

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

NICOLLE NOVATO ALMEIDA

**PANORAMA ATUAL E POTENCIALIDADES DA REALIDADE AUMENTADA NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Goiânia, GO
2025

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Nicolle Novato Almeida

Matrícula: 20171011050190

Título do Trabalho: Panorama Atual e Potencialidades da Realidade Aumentada na Construção Civil

Autorização - Marque uma das opções

1. (x) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 28 de abril de 2025

Local

Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Nicolle Novato Almeida

PANORAMA ATUAL E POTENCIALIDADES DA REALIDADE AUMENTADA NA
CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás,
Campus Goiânia, como parte dos requisitos
necessários para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Esp. Wesley Pimenta de Menezes

Goiânia, GO

2025

A447p

Almeida, Nicolle Novato.

Panorama atual e potencialidades da realidade aumentada na construção civil / Nicolle Novato Almeida. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia, 2025.

77 f.: il.

Orientador: Prof. Esp. Wesley Pimenta de Menezes.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

1. Realidade aumentada. 2. *Building Information Modeling* (BIM). 3. Construção civil. 4. Tecnologia na construção. I. Menezes, Wesley Pimenta de (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia. III. Título.

CDD 624.028 5

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa Belthodo Santos CRB1/ 2.266
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

NICOLLE NOVATO ALMEIDA

PANORAMA ATUAL E POTENCIALIDADES DA REALIDADE AUMENTADA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos quesitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Membros da banca: Esp. Wesley Pimenta de Menezes (orientador), Me. Matilde Batista Melo, Me Murilo Ferreira Paranhos.

Aprovado em 21 de Março de 2025.

Documento assinado eletronicamente por:

- Wesley Pimenta de Menezes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/03/2025 10:30:18.
- Murilo Ferreira Paranhos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/03/2025 09:07:33.
- Matilde Batista Melo, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC0001 - GYN-CCBEC, em 24/03/2025 11:55:56.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 24/03/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 630858
Código de Autenticação: 091792d5b4



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110
(62) 3227-2736 (ramal: 2736)

DEDICATÓRIA

A quem esteve sempre presente.

EPÍGRAFE

“A mente que se abre a uma nova
ideia jamais voltará ao seu
tamanho original.”

(Albert Einstein)

RESUMO

A realidade aumentada se apresenta como uma ferramenta para fortalecer o BIM, aprimorando a visualização do canteiro de obras e visa reduzir, ou até mesmo eliminar, erros ocorridos por falhas humanas ou erros técnicos. Com o uso de aplicativos voltados para o uso da realidade aumentada, é possível recriar a arquitetura, sua estrutura e instalações em escala real no terreno. Este trabalho apresenta um resumo e algumas aplicações da realidade aumentada no ramo da construção civil e as vantagens que essa tecnologia pode trazer para o setor em diferentes áreas utilizando-a para aumentar a produtividade da obra. Através de uma pesquisa bibliográfica e levantamento de informações baseadas em diversos livros, artigos científicos, dados qualitativos e estatísticos e matérias na internet pôde-se levantar dados para selecionar os principais usos da realidade aumentada na construção civil e todo seu potencial atualmente explorado. A partir dos resultados obtidos pôde-se concluir que todas as abordagens já utilizadas até hoje podem sim elevar o setor da construção civil e que a realidade aumentada na construção civil está destinada a impulsionar avanços significativos, promovendo maior eficiência, segurança e sustentabilidade, e garantindo um futuro promissor para o setor. As expectativas para os próximos anos são de uma evolução contínua, com a realidade aumentada desempenhando um papel central na inovação e na melhoria da qualidade dos projetos.

Palavras-chave: Realidade aumentada. Potencialidades. Construção Civil.

ABSTRACT

Augmented reality (AR) emerges as a powerful tool to enhance Building Information Modeling (BIM), improving the visualization of construction sites and aiming to reduce—or even eliminate—errors resulting from human mistakes or technical failures. By employing AR-based applications, it is possible to reconstruct architectural designs, structural components, and installations at full scale directly on-site. This study provides an overview and highlights key applications of augmented reality within the construction industry, emphasizing the advantages this technology can offer across various domains by boosting on-site productivity. Through a comprehensive literature review, incorporating data from books, scientific articles, qualitative and statistical analyses, and online sources, relevant information was gathered to identify the principal uses and current potential of augmented reality in civil construction. The findings indicate that the approaches implemented thus far have the capacity to significantly advance the construction sector. Augmented reality is positioned to drive major progress, fostering increased efficiency, safety, and sustainability, and contributing to a promising future for the industry. Looking ahead, continuous development is expected, with augmented reality playing a central role in innovation and in enhancing the quality of construction projects.

Keywords: Augmented Reality. Potentials. Civil Construction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Sensorama.....	19
Figura 2.2 – Sketchpad.....	19
Figura 2.3 - HMD desenvolvido por Ivan Sutherland.....	20
Figura 2.4 – Data Glove e EyePhone.....	21
Figura 2.5 – Linha do Tempo da Realidade Virtual.....	21
Figura 2.6 – Diferença das realidades.....	25
Figura 2.7 – HoloLens.....	26
Figura 2.8 – Marcadores Fiduciais.....	28
Figura 2.9 - Utilização da realidade aumentada por GPS no Google Maps.....	29
Figura 2.10 – Integração de Mesa.....	32
Figura 2.11 – Integração Portátil.....	33
Figura 3.1 – Classificação das fontes bibliográficas.....	38
Figura 3.2 – Imagem aérea do marcador feito com lona.....	40
Figura 3.3 – Imagem do prédio como visto em Realidade aumentada.....	40
Figura 3.4 – AUGIN utilizado em uma reforma para mostrar as tubulações.....	42
Figura 3.5 – AUGIN utilizado para locação de estrutura no terreno.....	42
Figura 3.6 - Imagem da galeria pública do Augment.....	43
Figura 3.7 – Exemplo da galeria do Augment inserido no ambiente.....	44
Figura 3.8 – Exemplo da galeria do Augment inserido no ambiente.....	44
Figura 3.9 – Uma das funções do aplicativo Augin que permite ao usuário caminhar pelo projeto.....	45
Figura 3.10 – Visualização em realidade aumentada.....	46
Figura 3.11 – Visualização de um projeto estrutural no terreno.....	47
Figura 3.12 – Marcação para colocação dos tijolos de uma parede curva.....	48
Figura 3.13 – Construção de uma parede curva com auxílio de óculos de realidade aumentada.....	49
Figura 3.14 – Parede finalizada.....	49
Figura 3.15 – Marcação da estrutura em realidade aumentada.....	50
Figura 3.16 – Abóboda finalizada.....	50
Figura 3.17 – Informações na tela sobre a tomada a ser instalada.....	52
Figura 3.18 – Marcador instalado junto à tomada para leitura no aplicativo.....	52

Figura 3.19 – O aplicativo mostra as instalações com etiquetas e as áreas que permitem furações marcadas em verde.....	53
Figura 3.20 – Corretor utilizando o óculos e o tablet exibindo a imagem vista.....	54
Figura 3.21 – Planta do apartamento decorado com duas opções de layout interno.....	54
Figura 3.22 – Sugestão de decoração sobreposta ao pavimento ainda em construção.....	55
Figura 3.23 – Imagem do ARki utilizando óculos próprios.....	56
Figura 3.24 – Imagens do aplicativo Sun Seeker.....	56
Figura 3.25 – Aplicativo de régua utilizando a realidade aumentada.....	57
Figura 3.26 – Aplicativo Coral Visualizer.....	57
Figura 4.1 – Ambiente colaborativo Augin.....	61
Figura 4.2 – Magic Leap 2.....	63
Figura 4.3 – O capacete da DAQRI sendo utilizado com a plataforma BIM.....	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
RA	Realidade aumentada
RV	Realidade Virtual
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)
HMD	Head Mounted Display
3D	Três Dimensões
IFC	Formato de arquivos do Augin

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1.	OBJETIVOS	15
1.1.1.	Objetivo Geral.....	15
1.1.2.	Objetivos Específicos	15
1.2.	JUSTIFICATIVA	16
2.	HISTÓRICO	17
2.1.	Realidade Virtual	21
2.2.	Realidade Mista	21
2.3.	Virtualidade Aumentada.....	22
2.4.	Realidade aumentada	22
2.4.1.	Sistemas de Realidade aumentada Móvel.....	24
2.4.1.1.	ARCore e ARKit.....	25
2.4.1.2.	Tendências e outras considerações	26
2.4.2.	Rastreamento.....	26
2.4.3.	Integração BIM e a Realidade aumentada	29
2.4.3.1.	Integração de mesa.....	30
2.4.3.2.	Integração portátil	31
2.4.4.	Justificativas para o Uso da Realidade aumentada	32
2.4.5.	Realidade aumentada na Construção Civil	33
2.4.6.	Vantagens e aplicabilidade da realidade aumentada.....	34
2.4.7.	Limitações no uso da realidade aumentada.....	34
2.4.8.	Indústria 4.0	35
2.4.8.1.	Os Fundamentos da Indústria 4.0.....	36
3.	METODOLOGIA	37
3.1.	APLICAÇÕES DA REALIDADE AUMENTADA NA CONSTRUÇÃO CIVIL	38

3.1.	Principais aplicativos.....	39
3.1.1.	AUGIN	40
3.1.2.	Augment	42
3.2.	Projetos com a realidade aumentada	44
3.3.	Execução de Obras	46
3.4.	Manutenções	50
3.5.	Visita Virtual.....	53
3.6.	Aplicativos auxiliares.....	56
4.	DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	59
4.1.	Desconhecimento da Tecnologia.....	59
4.2.	Limitações de Programa.....	59
4.3.	Posicionamento Incorreto	59
4.4.	Paralaxe.....	59
4.5.	Dependência Tecnológica	60
4.6.	Segurança	60
4.7.	Custo elevado dos equipamentos.....	60
5.	CONCLUSÃO	64
5.1.	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS.....	66

1. INTRODUÇÃO

Na última década a construção civil vem mudando sua forma de comunicação passando do papel para o meio digital. Porém ainda é um avanço cheio de limitações pois os arquivos normalmente utilizados na indústria da construção são melhores vistos e aproveitados em computadores e notebooks, o que limita sua utilização em canteiros de obras, já que estão geralmente localizados em escritórios (Meža *et al.*, 2014).

Meža *et al.* (2014) explicam ainda que com o avanço da tecnologia, promovendo maior capacidade de processamento e a grande disseminação dos dispositivos móveis, como tablets e smartphones, duas tecnologias ganharam destaque como um novo aliado na solução dessa questão: a Realidade aumentada (RA) e a Realidade Virtual (RV), permitindo a interação e imersão do usuário com objetos digitais no meio real.

Milgram e Colquhoun (1999) definem a Realidade aumentada como uma tecnologia capaz de adicionar elementos virtuais em cenas reais, permitindo a interação entre um ambiente real, enquanto o usuário recebe informações provenientes do computador. Já a Realidade Virtual, de acordo com Schnabel (2009), consiste na imersão do usuário em um ambiente totalmente virtual, permitindo também a interação entre os usuários e a cena virtual.

A Realidade aumentada cria a sensação de que objetos virtuais estão presentes no mundo real através de programas que combinam elementos virtuais no ambiente físico. É uma tecnologia que complementa o mundo real, sobrepondo ou compondo objetos virtuais a ele (Azuma, 1997), onde tais estímulos sintéticos são registrados, muitas vezes, para facilitar a obtenção de informações imperceptíveis aos sentidos humanos de outra forma (Sherman; Craig, 2002).

Estima-se que uma parte dos problemas gerados na construção civil seja decorrente de erros de projeto, o que pode trazer prejuízos significativos. A realidade aumentada atua através de softwares que promovem a visualização dos projetos em conjunto com a tecnologia BIM, auxiliando a visualização final de elementos de projeto e inibindo conflitos construtivos. Dessa forma fica mais que claro o potencial da realidade aumentada para o setor da construção civil (Oliveira; Cuperschmid, 2019).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo apresentar o estudo realizado e voltado para o atual patamar da realidade aumentada na construção civil no Brasil, através de uma pesquisa bibliográfica para divulgar e incentivar seu uso.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Avaliar o patamar atual da realidade aumentada.
- Apresentar algumas aplicações da realidade aumentada na construção civil;
- Incentivar a sua utilização através de exemplos práticos;
- Despertar o interesse dos profissionais de construção civil para a realidade aumentada.
- Mostrar o potencial e melhorias com a sua utilização.

1.2. JUSTIFICATIVA

A realidade aumentada permite inserir elementos virtuais em ambientes reais, agregando versatilidade na visualização de modelos geométricos digitais integrando-os ao real, melhorando a percepção espacial, por exemplo. Além de diminuir as dificuldades de visualização e localização no espaço, pois objetos virtuais são adicionados sem perder a noção do ambiente real e ainda é possível movimentar e atuar sobre os objetos adicionados virtualmente (Heidrich; Félix, 2001).

Na construção civil, os projetos são elementos essenciais para obras de qualquer porte e mostram todas as suas etapas e fases, sendo indispensáveis para o sucesso final. É imprescindível que o projetista siga normas e desenvolva concepções que agreguem fatores favoráveis, de modo a evitar problemas futuros e de ordem construtiva (Pereira; Bazzo, 1997).

A realidade aumentada atua nos projetos como uma garantia adicional de visualizar e prever resultados com uma perspectiva tridimensional, podendo ser utilizada tanto dentro da concepção quanto na identificação de compatibilidades entre os diversos projetos necessários para uma construção. O uso de realidade aumentada pode ainda se enquadrar como uma solução para a compreensão do projeto final pelo cliente (Moreira; Ruschel, 2015).

De acordo com Schwab (2016), estamos na Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, que é marcada pela intensa utilização das tecnologias, objetivando a produção cada vez mais rápida de novos produtos, a agilidade na resposta às demandas além de otimizar a produção e a cadeia de suprimentos. Schwab (2016) diz ainda que quando comparada com as revoluções industriais anteriores, essa está evoluindo a um ritmo exponencial, e não linear. Coelho (2016) ressalta que o impacto da Indústria 4.0 vai além da simples digitalização, envolvendo uma forma de inovação muito mais complexa, baseada na combinação de múltiplas tecnologias. Isso resultará em mudanças significativas na forma como as empresas administram seus negócios e processos. Dentre essas novas inovações tecnológicas destaca-se a realidade aumentada.

2. HISTÓRICO

Representações da realidade ou do imaginário estão presentes na vida do ser humano desde os primórdios, permitindo-o expressar-se ao passar dos tempos. Os primeiros indícios de expressão vêm de desenhos primitivos, evoluindo para figuras e pinturas, cinema, jogos, teatro dentre outras expressões artísticas. O surgimento da computação viabilizou a multimídia, que envolve textos, imagens, sons, vídeos e animações. Juntamente com a expansão da indústria de jogos digitais, logo mais a tecnologia rompeu a barreira do monitor, permitindo a geração de ambientes tridimensionais em tempo real, através da realidade aumentada (RA) e virtual (RV) (Tori *et al.*, 2006).

No ano de 1956, uma época em que as fotografias e o cinema já tinham se difundido na sociedade, o cineasta Morton Heilig arquitetou uma cabine, chamada de Sensorama, que possibilitava juntar o vídeo ao som estéreo, vibrações mecânicas, aromas e vento, que era criado com o auxílio de ventoinhas (Pimentel, 1995). Com base nos relatos e invenções contidos na história, podemos dizer que esse experimento foi o primeiro ambiente de imersão realizado, possibilitando ao usuário algo além do visual. A Figura 2.1 mostra como era o Sensorama. A invenção não foi um sucesso comercial na época, mas foi o início do desenvolvimento da Realidade Virtual (Silva, 2020).

Ivan Sutherland foi outro nome de grande relevância na comunidade científica, ele idealizou dois projetos inovadores. O primeiro foi desenvolvido por volta de 1963 e chamado de *Sketchpad*, se tratava de usar computadores para desenhar objetos em sua tela utilizando uma caneta ótica. É intuitivo pensar na ferramenta de desenho AutoCAD quando se fala em desenhar através de computadores, e isso tem uma ligação direta com o invento de Sutherland, pois ele foi um dos precursores da indústria de CAD. A Figura 2.2 mostra o *Sketchpad* (Tori *et al.*, 2006).

