



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE ARTES - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ARQUITETURA E URBANISMO

SARA RODRIGUES LAUWERS

**O ARQUITETO E AS MÁQUINAS:
DO REGISTRO À EXPERIMENTAÇÃO**

VITÓRIA
2023

SARA RODRIGUES LAUWERS

**O ARQUITETO E AS MÁQUINAS:
DO REGISTRO À EXPERIMENTAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Jarryer Andrade de Martino

VITÓRIA
2023

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

L366a Lauwers, Sara Rodrigues, 1995-
O arquiteto e as máquinas : do registro à experimentação /
Sara Rodrigues Lauwers. - 2023.
115 f. : il.

Orientador: Jarryer Andrade de Martino.
Coorientadores: Marcela Alves de Almeida, Marcus Vinícius
Richa Bernardo.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes.

1. Arquitetura. 2. Tecnologia. 3. Representação arquitetônica.
4. Realidade virtual. 5. Simulação (Computadores). I. Martino,
Jarryer Andrade de. II. Almeida, Marcela Alves de. III.
Bernardo, Marcus Vinícius Richa. IV. Universidade Federal do
Espírito Santo. Centro de Artes. V. Título.

CDU: 72

SARA RODRIGUES LAUWERS

“A REPRESENTAÇÃO ARQUITETÔNICA: DO REGISTRO À
EXPERIMENTAÇÃO”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito
Santo, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em
Arquitetura e Urbanismo.

Aprovada em 22 de março de 2023.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Jarryer Andrade de Martino
(orientador – PPGAU/UFES)

Profa. Dra. Marcela Alves de Almeida
(membro interno – PPGAU/UFES)

Prof. Dr. Marcus Vinícius Augustus Fernandes Rocha Bernardo
(membro externo – UFBA)





FOLHA DE APROVAÇÃO defesa Sara

Data e Hora de Criação: 31/03/2023 às 16:48:12

Documentos que originaram esse envelope:

- FOLHA DE APROVAÇÃO (1).pdf (Arquivo PDF) - 1 página(s)



Hashs únicas referente à esse envelope de documentos

[SHA256]: 4130a633a2e0e7938083f71a8ff54078c6a55cb358514b6a5eaf1a637206201a

[SHA512]: c21cb89b3ba97569f85f98fe571bdee45794c88f66c6de8a6a2195b934df4afb92f049f61570271b5f6734ff4ee472e6a02bb2e0e6000a9c91e180b3021074e

Lista de assinaturas solicitadas e associadas à esse envelope



ASSINADO - Jarryer Andrade De Martino (jarryer.martino@ufes.br)

Data/Hora: 31/03/2023 - 16:51:53, IP: 200.137.65.106

[SHA256]: e9e3a821492a84de555441b4c7607a62f57423a7f7e756cd1f2b998abce5aa0f



ASSINADO - Marcela Alves de Almeida, 088.683.867-39 (marcela.almeida@ufes.br)

Data/Hora: 31/03/2023 - 17:38:36, IP: 187.36.171.66

[SHA256]: bd61a1dc2c5bff34af88420735a6d7ee74e708172d1615682f19a1cdc34d6b3e



ASSINADO - Marcus Vinicius Rocha Bernardo, 010.995.161-10 (mv.augustus@gmail.com)

Data/Hora: 31/03/2023 - 17:35:24, IP: 179.105.128.84, Geolocalização: [-13.007445, -38.493906]

[SHA256]: a4a5e0f29d7bc1449f4b3bffd182200e05873975ea926e0d002386e2c29fd77f

Histórico de eventos registrados neste envelope

31/03/2023 17:38:36 - Envelope finalizado por marcela.almeida@ufes.br, IP 187.36.171.66

31/03/2023 17:38:36 - Assinatura realizada por marcela.almeida@ufes.br, IP 187.36.171.66

31/03/2023 17:38:20 - Envelope visualizado por marcela.almeida@ufes.br, IP 187.36.171.66

31/03/2023 17:38:18 - Envelope autenticado com Dados de Identificação por marcela.almeida@ufes.br, IP 187.36.171.66

31/03/2023 17:35:24 - Assinatura realizada por mv.augustus@gmail.com, IP 179.105.128.84

31/03/2023 17:35:22 - Envelope visualizado por mv.augustus@gmail.com, IP 179.105.128.84

31/03/2023 17:35:18 - Envelope autenticado com Dados de Identificação por mv.augustus@gmail.com, IP 179.105.128.84

31/03/2023 16:51:53 - Assinatura realizada por jarryer.martino@ufes.br, IP 200.137.65.106

31/03/2023 16:51:47 - Envelope visualizado por jarryer.martino@ufes.br, IP 200.137.65.106

31/03/2023 16:48:32 - Envelope registrado na Blockchain por jarryer.martino@ufes.br, IP 200.137.65.106

31/03/2023 16:48:31 - Envelope encaminhado para assinaturas por jarryer.martino@ufes.br, IP 200.137.65.106

31/03/2023 16:48:12 - Envelope criado por jarryer.martino@ufes.br, IP 200.137.65.106

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Jarryer, por toda a ajuda e atenção dada ao longo desse período. A orientação da banca, composta por Marcela e Marcus. Ao ensino público, por ter possibilitado os estudos de toda a minha vida e aos familiares e amigos pelo apoio.

*As an architect you design for the present, with an awareness of the past, for a future
which is essentially unknown.*

Norman Foster

RESUMO

A dissertação diz respeito às transformações na representação arquitetônica mediante os avanços tecnológicos ao longo do tempo, evidenciando o quanto a representação se distancia de ser apenas um registro para se aproximar da experimentação. Primeiramente é realizada uma contextualização por meio de uma pesquisa bibliográfica histórica acerca do surgimento da representação arquitetônica ao longo da antiguidade até o início da utilização da tecnologia para representar a arquitetura. Em seguida, trata-se sobre o contexto tecnológico do presente, partindo para o uso de programas de modelagem digital, impressoras 3D, realidade virtual e tecnologias de simulação na arquitetura. Por fim, métodos de representação e tecnologias inovadoras de outras áreas, ainda em estágio de estudo e experimentação, com potencial para aplicação na representação arquitetônica, que poderiam expandir o *modus operandi* do pensar e representar a arquitetura.

Palavras-Chave: arquitetura, tecnologia, representação, modelagem digital, simulação, realidade virtual.

ABSTRACT

The dissertation concerns the transformations in architectural representation through technological advances over time, showing how much representation moves away from being just a record to approach experimentation. First, a contextualization is carried out through a historical bibliographical research about the emergence of architectural representation throughout antiquity until the beginning of the use of technology to represent architecture. Then, it deals with the technological context of the present, starting with the use of digital modeling programs, 3D printers, virtual reality and simulation technologies in architecture. And finally, innovative representation methods and technologies from other areas, still in the study and experimentation stage, with potential for application in architectural representation, which could expand the modus operandi of thinking and representing architecture.

Keywords: architecture, technology, representation, digital modeling, simulation, virtual reality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pintura de um cavalo na caverna de Lascaux.....	16
Figura 2 - Mural do túmulo de khnumhotep. c.1900 a.C. Encontrado em Beni Hassan.....	17
Figura 3 - Côvado de Maya da necrópole de Memphite.....	18
Figura 4 - Hydria, vaso de água grego.....	20
Figura 5 - A Santissima Trindade, Tomasso Masaccio.....	25
Figura 6 - Estudos com tabuleta e espelho de Brunelleschi.....	26
Figura 7 - Exemplo de estudo da estereotomia.....	27
Figura 8 - Exemplo de projeção axonométrica.....	29
Figura 9 - Exemplo de geometria descritiva.....	30
Figura 10 - Ilustração esquemática de elevador após a Revolução Industrial.....	34
Figura 11 - Pintura de René Magritte, Tentativa do impossível. Paris, 1928.....	35
Figura 12 - Pintura de "Hard Edge".....	36
Figura 13 - Programadoras operam o primeiro computador eletrônico da história, o ENIAC Foto: ARL Technical Library / U.S. Army.....	39
Figura 14 - Imagem do uso de computadores com transistores em 1962.....	40
Figura 15 - Sensorama.....	41
Figura 16 - Sketchpad.....	46
Figura 17 - Impressora SLA-1 em 1988.....	47
Figura 18 - "EyePhone" da VPL.....	48
Figura 19 - Autocad.....	49
Figura 20 - Uso de realidade virtual pela Nasa.....	50
Figura 21 - Realidade mista sendo utilizada para manutenção de maquinário.....	51
Figura 22 - Exibição de Greg Lynn, "The Architectural Imagination" de 2016.....	53
Figura 23 - Impressão em SLA.....	55
Figura 24 - Impressão em SLA.....	55
Figura 25 - Modelo em BIM.....	57
Figura 26 - Compatibilização de instalações em BIM.....	58
Figura 27 - Laboratório de pesquisa de realidade virtual da Deakin University.....	60
Figura 28 - Realidade virtual em treinamento de segurança.....	60
Figura 29 - Realidade virtual no Rhinoceros.....	62

Figura 30 - Realidade aumentada em tablet no programa ARki.....	62
Figura 31 - Tesla Suit.....	63
Figura 32 - Virtuix.....	63
Figura 33 - Realidade aumentada em campo.....	64
Figura 34 - Microsoft HoloLens, tecnologia de realidade mista.....	64
Figuras 35 e 36 - Uso do Fologram para executar uma muro em bloco cerâmico....	65
Figura 37 - Handtracking da Ultraleap: sensores nas mãos são lidos pelo computador.....	67
Figura 38 - Uso de handtracking com realidade virtual em projeto de arquitetura....	67
Figura 39 - Realidade Virtual.....	69
Figura 40 - Uso de realidade virtual para projeto arquitetônico.....	70
Figura 41 - Gravity Sketch.....	71
Figura 42 - HBIM.....	75
Figura 43 - Programa Edificius.....	76
Figura 44 - Escaneamento 3D a laser de construção.....	77
Figura 45 - Impressão 3D com uso de inteligência artificial.....	78
Figura 46 - Ada, projeto de pavilhão com uso de inteligência artificial do Studio Jenny Sabino em parceria com a Microsoft Research.....	80
Figura 47 - Criação de Stainlas.....	82
Figura 48 - Exemplo de uso do Higharc para modificar o layout do projeto. Ao lado é possível verificar a precificação de cada tipologia.....	83
Figura 49 - Exemplo de impressão utilizando robô industrial.....	84
Figuras 50 e 51 - Utilização de robótica para impressão 3D de residência.....	85
Figura 52 - Matrix Resurrections.....	88
Figura 53 - The Sandbox.....	89
Figura 54 - "Architecting the Metaverse", projeto imersivo de arte do escritório Zaha Hadid Architects.....	90
Figura 55 - Workshop Architecture for the Metaverse, do DigitalFUTURES.....	92
Figura 56 - Gravitysketch.....	93
Figura 57 - Processo criativo de Finn Rush Taylor utilizando o Gravitysketch e impressão 3D.....	93
Figura 58 - Representação digital em voxel de Eliane Fernandes.....	94
Figura 59 - Exemplo de modelagem em low poly.....	95
Figura 60 - Mental Canvas.....	96

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
1.1. Objeto.....	9
1.2. Pergunta.....	10
1.3. Problema.....	10
1.4. Justificativa.....	10
1.5. Objetivos.....	11
1.6. Metodologia.....	12
1.7. Estrutura da dissertação.....	13
2. O SURGIMENTO DA REPRESENTAÇÃO ARQUITETÔNICA E DESDOBRAMENTOS.....	14
2.1. Pré Clássico e Clássico.....	14
2.2. Pós Clássico e Renascença.....	22
2.3. Pós Renascença e desdobramentos.....	32
3. A ASCENSÃO DA MÁQUINA.....	37
3.1. Evolução e impacto computacional na representação da arquitetura.....	38
3.2. Realidade virtual, aumentada e mista na representação da arquitetura.....	59
4. O PRÓXIMO PASSO.....	73
4.1. Novas tecnologias e seu potencial para impacto na arquitetura.....	74
4.2. Tecnologias já aplicadas em outras áreas com potencial para serem aplicadas na arquitetura.....	86
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	99

1. INTRODUÇÃO

A arquitetura começou a ser exercida de diferentes formas em diferentes locais do mundo. Desde a sedentarização humana, ela foi utilizada para complementar a vida humana, até se tornar imprescindível. Sua representação nem sempre existiu ou foi necessária, no entanto, após seu surgimento, a maneira como era feita passou a estar diretamente ligada aos objetivos arquitetônicos de cada período.

A representação surge no ocidente como forma de registro até o momento em que se transforma em apoio para a execução das obras. Com o passar do tempo, a complexidade dos projetos se tornaram maiores e a presença da representação de projetos no canteiro de obras para uma correta execução, passou a ser imprescindível. A utilização dos computadores aos poucos fez com que a representação de projetos se tornasse quase que sem precedentes, porque a manipulação de formas e programação abriram um campo que não havia sido explorado antes.

Todas as possibilidades de utilização da tecnologia para representar, ainda não foram colocadas em prática. Em termos dessas possibilidades, o futuro tecnológico é um caminho onde não se enxerga o final. Com as invenções existentes hoje e as especulações de uma era que tem registradas as alterações de muitos séculos passados, torna-se possível indicar expectativas de mudanças para a representação arquitetônica para um tempo que há de vir.

1.1. Objeto

O objeto da pesquisa é a representação arquitetônica e suas modificações impulsionadas por avanços tecnológicos. O olhar sobre as transformações se volta às consequências causadas na representação influenciando o projetar. Como forma de analisar estes impactos a pesquisa abrange três momentos como uma análise teórica e crítica: a história da representação desde a antiguidade, as tecnologias computacionais de projeto, experimentação e realidade virtual (RV) atualmente utilizadas em arquitetura e as tecnologias ainda em estágio de estudo e

experimentação que possuem potencial para aplicação na representação arquitetônica.

1.2. Pergunta

Como os avanços tecnológicos transformaram e poderão transformar a representação e a produção da arquitetura?

1.3. Problema

Os recursos digitais inserem no processo de representação do projeto dados inteligentes, complexidade, novas percepções e experimentações por meio de programas de simulação e ambientes imersivos. Diante do exposto, é necessário compreender quais transformações ocorreram na representação arquitetônica e quais novas tecnologias, invenções e conceitos possuem potencial para expandir o *modus operandi* do pensar e representar a arquitetura.

1.4. Justificativa

Hoje os mecanismos tecnológicos digitais interferem diretamente na maneira de representar a arquitetura, e pelo que pode ser percebido na sociedade, a tendência é que a utilização das tecnologias digitais seja cada vez maior.

A partir das constatações históricas levantadas sobre as modificações ocorridas na representação arquitetônica, será possível conjecturar sobre as possibilidades de mudanças proporcionadas pelo uso de outras tecnologias inovadoras. As mudanças causadas pela fotografia, por exemplo, podem ser utilizadas como uma analogia ao que é levantado nesta dissertação, ou seja, as mudanças provocadas pela inserção da simulação na representação e projeto de arquitetura. Rosenblum (1997) em seu livro "*A world history of photography*" (Uma história mundial da fotografia), afirma que a câmera mudou a forma como os indivíduos pensam sobre si mesmos, sobre as instituições e como vêem o mundo. Para a autora, a fotografia proporcionou novas inspirações para organizar artes gráficas, esculturas e tornou possível a existência

de um estilo internacional de arquitetura e design de interiores. Neste sentido, de forma semelhante, acredita-se que as transformações tecnológicas foram cruciais para a modificação do modo de se representar e criar a arquitetura. Dessa forma, surge o objetivo de mapear a capacidade de novas invenções, como a realidade virtual, por exemplo, de alterar não só a forma de representação, como também a forma de pensar o projeto, visualizar, experimentar e o conceber.

