e virtual (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012).

Os *hand-held displays*, referem-se a sistemas de visualização móveis, como *smartphones* e *tablets*. Nos dispositivos móveis são embutidos o processador, a memória, a visualização (telas), GPS, tecnologia de interação, compasso digital. A captura do ambiente real ocorre através da câmera e a informação das imagens capturadas é processada e misturada ao ambiente virtual, antes de serem exibidas ao usuário (BIMBER; RASKAR, 2005).

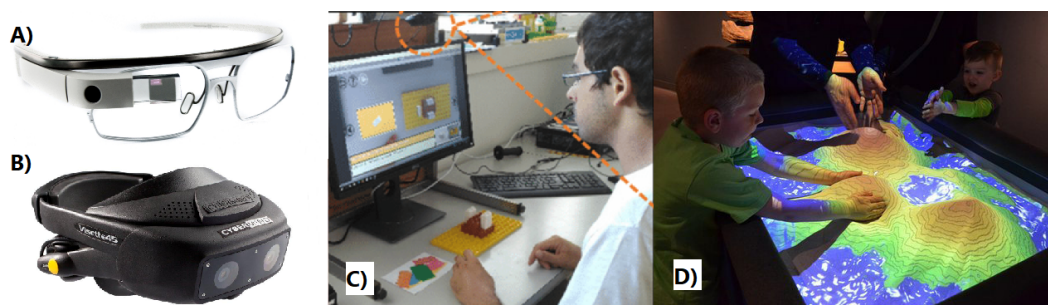
Existem diversos *kits* de desenvolvedores, ou SDK, que auxiliam no desenvolvimento de RA em *smartphones* e *tablets*. Estes *kits* ampliam o uso desses equipamentos para RA e geram diversas novas oportunidades de aplicação da tecnologia (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012). Um exemplo de SDK, muito popular na comunidade de RA, é a biblioteca ARToolKit. Uma biblioteca sem fins lucrativos, lançadas em 2001, que fornece soluções de rastreamento 3D, em tempo real a baixo custo operacional (LEPETIT *et al.*, 2005).

Os dispositivos espaciais, diferentemente dos dispositivos anteriores, nos quais os usuários necessi-

tam de algum equipamento para interagir com os elementos virtuais, não requerem que o usuário use ou vista algum tipo de equipamento. Nessa categoria, de acordo com Höhl (2009), temos os: *Monitor AR*, Figura 10C, e *Projective AR* (PAR), Figura 10D.

Os dispositivos de *Projective AR* utilizam projeção frontal para projetar uma imagem diretamente nos objetos físicos, e o *Monitor AR* recorre a câmeras que captam o mundo real. As imagens captadas são processadas e misturadas com a imagem virtual e projetadas em um monitor ou tela plana. Esses são dispositivos de baixo nível de imersão e comum por não demandar o uso de equipamentos dispendiosos, apenas um computador, câmera e monitor (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012).

Figura 10 – Exemplos de *Optical see through* (A), *Video see through* (B), *Monitor AR* (C) e *Projective AR* (D)

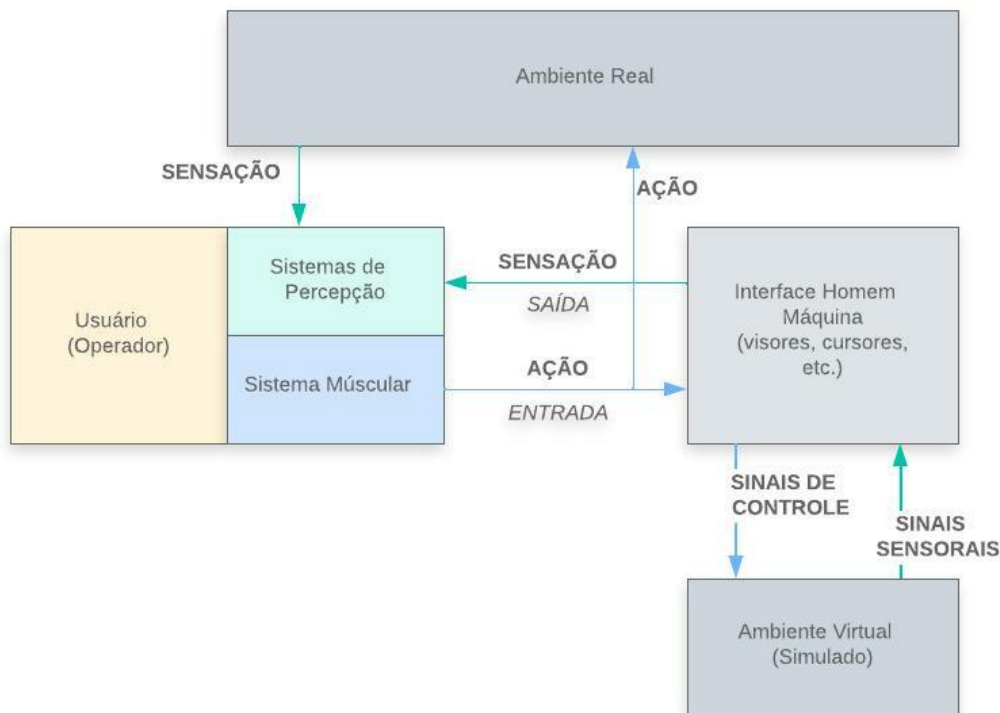


Fonte: Mashdigi (2014) (A), Cinoptics (2014) (B), Alves *et al.* (2022) (C) e Shushan (2018) (D)

De acordo com Pasqualotti (2002), o funcionamento do Sistema de Realidade Aumentada é muito similar ao sistema de RV, contudo agora tem-se a inclusão do ambiente real, Figura 11. As ações do usuário geram impacto no ambiente real que responde ao estímulo, impactando o sistema de percepção do operador. Geralmente, utilizam-se óculos ou capacete com visor semitransparente (exemplo Figura 12), de forma que a visão do ambiente real possa ser sobreposta com informações do ambiente virtual.

Todos os Facilitadores que utilizaram a tecnologias de RA apresentados têm um ponto comum: a mistura entre as imagens no mundo virtual e real, mas para isso são necessários métodos para determinar a posição dos objetos virtuais no mundo real. Pasqualotti (2002) aponta que, para o sucesso da interação com os sistemas de RA, é importante o registro da posição dos rastreadores e (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012) apontam que o registro correto e consistente entre os objetos virtuais e o ambiente real é uma das tarefas mais importantes e desafiadoras da RA.

Figura 11 – Funcionamento do Sistema de Realidade Aumentada



Fonte: Adaptado Pasqualotti (2002).

Figura 12 – Exemplos de Dispositivo *Video see through* - Microsoft Óculos Hololens 2

Fonte: Adaptado Microsoft (2022).

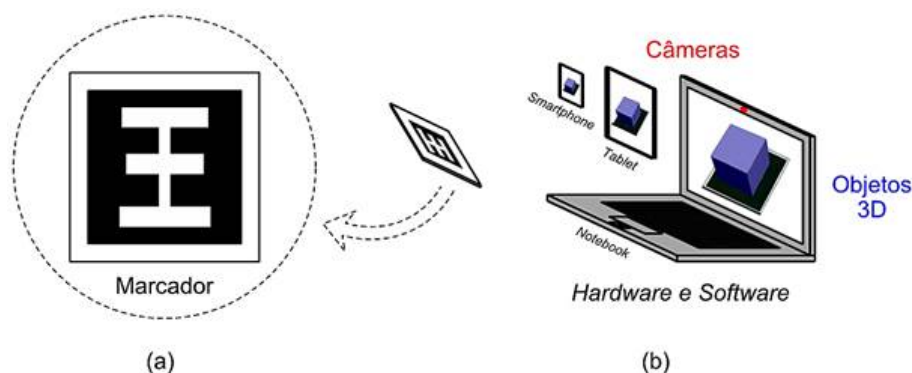
Bimber e Raskar (2005) destacam a utilização de marcadores, sistema de posicionamento global (GPS) e sensores infravermelhos para essa tarefa de identificar a posição da mão, da cabeça, de objeto ligado ao usuário e até ele mesmo. Dessa forma, por exemplo, o usuário tem controle do objetivo virtual, movendo-o, soltando (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012).

Um tipo de rastreamento de baixo custo, utilizado por dispositivos móveis, é o rastreamento óptico. Esse tipo de rastreamento permite extrair a posição e orientação de marcadores, e de forma rápida, utilizando apenas uma câmera simples (BIMBER; RASKAR, 2005).

Os marcadores são imagens com um determinado padrão visual que pode ser interpretado e reconhecido por um sistema de RA, conforme Figura 13, fornecendo informações sobre a orientação

e a posição de objetos virtuais na cena. Nesse modelo, o usuário, ao manipular o marcador, executa ações nos objetos apresentados em cena (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012).

Figura 13 – Sistema de RA com marcadores



Fonte: Souza *et al.* (2016).

A vantagem do uso de marcadores é sua precisão. Com seu uso é possível fornecer ao sistema, informações precisas de orientação e localização dos pontos no espaço real. Os marcadores podem ser de dois tipos, os fiduciais e os naturais. Enquanto os fiduciais, Figura 14, possuem um padrão gráfico em preto e branco, os marcadores naturais podem ser um objeto físico ou até mesmo uma fotografia (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012).

Figura 14 – Marcador Fiducial

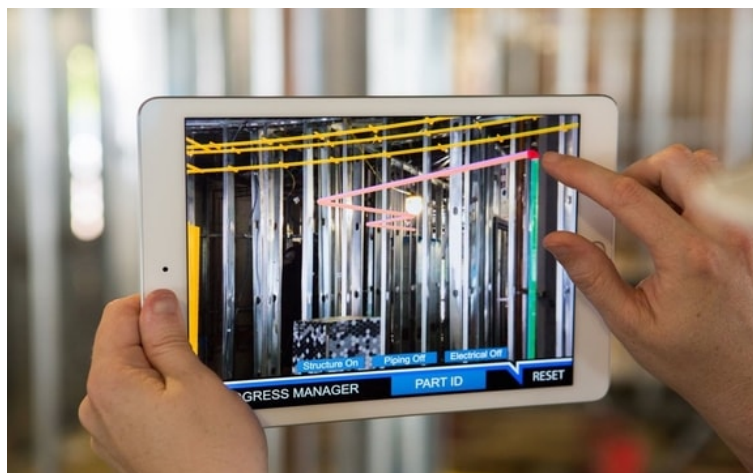


Fonte: Moraes, Silva e Mendonça (2017).

Marcadores são mais comuns em sistema de RA em ambiente fechado; para ambientes externos é utilizado sinal de GPS para rastrear a posição do usuário (CUPERSCHMID; FREITAS; RUSCHEL, 2012). A utilização do GPS é uma solução de rastreamento que não requer marcadores, ou seja, não necessitam de um elemento 2D para associação do ambiente virtual e real (BIMBER; RASKAR, 2005). Nessa tecnologia, as informações são transferidas e atualizadas em tempo real, de forma que o usuário possa se mover no ambiente enquanto sua posição é transmitida para a interface homem-máquina através do sinal de GPS (BONSO; CHANDLER, 2022).

A Realidade Aumentada, ao manter o indivíduo presente no espaço virtual, enquanto lhe dá senso de presença no mundo real, tem grande impacto na tendência do uso dessa tecnologia. Para permitir a liberdade de movimento do usuário no ambiente real, o uso de recursos ópticos e projeções tornaram-se de crescente interesse nas aplicações em Realidade Aumentada (RIBEIRO; ZORZAL, 2011), como exemplo mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Exemplo de Realidade Aumentada com auxílio de *tablet*



Fonte: Construa (2019).

Tendo apresentadas as tecnologias de RA e RV, um último adendo deve ser considerado. A integração entre ambas as tecnologias pode ser englobada no que foi definido por Milgram *et al.* (1995) como Realidade Mista. Milgram e Kishino (1994) definem a Realidade Mista como “... uma subclasse particular de tecnologias relacionadas à RV que envolve a fusão dos mundos real e virtual.” Essa tecnologia, engloba ambientes virtuais, virtualidade aumentada, realidade aumentada e ambientes reais. Segundo Kato *et al.* (1999), Realidade Mista é entendida como uma integração transparente ao usuário (*seamless*) entre os mundos real e virtual.

3.3 APLICAÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA E VIRTUAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Dadas as ponderações apresentados nesse trabalho, é possível verificar as crescentes formas de facilitar e dinamizar as atividades dos profissionais nas áreas de construção civil, desde o desenvolvimento dos sistemas CAD e BIM, de softwares que auxiliam nas reproduções de projetos e que melhoram a reprodução e visualização de projetos tridimensionais, como o AutoCAD e Revit da Autodesk.

Nas últimas décadas, o desenvolvimento dos ambientes virtuais permitem que, facilmente, projetos e maquetes 3D sejam elaboradas, contribuindo com projetos mais nítidos, conferência de não conformidades entre projetos, além de permitir o usuário a realizar *tours* no ambiente de projeto, com alto nível de imersão (FEITOSA, 2019).

Mesmo com esse avanço, ainda existem diversas limitações no uso de modelos digitalizados em construção, pois normalmente estes exigem grande capacidade de processamento, e apresentam maior proveito em dispositivos com tela de tamanho razoável. Estes dispositivos são frequentemente localizados em escritórios, dado seu tamanho, o que dificulta o fluxo de informação com o canteiro de obras. Com os avanços tecnológicos da capacidade de processamento de dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*, as tecnologias de Realidade Aumentada (RA) e Virtual (RV) destacam-se como soluções para esse problema (MEŽA; TURK; DOLENC, 2014)

No campo da AEC, as aplicações de Realidade Aumentada e Realidade Virtual em arquitetura, segundo Tori, Kirner e Siscoutto (2006), contribuem no planejamento da obra, inspeção tridimensional em tempo real, decoração de ambientes, avaliação acústica etc. Ou ainda, essas tecnologias podem

auxiliar na análise e simulação de problemas energéticos e na fabricação de componentes estruturais, ou diretamente no canteiro de obras (AMIM; LANDAU; CUNHA, 2007).

Essas tecnologias adicionam benefícios desde o início do planejamento e *design* da construção até a fase de gerenciamento de instalações e operações. A capacidade de prognóstico da progressão do processo de construção é uma das características mais significativas do uso dessas tecnologias na fase de construção e criação de projetos (AGUIAR; BRANDÃO, 2021). Além disso, RA/RV contribuem para o processo de comunicação de inovação dos projetos, permitindo uma visualização interativa do edifício, infraestrutura e processo de construção (MESSNER, 2008).

Messner (2008) sugere que a aplicação de RA/RV deve se dar durante a construção para visualização e interação do empreendimento. A sobreposição de elementos virtuais permite que os técnicos, com RA, antecipem a visão da construção e vejam em detalhe o local onde será construído, incluindo o modelo 3D do edifício finalizado.

Segundo Kirner e Siscoutto (2007), pode-se agrupar as aplicações em arquitetura e construção em: projeto, que engloba os processos de elaboração de projeto; construção, que engloba as etapas vinculadas ao canteiro de obras, gerenciamento de operações; vendas, na forma de demonstração do produto aos clientes etc.

3.3.1 Projeto

Das tradicionais plantas 2D, desenvolvidas a partir do CAD, aos modelos 3D, a evolução das tecnologias nos últimos anos possibilita o surgimento de novos softwares que alteram a forma de apresentar e aprimoram os projetos como o AutoCAD e REVIT, da Autodesk (CRESPO; RUSCHEL, 2007).

Apesar dos ambientes virtuais oferecidos pelos avanços computacionais, estes ainda careciam do fator "imersão". Com o desenvolvimento da tecnologia de RA, o projetista e clientes tiveram uma visão mais clara do projeto a ser construído, possibilitando-os a terem uma prévia, como uma visualização *in loco* do empreendimento em Realidade Aumentada.

Já há aplicativos que permitem ter estas experiências, como o "Morpholio AR Sketchwalk", (Figura 16), sendo uma ferramenta que permite arquitetos e projetistas a posicionarem o croqui do modelo 3D no plano e percorrê-lo, até mesmo realizando alterações para visualizações de espaços futuros (AZEEM, 2021).

Outro aplicativo semelhante é o "Augment", para dispositivos móveis, que ao transformar uma planta em holograma, mantendo a escala, permite aos usuários visualizarem modelos 3D em tempo real. Disponível para *tablets* e *smartphones*, esta ferramenta é utilizada por *designers* de produtos e equipes de marketing e vendas, (Figura 17).

Existem no mercado outros exemplos de aplicativos embasados nas tecnologias de RV e RA. Estes, ao possibilitarem a visualização dos projetos em tempo real, com riqueza de detalhes e a possibilidade de "caminhar" pelo projeto, permitem que engenheiros e arquitetos usem suas *frameworks*¹ na elaboração e *design* de projetos. Auxilia-se, assim, a visualização de possíveis erros ou incongruências antes da execução, minimizando os custos com correção (SCHOLZ; SMITH, 2016).

¹ *Frameworks* são estruturas de códigos que permitem o desenvolvimento de sistemas e aplicações.

Figura 16 – Morpholio AR Sketchwalk, ferramenta de RA para imersão de usuários no *Design*



Fonte: ArchDaily (2019).

Figura 17 – Augment, aplicativo de holograma de modelo 3D



Fonte: Augment (2019).

Em *design* de projetos, as simulações dos diferentes conjuntos de elementos auxiliam na análise das características que proporcionam melhor decisão para o projeto ideal do cliente. Aplicativos como "Augment", comentado anteriormente, e também "Coral Visualizer", (Figura 18, da AkzoNobel, permitem ao cliente alterar as cores das paredes, com auxílio de um dispositivo móvel com câmera, apenas apontando este para o local desejado.

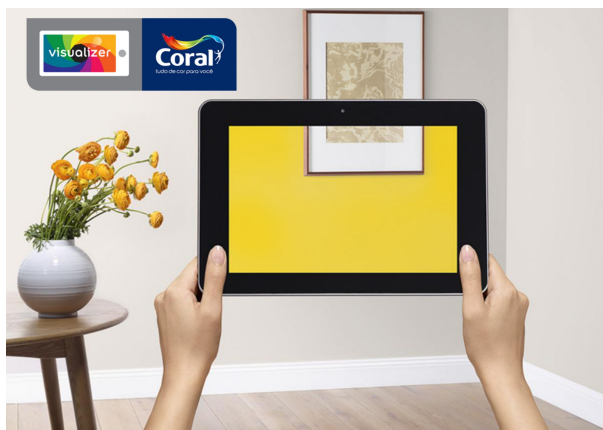
Na área de Arquitetura existem diversos softwares de Realidade Virtual (RV) que contribuem para o *design* ideal do projeto. Alguns são: ARki, Enscape, SmartReality, Dalux View, WakingApp, Fuzor e Pair.

3.3.2 Construção

3.3.2.1 Acompanhamento de obra com auxílio da Realidade Aumentada

Além de um projeto estruturado e sem incongruências, o acompanhamento da obra é também fundamental para o sucesso do empreendimento. Nesta etapa, o foco é garantir que os serviços de obras correspondam com os definidos em projeto. Assim sendo, um bom acompanhamento pode incidir na redução de inconformidades com o escopo do projeto, evitando, então, gastos desnecessários (POIRIER; FORGUES; STAUB-FRENCH, 2014).

Figura 18 – Coral Visualizer, aplicativo de pintura de paredes da AkzoNobel



Fonte: Coral (2021).

A Realidade Aumentada, atrelada à tecnologia BIM, contribui para a eficácia das operações no canteiro de obra, pois permite comparar, em tempo real, o que foi executado com o esperado, definido no escopo de projeto. As informações resultantes dessa comparação podem ser transmitidas diretamente aos escritórios e, caso seja necessário, é realizada a devida correção (WANG *et al.*, 2013).

Existem no mercado dispositivos de Realidade Aumentada para acompanhamento de obra, como o capacete DAQRI Smart Helmet, (Figura 19). Com esse dispositivo é possível visualizar projetos e modelos 3D em RA. A viseira do capacete permite acessar o projeto BIM, projetado instantaneamente no campo de visão do usuário, mostrando assim as tubulações de água quente, fria e as caixas elétricas, se deslocando com o ponto de vista do operador (SOUZA, 2019).

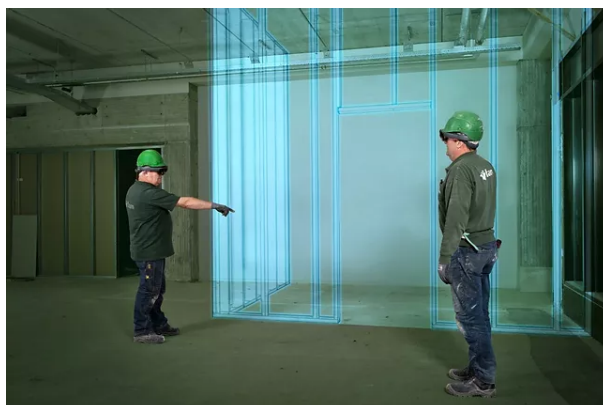
Figura 19 – "Smart Helmet", equipamento de "visão raio-x", da DAQRI



Fonte: ArchDaily (2017).

Outro dispositivo similar é o Microsoft HoloLens 2, (Figura 20). O custo desses dispositivos varia de 3,5 mil dólares a 15 mil dólares. Este preço pode ainda estar fora da realidade brasileira das micro e pequenas empresas, contudo, os benefícios são evidentes quando o acompanhamento da obra é executado eficaz e comprometidamente (SOUZA, 2019).

Figura 20 – Realidade Aumentada para visualização de futuras instalações na obra, simulando a localização e estrutura de uma parede de *dry wall*



Fonte: BAM (2021).

3.3.2.2 Auxílio em Obra

A execução de obra ocorre em diversas etapas, desde a elaboração do projeto até a entrega são realizadas diversas atividades e serviços definidos e registrados no cronograma da obra. São serviços como: trabalhos preliminares de construção, sondagem, locação da obra, infra-estrutura, supra-estrutura, alvenaria, cobertura, esquadrias, revestimentos, instalações hidráulicas, instalações elétricas, pintura e cerâmica (MILITO, 2009).

Todas as etapas de uma obra têm as suas peculiaridades, necessidades e exigências, que podem ser auxiliadas por RA para melhorar o desempenho dessas tarefas e a redução dos erros e desperdícios associados a cada uma delas.

Dentro dessas necessidades, Fologram (Figura 21) surge como uma aplicação que transforma modelos 3D em instrução de construção em tamanho real, por óculos de RA. O programa, facilita a construção de projetos complexos, que exigem grande acurácia de medições e constantes verificações, por instruções digitais sobrepostas no ambiente real (SOUZA, 2019).

Além do Fologram, que auxilia em diversas etapas, como a infraestrutura, fundações e lajes, e nas atividades de elevação de alvenaria ou montagem de parede, outros aplicativos disponíveis no mercado são o GAMMA AR, Figura 22a, e o Augin. GAMMA AR é para monitoramento de canteiros de obra, sobrepondo a construção em 3D em BIM, por *smartphones* ou *tablets*, podendo ser utilizado para as atividades de infraestrutura, instalações de elétricas, hidráulicas etc. (SOUZA, 2019).

A aplicação Auguin, Figura 22b, é brasileira que auxilia a fase de construção, disponibilizando uma ferramenta de fluxo automatizado e, assim como GAMMA AR, permite a sobreposição de modelos tridimensionais em ambiente real através de dispositivos móveis. Seu funcionamento acontece por meio de um *plugin*² responsável pelo envio de arquivos e imagens em 3D. Além disso, é uma aplicação inicialmente gratuita e com as funcionalidades liberadas, com restrições (SILVA; GIESTA; CÂMARA, 2020).

² *Plugin* são adições ou alterações de software que permitem a personalização de softwares, aplicativos e navegadores da web.

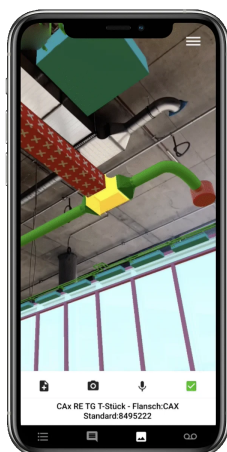
Figura 21 – Serviço de alvenarias orientado por holografia, na construção do Hospital Hobart



Fonte: Fologram (2019).

Figura 22 – Representação de dispositivo móvel utilizando a aplicação GAMMA AR e Augin

(a) Aplicativo GAMMA AR



Fonte: GAMMA (2019).

(b) Aplicativo Augin



Fonte: Augin (2021).

3.4 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA E FERRAMENTAS PARA DESENVOLVIMENTO

A revisão sistemática de literatura (RSL) é uma forma de pesquisa que, através da seleção de artigos de bases científicas, de forma estratégica, permite avaliar, com espírito crítico, o estado da arte de um tópico específico de interesse, permitindo sintetizar todos os estudos relevantes (TAYPE; DEZENKEMPTER, 2020). Segundo Gough, Oliver e Thomas (2017), uma RSL consiste na identificação e descrição de pesquisas anteriores; avaliação sistemática de pesquisas seguindo protocolos rigorosos; e coleta sintética e coerente de evidências no universo de pesquisas selecionado.