No entanto, o invento que encabeçou tal façanha foi o seu segundo projeto, o vídeo-capacete, *Head Mounted Display* (HMD) em 1968, ligado a um computador gigantesco, permitia imergir o seu usuário em um ambiente tridimensional simulado, em meio a representações visuais bastante simples que posteriormente seriam desenvolvidas com o aumento do poder computacional, e das tecnologias de gráficos 3D (Figura 2.3) (Tori *et al.*, 2006).

Figura 2.1 – Sensorama



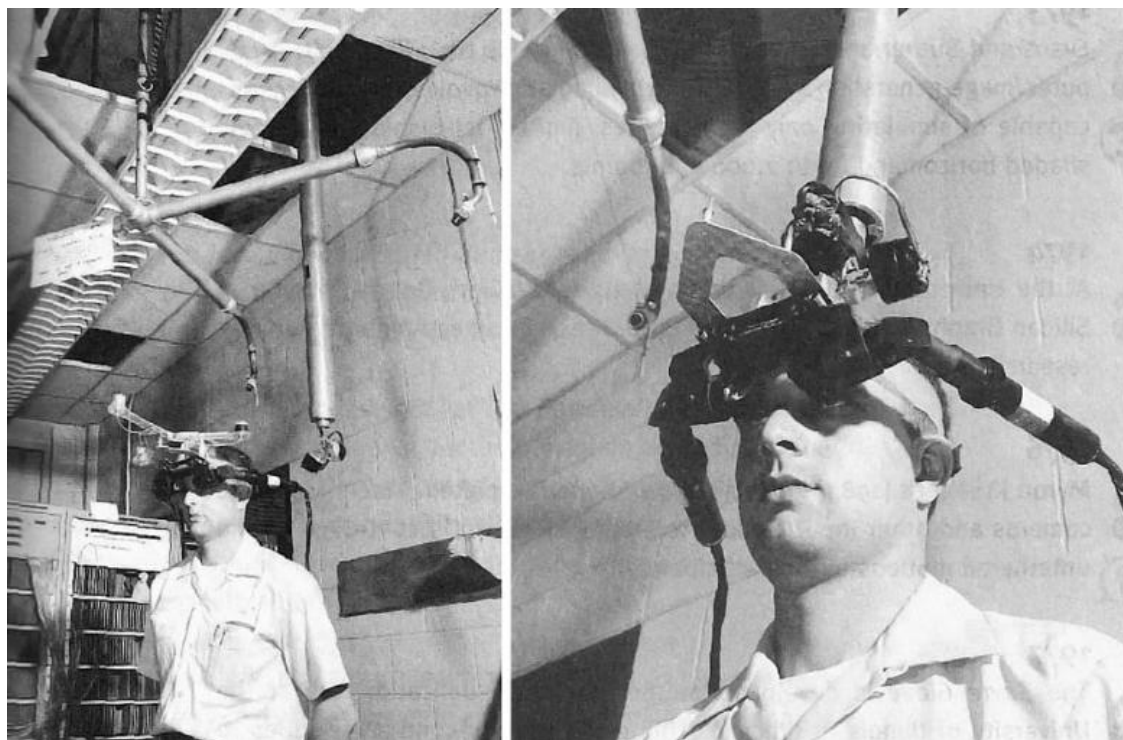
Fonte: Tori *et al.* (2006)

Figura 2.2 – Sketchpad



Fonte: Sutherland (1963)

Figura 2.3 - HMD desenvolvido por Ivan Sutherland

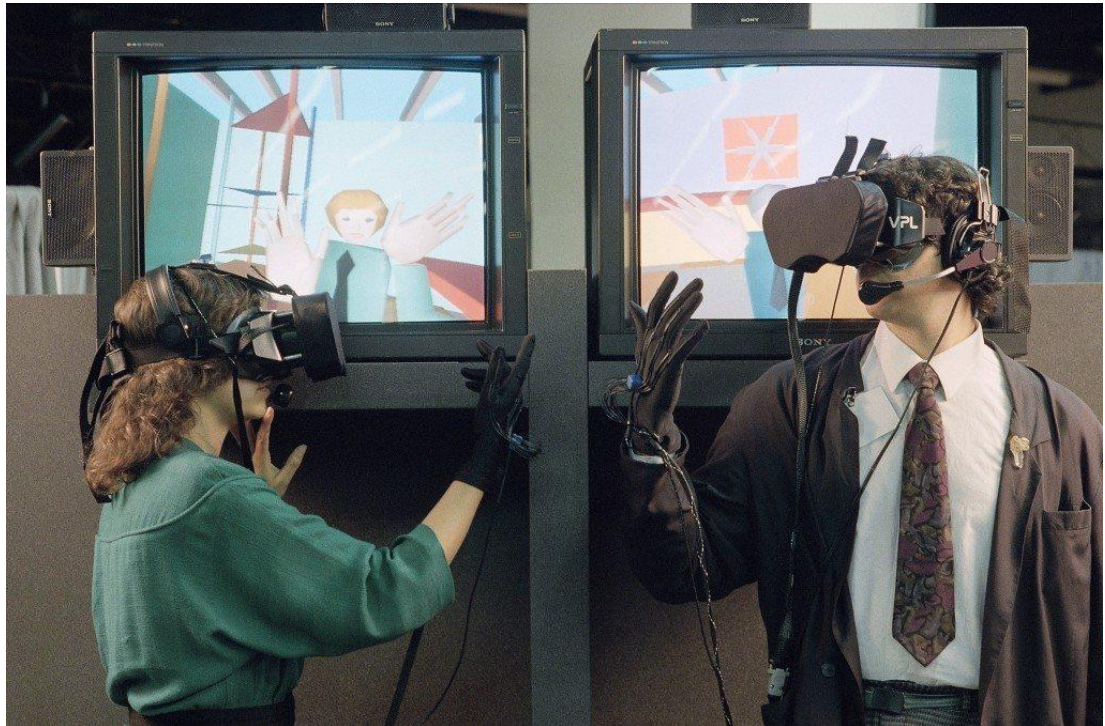


Fonte: Craig (2020)

Rodrigues e Porto (2013) relatam que no ano de 1987 foram criados pela VPL Research, a *DataGlove* e o *Eyephone* que possibilitavam aos usuários manipular objetos virtuais a partir do movimento das mãos. Apesar de uma grande inovação, não fez muito sucesso na época por conta das suas limitações (figura 2.4). Jaron Lanier foi também quem deu o nome de Realidade Virtual à essa tecnologia.

Depois dos equipamentos de realidade virtual, até então utilizados somente pela NASA, começaram a serem vendidos, as grandes empresas de informática começaram a investir na produção de outros equipamentos voltados para essa tecnologia, difundindo-os numa escala cada vez maior em todo o mundo (Rodrigues; Porto, 2013).

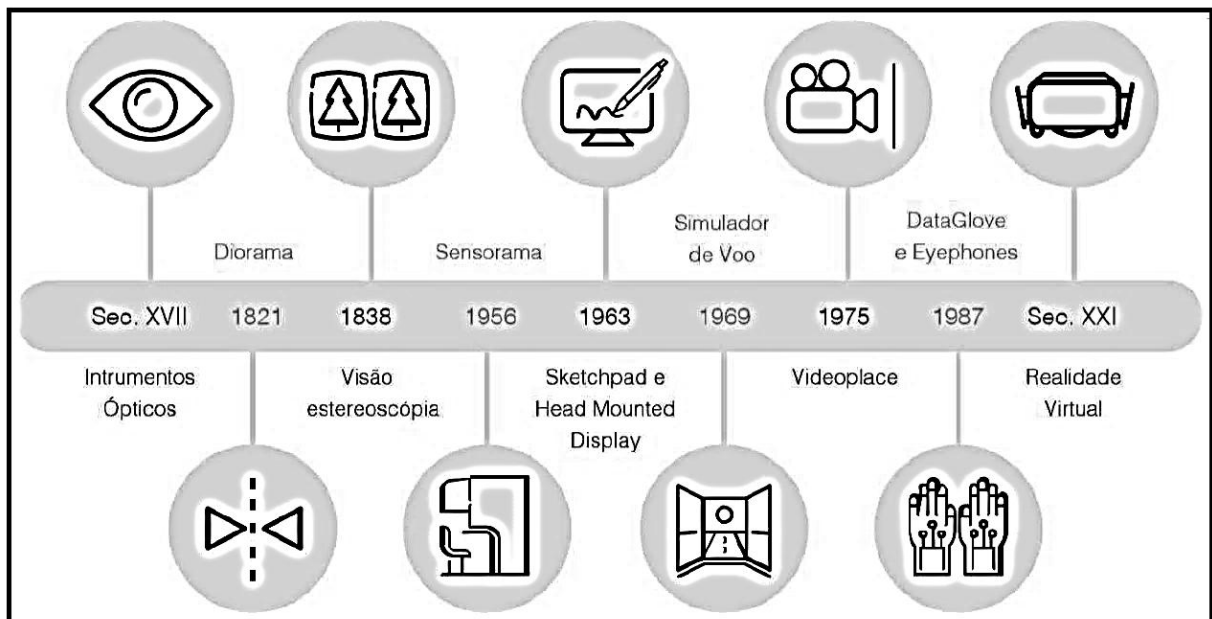
Figura 2.4 – Data Glove e Eyephone



Fonte: Sorene (2014)

Toda a linha do tempo das evoluções que levaram à chegada da Realidade Virtual foi resumida por Cunha (2017) em um cronograma mostrado na Figura 2.5.

Figura 2.5 – Linha do Tempo da Realidade Virtual



Fonte: Cunha (2017)

2.1. Realidade Virtual

A Realidade Virtual (RV) é, principalmente, uma interface voltada para usuários acessarem aplicativos em um computador, a fim de estarem imerso sem um ambiente tridimensional, interagindo com o local além de visualizá-lo. A experiência do usuário com a realidade virtual pode ser ainda mais realista com o estímulo do tato e da audição, além da visão. O usuário movimenta o ambiente da maneira que preferir. (Tori *et al.*, 2006).

Tori *et al.* (2006) explicam que a interação do usuário com o ambiente virtual é um dos aspectos mais importantes e está relacionado à capacidade do computador de detectar e reagir imediatamente aos movimentos feitos pelo usuário, modificando a visualização virtual. A maior vantagem desse tipo de interface é que as habilidades intuitivas e o conhecimento do usuário podem ser usados para manipular objetos virtuais. Para esse tipo de interação, o usuário pode utilizar dispositivos como capacetes próprios ou luvas, seu próprio corpo através de gestos e comandos por voz, ou até mesmo mouse e teclado.

O uso de CAD em escala industrial foi altamente amplificado, sendo desnecessário reforçar os benefícios de visualizar um objeto em 3D antes de sua produção. A realidade virtual faz muito mais que apenas visualizar, permitindo um grau de interação com o objeto e uma inspeção antes de ser produzido. Sendo bastante útil para visualização de protótipos, treinamentos, simulações de montagens e processos, etc. (Tori *et al.*, 2006).

O avanço da tecnologia e, conseqüentemente, da realidade virtual, proporcionado por computadores mais potentes, permitiu que vídeos fossem integrados em ambientes virtuais interativos, em tempo real. A realidade aumentada, que traz elementos virtuais para o ambiente físico, beneficiou-se desse progresso, viabilizando diferentes aplicações da realidade virtual (Tori *et al.*, 2006).

2.2. Realidade Mista

A realidade aumentada é parte de um contexto maior que é a realidade mista. No entanto, esses termos usualmente se misturam e acabam tendo todos a denominação de realidade aumentada. A realidade mista seria a sobreposição de objetos virtuais tridimensionais, gerados por um computador, com o ambiente físico,

e visualizada em tempo real pelo usuário através de um smartphone mostrada ao usuário (Tori *et al.*, 2006).

A meta de um sistema de realidade mista é a criação de um ambiente tão realista que não seja possível perceber a diferença entre a realidade e o virtual, tratando-os como uma coisa só. No ambiente da realidade mista, a realidade aumentada ocorre quando objetos virtuais são colocados no mundo real. A interface do usuário é aquela, que ele usa no ambiente real, adaptada para visualizar e manipular os objetos virtuais colocados no seu espaço.. A interface do usuário é aquela que transporta o usuário para o ambiente virtual, mesmo que ele veja ou manipule elementos reais ali inseridos (Tori *et al.*, 2006).

2.3. Virtualidade Aumentada

A virtualidade aumentada é uma particularidade da realidade mista, quando o ambiente principal é predominantemente virtual. A virtualidade aumentada ocorre, quando elementos reais são inseridos no mundo virtual. Pode ainda ser definida como o enriquecimento do ambiente virtual com elementos reais capturados em tempo real. Além de objetos estáticos, pode-se também levar objetos reais dinâmicos para o ambiente virtual (Tori *et al.*, 2006).

2.4. Realidade aumentada

Em 1990, o cientista e pesquisador Thomas Caudell criou um sistema baseado na realidade aumentada para auxiliar mecânicos de aviões. Após colocarem uma espécie de óculos, os usuários eram auxiliados pela ferramenta para encontrar conexões de cabos e fios corretas nos motores das aeronaves, isso veio a facilitar muito a vida dos mecânicos, que economizavam tempo ao não precisarem ler manuais enormes. Foi Thomas Caudell, o primeiro pesquisador a utilizar o termo Realidade aumentada (Moreira, 2019).

Ao contrário da realidade virtual, que transporta o usuário para o ambiente virtual, a realidade aumentada traz elementos virtuais para o ambiente físico, mantendo o usuário no ambiente real, permitindo a interação com o mundo virtual de maneira mais natural (Tori *et al.*, 2006).

A Realidade aumentada é a sobreposição da Realidade Virtual no mundo real.

Pesquisadores ressaltam que a realidade aumentada permite a criação de um ambiente misto, em tempo real, onde, por exemplo, um usuário desta ferramenta, através de dispositivos móveis como iPhone, iPad, Android, poderá ver o mundo real com imagens virtuais, objetos bi e tridimensionais, gerados por um computador (Tori *et al.*, 2006).

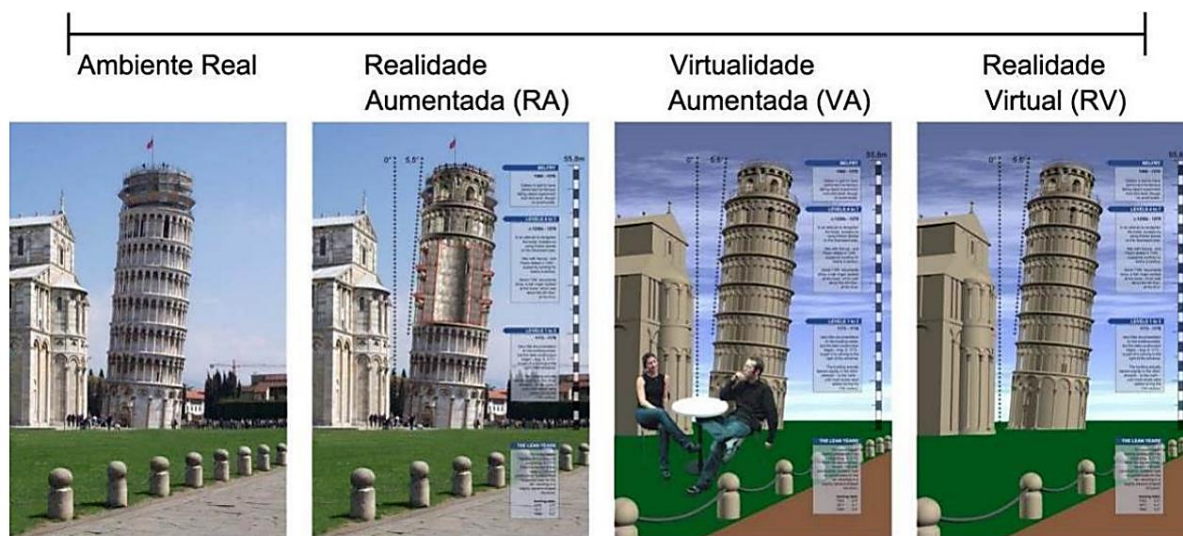
Na realidade aumentada, o ambiente real não é escondido, pelo contrário, ele realiza um papel dominante, pois é a informação virtual que se integra ao mundo físico. Isto leva a um problema fundamental: um ambiente real é muito mais difícil de controlar do que um ambiente completamente virtual (Bimber; Raskar, 2005). Para isso, um sistema de realidade aumentada necessita de dispositivos que possibilitem avaliar a posição do usuário (rastreamento e registro) e criar elementos virtuais (modelos geométricos e outros tipos de informações) e conseguir integrá-los ao ambiente real por meio de tecnologias de exibição e interação (Moreira; Amorim, 2012).