Para melhorar aspectos construtivos e representativos, a arquitetura tende a se adaptar às demandas da sociedade e acompanhar as evoluções ao seu redor. Exemplo disso é a incorporação das telas e computadores para projetar, que modificou significativamente o modo de se pensar, representar e produzir a arquitetura. Principalmente por causa das ágeis experimentações, da manipulação tridimensional instantânea, reprodução de características e atributos de materiais com condições físicas, dados, informações, entre outros. Sendo assim, torna-se necessário entender o impacto de tecnologias atuais e de tecnologias futuras na modificação da representação da arquitetura.

1.5. Objetivos

Objetivo geral:

- a) Compreender como ocorreu a evolução no processo de representação e como os avanços tecnológicos transformam o representar e o projetar.

Objetivos específicos:

- a) Contextualizar o surgimento da representação arquitetônica e quais fatores influenciaram sua modificação ao longo do tempo;
- b) Conceituar programas de modelagem, simulação e outras tecnologias de representação arquitetônica;
- c) Apresentar como as tecnologias de simulação se inserem na arquitetura hoje;
- d) Descrever tecnologias futuras e o potencial que possuem de criar um novo paradigma dentro da representação arquitetônica.

1.6. Metodologia

A metodologia foi selecionada com base no livro de Da Silva e Menezes (2005) e o método científico desta dissertação é histórico, por realizar uma investigação acerca da trajetória da representação arquitetônica. O método de revisão é teórico e histórico e com base no levantamento histórico bibliográfico serão apontadas hipóteses acerca das contribuições ocorridas para a evolução da representação e do projeto. Com o exemplo do padrão de acontecimentos percebidos no passado, serão feitas especulações futuras. O método processual envolve o levantamento bibliográfico de fatos e acontecimentos reais do presente sobre a arquitetura, representação, modelagem e simulação a fim de criar bases para o desenvolvimento de considerações e proposições futuras.

O método para consulta de referências bibliográficas foi feito principalmente por meio do google acadêmico, uma vez que o site disponibiliza o acesso a conteúdos que estão presentes em variadas plataformas, artigos e periódicos. Posteriormente, foi utilizado o portal de periódicos da CAPES, a fim de encontrar trabalhos que são divulgados apenas para a comunidade acadêmica, não encontrados através do google. Para o desenvolvimento do primeiro capítulo foram utilizadas as seguintes palavras-chave: arquitetura antiguidade, história da arquitetura, arquitetura representação, *ancient architects*, *architect*. Com o intuito de encontrar textos específicos sobre o assunto, os termos foram organizados em pares e pesquisá-los em inglês aumentou o número de conteúdo encontrado.

O segundo capítulo foi construído com base nos principais autores sobre a evolução tecnológica relacionada aos computadores e a arquitetura. O conteúdo do estado da arte do segundo capítulo foi obtido principalmente por meio do google acadêmico. Essa plataforma de pesquisa foi selecionada porque mostra como resultado os artigos que também estão nos principais sites sobre tecnologia. As principais palavras-chave utilizadas para a pesquisa foram: BIM, impressão 3D e arquitetura, imersão e arquitetura (*architecture immersion*), realidade virtual arquitetura (*architecture virtual reality*), *"systematic review" virtual reality*, *virtual reality technology*, *virtual reality architecture*. Bem como o primeiro capítulo, os termos foram organizados em pares e pesquisá-los em inglês aumentou o número de

conteúdo encontrado.

O terceiro capítulo é fruto de pesquisas pessoais anteriores sobre temas de inovação tecnológica, artigos encontrados através do google acadêmico, artigos encontrados no portal de periódicos da CAPES, site de workshops DigitalFutures e livros encontrados através da biblioteca digital da UFES. O uso do google acadêmico e CAPES possuem as mesmas justificativas dadas ao uso no segundo e primeiro capítulo. O site DigitalFutures engloba workshops de todos os lugares do mundo sobre educação da arquitetura e foi selecionado por abordar temas tecnológicos atuais e possíveis. A biblioteca digital da UFES foi muito importante para ter referências bibliográficas acerca da definição dos termos tratados no capítulo. Ela foi selecionada por oferecer uma grande biblioteca de livros completos gratuitos sobre temas variados. As principais palavras-chave utilizadas para a pesquisa foram: arquitetura e tecnologia, arquitetura e inovação, inteligência artificial, inteligência artificial arquitetura, metaverso, metaverso arquitetura, impressão 3D e arquitetura. Todos os termos foram organizados em pares e foram pesquisados em inglês para aumentar o número de resultados.

1.7. Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em quatro capítulos: Introdução, O surgimento da representação e Desdobramentos, A ascensão da máquina e o Próximo passo. No capítulo 1, Introdução, realizou-se uma contextualização do tema de pesquisa, sendo apresentadas as questões de pesquisa, objetivos, problematização, justificativa e metodologia. O capítulo 2, O Surgimento da representação e Desdobramentos, realiza um contexto breve acerca da trajetória da profissão do arquiteto, de maneira que pudesse contribuir para a evolução da representação. Nele também é apontado o momento de ascensão da intelectualidade e as transformações na representação arquitetônica. O capítulo 3, A Ascensão da máquina, introduz a influência causada pelo uso da tela, computador e outras máquinas na arquitetura. Contextualiza o presente momento da utilização tecnológica para a representação da arquitetura, descreve uso e transformações propiciadas pelos programas de modelagem digital, impressão 3D, simulação e realidade virtual já existentes. O capítulo 4, O Próximo passo, mapeia tecnologias

inovadoras que estão começando a ser utilizadas na arquitetura, em conjunto, possíveis evoluções e utilizações de novas tecnologias de simulação de outras áreas com potencial para gerar impactos na representação da arquitetura. O capítulo 5, Considerações finais, conclui a dissertação apresentando uma retomada dos objetivos alcançados e indicando as conclusões possibilitadas por toda a pesquisa realizada.

2. O SURGIMENTO DA REPRESENTAÇÃO ARQUITETÔNICA E DESDOBRAMENTOS

Este primeiro capítulo realiza um breve panorama acerca da trajetória da representação arquitetônica ao longo do tempo, servindo como base para apontar acontecimentos externos à arquitetura que influenciaram suas mudanças. As alterações da arte também serão comentadas. Sua existência e modificações estão conectados a como os indivíduos utilizavam e compreendiam as imagens, influenciando, de todo modo, a arquitetura. Dessa forma, será possível concluir como a representação, ou inexistência dela, gerou impactos no projeto arquitetônico. O objetivo geral deste capítulo é construir uma base histórica sobre a representação arquitetônica, por meio disto, desenvolver argumentações nos capítulos seguintes sobre as possibilidades e tipologias de impactos que a tecnologia, e principalmente, a realidade virtual, pode proporcionar para a representação arquitetônica atual e futura.

É de extrema importância frisar que o recorte feito no capítulo diz respeito aos contextos ocidentais, diante da grande quantidade de informações encontradas. O conteúdo apontado envolve os principais trechos históricos entendidos como boas contribuições para que seja possível contextualizar o que será tratado nos próximos capítulos. Ao longo do texto, os profissionais que inicialmente desenvolviam trabalhos semelhantes aos de um arquiteto hoje, serão intitulados como mestres construtores, já que não existia outro título específico para defini-los.

2.1. Pré Clássico e Clássico

Utilizando como base as divisões de períodos históricos de Caffin (1925), foi selecionado o Egito, Grécia e Roma no Pré Clássico e Clássico, por terem sido as principais civilizações da Antiguidade a alcançar os primeiros grandes feitos na construção e na arte ocidental. Sendo assim, apresentam as principais características da época quanto ao trabalho do arquiteto no canteiro e da representação do projeto antes de ter como característica a previsão de problemas de execução das obras. No decorrer deste subtópico, é apresentada a característica da presença marcante do arquiteto no canteiro de obras e como os aspectos religiosos, artísticos e sociais de então, resultavam em uma representação de papel pouco protagonista na execução dos projetos. Por conseguinte, será possível compreender de que forma a representação que surge com objetivos de registro no Egito, passa a transmitir regras de proporção na Grécia e começar a ter suas técnicas evoluídas em Roma.

A construção de abrigos existe desde que a humanidade deixou de ser nômade e se sedentarizou. O surgimento dos mestres construtores é justificado pelo aparecimento da necessidade de indivíduos que racionalizavam e dominavam as técnicas construtivas para auxiliar a execução das edificações (CAFFIN, 1925). A arte e as construções dos povos primitivos estavam muito ligadas a seu uso e não a contemplação. As cabanas foram criadas para protegê-los do sol, chuva, vento e dos espíritos responsáveis por esses eventos. As imagens serviam para protegê-los contra poderes, para eles, tão reais quanto as forças da natureza. As estátuas serviam para realizar trabalhos de magia. As pinturas rupestres em Lascaux (figura 1), na França, sugerem a crença de que ao desenharem suas lanças e presas nas paredes das cavernas, as verdadeiras caças também morreriam (GOMBRICH, 2000).

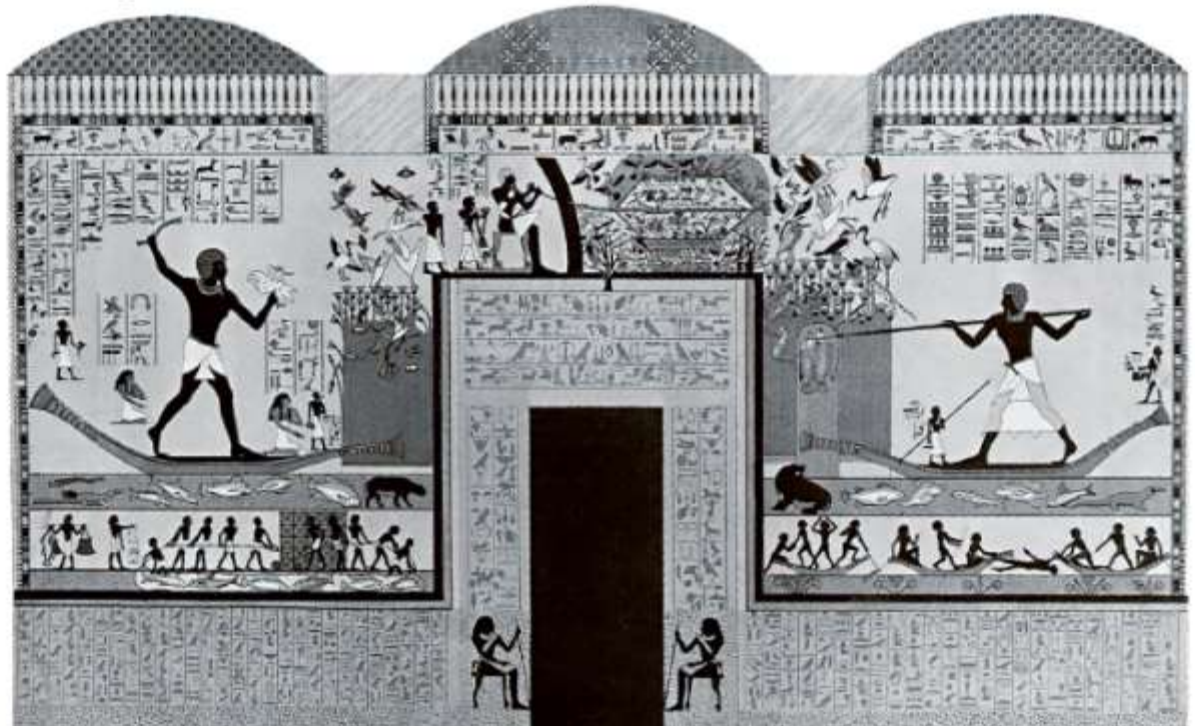
Figura 1 - Pintura de um cavalo na caverna de Lascaux



Fonte: WORLD HISTORY ENCYCLOPEDIA (2016)

A civilização egípcia do período Pré-Clássico se sedentarizou com características semelhantes aos primeiros não-nômades da história e tem-se poucas informações minuciosas acerca da presença e modo de trabalho dos mestres construtores nesse período (CAFFIN, 1925). As pirâmides eram erguidas para que o corpo do Faraó, considerado um ser divino, pudesse ser preservado e continuar vivendo no pós-vida. Na arte, as representações egípcias combinavam regularidade geométrica e observação da natureza nas paredes de túmulos e outras obras. As pinturas não serviam para adornar e sim para serem vistas pela alma do morto e “mantê-lo vivo”. Pinturas e esculturas dentro dos túmulos tinham como objetivo, por exemplo, que a alma do falecido tivesse servos. Representar a beleza não era importante, e sim a plenitude. A tarefa do artista era preservar tudo com maior clareza, portanto, não representavam a natureza sob qualquer ângulo, desenhavam de memória, com regras estritas garantindo a clareza. Seu trabalho se assemelhava mais ao de um cartógrafo do que de um pintor. O conceito de perspectiva não existia nas representações, diferentes pontos de vista eram representados em um mesmo desenho. Apesar de dar a entender, essa técnica não era feita de forma leviana, tudo deveria ser representado de seu ângulo mais marcante, como a cabeça de perfil e os olhos de frente. Regras criadas e seguidas em cada representação egípcia (figura 2) (GOMBRICH, 2000).

Figura 2 - Mural do túmulo de khnumhotep. c.1900 a.C. Encontrado em Beni Hassan



Fonte: DENKMALER (1842)

O estilo artístico egípcio reunia leis rigorosas e os jovens aprendizes só tinham seus estudos finalizados ao adquirir todo o conhecimento sobre elas. Não era esperado que as criações trouxessem originalidade. Os melhores artistas eram considerados aqueles que fizessem as estátuas e monumentos mais parecidos com os do passado. Isso justifica porque a arte egípcia sofreu poucas mudanças e o belo de um período permaneceu sendo belo por longos anos (GOMBRICH, 2000). A inovação artística também não parecia estar presente no processo construtivo, já que alcançar a monumentalidade e desejos dos reis, por meio das crenças em divindades, eram as principais diretrizes construtivas e a arquitetura também sofria reproduções (KOSTOF, 1986).

Os egípcios utilizavam régua ou côvados (figura 3), esquadros e outros instrumentos para seus desenhos, que podiam ser feitos sobre pedra, madeira ou papiro de couro. Geralmente os desenhos dos mestres construtores consistiam em plantas baixas e elevações sem escala no mesmo plano. Raros eram os desenhos em corte. Os documentos contendo plantas e outros elementos complementares geralmente eram preservados para caso houvesse necessidade de modificar construções já existentes ou criar construções semelhantes (KOSTOF, 1986). Essas

constatações sugerem que o uso de desenhos para guiar o canteiro de obras não parecia ser primordial dentro da prática construtiva.