Embora não haja um método único no desenvolvimento de uma RSL, autores que já desenvolveram RSL antes afirmam a existência de uma base comum para sua realização. São usuais, então, a etapa de identificação e seleção dos estudos, da avaliação da qualidade dos estudos selecionados e a apresentação dos resultados obtidos (MORANDI; CAMARGO, 2015).

Ferramentas que auxiliam a realização da RSL são diversas. A seguir são apresentadas as ferramentas utilizadas no desenvolvimento da RSL específica deste estudo, sendo um software de gerenciamento

de referências e dados bibliográficos, que permite exportar as bases nos mais diversos formatos, como *JavaScript Object Notations* (.json), e a linguagem de programação *Python*, que fornece ferramentas ou *libraries* para tratamento e análise dessas bases. Foi ainda incluído o *Power BI*, um software de análise de dados para fornecer visualizações interativas e envolventes com uma interface simples.

3.4.1 Ferramentas utilizadas para a RSL

3.4.1.1 Apresentando o Zotero

Referências nos ajudam a traçar a origem de um estudo. Assim, a precisão das referências nos estudos enviados aos periódicos acadêmicos são importantes para contribuir com a qualidade do artigo (AHMED; DHUBAIB, 2011).

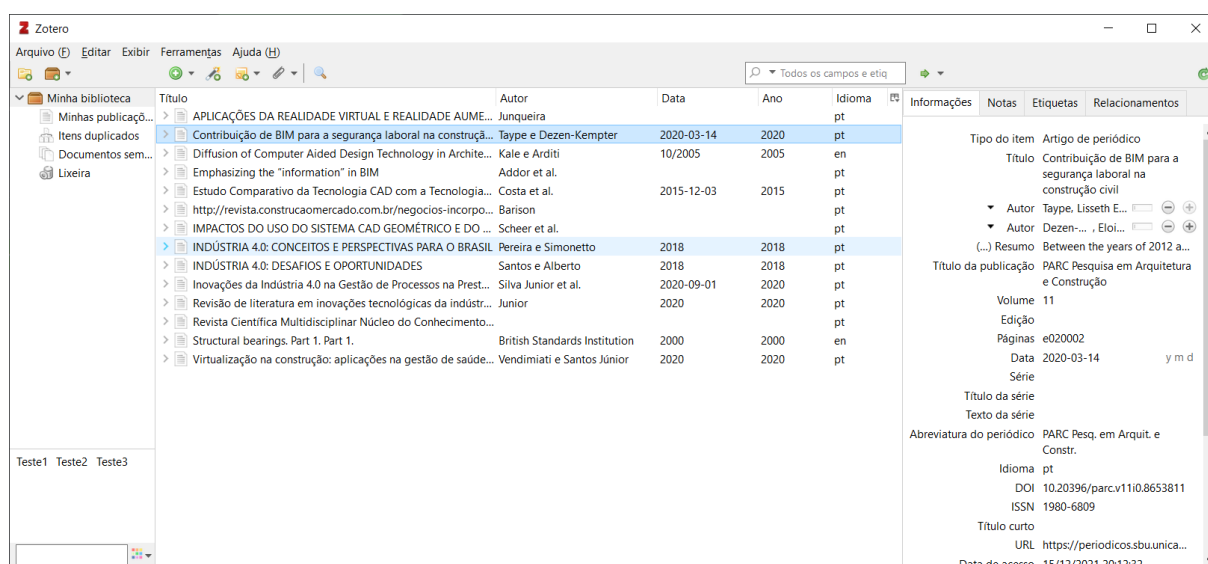
Ainda, nas palavras de Ahmed e Dhubaib (2011), embora existam vários *software package* disponíveis para manusear bibliografias, eles são, com frequência, inacessíveis para estudos de pesquisadores. Contudo, existem alternativas gratuitas como o Zotero.

Zotero é um software gerenciador de referências que atua como um assistente de pesquisa pessoal e permite armazenar, em um formato portátil, arquivos, imagens, *links*, pesquisas salvas etc., classificando-os para melhor entendimento e identificação (AHMED; DHUBAIB, 2011).

Por este motivo, Zotero foi utilizado para manipulação, organização e classificação dos documentos de análise deste estudo.

O material extraído de fontes de dados de pesquisa é carregado para o ambiente do Zotero, as informações importadas sobre título, autor, data, ano, idioma etc., podem ser editadas na aba "Informações", Figura 23.

Figura 23 – Interface do *software* Zotero



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.1.2 Apresentando o Python

Todos os computadores são dispositivos digitais e só reconhecem dados binários (uns e zeros). Todo tipo de arquivo, como vídeos, imagens etc., são representados em binário. Esses dados são

passados para o processador da máquina (CPU) que processa, converte e os exporta visualmente para uma aplicação ou sistema (TECHLIB, 2022).

Um código-fonte é um *script* do passo a passo a ser realizado pela máquina para que se atinja um objetivo. O idioma de escrita de um código-fonte é comumente chamada de linguagem de programação, sendo constituída de um conjunto de símbolos, sintaxes, regras semânticas e palavras-chave, que serão convertidas em informações binárias e processadas pela CPU (LINDER, 2008).

O programador(a), através da linguagem de programação, pode, então, escrever um código-fonte descrevendo todas as ações que a máquina deverá realizar, estabelecendo assim a comunicação da parte física do computador (hardware) com a parte lógica (processador) (NOLETO, 2022).

As linguagens de programação são diversas (Java, Python, C etc.) e podem ser definidas em linguagens de "baixo" e "alto nível". A diferença está no quão próximo à escrita dos programas se aproximam do entendimento humano. Linguagem de programação de "baixo nível" se aproxima do entendimento da CPU, é construída inteiramente por dígitos binários, tornando praticamente impossível de entendê-la diretamente (LINDER, 2008).

Linguagens de programação de "alto nível" são aquelas nas quais os comandos e estruturas aproximam-se da linguagem humana, tornando os programas fáceis de serem lidos, interpretados e escritos. Esse tipo de linguagem tem se tornado muito popular, por serem intuitivas, amigáveis e fáceis de aprender para iniciantes na área de programação (LINDER, 2008).

Python é uma linguagem de alto nível, orientada ao objeto (POO), ou seja, permite a interação entre diversas unidades chamadas de 'objetos' e com uma vasta gama de módulos prontos para uso (BORGES, 2014).

Os módulos são blocos de comandos, ou bibliotecas, que podem ser acessados a qualquer momento no desenvolvimento de uma aplicação. Conforme Overflow (2020), Python é uma das linguagens de programação mais populares do mundo. Essa popularidade contribui para a existência de uma vasta gama de módulos, contendo ferramentas que suportam programadores nas mais diversas áreas de tecnologia.

Python tem tomado principal espaço nas áreas de inteligência artificial, gerenciamento de *big data*, ciência de dados, computação gráfica e automação, e é a ferramenta mais adequada para ciência dos dados (OVERFLOW, 2020).

Ciência de dados combina, além de estatística e matemática, uma série de novas tecnologias emergentes, como inteligência artificial e aprendizado de máquina, para descobrir possíveis informações relevantes ocultas nas bases de dados das organizações. Essas informações podem ser utilizadas para orientar a tomada de decisão de um projeto ou planejamento estratégico (EDUCATION, 2022).

Para este trabalho foi escolhido o uso de Python como linguagem de programação principal, tanto pela popularidade quanto pela sintaxe clara e concisa que favorece a legibilidade e entendimento do código-fonte, de acordo com Borges (2014). Como afirmado anteriormente, RSL é uma forma de pesquisa estratégica com objetivo de obter respostas sobre o estado da arte de um tópico específico. Assim, podemos englobar a execução de uma RSL no universo das ciências de dados e utilizar os módulos disponíveis nessa área para obter os resultados dessa pesquisa. Informações complementares sobre programação e bibliotecas em Python, constam no Apêndice B.

3.4.1.3 Apresentando Power BI

Desenvolvido pela empresa Microsoft e lançado em julho de 2015, o Power BI, conforme a documentação, é "uma coleção de serviços de software, aplicativos e conectores que trabalham juntos para transformar fontes de dados não relacionadas em informações coerentes, visualmente envolventes e interativas"(MICROSOFT, 2022).

Assim, Power BI pode ser utilizado, por exemplo, em um banco de dados de RSL, que contenha as publicações a serem analisados, para gerar gráficos interativos através de painéis (*dashboards*) e relatórios. Como principais vantagens de utilização do software, pode-se citar:

- *Storytelling* dos dados, técnica de contar história;
- Possibilidade de uso de diversos tipos de gráficos customizáveis;
- Fácil manuseio de tabelas e matrizes;
- Filtragem e segmentação dos dados que reflete em todas as visualizações, permite análises interativas;
- Permite interação externa através do compartilhamento *web*, para o serviço *online*.

3.4.1.3.1 Interface do Software

O Power BI (PBI) é constituído de três camadas, como indicado na Figura 24, item 1. São estes, "*Report*", gráficos e visualizações, "*Data*", registros do banco de dados e o "*Model*", estrutura do banco.

Na camada *Report* encontram-se os tipos de visualização disponíveis, os filtros e as ferramentas de criação de campos calculados, ou medidas que possibilitam a aplicação de fórmulas matemáticas nas bases inseridas no PBI.

As outras camadas apresentam a estrutura da base de dados. Na camada *Data* são apresentados, no formato de tabela, os dados da base, enquanto na camada *Model* encontra-se um *schema*, ou estrutura, que apresenta todas as colunas (atributos) presentes na base de dados e a relação entre elas. Com essas duas camadas podem-se ter uma visão geral da estrutura e interação entre as tabelas do banco de dados da RSL.

Para esse estudo, as ferramentas do Power BI de maior interesse no desenvolvimento do trabalho de análise de RSL são as abas de "Visualizações e Filtros". Nesta aba, item 2 - Figura 24, são apresentados os gráficos disponíveis para uso, e a aba "Filtro" permite filtrar as informações que serão apresentadas no gráfico.

Em "Campo Calculado", índice terceiro da Figura 24, é fornecida a ferramenta "Medidas". As medidas permitem executar funções no banco de dados, como operações matemáticas e analíticas, através do uso da linguagem DAX, nativa do Power BI. Com o uso de medidas é possível performar cálculos na base de dados que podem ser utilizados para geração dos gráficos ou usados como filtros.

Figura 24 – Interface do software Power BI

The screenshot displays the Microsoft Power BI Desktop interface. At the top, the title bar reads "Sales Report Option 1 - Power BI Desktop" and the user name "Nitin Khanna (MSIT)" is visible. The ribbon includes tabs for "File", "Home", "Insert", "Modeling", "View", and "Help". The "Home" tab is active, showing various tool groups. A red box labeled "1." highlights the "REPORTS" pane on the left, which contains "OVERVIEW", "DATA", and "MODEL" views. Another red box labeled "2. Visualizações e Filtros" highlights the "Visualizations" pane on the right, which includes a "Filters" section and options like "Values", "Add data fields here", "Drill through", "Cross-report", "Off", and "Keep all filters". A third red box labeled "3. Campos Calculados" highlights the "Calculations" group in the ribbon, which includes "New measure", "Quick measure", and "Publish" options. The main workspace shows a dashboard with several visualizations: a bar chart for "Units by Country and Sales Size", a treemap for "Sales Amount by Brand Name", a waterfall chart for "Units Sold by Year, Quarter and Manufacturer", and a line chart for "Sales Amount by Year, Month and Brand Name". A "Key influencers" section is also visible, showing a chart for "What influences NSAT to be...". The top of the dashboard displays a summary of sales by country: Australia (\$5.3M), Canada (\$5.3M), France (\$2.6M), Germany (\$2.3M), UK (\$3.3M), and USA (\$21.8M). The bottom left corner shows "Page 1 of 1".

Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Microsoft 2021.

4 METODOLOGIA

Em metodologia foram apresentados as etapas de desenvolvimento propostas para essa revisão sistemática de literatura (RSL). Em relação a categorias deste estudo, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa exploratória e descritiva. A pesquisa exploratória porque visa levantar, através de critérios de seleção dos estudos, informações que possibilitam validar e ordenar por grau de relevância as publicações em uma RSL (??). E também descritiva porque planeja descrever os fatos e fenômenos de determinada realidade, através de um estudo observacional. Em suma, o processo descritivo visa a análise das características, fatores e variáveis correlacionadas aos fenômenos ou processos analisados (??).

4.1 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA RSL

Através da definição das ferramentas a serem utilizadas nesse trabalho, foram definidas as condições e etapas de desenvolvimento da pesquisa. Esse trabalho foi realizado através da revisão sistemática da literatura (RSL), com bases nos portais de busca de artigos científicos: Scopus, Capes e Web of Science.

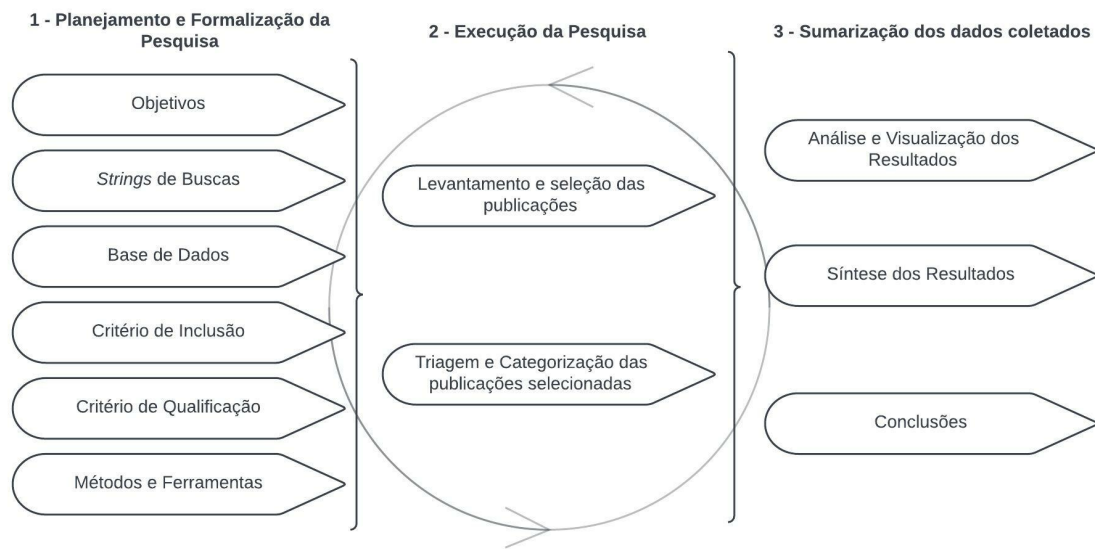
Para a seleção de material foram aceitos artigos, dissertações e teses sobre o tema pesquisado. Em primeiras análises das bases científicas, notou-se que o idioma inglês é verificado em grande maioria, por isso tal idioma foi incluído nos filtros de buscas.

Para organização, categorização, análise e tratamento dos resultados das pesquisas foram utilizadas as ferramentas Zotero e Python. O espaço temporal considerado no levantamento das publicações foi de 11 anos (2011 – 2022).

Na Figura 25 é apresentada a estrutura das fases de realização da RSL e suas respectivas atividades. Sabe-se que o processo de elaboração de um estudo no formato de RSL ocorre sequencialmente e, por vezes, interativamente. O objetivo dessa estrutura é de que, no final, o protocolo guie fielmente à execução do estudo e que, também, inclua os ajustes ocorridos no processo.

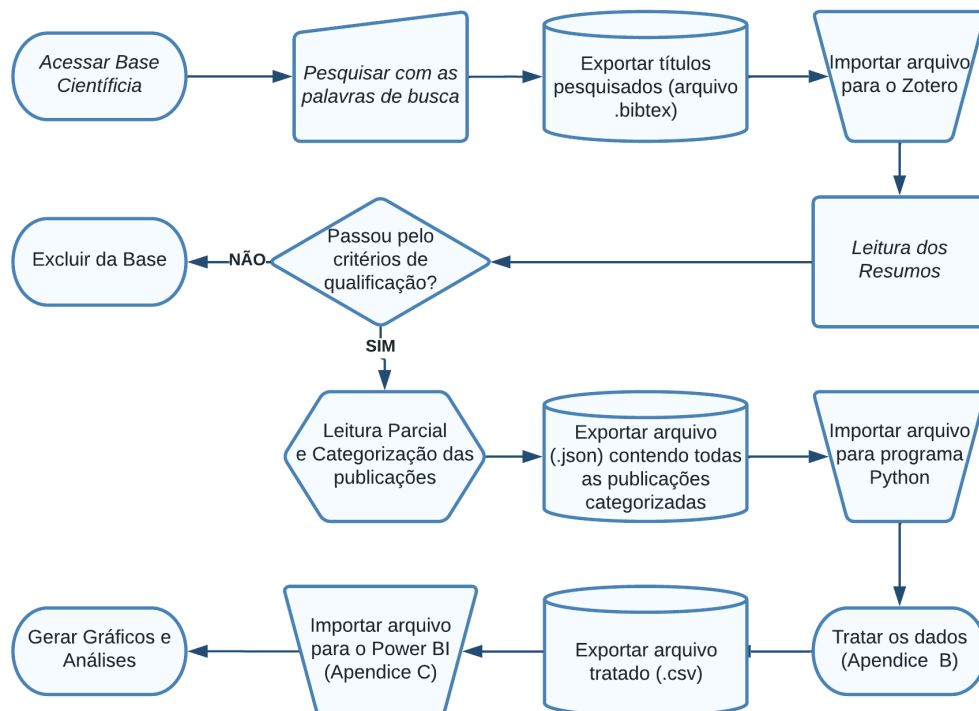
A primeira fase, "Planejamento e Formalização", representou o conjunto dos passos iniciais do trabalho da pesquisa, desde a definição dos objetivos até a determinação das palavras de busca, bases, critérios e métodos de desenvolvimento de RSL. Na etapa "Execução da Pesquisa" foi descrito o passo a passo das buscas das publicações nos bancos científicos e a forma que essas bases foram processadas e analisadas. Por fim, na etapa "Sumarização dos dados coletados", foi apresentada a síntese dos resultados e a conclusão do trabalho. O fluxograma apresenta um resumo do processo de desenvolvimento desse estudo de RSL pode ser vista na Figura 26.

Figura 25 – Fases da Revisão Sistemática da Literatura



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26 – Fluxograma do processo de desenvolvimento do estudo de RSL



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2 FASE 1: PLANEJAMENTO E FORMALIZAÇÃO DA PESQUISA

Como base desse trabalho de revisão foram levantados estudos preliminares de como a Realidade Aumentada e Virtual têm sido implementada em AEC. Foram identificados os estudos de Freitas e Ruschel, 2010; Junqueira, 2021; Aguiar e Brandão, 2021. Esses estudos serviram como base para

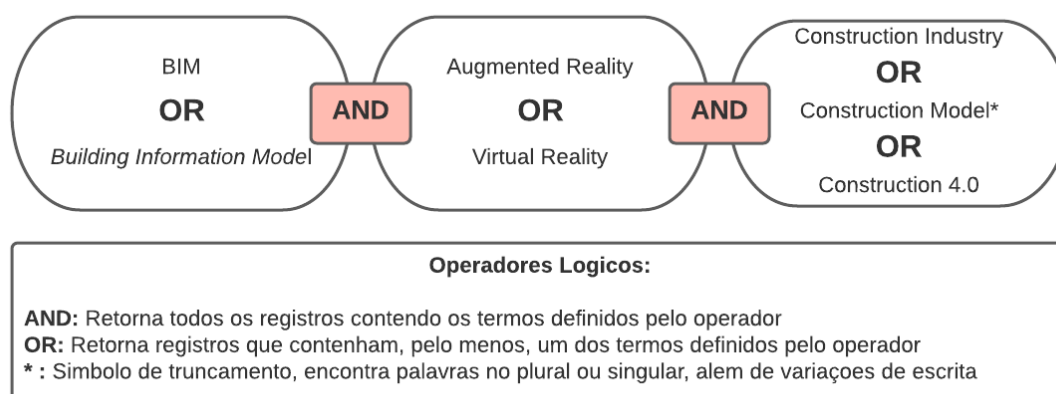
definição dos objetivos e resultados esperados, além de orientarem a definição das *Strings* de busca. A partir dos estudos-base foi definido o protocolo de pesquisa como apresentado no Quadro 5.

A Figura 27 representa a combinação do conjunto das palavras-chave ou *string* de busca, adaptadas para cada base de dados selecionada, como indicado no Quadro 5. As buscas foram realizadas para garantir que os artigos tratassem, sempre, sobre Realidade Aumentada e Virtual em AEC.

Quadro 5 – Protocolo de Pesquisa

Item	Conteúdo
Objetivos	Levantamento do estado da arte sobre a aplicação de Realidade Aumentada e Virtual em AEC, através da revisão e análise de publicações científicas.
Resultados	Apresentar os resultados qualitativos e quantitativos das atividades e desenvolvimento realizados em Realidade Aumentada e Virtual em AEC.
Palavras de busca	<i>(Augmented Reality OR Virtual Reality) AND (BIM OR Building Information Model) AND (Construction Industry OR CC OR Construction Model OR Construction 4.0).</i>
Idioma	Português, Inglês.
Base de Dados	Scopus, Capes e Web of Knowledge.
Critério de Inclusão	2011 – 2022; Inglês, português; Usa Realidade Aumentada ou Virtual.
Critério de Qualificação	Texto indisponível; Outras áreas (Marketing, Medicina, Comércio etc.) Não inclui AEC; Estudos de revisão; Não proporem uso de tecnologias de Realidade Aumentada e Virtual na AEC.
Métodos e ferramentas	Utilizados Zotero como o <i>framework</i> da pesquisa, ou seja, base estrutural, o Python para realização da limpeza e tratamento das informações, e o Power BI para geração das visualizações e análises.
Questionário proposto a solução	(a) Em quais os principais Temas no uso das aplicações de tecnologias de RA e RV em AEC? (b) Quais as práticas de maior destaque estão sendo aplicadas à AEC em relação ao uso das tecnologias de RA e RV? (c) Quais as ferramentas de Realidade Aumentada, Virtual e Mista aplicadas em AEC, tiveram maiores destaques no período? (d) Quais são as oportunidades para pesquisas futuras?

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 – *String* de busca

Fonte: Elaborado pelo autor.

O intervalo de tempo definido para análise foi de 2011 a 2022. A escolha do período foi baseada no estudo de Freitas e Ruschel (2013), "What is Happening to Virtual and Augmented Reality Applied to Architecture", no qual foi realizado um estudo similar para o período anterior a 2010. Este trabalho tem como intenção apresentar dados atualizados para os resultados obtidos pelas autoras mencionadas, sem, contudo, atingir o mesmo rigor de análise proposto por estes.

4.3 FASE 2: EXECUÇÃO DA PESQUISA

A fase de execução da pesquisa foi constituída de duas grandes etapas, "Levantamento e seleção das publicações" e "Triagem e Categorização das publicações selecionadas", como apresentadas na Figura 25. A primeira, refere-se à etapa de buscas das publicações nas bases científicas através do uso das *String* de buscas, a segunda refere-se à triagem das publicações seguindo os critérios de qualificação apresentadas no Quadro 5, assim como a categorização destas publicações, como será apresentado mais adiante.

4.3.1 Levantamento e seleção das publicações

Nessa etapa, a partir das palavras de busca, definidas no Quadro 5, foi conduzido o levantamento das publicações nas bases científicas Scopus, Capes e Web of Science. Para todas elas, as buscas foram conduzidas através da inserção das palavras de buscas como comandos em "*query string*", na qual as palavras-chave foram conectadas por operadores lógicos, apresentados na Figura 27. O resultado da busca foi uma lista de publicações que puderam ser exportados para as próximas etapas, assim concluindo as fases de identificação e seleção das publicações

4.3.2 Triagem e Categorização das publicações selecionadas

As publicações selecionadas das bases foram exportados no formato BIB (.bib), um arquivo que contém citações bibliográficas no formato de texto. Optou-se pelo uso desse formato, devido

à possibilidade de importação para o Zotero, populando automaticamente todas as informações disponíveis sobre as publicações das bases.

Para a etapa de triagem das publicações foi realizada a leitura dos resumos dessas, com o intuito de qualificar essas publicações a partir dos critérios de qualificação apresentadas no Quadro 5. As publicações que não atingiram os critérios foram excluídas da análise e o resultado da triagem pode ser verificado no Quadro 6.

Quadro 6 – Resultado da etapa de qualificação das publicações

Etapa	Quantidade de publicações
Total de publicações levantadas	415
Publicações Duplicadas	74
Publicações não elegíveis pelos critérios de qualificação	162
Total de publicações incluídas na RSL	166

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em seguida, foi realizada a revisão e categorização das publicações a partir da leitura parcial dos textos restantes. Essa etapa teve por função identificar os quatro principais grupos, nos quais as publicações foram categorizados:

- Tecnologias (tipo de realidade utilizada: RV, RA ou RM ¹);
- Temas (ou campo de aplicação de RA/RV);
- Facilitadores (grupo de todos os Facilitadores de uso das tecnologias);
- Instrumentos (Instrumentos utilizados para permitir experienciar RA/RV. Exemplo: BIM Software sendo um facilitador e Revit, o instrumento).