Para Azuma (1997), a realidade aumentada é uma variação de ambientes virtuais ou realidade virtual. A diferença entre realidade virtual e aumentada situa-se principalmente nos objetos virtuais, ou seja, enquanto na realidade virtual, mesmo imerso num mundo virtual o usuário não consegue ver o mundo real, na realidade aumentada ele vê os objetos virtuais sobrepostos ou compostos com objetos reais e/ou entornos reais coexistindo no mesmo espaço.

A Realidade Virtual e Realidade aumentada são tecnologias que dependem de potência de processamento em tempo real e são influenciadas pela evolução da computação, tanto do ponto de vista do hardware quanto do software. Além disso, pelo fato de terem sido criadas há várias décadas, suas definições acabaram sendo modernizadas em função de fatores atuais, como a quantidade de plataformas e a criação de programas capazes de tratar de elementos sensoriais (Kirner; Kirner, 2011).

Como características principais da Realidade aumentada, segundo Azuma (1997), podem-se destacar a junção dos mundos reais e virtuais, onde objetos virtuais aumentam a percepção do que é real e a possibilidade de interação do usuário com ações e reações em tempo real.

Figura 2.6 – Diferença das realidades



Fonte: Moreira (2013)

2.4.1. Sistemas de Realidade aumentada Móvel

Com o avanço da tecnologia e principalmente depois do surgimento dos smartphones, a realidade aumentada foi se tornando mais comum. De acordo com Chatzopoulos *et al.* (2017), um sistema que registra objetos virtuais em um ambiente real, é interativo em tempo real e exibe a visualização misturada em um smartphone ou tablet, é considerado um sistema de Realidade aumentada móvel. Em suma, os sistemas de Realidade aumentada móveis consideram os meios de entrada de dados dos dispositivos, tais como câmera, giroscópio, microfones e GPS para captar os dados. Para então serem registrados de forma efetiva e apresentados na tela do dispositivo móvel, por exemplo.

Recentemente, os tablets (Lindner *et al.*, 2014) e os smartphones (Heller e Borchers, 2015; Chen *et al.*, 2015; Paavilainen *et al.*, 2017; Juanes *et al.*, 2014) têm sido mais utilizados em sistemas de Realidade aumentada móvel. Em especial, os smartphones são uma plataforma promissora para o desenvolvimento de aplicativos de Realidade aumentada, por possuírem sistemas de comunicação sem fio, interação mais eficiente, intuitiva e, de certa forma, mais inteligente além de serem bastante móveis.

Em 2017, a Microsoft lançou um óculos de realidade aumentada denominado HoloLens, ampliando sua atuação para o setor da construção civil com possíveis

aplicações nas indústrias e nos canteiros de obras por possuir um sistema integrado com sensores mais avançados, conforme apresentado na figura 2.7 (Tori; Hounsell, 2018).

Figura 2.7 – HoloLens



Fonte: Inexhibit (2019)

Atualmente, os óculos de Realidade aumentada móveis são caros, sendo assim não são acessíveis a qualquer pessoa, além da maioria das aplicações desenvolvidas para esses dispositivos ainda estarem em fase de pesquisas (Tori; Hounsell, 2018).

2.4.1.1. ARCore e ARKit

Desenvolvidas pela Google e Apple, respectivamente, para serem utilizadas como suporte na criação e no desenvolvimento de aplicações nativas nos sistemas operacionais móveis Android e iOS. Ambas as plataformas foram lançadas recentemente e possibilitam o uso de Realidade aumentada nativamente nos smartphones, sem o acréscimo de mais nada (Tori; Hounsell, 2018).

Tori e Hounsel (2018) explicam que as plataformas utilizam do rastreamento de movimento, através da combinação de informações entre a câmera e os sensores de movimento do dispositivo, permitem que objetos virtuais permaneçam no mesmo lugar mesmo com o dispositivo sendo movimentado. A detecção de superfícies horizontais, permite a alocação de objetos virtuais respeitando as superfícies existentes no mundo real, como mesas e prateleiras. A estimativa de luminosidade, captada da iluminação do mundo real, permite a iluminação de objetos virtuais de forma mais realista, aumentando a sensação de imersão.

2.4.1.2. Tendências e outras considerações

A tela de tamanho reduzido, precisão de localização, qualidade da câmera, registro, comprometimento da experiência do usuário ocasionada pela baixa velocidade na transmissão de dados, alto consumo de bateria e consequentemente de energia, falta de memória e gerência de grande volume de informações podem ser mencionados como alguns dos principais desafios encontrados ao se desenvolver aplicativos para dispositivos móveis (Tori; Hounsell, 2018).

Tanto a realidade virtual quanto a realidade aumentada móvel podem ser aplicadas em diferentes áreas do conhecimento. Além dos jogos e entretenimento, elas também podem ser aplicadas na medicina, educação, arquitetura, entre outras. No entanto é importante ressaltar que nem sempre a melhor solução é o uso de ambientes tridimensionais para a visualização. Em algumas situações, as informações a serem visualizadas são tão simples que uma apresentação cheia de detalhes pode comprometer o entendimento das informações mostradas. Mas, sem dúvida a realidade aumentada móvel apresenta grande potencial e pode aprimorar a capacidade das pessoas de visualizarem informações tridimensionais (Kelner; Teichrieb, 2008).

O próximo passo é aprimorar a tecnologia de forma a facilitar e aumentar a interação do usuário com os recursos que ele utiliza no dia a dia. Estes ambientes permitirão que os usuários reais interajam com outros usuários virtuais, bem como com coisas ou objetos artificiais (Tori; Hounsell, 2018).

2.4.2. Rastreamento

Tori e Hounsell (2018) explicam que os marcadores comumente utilizados (chamados de fiduciais) são imagens retangulares e com um símbolo interno que funcionam como um código de barras, permitindo que os aplicativos calculem a posição do usuário em relação aos marcadores, para que o aplicativo possa sobrepor os objetos virtuais nos marcadores. Os marcadores fiduciais podem ser feitos em qualquer tipo de papel e é o principal recurso para utilizar a realidade aumentada.

Figura 2.8 – Marcadores Fiduciais



Fonte: O'Reilly, 2022

Sistemas que utilizam identificadores fiduciais possuem várias vantagens: marcadores podem ser impressos de forma rápida e econômica, utilizando material encontrado em qualquer escritório. O sistema de aquisição utilizado também não precisa ser sofisticado, bastando o uso de uma câmera de um celular. A operação de um sistema fiducial é trivial. Inicia com uma câmera capturando a imagem dos marcadores. O software utilizado busca fazer a identificação e posteriormente calcular a posição e a orientação compatível com a projeção estimada para a sobreposição do objeto virtual (Tori; Hounsell, 2018).

(Tori e Hounsell (2018) explicam também que apesar terem vantagens, os sistemas baseados em marcadores fiduciais possuem algumas restrições que limitam consideravelmente seu uso. A principal sendo que os marcadores fiduciais devem estar sempre visíveis na cena capturada. Uma forma de resolver esse problema seria a inserção de um número maior de marcadores na cena para serem usados como identificadores de apoio, quando possível. Outra restrição é a necessidade de preparar previamente o local inserindo marcadores nas posições de interesse, sendo que em determinadas ocasiões essa restrição é inaceitável.

Pode-se classificar a realidade aumentada também quanto a perspectiva de visualização por onde a câmera pode ser colocada: na cabeça da pessoa (primeira pessoa), atrás da pessoa (terceira pessoa), ou na frente da pessoa (segunda pessoa) (Sherman; Craig 2002).

Tori e Hounsell (2018) citam ainda outras maneiras de executar o rastreamento:

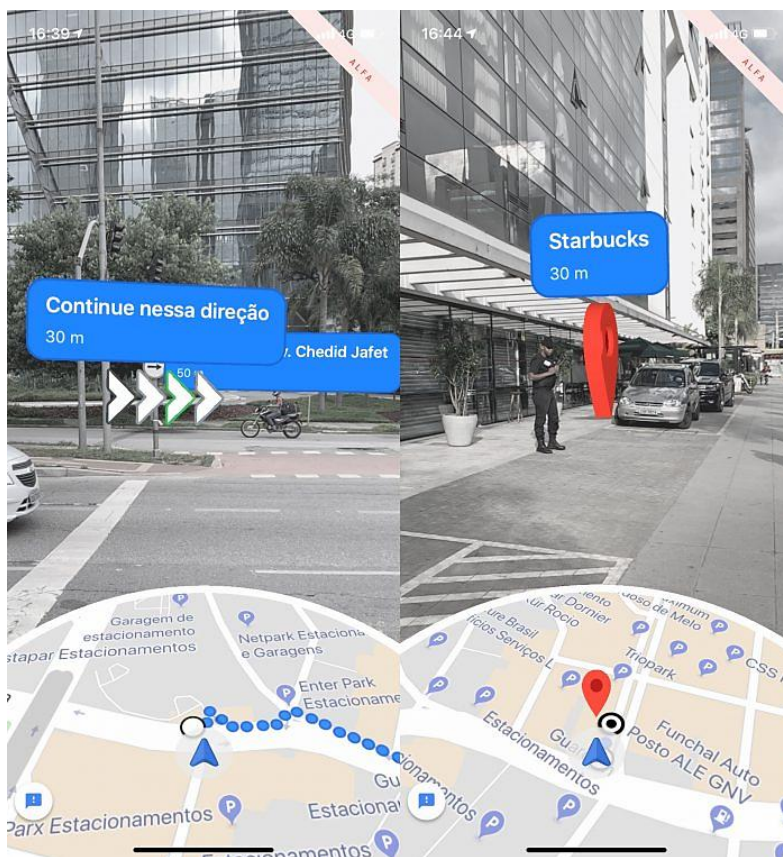
- No rastreamento magnético utilizam um dispositivo para transmitir um campo magnético que é captado por um receptor e a partir disso sua posição e orientação é

calculada em relação ao transmissor. É um rastreamento rápido mas é sensível a interferências eletromagnéticas (o que costuma ser comum em ambientes industriais). (Tori; Hounsell, 2018).

- Sensores inerciais não sofrem nenhuma interferência e quase nenhum atraso. Mas são muito sensíveis ao acúmulo e propagação de erros, tanto de posição quanto orientação e necessitam de manutenção frequente. Por isso, quando é necessário precisão os sensores inerciais devem ser combinados com outros sensores para correção. Na verdade, utilizar dois modos de rastreamento pode garantir um sistema mais versátil e preciso, mas a fusão das informações de ambos rastreamentos necessita um cuidado especial (Tori; Hounsell, 2018).

- O rastreamento por GPS é apropriado para espaços abertos e amplos. As coordenadas são recebidas através de GPS e as informações são recebidas à medida que o usuário se movimenta. A vantagem desse rastreamento é que ele tende a melhorar num futuro próximo pois grandes empresas estão trabalhando em opções, como é o caso da Google (Figura 2.9) (Tori; Hounsell, 2018).

Figura 2.9 - Utilização da realidade aumentada por GPS no Google Maps



Fonte: Tecnoblog (2019)

2.4.3. Integração BIM e a Realidade aumentada

Segundo Eastman *et al.* (2014), o *Building Information Modeling*, conhecido como BIM, é uma das mais promissoras tecnologias emergentes na indústria da construção civil. Por meio desta, é possível construir uma edificação de forma digital, gerando um modelo computacional que fornece suporte de informações para diversas etapas de um projeto, como construção, fabricação de componentes pré-fabricados, fornecimento de insumos, manutenção, análise do ciclo de vida, entre outros. É considerado por ele uma importante transição na prática de projeto.

Com o surgimento do BIM houve uma mudança de paradigma, pois a edificação deixou de ser representada em duas dimensões para começar a utilizar ferramentas 3D, onde cada elemento construtivo do modelo possui um significado, além de poder relacioná-los a outros objetos. Um modelo da edificação em 3D é rico em dados contribui para análises e simulações que, de outra forma, poderia ser desfavorável quanto ao custo-benefício e inviabilizar o estudo de outras alternativas (Santos, 2012).

Santos (2012) salienta também que BIM não é apenas uma mudança de tecnologia, mas também uma mudança de processo. Ao permitir que uma construção seja representada por objetos "inteligentes", ou seja, que carregam informações detalhadas e também compreendem suas relações com outros objetos do modelo, a modelagem da informação da construção não está apenas mudando a forma como os desenhos são gerados, mas também alterando o processo que envolve a construção da edificação.

Esses modelos podem ser caracterizados por:

- Componentes da edificação representados por objetos digitais que trazem consigo dados e atributos gráficos que os identificam, bem como regras paramétricas que permitem sua manipulação;
- Componentes que possuem dados comportamentais, como os necessários para: quantitativo de materiais, especificação e análise energética;
- Dados consistentes, pois cada alteração feita no objeto é modificada em todas as vistas e componentes de que fazem parte (Eastman *et al.*, 2014).

Ainda de acordo com Eastman *et al.* (2014), o conceito de objetos paramétricos é fundamental para o entendimento do BIM e sua diferença para objetos em 2D tradicionais, como são os arquivos CAD. Objetos BIM paramétricos são definidos como:

- Definições geométricas de dados e regras associadas;
- Geometria é integrada de maneira não redundante e não permite inconsistências. Além disso, as dimensões não podem ser “falsas”;
- Regras paramétricas para os objetos alteram automaticamente as geometrias associadas;
- Pode-se definir paredes e seus respectivos componentes;
- Regras dos objetos podem identificar quando determinada modificação viola a viabilidade do objeto no que diz respeito a tamanho, construtibilidade etc.;
- Objetos têm habilidade de vincular-se a ou receber, divulgar ou exportar conjuntos de atributos, como materiais estruturais, para outras aplicações e modelos.

O modelo BIM 3D é o que expressa visualmente, entre outras formas, os conceitos de design em três dimensões (largura, altura e profundidade) (Wang *et al.*, 2014).

O modelo BIM pode ser compartilhado entre diferentes profissionais, sendo usado principalmente para ilustrar possibilidades de projeto. Porém ainda é bastante limitado para atividades no canteiro de obras (Wang *et al.*, 2014). A maioria dos modelos BIM são feitos em computadores sem nenhuma ferramenta de posicionamento, resultando em pouca ou nenhuma interação entre o modelo e a situação no canteiro de obras. Portanto, a introdução de outra tecnologia, como a realidade aumentada, pode auxiliar sistemas BIM já existentes para contornar o esse problema, trazendo os modelos 3D para o canteiro de obras (Saar *et al.*, 2019).

Em outras palavras, a realidade aumentada é uma opção para facilitar a visualização do modelo BIM. Além disso, a realidade aumentada é de grande ajuda durante atividades de manutenção e inspeção, por permitir a visualização virtual de elementos que estão encobertos atrás de acabamentos como forros e paredes (Saar *et al.*, 2019).

2.4.3.1. Integração de mesa

É a forma mais simples de integração entre BIM e a realidade aumentada, sendo a sobreposição do modelo 3D no ambiente real a partir de marcadores, como os fiduciais. Utiliza também sensores de movimento, com o modelo BIM mudando de acordo com o movimento do usuário, permitindo uma melhor visualização do modelo clientes (Saar *et al.*, 2019).