Figura 3 - Côvado de Maya da necrópole de Memphite



Fonte: LOUVRE (2010)

A Grécia e a Roma da antiguidade são definidas por Caffin (1925) como sendo do Período Clássico. Na Grécia as obras eram lideradas por indivíduos com funções semelhantes a do mestre construtor do Egito Pré-Clássico (WOODS, 1999 apud JONES, 2006). Algumas expressões gregas sugerem o uso das terminologias de perspectivas e plantas, significando que essas representações existiam (CLARKE, 1963). Um importante item que possibilitou a transmissão do que, e de como deveria ser executada a obra, era o *syngraphe* ou *syngraphai*, conjunto de documentos que continham descrições técnicas detalhadas das dimensões, mão de obra e os materiais necessários para a construção (COULTON, 1983).

A maioria dos desenhos gregos funcionavam como diagramas e eram focados em detalhes construtivos, indicando semelhança entre um edifício construído e os demais. Estudos sugerem que na maioria das vezes, não havia necessidade do mestre construtor transmitir as informações para a força de trabalho por meio de desenhos, pois os documentos com especificações resultaram em padrões construtivos que já eram de conhecimento da mão de obra. A maior parte das proporções e convenções eram restritas às regras estabelecidas e a utilização dos desenhos sem dimensões permitia que esses modelos fossem recriados mudando

alturas e quantidades de blocos de acordo com os novos objetivos. Os gregos possuíam sistemas de planejamentos e cálculos que se adequavam ao estilo particular de sua arquitetura (COULTON, 1983).

É possível compreender que o mestre construtor grego se assemelhava ao egípcio, já que também fazia uso de plantas, vistas e ferramentas de desenho e sua atuação se dava prioritariamente dentro do canteiro de obras. Assim como os egípcios, grande parte dos projetos monumentais gregos tinham objetivos religiosos. A existência de padrões de projeto e a presença do mestre construtor no canteiro, pode justificar a falta de prioridade em produzir conteúdos de projeto em pedra ou papel (material de difícil acesso). A representação dos gregos possuía padrões e características para os objetivos do período, envolvendo monumentos com ordens de adornos, regras de proporcionalidade e semelhanças entre edifícios.

Uma das principais contribuições da arquitetura grega foi a delimitação de seu território próprio, permitindo a compreensão da arquitetura como ciência, dessa forma, permitiu que ela fosse estudada como campo separado de outras artes. A segunda contribuição específica da cultura grega foi ter considerado o homem como a medida de todas as coisas, ou seja, o antropomorfismo ou escala humana. Dessa forma, o conceito de escala humana foi uma das principais contribuições gregas para a arquitetura ocidental, permitindo que as proporções humanas fossem utilizadas para medidas em geral (PEREIRA, 2009).

A representação da arte grega, como sugerem suas cerâmicas (figura 4), era semelhante a egípcia, com perspectivas em ângulos simples, porém, de forma mais evoluída porque uma importante técnica foi descoberta: o escorço. A técnica consiste em representar um objeto menor por estar mais distante, criando sensação de profundidade. O uso do escorço significou que o artista deixava de tentar unir tudo em uma única pintura e passou a levar em conta a angulação de cada elemento representado, caracterizando uma dentre as primeiras formas de se trabalhar a espacialidade (GOMBRICH, 2000).

Figura 4 - Hydria, vaso de água grego



Fonte: MUSEU NACIONAL DA AUSTRÁLIA (sem data)

O intercâmbio entre sábios de diferentes povos do período Clássico, apontam para uma troca de técnicas, soluções e conhecimentos construtivos. Esse momento marcou a evolução das técnicas para representar as plantas baixas, elevações e perspectivas. Iniciou-se nesse período a divisão entre o trabalho manual e o trabalho intelectual, em conjunto, os mestre construtores ganharam destaque sendo inseridos na elite intelectual de então (BELHOSTE; CORREIA, 2011). Interpreta-se que o aumento da necessidade dos trabalhos prestados pelos mestres construtores, fez com que seus serviços e conhecimentos alcançassem maior valorização na Roma Clássica e proximidades. Com isso, desenvolve-se a hipótese de que houve uma mudança significativa na importância dada à intelectualidade desses indivíduos,

passando a sentirem-se estimulados a corresponder às necessidades de realizar representações de projeto mais elaboradas.

Um dos mestres construtores mais conhecidos da Antiguidade Romana é Vitruvius, autor de "Os dez livros da arquitetura", um dos únicos escritos remanescentes sobre a arquitetura da época. No livro são tratados os temas de simetria, harmonia, proporção, técnicas construtivas, materiais, conceitos estéticos, fundações, isolamento, maneiras de se construir teatros, prisões, entre outros itens da arquitetura romana. Vitruvius ainda descreve as muitas áreas que acreditava que os arquitetos deveriam ter conhecimento. Em Roma, pelos escritos de Vitruvius, esperava-se que os conhecimentos dos arquitetos fossem vastos e suas representações fossem compostas por plantas baixas e cortes.

Coulton (1983) afirma que em Roma, alguns detalhes por vezes eram desenhados em tamanho real em um pavimento adjacente à obra. O mestre construtor estava presente na obra e possuía a liberdade de desenvolver os desenhos na própria edificação, por meio de uma representação visível a todos, em escala real e útil à mão de obra. A afirmação do autor exemplifica como atuava o mestre construtor e o modo como seu tipo de representação passava instruções aos envolvidos na construção de forma singular.

Tanto egípcios quanto gregos e romanos, foram responsáveis por obras de enorme significância para a arquitetura e representação arquitetônica ocidental. Neste momento, a profissão do arquiteto-engenheiro ainda não existia e os mestres construtores eram detentores dos conhecimentos necessários para a execução de obras da época. As representações tinham como objetivo principal o registro e, pelo menos, não ainda de prever decisões. A representação artística servia principalmente a objetivos religiosos específicos, contendo formas simples, demonstrando os objetivos do período de que o conteúdo da pintura fosse simplesmente compreendida. Fosse a arte utilizada para objetivos religiosos, fosse a representação no canteiro para informar a mão de obra ou o registro para a reprodução das obras já construídas, os objetivos da época de compreensão clara e objetiva, eram atendidos com as representações de formas simples.

2.2. Pós Clássico e Renascença

Este subtópico faz uma sequência temporal ao período Romano abordando três importantes períodos da história ocidental para a arquitetura, arte, sociedade e ciência, conseqüentemente, para a representação: A Idade Média e o período Gótico como o Pós Clássico e a Renascença. Primeiramente, a Idade Média é introduzida como período que precede o Romano e antecede o Gótico. O período Gótico é trabalhado por introduzir no projeto a previsão de problemas devido à maior complexidade das obras. Por fim, o Renascimento será explicado como o período que traz grande inflexão sobre a concepção de beleza, por introduzir a perspectiva e grandes descobrimentos matemáticos. Para tratar sobre as conseqüências da Renascença para a arquitetura, são destacados os trabalhos do arquiteto e escultor Filippo Brunelleschi, pelo descobrimento da perspectiva e as principais contribuições matemáticas de Gaspard Monge. Dessa forma, é dado prosseguimento a descrição da evolução das formas de representação da arquitetura em paralelo com outros aspectos da sociedade.

A Idade Média pode ser definida como o período posterior à queda do Império Romano. Sua outra designação de Idade das Trevas lhe foi dada pelo fato de ter envolvido séculos de migrações e guerras guiados por poucos conhecimentos, bem como, pela falta de informações que se tem sobre o período. A Idade Média não teve um estilo artístico marcante e sim um grande número de estilos diferentes que só começaram a se destacar no fim do período (GOMBRICH, 2000). As obras de arte do mundo antigo ainda eram preservadas por alguns apreciadores, porém, os indivíduos estavam focados na sobrevivência, fortificações e defesa (MILLER, 2003 apud JONES, 2006). A técnica construtiva do período baseava-se na capacidade de saber-fazer e era transmitida oralmente (CATTANI, 2006).

O período Gótico, datado entre a Idade Média e o Renascimento é relatado como a época onde voltaram a ser desenvolvidos os símbolos e padrões de representação arquitetônicos desde a Roma Clássica, como resultado, muitos que não os compreendiam ficaram à mercê da profissão dos arquitetos. O período deu origem a característica essencial do projeto arquitetônico de antever soluções através da simulação, já que os problemas que vinham sendo encontrados nas obras levaram a

realização de desenhos que apresentassem com antecedência as resoluções de problemas de execução de projeto (CATTANI, 2006).

Na arte, o fim da Idade Média se deu quando os artistas deixaram de querer aperfeiçoar suas representações de vegetações e animais para explorar as leis da visão, os conhecimentos sobre o corpo humano e incluí-los em suas estátuas e pinturas, como fizeram gregos e romanos. Ocorre então uma mudança intelectual com a natureza deixando de ser explicada em termos formais para ser explicada em termos de função matemática (SANTILLANA, 1981). Tais fatos contribuíram para o fim da arte medieval, dando início a Renascença, período onde a arte da Grécia e da Roma eram exaltadas. Os mestres italianos da Renascença fizeram parte de quatro importantes realizações: a descoberta da perspectiva científica, o conhecimento de anatomia, a representação fiel corpo humano, por fim, o conhecimento das formas clássicas de construção, que para a época, representava tudo o que era belo e digno (GOMBRICH, 2000).

Nos séculos XV e XVI, escultores e pintores como Brunelleschi, Michelozzo, Bramante, Raphael e Michelangelo recebiam encomendas para criar edifícios e eram chamados de arquitetos, embora não percentencessem a nenhuma corporação de construção, tampouco eram pedreiros (WOODS, 1999 apud JONES, 2006). Esta constatação sugere que o título de arquiteto ainda era uma denominação aberta, não sendo relacionado a uma profissão regulamentada, além disso, suas atribuições podiam ser dadas tanto àqueles com domínio das artes quanto dos ofícios manuais da construção.

A Renascença foi marcada pelo desenvolvimento social, técnico e econômico pós feudal, por obras de maior complexidade, novas técnicas construtivas introduzidas pela arquitetura gótica e especialização de profissionais. Tais fatores contribuíram para que a representação passasse a permitir melhor visualização, compreensão prévia da obra e correspondência entre representações e objetos (CATTANI, 2006). Buscando facilitar o processo de projeto, os arquitetos também desenvolveram novas representações que antes não eram utilizadas, como maquetes e desenhos em escala. Ambos tornaram-se os meios comuns de comunicação dos arquitetos com construtores e clientes, em conjunto, deram oportunidade aos arquitetos

renascentistas de experimentar soluções, forma e função dos edifícios antes de serem construídos (KALAY, 2004 apud ANDRADE; RUSCHEL; MOREIRA, 2011).

Filippo Brunelleschi foi líder do grupo de jovens artistas de Florença que rompeu com as ideias do passado em busca de uma nova forma de arte. Responsável pela conclusão da Catedral de Florença, Brunelleschi era um arquiteto que dominava as técnicas da construção gótica e ficou conhecido por suas execuções de abóbadas, até então tidas como impossíveis de realizar. Ao ser convidado a projetar novas obras, descartou os estilos tradicionais e decidiu exaltar a grandeza romana. Durante cerca de 500 anos, arquitetos da Europa e América seguiram suas formas clássicas, como colunas e frontões (GOMBRICH, 2000).

Além de pioneiro da arquitetura na Renascença, Brunelleschi foi responsável por uma grande descoberta da representação: a perspectiva. Os gregos compreendiam o escorço, os helenísticos eram hábeis em criar a profundidade, mas não possuíam os conhecimentos matemáticos para representar os objetos à medida que se afastavam da visão. As descobertas de Brunelleschi forneceram os meios técnicos para solucionar essa questão. A figura 5 mostra uma das primeiras pinturas produzidas com regras matemáticas. A perspectiva aplicada às pinturas causou uma significativa mudança para a representação e para a compreensão da mensagem da obra, que passou a simular o que pode ser visto e imaginado. O artista primitivo tentava compor a arte a partir de formas simples em vez de tentar reproduzir o que era visto de verdade, os egípcios representavam pinturas do que conheciam e não do que viam. A arte grega e romana evoluiu esse tipo de representação com formas esquemáticas e na idade média elas foram utilizadas para contar a história sagrada. A ideia de "pintar o que se vê" surge durante a Renascença (GOMBRICH, 2000).

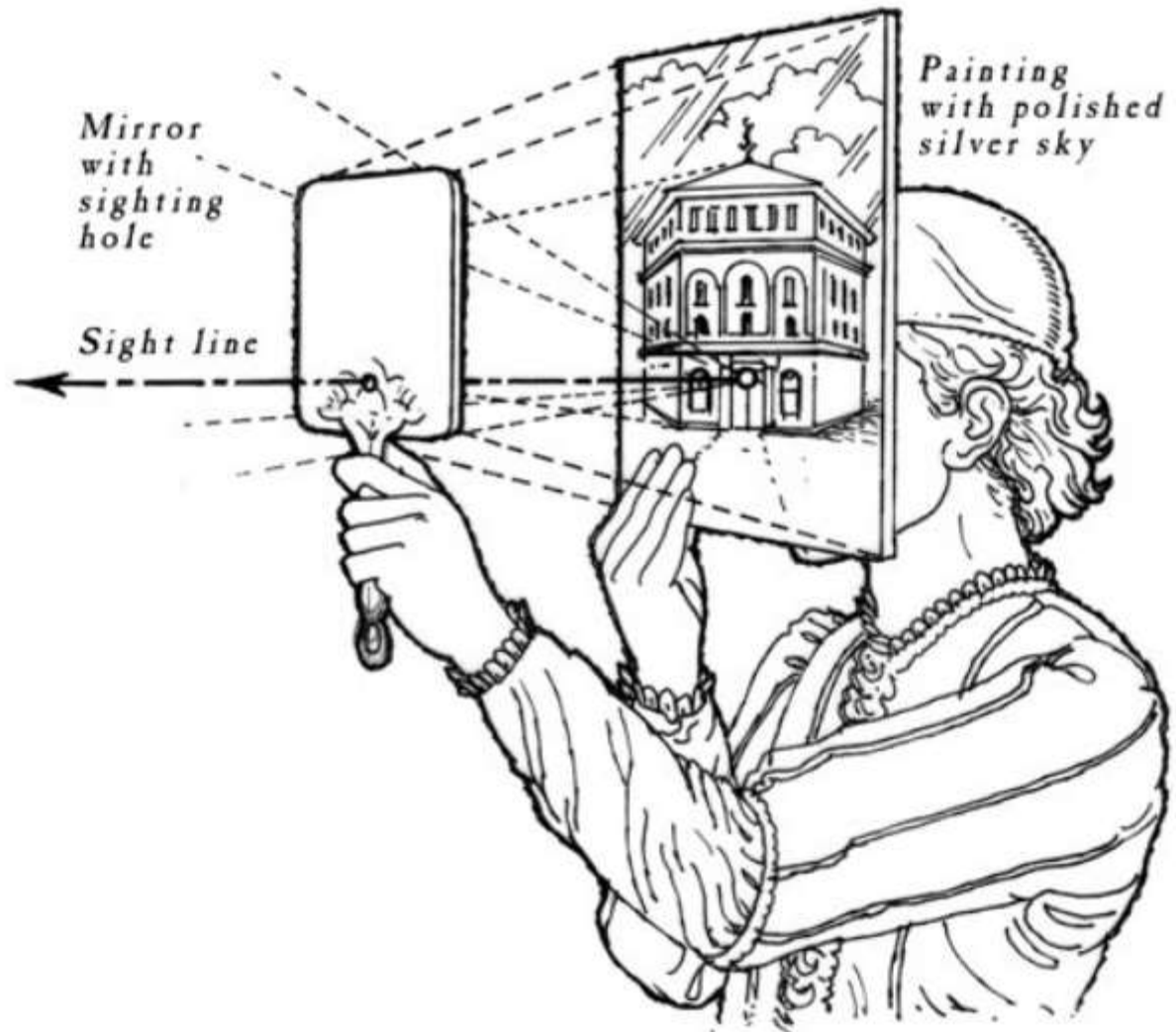
Figura 5 - A Santissima Trindade de Tomasso Masaccio



Fonte: WIKIART (2010)

O fundamento de perspectiva utilizado por Brunelleschi em 1413, se baseava em um método ótico-gráfico, estudado com o auxílio de tabuletas (tábuas de madeira) e um espelho. Por meio de um furo existente tanto na tabuleta quanto no espelho, era visualizada a edificação em menor escala, veja na figura 6 (GARCÍA, 1998 apud PANISSON, 2007). A importância da descoberta de Brunelleschi pode ser comparada a invenção do telescópio e deu origem ao que depois se tornou a câmera escura, invento com consequências estabelecidas na história da ciência. Sua descoberta da formação da imagem em tela leva ao eventual desaparecimento da certeza estabelecida sobre a função ativa da visão nas representações (SANTILLANA, 1981).