Durante o processo de leitura parcial foram identificados 14 grandes Temas em que os textos se enquadravam, 11 Facilitadores, bem como 27 Instrumentos, conforme definidos no Quadro 7 e Quadro 8. Ainda, na leitura parcial, notou-se o uso da tecnologia de Realista Mista. Por isso, decidiu-se pela inclusão dessa tecnologia nas análises das publicações. Informações complementares sobre o uso do Zotero na etapa de categorização e tratamento constam no Apêndice A.

Outro dado relevante, analisado durante a leitura parcial das publicações, foi o impacto do surto pandêmico da Covid-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2, na produção das publicações. Em 11 de março de 2020, a Covid-19 foi caracterizada pela OMS como uma pandemia, o que gerou a necessidade de distanciamento social por quase dois anos. Nesse contexto, foram contabilizados as publicações que fizeram referência ao período pandêmico, seja sobre as dificuldades na elaboração de pesquisa, seja como acontecimento motivador de novas tecnologias.

¹ A tecnologia de RM foi incluída nos critérios de categorização dada a sua recorrência nas publicações, como sera apresentado mais adiante no estudo

Quadro 7 – Definição dos Temas tratados nos artigos

Tema	Conceito
Análise de Estrutura	Publicações cujo tema seja a inclusão de RV, RA ou RM em estudos e análise estrutural;
Aprendizado de Máquina	Aplicação de robótica ou inteligência artificial;
Construção	Conjunto de Instrumentos, estudos e aplicações voltadas para a etapa de construção, incluindo todas as etapas desde a escavação, fundação, estrutura, alvenaria, instalações, cobertura e acabamento;
Educação	Aplicação didática, viés na experimentação do ciclo de construção;
Gestão da Qualidade	Aplicação de tecnologias que validem a qualidade não só dos materiais, mas a qualidade dos serviços realizados durante a etapa de construção e projeto;
Gestão da Segurança	Estudos voltados à segurança do trabalho ou estrutura durante a etapa de construção;
Gestão de Custos	Estudos voltado à redução de gastos durante a etapa de projeto e construção;
Gestão de Projetos	Aplicação nas etapas de projeto, design e concepção. Visando a melhoria da comunicação entre os <i>stakeholders</i> e projetistas;
Manutenção	Publicações cujo tema seja a inclusão de RV, RA ou RM em estudos de manutenção de edifícios;
Melhorias	Algoritmos e aplicações matemáticas que auxiliam no desenvolvimento de novas tecnologias. Resume-se a trabalho cujo objetivo é oferecer melhorias e ferramentas que facilitem e melhorem o uso de RV e RA;
Mobilidade Urbana	Aplicação de RV, RA ou RM em projetos de mobilidade urbana;
Sustentabilidade	Formas de mitigar desperdício material, energético e pessoal durante as etapas de projeto e execução;
Visualização	<i>Frameworks</i> e Instrumentos que auxiliam no desenvolvimento da visualização, manipulação e interpretação do ambiente virtual. Com objetivo de melhorar desde a forma como os objetivos virtuais são dispostos, quanto a interface de interação do usuário com o ambiente virtualizado;
Interação Remota	Estudos cujo foco é o desenvolvimento de um projeto colaborativo, que permita interação remota ou de múltiplos usuários simultâneos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 8 – Relação dos Facilitadores e Instrumentos

Facilitadores	Instrumentos	Conceitos
Bim Software	OpenBIM Navisworks Manager Civil 3D AutoCAD Revit ArchiCAD	Softwares para construção ou tratamento de arquivos de BIM
Software 3D	3DS Max Blender Enscape SketchUp	Softwares de manipulação de modelos tridimensionais, utilizados no tratamento de texturas e modelagem. Arquivo de exportação mais comum é o FBX (Filmbox)
<i>Head-mounted display</i>	Samsung Gear VR HoloLens ClassVR Oculus Rift Google Cardboard HTC VIVE ClassVR	Instrumentos de <i>Optical See Through</i> ou <i>Video See Through</i>
<i>Hand-held display</i>	Vuforia SDK Mobile iInspect BARMS BIM AR FSE Augin Gamma AR Pro SmartReality	Bibliotecas de desenvolvimento e dispositivos com tela manuseada com as mãos, <i>tablets</i> , celulares etc.
<i>Game Engine</i>	Unity 3D Unreal Engine	Software que facilita o trabalho de criação de jogos eletrônicos e outros tipos de aplicação
CAVE	N/A	Uma sala onde são projetados gráficos em 3 dimensões utilizando telas e projetores
Fotogrametria	N/A	Instrumentos responsáveis por gerar fotografias métricas para extrair informação de forma, dimensões e posição dos objetos nelas contidos
GPS	N/A	Instrumentos de rastreamento por satélite da posição dos objetos e usuários.
<i>Laser Scanner</i>	N/A	Utilizados para coletar informação de profundidade dos objetos
Marcador Fiducial	N/A	Marcadores que permitem a detecção de objetos e elementos no espaço
Cloud Data	N/A	Utilizado para armazenar dados em nuvem. Possibilitando acessar informações remotamente em quaisquer dispositivos conectados à internet

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 FASE 3: SUMARIZAÇÃO DOS DADOS COLETADOS

Diferente da etapa de qualificação das publicações, na qual estas foram tratadas através dos critérios definidos e categorizadas, o foco da etapa de sumarização dos dados está na análise de fenômenos

numéricos, tratando os dados de uma perspectiva matemática e estatística. Para essa atividade, optou-se pelo uso da ferramenta de *business intelligence* (BI), Microsoft Power BI, por apresentar um conjunto de Instrumentos, filtros e gráficos que facilitam a análise e permitem o compartilhamento dos estudos através de serviço *online*.

A etapa de sumarização consistiu na definição e criação dos gráficos que deveriam ser desenvolvidos para suportar as análises e auxiliar nas respostas aos questionamentos que essa RSL propôs responder. Os gráficos criados foram definidos e inspirados no estudo de Freitas e Ruschel (2013), que realizaram uma análise temporal das aplicações de RV e RA em Arquitetura. Para trazer organização foram definidos em 7 grandes grupos de análise, cada qual com seu conjunto de gráficos, sendo a definição dos conceitos de cada grupo apresentada a seguir.

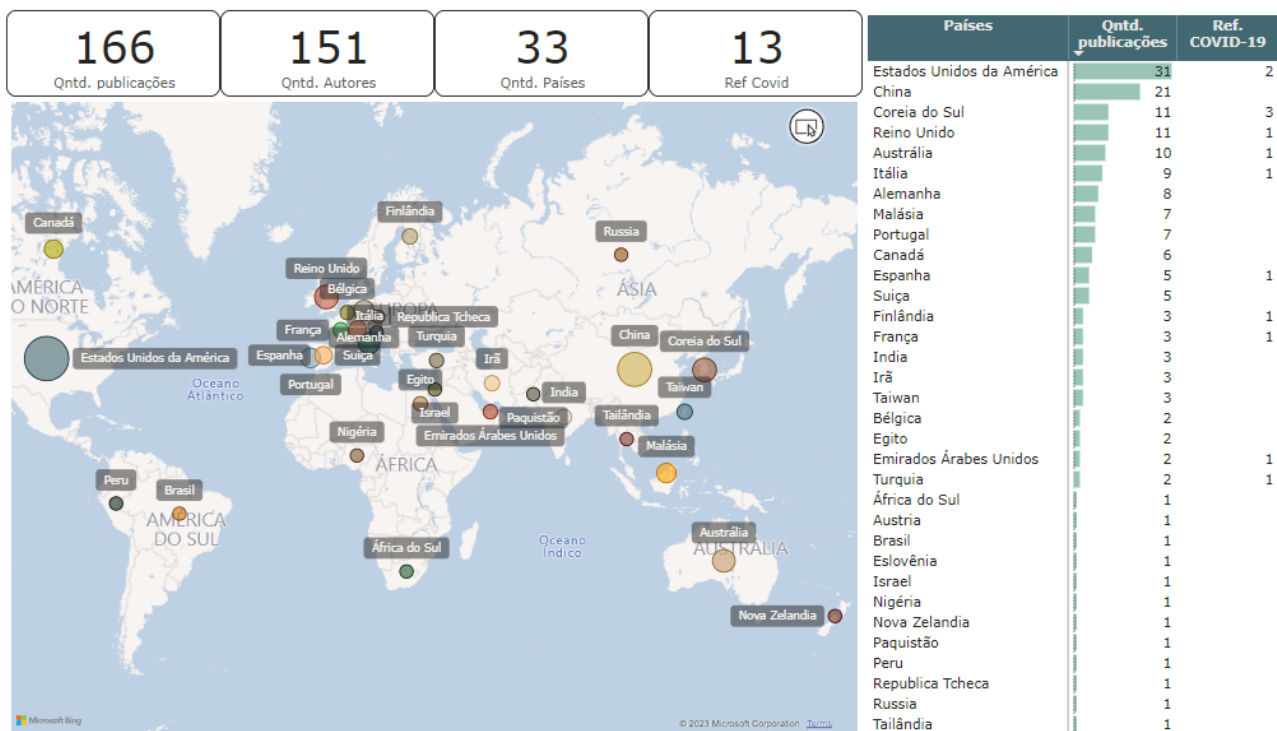
- "Grandes distribuições"— Conjunto de informações sobre o total de publicações, quantidade de países e quantidade de autores nas publicações analisadas;
- "Evolução anual das publicações"— Conjunto de gráficos sobre a evolução das publicações por ano;
- "Evolução anual e distribuição por fontes"— Conjunto de gráficos que refletem a distribuição das publicações por fonte científica;
- "Distribuição por Tecnologias"— Conjunto de gráficos que refletem as distribuições das tecnologias de RV, RA e RM utilizadas nas publicações;
- "Distribuição por Temas"— Conjunto de gráficos que visa identificar a correlação dos Temas com as Tecnologias, Facilitadores e Instrumentos;
- "Distribuição por Facilitadores"— Conjunto de gráficos que visa identificar a correlação dos Facilitadores com as Tecnologias, Temas e Instrumentos;
- "Distribuição por Instrumentos"— Conjunto de gráficos que visa identificar a correlação dos Instrumentos com as Tecnologias, Temas e Facilitadores.

Informações complementares sobre a criação dos gráficos no Power BI constam no Apêndice C.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao total foram analisados 415 publicações, dos quais 74 eram duplicadas e 162 inlegíveis, excluídas das análises, a partir dos critérios apresentados no Quadro 5. A volumetria final resultou em 166 publicações, publicados por 151 autores de 33 países distintos ¹, também, houve 13 publicações com referência à Covid-19. Os países com mais autores produzindo, no período, foram "Estados Unidos da América" e "China", com, respectivamente, 31 (18.67%) e 21 (12.65%) publicações (Figura 28).

Figura 28 – Grandes distribuições das publicações

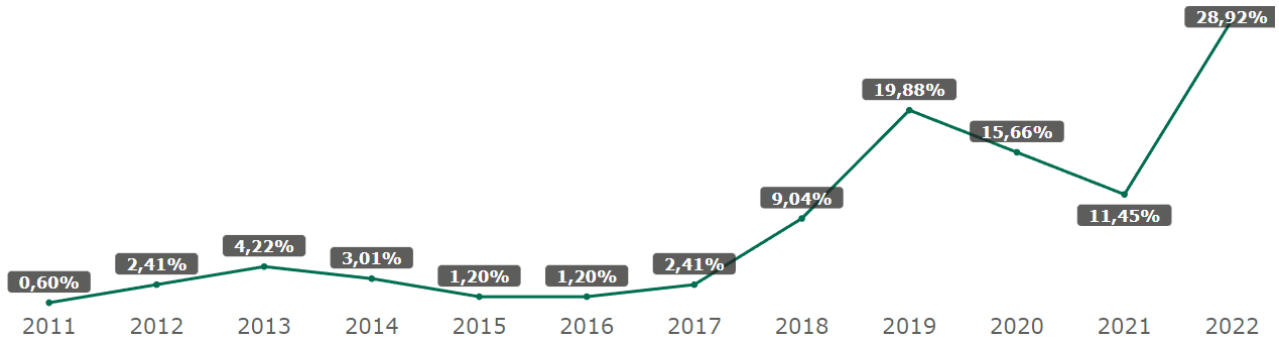


Fonte: Elaborado pelo autor.

O ano de 2022 apresentou maior percentual de publicações da série temporal, após dois anos consecutivos de queda nas publicações. De 2011 a 2016 não foi verificado grande volumetria nas publicações sobre RV e RA, com ápice em 2013 com 4.22% do total de publicações. Porém, a partir de 2017 houve um aumento significativo do volume de publicações até o ano de 2019, representado pelo ponto de 19.88% do total de publicações (Figura 29). Após 2019 é verificada a redução de 8.43 pontos percentuais nas publicações até 2021 e em termos de variação percentual; entre 2019 e 2021, isto ocorreu de forma negativa (Figura 30). Contudo, a partir de 2021 houve um aumento no volume de publicações, fazendo a variação anual tornar-se positiva novamente, com 152.63% de aumento no volume de publicações em relação ao ano anterior.

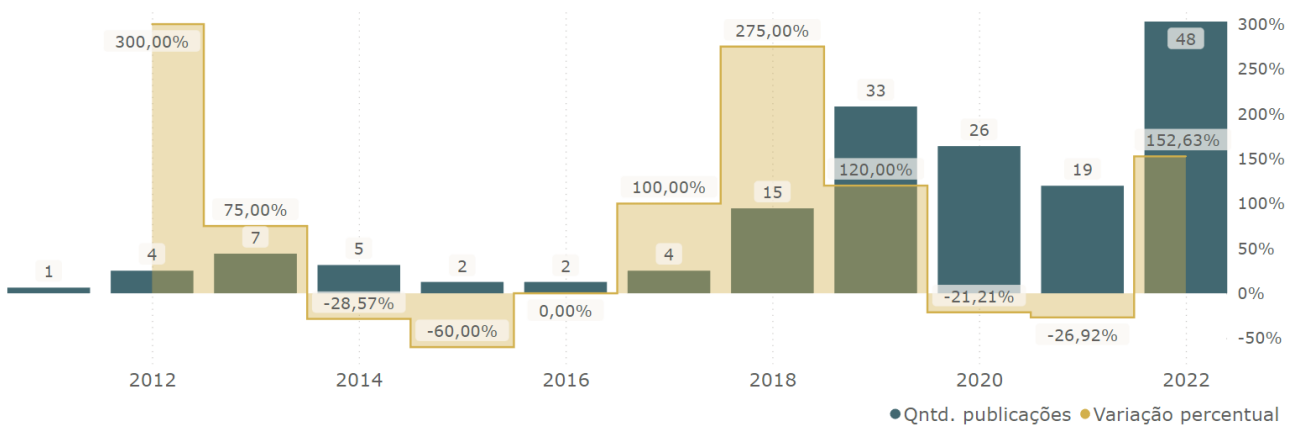
¹ Para esse estudo, foi considerado o país de origem do primeiro autor de cada publicação analisada.

Figura 29 – Distribuição percentual das publicações sobre RA/RV por ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

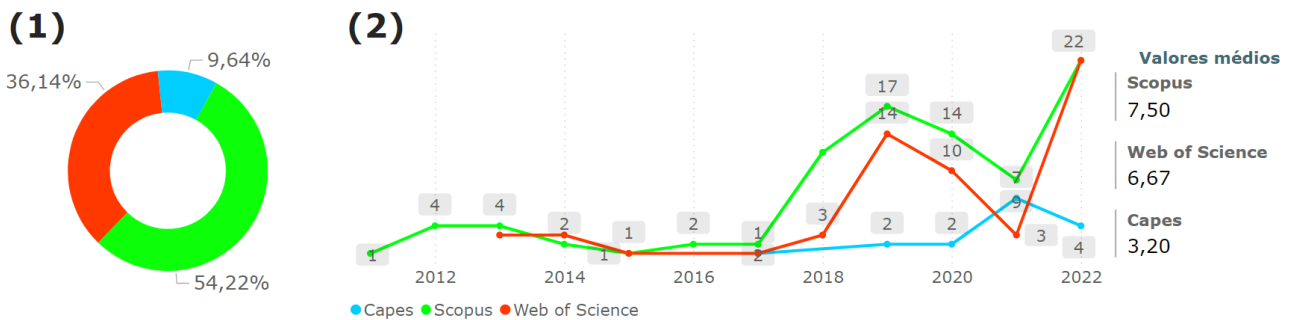
Figura 30 – Variação percentual anual de publicações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Relativamente às bases científicas escolhidas para esse estudo, das 166 publicações obtidas, 60 (36.14%) foram extraídas da base Web of Science, 90 (54.22%) da Scopus e 16 (9.64%) da Capes, item 1 da Figura 31. A base Scopus é a mais consistente em termos de publicações anuais, com registro de publicações desde 2011, enquanto a base Web of Science apresentou publicações pontuais de 2013 a 2015 e, apenas em 2017, os registros tornaram-se anuais. Por fim, as publicações na base Capes são as mais recentes, com registro a partir de 2019, item 2 da Figura 31.

Figura 31 – (1) Distribuição das publicações por fonte, (2) Evolução do volume de publicações das fontes por ano.

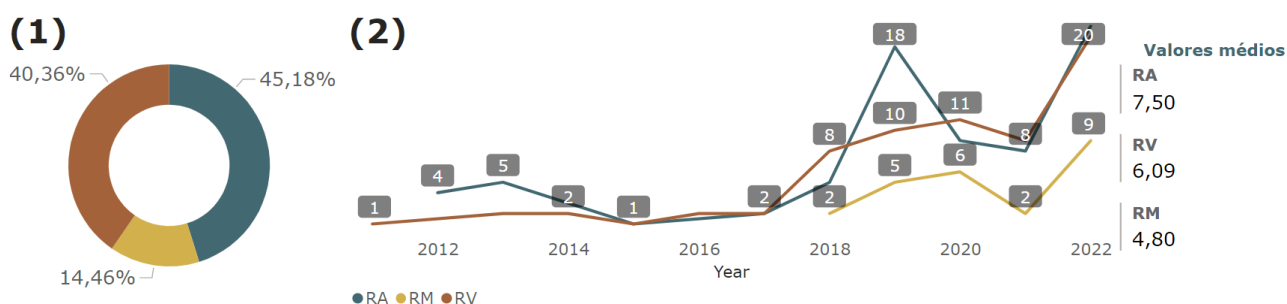


Fonte: Elaborado pelo autor.

Em termos gerais, ao analisar a volumetria das publicações por tecnologia, aferiu-se que as publicações sobre Realidade Aumentada tiveram maior destaque com 75 (45.18%) publicações, seguido da Realidade Virtual com 67 (40.36%) e Realidade Mista com 24 (14.46%) publicações no período do estudo, item 1 - Figura 32. Cronologicamente, RA foi a tecnologia de maior interesse no ano de 2019 e 2022 com, respectivamente, 18 e 20 publicações, seguido de RV e RM. Em termos de média, foram produzidos aproximadamente 7,5 publicações em RA, 6,09 em RV e 4,8 em RM publicações por ano, item 2 - Figura 32.

Notou-se que o primeiro registro sobre o uso da tecnologia de Realidade Mista surge em 2018 e em 2022 ocorre o ponto máximo, com 9 publicações no ano (Figura 32). O comportamento da evolução anual das tecnologias mostra que, nos anos anteriores a 2015, o interesse em Realidade Aumentada superou, em volume, os estudos de Realidade Virtual e durante os anos de 2015 a 2017, ambas apresentam a mesma volumetria. A partir de 2017 há um crescimento nas publicações de RV, superando as publicações de RA, até seu ápice em 2020. Pontos notáveis, em 2019 e 2022, RA supera RV, em, respectivamente, 8 e 1 publicações. Esse resultado pode apontar para um crescente interesse na área de AEC por RV, RA e RM para os próximos anos. No ano 2022, houve a maior volumetria de publicações da série temporal, representando 28.92% do total de registros.

Figura 32 – (1) Distribuição das publicações por tecnologia, (2) Evolução do volume de tecnologias por ano



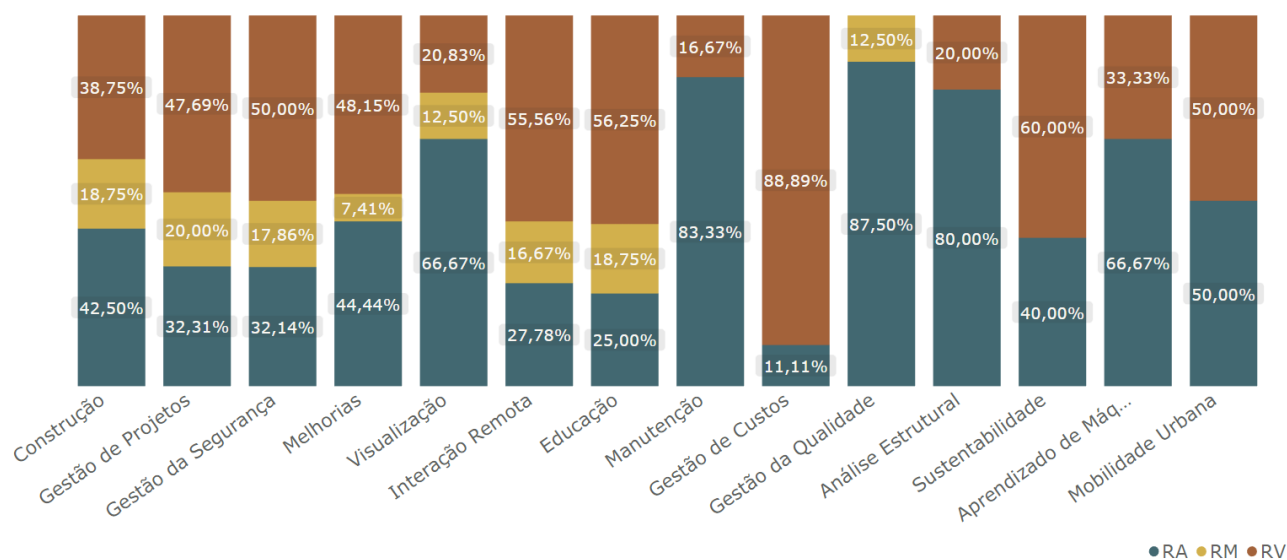
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a distribuição do uso de RA, RV e RM por Temas (Quadro 7), verificou-se que "Construção", "Melhorias" e "Mobilidade Urbana" apresentaram o uso de Realidade Aumentada e Virtual em proporções semelhantes, com diferença menor que 3.71%, e estiveram presentes em todos os Temas abordados (Figura 33). Já Realidade Mista fez parte de apenas 8 Temas ("Construção", "Gestão de Projetos", "Gestão da Segurança", "Melhoria", "Visualização", "Interação Remota", "Educação" e "Gestão da Qualidade"), sendo que a maior parcela do uso ocorre no Tema "Gestão de Projetos", com 20.00% do total de publicações. Os Temas que utilizaram majoritariamente Realidade Virtual são seis, "Interação Remota", "Educação", "Gestão de Custo", "Gestão de Projetos", "Gestão da Segurança", e "Sustentabilidade", enquanto os Temas "Visualização", "Manutenção", "Gestão da Qualidade", "Análise Estrutural" e "Aprendizado de Máquina", utilizaram majoritariamente Realidade Aumentada.

Diferentemente do comportamento do uso de RV e RA, que não indicam qual a tendência para os próximos anos, Realidade Mista apresenta crescente interesse. Essa tecnologia é a mais recente da série, com o primeiro registro ocorrendo em 2018, com 2 publicações sobre a tecnologia, e o último em

2022, com 9 publicações, representando um aumento de 450% nas publicações em relação ao primeiro ano de registro de uso de RM, 2018, neste estudo.

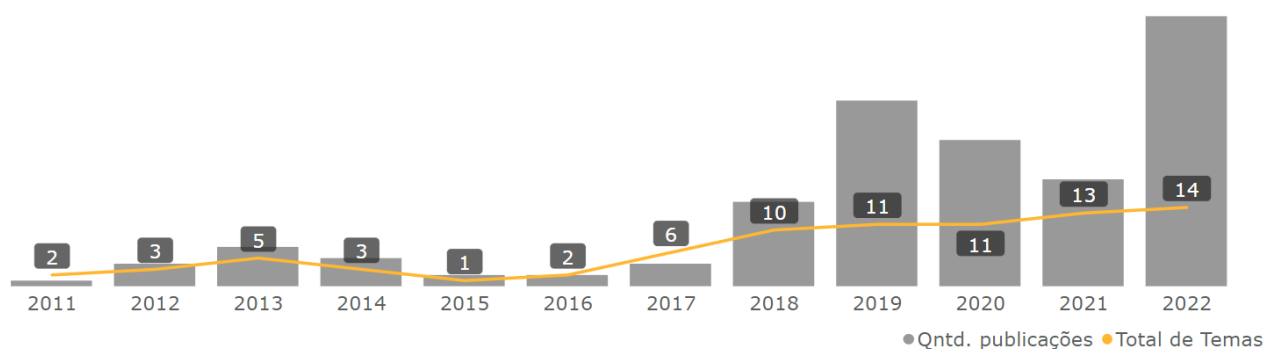
Figura 33 – Distribuição das tecnologias por Temas



Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir de 2016 foi verificado aumento anual da quantidade de Temas abordados; a média anual foi de 10,8 Temas por ano, em oposição a apenas 2,67 nos anos anteriores. No último ano (2022) foram registrados um total de 14 Temas, totalizando uma variação percentual de 700% desde o início do estudo (Figura 34). Apesar do crescente interesse por novas aplicações, o volume de publicações sobre os novos Temas ainda é reduzido, concentrado apenas nos Temas principais e recorrentes.