É representado em menor escala e mostra a totalidade da edificação, sendo mais voltado para marketing e visualização de projetos por parte dos clientes (Saar *et al.*, 2019).

Figura 2.10 – Integração de Mesa



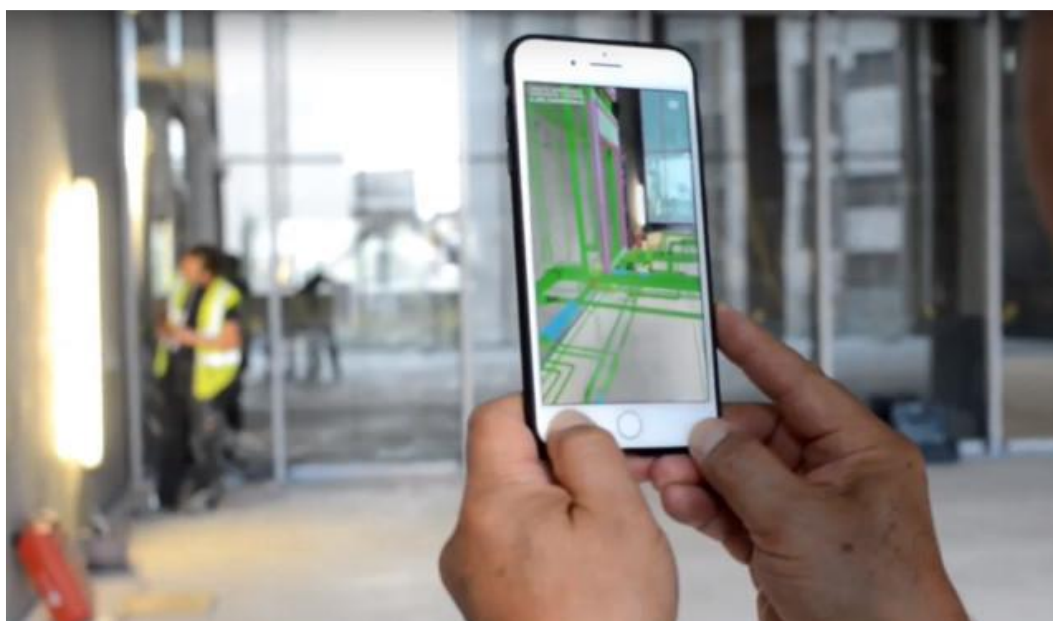
Fonte: Archdaily (2019)

2.4.3.2. Integração portátil

Diferentemente do modelo de mesa, é mostrando apenas a parte correspondente à parte mostrada pela câmera, em escala real, como uma parede ou um encanamento. É mais útil nos canteiros de obras (Saaret *et al.*, 2019).

Ainda há bastante espaço para aprimoramentos, pois cada plataforma tem seus próprios benefícios e limitações. A integração de mesa é a mais popular dentre os dois, porém ainda há muito a ser explorado nas duas situações (Chai *et al.*, 2019).

Figura 2.11 – Integração Portátil



Fonte: Archdaily (2019)

2.4.4. Justificativas para o Uso da Realidade aumentada

É cada vez maior o número de dispositivos móveis no mercado. Dados da Anatel indicam que o Brasil possui 242 milhões de celulares, um número maior que o próprio número de habitantes (CNN Business, 2022).

A evolução dos smartphones é notória e com tantos recursos e possibilidades a mobilidade e a conectividade estão cada vez mais presentes na vida das pessoas. Isso motiva as marcas a lançarem mais e mais conteúdo específico para os dispositivos móveis. Uma das principais vantagens sendo a mobilidade, podendo ser utilizados em qualquer momento e lugar, isso alinhado à realidade aumentada torna-se estratégia de desenvolvimento além da construção civil como simulações, jogos, até mesmo medicina e manutenção de equipamentos (Oliveira *et al.*, 2017; Azuma; Billinghurst; Klinker, 2011).

Destacam-se como os principais benefícios do uso de dispositivos móveis para Realidade aumentada, segundo Heiphetz e Woodill (2010), sendo: a portabilidade, a mobilidade e fácil acesso a diversos recursos e em tempo real, economia de tempo, rapidez da comunicação, capacitação e envolvimento dos usuários e o fato da aprendizagem ser abrangente e dinâmica. Outros fatores de mercado contribuem para o crescimento de aplicativos de Realidade aumentada, como por exemplo, a redução

do custo de equipamentos o que torna cada vez mais acessíveis, contribuindo para uma maior abrangência no uso desses aplicativos. De acordo com Jin e Park (2011) a amplitude em que a Realidade aumentada vem atuando se torna imprescindível e coerente para várias soluções, contribuindo para o desenvolvimento social e tecnológico.

2.4.5. Realidade aumentada na Construção Civil

A Realidade aumentada pode ser utilizada durante todas as fases da do processo construtivo. Na fase de construção estudos mostram que o uso de realidade aumentada reduz o tempo de execução de tarefas em 50%, além de diminuir erros executivos (Garbett *et al.* 2021). De acordo com Schnabel (2009), um ambiente de realidade aumentada para construção civil permite novas maneiras de trabalho colaborativo. No entanto, é de extrema importância garantir que as escalas e dimensões apresentadas no modelo virtual sejam corretas em relação ao ambiente real.

A tecnologia já ganhou espaço na arquitetura, mas seu potencial vem sendo explorado com surgimento de novos programas focados em acompanhamento de obras, treinamentos de equipes e controle de construções. Isso facilitou a visualização dos processos e o nível de detalhamento em projetos de realidade aumentada associados ao BIM poderá ajudar resolver problemas de execução e obras (Cuperschmid *et al.*, 2019).

Ao longo dos últimos anos diversos trabalhos foram feitos em diversos segmentos da construção civil como o de Behzadan e Kamat (2007) que estudaram a utilização da realidade aumentada no setor da construção na execução de estruturas de aço. Williams *et al* (2015) pesquisaram a aplicação na execução de uma instalação de tubulações para climatização. Chalhoub e Ayer (2018) relataram o uso na inspeção da execução de sistemas elétricos prediais. Existem ainda trabalhos sobre aplicações no canteiro de obras para coleta de dados (Kopsida; Brilakis, 2016), na inspeção de defeitos na construção (Park *et al*, 2013), na visualização de elementos estruturais para execução (Jiao *et al*, 2013), em projetos de infraestrutura urbana (Dong e Kamat, 2013), na inspeção de escavações (Su *et al*, 2013), na inspeção da estrutura de túneis (Zhou *et al.*, 2017), na montagem de peças em sistemas prediais (Hou *et al.*, 2015) e no acompanhamento de etapas da obra através da visualização de elementos

tridimensionais (Hakkarainen *et al.*, 2010; Golparvar-fard *et al.*, 2011; Yeh *et al.* 2012).

Salgado e Pasdiora (2020) desenvolveram uma revisão sistemática da literatura que contou com 62 artigos publicados entre 2008 e 2020 e além de perceberem que o BIM aparece como principal ferramenta de apoio para a realidade aumentada na construção civil, viram também que a realidade aumentada foi muito utilizada para controle de qualidade e aumento da produtividade.

2.4.6. Vantagens e aplicabilidade da realidade aumentada

De acordo com Wang *et al.* (2016) existem diversas vantagens da realidade aumentada que são iguais as da realidade virtual, mas a realidade aumentada tem algumas próprias:

- Não exige tanto esforço manual e computacional, uma vez que não é necessário fazer toda a modelagem do mundo virtual, apenas um ambiente ou objeto é feito;
- O usuário pode agir no ambiente real, manipulando objetos e se movimentando de forma natural, aumentando o senso de realismo e tendo as vantagens do ambiente real e do virtual;
- É possível explorar elementos virtuais no ambiente real sem que seja necessário construir nada, o que acaba economizando tempo;
- O ambiente é seguro e intuitivo para interações físicas, sem confundir o usuário;
- A realidade aumentada agrega valor ao produto final, pois o consumidor tem uma ideia mais clara do resultado final. Além de ajudar na apresentação de produtos e ambientes de forma interativa e dinâmica.

Pode ser utilizada para projetos desde a concepção, compatibilização e execução, garantindo que os profissionais envolvidos vejam o projeto de forma completa. E o cliente também consegue ter uma ideia melhor da construção final. (Smart, 2022).

2.4.7. Limitações no uso da realidade aumentada

Para Azuma *et al.* (2001), os principais obstáculos que limitam o uso mais amplo da realidade aumentada são: tecnológicas, interface do usuário e problemas de

aceitação social. Especificamente no que diz respeito aos óculos para Realidade aumentada, a tecnologia ainda se encontra em expansão. Melhorias das câmeras e nos sistemas operacionais ainda são necessárias, mas mais decisivo que isso é a pouca familiaridade e acesso a essa tecnologia, ainda que um smartphone atualmente seja uma alternativa presente no cotidiano da maioria esmagadora da população.

A escala de visualização é outro fator que deve ser considerado no desenvolvimento de uma aplicação. Deve ser planejado quando será necessário a sobreposição do objeto virtual ao objeto real na escala 1:1, ou quando será necessária a visualização em escala menor ou maior que o tamanho natural (Santos, 2020).

E também o custo da utilização deve ser considerado. Os aplicativos, embora tenham opções gratuitas, tem versões pagas mais completas e a própria facilidade de uso dos aplicativos deve ser ressaltada, pois diversos usuários iniciais reclamaram não conseguir utilizar o aplicativo de forma satisfatória, como mostrado na pesquisa de Santos (2020).

2.4.8. Indústria 4.0

Depois das revoluções industriais ocorridas no passado, vivemos hoje o início da Indústria 4.0, cujo conceito foi desenvolvido na Alemanha em 2011 e pode ser entendida como o uso de tecnologias digitais em processos industriais.

Visa conectar máquinas, sistemas, produtos e pessoas, criando redes inteligentes em toda linha de produção com autonomia no comando de todos os processos através da interconexão entre dispositivos com a internet, se comunicando entre si e com os humanos em tempo real (Silva *et al.*, 2022). A internet é o maior protagonista dessa era e dessa evolução industrial, já estando consolidada entre as pessoas como um grande canal de comunicação convergente de todas as tecnologias (Venturelli, 2017).

O desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil envolve desafios que vão desde os investimentos em equipamentos que incorporem essas tecnologias, à adaptação de layouts, adaptação de processos e das formas de relacionamento entre empresas ao longo da cadeia produtiva, criação de novas especialidades e desenvolvimento de competências, entre outras. O cruzamento de informações que permite conectar o pedido de compra, a produção e a distribuição de forma autônoma, sem que pessoas precisem tomar decisões a todo o

momento, por exemplo, exigirá novas formas de gestão e engenharia em toda a cadeia produtiva (CNI, 2016, p.15).

2.4.8.1. Os Fundamentos da Indústria 4.0

De acordo com Esss (2017), a indústria 4.0 tem como evidência:

- a) Operação em tempo real:** Capacidade de coletar dados e trabalhar informações de maneira instantânea;
- b) Virtualização:** uma cópia virtual que permite a rastreabilidade e monitoramento remoto;
- c) Descentralização:** Contém informações sobre fluxo de trabalho, de modo que guiem seus operadores e também possibilitem a tomada de decisões de maneira remota;
- d) Orientação a serviços:** softwares arquitetados com o conceito de Internet de Serviços;
- e) Modularidade:** produção de acordo com a demanda, acoplamento e desacoplamento de módulos na produção. Flexibilidade e facilidade para alterar as tarefas das máquinas;
- f) Interoperabilidade:** capacidade dos sistemas cyber-físicos e reais conversarem e interajam um com o outro por meio da internet.

A Indústria 4.0 vem acompanhada de alguns conceitos importantes e característicos que influenciam as novas indústrias em suas maneiras de ser e agir e segundo Goepik (2013) a Realidade aumentada e a Realidade Virtual são algumas delas, além da impressão em 3D.

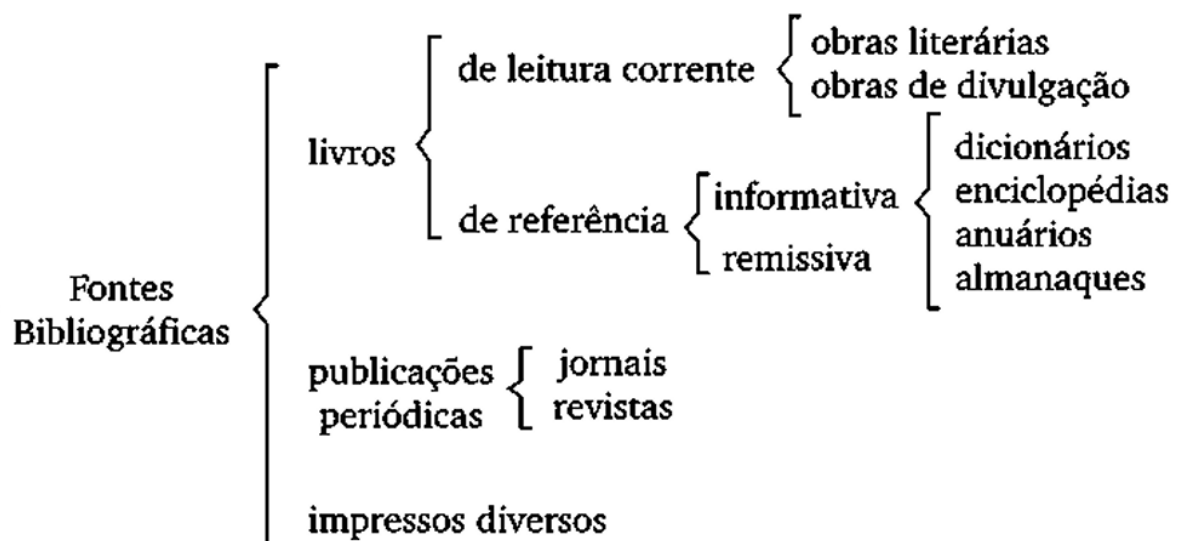
A indústria está passando por mudanças significativas, moldadas pelas grandes inovações tecnológicas. De acordo com Senai (2017), espera-se que essas mudanças levem a ganhos de produtividade, implementação de manufatura enxuta, personalização em larga escala, redução de custos, maior transparência, diminuição de erros, economia de energia, preservação ambiental, redução de desperdícios e melhoria na qualidade de vida.

3. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa exploratória, cujo objetivo é proporcionar maior compreensão sobre o problema, seja para elucidá-lo ou para levantar hipóteses. O planejamento dessa abordagem é flexível, permitindo a consideração de diferentes aspectos do tema em questão. A pesquisa exploratória incluiu o levantamento bibliográfico e a análise de exemplos para auxiliar no esclarecimento e na compreensão do assunto (Gil, 2002).

A principal metodologia utilizada foi a pesquisa bibliográfica, que se baseia em materiais previamente existentes, como livros e artigos científicos. Muitas pesquisas exploratórias são sustentadas por esse tipo de levantamento. A Figura 3.1 apresenta a classificação das fontes bibliográficas:

Figura 3.1 – Classificação das fontes bibliográficas



Fonte: Gil, 2002

Neste estudo, foram utilizadas diversas fontes, como livros, artigos científicos, publicações periódicas, dados qualitativos e estatísticos encontrados nas fontes ou em matérias na internet. Para a seleção das principais utilizações da realidade aumentada na construção civil, foi adotada a grande base de referências bibliográficas citadas neste estudo.

Consideraram-se artigos e textos encontrados nas buscas por "realidade aumentada", "realidade aumentada na construção civil" e sua versão em inglês "augmented reality in civil construction", com o intuito de abordar suas definições, implementações, principais desafios para a adoção e os benefícios relacionados à produtividade, qualidade, eficiência e redução de custos nos processos, além de considerar o contexto brasileiro no uso da realidade aumentada.

3.1. APLICAÇÕES DA REALIDADE AUMENTADA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A realidade aumentada é utilizada em diversos segmentos, como educação e entretenimento e até jogos, tendo sido popularizada com o jogo Pokémon GO, lançado em 2016, mas o setor da construção civil também tem avançado bastante na utilização da mesma.