Figura 6 - Estudos com tabuleta e espelho de Brunelleschi

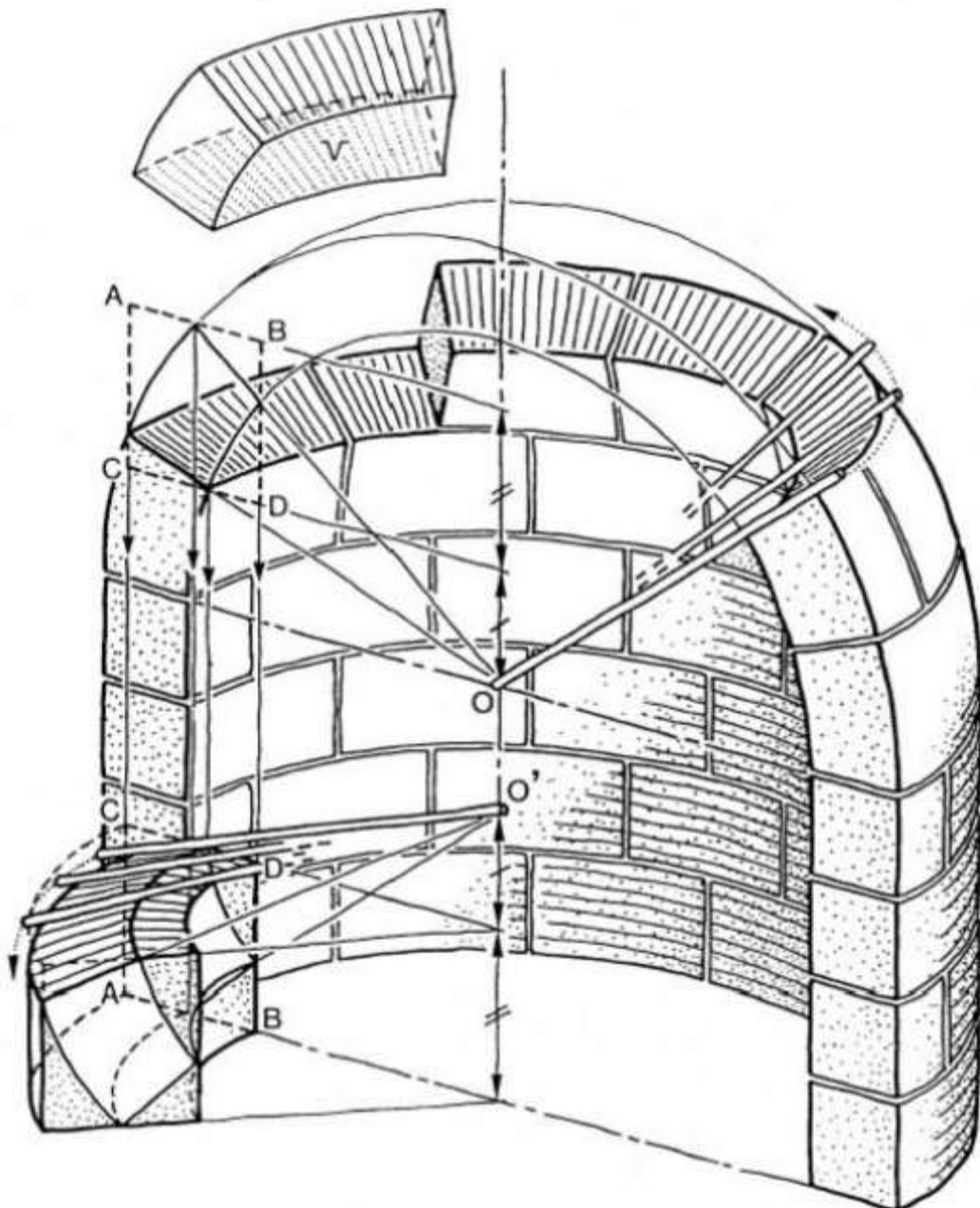


Fonte: ARTMATHSTPE BLOGSPOT (2012)

Em meados do século XV surgiu na Alemanha uma técnica revolucionária: a imprensa, acelerando o intercâmbio de ideias, assegurando o triunfo da arte da Renascença italiana no resto da Europa e colocando fim à arte medieval no norte (GOMBRICH, 2000). A evolução da representação arquitetônica também foi impulsionada pela maior oferta do papel, o advento da imprensa e o desejo dos aprendizes de arquitetura em ter suas coleções de desenhos. Em busca de uma melhor compreensão do espaço, foram criados manuais de arquitetura, levando ao avanço do estudo sobre perspectivas e projeções ortogonais. Como uma prévia do que ocorreria na Idade Moderna, o espaço começa a ser cada vez mais entendido como geométrico através de suas dimensões e tridimensionalidade, permitindo sua reprodução com a manipulação de escala e regras matemáticas. O trabalho de

matemáticos, artistas e arquitetos como Monge, Brunelleschi, Alberti, Desargues e Piero de la Francesca, permitiram avanços nas representações das perspectivas, ademais, pela retomada de técnicas como a Estereotomia. A Estereotomia (figura 7), já era utilizada no Egito, Grécia, Roma e no Oriente como meio de organização e dimensionamento pautados no empirismo. Em resumo, é a ciência que estuda o corte dos itens da construção civil, que em conjunto com outros estudos renascentistas, resultaram em ganhos no entendimento da geometrização do espaço e resolução de problemas de representação espacial (PANISSON, 2007).

Figura 7 - Exemplo de estudo da estereotomia

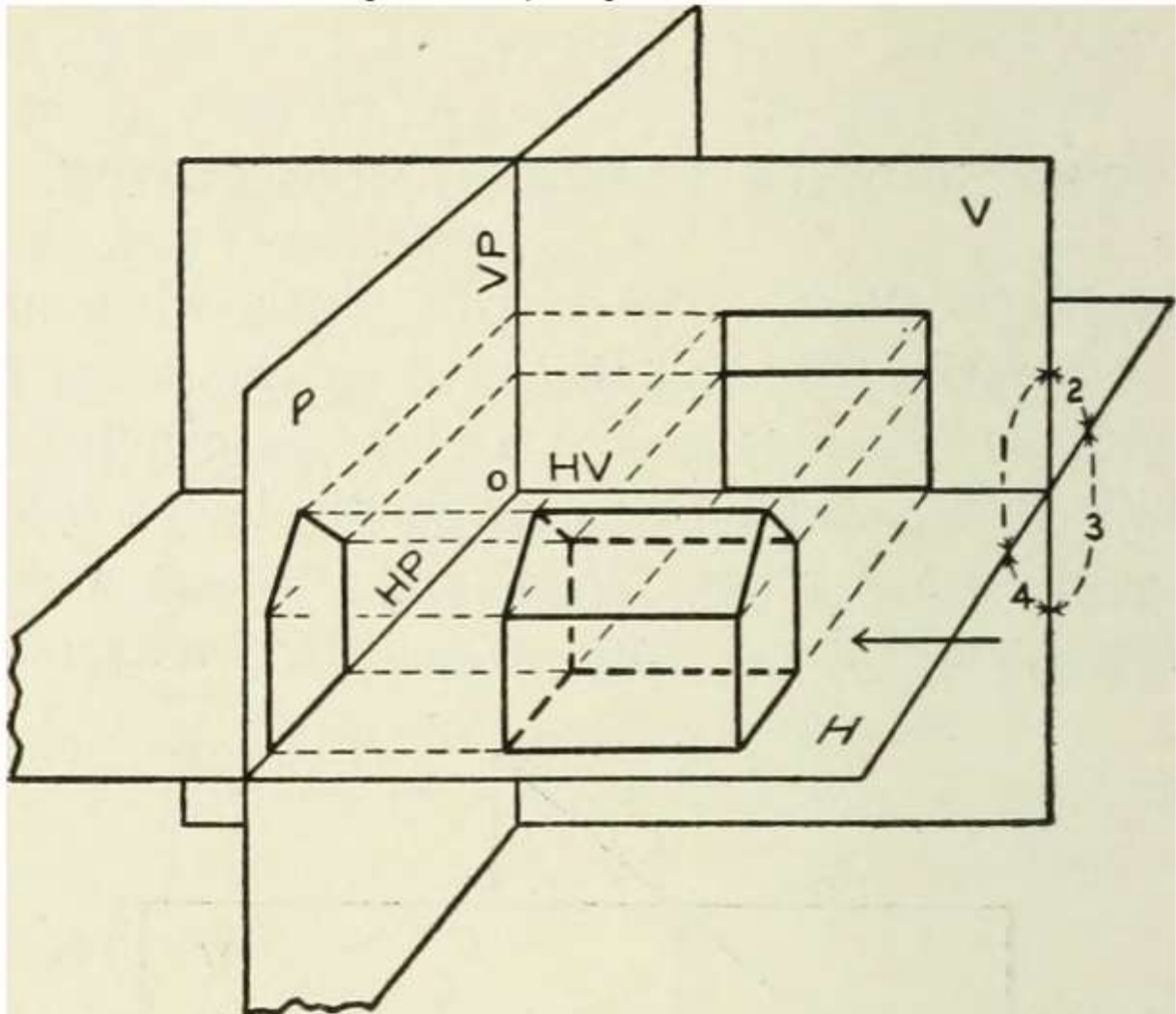


Fonte: VIDIERÉ (2014)

A utilização de pontos de fuga nas perspectivas de Brunelleschi contribuíram para o advento da geometria projetiva, estudo matemático das propriedades geométricas de uma projeção, que futuramente seria utilizada na arquitetura. Durante longo período, a arquitetura fez uso de representações sem grande complexidade matemática, portanto, a introdução de métodos geométricos fugia do habitual, portanto, como uma busca por métodos de representação mais intuitivos, começou a ser utilizada no século XVI, a axonometria na arquitetura (BORDA, 2001 apud PANISSON, 2007).

A axonometria (figura 8) consiste na técnica de desenho que gera perspectivas de um sólido por meio de sua projeção cilíndrica no plano de desenho, designado como plano axonométrico e ainda é utilizada nos projetos atuais, principalmente por sua simplicidade e exatidão. Mesmo diante de todo o desenvolvimento instrumental dos *softwares* de modelagem 3D, a criação de isometrias axonométricas ainda é essencial. A isometria, que faz parte das projeções axonométricas, está presente em praticamente qualquer projeto arquitetônico hoje e pode ser utilizada com facilidade como parte da concepção, modelagem ou apresentação projetual, já que os *softwares* permitem a criação de perspectivas de forma praticamente instantânea. No final do século XVII, Gaspard Monge desenvolveu a premissa necessária para a construção da geometria projetiva com a utilização da matemática e de uma construção rigorosa e sistemática da geometria descritiva (RIBINIKOV, 1991 apud PANISSON, 2007).

Figura 9 - Exemplo de geometria descritiva



Fonte: KENISON; BRADLEY (1918)

Por meio da representação diédrica de Monge, foi possível tratar dos problemas métricos, sendo assim, alcançar as verdadeiras grandezas dos objetos. Seu uso passou a ser adequado para a arquitetura, porque permite a reconstrução dos objetos no espaço, incluindo maquetes reais (PANISSON, 2007). Borda (2001 apud PANISSON, 2007) defende que a partir das representações mongeanas a arquitetura passa a contar com uma linguagem compatível com as necessidades da construção. A autora comenta que as projeções que conservam propriedades métricas, informam também a geometria dos objetivos e possuem grande importância para a arquitetura, permitindo estudo, controle e interpretação do espaço tridimensional.

Ao buscar criar representações mais realistas, os artistas renascentistas tinham como objetivo alcançar a fórmula para reproduzir o espaço da maneira mais fiel possível do que é visto. O que se vê, na verdade, é resultado de uma deformação dos sólidos provocada pela visão humana, de acordo com a posição do indivíduo, iluminação, foco, profundidade de campo de visão, entre outros. Sendo assim, fez-se necessário uma fórmula matemática que permitisse representar sólidos o mais próximo possível da geometria do espaço visto. As técnicas matemáticas como a de Monge, passaram a oferecer uma métrica para a documentação dos objetos, contribuindo para que a arquitetura pudesse reproduzi-los manualmente no plano. Com isso, os arquitetos passam a ter maior domínio das formas geométricas com métricas exatas e por pontos de vista não utilizados antes.

De forma geral, o Renascimento contou com acontecimentos marcantes no âmbito social, econômico e educacional da humanidade. O aumento da contratação de arquitetos por civis sugere busca pela reprodução de estilo das residências, popularização da profissão do arquiteto e aumento do poder aquisitivo da população, já que as edificações feitas por arquitetos no passado eram em sua maioria, monumentos religiosos ou de uso coletivo. Os estudiosos tiveram que se debruçar sobre as necessidades representativas da época e ao mesmo tempo, começaram aos poucos a se afastar dos canteiros de obras. O aumento da complexidade dos edifícios, materiais e técnicas construtivas, contribuiu para o surgimento da disciplina de arquitetura, que separada da engenharia, desenvolveu-se com suas especificidades próprias. A profissão do arquiteto-engenheiro já não dominava sozinha a execução de todos os novos itens construtivos, uma vez que, por necessidade das próprias construções, surgiram profissionais especializados em diferentes áreas. Os arquitetos, porém, não deixaram de dominar as técnicas construtivas que eram de sua responsabilidade, apenas passaram a poder se especializar também nas representações arquitetônicas, que agora contavam com estudos focados, padronizações e regras matemáticas.

A inflexão provocada pela Renascença modifica os objetivos da arte e da representação. A busca pela reprodução do que se vê por métodos científicos faz com que a representação em formas esquemáticas não fosse mais suficiente, tampouco, a representação meramente para a compreensão. O belo passa a ser a

capacidade de melhor reprodução do que se enxerga. O projeto arquitetônico não deixaria de obter frutos das novas descobertas, e conforme a matemática evoluiu, a representação arquitetônica adquiriu complexidade para reproduzir não o que se vê, mas o que se prevê do que se pretende construir.