Figura 34 – Evolução do volume de Temas por ano

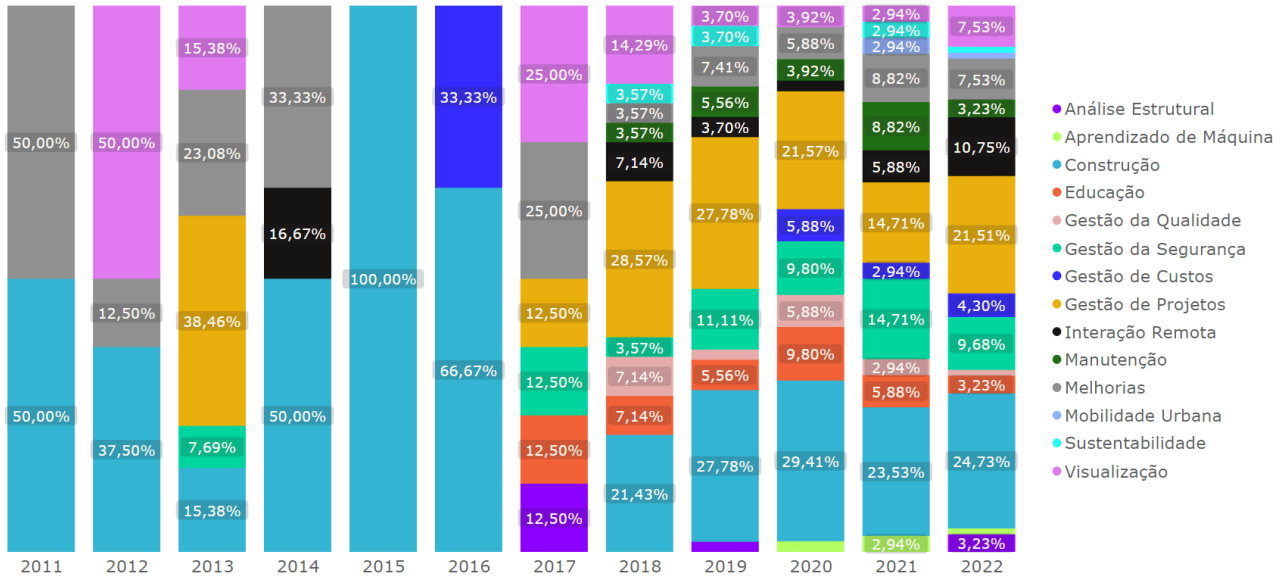


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Temas que surgiram na série após 2016 foram "Análise Estrutural", "Aprendizado de Máquina", "Educação", "Gestão da Qualidade", "Manutenção", "Mobilidade Urbana" e "Sustentabilidade", sendo que, os Temas, "Mobilidade Urbana" e "Aprendizado de Máquina", este último recorre às tecnologias de "Inteligência Artificial"(IA), foram as inclusões mais recentes nos últimos 3 anos.

Os Temas "Visualização", "Gestão de Projeto", "Gestão de Segurança" e "Melhorias" apareceram pontualmente antes de 2016, enquanto "Construção" e "Melhorias" estiveram presentes em quase todos os anos do estudo, com exceção apenas nos anos de 2015 e 2016, e 2017, respectivamente, Figura 35.

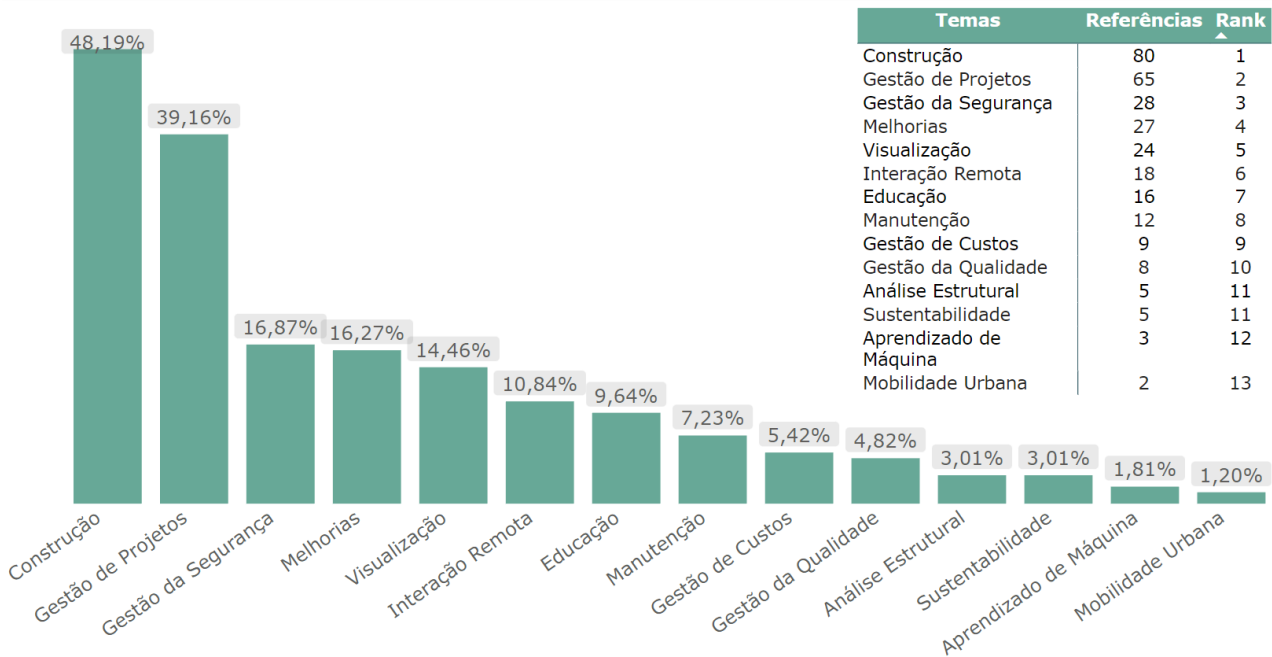
Figura 35 – Distribuição dos Temas abordados por ano.



Fonte: Elaborado pelo autor.

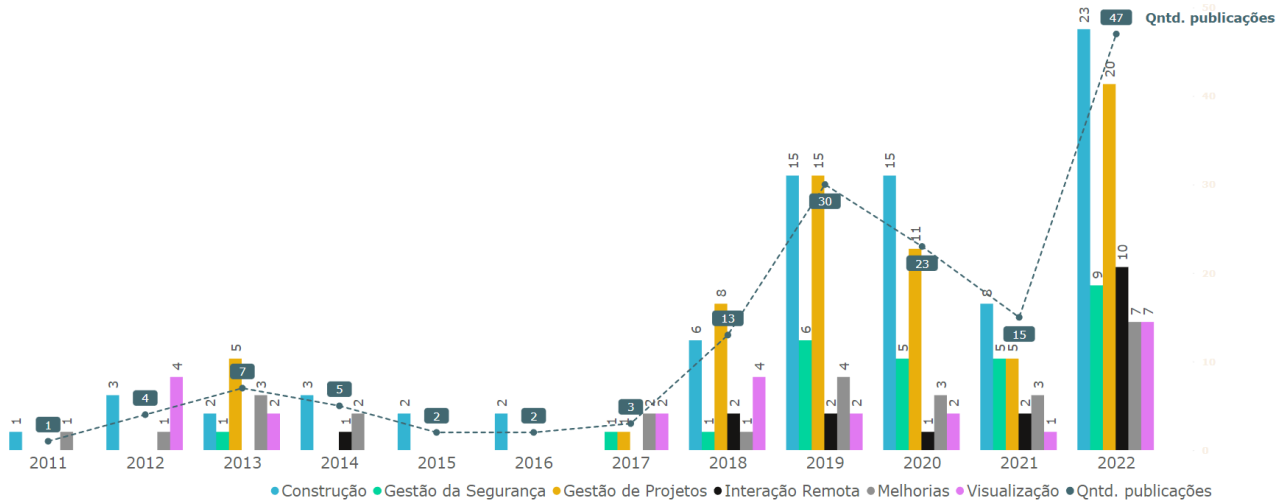
Os principais Temas foram definidos e ranqueados a partir da contagem da sua frequência nas publicações, sendo "Construção", "Gestão de Projetos", "Gestão da Segurança", "Melhorias" e "Visualização", como indicado na tabela junto à Figura 36. Nota-se que "Construção" e "Gestão de Projetos", além de representarem a maior parcela de interesse, com, respectivamente, 48.19% e 39.16% do total de Temas, apresentam volumetria semelhantes, com pequenas diferenças ao longo dos anos, Figura 37.

Figura 36 – Distribuição percentual dos Temas



Fonte: Elaborado pelo autor.

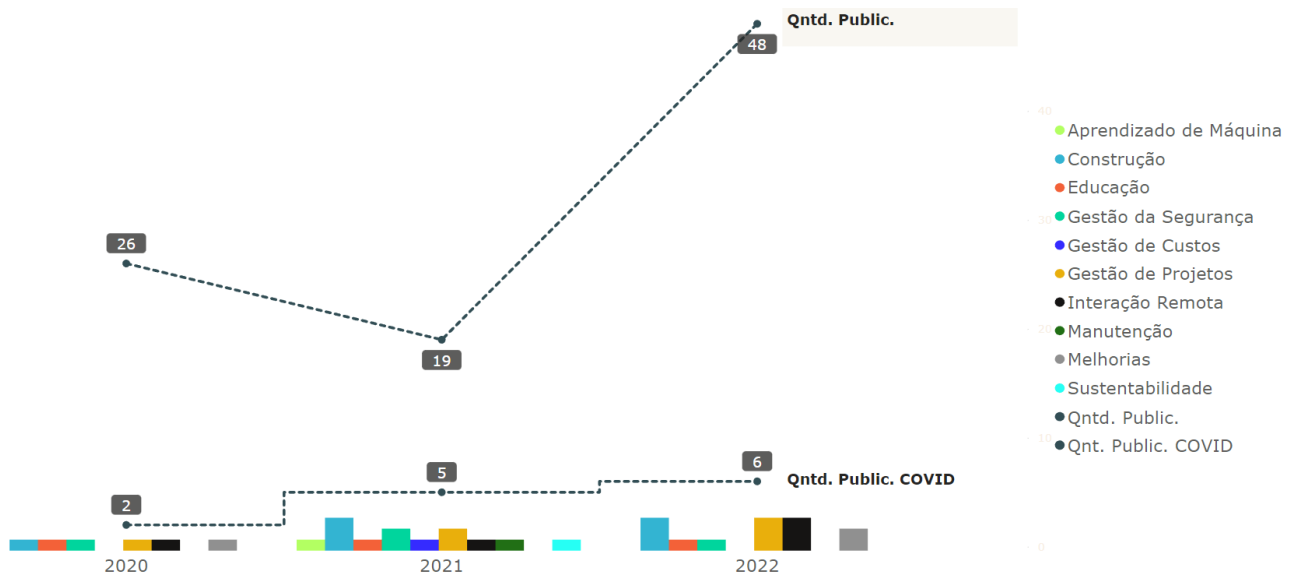
Figura 37 – Evolução dos principais Temas por ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

O comportamento do volume de publicações nos últimos 3 anos, levanta o questionamento sobre o possível impacto do surto pandêmico da Covid-19, iniciado em 2020, nas produções científicas no período. De todas as publicações analisadas, apenas 13 referiram-se a esse impacto. A volumetria dessas referências em relação ao total publicado por anos é pequena (linha tracejada - "Qntd. Public. COVID"), porém nesses, os Temas de "Gestão de Projetos", "Gestão de Segurança", "Educação" e "Interação Remota" foram abordados em todas as ocorrências, sendo que o último teve crescimento, em relação a 2020, de 1000%. Do total de 6 publicações com referência à Covid-19, em 2022, 3 referem-se ao Tema de "Interação Remota" (Figura 38). Esse comportamento, corrobora para que, apesar de reduzida volumetria de referências, seja plausível o impacto da Covid-19 na volumetria das publicações no período.

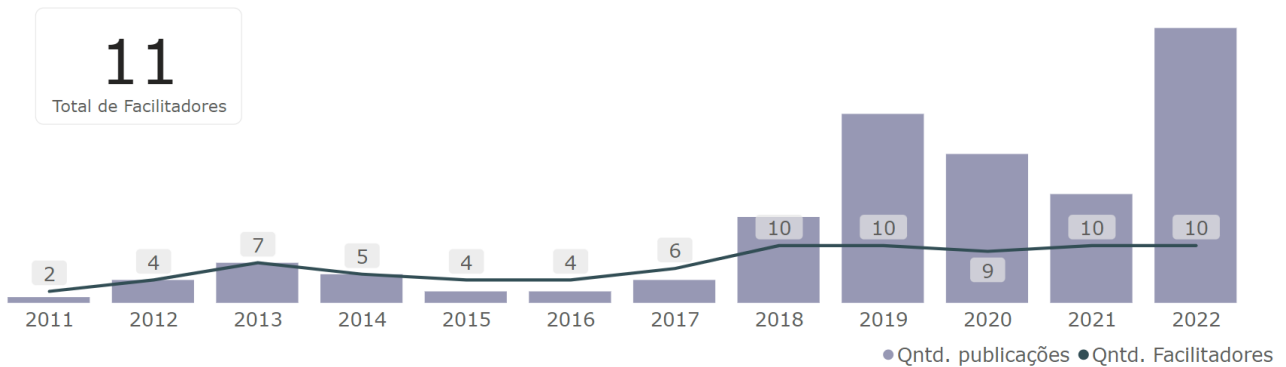
Figura 38 – Evolução dos Temas com referência à Covid-19 por ano da pandemia, dentre o total de publicações no período



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os Temas utilizados na produção das publicações, outros interesses foram despertados, entre eles quais os Facilitadores utilizados nestas produções. Ao todo foram contabilizados 11 Facilitadores, descritos no Quadro 8. O comportamento da evolução dos Facilitadores é semelhante ao analisado nos Temas, com aumento na quantidade de referência a partir de 2017. Entre os anos de 2011 e 2016, a média de referência do uso dos Facilitadores era de 4,3; a partir de 2017 essa média aumenta e passa a 9,3 Facilitadores utilizados por ano, Figura 39.

Figura 39 – Evolução da quantidade de Facilitadores abordados por ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

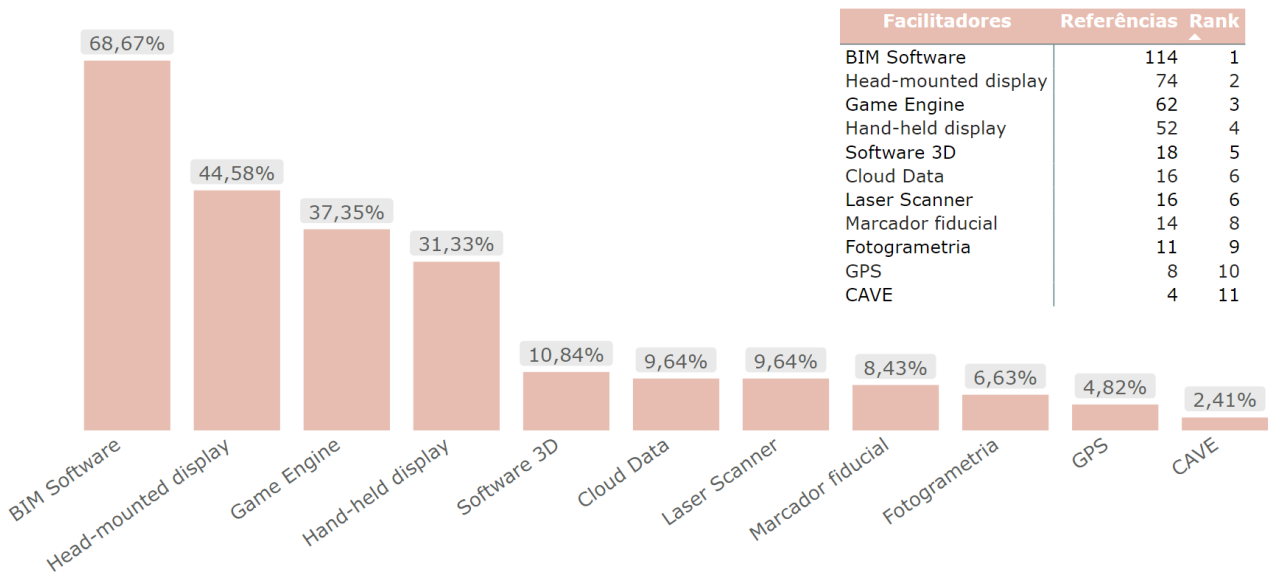
Nos anos anteriores a 2017 foi verificado que o uso dos Facilitadores estava centralizado em "BIM Software", "*Head-mounted display*" e "*Hand-held display*" e, em alguns momentos, pontualmente, foram utilizados os Facilitadores como "CAVE", "Marcadores Fiduciais", "Fotogrametria", "*Laser Scanner*", "Software 3D" e "*Game Engine*". A partir de 2018, nota-se uma maior variação no uso dos Facilitadores e o crescente uso de "BIM Software", "*Head-mounted display*", "*Game Engine*" e "*Hand-held display*", Figura 40, que ainda representam os Facilitadores mais populares entre as publicações, correspondendo a 68.67%, 44.58%, 37.35% e 31.33% do total de registros, respectivamente, Figura 41.

Figura 40 – Distribuição dos Facilitadores por ano



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 41 – Distribuição percentual dos Facilitadores

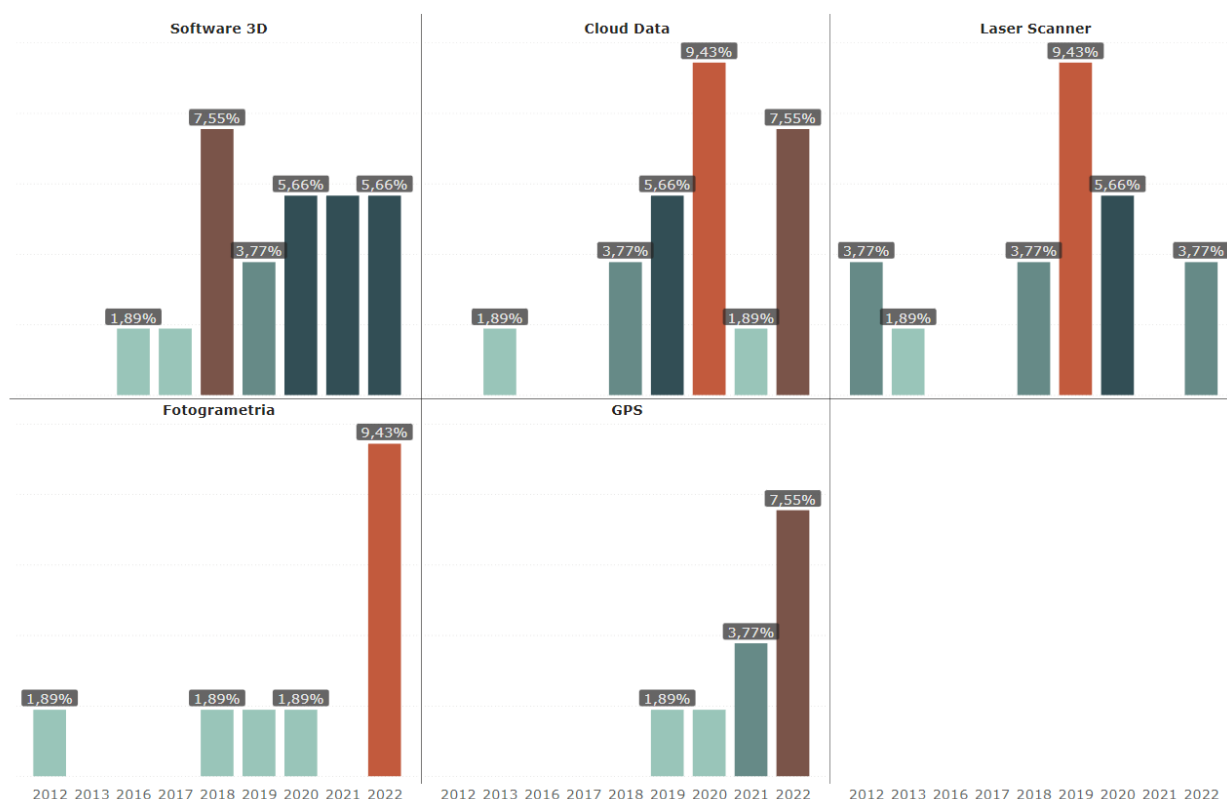


Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da distribuição dos Facilitadores indicou que foram utilizados, nos últimos 3 anos consecutivos, os Facilitadores "Laser Scanner", "Software 3D", "GPS", "Cloud Data" e "Fotogrametria". Desses, "GPS" e "Fotogrametria" tiveram o maior aumento percentual, de 400% e 500%, respectivamente, enquanto o interesse por *Laser Scanner* regrediu em 60%. Apesar dessa análise, esses foram os

Facilitadores com menor volume de publicações e seu crescimento nos últimos anos pode indicar um crescente interesse nos próximos períodos, (Figura 42).

Figura 42 – Distribuição dos novos Facilitadores nos últimos 4-6 anos



Fonte: Elaborado pelo autor.

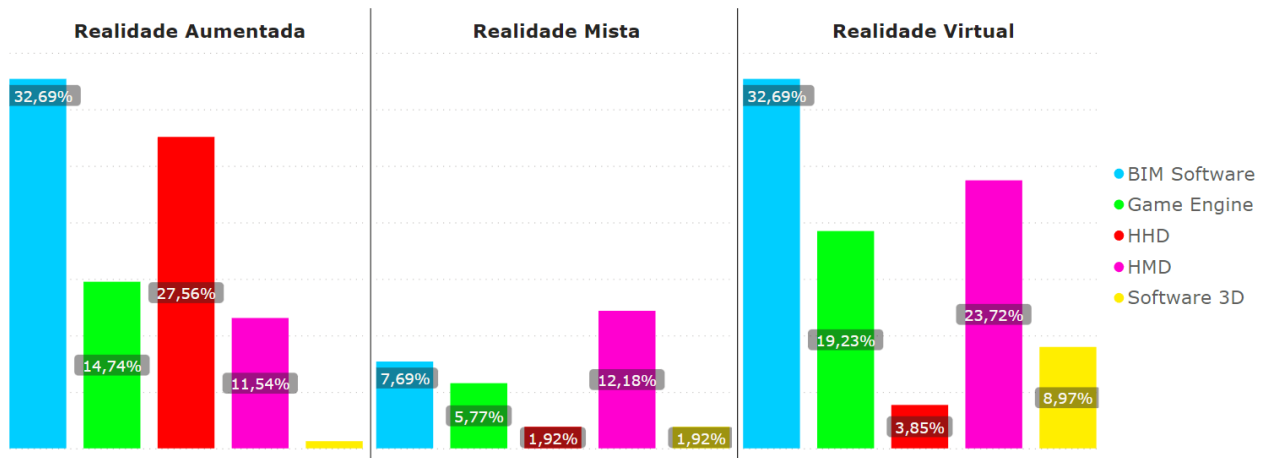
Em detalhe, "*Cloud Data*" e "GPS", se apresentaram relacionados à compatibilização de projetos, interação remota, inspeção e manutenção, com atualizações das informações em tempo real ((DAHBI *et al.*, 2022), (GARBETT; HARTLEY; HEESOM, 2021), (RAMOS-HURTADO *et al.*, 2022) etc.); "Fotogrametria" foi utilizada para reconstrução tridimensional de estruturas já existentes e melhora no realismo de objetos tridimensionais, apresentando maior uso em Realidade Virtual ((VINCKE; VERGAUWEN, 2022), (KEYVANFAR; SHAFAGHAT, 2022), (KIM *et al.*, 2018)).

Ao analisar as publicações verifica-se que as aplicações de "*Cloud Data*" permitem a conexão e atualização em tempo real dos modelos tridimensionais, enquanto "GPS" permite aferir a localização dos objetos e operadores no ambiente. Unidos estes Facilitadores, é possível criar um ambiente integrado cujas informações trafeguem entre o operador e a máquina em tempo real. Nesse sentido, entende-se que essas tecnologias trabalham retroativamente, alimentando as aplicações em Realidade Aumentada e Mista com novas informações a todo instante ((GARBETT; HARTLEY; HEESOM, 2021), (VINCKE *et al.*, 2019), (TAREK; MARZOUK, 2022), (AMMARI; HAMMAD, 2019) etc.).