Pode ser utilizada em todas as etapas de uma obra: englobando todos os processos na elaboração de um projeto, todas as etapas vinculadas à execução da obra e para a captação de novos clientes utilizando-se de demonstrações e para o pós vendas.

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), de 2014 a 2019 o setor da construção civil teve 20 trimestres consecutivos de queda do PIB, No segundo trimestre de 2019 o setor teve um crescimento de 2%, voltando a cair em 2020 por conta da pandemia. No segundo trimestre de 2024 o crescimento foi de 3,5%, o que superou o avanço geral da economia que aumentou 1,4% no mesmo período. Porém mesmo registrando números positivos há alguns anos ainda permanece abaixo do pico histórico de crescimento de 2014 e diversos fatores tem contribuído para esse cenário.

A retomada do crescimento da construção civil está relacionada à diversos fatores. As inovações tecnológicas no setor podem ser consideradas uma das principais, e dentre elas, está a Realidade aumentada.

A construtora Rossi, já em 2009, utilizou a realidade aumentada como marketing para seus possíveis clientes, que eram levados de helicóptero para sobrevoar o local e visualizar a construção de forma virtual no espaço real onde seria executada. Através de uma câmera instalada no helicóptero os possíveis compradores viam em um notebook como o prédio se integraria à paisagem em tempo real. Eles utilizaram um marcador fiducial, que entrou para o livro dos recordes como

o maior marcador do mundo, ele tinha aproximadamente 900m², era feito de uma espécie de lona e foi disposto no local onde a obra seria executada.

Figura 3.2 – Imagem aérea do marcador feito com lona



Fonte: Brasil Acadêmico, 2010

Figura 3.3 – Imagem do prédio como visto em Realidade aumentada



Fonte: Brasil Acadêmico, 2010

3.1. Principais aplicativos

Os aplicativos de realidade aumentada têm se mostrado cada vez mais úteis e avançados para a construção civil, transformando a maneira como projetos são planejados e executados. Essas ferramentas permitem visualizar modelos 3D de edifícios e estruturas diretamente no ambiente real, auxiliando na identificação de

problemas antes mesmo do início da obra. Dentre os que mais se destacam podemos citar os seguintes.

3.1.1. AUGIN

O AUGIN foi lançado em 2019 na Construtech, o maior evento de tecnologia da construção do Brasil, tem aplicativo para Android e IOS e uma versão para computadores que pode introduzir modelos e projetos 3D em realidade aumentada com rapidez e precisão. O AUGIN trabalha com a tecnologia de realidade aumentada e com fluxos automáticos, por meio de plugins, para o envio de arquivos de imagem em 3D, possibilitando a visualização dos modelos em escala real no ambiente. O aplicativo mudou completamente a forma de apresentar projetos e trabalhar em canteiros de obras, fornecendo projetos federados, informações BIM, diferentes modos de visualização e ferramentas convenientes para importação de projetos (Santos *et al.*, 2021).

O AUGIN tem integração com vários softwares como Revit, SketchUp e TQS. Além de democratizar o acesso à realidade aumentada, o Augin App também traz muitos benefícios para a construção civil, como detectar imediatamente interferências e erros de execução. A interação sempre existe porque além de visualizar paredes em vez de lacunas, ela também pode circular pelo ambiente e tudo pode ser mostrado ao cliente final imediatamente. É importante também notar que o projeto 3D promove a compreensão de todos (Osterno, 2021).

Figura 3.4 – AUGIN utilizado em uma reforma para mostrar as tubulações



Fonte: Augin, 2020

Figura 3.5 – AUGIN utilizado para locação de estrutura no terreno



Fonte: Augin, 2020

Além do aplicativo, a empresa lançou no ano de 2020, o Augin AR WEB, uma solução para apresentação de projetos e visualização de modelos 3D através da

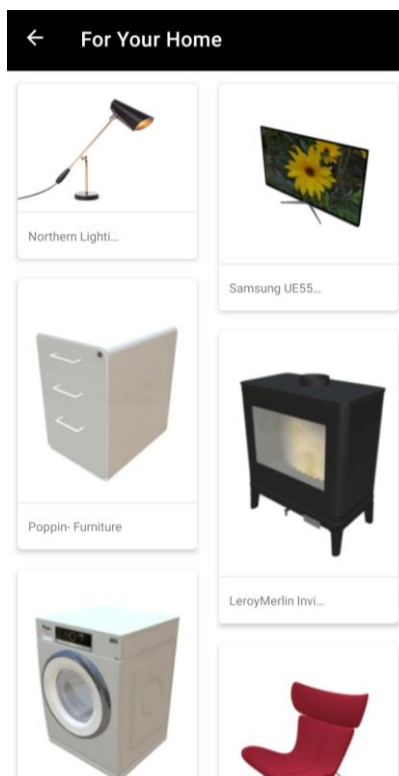
Realidade aumentada facilmente acessada através de qualquer navegador de internet. Com o Augin AR WEB o setor da construção ganha uma nova forma de visualizar produtos e projetos em 3D e realidade aumentada, sendo possível entender detalhes de projeto vendo e interagindo com o modelo de uma forma muito mais parecida com a vida real do que vídeos, imagens ou renders estáticos (Augin, 2020).

3.1.2. Augment

Augment é um aplicativo que permite visualizar objetos e personagens em realidade aumentada. O aplicativo oferece modelos em 3D prontos, que podem ser baixados do site do produto gratuitamente. Os modelos precisam ser impressos e depois da impressão, basta apontar a câmera do celular para ele e começar a usar a figura, que servirá como exemplo, para interagir com a realidade (Silva, 2020).

O Augment permite que qualquer pessoa veja como determinados itens se encaixariam dentro de algum ambiente. Isso confere uma oportunidade para algumas empresas promoverem uma experiência mais interativa entre o público e seus produtos (Silva, 2020).

Figura 3.6 - Imagem da galeria pública do Augment

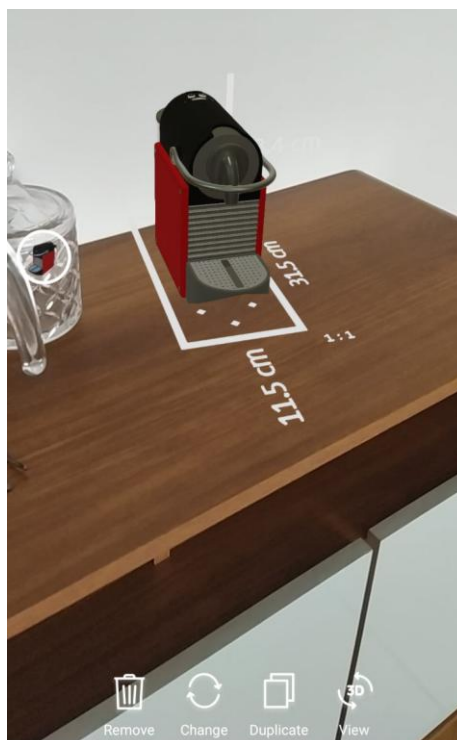


Fonte: Autora (2022)

Figura 3.7 – Exemplo da galeria do Augment inserido no ambiente



Figura 3.8 – Exemplo da galeria do Augment inserido no ambiente



Fonte: Autora (2022)

3.2. Projetos com a realidade aumentada

A constante evolução da tecnologia está continuamente transformando a forma como projetamos e apresentamos projetos arquitetônicos e os demais projetos necessários. As antigas plantas baixas em 2D estão sendo, aos poucos, substituídas por métodos mais avançados, como BIM e os modelos em 3D. Ferramentas de software, como o AutoCAD inicialmente e mais recentemente o Revit, facilitaram o desenvolvimento de projetos de forma geral.

No entanto, embora os modelos 3D e as imagens realistas das obras finalizadas ofereçam uma visualização aprimorada, ainda faltava uma sensação de imersão. Isso mudou com a introdução da realidade aumentada. Combinada com o modelo 3D tradicional, a Realidade aumentada permite que projetistas e clientes obtenham uma visão mais detalhada e realista do projeto, inclusive possibilitando a visualização da construção em escala real no local onde ela será executada.

Aplicativos como o Augin, possuem opções para visualização em realidade aumentada para grupos de pessoas, permitindo ao usuário que faça apresentações imersivas aos potenciais clientes.

Figura 3.9 – Uma das funções do aplicativo Augin, permitindo que o usuário caminhe pelo projeto



Fonte: Autora, 2024

Figura 3.10 – Visualização em realidade aumentada de um conjunto de salas do IFG



Fonte: Autora, 2024

As dificuldades na interpretação de informações em representações bidimensionais podem ser amenizadas com o uso da realidade aumentada, beneficiando engenheiros e arquitetos para também aprimorar a criação e o design dos projetos.

As principais vantagens dessas visualizações incluem a riqueza de detalhes, a capacidade de "navegar" pelo projeto e a facilitação da comunicação entre todos os envolvidos na criação do projeto. É possível visualizar e compatibilizar projetos de arquitetura, estruturas e instalações elétricas e hidráulicas, permitindo identificar erros que talvez só seriam notados durante a execução. Isso resulta em projetos mais precisos e em redução dos custos com retrabalhos.

Além disso, no que diz respeito ao design, é possível realizar diversas simulações com diferentes combinações de elementos, oferecendo uma experiência mais enriquecedora na escolha do projeto ideal para o cliente. Alguns aplicativos ainda possibilitam decorar os ambientes facilitando a percepção do resultado final.

3.3. Execução de Obras

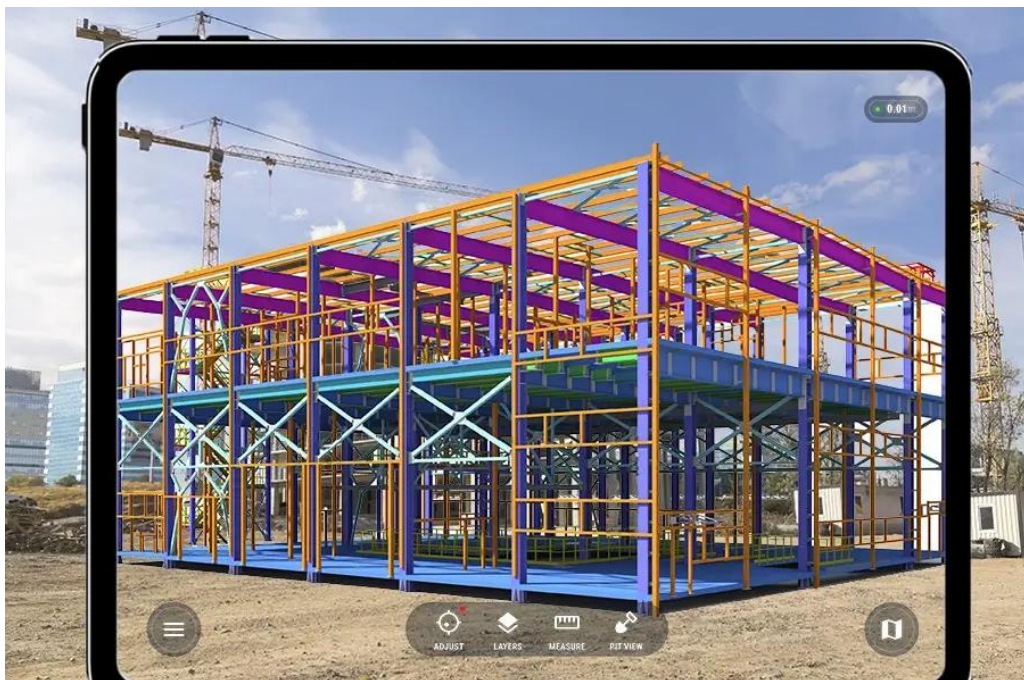
Acompanhar uma obra de perto é fundamental para o sucesso do empreendimento, é necessário para que a execução dos serviços siga o escopo definido no projeto. Um acompanhamento eficaz pode prevenir erros, divergências em relação ao projeto original e reduzir gastos desnecessários. Existem várias formas de realizar e documentar esse monitoramento.

Os relatórios de acompanhamento podem ser elaborados tanto em formato físico quanto digital. No caso digital, podem ser feitos utilizando sistemas de gerenciamento inspirados no modelo BIM, que se destaca em eficácia, especialmente quando combinado com a realidade aumentada.

A realidade aumentada oferece diversos benefícios durante o monitoramento da obra, como a capacidade de comparar em tempo real o que já foi construído com o projeto original e sobrepor o projeto ao local escolhido. Além disso, facilita a comunicação entre todos os profissionais envolvidos.

Com o uso de óculos de realidade aumentada, o engenheiro pode sobrepor o modelo 3D do projeto ao ambiente real, facilitando a identificação de não conformidades em relação ao modelo original. Isso acelera a resolução de problemas, permitindo que as informações sejam compartilhadas em tempo real.

Figura 3.11 – Visualização de um projeto estrutural no terreno



Fonte: Baba (2023)

Toda obra segue uma sequência de execução que passa por diversos profissionais e vários graus de dificuldade, o que pode levar alguns meses para ser concluído dependendo da complexidade da construção, por isso o cronograma da obra é um dos primeiros itens a serem feitos. Começando pelo canteiro de obras, sondagens, locação, fundações, alvenaria e terminando com os revestimentos, instalações e pinturas.

A realidade aumentada não tem muita função nas etapas iniciais da construção, como a preparação do canteiro de obras, mas é possível utilizar a realidade virtual para definir todos os pontos que podem divergir no futuro, como entrada e saída de veículos e áreas de armazenamento. O layout do canteiro muda muito conforme a construção avança e a realidade virtual é capaz de simular todos os cenários possíveis, sendo de grande ajuda.

A empresa Fologram busca facilitar a construção de projetos complexos com a ajuda da realidade aumentada, como paredes geométricas e em formatos nada convencionais. Proporcionando instruções digitais que se sobrepõem virtualmente ao espaço de trabalho, guiando as pessoas responsáveis pela execução passo a passo durante o processo de construção.

As figuras 3.12, 3.13 e 3.14 mostram na prática o modelo criado pela Fologram para auxiliar a construção de uma parede de tijolos curva e com espaços entre eles.

Figura 3.12 – Marcação para colocação dos tijolos de uma parede curva



Fonte: Dejtiar (2019)

Figura 3.13 – Construção de uma parede curva com auxílio de óculos de realidade aumentada



Fonte: Dejtari (2019)

Figura 3.14 – Parede finalizada



Fonte: Dejtari (2019)

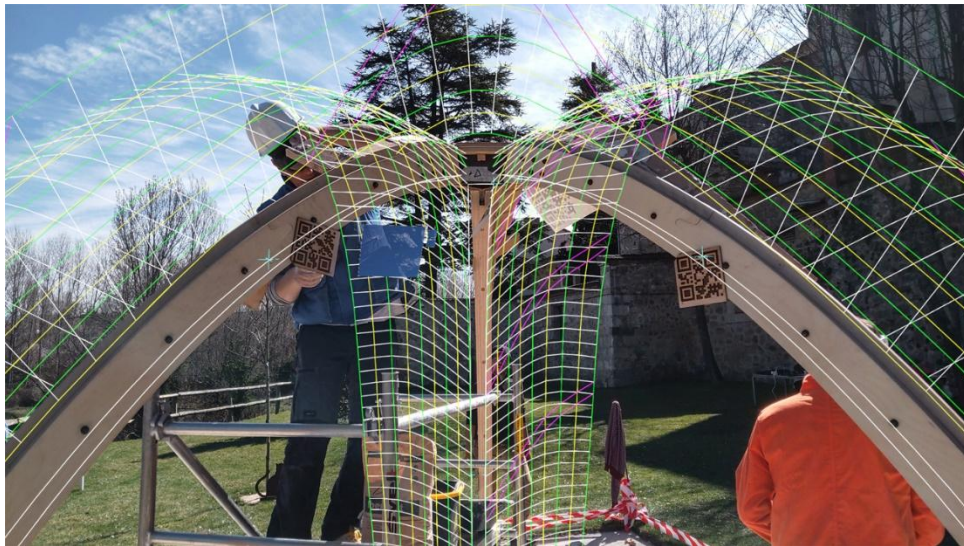
Em 2023, a Universidade de Princeton e a Universidade da Segovia executaram um experimento utilizando a realidade aumentada para auxiliar a

construção de uma estrutura em madeira e tijolos cerâmicos em formato de abóboda sem a necessidade de guias físicas e nem gabaritos. Com a ajuda de um aplicativo chamado Twinbuild, que utiliza QR codes para criar hologramas que guiarão as inclinações desejadas no projeto.