2.3. Pós Renascença e desdobramentos

Neste subtópico é tratada a passagem da Renascença para o período da Revolução Industrial de modo geral, abrangendo as consequências macro trazidas para a arquitetura e a arte em termos de representação. O ponto de vista abordado sobre a Revolução Industrial são as alterações trazidas para a representação do projeto arquitetônico, devido a introdução de instalações e materiais não utilizados antes. Sobre a arte, são trazidas as técnicas e artistas que introduzem a fuga da reprodução do que se vê tida como o belo no Renascimento. Essas abordagens têm como objetivo pautar o período que antecede o tema do uso dos computadores na arquitetura, mas que já introduz os indícios de uma representação complexa, detalhada e de uma arte que tem seu conceito de beleza e significado expandido para formas geométricas e criação imaginativa. Tanto a complexidade dos projetos, quanto a expansão da arte apontada, trazem consequências posteriores com o advento da computação, para uma representação arquitetônica abstrata ou científica, contendo dados de alto nível de informação.

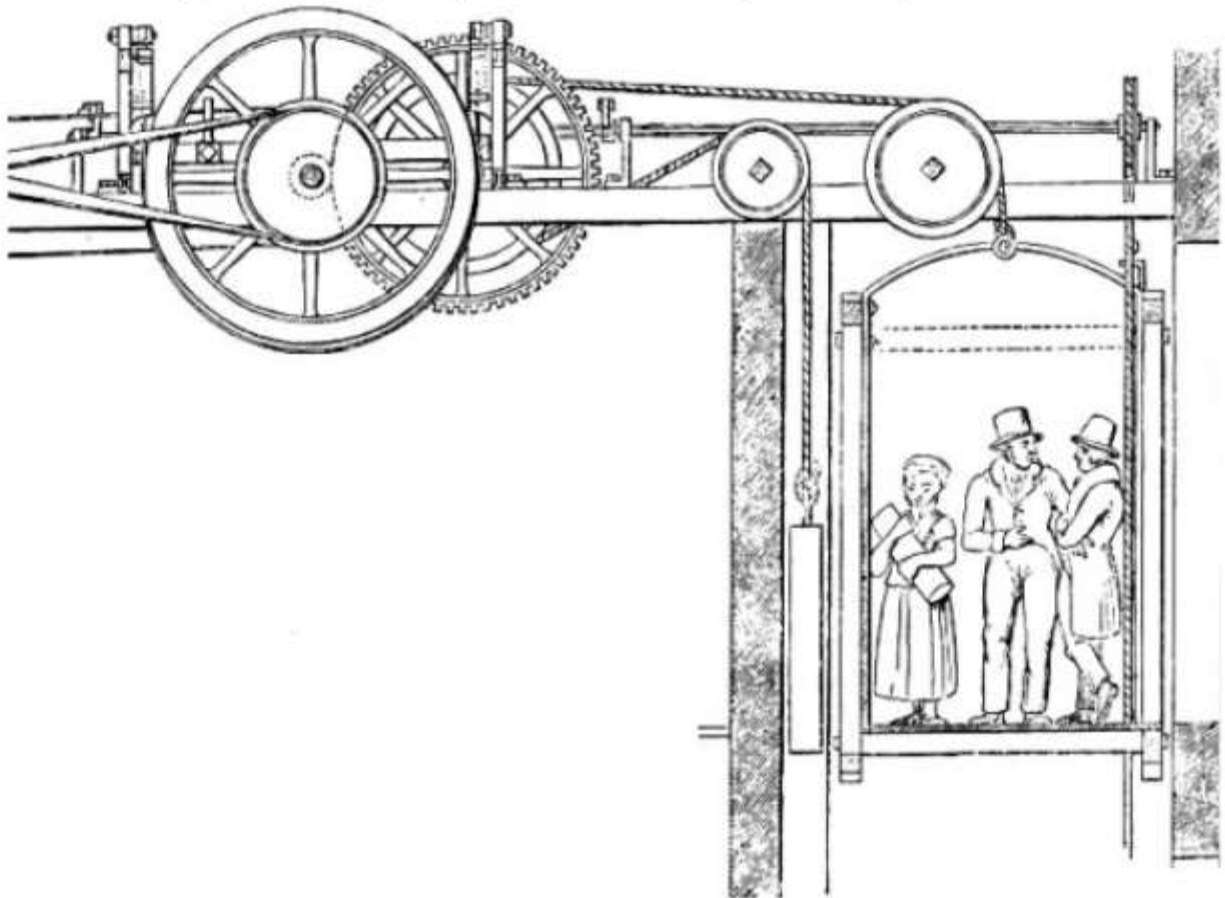
Os estilos arquitetônicos que sucederam a Renascença são difíceis de serem diferenciados, porque durante longos anos os arquitetos fizeram uso das mesmas formas básicas inspiradas nas ruínas clássicas: colunas, cornijas, pilastras, entablamentos, molduras, entre outros. No século XVIII a arte passa a ser uma disciplina ensinada em academias, sendo assim, os antigos métodos passados de mestre para aprendiz entram em declínio. Até então, na arquitetura e na arte, a maioria das obras eram feitas conforme o que era tido como o "certo" e o belo. O estilo predominante começa a ser questionado e surge a primeira consciência individual de gosto, a partir de então, os indivíduos começam a escolher seus estilos de casas (GOMBRICH, 2000).

O contexto tecnológico formado a partir da Revolução Industrial envolveu novos tipos de materiais, técnicas de concepção e execução de bens materiais, bem como, novos agentes e processos. Ao ser implantado na arquitetura, o modelo de industrialização capitalista trouxe novas necessidades para a representação. O desenho técnico representa a arquitetura e fornece os dados necessários para execução do projeto, ou seja, conteúdos numéricos, textuais, quantitativos, entre outros. Com o aumento da complexidade dos edifícios, não era mais possível que apenas os desenhos técnicos arquitetônicos detivessem todas as informações necessárias para que os executores da obra compreendessem o projeto, criando a necessidade de projetos complementares (CATTANI, 2006).

No século XIX as tradições do artesanato e o trabalho manual deram lugar à produção mecânica e a oficina cede lugar à fábrica. Os resultados eram visíveis na arquitetura, que construiu mais do que todos os períodos anteriores da humanidade. Enormes extensões de campos da Inglaterra e dos Estados Unidos foram transformadas em áreas construídas, no entanto, a arquitetura não possuía um estilo próprio. Até então, havia sido comum fazerem uso de regras empíricas e livros de modelos, mas os métodos foram descartados por serem "muito simples e pouco artísticos" (GOMBRICH, 2000).

Do ponto de vista técnico, os projetos do século XIX na América do Norte tornaram-se mais complexos, devido principalmente, a utilização de estruturas metálicas, instalações de elevadores (figura 10), luz elétrica, aquecimento central, encanamentos e sistemas de ventilação (LANDAU, 1996 apud JONES, 2006). Essa evolução construtiva, assim como as que ocorreram no Renascimento, criaram para a profissão do arquiteto e para a representação arquitetônica, a necessidade de alcançarem uma complexidade maior. Em conjunto com engenheiros e especialistas de outras áreas, os arquitetos deveriam assegurar com antecedência e por meio das representações projetuais, a correta execução de todos os novos elementos construtivos (WOODS, 1999 apud JONES, 2006).

Figura 10 - Ilustração esquemática de elevador após a Revolução Industrial



Fonte: TEAGLE ELEVATOR (2021)

Partindo especificamente para o desenho técnico do século XX, Panisson (2007) afirma que as projeções ortogonais sistematizadas por Monge continuaram fazendo parte da representação arquitetônica ao longo dos anos. Nesse período surge a "Arte Moderna", tida como período de forte rompimento com as tradições do passado. Movimentos como o expressionismo distorciam a natureza e chovacam pelo distanciamento da beleza em prol de uma arte que mostrasse a sinceridade da vida. Magritte em seu autorretrato tenta reproduzir as regras antigas de precisão e representação corporal, mas se dá conta de que não está fazendo uma cópia da realidade e sim criando uma totalmente nova (figura 11) (GOMBRICH, 2000).

Figura 11 - Pintura de René Magritte, Tentativa do impossível. Paris, 1928



Fonte: MOMA (sem data)

As representações fiéis às regras renascentistas deram lugar a pinturas abstratas, como as chamadas "hard edged" (figura 12), "colour field" ou "post-painterly". A representação se desvincula do real e as técnicas passam a ser utilizadas para criar novas realidades ou abstrações. Estas últimas como exercício de representação de uma narrativa sobre o próprio mundo moderno. Na década de 1980, o Movimento Moderno, tão respeitado e aceito, indicava sinais de que uma outra reviravolta era necessária. Nesse cenário surge o Pós-Modernismo. As pinturas abstratas e expressionistas tornaram-se alegóricas e maneiristas, fazendo referências a tradição e mitologia e as esculturas eram feitas de objetos compósitos e "high-tech". A pluralidade de estilos fez com que a arquitetura ou a arte mais recente, fosse confundida com o tradicionalismo anterior ao Modernismo. O Pós Modernismo surgiu como uma negação e um desejo de pôr fim ao Modernismo, processo cíclico característico da transição da maioria dos movimentos artísticos e arquitetônicos documentados (GOMBRICH, 2000).

Figura 12 - Pintura de "Hard Edge"



Fonte: KORDIC (2016)

Na arte, escultura e fotografia, se comparadas a arquitetura, é possível perceber uma maior liberdade de criação artística e de inflexão representativa com o passado. Essa afirmação não diz respeito ao objeto construído, nesse quesito a arquitetura se modificou abruptamente de um período a outro. No entanto, pouco se afirma a respeito de sua representação, que esteve sempre conectada ao objetivo de execução da obra. Nesse sentido, a arquitetura não pode abandonar o caráter científico de sua representação nascida no Renascimento. Ainda que as experimentações lúdicas permitam esse caráter, a representação arquitetônica para a execução projetual está sempre ligada a uma representação do que se verá.

Ao longo do capítulo foi evidenciado que o contexto de cada período histórico contribuiu para características e evoluções da arte e da arquitetura, seja no âmbito construtivo, educacional ou representativo. As mudanças alteraram a concepção do que é belo e do que é desejado para ser visto e construído. Em períodos onde os mestres construtores eram os detentores do conhecimento, estavam inseridos diretamente no canteiro de obras, o diálogo e os esboços se mostraram mais

objetivos e simplificados, uma vez que as explicações podiam ser realizadas diretamente na obra pelos arquitetos e construtores. Quando a construção era padronizada e apresentava características semelhantes, a existência de representações dos arquitetos se caracterizavam como forma de registro ou padronização. Fosse a representação artística de objetivos religiosos ou a representação projetual com objetivos de registro, reprodução e pela compreensão da mão de obra, a função de comunicar com clareza era alcançada através de representações simplificadas e claras. Ao passar a construir com mais técnica e originalidade, a representação da arquitetura transformou as suas generalidades em especificidades, dando ao projeto a função de prever soluções de problemas, exigindo ensino, simbologias e linguagens mais complexas. O capitalismo e as evoluções tecnológicas do setor construtivo originaram a necessidade de especialização dos profissionais e maior proximidade com a realidade, fazendo-se necessário a representação com o máximo de informações, a fim de antever ou prever possíveis problemas de execução. A eficiência torna-se fundamental. Com o surgimento de tecnologias digitais, a humanidade encontra ferramentas que possibilitam executar, experimentar e visualizar as representações com maior liberdade formal. A expansão estilística do Pós Moderno em conjunto com os avanços tecnológicos abre quase que sem precedentes as possibilidades de criação arquitetônica, no entanto, a arquitetura permanece tendo que representar o que se verá como seu produto essencial de trabalho. No próximo capítulo será evidenciado como as tecnologias modificaram a representação arquitetônica.

3. A ASCENSÃO DA MÁQUINA

Este segundo capítulo realiza uma contextualização histórica acerca da trajetória dos computadores, englobando sua invenção e evoluções mais significativas relacionadas à arquitetura. Em conjunto, é tratada a evolução da impressão 3D e de indivíduos e programas responsáveis por alterações no modo de representar, projetar e apresentar a arquitetura. Como consequência, também é pontuada a alteração causada no ambiente de trabalho dos arquitetos. No primeiro subtópico do capítulo, é incluído o contexto histórico e as evoluções da realidade virtual e outras tecnologias de grande impacto para a representação da arquitetura, enquanto no segundo subtópico, é abordado o impacto cognitivo da realidade virtual sobre os

projetistas, conseqüentemente, a influência sobre a representação arquitetônica e os desafios enfrentados por ser uma tecnologia em fase de desenvolvimento. Apesar de serem tecnologias diferentes, a realidade aumentada e a realidade mista são abordadas como complemento ao estudo sobre o impacto da realidade virtual na representação arquitetônica.

3.1. Evolução e impacto computacional na representação da arquitetura

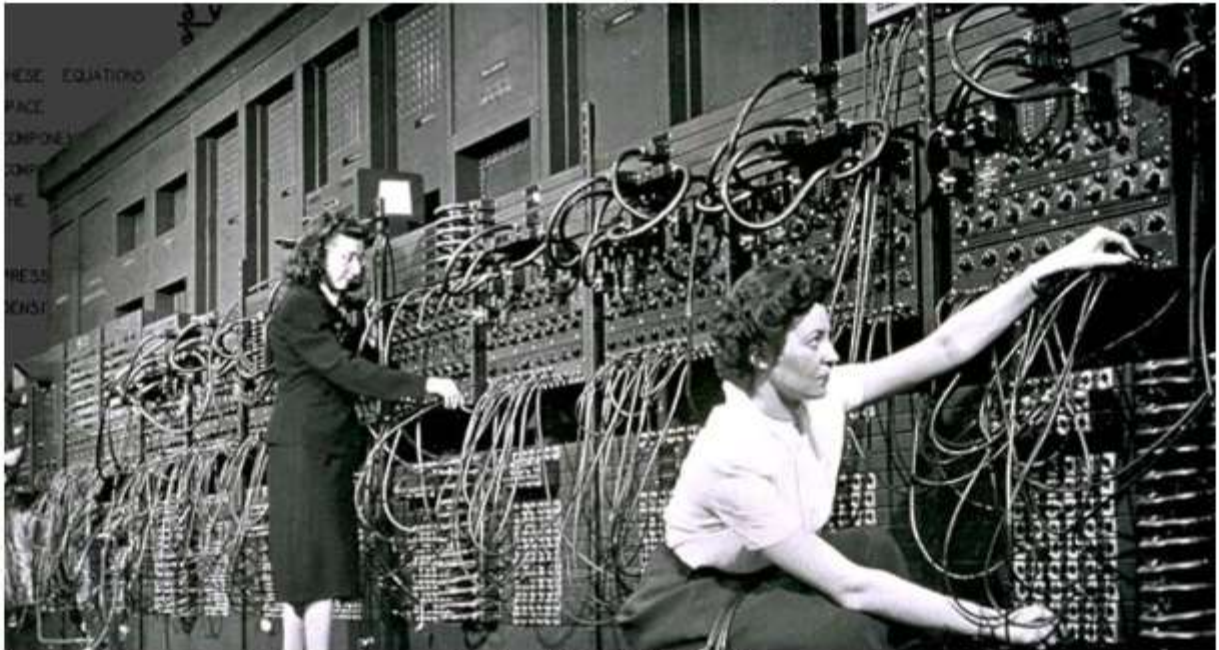
Este subtópico envolve a seleção de períodos e acontecimentos históricos específicos, tendo como objetivo principal contextualizar a invenção dos computadores, da impressão 3D, da realidade virtual e softwares de modelagem relacionados à arquitetura. Sendo assim, no início do desenvolvimento do texto, são apontadas invenções que criaram as bases para a inserção das tecnologias abordadas em sequência e que realmente passaram a ser utilizadas na arquitetura, trazendo alterações para a representação. A sequência de fatos é inserida ao longo do texto por meio de datas em forma de linha do tempo.