Para os principais Facilitadores, notou-se que "*Hand-held display*" é mais utilizado em Realidade Aumentada (27.56%), enquanto "*Head-mounted display*" é o mais utilizado em Realidade Virtual (23.72%). Nota-se também que "*Game Engine*" é mais utilizado em Realidade Virtual (19.23%), seguido da Realidade Aumentada (14.74%) e Mista (5.77%). Por fim, "Software 3D" é preferência em

Realidade Virtual (8.97%), diferente da Realidade Mista e Aumentada, sendo que essa última teve o menor uso desse Facilitador com apenas uma referência (0.64%), Figura 43.

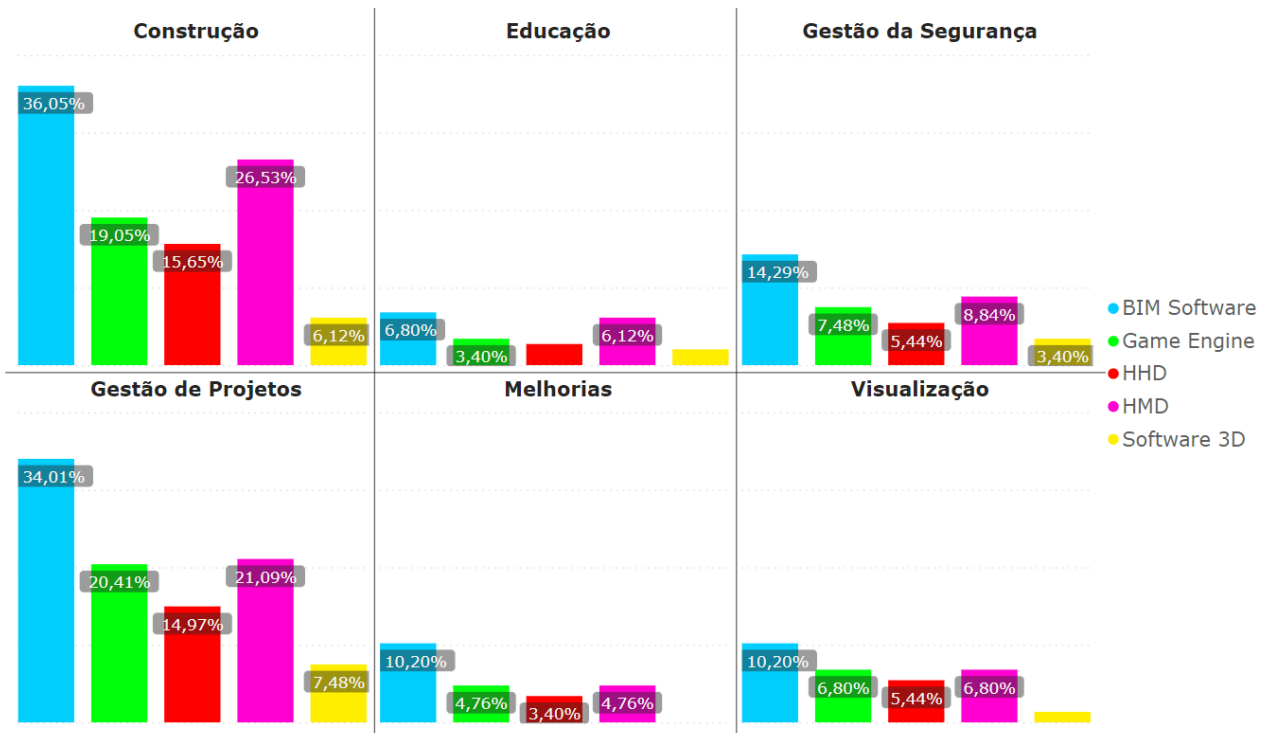
Figura 43 – Distribuição dos Facilitadores por tecnologias



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os principais Temas, as análises apontam um comportamento semelhante à ordem de maior interesse dos Facilitadores, do maior para o menor, "BIM Software", "Head-mounted display", "Hand-held display", "Game Engine" e "Software 3D". Durante a etapa de qualificação das publicações, notou-se o uso de "Software 3D" para ajuste dos modelos tridimensionais e, por isso, achou-se pertinente incluí-lo nessa análise, Figura 44.

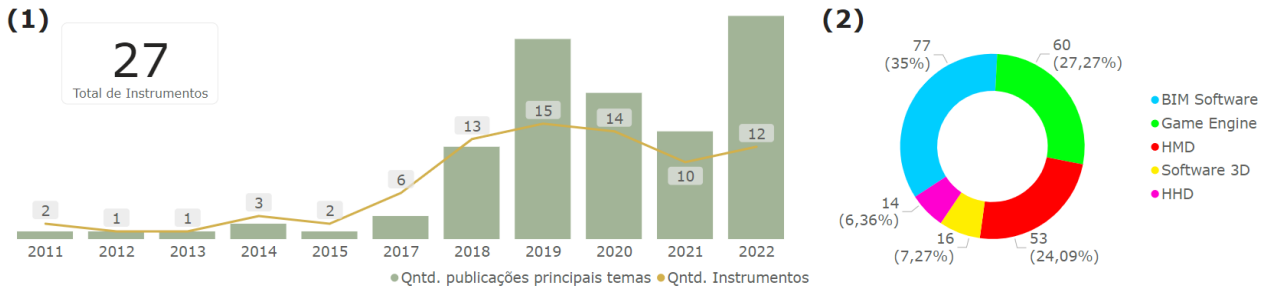
Figura 44 – Distribuição dos Temas por Facilitadores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tendo, então, definido o conjunto dos principais Facilitadores e Temas, foram analisados os registros sobre os Instrumentos utilizadas nos estudos, conforme o (Quadro 8). Ao total foram contabilizadas 27 Instrumentos, sendo 9 de "*Head-mounted display*" (HMD), 6 de "*Hand-held display*" (HHD), 6 de "BIM Software", 4 de "Software 3D" e 2 de "*Game Engine*", (Figura 45).

Figura 45 – (1) Evolução da quantidade de Instrumentos abordadas por ano, (2) Distribuição dos Instrumentos por Facilitadores



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Facilitadores "*BIM Software*" e "*Game Engine*" apresentaram poucos Instrumentos a eles relacionados, limitando-se, majoritariamente, ao uso de Revit, com 69 ocorrências, e a Unity 3D, com 58 ocorrências, respectivamente. Por outro lado, os Facilitadores "*Software 3D*" e "*HMD*" tiveram uma maior variedade de Instrumentos relacionados, sendo 3DS Max e SkecthUp, e HoloLens, HTC Vive e Óculos Rift, os Instrumentos mais populares, respectivamente, (Figura 46). Os Instrumentos utilizados em "*Hand-held display*" referem-se aos aplicativos criados ou utilizados pelos autores durante os desenvolvimentos em RA e RM; ao total foram registradas 9 aplicações.

Figura 46 – Distribuição dos Instrumentos por Facilitadores

Facilitadores	Instrumentos	Frequência
BIM Software	Total publicações ano	77
	Revit	69
	Navisworks Manage	10
	ArchiCAD	4
	AutoCAD	3
	OpenBIM	2
	Civil 3D	1
Game Engine	Total publicações ano	60
	Unity 3D	58
	Unreal Engine	3
Head-mounted display	Total publicações ano	53
	HoloLens	22
	HTC VIVE	19
	Oculus Rift	12
	Samsung Gear VR	6
	Google Cardboard	3
	ClassVR	1
Software 3D	Total publicações ano	16
	3DS Max	6
	SketchUp	6
	Enscape	3
	Blender	1
Hand-held display	Total publicações ano	14
	Mobile	5
	Vuforia SDK	2
	ARKit	1
	Augin	1
	BARMS	1
	BIM AR FSE	1
	Gamma AR Pro	1
	iInspect	1
	SmartReality	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise temporal do uso dos Instrumentos por tecnologias para cada Facilitador indica que tanto em "BIM Software" quanto em "Game Engine", é notado o crescente uso dos Instrumentos Revit e Unity 3D, respectivamente. No ano de 2022, em "Game Engine", foi notado o primeiro registro de um motor de jogos diferente da Unity 3D, a Unreal Engine, com 3 referências, 1 em Realidade Aumentada e 2 em Realidade Virtual. Enquanto para "BIM Software", o uso do Instrumento Navisworks Manage acompanha a redução nos últimos 3 anos, (Figura 47).

Figura 47 – Evolução dos Instrumentos por tecnologias em relação aos Facilitadores "BIM Software" e "Game Engine"

Facilitadores	Tecnologias	Instrumentos	2011	2012	2013	2014	2015	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total	
BIM Software	Total publicações ano		1	1	1	1		1	8	17	14	11	22	77	
	Realidade Virtual	Total publicações ano	1						1	6	5	7	5	10	35
		Revit	1						1	5	4	7	5	10	33
		Navisworks Manage	1							3	1	1		1	7
		ArchiCAD									1				1
		AutoCAD								1					1
		Civil 3D								1					1
	Realidade Aumentada	Total publicações ano		1	1	1				1	10	4	6	9	33
		Revit		1						1	8	4	5	9	28
		Navisworks Manage			1	1				1					3
		ArchiCAD				1								1	2
		OpenBIM									1		1		2
		AutoCAD									1				1
	Realidade Mista	Total publicações ano								1	2	3		3	9
		Revit								1	2	2		3	8
ArchiCAD											1			1	
AutoCAD													1	1	
Game Engine	Total publicações ano						1	1	9	11	7	8	23	60	
	Realidade Virtual	Total publicações ano					1	1	6	3	4	5	9	29	
		Unity 3D					1	1	6	3	4	5	7	27	
		Unreal Engine											2	2	
	Realidade Aumentada	Total publicações ano							2	5	1	3	11	22	
		Unity 3D								2	5	1	3	11	22
		Unreal Engine											1	1	
	Realidade Mista	Total publicações ano							1	3	2		3	9	
		Unity 3D								1	3	2		3	9

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Instrumentos em "BIM Software" são utilizados majoritariamente para criação dos modelos tridimensionais, base dos projetos. Porém, Instrumentos de modelagem (Software 3D) como SketchUp e Blender podem ser utilizados como substitutos do Revit, pois permitem a criação e texturização de modelos tridimensionais, assim como este ((DAVALLE; AZHAR, 2020), (PRABHAKARAN *et al.*, 2020), etc.). Para "Game Engine", o principal Instrumento é a Unity 3D, a qual é utilizada na etapa posterior à criação dos modelos em "BIM Software" e tratamento com "Softwares 3D". Assim, compreende-se que "Game Engine" é a fase do processo de desenvolvendo em RV, RA e RM, que permite a interação do usuário, operador, com o modelo tridimensional desenvolvido nas etapas de "BIM Software" ((CARBONARI *et al.*, 2022), (TSAI *et al.*, 2022) etc.).

Os Instrumentos de "Head-mounted display" e "Hand-held display" fazem parte da última etapa do processo de criação das aplicações em RV, RA e RM em AEC. Esses Instrumentos possibilitam a imersão dos usuários, seja em ambiente virtual ou mundo virtualizado. Os principais Instrumentos em "Head-mounted display" pertencem a dois grandes grupos, os *Opticall See Through* (OST) e os *Video See Through* (VST). Para o grupo VST, os Instrumentos mais comuns foram os "Oculos Rift" e "HTC Vive"; esses são utilizados pelas tecnologias de Realidade Virtual e Mista, enquanto para o grupo OST o destaque está para HoloLens, utilizados em Realidade Aumentada e Mista.

Para "Software 3D", as únicas tecnologias abordadas foram Realidade Mista e Virtual, dessas, os

Instrumentos 3DS Max, Blender e Enscape só foram utilizadas em RV, enquanto em RM só houve registro do uso do SkechUp. Os Instrumentos de “Software 3D” foram utilizadas, principalmente, para correção e tratamento dos modelos tridimensionais. Os Instrumentos SkechUp e Enscape foram utilizados para modelagem e visualização de modelos 3D, enquanto o 3DS Max foi utilizado, em conjunto à “*Game Engine*”, como ferramenta de conversão de metadados dos modelos em “BIM Software” em FBX (Autodesk Filmbox), extensão que pode ser interpretada por um motor de jogos ((PRABHAKARAN *et al.*, 2022), (OFLUOGLU; OZENER; ISIKDAG,), (RIVERA; MORA-SERRANO; OÑATE, 2021) etc.).

Para “*Hand-held display*”, os únicos Instrumentos utilizadas em Realidade Virtual foram o iInspect e os dispositivos *mobile*, como *Tablets* e *Smartphones*. Em contrapartida, Realidade Aumentada apresentou a maior variedade e uso de Instrumentos, (Figura 48). Enquanto para “*Head-mounted display*”, notou-se uma distribuição mais equilibrada dos Instrumentos entre as tecnologias. Tanto para Realidade Aumenta quanto para Realidade Mista, a principal Instrumento utilizado foi o HoloLens. Enquanto para Realidade Virtual, os principais Instrumentos foram HTC Vive e Oculus Ritf, Figura 48.

Foram identificados estudos de uso de Instrumentos aplicados às tecnologias de RA e RM que permitiram aos usuários experienciarem o mundo virtual enquanto imerso no mundo real ((LIINASUO *et al.*, 2022), (CHALHOUB; AYER, 2019b), (KHALEK; CHALHOUB; AYER, 2019) etc.). A proposta foi trazer mobilidade ao usuário, livrando as suas mãos de dispositivos *mobile*, melhorando assim sua movimentação no ambiente real. O principal instrumento utilizado nesses estudos foi o HoloLens, e tem sido utilizado em RA e RV nos últimos 4 anos, conforme análises anteriores.

Os Instrumentos de “*Hand-held display*” trazem informações sobre as bibliotecas de suporte aos desenvolvedores de aplicações em Realidade Aumentada. Apenas um Instrumento foi utilizado no desenvolvimento em Realidade Virtual, o iInspect ((ZHANG *et al.*, 2019)). No geral, os Instrumentos de “*Hand-held display*” são ARKit e Vuforia; esse fornece um conjunto de ferramentas para as aplicações em Android ((CHALHOUB; AYER, 2019a) e (LINARES-GARCIA; FLORES-LINARES; ROOFIGARI-ESFAHAN, 2022)), enquanto ARKit é utilizado em aplicações que rodam em dispositivos da empresa Apple ((TSAI *et al.*, 2022)).

Figura 48 – Evolução dos Instrumentos e Facilitadores utilizados em "Software 3D", "Head-mounted display" e "Hand-held display"

Facilitadores	Tecnologias	Instrumentos	2014	2015	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
Head-mounted display	Total publicações ano			1	2	5	12	13	8	12	53
	Realidade Virtual	Total publicações ano		1	2	2	5	7	6	4	27
		HTC VIVE					4	3	4	3	14
		Oculus Rift		1	1	1		3	2	2	10
		Samsung Gear VR				1	1	1	1		4
		Google Cardboard			1	1		1			3
	Realidade Mista	Total publicações ano				2	4	4	1	4	15
		HoloLens				2	1	3	1	4	11
		HTC VIVE					3	1		1	5
		Oculus Rift							1		2
		Samsung Gear VR					1	1			2
	Realidade Aumentada	Total publicações ano				1	3	2	1	4	11
		HoloLens				1	3	2	1	4	11
		ClassVR						1			1
Software 3D	Total publicações ano				1	4	2	4	3	2	16
	Realidade Virtual	Total publicações ano			1	4	1	2	3	2	13
		3DS Max				2			2	2	6
		Enscape				1		2			3
		SketchUp			1	1	1				3
		Blender							1		1
	Realidade Mista	Total publicações ano					1	2			3
		SketchUp						1	2		3
Hand-held display	Total publicações ano		1		1	2	5	2	1	2	14
	Realidade Aumentada	Total publicações ano	1		1	1	4	1	1	2	11
		Mobile	1		1	1					3
		Vuforia SDK					1				2
		ARKit								1	1
		Augin							1		1
		BARMS					1				1
		BIM AR FSE						1			1
		Gamma AR Pro					1				1
		SmartReality					1				1
	Realidade Virtual	Total publicações ano				1	1				2
		iInspect					1				1
		Mobile				1					1
	Realidade Mista	Total publicações ano							1		1
Mobile							1		1		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em última análise foram combinadas todas as informações disponíveis sobre os Instrumentos e Facilitadores em relação aos principais Temas. As análises indicaram a existência de um processo de criação de aplicações em RA e RV em AEC, bem definidos. Em resumo, o fluxo segue na seguinte ordem: BIM Software, 3D Software, *Game Engine* e *Head-mounted display* ou *Hand-held display*. Primeiramente, a base do processo depende da existência de modelo em BIM; a partir disso existem duas opções, ou o desenvolver utiliza aplicações como Augin e GAMMA AR para apresentar os modelos tridimensionais em Realidade Aumentada por dispositivos móveis, ou exporta esse modelo para uma *Game Engine* e desenvolve sua própria aplicação.

Caso a escolha seja utilizar uma *Game Engine*, o modelo tridimensional tende a ser exportado para um Software 3D, para conversão das informações do modelo tridimensional em BIM para um formato

legível. Em *Game Engine* ocorre a criação de um "jogo" que permite o manuseio e interação com os objetos do modelo BIM. Assim que o desenvolvimento em *Game Engine* termina, o desenvolvedor tem opção de, ou utilizar um conjunto de Instrumentos como ARKit e Vuforia para exportar a aplicação para um dispositivo móvel ("*Hand-held display*") ou ele mantém a aplicação em um computador *desktop* responsável por transmitir as imagens para o "*Head-mounted display*", seja por meio de cabos ou por transmissão remota.

6 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou os resultados de uma RSL, com objetivo de responder aos questionamentos quanto aos usos das aplicações das tecnologias de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) em AEC nos últimos 11 anos. Nos últimos 4 anos a tecnologia de Realidade Mista (RM) passou a ter mais espaço entre as tecnologias aplicadas e por isso foi incluída nas análises. As evidências encontradas foram categorizadas por Temas, Facilitadores e Instrumentos. As análises das distribuições e volumetria das publicações, revelaram crescente interesse nas tecnologias de RV e RA nos últimos anos, especialmente, nos Temas de “Construção” e “Gestão de Projetos”, que estão presentes em 48.19% e 39.16% do total de registros. Apesar de esses serem as áreas do conhecimento com maiores aplicações, outros Temas como "Melhorias", "Interação Remota" e "Visualização" vêm crescendo nos últimos anos, sendo que, em relação ao início da pandemia da Covid-19, o Tema “Interação Remota” teve crescimento de 1000%.

Os principais Temas abordados foram identificados a partir do total de publicações selecionadas para o estudo. Foram considerados principais Temas aqueles representassem no mínimo 10% o total de publicações, sendo “Construção”, “Gestão de Projetos”, “Gestão da Segurança”, “Melhorias”, “Visualização” e “Interação Remota”. Deste conjunto, os Temas "Construção" e "Melhorias" utilizaram RA e RV em proporções semelhantes, enquanto "Gestão da Segurança", "Interação Remota" e "Gestão de Projetos" utilizaram RV em maior proporção e "Visualização" utilizou em maioria RA.

Dentre os principais Temas abordados, as práticas, ou Facilitadores, de maior destaque no uso de tecnologias de RV, RA e RM foram "BIM Software", "*Head-mounted displays*", "*Game Engine*", "*Head-held displays*" e "*Software 3D*". Os Instrumentos mais utilizados, foram analisados em relação às práticas de maior destaque. Para “BIM Software” e “*Game Engine*”, foram Revit (89.61%) e a Unity 3D (96.67%), respectivamente, enquanto os Instrumentos de “*Software 3D*” variaram entre 3DS Max, SkechUp (37.50%) e Enscape (18.75%). Por fim, para “*Head-mounted displays*”, os Instrumentos mais comuns foram os HoloLens (41.51%), HTC Vive (35.85%) e Oculus Rift (22.64%).

Em relação às oportunidades para o futuro, notou-se que o rumo das pesquisas apontam para o crescente uso de tecnologia de RM e dos Facilitadores "*Game Engine*", "*Head-held displays*" e "Interação Remota", dado o crescimento avaliado para esses nos últimos anos. Em última consideração, vislumbra-se que o crescente interesse pelo Tema de “Interação Remota” foi principalmente impulsionado pela crise do Covid-19. Esse comportamento sugere também que os estudos devem envolver cada vez mais ambientes colaborativos e integrados.

Em síntese, acredita-se que essa RSL respondeu, em suficiência, aos questionamentos propostos sobre os principais Temas, Facilitadores e Instrumentos utilizados em Realidade Aumentada, Virtual e Mista aplicados em AEC, assim como apresentou considerações palpáveis às oportunidades de pesquisas futuras.

6.1 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Como recomendações para novos estudos, é sugerida a replicação de uma RSL nos mesmos moldes em um período futuro, inserindo Realidade Mista nas palavras de busca para entender com maior clareza o interesse das indústrias de AEC por esta tecnologia, ou se esta pode ser traduzida como parte de RA. É recomendado também que para as próximas pesquisas seja dado enfoque a uma tecnologia de RV, RA e RM por vez, tornando o estudo objetivo, reduzindo o volume de informações e análises necessárias para a consolidação do trabalho.

REFERÊNCIAS

- ACIID. **VIRTUALITY GENESIS: Evolution of Virtual and Augmented Realities**. 2020. Disponível em: <https://aciid.com/virtuality-genesis-evolution-of-virtual-and-augmented-realities/>. Acesso em: 13 ago. 2022.
- ADDOR, M. R. A. *et al.* Colocando o "i" no bim. **arq. urb**, n. 4, p. 104–115, 2010.
- AGOPYAN, V. A construção civil rompendo paradigmas. **Inovação em Construção Civil** *æ*, 2005.
- AGUIAR, A. A. de; BRANDÃO, I. J. C. Aplicação de realidade aumentada em projetos de engenharia e arquitetura: desenvolvendo de aplicações mobile com unity e vuforia ar. **Conexão ComCiência**, v. 1, n. 3, 2021.
- AHMED, K. M.; DHUBAIB, B. A. Zotero: A bibliographic assistant to researcher. **Journal of Pharmacology and Pharmacotherapeutics**, Medknow Publications & Media Pvt. Ltd., v. 2, n. 4, p. 303, 2011.
- AIBINU, A. A.; PAPADONIKOLAKI, E. Conceptualizing and operationalizing team task interdependences: Bim implementation assessment using effort distribution analytics. **Construction management and economics**, Taylor & Francis, v. 38, n. 5, p. 420–446, 2020.
- ALVES, G. F. d. O. **Porquê aprender a programar?** 2014. Disponível em: <https://dicasdeprogramacao.com.br/por-que-aprender-a-programar/>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- ALVES, J. B.; MARQUES, B.; FERREIRA, C.; DIAS, P.; SANTOS, B. S. Comparing augmented reality visualization methods for assembly procedures. **Virtual Reality**, Springer, v. 26, n. 1, p. 235–248, 2022.
- AMARAL, R. D. C. do; FILHO, A. C. de P. **A Evolução do CAD e sua Aplicação em Projetos de Engenharia**. Rio de Janeiro, RJ. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- AMIM, R. R.; LANDAU, L.; CUNHA, G. **Realidade aumentada aplicada a arquitetura e urbanismo**. Rio de Janeiro, RJ. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.
- AMMARI, K. E.; HAMMAD, A. Remote interactive collaboration in facilities management using bim-based mixed reality. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 107, p. 102940, 2019.
- AMORIM, A.; CHECCUCI, E. Tecnologias computacionais de auxílio ao projeto de edificações: potencialidades versus dificuldades de implantação. **Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura**, v. 14, 2008.
- AMORIM, S. L. d. Inovações tecnológicas nas edificações: papéis diferenciados para construtores e fornecedores. **Gestão & Produção**, SciELO Brasil, v. 3, p. 262–274, 1996.
- ARCHDAILY. **Equipamento de visão raio-x permite que arquitetos vejam através das paredes de uma obra**. 2017. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/875057/equipamento-de-visao-raio-x-permite-que-arquitetos-vejam-atraves-das-paredes-de-uma-obra>. Acesso em: 12 jul. 2022.
- ARCHDAILY. **Morpholio Unveils AR Sketchwalk, an Augmented Reality Tool to Immerse Users in Design**. 2019. Disponível em: <https://www.archdaily.com/913039/morpholio-unveils-ar-sketchwalk-an-augmented-reality-tool-to-immense-users-in-design>. Acesso em: 10 abr. 2022.

ARO, C. R.; AMORIM, S. V. As inovações tecnológicas no processo de produção dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários. *In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL*. [S.l.: s.n.], 2004. v. 1.

AUGIN. **Augin | Plataforma de realidade aumentada para Arquitetura, Engenharia e Construção**. 2021. Disponível em: <https://augin.app/>. Acesso em: 10 abr. 2022.

AUGMENT. **Selling real estate projects through augmented reality**. 2019. Disponível em: <https://www.augment.com/customer-stories/grupo-invercasa/>. Acesso em: 10 abr. 2022.

AZEEM, G. Recommendation of possible facilities layout tools for classroom purpose. **International Supply Chain Technology Journal**, v. 7, n. 07, 2021.

BAM. **BAM via Microsoft HoloLens**. 2021. Disponível em: <https://www.bam.com/en/about-bam>. Acesso em: 10 abr. 2022.

BARROS, M. M. S. B. d. **Metodologia para implantação de tecnologias construtivas racionalizadas na produção de edifícios**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo. 1996.