O projeto foi criado em um programa virtual e projetado no local desejado com a ajuda dos marcadores QR code. O aplicativo é de grande ajuda para a utilização eficiente de materiais, sendo uma forma sustentável de construção.

As figuras 3.15, 3.16 mostram uma pequena parte do processo e da construção finalizada.

Figura 3.15 – Marcação da estrutura em realidade aumentada



Fonte: Franco (2023)

Figura 3.16 – Abóboda finalizada



Fonte: Franco (2023)

Assis *et al.* (2016) contam que a utilização de soluções com realidade aumentada no canteiro de obras nada mais é do que a exploração de um potencial atualmente desperdiçado, já que atualmente os modelos em 3D são produzidos e utilizados de outras maneiras durante o planejamento do projeto. A leitura dos projetos de instalações por meio da realidade aumentada apresenta como benefícios a maior clareza da informação e a redução das ambiguidades do projeto comumente visto.

Desse modo, é possível visualizar de modo imersivo na obra, a localização e as informações relacionadas às instalações elétricas ou sanitárias. Dependendo da precisão obtida, essa técnica pode ser utilizada na própria execução dos serviços, em substituição a plantas impressas.

3.4. Manutenções

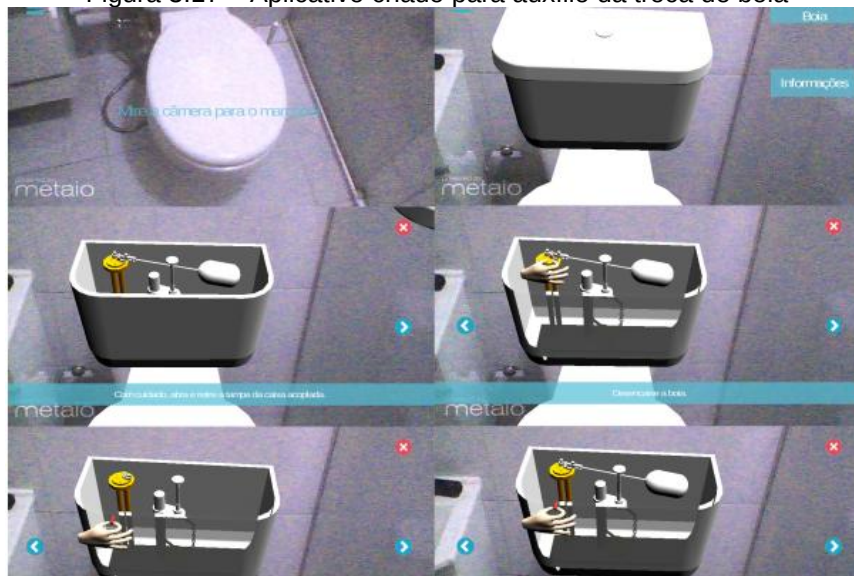
Normalmente ao adquirir um imóvel novo, a empresa responsável disponibilize aos novos moradores um manual para orientar na manutenção da edificação, elaborado segundo as diretrizes da NBR 14037 (Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações), afinal a manutenção é extremamente necessária para garantir a longevidade de qualquer construção.

Porém levando em consideração que grande parte dos usuários que utilizarão o manual não tem conhecimento técnico em tais assuntos, é preciso que ele seja de fácil compreensão e claramente didático, porém nem sempre é possível não utilizar de palavras e termos que exigem um certo conhecimento no assunto, o que gera desinteresse por parte dos leitores.

A realidade aumentada é uma ferramenta para auxiliar na elaboração desse manual. É possível criar guias interativos e intuitivos para exemplificar e demonstrar em imagens o que o manual diz, utilizando os programas disponíveis de realidade aumentada.

Moreira (2018) diz que a utilização da realidade aumentada para orientar seus usuários em alguma atividade diminui a carga de trabalho e aumenta o desempenho do usuário. A figura 3.17 mostra o aplicativo criado por Moreira, que utiliza realidade aumentada para mostrar o passo a passo para que o usuário consiga trocar a boia em um vaso de caixa acoplada.

Figura 3.17 – Aplicativo criado para auxílio da troca de boia



Fonte: Moreira, 2018

Ademais, para utilizar dessa tecnologia não é necessária uma grande alteração na forma como os manuais são produzidos atualmente. Pode-se apenas acrescentar a realidade aumentada como uma opção no manual impresso, com marcadores fiduciais e links indicando os programas a serem utilizados de forma opcional, caso o usuário queira utilizar.

Há mais de 10 anos, Fernandes (2012) já mostrava maneiras de utilizar a realidade aumentada para auxílio na manutenção de uma edificação, com um tablet e a ajuda de marcadores fiduciais era possível visualizar todas as informações sobre uma tomada a ser instalada, conforme ilustrado na figura 3.18.

Figura 3.18 – Informações na tela sobre a tomada a ser instalada



Fonte: Fernandes (2012)

Outra empresa brasileira de grande destaque na área da realidade aumentada para construção civil é a Inbuilt, desenvolvedora de um aplicativo que utiliza a realidade aumentada para criar o manual do proprietário de imóveis.

A necessidade de tal serviço surgiu para diminuir as dificuldades que os proprietários enfrentam desconhecendo os locais de passagem de cada sistema (hidráulico e elétrico) dentro de sua residência. O próprio site da empresa cita que é uma facilidade para reduzir os problemas pós obra, além de ser uma grande ajuda durante a execução da obra para verificar se as instalações estão nos locais determinados e executadas da maneira correta.

Com o prédio pronto, o condomínio contrata o serviço da empresa, que utiliza os projetos feitos para o imóvel e transfere todas as informações necessários para seu aplicativo utilizando a realidade aumentada. O proprietário tem acesso, através de um código, à planta de seu apartamento dentro do aplicativo e utilizando a câmera de seu celular, faz o rastreo do cômodo que deseja e com o auxílio de um marcador junto a uma das tomadas, consegue visualizar toda a instalação elétrica e hidráulica do cômodo.

As instalações aparecem de cores diferentes para que seja facilmente identificada pelo usuário, que também recebem o manual em formato PDF. O aplicativo auxilia os proprietários na hora de fazer furos em paredes ou reformas, para evitar que seja feito perfurando uma tubulação, além de fornecer detalhes das peças, como as cubas, instaladas em cozinhas e áreas de serviço.

Figura 3.19 – Marcador instalado junto à tomada para leitura no aplicativo



Fonte: InBuilt (2018)

Figura 3.20 – O aplicativo mostra as instalações com etiquetas e as áreas que permitem furações marcadas em verde



Fonte: Inbuilt (2018)

3.5. Visita Virtual

A Coelho da Fonseca, uma das maiores imobiliárias de alto padrão do Brasil tem apostado na realidade aumentada como uma maneira de vender apartamentos na planta. Após anos buscando uma maneira de facilitar a visualização dos clientes nas possibilidades de decoração dos imóveis que vendiam, eles optaram pela realidade aumentada como a forma de viabilizar a ideia, depois de descartarem diversas opções incluindo a realidade virtual, pois o usuário estando imerso na simulação, acaba perdendo a noção de espaço físico.

A solução foi a realidade aumentada, principalmente após o lançamento dos óculos de realidade virtual/aumentada da Apple, lançado em 2023, uma das grandes vantagens é a possibilidade de serem utilizados em qualquer espaço, inclusive lotes

sem qualquer construção. É uma forma de baratear e complementar o método mais difundido atualmente de ter um apartamento decorado. É possível, com a realidade aumentada, ter várias opções de decoração, mostrar as possíveis modificações internas, ver o prédio em escala real no terreno e todos os detalhes da área comum.

Figura 3.21 – Corretor utilizando o óculos e o tablet exibindo a imagem que ele está vendo



Fonte: Quesada (2024)

Figura 3.22 – Planta do apartamento decorado com duas opções de layout interno



Fonte: Quesada (2024)

Figura 3.23 – Sugestão de decoração sobreposta ao pavimento ainda em construção



Fonte: Quesada (2024)

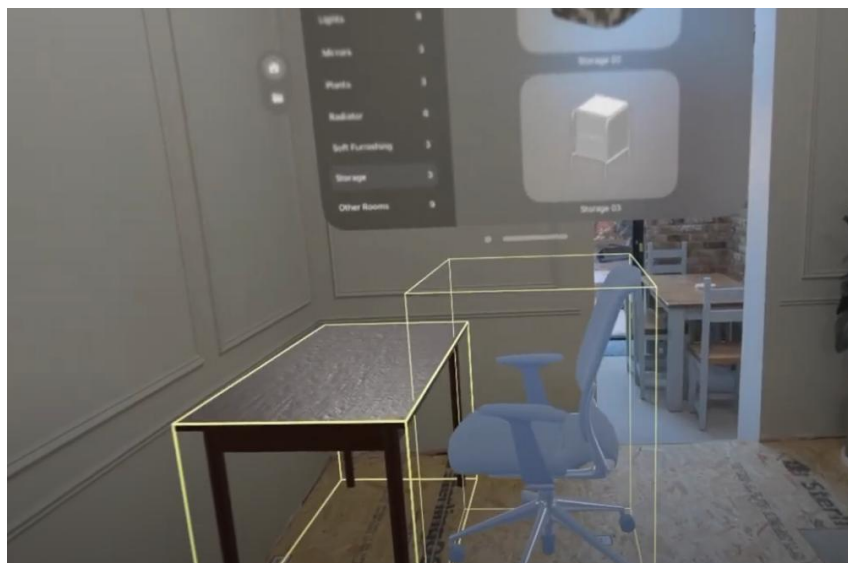
O ARki é uma plataforma de Realidade aumentada voltada para arquitetura e design de interiores. Permite criar layouts de salas em 2D e 3D de forma precisa e rápida, utilizando ferramentas simples. É possível ainda capturar plantas baixas instantaneamente sem a necessidade de medir ou desenhar manualmente.

Figura 3.24 – Imagem do ARki utilizando óculos próprios



Fonte: DARF Design (2025)

Figura 3.25 – Imagem do ARki utilizando óculos próprios



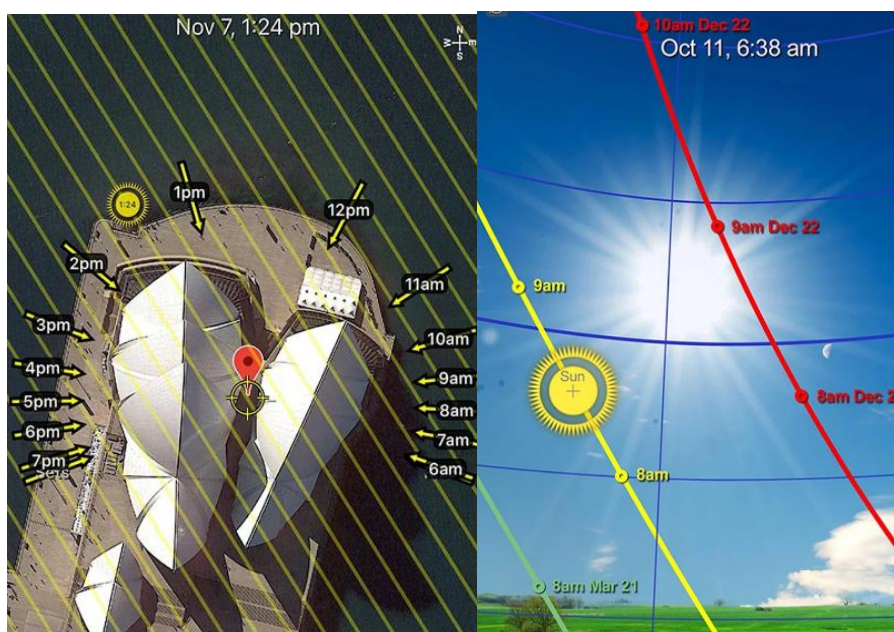
Fonte: DARF Design (2025)

3.6. Aplicativos auxiliares

Alguns aplicativos possuem funções que podem ser utilizadas na construção civil de outras maneiras, além de todos os mencionados.

Como o Sun Seeker, que utiliza a realidade aumentada para indicar a posição solar em um local, além do horário do nascer e do pôr do sol, exposição à luz solar e o caminho que ele percorre durante o dia.

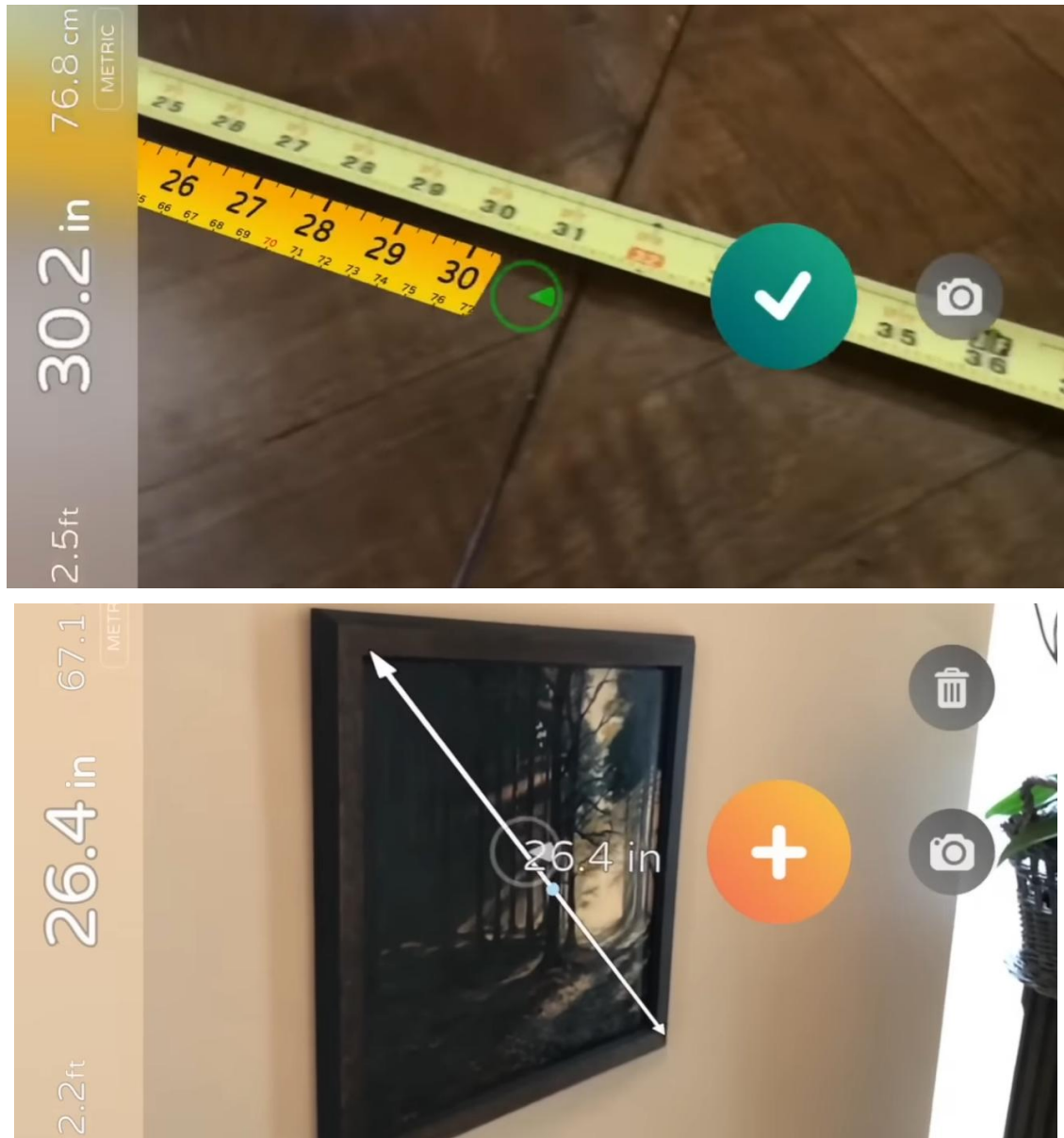
Figura 3.26 – Imagens do aplicativo Sun Seeker



Fonte: Google Play (2024)

Existe também um aplicativo disponível para aparelhos da Apple que utiliza a realidade aumentada para criar uma régua totalmente funcional, sendo possível medir objetos e até cômodos.