O início do subtópico aborda a invenção e o começo da evolução dos computadores. Com base na sequência temporal, é trabalhada a primeira invenção relacionada a realidade virtual e a simulação dos sentidos humanos: o Sensorama. Para introduzir o tema de programas que utilizam sistemas, como o CAD, é tratado sobre um dos métodos projetuais dentre os existentes que faz uso de regras pré estabelecidas e combinação de elementos em computador: o sistema generativo. A seleção de temas do subtópico envolve também a invenção e a evolução de tecnologias que tiveram seu surgimento não necessariamente pensado para uso na arquitetura, mas que posteriormente, foram adaptadas ou absorvidas pelo processo de projeto arquitetônico. Sendo este capítulo voltado ao período atual do uso das tecnologias que alteram a representação arquitetônica, foi realizada uma seleção de ferramentas já utilizadas na arquitetura: CAD, BIM, impressão 3D e aquelas que ainda estão em fase de evolução de uso na arquitetura: realidade virtual, aumentada e mista.

A ascensão da máquina computacional teve como grande marco inicial a invenção do Computador e Integrador Numérico Eletrônico (*ENIAC-Electronic Numerical Integrator and Computer*), em 1945 por meio de uma parceria entre a Universidade

da Pensilvânia ("UPenn") e a "Electronic Control Company", sob encomenda do Exército dos Estados Unidos (figura 13).

Figura 13 - Programadoras operam o primeiro computador eletrônico da história, o ENIAC Foto: ARL Technical Library / U.S. Army



Fonte: FRANZÃO (2021)

Em 1947, o uso de transistores permitiu a redução das enormes válvulas dos computadores, que começaram a ganhar uso comercial (figura 14). Em 1958, começaram a ser produzidos e utilizados nos computadores os circuitos integrados, que são o conjunto de transistores unificados em uma peça, atualmente mais conhecidos como chips. Na década de 1960, pesquisadores começaram a estudar o potencial da utilização dos computadores na arquitetura, que só se tornaria acessível à população em geral na década de 1980 (NEGROPONTE, 1972).

Figura 14 - Imagem do uso de computador com transistores em 1962

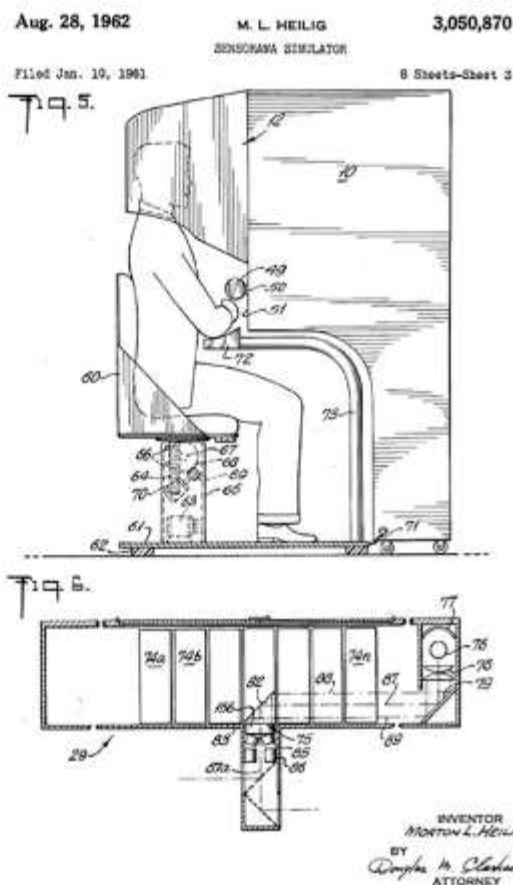


Fonte: MOHAI (Museu de história e Indústria - sem data)

Entre 1957 a 1962, não necessariamente ligado à evolução dos computadores propriamente ditos, é desenvolvida uma das primeiras criações semelhantes ao que se tornaria a realidade virtual no futuro. Criado por Morton Heiling, o dispositivo do tamanho de uma cabine que integrava projeção visual, áudio binaural, vibração e um

sistema que projetava brisas com odores predefinidos foi chamado de: O Sensorama (figura 15). A criação de Heiling apontou os primeiros desafios para se desenvolver experiências imersivas multissensoriais. Feito por componentes mecânicos e elétricos complexos, os estímulos do Sensorama deveriam funcionar de forma síncrona, isto é, para que sua experiência fosse realmente imersiva, os diferentes estímulos tinham que ser provocados simultaneamente. Imagens estereoscópicas, sons binaurais e vibrações, são estratégias de estímulos inventadas por Heiling que permanecem sendo utilizadas na realidade virtual de hoje (DE VASCONCELOS, 2021).

Figura 15 - Sensorama



Fonte: FEDOROV (2015)

No século XX, no que tange a área de projetos e computadores, eles passaram a se tornar uma ferramenta importante para potencializar as discussões acerca da automatização de processos de projeto. Um dos métodos que deu início à exploração de diferentes combinações aplicadas às formas arquitetônicas com o auxílio dos computadores e programação, foi o sistema generativo de projeto. Este

sendo estruturado por regras pré estabelecidas, explorando diferentes combinações de elementos e definições arquitetônicas. Ao determinar regras, preferencialmente bem definidas e limitadas, o processo generativo promove como resultado, possibilidades diversas de relações entre elas. Dependendo do objetivo do solucionador de problemas, a solução pode ser real ou abstrata, bem como, ser composta por uma sequência de operações ou determinar, por exemplo, um ponto específico. Após levantado um problema a ser solucionado, a informação que o compreende pode incluir dados verbais, gráficos, numéricos, entre outros (MITCHELL, 1975).

Mitchell (1975) divide o sistema generativo em três categorias de acordo com a forma que são representados: analógica, icônica ou simbólica. A analógica apresenta projetos potenciais de sistemas mecânicos, elétricos, entre outros. As operações para mudar o estado do sistema são mecânicas, e sofre influências, por exemplo, das leis da estática. A icônica sequência ocorre de forma literal, com mudanças de estado feitas através de operações gráficas, fazendo e apagando linhas ou editando um vídeo em câmera lenta, por exemplo. A simbólica envolve palavras, números e soluções matemáticas. São operações lógicas e de aritmética como adição, subtração e multiplicação. Nesta modalidade, o uso de um computador potencializa os métodos de projeto por serem capazes de possuir grande memória de dados e resolver operações aritméticas e lógicas com rapidez, tornando os computadores sistemas geradores de grande potencial. Mitchell conclui que o design realizado pela mente, também utiliza um sistema gerador simbólico, é como se o cérebro desempenhasse funções análogas à memória e unidade de processamento de um computador.

Mitchell (1975) afirma que a representação sob o aspecto computacional generativo ganha potencial por não apresentar apenas uma solução, mas variadas possibilidades diante do sistema criado. Contudo, o autor comenta que os computadores não podem tomar decisões de estilo e criatividade, o que é algo alcançado pelo arquiteto que não só irá produzir algo original, como também fará uso de características estilísticas próprias, que podem ser expressas indiretamente por meio dos códigos ao definir como os elementos se articulam e como o sistema se estrutura. Ele conclui que o computador é controlado e tem sua sequência

programada, potencializando inclusive as possibilidades exploratórias ao ter os parâmetros do sistema gerador definido e redefinido pelo projetista.

A representação de um projeto arquitetônico a partir de um sistema generativo, oferece variadas possibilidades, podendo serem elas formais, ou não. Estas possibilidades são obtidas a partir das iterações realizadas pelo computador dentro dos parâmetros pré determinados do projeto. Dessa forma, o sistema generativo representa a estruturação lógica dos parâmetros de projeto sendo estes definidos e articulados pelo projetista. Assim, a representação computacional resulta na representação do sistema gerador e na representação do seu resultado, sendo este, a solução arquitetônica obtida por meio de um novo método processual de projeto com computadores (MITCHELL, 1975).

O uso dos programas e computadores é responsável pela alteração da interação com o modelo projetado. Oxman (2006) aponta a interação ou interatividade com as representações como fator fundamental no processo de projeto. Ela defende que com o papel, o projetista se relaciona diretamente com as formas que desenha, enquanto o projeto no computador é mediado pelas especificidades que estão disponíveis no programa. Para Oxman, essa diferenciação implica em consequências teóricas e cognitivas para a interação projetual, defende a autora. A ascensão das máquinas significa que a evolução tecnológica resultou na utilização de novos meios de se representar, prototipar e visualizar a arquitetura. Sendo assim, a possibilidade de combinação entre desempenho, forma e função, para além do papel, alterou o modo de se pensar o projeto.

Mitchell (2005 apud OXMAN, 2006), defende que a arquitetura atingiu níveis mais altos de complexidade, uniu a materialização ao projeto e passou a oferecer respostas mais profundas, sensíveis às necessidades do local, programa e expressão do arquiteto, do que as técnicas anteriores permitiam. As características formais dos projetos também foram influenciadas pelas facilidades do uso de programas computacionais. Oxman (2006) comenta que com o uso de programas que permitem geometrias complexas, a arquitetura da década de 1990 foi marcada por diversidade e diferenciação formal.

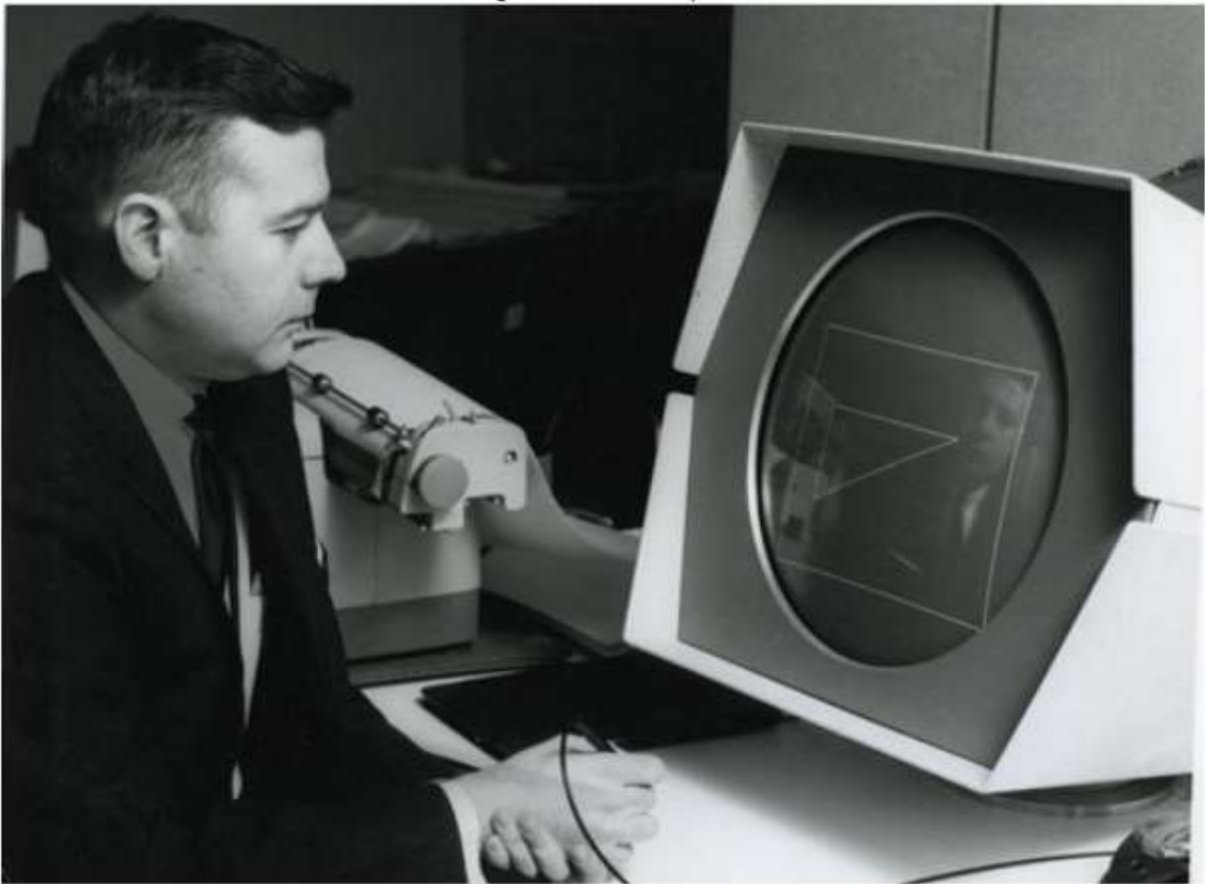
Para poder compreender como a definição dos computadores se relacionam a forma de utilizá-los na arquitetura, Terzidis (apud MENGES; AHLQUIST, 2011) diferenciou os termos *computation* e *computerization*. Ele definindo *computation* como o procedimento de calcular por meio de métodos matemáticos e *computerization* o ato de processar, inserir ou armazenar informações em um sistema de computador. *Computerization*, afirma o autor, envolve automação, mecanização, digitalização de processos predeterminados e bem definidos. Em contraste, a *computation* é sobre a exposição de processos indeterminados e vagos, envolvendo, por exemplo, racionalização, raciocínio, lógica, algoritmo, resolução de problemas, estruturas mentais, cognição, simulação e inteligência baseada em regras.

A arquitetura passou a utilizar os computadores como o principal meio de projetar, os conhecimentos acerca de processos que o arquiteto possui passaram a ser inseridos e manipulados em um sistema de computador. No entanto, a *computation* como uma ferramenta é limitada, os projetistas não utilizam todo o potencial dos computadores (TERZIDIS apud MENGES; AHLQUIST, 2011). Terzidis (apud MENGES; AHLQUIST, 2011) aponta uma escolha alternativa ao que vem sendo utilizado na arquitetura: o design algorítmico, que envolve a designação de *softwares* para gerar espaços e formas a partir de lógica e regras de programas de arquitetura, afirma ele. Essa alternativa, segundo o autor, utiliza linguagens de script e os designers podem ir além do mouse, ultrapassando as limitações definidas pelo *software* tridimensional atual. Apesar do método não solucionar todas as limitações do uso dos computadores, incorpora complexidade e criatividade ao processo de projeto. O autor pontua que tradicionalmente a arquitetura vem sendo discutida e produzida a partir da intuição e engenhosidade humana, enquanto o design algorítmico emprega métodos sem precedentes. A representação por meio de códigos, deixa de representar a realidade e registra um processo mental de articulação entre parâmetros e dados, afirma Terzidis. Por fim, o autor comenta que a representação desloca-se da imagem do objeto da realidade para a topologia dele, ou seja, o computador entra como um tradutor de códigos, gerando a representação a partir do sistema criado para o objeto projetado, armazenando dados e os articulando em operações de dados e de parâmetros estabelecidos.

O surgimento do *Computer Aided Design* (CAD ou DAC - Desenho Assistido por Computador) na década de 1950, significou a integração dos métodos científicos do computador com métodos científicos da engenharia em um sistema de computador, gerando um banco de dados e uma biblioteca de programas (ENCARNAÇÃO; LINDNER; SCHLECHTENDAHLI, 2012). O CAD consiste em um sistema de computador criado para auxiliar na criação, modificação, análise e otimização de um projeto ou produto. Para que seja utilizado, é necessário se ter um computador, periféricos (teclado e mouse) e um programa específico CAD. Por meio de comandos digitados no computador e processadas pelo programa CAD, o projetista cria imagens na tela em duas dimensões. Geralmente, a representação obtida envolve elementos geométricos simples como pontos, linhas e círculos, que podem ser modificados de acordo com outros comandos do projetista, para que o desenho seja ampliado, reduzido, movido, girado, entre outros (SARCAR; RAO; NARAYAN, 2008).