BEUREN, I. M.; FLORIANI, R.; HEIN, N. Indicadores de inovação nas empresas de construção civil de santa catarina que aderiram ao programa brasileiro de qualidade e produtividade no habitat (pbqp-h). **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, v. 4, n. 1, p. 161–178, 2014.

BIMBER, O.; RASKAR, R. **Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds**. [S.l.]: CRC press, 2005.

BOAS, Y. Overview of virtual reality technologies. *In: Interactive Multimedia Conference*. [S.l.: s.n.], 2013. v. 2013, p. 4.

BONSO, K.; CHANDLER, N. **How Augmented Reality Works**. 2022. Disponível em: <https://computer.howstuffworks.com/augmented-reality.htm>. Acesso em: 13 jul. 2022.

BORGES, L. E. **Python para desenvolvedores: aborda Python 3.3**. [S.l.]: Novatec Editora, 2014.

BOTTEGA, B. S. Avaliação dos efeitos do uso da tecnologia bim sobre a coordenação de projetistas. 2012.

BRASIL, S. N. **Samsung apresenta o novo HMD Odyssey+ no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://news.samsung.com/br/samsung-apresenta-o-novo-hmd-odyssey-no-brasil>. Acesso em: 10 abr. 2022.

CAMPBELL, D. A. **Modeling Rules**. 2006. Disponível em: http://www.architectureweek.com/2006/1011/tools_1-1.html. Acessado em: 22 jul. 2022.

CARBONARI, A. *et al.* A mixed reality application for the on-site assessment of building renovation: development and testing. **Sustainability**, MDPI, v. 14, n. 20, p. 13239, 2022.

CHALHOUB, J.; AYER, S. K. Effect of varying task attributes on augmented reality aided point layout. **J. Inf. Technol. Constr.**, v. 24, p. 95–111, 2019.

CHALHOUB, J.; AYER, S. K. Exploring the performance of an augmented reality application for construction layout tasks. **Multimedia tools and applications**, Springer, v. 78, n. 24, p. 35075–35098, 2019.

- CHENG, C.-H. *et al.* Semantic degrees for industrie 4.0 engineering: deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies. *In: Proceedings of the 2015 10th Joint Meeting on Foundations of Software Engineering*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1010–1013.
- CINOPTICS. **VISETTE45SXGA VIDEOSEETHROUGH HMD**. 2014. Disponível em: <https://cinoptics.com/product/visette45sxga-videoseethrough-hmd/>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- CONSTRUA, R. **Realidade aumentada aplicada na Construção Civil**. 2019. Disponível em: <https://revistaconstrua.com.br/noticias/mercado/realidade-aumentada-aplicada-na-construcao-civil/>.
- CORAL. **Coral Visualizer**. 2021. Disponível em: <https://www.coral.com.br/pt/inspiracao-de-coral-coral-visualizer-um-novo-aplicativo-para-escolher-e-visualizar-cores-direto-na>. Acesso em: 08 abr. 2022.
- COSTA, D. B.; DUARTE, K. R.; SCHIRMER, V. Identificação e divulgação de práticas inovadoras na construção civil—casos de sucesso do programa de inovação tecnológica. 2011.
- COSTA, G. C. L. R. da; FIGUEIREDO, S. H.; RIBEIRO, S. E. C. Estudo comparativo da tecnologia cad com a tecnologia bim. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 34, n. 2, 2015.
- 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, 2007.
- CUPERSCHMID, A. R. M.; FREITAS, M. R.; RUSCHEL, R. C. Tecnologias que suportam realidade aumentada empregadas em arquitetura e construção. **Cadernos PROARQ**, v. 19, p. 47–69, 2012.
- DAHBI, A. *et al.* A cloud-based mobile augmented reality application for bim collaboration. *In: Proceedings of the 6th International Conference on Virtual and Augmented Reality Simulations*. [S.l.: s.n.], 2022. p. 27–33.
- DAVALLE, A.; AZHAR, S. An investigation of mixed reality technology for onsite construction assembly. *In: EDP SCIENCES. MATEC Web of Conferences*. [S.l.], 2020. v. 312, p. 06001.
- DESKTOP, N. **Pandas Library Overview**. 2021. Disponível em: <https://www.nobledesktop.com/learn/python/pandas-overview>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or hype? [industry forum]. **IEEE industrial electronics magazine**, IEEE, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.
- EDUCATION, I. C. **What is data science?** 2022. Disponível em: <https://www.ibm.com/cloud/learn/data-science-introduction>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- FABRICIO, M. M.; MELHADO, S. B. O projeto na arquitetura e engenharia civil e a atuação em equipes multidisciplinares. **Revista Tópos**, v. 1, n. 2, p. 11–28, 2007.
- FEITOSA, L. C. Aplicação da realidade virtual e aumentada para simulação de projeto na construção civil. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2019.
- FOLOGRAM. 2019. Disponível em: <https://fologram.com/>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- FREITAS, M. R. d.; RUSCHEL, R. C. What is happening to virtual and augmented reality applied to architecture? CUMINCAD, 2013.
- FREITAS, M. R. de; RUSCHEL, R. C. O processo de projeto de e edificações e ferramentas gráficas utilizadas. **Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 14"**, 2000.

- FREITAS, M. R. de; RUSCHEL, R. C. Aplicação de realidade virtual e aumentada em arquitetura. **Arquiteturarevista**, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, v. 6, n. 2, p. 127–135, 2010.
- GAEA. **Entenda o que são variáveis na programação e saiba como lidar com elas**. 2022. Disponível em: <https://gaea.com.br/variaveis-programacao/>. Acesso em: 28 abr. 2022.
- GAMMA. 2019. Disponível em: <https://gamma-ar.com/pt/>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- GARBETT, J.; HARTLEY, T.; HEESOM, D. A multi-user collaborative bim-ar system to support design and construction. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 122, p. 103487, 2021.
- GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward industry 4.0. **Journal of manufacturing technology management**, Emerald Publishing Limited, 2018.
- GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J. **An introduction to systematic reviews**. [S.l.]: Sage, 2017.
- HERMANN, M. *et al.* Design principles for industrie 4.0 scenarios: a literature review. **Technische Universität Dortmund, Dortmund**, v. 45, 2015.
- HÖHL, W. **Interactive environments with open-source software: 3D Walkthroughs and Augmented Reality for Architects with Blender 2.43, DART 3.0 and ARToolKit 2.72**. [S.l.]: Springer, 2009.
- JUNIOR, I. F. Inovação tecnológica e modernização na indústria da construção civil. **Ciência et Praxis**, v. 1, n. 02, p. 11–16, 2008.
- JUNQUEIRA, B. P. **Aplicações da realidade virtual e realidade aumentada nos empreendimentos da construção civil**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2021.
- KALE, S.; ARDITI, D. Diffusion of computer aided design technology in architectural design practice. **Journal of Construction Engineering and Management**, American Society of Civil Engineers, v. 131, n. 10, p. 1135–1141, 2005.
- KATO, H. *et al.* A mixed reality 3d conferencing application. **Human Interface Technology Laboratory**, 1999.
- KEYVANFAR, A.; SHAFAGHAT, A. Emerging dimensions of unmanned aerial vehicle's (uav) 3d reconstruction modeling and photogrammetry in architecture and construction management. **ACE: Arquitectura, Ciudad y Entorno**, 2022.
- KHALEK, I. A.; CHALHOUB, J. M.; AYER, S. K. Augmented reality for identifying maintainability concerns during design. **Advances in Civil Engineering**, Hindawi, v. 2019, 2019.
- KIM, H. S. *et al.* Improvement of realism of 4d objects using augmented reality objects and actual images of a construction site. **KSCE Journal of Civil Engineering**, Springer, v. 22, n. 8, p. 2735–2746, 2018.
- KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. Realidade virtual e aumentada: conceitos, projeto e aplicações. *In: Livro do IX Symposium on Virtual and Augmented Reality, Petrópolis (RJ), Porto Alegre: SBC*. [S.l.: s.n.], 2007. v. 28.
- KIRNER, C.; TORI, R. Introdução à realidade virtual, realidade misturada e hiper-realidade. **Realidade virtual: conceitos e tendências**, 2004.
- LEPETIT, V. *et al.* Monocular model-based 3d tracking of rigid objects: A survey. **Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision**, Now Publishers, Inc., v. 1, n. 1, p. 1–89, 2005.

- LIINASUO, M. *et al.* Building's digital twin model shown as first-person and third-person views. *In: IOP PUBLISHING. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* [S.l.], 2022. v. 1101, n. 8, p. 082018.
- LINARES-GARCIA, D. A.; FLORES-LINARES, G.; ROOFIGARI-ESFAHAN, N. Framework and case studies for context-aware ar system (caars) for ubiquitous applications in the aec industry. *In: Construction Research Congress 2022.* [S.l.: s.n.], 2022. p. 1278–1288.
- LINDER, M. S. **Programação para Computador.** 2008. Disponível em: http://www.univasf.edu.br/~marcelo.linder/arquivos_pc/aulas/aula5.pdf.
- MARTINS, M. G.; BARROS, M. A formação de parcerias como alternativa para impulsionar a inovação na produção de edifícios. **Boletim técnico**, v. 391, 2005.
- MASHDIGI. **Google Glass.** 2014. Disponível em: <https://mashdigi.com/google-glass-rumored-to-use-intel-processor/>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- MECHDYNE. **CAVE Virtual Reality.** 2020. Disponível em: <https://www.mechdyne.com/av-vr-solutions/solutions/virtual-augmented-reality/cave/>. Acesso em: 10 fev. 2022.
- MEDIA, D. **Python tutorial: Tour pela linguagem.** 2019. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/python-tutorial-tour-pela-linguagem/40646>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- MENEZES, N. N. C. Introdução à programação com python. **Algoritmos e lógica de programação para iniciantes. Novatec**, 2010.
- MESSNER, J. I. Virtual and augmented reality in design and construction. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 13, n. 31, p. 519–520, 2008.
- 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, 2014.
- MICROSOFT. **O que é Power BI?** 2022. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>. Acesso em: 25 abr. 2022.
- MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems**, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, v. 77, n. 12, p. 1321–1329, 1994.
- MILGRAM, P. *et al.* Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *In: SPIE. Telemanipulator and telepresence technologies.* [S.l.], 1995. v. 2351, p. 282–292.
- MILITO, D. J. A. D. Técnicas de construção civil. **São Paulo: Desenvolvimento de material didático ou instrucional-Apostila**, 2009.
- MORAIS, C.; SILVA, C. R. S. D.; MENDONÇA, A. K. S. D. Utilização de dispositivo móvel com realidade aumentada na educação infantil: um estudo de caso com o aplicativo cubo kids. *In: WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA (WIE 2017).* [S.l.: s.n.], 2017. v. 23.
- MORANDI, M.; CAMARGO, L. F. R. Revisão sistemática da literatura. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman**, p. 141–175, 2015.
- NETO, S. C. *et al.* Estudo comparativo de ferramentas computacionais que utilizam tecnologia bim para desenvolvimento de projetos de engenharia civil. *In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. Belém.* [S.l.: s.n.], 2012.

- NIGRI, J. D.; KUBOTA, L. Políticas de incentivo à inovação tecnológica. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília**, 2008.
- NOLETO, C. **Linguagem de alto nível vs linguagem de baixo nível: definições e diferenças**. 2022. Disponível em: <https://blog.betrybe.com/linguagem-de-programacao/linguagem-alto-e-baixo-nivel/>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- NORONHA, T. B. P. *et al.* Tecnologias computacionais nas empresas de aec: Estudo de caso em mossoró-rn. 2016.
- NUNESA, G.; LEÃO, M. Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o cad tradicional e a modelagem bim comparative study of design tools-the traditional cad and bim modeling. **Revista de Engenharia**, v. 155, n. 55, p. 47–61, 2018.
- OFLUOGLU, S.; OZENER, O. O.; ISIKDAG, U. Advances in building information modeling. Springer, 2017.
- OLIVEIRA, A. I. E. *et al.* Inovações tecnológicas como fator de competitividade para empresas de construção civil em manaus. Universidade Federal do Amazonas, 2010.
- OPTIONS, T. P. **Theory and Research in HCI: Morton Heilig, Pioneer in Virtual Reality Research**. 2008. Disponível em: http://www.telepresenceoptions.com/2008/09/theory_and_research_in_hci_mor/. Acesso em: 10 mar. 2022.
- OVERFLOW, S. **2020 Developer Survey**. 2020. Disponível em: <https://insights.stackoverflow.com/survey/2020#overview>. Acesso em: 10 mar. 2022.
- PASQUALOTTI, A. **CCC053-Realidade Virtual**. 2002. Disponível em: http://usuarios.upf.br/~pasqualotti/ccc053/intr_rv/.
- PEREIRA, A.; SIMONETTO, E. de O. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.
- PEREZ, C. Technological revolutions and techno-economic paradigms. **Cambridge journal of economics**, Oxford University Press, v. 34, n. 1, p. 185–202, 2010.
- PIASECKIENĖ, G. Dimensions of bim in literature: review and analysis. **Mokslas–Lietuvos ateitis/Science–Future of Lithuania**, v. 14, 2022.
- POIRIER, E. A.; FORGUES, D.; STAUB-FRENCH, S. Dimensions of interoperability in the aec industry. *In: Construction Research Congress 2014*. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1987–1996.
- POZIN, M. A. A.; NAWI, M. N. M.; ROMLE, A. R. Effectiveness of virtual team for improving communication breakdown in ibs project delivery process. **International Journal of Supply Chain Management**, v. 5, n. 4, p. 121–130, 2016.
- PRABHAKARAN, A. *et al.* An approach for integrating mixed reality into bim for early stage design coordination. *In: EDP SCIENCES. MATEC Web of Conferences*. [S.l.], 2020. v. 312, p. 04001.
- PRABHAKARAN, A. *et al.* Bim-based immersive collaborative environment for furniture, fixture and equipment design. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 142, p. 104489, 2022.
- PRATSCHKE, E. d. S. M. A. **Interface Usuário-computador 3: Realidade Virtual como meio de comunicação**. [S.l.]: NOMADSUSP, 2000.

- RAMOS-HURTADO, J. *et al.* Proposal for the deployment of an augmented reality tool for construction safety inspection. **Buildings**, MDPI, v. 12, n. 4, p. 500, 2022.
- REZENDE, P. E. de. **Integração projeto-produção no processo de desenvolvimento de projeto: uma alternativa para melhoria da qualidade no setor de construção de oae**. 2009. Dissertação (Mestrado em Fisiopatologia Experimental) — Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2008.
- RIBEIRO, M. W. S.; ZORZAL, E. R. Realidade virtual e aumentada: Aplicações e tendências. **XIII Simpósio de Realidade Virtual e Aumentada, Uberlândia-MG-Brasil**, v. 15, 2011.
- RIVERA, F. M.-L.; MORA-SERRANO, J.; OÑATE, E. Virtual reality stories for construction training scenarios: the case of social distancing at the construction site. **WIT Transactions on The Built Environment**, WIT Press, v. 205, p. 37–47, 2021.
- RUPPERT, T.; JASKÓ, S.; HOLCZINGER, T.; ABONYI, J. Enabling technologies for operator 4.0: A survey. **Applied sciences**, MDPI, v. 8, n. 9, p. 1650, 2018.
- SABBATINI, F. H. **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo. 1989.
- SACKS, R. *et al.* **Manual de BIM-: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção Para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. [S.l.]: Bookman Editora, 2021.
- SACOMANO, J. B. *et al.* **Indústria 4.0**. [S.l.]: Editora Blucher, 2018.
- SANTOS, B. P. *et al.* Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111–124, 2018.
- SCHOLZ, J.; SMITH, A. N. Augmented reality: Designing immersive experiences that maximize consumer engagement. **Business Horizons**, Elsevier, v. 59, n. 2, p. 149–161, 2016.
- SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B. **Understanding virtual reality: Interface, application, and design**. [S.l.]: Morgan Kaufmann, 2018.
- SHUSHAN, P. Learning-oriented augmented reality technology. **European science review**, Premier Publishing sro, v. 1, n. 11-12, p. 42–46, 2018.
- SILVA, F. H.; GIESTA, J. P.; CÂMARA, R. R. Avaliação das potencialidades da inserção da realidade aumentada em canteiro de obras. **Livro de Atas PTBIM**, p. 111–120, 2020.
- SOUZA, E. **9 Tecnologias de Realidade Aumentada para construção**. 2019. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/914441/8-tecnologias-de-realidade-aumentada-para-construcao>. Acesso em: 05 abr. 2022.
- SOUZA, W. d. O.; ESPINDOLA, G. M. d.; PEREIRA, A. R. A.; SÁ, L. A. C. Marques de. A realidade aumentada na apresentação de produtos cartográficos. **Boletim de Ciências Geodésicas**, SciELO Brasil, v. 22, p. 790–806, 2016.
- TAREK, H.; MARZOUK, M. Integrated augmented reality and cloud computing approach for infrastructure utilities maintenance. **Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice**, American Society of Civil Engineers, v. 13, n. 1, p. 04021064, 2022.
- TAYPE, L. E.; DEZEN-KEMPTER, E. Contribuição de bim para a segurança laboral na construção civil: uma revisão sistemática de literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 11, p.

e020002–e020002, 2020.

TECHLIB. **Definição de linguagem de máquina**. 2022. Disponível em: https://techlib.wiki/definition/machine_language.html. Acesso em: 10 mar. 2022.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. A. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. [S.l.]: Editora SBC Porto Alegre, 2006.

TRUONG, P. *et al.* Multi-user virtual reality for remote collaboration in construction projects: a case study with high-rise elevator machine room planning. **Electronics**, MDPI, v. 10, n. 22, p. 2806, 2021.

TSAI, L.-T. *et al.* Ar-based automatic pipeline planning coordination for on-site mechanical, electrical and plumbing system conflict resolution. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 141, p. 104400, 2022.

VINCKE, S. *et al.* Immersive visualisation of construction site point cloud data, meshes and bim models in a vr environment using a gaming engine. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives**, ISPRS online, v. 42, p. 77–83, 2019.

VINCKE, S.; VERGAUWEN, M. Vision based metric for quality control by comparing built reality to bim. **Automation in Construction**, Elsevier, v. 144, p. 104581, 2022.

WANG, X. *et al.* A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. **Automation in construction**, Elsevier, v. 34, p. 37–44, 2013.

ZHAN, W.; PAN, W. Formulating systemic construction productivity enhancement strategies. **Journal of Construction Engineering and Management**, American Society of Civil Engineers, v. 146, n. 8, p. 05020008, 2020.

ZHANG, D. *et al.* Taking advantage of collective intelligence and bim-based virtual reality in fire safety inspection for commercial and public buildings. **Applied Sciences**, MDPI, v. 9, n. 23, p. 5068, 2019.

APÊNDICE A – TRATAMENTO DAS PUBLICAÇÕES NO ZOTERO, EXTRAÇÃO E TRATAMENTO DAS BASES

A.1 DEFINIÇÕES DOS "CAMPOS DE INFORMAÇÃO" NO ZOTERO

O Zotero coleta informações de publicações que, no caso deste trabalho, não seriam relevantes. As informações sobre as publicações no Zotero pode ser acessadas na aba "Informações", na qual se concentra todos os campos contendo informações sobre estes, além de permitir alterações como 'Nome', 'Ano', 'Idioma' etc. Foi notado que alguns campos não expressam informações relevantes para esse estudo e optou-se, então, por alterar o conceito dos campos nativos do Zotero para incluir novos dados, como as tecnologias, Temas, Facilitadores e Instrumentos levantadas, como indicado na Figura 49. Neste contexto, foi definido que os campos de 'Volume', 'Páginas', 'URL', 'Edição', 'DOI', 'ISSN' ou 'ISBN', 'Título Curto', 'Arquivo' e 'Localização de Arquivo' das publicações teriam seus significados alterados, como apresentado no Quadro 9.

Figura 49 – Campo Informações

Informações	Notas	Etiquetas	Relacionamentos
Tipo do item	Artigo de periódico		
Título	TITULO		
▼ Autor	(último), (primeiro)		
(...) Resumo	RESUMO		
Título da publicação			
Volume	TEMA1, TEMA2, ..., TEMA n		
Edição	PAIS		
Páginas	DISPOSITIVO1, DISPOSTIVO2, ..., DISP n.		
Data	DATAS		
Série			
Título da série			
Texto da série			
Abreviatura do periódico			
Idioma	IDIOMAS		
DOI	FERRAMENTAS DE HHD [1,2,...,n]		
ISSN	FERRAMENTAS DE HHM [1,2,...,n]		
Título curto	FERRAMENTAS DE BIM SOFTWARE [1,2,...,n]		
URL	CATEGORIA		
Data de acesso			
Arquivo	FERRAMENTAS DE SOFTWARE 3D [1,2,...,n]		
Localização no arquivo	FERRAMENTAS DE GAME ENGINE [1,2,...,n]		
Catálogo de biblioteca			
Número de chamada			
Direitos	MARCADOR DO COVID		

Principais informações dos títulos, Temas e Dispositivos

Ferramentas dos dispositivos

Categorias (RA e/ou RV)

Ferramentas dos dispositivos

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 9 – Definição dos atributos

Campos	Descrição
Volume	Registro dos Temas abordados pelo material;
Páginas	Registro dos Facilitadores de RV e RA utilizados no material;
URL	Registro das tecnologias (RV ou RA);
Edição	Caso 'Anais', registrar em 'Edição' o país de origem;
DOI	Caso utilize 'Head-mounted display', registrar em 'DOI' o nome do instrumento utilizado.
ISSN ou ISBN	Caso utilize 'Hand-held display', registrar em 'ISSN' ou 'ISBN' o nome do instrumento utilizado.
Título Curto	Caso utilize 'BIM Software', registrar em 'Título Curto' o nome do instrumento utilizado.
Arquivo	Caso utilize 'Game Engine', registrar em 'Arquivo' o nome do instrumento utilizado.
Localização de Arquivo	Caso utilize 'Software 3D', registrar em 'Localização de Arquivo' o nome do instrumento utilizado.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A.2 EXTRAÇÃO DOS PUBLICAÇÕES

Após a finalização das etapas de importação, triagem e categorização das publicações, foi realizada a exportação desse material. O formato de arquivo escolhido para o arquivo exportado do Zotero foi o *JavaScript Object Notation* (JSON), pela facilidade de manipulação das estruturas de dados.

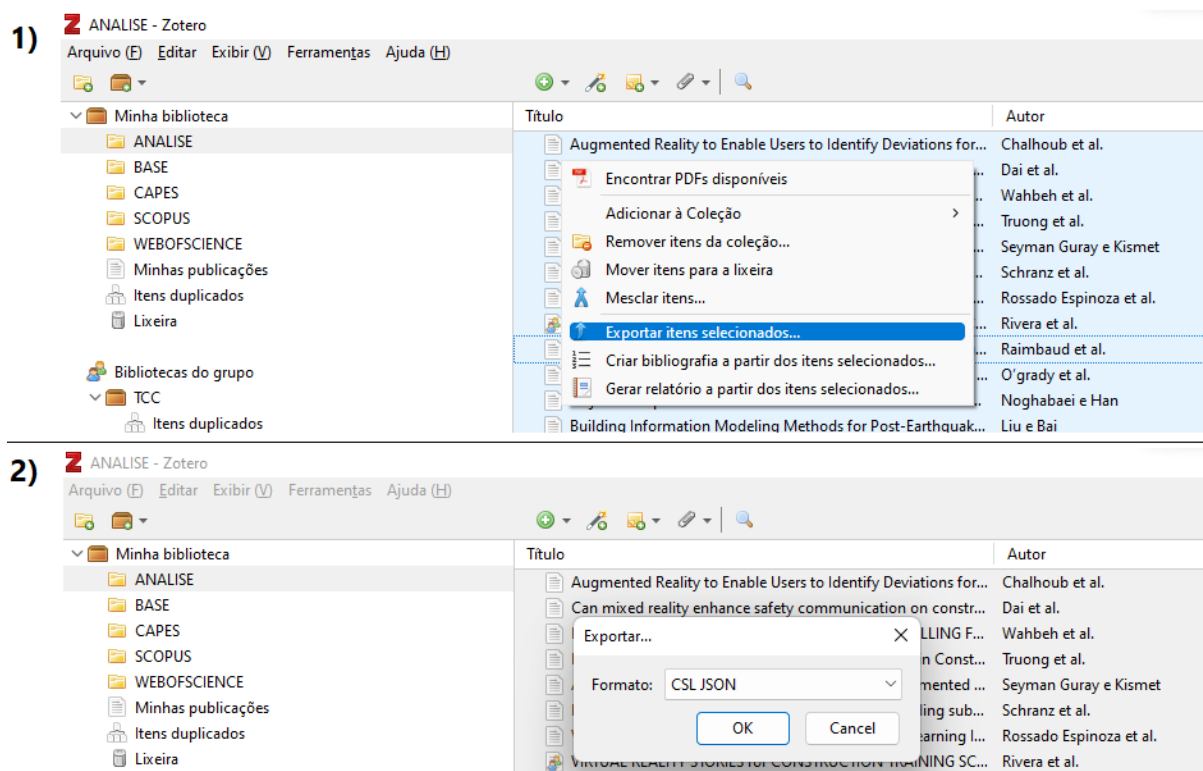
Para extrair as publicações do Zotero basta selecionar todas as publicações a serem importados, caso necessário é possível criar uma "coleção" para organizar esse material, e, ao clicar com o botão direito sobre a seleção, escolher a opção "Exportar itens selecionados...", assim como na Figura 50.