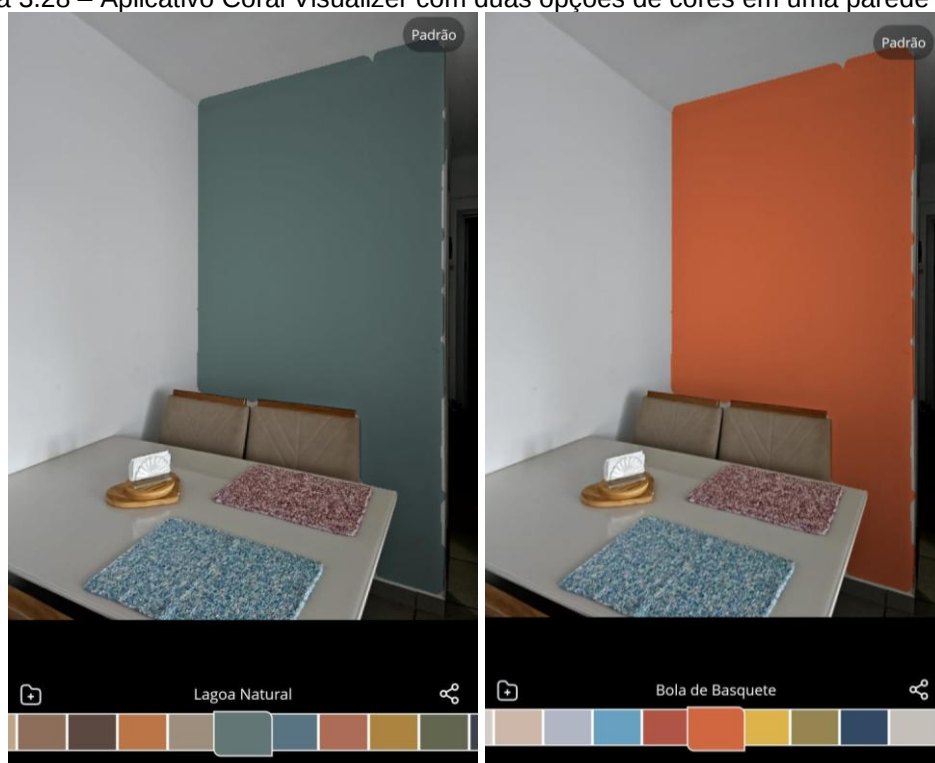
Figura 3.27 – Aplicativo de régua utilizando a realidade aumentada



Fonte: Laanlabs (2017)

Marcas de tinta, como a Coral, possuem aplicativos próprios que utilizam a realidade aumentada para simular suas cores de tintas em qualquer parede, apenas utilizando a câmera de um smartphone e apontando para o lugar escolhido. Não é 100% eficaz em paredes que não sejam lisas, mas ajuda a ter uma noção da cor no ambiente.

Figura 3.28 – Aplicativo Coral Visualizer com duas opções de cores em uma parede branca



Fonte: Autora, 2024

4. DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO

A utilização da Realidade aumentada na construção civil proporciona diversos benefícios, porém, também implica em alguns desafios e/ou riscos, que precisam ser levados em consideração:

4.1. Desconhecimento da Tecnologia

Muitos trabalhadores da construção civil podem não estar familiarizados com a tecnologia de realidade aumentada. Essa falta de conhecimento pode levar ao uso inadequado da ferramenta, resultando em erros operacionais e falhas na implementação. A formação e treinamento adequado dos trabalhadores são essenciais para garantir que a RA seja utilizada de maneira eficaz e segura.

4.2. Limitações de Programa

Os programas de realidade aumentada utilizados na construção civil podem apresentar limitações que afetam sua precisão e eficiência. Alguns softwares podem não ser totalmente adequados para uso em condições de campo, podendo apresentar problemas como falhas na exibição de dados ou dificuldades de integração com outros sistemas utilizados no canteiro de obras.

4.3. Posicionamento Incorreto

A precisão no posicionamento dos objetos virtuais é crucial para a utilização eficaz da Realidade aumentada. Erros de posicionamento podem ocorrer devido às limitações técnicas dos dispositivos ou softwares, resultando em falhas na execução do projeto. É importante realizar calibrações regulares e utilizar tecnologias complementares para garantir a precisão do posicionamento.

4.4. Paralaxe

A paralaxe é o deslocamento aparente de um objeto virtual quando visto de diferentes ângulos, podendo causar confusão e dificultar a interpretação correta dos dados. Esse efeito pode ser minimizado através de ajustes nos programas de Realidade aumentada utilizados e com treinamentos específicos para os usuários,

para que estejam cientes e saibam lidar com essa limitação.

4.5. Dependência Tecnológica

A dependência excessiva da tecnologia pode levar a problemas caso ocorra uma falha técnica ou falta de conectividade. A construção civil é um setor que muitas vezes enfrenta desafios relacionados à conectividade em canteiros de obras. É importante ter planos de contingência e alternativas manuais para garantir a continuidade do trabalho em caso de falhas tecnológicas.

4.6. Segurança

Embora a Realidade aumentada possa contribuir para a segurança no canteiro de obras ao fornecer informações detalhadas e em tempo real, o uso inadequado da tecnologia pode levar a acidentes. Trabalhadores não treinados corretamente podem se distrair com os elementos virtuais ou interpretar mal as informações apresentadas. É essencial implementar protocolos de segurança e realizar treinamentos contínuos para garantir o uso da Realidade aumentada de maneira segura e eficaz.

Para garantir uma implementação eficaz e segura da Realidade aumentada na construção civil, é imprescindível a gestão adequada desses riscos.

4.7. Custo elevado dos equipamentos

A implementação da tecnologia de Realidade aumentada requer um investimento inicial significativo, tanto em equipamentos quanto em programas, além de custos associados ao treinamento dos trabalhadores. Esse custo pode ser um obstáculo para pequenas e médias empresas. No entanto, é importante considerar o retorno sobre o investimento a longo prazo com melhorias na eficiência e redução de erros.

Embora existam opções gratuitas, as versões pagas dos programas que utilizam realidade aumentada possuem mais opções e funcionalidades para auxiliar na sua utilização.

O Augin, por exemplo, o maior programa brasileiro de realidade aumentada para a área de construção, tem a assinatura em torno de R\$160 mensais ou R\$1440

anual. Porém a versão onde é possível até 10 pessoas interagirem em um ambiente colaborativo custa R\$220 mensais.

Figura 4.1 – Ambiente colaborativo Augin



Fonte: Augin, 2020

O Augment, que é um programa de realidade aumentada bem conhecido voltado para a construção civil, tem seus preços começando em 9€ (R\$54) por mês.

E não apenas os programas tem preços que para muitos usuários seja impraticável, os equipamentos dedicados como os óculos e capacetes costumam ter valores muito mais altos. O HoloLens 2, lançado em 2019 pela Microsoft, foi considerado um dos maiores dispositivos de realidade aumentada e custava mais de R\$40 mil no ano de 2024.

Na época, sendo pioneiro nessa área, ele dominou o mercado da realidade aumentada para empresas, mas nem isso o isentou das críticas e em 2022, com o lançamento do Magic Leap 2 ele ficou defasado, resultando no encerramento da sua produção. O Magic Leap chegou com um valor abaixo comparada do HoloLens, custando quase R\$20.000 no ano de 2024, inviabilizando sua utilização em inúmeras empresas, especialmente brasileiras.

Existia também o DAQRI Smart Helmet, que representava um avanço significativo na integração de tecnologias de realidade aumentada em ambientes de construção civil e industriais. Desenvolvido em 2016, ele combinava um capacete de segurança com óculos de realidade aumentada, sobrepondo informações virtuais,

instruções de segurança, treinamento e mapeamento visual sobre dados reais. Equipado com um display de alta definição e múltiplos sensores, o DAQRI Smart Helmet permitia a visualização de modelos BIM (Building Information Modeling) diretamente no campo de trabalho, facilitando a compreensão das relações espaciais e a identificação de possíveis conflitos de design antes da execução das obras.

Figura 4.2 – Magic Leap 2



Fonte: Magic Leap, 2025

Um dos principais benefícios do dispositivo era sua capacidade de aumentar a produtividade no canteiro de obras, permitindo que trabalhadores acessassem dados críticos em tempo real, como manuais de instrução, planos de construção e checklists de segurança, sem interromper suas atividades para consultar documentos físicos ou dispositivos separados. Isso não apenas agilizava os processos de trabalho, mas também reduzia o risco de erros e retrabalhos, uma vez que as informações eram apresentadas de forma clara e contextualizada no campo de visão do usuário.

Apesar das inovações, a DAQRI enfrentou dificuldades para manter a viabilidade econômica de seus produtos, devido ao alto custo de personalização e a baixa adoção pelo mercado, resultando no fechamento da empresa em 2019. Mesmo com grandes empresas, como a Autodesk, utilizando o produto, os desafios técnicos e financeiros não foram superados, tornando o DAQRI Smart Helmet um exemplo de inovação tecnológica que não conseguiu se consolidar no mercado e de todos os os equipamentos dedicados ele possuía o valor mais alto, cerca de R\$85 mil.

Figura 4.3 – O capacete da DAQRI sendo utilizado com a plataforma BIM



Fonte: Wheeler (2019)

Porém é importante ressaltar que é possível fazer uso da realidade aumentada usando apenas um smartphone ou um tablet, a experiência não será tão imersiva quanto com o uso dos óculos ou capacete, mas é uma boa opção de utilização da realidade aumentada.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foram apresentadas algumas aplicações da realidade aumentada que já estão sendo utilizadas na construção civil no Brasil e ao redor do mundo. Constatou-se que, apesar de antiga, essa tecnologia ainda é pouco utilizada, mas oferece diversos benefícios para o setor.

A realidade aumentada pode trazer soluções para problemas recorrentes em projetos e execuções, além de ser de grande auxílio na arquitetura, decoração de interiores e venda de imóveis. Embora a implementação completa dessa tecnologia em empresas ou obras tenha um custo elevado e dependa da capacitação dos trabalhadores, quanto mais ela for utilizada e disseminada, mais investimentos o setor receberá, aumentando e potencializando sua utilização.

A realidade aumentada emergiu como uma ferramenta inovadora no campo da construção civil e da arquitetura. Com a capacidade de melhorar a visualização de projetos, facilitar a colaboração entre equipes e otimizar o planejamento e gerenciamento de obras, essa tecnologia tem o potencial de transformar significativamente a maneira como os projetos são desenvolvidos e executados. A possibilidade de visualizar projetos arquitetônicos, estruturais e instalações em escala real no local de execução é uma grande ajuda para evitar erros e aumentar o nível de entendimento de pessoas leigas.

Além disso, a realidade aumentada oferece vantagens notáveis na formação e segurança dos trabalhadores, proporcionando um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente. No entanto, ainda existem desafios a serem superados, como a adoção em massa dessa tecnologia e a necessidade de desenvolvimento de programas e equipamentos mais acessíveis.

A realidade aumentada também poderá desempenhar um papel crucial na divulgação de práticas de construção mais sustentáveis, contribuindo para reduzir o desperdício de materiais diminuindo retrabalhos em obras de diversos portes.

O panorama atual da realidade aumentada na construção civil no Brasil é promissor e a expectativa é de que essa tecnologia continue a evoluir e se consolidar como uma ferramenta de grande utilidade no setor. Porém, como visto em diversos trabalhos de anos anteriores, esse é um caminho percorrido lentamente. A integração da realidade aumentada com o BIM, que também vem ganhando cada vez mais espaço na área, fortalece ainda mais sua aplicação prática, contribuindo para um

aumento significativo da produtividade e da qualidade dos projetos.

Em resumo, a realidade aumentada na construção civil está destinada a impulsionar avanços significativos, promovendo maior eficiência, segurança e sustentabilidade, e garantindo um futuro promissor para o setor. As expectativas para os próximos anos são de uma evolução contínua, com a realidade aumentada desempenhando um papel central na inovação e na melhoria da qualidade dos projetos. Quando bem implementada, a realidade aumentada pode trazer benefícios substanciais para a construção civil e arquitetura e só teremos a ganhar com isso.

5.1. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento da pesquisa para este trabalho foram identificadas algumas carências de estudos em diversas áreas de aplicação das tecnologias de realidade aumentada. Áreas como gestão de projetos, divulgação e economia em obras tem um grande potencial para serem exploradas.

Portanto, para trabalhos futuros, pode-se explorar temas como:

A Integração da Realidade Aumentada e BIM em Processos de Sustentabilidade na Construção Civil

Desafios e Soluções para a Democratização da Realidade Aumentada na Construção Civil Brasileira

Aplicações de Realidade Aumentada na Gestão de Obras

Eficiência e Economia: A Realidade Aumentada como Ferramenta de Redução de Custos na Construção Civil

REFERÊNCIAS

AUGIN. **Augin App**. 2020. Disponível em: <<https://augin.app/>>. Acesso em: 03 set. 2022.

ARCHDAILY. **9 Augmented Reality Technologies for Architecture and Construction**. Disponível em: <https://www.archdaily.com/914501/9-augmented-reality-technologies-for-architecture-and-construction>. Acesso em 20 set. 2022.

ASSIS, J. H. G. de; ANDRADE, M. L. V. de; BROCHARDT, M. M. de S. A. **Aplicações de Realidade aumentada no Canteiro de Obras**. SIGraDi, 2016. Disponível em: <http://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2016_756.pdf> Acesso em 17 ago. 2022.

AZUMA, R. T. et al. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, 2001. Disponível em:<<https://ieeexplore.ieee.org/document/963459>>. Acesso em: 22 de set. de 2022.

AZUMA, R.T., A survey of augmented reality. **Presence Teleoperators & Virtual Environments**, 1997.

BEHZADAN, A.H.; KAMAT, V.R. **Georeferenced Registration of Construction Graphics in Mobile Outdoor Augmented Reality**. Journal of Computing in Civil Engineering, 2007.

BILLINGHURST, Mark et al. **A survey of augmented reality. Foundations and Trends® in Human– Computer Interaction**. 2015.

BIMBER, Oliver; RASKAR, Ramesh. **Spatial augmented reality: merging real and virtual worlds**. CRC press, 2005.

BONSOR, K. **How Augmented Reality Will Work**. 2009. Disponível em: <<http://computer.howstuffworks.com/augmented-reality.htm>>. Acesso em 09 de nov. de 2022.

BRASIL ACADÊMICO. **Maior realidade aumentada do mundo é do Brasil.** Disponível em: <<http://blog.brasilacademico.com/2010/07/maior-realidade-aumentada-do-mundo-e-do.html>>. Acesso em: 20 de out. de 2022.

BRITO, P.Q.; STOYANOVA, J. Marker versus Markerless Augmented Reality. Which Has More Impact on Users? **International Journal of Human-Computer Interaction**, 2017.

CARRILLO, P.; ROBINSON, H., AL-GHASSANI, A., ANUMBA, C. **Knowledge management in UK construction: strategies, resources and barriers.** Project Management Journal, 2004.

CAWOOD; S.; FIALA, M. **Augmented Reality – A practical guide.** Raleigh, Pragmatic Bookshelf, 2007.

CHAI, C. et al. **BIM Integration in Augmented Reality Model.** International Journal of Technology, 2019.

CHALHOUB, J.; AYER, S.K. **Using Mixed Reality for electrical construction design communication.** Automation in Construction, 2018.