Na década de 1960 foram desenvolvidos editores gráficos computacionais como o "Sketchpad", "GRASP" e "LOKAT", criados em uma abordagem "baseada em sistema", semelhante ao sistema generativo. O "Sketchpad" (figura 16) aplicou ideias de restrições que poderiam propiciar o teste e a flexibilização das relações entre as geometrias na formação de um sistema geral, dando liberdade de representação de diferentes aspectos da forma, espaço e estrutura. O "GRASP", criado por Eric Teicholz, é um sistema generativo que utiliza procedimentos de criação aleatórias e restrições baseadas na inter-relação entre estrutura, exposição solar e organização programática. Dentre os programas criados nesse período, o "Sketchpad" desenvolvido por Ivan Sutherland foi reconhecido como um dos primeiros sistemas de desenho assistido por computador (CAD). O programa permitia que o projetista desenhasse na tela do computador e se destacou por definir métodos computacionais de sistemas inter-relacionados baseados em regras e associações (MENGES; AHLQUIST, 2011).

Figura 16 - Sketchpad



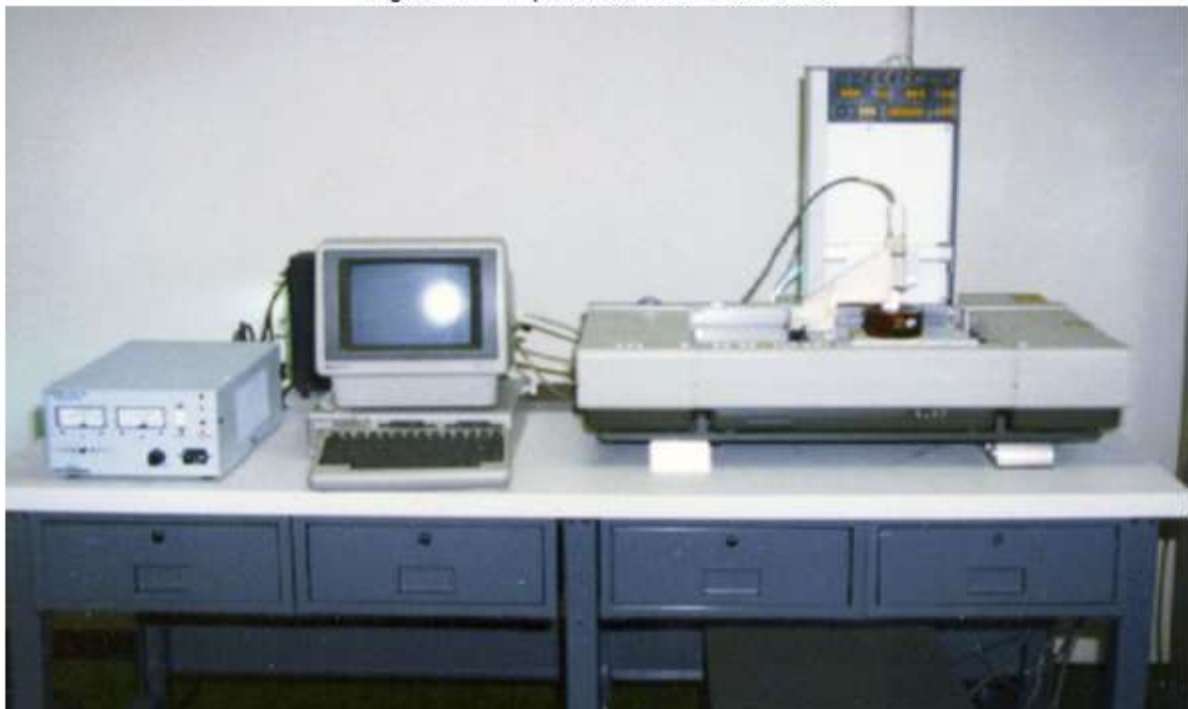
Sketchpad: VINTAGE EVERYDAY (2018)

Eisenman (1992 apud CARPO, 2012) afirma que durante os 50 anos desde a Segunda Guerra Mundial, ocorreu uma mudança que deveria ter afetado a arquitetura profundamente: a passagem do paradigma mecânico para o eletrônico. O autor compara essa mudança com a relação entre a fotografia e o fax. Na fotografia, o sujeito ainda desempenha uma interação controlada com o objeto, enquanto com o fax, o sujeito não é chamado para interpretar, pois a reprodução, a cópia, ocorre sem controle ou ajuste, desafiando o conceito de originalidade. A mídia questiona a realidade conhecida, o conceito tradicional de visão e introduz ambiguidades sobre como e o que se vê, no entanto, o paradigma eletrônico pouco afetou a arquitetura, afirma ele. Para Eisenman, a invenção da perspectiva por Brunelleschi correspondeu a um período de mudança de paradigma das visões teológicas e teocêntricas, para antropomórficas e antropocêntricas. A possibilidade de reproduzir a percepção de profundidade e bidimensionalidade, fez com que a perspectiva se tornasse o modo pelo qual a visão antropocêntrica se firmou na arquitetura. Portanto, Eisenman crê que desde o século XV, a arquitetura tem sido

dominada pela visão, assumindo que esta é uma forma natural de seus processos representativos e não um aspecto a ser questionado. O autor afirma que, mediante o uso de dados e simulações, o projeto computacional permite mudar a nossa visão sobre o projeto para uma visão abstrata cujo resultado não é um retrato de uma realidade, mas das ações de forças abstratas atuantes em um modelo.

No fim da década de 1970, no mesmo período em que os computadores domésticos estavam se popularizando, diferentes métodos de fabricação aditiva (impressão 3D por meio de adição de camadas sucessivas) com o uso do computador começaram a ser criados. No entanto, estes métodos não eram muito utilizados para além da aplicação no contexto industrial, exceto na indústria eletrônica. Na década de 1980 foram inventadas patentes significativas de fabricação aditiva, por exemplo, a estereolitografia (figura 17), inventada por Charles Hull em 1988. A evolução das tecnologias de impressão tridimensional demonstra aumento pelo interesse na materialização das representações, que deixaria de ser apenas uma representação bidimensional ou tridimensional em um ambiente bidimensional, para o ambiente físico tridimensional, favorecendo a interação e contato físico com o objeto idealizado.

Figura 17 - Impressora SLA-1 em 1988



Fonte: FUTURTRIBE (2020)

Em 1980, Jaron Lanier da “American VPL Research Inc.” uma das primeiras companhias que desenvolveu e vendeu produtos de realidade virtual, possuía interesse em desenvolver formas de experimentação virtual “pós-simbólicas”, que permitissem que as pessoas tocassem simulações como imagens e sons através de modelos dinâmicos. Em 1984, Lanier dá o primeiro grande passo em direção a sua criação ao desenvolver uma linguagem de programação visual. O objetivo de Lanier era tornar a programação de computadores acessível a um maior número de pessoas (DE VASCONCELOS, 2021). A VLP desenvolveu o “EyePhone” (figura 18), sistema que mesclava o uso de luvas e óculos de visualização tridimensional, permitindo visualizar e mover objetos em um ambiente criado por computador.

Figura 18 - “EyePhone” da VPL

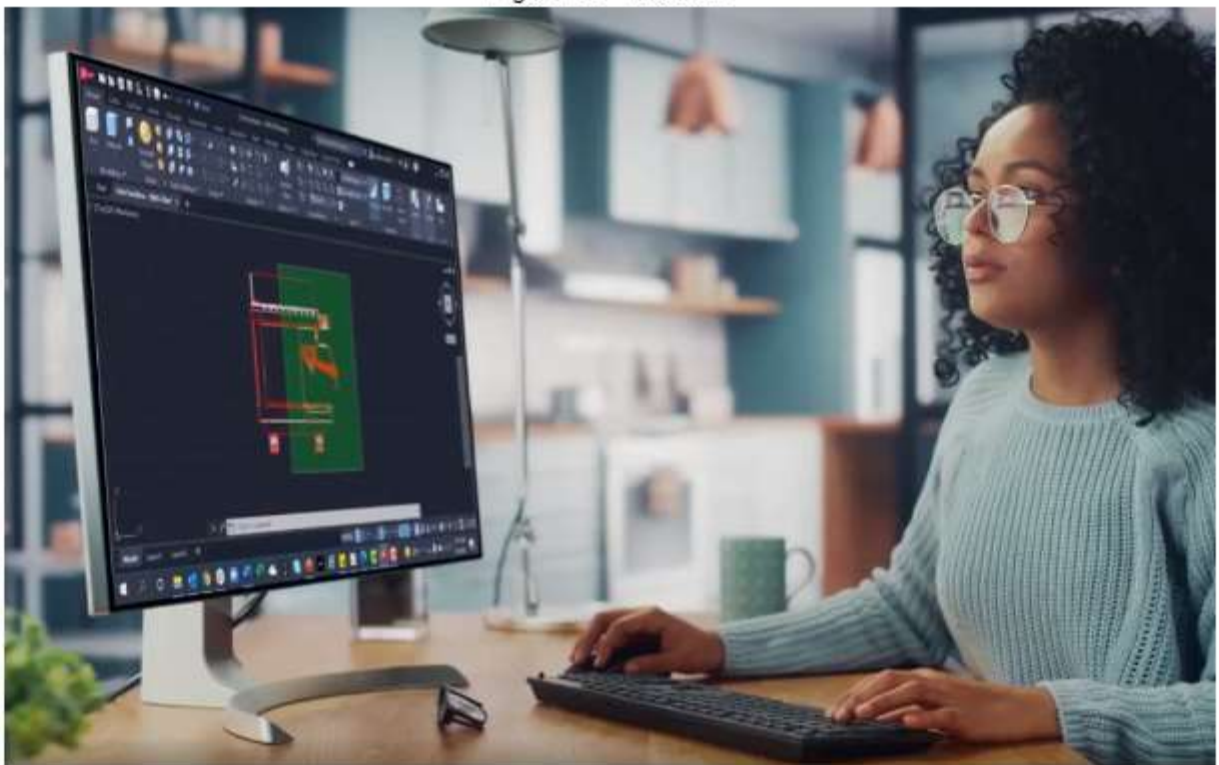


Fonte: SORENE (2014)

Em 1981 foi fundada a Autodesk, desenvolvedora do AutoCAD (figura 19), por programadores liderados por John Walker, engenheiro e desenvolvedor, e Michael Riddle, também desenvolvedor. Em 1985 a Autodesk vendeu mais de 25.000 unidades e começou a se tornar a empresa dona do *software* CAD mais utilizado em todo o mundo. Em 1988, a Autodesk implementou o Projeto Cyberia, para pesquisar soluções de realidade virtual. Na época a NASA (figura 20) e outras empresas

também realizavam pesquisas na área (DE VASCONCELOS, 2021). Após Jaron Lanier cunhar o termo “realidade virtual” em 1989, ela começou a ser usada no entretenimento e em simulações de treinamento por sua capacidade de reproduzir ambientes e situações semelhantes a realidade provocando imersão, sendo assim, situações que não poderiam ser simuladas com tanta precisão sem o auxílio de um ambiente virtual criado por computador, tornaram-se possíveis através da realidade virtual (ZOU; DENG, 2009).

Figura 19 - Autocad



Fonte: AUTODESK (2023)

Figura 20 - Uso de realidade virtual pela Nasa



Fonte: VRTIFACTS (2010)

O AutoCAD permaneceu evoluindo em grande escala, diferente da realidade virtual da Autodesk, e apesar de ter otimizado o processo projetual, o AutoCAD não necessariamente melhorou a qualidade dos projetos arquitetônicos. No entanto, o uso de programas como o AutoCAD alterou o espaço físico dos escritórios de arquitetura, além de mudar o processo do projeto. Antes de seu uso, os arquitetos utilizavam grandes pranchetas, lápis, borracha, papel manteiga, e desenvolviam projetos de uma forma mais demorada, conseqüentemente, havia a necessidade de equipes de trabalho composta por mais indivíduos ocupando ambientes maiores (DE VASCONCELOS, 2021). As equipes e ambientes de trabalho permaneceram existindo, mas ocupando menor espaço e perdendo a necessidade de algumas funções. As pranchetas deram lugar a mesas de computadores ou espaços individuais para uso de notebooks. Com a conexão de rede, grande parte dos envios de arquivos de projetos passaram a ser feitas via internet, reduzindo a necessidade de indivíduos unicamente focados em organizar pranchas impressas ou grandes espaços para as impressoras, fax, atendimento a telefonemas. Por conseguinte, a rede hoje proporciona o trabalho remoto, com equipes compostas por indivíduos que trabalham de suas próprias casas ou espaços de trabalho compartilhados. A integração da equipe pode ser feita por chamadas virtuais, aplicativos de comunicação ou telefonema.

Em 1992 o termo “realidade aumentada” (RA) foi cunhado, no “Boeing Computer Service”, quando Caudell e David Mizella inventaram um programa que sobreponha a visualização da posição de peças de aeronaves para auxiliar em suas montagens. Diferente da realidade virtual (RV), a RA com a ajuda de um celular, tablet, entre outros, sobrepõe a visualização do mundo real com informações digitais, por exemplo, imagens, áudio, vídeo e sensações táteis (KIPPER; RAMPOLLA, 2012). O uso da RV fundida a RA, resumidamente, resulta na realidade mista (figura 21), o que evolui a utilização dessas tecnologias. A realidade virtual sem a privação de visibilidade do entorno real, retira problemas de vertigem e necessidade de espaço de uso, que é o que ocorre na realidade mista. A realidade mista permite que a representação exerça papel nos processos de execução de obra, por exemplo, auxiliando no alinhamento de blocos da construção civil, encaixes de peças, ou manutenção das instalações que caminham na vedação.

Figura 21 - Realidade mista sendo utilizada para manutenção de maquinário



Fonte: ALMAGOR (2019)

Carpo (2017) afirma que diferente da maioria das outras áreas, a arquitetura tende a se atrasar na adoção de avanços tecnológicos, porque ao contrário da indústria automobilística, por exemplo, que faz uso de maquinário para a produção em massa de veículos idênticos, as casas não poderiam ser produzidas e repetidas em massa, porque possuem particularidades de interesse do cliente, estilísticas do arquiteto,

condicionantes climáticas, do terreno, entre outras. No entanto, Carpo defende que com a virada digital da década de 1990, os arquitetos adotaram as ferramentas digitais mais rápido do que qualquer outro comércio, porque o uso dos computadores passou a ser destinado a produzir variações e não cópias idênticas. Arquitetos como Greg Lynn (figura 22) e Bernard Franken começaram a trazer para o projeto arquitetônico a utilização de programas usados na animação, cinema e videogames. Essa prática ampliou as opções de ferramentas de concepção tridimensional e uso de novas técnicas como a animação, programas e ferramentas digitais, permitindo gerar mudanças no processo de criação, tornando-o mais imersivo com experimentações que resultam da interação com a animação em si, ao invés de trabalhar apenas com formas pré definidas (HENRIQUES, 2007). A animação envolve a representação de elementos orgânicos, naturais, animais ou imaginários, essa característica empregada aos *softwares* responsáveis por suas modelagens, trouxe para a representação arquitetônica uma abertura de perspectiva de experimentação formal diferente dos outros projetos da década. Com acesso a tecnologias que possibilitaram experimentações formais e de desempenho, os arquitetos da década de 1990 inauguraram um novo modo de representar e criar a arquitetura com o uso dos computadores, métodos de solução de problemas, softwares de modelagem, animação e sistema generativo.