A.3 TRATAMENTO DA BASE EXPORTADA

Para tratamento do arquivo base, foi desenvolvido um *script* em Python que interpreta cada uma das chaves do arquivo JSON e os reordena em um formato de tabela, ou seja, os dados são organizados em linhas e colunas. Informações complementares sobre o *script* desenvolvido para tratamento da base constam no Apêndice C.

Esse tipo de tratamento foi necessário, porque se notou que uma mesma publicação pode conter múltiplos itens para uma mesma característica, por exemplo, o campo "Temas" pode conter "Construção, Educação". Esse armazenamento dificulta a análise, por conter informações delimitadas por vírgula. Para corrigir isso foi necessário separar todos os campos delimitados por vírgula, registrando cada Tema por publicação em uma nova linha da tabela.

Figura 50 – Etapa de exportação das publicações do Zotero.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 10, a publicação "Multi-User Virtual Reality for Remote Collaboration in Construction Projects: A Case Study with High-Rise Elevator Machine Room Planning" dos autores "Truong, P. *et al.*", contém dois Temas "Construção, Gestão de Custos", dois Facilitadores "BIM Software, Software 3D" e quatro Instrumentos "Blender, HTC VIVE, Oculos Rift, Revit". O tratamento realizado consistiu em dividir as informações agrupadas e registrá-la em novas linhas, de forma que apenas um único valor fosse registrado em cada coluna. Por exemplo, no Quadro 11, a coluna "Temas" contém apenas um único valor, diferente da mesma coluna antes do tratamento, Quadro 10, cujo campo tem múltiplos valores.

Para outros Facilitadores, como os "Laser Scanner", "GPS" e "Fotogrametria", não foram identificados o uso de Instrumentos durante a etapa de categorização das publicações. Nesse sentido entende-se que não bastou separar as informações delimitadas por vírgula, foi necessário associar cada instrumento a seu respectivo facilitador, seguindo o Quadro 8.

Quadro 10 – Exemplo — Estrutura em tabela, sem tratamento

Autor	Titulo	Temas	Facilitadores	Instrumentos
Truong. P. et al.	Multi-User Virtual Reality...	Construção, Gestão de Custos	BIM Software, Software 3D, Head-mounted display	Blender, Oculos Rift, REVIT

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 11 – Exemplo Estrutura em tabela, tratada

ID	Autor	Titulo	Temas	Facilitadores	Instrumentos
2	Truong. P. et al.	Multi-User Virtual Reality...	Construção	BIM Software	Revit
2	Truong. P. et al.	Multi-User Virtual Reality...	Construção	Software 3D	Blender
2	Truong. P. et al.	Multi-User Virtual Reality...	Construção	Head-mounted display	Oculos Rift
2	Truong. P. et al.	Multi-User Virtual Reality...	Gestão de Custos	BIM Software	Revit
2	Truong. P. et al.	Multi-User Virtual Reality...	Gestão de Custos	Software 3D	Blender
2	Truong. P. et al.	Multi-User Virtual Reality...	Gestão de Custos	Head-mounted display	Oculos Rift

Fonte: Elaborado pelo autor.

O *script* desenvolvido para tratamento da base teve por objetivo extrapolar todas as considerações apresentadas nos exemplos anteriores para todas as publicações analisadas. Dessa forma, foi obtido uma base com dados únicos, com informações sobre os diferentes tipos de Instrumentos utilizadas pelos Facilitadores utilizados nos estudos.

APÊNDICE B – DESENVOLVIMENTO USANDO O PYTHON

B.1 CONCEITOS DE PROGRAMAÇÃO EM PYTHON

As aplicações surgem da necessidade de resolver problemas. Programação é uma forma de automatização de decisões e atividades através de uma sequência de comandos, algoritmo, que orientam os equipamentos eletrônicos na execução de tarefas (ALVES, 2014).

Algoritmo é um conjunto básico de regras, variáveis e instruções que definem as ações a serem executadas para atingir um objetivo, exemplo na Figura 55. Esse conjunto de instruções é como uma "receita de bolo" e podem ser definidos em três tipos (GAEA, 2022).

- Instruções de Entrada: qual variável deve ser criada conforme a ação do usuário,
- Instruções Operacionais: quais ações devem ocorrer a partir das ações do usuário,
- Instruções de Saída: o que deve ser exibido na tela do usuário conforme as suas ações.

As variáveis são elementos que armazenam valores, ou informação, em um programa. Essas variáveis orientam as ações do código-fonte durante a sua operação e podem ser alteradas conforme a necessidade (GAEA, 2022). Os tipos de variáveis mais comuns são as:

- *int*: armazenam números inteiros.
- *float*: armazenam números reais.
- *double*: armazenam números reais, com maior precisão de casas decimais.
- *char*: armazenam um único carácter.
- *strings*: armazenam texto.
- *boolean*: armazenam informações binárias, de verdadeiro ou falso.

Além de números e caracteres, as variáveis podem armazenar um conjunto de informações, sendo comumente chamados de "Coleções". Coleções armazenam múltiplos itens numa única unidade, e funcionam como um contêiner. As coleções mais utilizadas em Python são as Listas, Tuplas e Dicionários.

As Listas, Figura 51, são compostas por valores indexados, ou seja, cada valor pode ser identificado por um único índice. O primeiro item da lista é sempre o índice zero, seguido do índice '1' e assim por diante. As listas, em Python, são identificadas por colchetes ([]). Outra característica das listas é que são mutáveis; é permitido adicionar, remover e até mesmo editar os itens de uma lista.

Figura 51 – Exemplo de Lista

```
#Exemplo Lista
def Listas():
    notas_alunos = [6,4,5,9,10,1]

    print(notas_alunos)
#[6, 4, 5, 9, 10, 1]
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

As Tuplas, Figura 52, são estruturas de dado semelhante à lista. Contudo, é de característica imutável, ou seja, após sua criação ela não pode ser alterada. Podem ser identificadas pelo uso de parênteses (). As tuplas são utilizadas em situações em que não há necessidade de adicionar, remover ou alterar elementos (Exemplo: meses do ano, estações do ano etc.)

Figura 52 – Exemplo de Tupla

```
#Exemplo Tupla
def Tuplas():
    estações_ano = {'verão', 'outono', 'inverno', 'primaveira'}

    print(estações_ano)
#{'outono', 'verão', 'inverno', 'primaveira'}
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Dicionários, Figura 53, representam a coleção de dados estruturados em conjunto de pares chave/valor, nos quais cada chave individual tem um valor associado. A estrutura de um dicionário é mutável e delimitada por chaves ({}).

Figura 53 – Exemplo Dicionário

```
#Exemplo Dicionário
def Dicionarios():
    dados_aluno = {
        'Nome': 'Nathan Cardoso',
        'Curso': 'Engenharia Civil',
        'Ano de Matricula': 2017,
        'Matriculado': True
    }

    print(dados_aluno)
#{'Nome': 'Nathan Cardoso', 'Curso': 'Engenharia Civil', 'Ano de Matricula': 2017, 'Matriculado': True}
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em Python, os blocos de códigos, ou funções, são um conjunto de algoritmos que devem ser executados uns seguidos dos outros, chamado indentação (BORGES, 2014). Indentar é a forma de hierarquizar o fluxo de estruturação, laços, funções, através da inserção de tabulações no código (MEDIA, 2019).

Como exemplo de algoritmo temos o cálculo da média das notas bimestrais de um aluno, (Figura 54 — A e B). Nesse programa a função Media (def Media():) recebe dois valores de nota informados pelo usuário. Esses valores são armazenados nas variáveis do tipo inteiro (*int*), "Nota1" e "Nota2"; a

variável do tipo real (*float*) "Média" recebe a média dos valores de entrada. Por fim, se (*if*) o valor armazenado na variável "Média" é superior a 7, então o aluno está aprovado, do contrário reprovado.

Figura 54 – Exemplo de Algoritmo para média bimestral (A), Escrita em Python do algoritmo (B)

```

A)
1  '''
2  Algoritmo: Media 2 Notas
3
4  var
5      nota1, nota2, media
6  inicio
7      leia(nota1)
8      leia(nota2)
9
10     media <- (nota1 + nota2)/2
11
12     se (media>=7) entao
13         escreva("aprovado")
14     senao
15         escreva("reprovado")
16     fimse
17 final Algoritmo
18 '''

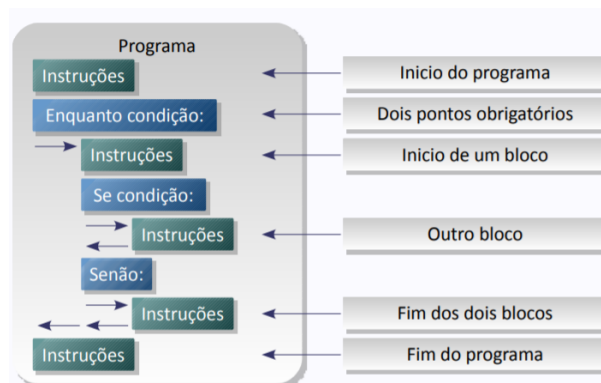
B)
21 '''
22 Programa em Python: Media 2 Notas
23 '''
24
25 def Media():
26
27     nota1 = int(input("Informe a nota1: "))
28     nota2 = int(input("Informe a nota2: "))
29
30     media = float(((nota1 + nota2) / 2))
31
32     if media>=7:
33         print("Aprovado")
34     else:
35         print("Reprovado")

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

A primeira linha do bloco que define o início do conjunto de ações a serem tomadas é encerrada com dois pontos (:); as próximas linhas do algoritmo se encontram a uma mesma distância à margem esquerda. Esse artifício organiza o código de forma rápida, torna-o limpo e legível, como pode ser visto na Figura 55 (BORGES, 2014).

Figura 55 – Blocos em Python



Fonte: Borges (2014).

Para dinamizar e facilitar o desenvolvimento de programas, os programadores podem se utilizar de blocos de comandos, funções, bibliotecas, desenvolvidos por outros usuários. Existe uma vasta gama de bibliotecas de módulos e pacotes incluídos em Python, comumente chamadas de "baterias inclusas", de forma que independentemente da necessidade do programa, a ferramenta estará, em sua maior parte, presente na instalação básica (BORGES, 2014).

B.2 BIBLIOTECAS EM PYTHON UTILIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO *SCRIPT*

As Bibliotecas são módulos de *script*, ou blocos de comandos, acessíveis a um programa Python que simplificam o processo de programação e removem a necessidade de reescrever comandos. Isso permite obter resultados em pouco tempo, permitindo ao programador utilizar muitas funções escrevendo poucas linhas de código. Dessa forma, aumenta a produtividade e reduz o número de erros, concentrando-se no problema a ser solucionado (MENEZES, 2010).

Para esse trabalho foram selecionadas duas bibliotecas principais, Quadro 12, "Pandas" e "json". "Pandas" é uma biblioteca de análise e manipulação de dados que fornece um conjunto de métodos para trabalhar com matrizes unidimensionais e estruturas de dados tabulares. No exemplo da Figura 56, o banco de dados "exemplos.csv" é carregado para a variável "df" e, ao imprimi-la, obtemos como resultado uma tabela contendo todas as informações no banco de dados.

A biblioteca "json" disponibiliza ferramentas auxiliares na manipulação, importação e exportação de arquivos no formato JSON, um modelo de estrutura de dados baseado em valores e chaves de um dicionário. No exemplo da Figura 57 é apresentada a leitura de um arquivo no formato json, "data.json", para a variável "userDB", através da função json.load(), existente na biblioteca "json".

Quadro 12 – Protocolo de Pesquisa

Bibliotecas	Descrição
<i>Pandas</i> (Visualização de dados)	é uma ferramenta de manipulação e análise de dados de código aberto rápida, poderosa, flexível e fácil de usar
<i>json</i> (Leitura e Escrita de dados)	fornece ferramentas de manipulação da estrutura de dados do tipo JSON (JavaScript Object Notation)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 56 – Exemplo de resultado obtido com Pandas

```
In [4]: 1 # save data using '.to_csv' in the working directory
        2 df.to_csv('./example.csv')
```

```
In [7]: 1 # let's load it
        2 df = pd.read_csv('./example.csv')
        3 df
```

```
Out[7]:
```

	Unnamed: 0	pet_name	pet_last_name	good_pet_score	type	amount_owed
0	0	Woof	Smith	96	dog	5000
1	1	Chester	Kim	34	cat	9,000
2	2	Rex	NaN	89	mini-dinosaur	570
3	3	Mystery	Taylor	92	unknown	622
4	4	Pumpkin	NaN	79	bird	190

Fonte: Desktop (2021).

Figura 57 – Exemplo de leitura de um arquivo JSON

```
In [1]: import json

In [ ]: with open('data.json') as users:
        userDB = json.load(users)
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Utilizando essas duas bibliotecas foi possível analisar os materiais extraídos das bases científicas de pesquisa da RSL. Com a biblioteca json foi carregado o material da pesquisa para uma variável no bloco de comando, e com Pandas foi realizada a limpeza e tratamento das informações carregadas, Quadro 12.

A partir das funções disponíveis em cada biblioteca foi possível editar os campos, colunas e valores para gerar uma base "tratada", contendo apenas dados relevantes para análise. Por fim, esse conteúdo foi exportado para o software Power BI, para desenvolvimento dos gráficos.

B.3 DESENVOLVIMENTO DO *SCRIPT* DE TRATAMENTO DA BASE

Tendo definido o conceito do tratamento da base, a primeira etapa de desenvolvimento foi o desenho de um algoritmo, como apresentado no Quadro 13. Esta etapa foi dividida em três grandes grupos ou funções: Importação, Processamento e Exportação. O grupo de Importação corresponde à parte do programa para ler o arquivo externo, exportado do Zotero. Para essa etapa, foi utilizada a biblioteca "JSON", responsável pela leitura do arquivo, como mostrado no bloco de comando B.1.

Cada item exportado do Zotero representa uma única publicação da base, como apresentado na Figura 58; dentro de "root" existem de zero a n itens e ao expandir, por exemplo, o item '0', são revelados as chaves e valores registrados da publicação, como "type", "abstract", "title" etc.

Figura 58 – Formato .json do arquivo base de pesquisa

```

▼ root: [] 102 items
  ▼ 0:
    id: "http://zotero.org/users/8991396/items/DL8CUXHA"
    type: "article-journal"
    abstract: "There have been recent efforts to use virtual reality and manipulation to train construction workers and inspection. However, there is a lack of research efforts comparing and evaluating virtual manipulation hardware for construction tasks..."
    container-title: "Automation in construction"
    DOI: "Oculus Rift"
    issue: "Estados Unidos"
    language: "eng"
    note: "publisher: Elsevier B.V"
    page: "Head-mounted display, Marcador fiducial"
    title: "Object manipulation in immersive virtual environments: Hand Motion tracking technology and snap-to-fit function"
    URL: "Realidade Virtual"
    volume: "Melhorias, Construção"
    ▶ author: [] 2 items
    ▶ issued:
    ▶ 1:
    ▶ 2:
    ▶ 3:
  
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 13 – Algoritmo de Tratamento da base para análise

Etapa	Algoritmo
Importação	Importa Bibliotecas Carregar base para variável "analise"
Tratamento	Definir variáveis amigáveis e de suporte Criar lista de dicionários Carregar para as variáveis os valores armazenados em "analise" Criar estrutura final em dicionário Para cada Tema faça: ->Atualize a chave 'Tema' do dicionário ->Para cada facilitador faça: —>Atualize a chave 'facilitador' do dicionário —>Verifique se existe algum instrumento associado a esse facilitador: —>Existe: ———>Atualizei a chave 'instrumento' do dicionário ———>Registre o dicionário na lista de dicionários —>Não Existe: ———>Atualizei a chave 'instrumento' do dicionário para 'null' ———>Registre o dicionário na lista de dicionários Retorne uma lista com todas as publicações tratadas
Exportação	Definir variável que recebe a base a ser convertida em JSON Definir variável que dá nome ao arquivo exportado. Escrever as informações armazenadas nas variáveis em um arquivo formato JSON

Fonte: Elaborado pelo autor.

Bloco de Comando B.1 – Etapa de Importação

```

1      ## Importando Bibliotecas - Pandas e JSON
2      import json
3      import pandas as pd
4
5      ## Carregando base ANALISE.json para variavel "analise"
6      with open('data/ANALISE.json',encoding="utf8") as file:
7          analise = json.load(file)
8
9      ## Exportando a base para arquivo .json
10     exportjson(processamento(analise), "baseRSL")

```

Na etapa de Processamento foram tratados todos os dicionários contidos na variável "analise". Inicialmente foram definidas variáveis "amigáveis", conforme Quadro 14 e Quadro 15, e variáveis de suporte, com intuito de tornar claro o significado das chaves do dicionário. Tendo definido as variáveis, a próxima etapa constituiu na quebra e criação das relações das informações contidas nos campos delimitados por vírgula: "Temas", "Facilitadores" e "Instrumentos".

Quadro 14 – Definindo variáveis amigáveis - Parte 1

Nome da Variável	Chaves (Zotero)	Conceitos
ID	count	Identificador de cada publicação
chave	key	Lista contendo o nome de todas as chaves pertencentes a uma publicação
data	['issued']['date-parts'][0][0]	Armazena na variável o valor do ano registrado na chave
tecnologia	['URL']	Armazena na variável o valor registrado na chave
docTipo	['type']	Armazenada na variável o tipo de documento registrado na chave
publicacao	['title']	Armazena na variável o título da publicação, registrado na chave
Facilitadores	['page']	Armazena na variável os Facilitadores registrados na chave
Temas	['volume']	Armazena na variável os Temas registrados na chave
Covid	['license']	Armazena na variável o valor registrado na chave quando existente
pais ¹	['issue']	Armazena na variável o valor registrado na chave caso o tipo de arquivo seja 'article-journal'
pais ²	['publisher-place']	Armazena na variável o valor registrado na chave caso o tipo de arquivo seja 'paper-conference'
autor	['author']	Armazena na variável o nome do autor registrado na chave, caso a publicação tenha mais de três autores, fixa-se nome do primeiro e adicionar "et. al."

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 15 – Definindo variáveis amigáveis - parte 2

Nome da Variável	Chaves (Zotero)	Conceitos
língua	['language']	Armazena na variável os Facilitadores registados na chave
bimSoft	['title-short']	Armazena na variável os Facilitadores registados na chave quando há informação sobre Instrumentos de software BIM
tHMD	['DOI']	Armazena na variável os Facilitadores registados na chave quando há informação sobre Instrumentos de Head-mounted display
tHHD ¹	['ISSN']	Armazena na variável os Facilitadores registados na chave quando há informação sobre Instrumentos de Hand-held display (artigos de jornal)
tHHD ²	['ISBN']	Armazena na variável os Facilitadores registados na chave quando há informação sobre Instrumentos de Hand-held display (papel de conferência)
tGameEng	['archive_location']	Armazena na variável os Facilitadores registados na chave quando há informação sobre Instrumentos de Game Engine
tdSof	['archive']	Armazena na variável os Facilitadores registados na chave quando há informação sobre Instrumentos de Software 3D

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a análise de todas as publicações foi utilizada uma estrutura de repetição ou *"loop"*. Essas estruturas têm por objetivo, garantir a repetição de comando, ou conjunto de comandos, enquanto uma condição seja verdadeira. Esse conceito foi utilizado para que enquanto houvessem publicações na base, o programa repetisse o mesmo tratamento para todos. A sua utilização pode ser vista na linha (12) do Bloco de Comando B.2 e pode ser lida como "para as 'publicações' na 'base', faça:".

As estruturas de repetição (*loop*) são utilizadas em diversas partes do algoritmo, linhas 12, 42, 55 etc., e todas têm por função realizar uma verificação ou garantir a agregação de informações. Essas estruturas foram utilizadas no Bloco de Comando B.2, para a leitura de todas as publicações (linha 12) e para agregar o nome dos autores (linha 42), caso as publicações tenham mais de três autores. Enquanto as demais vezes em que essas estruturas são utilizadas ocorrem nas etapas de combinação entre os Instrumentos e os Facilitadores.

As publicações que continham referência à Covid-19 tiveram a palavra "Covid" registrada no atributo "Direitos"(['licence']) diretamente no Zotero. Nesse sentido, para identificar a existência desse registro foi necessário o uso de uma estrutura condicional (*if*), caso exista a chave ['licence'], então é registrado na variável 'Covid' o valor armazenado nesta chave (linha 25 — Bloco de Comando B.2).

Durante a etapa de desenvolvimento foi identificada a necessidade de um 'validador'; uma função que informasse a existência das chaves de registro do Zotero, apresentado no Quadro 16, nas publicações. Assim, foi desenvolvida a função "existe", Bloco de Comando B.3. Essa função recebe

dois parâmetros, param1 e param2, sendo o primeiro, uma lista com todas as chaves pertencentes a publicação e o segundo, o nome da chave a qual se quer saber se existe nessa publicação ou não.

Essa validação foi necessária, pois foi notado que o Zotero somente exporta os campos que foram utilizados. Caso os atributos estivessem vazios, a chave referente a ele não é exportada. Isso implica em um erro no *script* ao tentar acessar uma chave que não existe, finalizando o programa inesperadamente. Nesse sentido, além de validar a existência da informação da função "existe", garante que o programa continue funcionando até que toda a base seja tratada.

Além disso, com a função "existe", Bloco de Comando B.3, é possível inferir a qual facilitador ela pertence. Pois, caso seja verificada a existência da chave, implica que existe informação registrada nessa. Dessa forma, a função foi fundamental à etapa de correlação entre a informação dos Instrumentos utilizadas nas publicações e seus Facilitadores.

Quadro 16 – Relação Facilitadores e Instrumentos

Facilitadores	Instrumentos	Chave de Registro Zotero
Bim Software	OpenBIM Navisworks Manager Civil 3D AutoCAD Revit ArchiCAD	['title-short']
Software 3D	3DS Max Blender Enscape SketchUp	['archive']
Head-mounted display	Samsung Gear VR HoloLens Gear VR ClassVR Oculus Rift Google Cardboard HTC VIVE ClassVR	['DOI']
Hand-held display	Vuforia SDK Samsung Galaxy devices Ipad iInspect BARMS BIM AR FSE Augin Gamma AR Pro SmartReality	['ISSN'] ou ['ISBN']
Game Engine	Unit3D	['archive_location']

Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado da etapa de tratamento precisou ser exportada do Python de alguma forma. Para isso, foi criada uma estrutura de dados do tipo dicionário, como na Figura 53, cujas chaves representam

todas as características das publicações analisadas e os valores dessas são alimentados pelas variáveis criadas. No Bloco de Comando B.2 - Linha 46, é apresentada essa estrutura final.

Uma característica importante dos dicionários é que o valor das chaves podem ser atualizados conforme a necessidade. Dessa forma, a cada publicação analisada, as chaves "Temas", "Facilitadores" e "Instrumentos" foram atualizadas e o dicionário final foi armazenado em uma lista, uma coleção de todas as publicações analisadas.

Em suma, todo o processamento dos dados foi empacotado na função 'def processamento(base)'. Essa função pode ser chamada a qualquer momento, para qualquer base, desde que os atributos no Zotero sejam preenchidos da forma como definida no Quadro 14. Dessa forma, independente do volume das publicações analisadas, ou fonte científica selecionada, a base final sempre terá o mesmo tratamento e estrutura.

A última etapa de desenvolvimento em Python foi a extração do resultado do processamento. Para isso, foi desenvolvido o Bloco de Comando B.4. Esse, representa um *script* utilizando funções da biblioteca JSON, que recebe dois parâmetros: a lista a ser exportada e o nome do arquivo final. O objetivo desse bloco foi de converter a lista de dicionários ('lista_publicacoes') em um arquivo JSON, chamado "baseRSL", Figura 59.