CHATZOPOULOS, D.; BERMEJO, C.; HUANG, Z.; HUI, P. **Mobile augmented reality survey: From where we are to where we go.** IEEE Access, 2017.

CHEN, K et al. **A BIM-based location aware AR collaborative framework for facility maintenance management.** Journal of Information Technology in Construction, 2019.

CHEOK, A.; FONG, S.; GOH, K.; YANG, X.; LIU, W.; FARZBIZ, F.; Li, Y. **Human pacman: A mobile entertainment system with ubiquitous computing e tangible interaction over a wide outdoor area.** Humancomputer interaction with mobile devices and services, 2003.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI (Brasília). **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

CUSPERSCHMID, A.R.M. *et al.* **Tecnologias que suportam Realidade aumentada empregadas em Arquitetura e Construção**. Cadernos PROARQ, Rio de Janeiro, 2012.

CUPERSCHMID, A.R.M; GRACHET, M. G; FABRÍCIO, M. M. **Realidade aumentada como auxílio à montagem de parede em wood-frame**. PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, SP, 2015. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8640947>. Acesso em: 18 nov. 2024.

CNN Business. **Brasil tem mais smartphones que habitantes**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/brasil-tem-mais-smartphones-que-habitantes-aponta-fgv/>. Acesso em: 15 de set. de 2022.

CUNHA, Mariana M. S. B. **Ambientes Virtuais e Imersivos**: Emprego da Realidade Virtual na concepção e na comunicação do projeto de arquitetura. Lisboa, 2017.

COELHO, P. M. N. **Rumo à indústria 4.0**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Portugal, 2016.

CRAIG, E. **Elon Musk and the Realism of Virtual Reality**. Disponível em: <https://www.digitalbodies.net/elon-musk-and-the-realism-of-virtual-reality/>. Acesso em: 29 de set. de 2022.

DARF Design. ARKI - Reality Augmented Kit for Imaging. Disponível em: <https://www.darfdesign.com/arki.html>. Acesso em: 01 fev. 2025.

DEJTIAR, F. **Pesquisadores constroem abobada de tijolo com ajuda de realidade aumentada**. 2023. Disponível em:

<<https://www.archdaily.com.br/br/1001069/pesquisadores-constroem-abobada-de-tijolo-com-ajuda-de-realidade-aumentada>>. Acesso em: 11 nov. 2024.

DONG, S.; KAMAT, V.R. **SMART: Scalable and modular augmented reality template for rapid development of engineering visualization applications**. Visualization in Engineering, 2013.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Porto Alegre: Bookman Editora Ltda, 2014.

ESSS. **Os Pilares da Indústria 4.0**. Blog ESSS, 2017. Disponível em: <<https://www.esss.com/blog/os-pilares-da-industria-4-0/>>. Acesso em: 12 fev. 2023.

EVOLVE AR. **Viewing AR Content**. Disponível em: <<https://help.evolvear.io/viewing-ar-content/>>. Acesso em: 09 de out. de 2022.

FERNANDES, G.A. **Realidade aumentada aplicada a atividade de Inspeção e Manutenção em Engenharia Civil**. Rio de Janeiro, 2012.

FRANCO, J. T. **Assim é construída uma parede de tijolos utilizando realidade aumentada**. 2019. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/908796/assim-e-construida-uma-parede-de-tijolos-utilizando-realidade-aumentada>>. Acesso em: 11 nov. 2024.

GARBETT, J.; HARTLEY, T.; HEESOM, D. **A multi-user collaborative BIM-AR system to support design and construction**. Automation in Construction, 2021.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 175 p.

GoEPIK. **Conheça as principais tecnologias da Indústria 4.0.** GoEPIK. 09 jan. 2013. Disponível em: <https://www.goepik.com.br/conheca-as-principais-tecnologias-da-industria-40>. Acesso em: 20 abr. 2018.

GOLPARVAR-FARD, M.; BALALI, V.; GARZA, J.M. **Segmentation and Recognition of Highway Assets Using Image-Based 3D Point Clouds and Semantic Texton Forests.** Journal of Computing in Civil Engineering, 2012.

GOOGLE PLAY, **Sun Seeker: Sunlight Tracker.** Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details/Sun_Seeker_Solar_AR_Tracker?id=com.ajnaware.sunseeker&hl=pt_PT> Acesso em: 5 de dezembro de 2024.

HAKKARAINEN, M.; WOODWARD, C.; RAINIO, K. **Mobile Augmented Reality for Building and Construction.** Mobile World Conference Barcelona, 2010.

HEIDRICH, F.E.; FÉLIX, N.R. 2001. **Representação Interativa para o Objeto Arquitetônico,** São Paulo, 2001.

HEIPHETZ, A.; WOODILL, G. **Training and collaboration with virtual worlds: How to create cost-saving, efficient, and engaging programs.** McGraw-Hill New York, 2010.

HELLER F.; BORCHERS, J. Audioscope: **Smartphones as directional microphones in mobile audio augmented reality systems.** ACM, 2015.

HOU, L.; WANG, X.; TRUIJENS, M. **Using Augmented Reality to Facilitate Piping Assembly: An Experiment-Based Evaluation,** Journal of Computing in Civil Engineering, 2015.

INBUILT. **Realidade aumentada e BIM na Construção Civil.** InBuilt, 2018. Acesso em: 17 fev. 2025. Disponível em: <https://www.inbuilt.com.br/>.

INEXHIBIT. **Microsoft HoloLens mixed reality device.** Disponível em: <https://www.inexhibit.com/case-studies/microsoft-hololens-mixed-reality-device-test->

and-review/>. Acesso em: 29 de out. de 2022.

INSLEY, S. **Obstacles to general purpose augmented reality**. Information Security & Cryptography, Oregon, EUA, 2003.

JACOBSON, Linda. **Realidade virtual em casa**. Tradução de PIRES, S.B.C Rio de Janeiro: Berkeley Press, 1994.

JIAO, Y.; ZHANG, S.; LI, Y.; WANG, Y.; YANG, B. **Towards cloud Augmented Reality for construction application by BIM and SNS integration**. Automation in Construction, 2013.

JIN, M. S.; PARK, J. I. **Interactive mobile augmented reality system using a vibro-tactile pad**. In: IEEE. VR Innovation (ISVRI), 2011.

JUANES, J. A.; HERNANDEZ, D.; RUISOTO, P.; GARCIA, E.; VILLARRUBIA, G.; PRATS, A. **Augmented Reality techniques, using mobile devices, for learning human anatomy**. In Proceedings of the Second International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, ACM, 2014.

KELNER J.; TEICHRIEB, V. **Técnicas de interação para ambientes de realidade virtual e aumentada**. Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações, 2008.

KIM, C.; PARK, T.; LIM, H.; KIM, H. **On-site construction management using mobile computing technology**. Automation in Construction, 2013.

KIRNER, C.; KIRNER, T. R. **Evolução e Tendências da Realidade Virtual e da Realidade aumentada**. Realidade Virtual e Aumentada: Aplicações e Tendências. Uberlândia, 2011

KOPSIDA, M., BRILAKIS, I. **BIM registration methods for mobile augmented reality-based inspection**. EWork and EBusiness in Architecture, Engineering and Construction - Proceedings of the 11th European Conference on Product and Process Modelling, ECPPM, 2016

LAANLABS. **Air Measure App Demo**. 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=z7DYC_zbZCM. Acesso em: 18 nov. 2024.

LAYAR. **Augmented reality — Interactive print — Layar**. Disponível em: [<https://www.layar.com/>](https://www.layar.com/). Acessado em 30 de nov. de 2022.

LINDNER, P.; RODRIGUEZ, A.; URAM, T. D.; PAPKA, M. E.; PAPKA, M. **Augmenting views on large format displays with tablets**. In Proceedings of the 2Nd ACM Symposium on Spatial User Interaction, SUI '14, New York, NY, USA, ACM, 2014.

MAGIC LEAP. **Magic Leap 2**. Disponível em: <https://www.magicleap.com/magic-leap-2>. Acesso em: 12 fev. 2025.

MEŽA, S.; TURK, Ž.; DOLENC, M. **Component based engineering of a mobile BIM-based augmented reality system**. Automation in Construction, 2014.

MILGRAM, P., COLOQUOUN, A. **Taxonomy of real and virtual world display integration**. Mixed reality: Merging real and virtual worlds, 1999.

MILGRAM, P., & KISHINO, F. **A taxonomy of mixed reality visual displays**. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 1994.

MOREIRA, L. C. de S. **O manual do proprietário da edificação assistido pela Realidade** – Campinas, São Paulo, 2018.

MOREIRA, Lorena Cláudia de Souza; RUSCHEL, Regina Coeli. **Realidade aumentada na Visualização de Soluções do Projeto de Arquitetura**. São Paulo: Blücher, 2015.

MOREIRA, L. C. de S. **Expressão Gráfica Através Da Realidade aumentada E Bim: Uma Experiência De Visualização**, XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico, 2013.

MOREIRA, L. H. M. **Potencial Da Realidade Virtual Na Educação**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

O'REILLY. **Augmented reality markers for planar reconstruction**, 2022. Disponível em: <https://www.oreilly.com/library/view/mastering-opencv4/9781789533576/1b2df40e-ce53-43c2-a029-f2b99731aece.xhtml>> Acesso em: 21 de set. de 2022.

OLIVEIRA, L. C. d. et al. **Realidade aumentada móvel aplicada na navegação indoor para cadeirantes**. Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

OLIVEIRA, R. R. de; CUPERSCHMID, A. R. M. **BIM associado à Realidade aumentada no processo de compatibilização de projetos**. In: SBTIC, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/145>. Acesso em: 28 de set. de 2022.

OMAR, T.; NEHDI, M.L. **Data acquisition technologies for construction progress tracking**. Automation in Construction, 2016.

OSTERNO, P. C. F. **Bim e a Realidade aumentada Aplicada No Projeto Hidrossanitário Residencial Unifamiliar**. Unichristus, 2021.

PARK, C.S.; LEE, D.Y.; KWON, O.S.; WANG, X. **A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template**. Automation in Construction, 2013.

PAAVILAINEN, J.; KORHONEN, H.; ALHA, K.; STENROS, J.; KOSKINEN, E.; MAYRA, F. **The pokemon go experience: A location-based augmented reality mobile game goes mainstream**. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, ACM, 2017.

PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale; BAZZO Walter Antônio. **Ensino de engenharia: na busca do seu aprimoramento**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1997.

QUESADA, Beatriz. **Decorado holograma: realidade aumentada é aposta de imobiliária para conquistar clientes**. Exame, 18 jul. 2024. Disponível em: <https://exame.com/mercado-imobiliario/decorado-holograma-realidade-aumentada-e-aposta-de-imobiliaria-para-conquistar-clientes/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

RODRIGUES, G. Palhares; PORTO, C. Magalhães. Interfaces Científicas - Educação: **Realidade virtual: Conceitos, Evolução, Dispositivos e Aplicações**. Aracaju-SE, 2013.

SAAR, C. C, et al. **BIM Integration in Augmented Reality Model**. International Journal of Technology, 2019.

SALGADO, H.; PASDIORA, L.; SCHEER, S., SANTOS, A. **Aplicações de Realidade aumentada e Virtual na Indústria da construção civil** – revisão sistemática da literatura. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

SANTOS, E. T. **BIM - Building Information Modeling: um salto para a modernidade na Tecnologia da Informação aplicada à Construção Civil**. Brasília: Faculdade de Tecnologia da UNB, 2012.

SANTOS, L. M. **Realidade aumentada em Escritórios de Arquitetura: o futuro combinando o espaço físico e o digital**. São Paulo, 2020.

SANTOS, A. S.; SANTOS, F. E. dos.; CARVALHO, M. D. R.; SILVA, W. R. da. **Realidade aumentada na Construção Civil Aplicada Para Solucionar Problemas e Prever Falhas de Projetos e Execução**. FACUNICAMPS, 2021.

SCHNABEL, M. A. **Framing mixed realities**. In: **Mixed Reality In Architecture, Design and Construction**. Springer, Dordrecht, 2009.

SENAI São Paulo: **o que é a Indústria 4.0?** São Paulo: SENAI, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=3ixQQ4elwm0>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SILVA, L. M. **Novas tecnologias para concepção e representação de projetos: uso de Realidade aumentada e aplicação em canteiro de obra pública na cidade de Paulista** – Pombal, 2020.

SILVA, M. P. da; UESUGUI, E. A.; ALMEIDA, D. R.; OLIVEIRA, D. J.; SILVA, A. D. **Usos e Benefícios Da Realidade aumentada Na Indústria 4.0**. Faculdade SENAI. São Paulo, 2022.

SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. Geneva: World Economic Forum, 2016. Disponível em <<https://www.weforum.org/stories/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>>. Acesso em: 21 out. 2014.

SHERMAN, William R.; CRAIG, Alan B. **Understanding virtual reality: Interface, application, and design**. Elsevier, 2002.

SMART, Espaço. Realidade virtual: a nova jornada de compra na construção Civil. **ABCEM**, 2022. Disponível em: <<https://www.abcem.org.br/site/noticias/realidade-virtual-a-nova-jornada-de-compra-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 30 de nov. 2022.

SU, X.; TALMAKI, S.; CAI, H.; KAMAT, V.R. **Uncertainty-aware visualization and proximity monitoring in urban excavation: a geospatial augmented reality approach**. Visualization in Engineering, 2013.

SORENE, Paul. **Jaron Lanier's EyePhone: Head and Glove Virtual Reality in the 1980s**. Disponível em: <<https://flashbak.com/jaron-laniers-eyephone-head-and-glove-virtual-reality-in-the-1980s-26180/>>. Acesso em: 05 de out. de 2022.

SUCCAR, B. **Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders**. Automation in construction, 2009.

SUTHERLAND, Ivan Edward. **Sketchpad, A Man-Machine Graphical Communication System**. Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Electrical Engineering, 1963.

TAMURA, H.; YAMAMOTO, H.; KATAYAMA, A. **Mixed reality: Future dreams seen at the border between real and virtual worlds**. IEEE Computer Graphics and Applications, 2001.

TECNOBLOG. **Modo de realidade aumentada do Google Maps no Brasil**. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/noticias/2019/03/11/realidade-aumentada-google-maps-brasil/>>. Acesso em: 23 de nov. de 2022

TORI, Romero; HOUNSELL, Marcelo da Silva. **Introdução a Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Editora SBC, 2018.

TORI, Romero; KIRNER, Claudio; SISCOOTTO, Robson Augusto. **Fundamentos e tecnologia de realidade virtual e aumentada**. Editora SBC, 2006.

VENTURELLI, Márcio. **Indústria 4.0: uma visão da automação industrial**. Automação industrial, São Paulo, 02 jun. 2017. 1 p. Disponível em: <https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da-automacao-industrial/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

WANG, X. et al. **Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry**. Automation in Construction, 2014.

WANG, X.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C. **A comprehensive survey of augmented reality assembly research**. Advances in Manufacturing, 2016.

WIKITUDE. Wikitude - get started with the world's leading cross-platform AR sdk. Disponível em: <<https://www.wikitude.com/>>. Acessado em 30 de nov. de 2022.

WILLIAMS, G.; GHEISARI, M.; CHEN, P.; IRIZARRY, J. **BIM2MAR: An Efficient BIM Translation to Mobile Augmented Reality Applications**. Journal of Management in Engineering, 2015.

WHEELER, Andrew. **DAQRI is closing up**. Engineering, 2019. Disponível em:

<<https://www.engineering.com/daqri-is-closing-up-shop/>>. Acesso em: 05 fev. 2025.

XU, J.; MOREU, F. **Augmented Reality in Civil Infrastructure: A Comprehensive Review.** *Frontiers in Built Environment*, 2021. Disponível em: <<https://www.frontiersin.org/journals/builtenvironment/articles/10.3389/fbuil.2021.640732/full>>. Acesso em: 15 jan. 2025.

YEH, K.; TSAI, M.; KANG, S. **On-site building information retrieval by using projection-based augmented reality.** *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2012.

ZHOU, Y.; LUO, H.; YANG, Y. **Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction.** *Automation in Construction*, 2017.