Bloco de Comando B.2 – Função processamento() - Tratamento de Combinação dos Temas, Facilitadores e Instrumentos

```

1      def processamento(base):
2          tipo_facilitadores = ["BIM Software", "Head-mounted display",
3                                "Hand-held display", "Software 3D", "Game Engine"]
4          lista_publicacoes=[]
5          ID_index = 1
6
7          # Para cada Publicação armazenado na base faça
8          # 1 - Registro nas variáveis as informações de ID, Data,
9            tecnologia,
10         Tipo de Arquivo, Publicação, Facilitadores e Temas
11         # OBS. As Variáveis, Facilitadores e Temas, são LISTAS.
12         # OBS2. A função 'split' separa o texto delimitado por
13         # virgula como um item único na lista.
14
15         for publicacoes in base:
16
17             ID = ID_index
18             data = int(publicacoes['issued']['date-parts'][0][0])
19             tecnologia = publicacoes['URL']
20             docTipo = publicacoes['type']
21             publicacao = publicacoes['title']
22             facilitadores = publicacoes['page'].split(', ')
23             Temas = publicacoes['volume'].split(', ')
24             lingua = publicacoes['language']
25             chave = list(publicacoes.keys())
26
27         # 2 - Caso o publicacao tenha a chave 'license' registrar na

```

```

    variavel Covid o valor armazenado nessa chave - Covid =
    publicacoes['license']
25     Covid = None
26     if existe(chave, 'license'):
27         Covid = publicacoes['license']
28
29     # 3 - Caso o tipo de arquivo seja 'article-journal' registre na
    variavel Pais o valor da chave 'issue'
30     #     Caso nao, registre na variavel Pais o valor da chave '
    publisher-place'
31     if publicacoes['type'] == 'article-journal':
32         pais = publicacoes['issue']
33     else:
34         pais = publicacoes['publisher-place']
35
36     # 4 - Caso a quantidade de Autores seja maior que 3, pegar o
    nome do primeiro autor e adicionar o sufixo 'et. al'
37     #     Caso nao, registre o nome dos autores, delimitado por
    virugla (' ,')
38     author = ""
39     if len(publicacoes['author']) >3 :
40         author = publicacoes['author'][0]['family'] + ', '+
        publicacoes['author'][0]['given'][0]+'. et al.'
41     else:
42         for i in range(len(publicacoes['author'])):
43             author = author + (publicacoes['author'][i]['family'
        ] + ', '+ publicacoes['author'][i]['given'][0]) +
        "; "
44     author = author[:-2]
45
46     # 5 - Definicao da estrutura do documento tratado final
47     base_final= {'ID':ID, 'Tipo de Arquivo':docTipo,\
48                 'Lingua':lingua,'Lugar de Publicacao':pais,\
49                 'Publicacao':publicacao,'Autor':author,\
50                 'Ano':data,'Tecnologia':tecnologia,\
51                 'Temas':"", 'Facilitadores':"", \
52                 'Instrumentos':"", 'Covid': Covid }
53
54     # 6 - Para cada item dentro da lista TEMAS (loop):
55     for Tema in Temas:
56         base_final.update({'Temas': Temas })
57
58     #     7 - Para cada item dentro da lista FACILITADORES (loop):
59     for facilitador in facilitadores:
60         base_final.update({'Facilitadores': facilitador})
61
62         if facilitador in tipo_facilitadores:
63             if facilitador == "BIM Software":
64                 if existe(chave, 'title-short'):

```

```
65         bimSoft = publicacoes['title-short'].
66             split(', ')
67         for instrumento in bimSoft:
68             base_final.update({'Instrumentos':
69                 instrumento})
70             lista_publicacoes.append(base_final.
71                 copy())
72     else:
73         base_final.update({'Instrumentos':""})
74         lista_publicacoes.append(base_final.copy
75             ())
76
77     if facilitador == "Head-mounted display":
78         if existe(chave, 'DOI'):
79             tHMD=publicacoes['DOI'].split(', ')
80             for instrumento in tHMD:
81                 base_final.update({'Instrumentos':
82                     instrumento})
83                 lista_publicacoes.append(base_final.
84                     copy())
85         else:
86             base_final.update({'Instrumentos':""})
87             lista_publicacoes.append(base_final.copy
88                 ())
89
90     if facilitador == "Hand-held display":
91         if existe(chave, 'ISSN'):
92             tHHD=publicacoes['ISSN'].split(', ')
93             for instrumento in tHHD:
94                 base_final.update({'Instrumentos':
95                     instrumento})
96                 lista_publicacoes.append(base_final.
97                     copy())
98         else:
99             base_final.update({'Instrumentos':""})
100             lista_publicacoes.append(base_final.copy
101                 ())
```

```

102         ())
103         if facilitador == "Software 3D":
104             if existe(chave, 'archive_location'):
105                 tGameEng=publicacoes['archive_location']
106                     .split(', ')
107                 for instrumento in tGameEng:
108                     base_final.update({'Instrumentos':
109                         instrumento})
110                     lista_publicacoes.append(base_final.
111                         copy())
112             else:
113                 base_final.update({'Instrumentos':''})
114                 lista_publicacoes.append(base_final.copy
115                     ())
116         if facilitador == "Game Engine":
117             if existe(chave, 'archive'):
118                 tdSoft=publicacoes['archive'].split(', '
119                     )
120                 for instrumento in tdSoft:
121                     base_final.update({'Instrumentos':
122                         instrumento})
123                     lista_publicacoes.append(base_final.
124                         copy())
125             else:
126                 base_final.update({'Instrumentos':''})
127                 lista_publicacoes.append(base_final.copy
128                     ())
129         else:
130             base_final.update({'Instrumentos':''})
131             lista_publicacoes.append(base_final.copy())
132     ID_index += 1
133     return lista_publicacoes

```

Bloco de Comando B.3 – Função existe()

```

1     def existe(chave, texto):
2         if (texto in chave):
3             return(True)
4         else:
5             return(False)

```

Bloco de Comando B.4 – Função export()

```

1     def exportjson(base, nome):
2         # Parametrizando a base
3         json_object = json.dumps(base)

```

```
4
5     # Escrevendo arquivo para {nome}.json
6     with open(f"export/{nome}.json", "w") as outfile:
7         outfile.write(json_object)
```

Figura 59 – Resultado da Função 'export' — Base Tratada



```
baseRLS.json
▼ root: [] 513 items
  ▼ 0:
    ID: 1
    Tipo de Arquivo: "article-journal"
    Língua: "Inglês"
    Lugar de Publicação: "Estados Unidos"
    Título: "Object manipulation in immersive virtual environments:
      Hand Motion tracking technology and snap-to-fit function"
    Autor: "Noghabaei, M; Han, K"
    Ano: 2021
    Categoria: "Realidade Virtual"
    Temas: "Melhorias"
    Dispositivos: "Head-mounted display"
    Ferramentas: "Oculus Rift"
    COVID: null
  ▼ 1:
    ID: 1
    Tipo de Arquivo: "article-journal"
    Língua: "Inglês"
    Lugar de Publicação: "Estados Unidos"
    Título: "Object manipulation in immersive virtual environments:
      Hand Motion tracking technology and snap-to-fit function"
    Autor: "Noghabaei, M; Han, K"
    Ano: 2021
    Categoria: "Realidade Virtual"
    Temas: "Melhorias"
    Dispositivos: "Marcador fiducial"
    Ferramentas: "Oculus Rift"
    COVID: null
  ▶ 2:
  ▶ 3:
  ▶ 4:
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

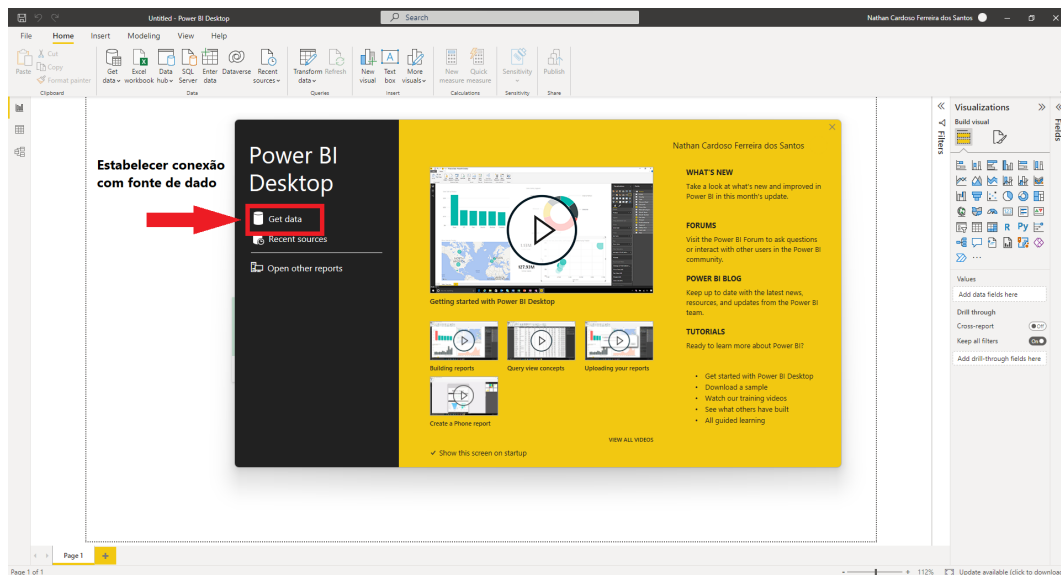
APÊNDICE C – CONEXÃO COM BASES E CRIAÇÃO DOS GRÁFICOS EM POWER BI

C.1 ESTABELECENDO CONEXÃO DA FONTE DE DADOS COM O POWER BI

O conjunto de informações, tabelas e gráficos desenvolvidas no Power BI é chamado de relatório. A primeira etapa da criação de um relatório é estabelecer a conexão entre a base de informação (fonte) e o arquivo do BI. Dessa forma, toda a alteração da fonte refletirá no relatório, toda vez que conexão for atualizada. Nessa etapa, foi estabelecida a conexão base exportada do Python ("baseRSL") pelas seguintes etapas:

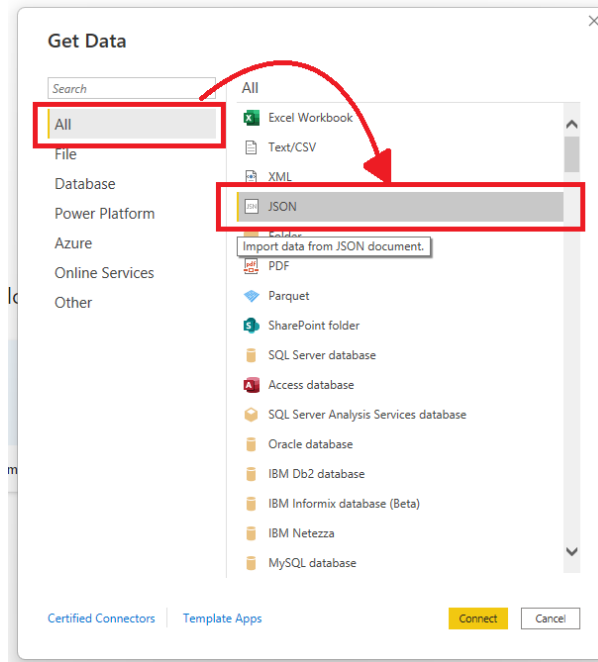
- Ao abrir o aplicativo do Power BI;
- Na janela 'home' selecionou-se a opção *Get Data*, Figura 60;
- Na janela '*Get Data*' escolheu-se a conexão com arquivo do tipo JSON, aba '*All*', Figura 61;
- Ao abrir a janela *Power Query Editor*, bastou selecionar *Close & Apply* para estabelecer a conexão, Figura 62;
- Verificar o carregamento com sucesso da base. Na aba '*Fields*' deve constar a tabela carregada, Figura 63.

Figura 60 – Janela inicial do Power BI



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 61 – Janela de seleção do tipo de conexão



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 62 – Janela de conexão com a base

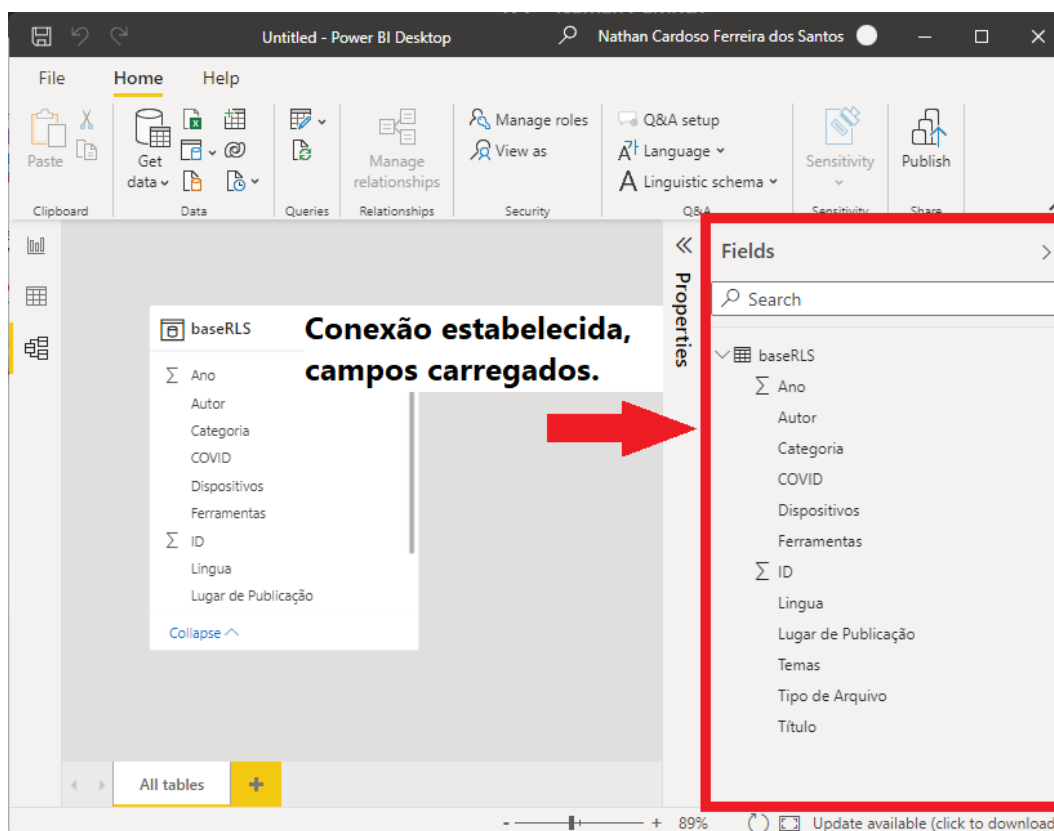
Estabelecer e carregar a conexão para o relatório do BI

ID	Tipo de Arquivo	Língua	Lugar de Publicação
1	article-journal	Inglês	Estados Unidos
2	article-journal	Inglês	Estados Unidos
3	article-journal	Inglês	Estados Unidos
4	article-journal	Inglês	Estados Unidos
5	article-journal	Inglês	Finlândia
6	article-journal	Inglês	Finlândia
7	article-journal	Inglês	Finlândia
8	article-journal	Inglês	Finlândia
9	article-journal	Inglês	Finlândia
10	article-journal	Inglês	Finlândia
11	article-journal	Inglês	Finlândia
12	article-journal	Inglês	Finlândia
13	article-journal	Inglês	Estados Unidos
14	article-journal	Inglês	China
15	article-journal	Inglês	China
16	article-journal	Inglês	China
17	article-journal	Inglês	China
18	article-journal	Inglês	França
19	article-journal	Inglês	França
20	article-journal	Inglês	França
21	article-journal	Inglês	França

12 COLUMNS, 505 ROWS Column profiling based on top 1000 rows PREVIEW DOWNLOADED AT 18:50

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 63 – Janela do Power BI com a tabela 'baseRSL' carregada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim que a conexão com a base é estabelecida, qualquer alteração efetuada no arquivo-fonte refletirá diretamente no relatório do Power BI. Dessa forma, caso sejam feitas alterações ou inclusões de novas publicações na base ('baseRSL'), basta sobrescrever o arquivo-fonte por um novo arquivo. Essa é a funcionalidade que permite a integração entre o Python e o Power BI, propostas para este trabalho.

C.2 CRIAÇÃO DOS GRÁFICOS NO POWER BI

No Power BI existe 37 formatos de visualizações nativas disponíveis para uso, cujas aplicações variam conforme as necessidades. Neste trabalho foram utilizados 10 gráficos, todos são variações de gráficos de barras e linhas. Cada gráfico utilizado necessita de um conjunto de informação que alimentaram os campos dos eixos dos gráficos.

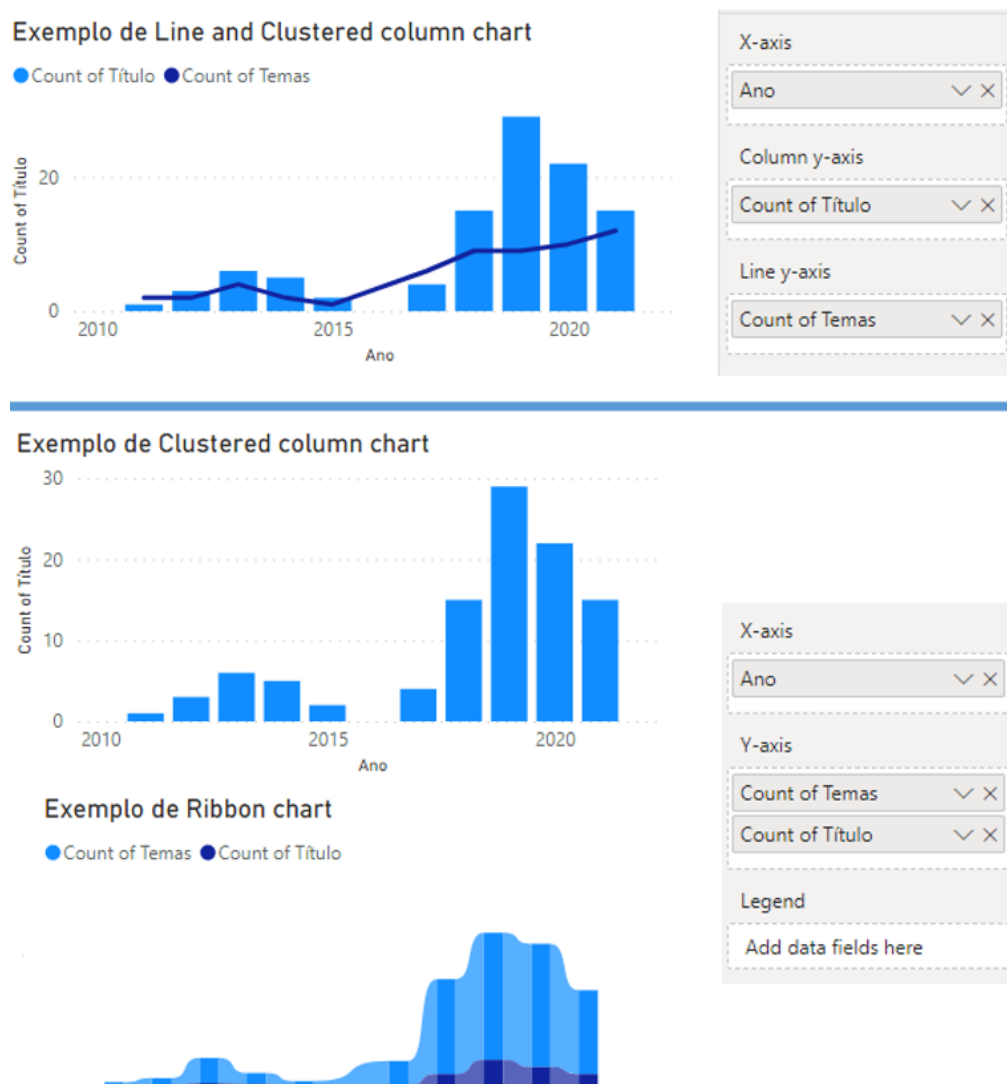
Cada coluna da aba *Fields*, Figura 63, representa um conjunto de dados válidos para geração dos gráficos. Assim, ao criar um gráfico, bastou selecionar as colunas que serviram de informação, inserindo-os nos campos dos eixos. Por exemplo, para o gráfico de linhas foi selecionado a coluna "Data" como eixo X (*X-axis*) e o campo "Títulos" para o eixo Y (*X-axis*). O Power BI automaticamente aplica uma função do tipo soma ou contagem para o eixo dos valores (eixo Y).

Durante os estudos foram utilizados dois tipos de gráficos de colunas, as agrupadas (*Clustered columns*) e as estacadas (*Stacked columns*). As colunas agrupadas permitem a inclusão de múltiplas colunas lado a lado, enquanto as colunas estacadas, como o nome diz, estacam as colunas uma em cima das outras, Figura 64. Esses gráficos permitem analisar a volumetria e distribuição das informações de

um conjunto de dados em relação ao eixo X. Outra forma de coluna estacada utilizada foi a coluna 100% estacada, essa permitiu analisar a distribuição percentual de um conjunto de dados, porém não é recomendada para análise volumétrica, Figura 65.

Outras visualizações utilizadas foram as matrizes (*Matrix*), mapa (*Map*) e Gráfico de Donut (*Donut chart*). As matrizes funcionam como tabelas, contendo informações agrupadas; o Mapa permite a distribuição de um conjunto de dados de forma geográfica e o Gráfico de *Donut* apresenta a distribuição percentual do conjunto de dados.

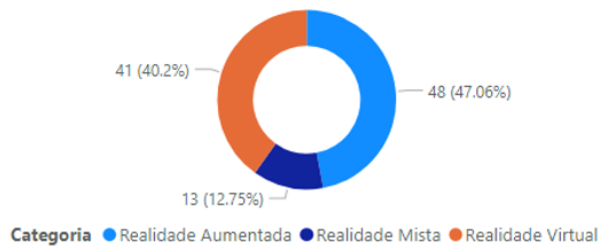
Figura 64 – Exemplos de gráficos de Linha e Colunas agrupadas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 65 – Exemplos de gráficos de Colunas estacadas

Exemplo de Donut chart



Legend

Add data fields here

Values

Count of Título

Details

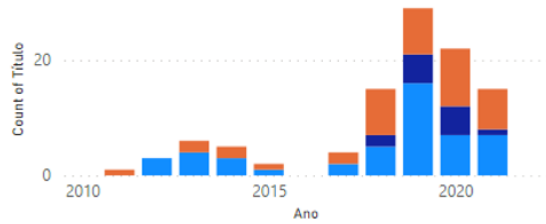
Categoria

Tooltips

Add data fields here

Exemplo de Stacked column chart

Categoria Realidade Aumentada Realidade Mista Realidade Virtual



X-axis

Ano

Y-axis

Count of Título

Legend

Categoria

Small multiples

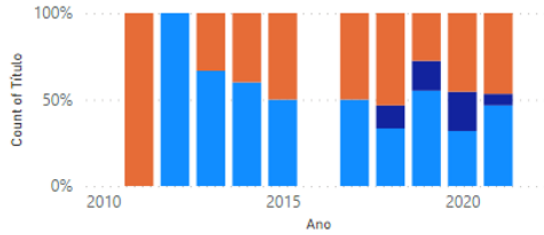
Add data fields here

Tooltips

Add data fields here

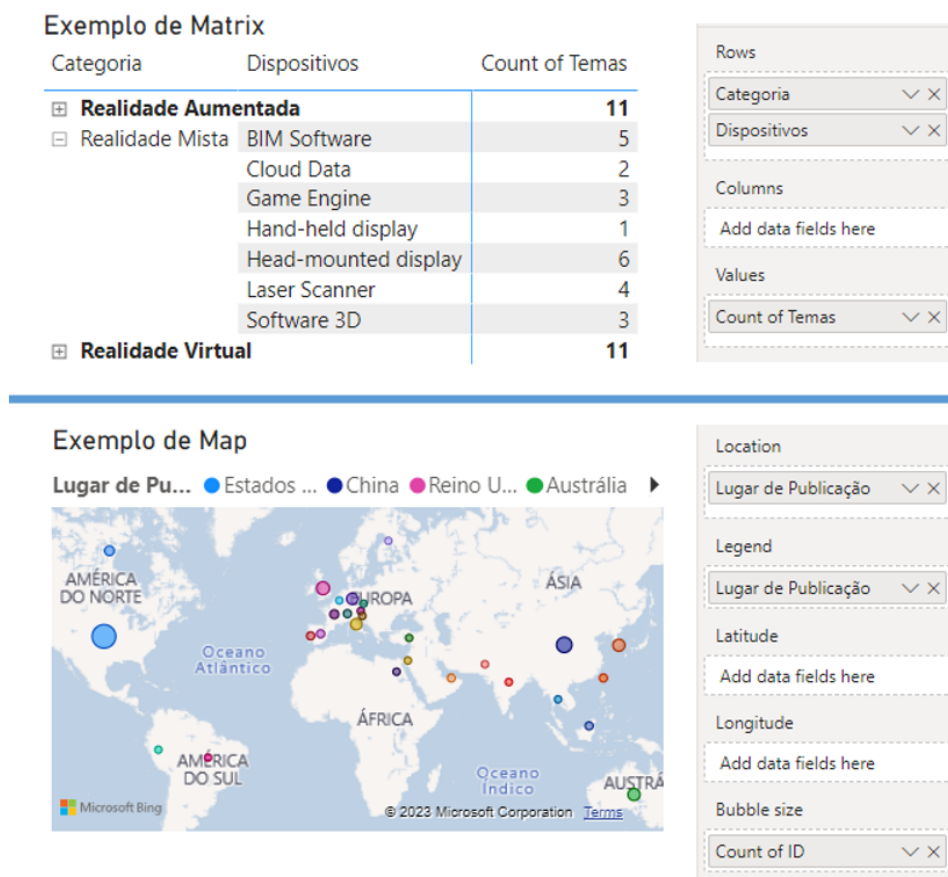
Exemplo de 100 Stacked column chart

Categoria Realidade Aumentada Realidade Mista Realidade Virtual



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 66 – Exemplos da visualização do tipo Gráfico de Donut, Matriz e Mapa



Fonte: Elaborado pelo autor.