Figura 22 - Exibição de Greg Lynn, "The Architectural Imagination" de 2016



Fonte: E-FLUX ARCHITECTURE (2017)

Mesmo diante dos avanços tecnológicos que a representação sofreu, Jantzen (2001 apud PANISSON, 2007) defende que o computador não acrescentou nada às representações em termos de concepção de espaço que Monge já não tivesse sistematizado. Para o autor, a única diferença trazida pelos computadores é a animação do desenho, já que a representação do espaço feita hoje na tela é fruto da intuição descrita por Kant e desenhada por Monge. Como complemento para tal afirmação, pode-se trazer o que defende Panisson (2007), de que não existe profunda distância entre geometria descritiva e a informática utilizada na arquitetura, já que a base da geometria descritiva é a matemática. Sendo assim, a geometria descritiva incorporada à teoria mongeana permanece aplicada na representação arquitetônica quando se passa do formato manual para o digital.

Apesar das defesas justificáveis dos autores, é importante levar em consideração as modificações inegáveis que o uso do computador trouxe a integração de ferramentas, tipologia de visualização, agilidade e no modo de pensar e produzir a arquitetura. Por conseguinte, a computação permitiu uma transformação do desenho a mão, antes limitado pela capacidade de desenho manual humano. Os indivíduos

passaram a possuir uma máquina que contém todas as regras matemáticas já estabelecidas para a tridimensionalidade e a liberdade de criação formal sem precedentes por meio dela. As novas experimentações formais orgânicas, foram incentivadas pelo uso dos computadores e softwares tridimensionais que passaram a realizar cálculos e procedimentos geométricos de maneira automatizada, operacionalizados apenas por comandos, fazendo do projetista um operador. No entanto é importante destacar que essa automatização e facilitação operacional contribuiu e favoreceu o projetista a se dedicar a aspectos voltados às questões cognitivas, ou seja, reflexivas sobre o projeto.

A tecnologia contribui para ampliar as dimensões da representação. No Instituto de Tecnologia de Massachusetts em 1990, foram desenvolvidas tecnologias com a marca registrada de impressão 3D e envolvia a fabricação com jatos de tinta, depois desse período, o termo impressão 3D passou a ser usado amplamente. Até o começo da década de 2000, as impressoras 3D eram normalmente empregadas na indústria de prototipagem. Por volta de 2005, começaram a surgir iniciativas de oferecer impressoras de baixo custo para pessoas físicas. A prototipagem rápida por meio da impressão 3D (figuras 23 e 24) com o uso dos computadores possibilitou a materialização, estudos de iluminação, composição formal, escala e outros, em modelos tridimensionais reduzidos de arquitetura.

Figura 23 - Impressão em SLA



Fonte: ŚLUSARCZYK (2018)

Figura 24 - Impressão em SLA



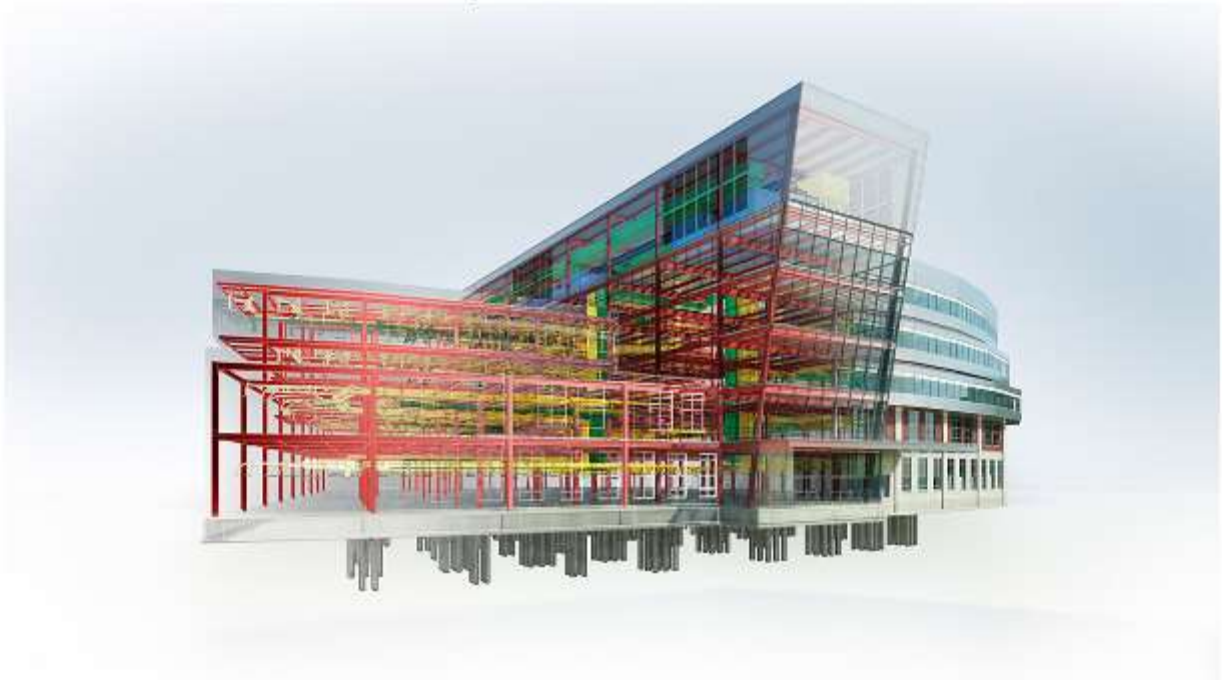
Fonte: FORMALABS INC (2018)

Tornando-se parte essencial do fluxo de trabalho de escritórios de arquitetura como o Morphosis, por exemplo, a impressão 3D de sistemas do projeto se mostrou um

importante aliado na colaboração entre arquitetos, engenheiros, fabricantes e construtores (DOSCHER apud MARBLE, 2012). Doscher (apud MARBLE, 2012) defende que fazendo uso de modelos em 3D, os empreiteiros podem ser mais produtivos por não precisarem tentar interpretar intenções de modelos em 2D, além disso, um modelo digital bem estruturado tem capacidade de transmitir informações que vão além do projeto, fornecendo uma lógica sequencial estruturada para que a execução da obra seja realizada.

Eastman (2021) afirma que os computadores permitiram aos arquitetos projetarem usando ferramentas como o Desenho Assistido por Computador (CAD), porém, elas permaneceram limitando o projeto a duas dimensões, assim como o desenho à mão. Com a criação do CAD 3D, que permitiu a modelagem tridimensional, o autor afirma que apesar de ter ajudado no entendimento dos modelos e uma melhor visualização do protótipo final por parte dos clientes, não contribuiu para que o construtor executasse o projeto. Eastman levanta o ponto de que tradicionalmente, as representações em 2D dos projetos são fragmentadas e dependentes da comunicação das equipes, ocasionando erros e omissões nos documentos em papel e resultando em custos imprevistos na execução. Medidas ao longo do projeto de integração de equipe em campo e a invenção do BIM (figura 25), surgiram como uma busca para solucionar esses problemas. Eastman definiu o BIM (do inglês, Building Information Modeling, Modelagem da informação da Construção) como um facilitador de processos para serviços de arquitetura, engenharia e construção modernos, oferecendo suporte para todas as fases do projeto e análise, além de integrar processos de projeto e construção, reduzindo custos, prazos e fornecendo como resultado modelos de geometria precisa, com dados para suporte às atividades de construção.

Figura 25 - Modelo em BIM



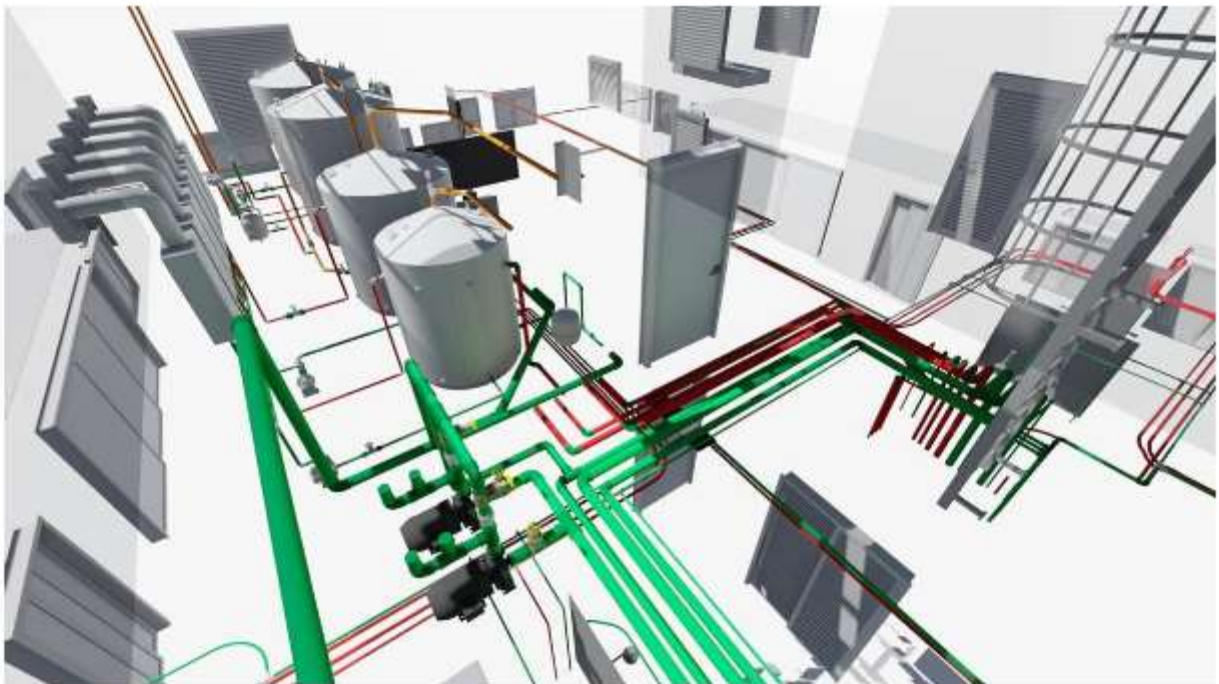
Fonte: PSA SISTEMAS (2018)

O BIM envolve o uso de softwares de modelagem 3D e é composto por elementos que carregam informações de projeto. Para entender a diferença do BIM para as modelagens tradicionais em 2D, é importante compreender o conceito de objetos paramétricos. Como o próprio nome sugere, a parametrização envolve a determinação de parâmetros determinantes e restritivos, funcionando como regras para todos os itens modelados, como portas, paredes, janelas ou outros. É possível determinar, por exemplo, que a altura das paredes esteja sempre associada à altura do teto, ou que ao aumentar o comprimento de um guarda corpo, uma quantidade pré estabelecida de perfis será gerada, de acordo com os parâmetros de espaço disponível e espaçamentos mínimos entre os perfis. Os parâmetros também servem para que as restrições impeçam modelagens "falsas" ou facilmente manipuladas, dificultando a obtenção de dados incoerentes e para que seja possível obter resultados e quantitativos do modelo.

Com o BIM, a modelagem manteve a representação de plantas baixas em 2D, porém, os elementos automaticamente incorporam suas informações tridimensionais, ou seja, ao modelar uma parede em planta baixa, é necessário determinar sua altura, pré determinar suas camadas e espessuras e se desejado, informações de custo, local, descrição, especificação, resistência, entre outros. Os

objetos contêm dados globais dentro do programa, que podem ser extraídos posteriormente em forma de tabelas. O arquivo do projeto em si, também incorpora dados de localização que possibilitam estudos solares e de sombra conforme a localização real do empreendimento. As alterações, sejam de informação ou modelagem, acontecem simultaneamente nos planos de visualização ou extração, como cortes, fachadas, perspectivas, pranchas e quantitativos. Em um só modelo é possível mesclar os projetos de diferentes disciplinas e analisá-las em conjunto, reduzindo incompatibilidades (figura 26). O BIM aproximou o entendimento do projeto com sua real execução e transformou a representação das linhas bidimensionais em uma representação que incorpora tridimensionalidade e dados inteligentes.

Figura 26 - Compatibilização de instalações em BIM



Fonte: TECNOSIL (2018)

A arquitetura vem sendo palco de experimentações digitais geométricas, representativas e programáticas. Com a capacidade computacional aumentada em programas de modelagem 3D, novas tecnologias de fabricação e a pauta crescente da mecânica de programação de computadores, a representação arquitetônica vem sendo expandida em termos de forma e de desempenho (MARCUS apud MARBLE, 2012). Analisando a forma, métodos de montagem, custo, tempo e sustentabilidade,

o controle digital permite hoje que um melhor resultado seja alcançado por meio das restrições matemáticas dos computadores e a capacidade de levantamento de dados (DENARI apud MARBLE, 2012).

A representação, em termos de ferramentas para sua criação, visualização e produto final, foram modificados com as evoluções tecnológicas, por conseguinte, o modo de buscar compreensão espacial e os métodos de criação de projeto foram somados a novas possibilidades. As linhas que compõem os desenhos, as lógicas das perspectivas, a matemática formal, permanece existindo em prol do objetivo final do projeto, que é a construção de um elemento físico, porém, os meios para sua criação foram realocados para o âmbito digital, através de programas formados pelas regras da programação, no entanto, sempre regidos pelo arquiteto.

3.2. Realidade virtual, aumentada e mista na representação da arquitetura

Com a realidade virtual, aumentada e mista, tem-se as ferramentas mais recentes capazes de alterar não somente a visualização dos projetos, mas o meio de experimentá-los e representá-los. Este subtópico tem o objetivo de se aprofundar nessa temática, porque no presente, são as tecnologias que possuem grande potencial de alterar a arquitetura. A transposição do desenho em papiro para as telas e computadores, modificou o meio de se representar a arquitetura, essas tecnologias já são uma realidade de alteração semelhante, por oferecerem ferramentas e níveis de imersão completamente diferentes do usual.

Atualmente, a realidade virtual, aumentada e mista, estão inseridas em vários tipos de locais e situações, como filmes, jogos, celulares, carros, óculos e óculos de realidade virtual. A realidade aumentada faz uso da câmera dos smartphones para reconhecer itens físicos, identificar seus nomes, rótulos, fazer traduções em tempo real, mostrar como roupas e maquiagens ficam nos usuários, visualizar móveis e pinturas em determinado espaço. Enquanto isso, a realidade virtual também se faz presente no ramo de jogos virtuais, laboratórios de pesquisa (figura 27) e indústria (figura 28), por exemplo, que faz uso de ferramentas sensoriais como óculos, luvas e áudio. A expectativa é de que essas tecnologias alterem drasticamente a interação entre pessoas pelo uso da telepresença, passem a permitir compras, participação de

eventos e ações semelhantes, por meio de interações virtuais entre outros meios (GEENGARD, 2019).

Figura 27 - Laboratório de pesquisa de realidade virtual da Deakin University



Fonte: DEAKIN UNIVERSITY (sem data)

Figura 28 - Realidade virtual em treinamento de segurança



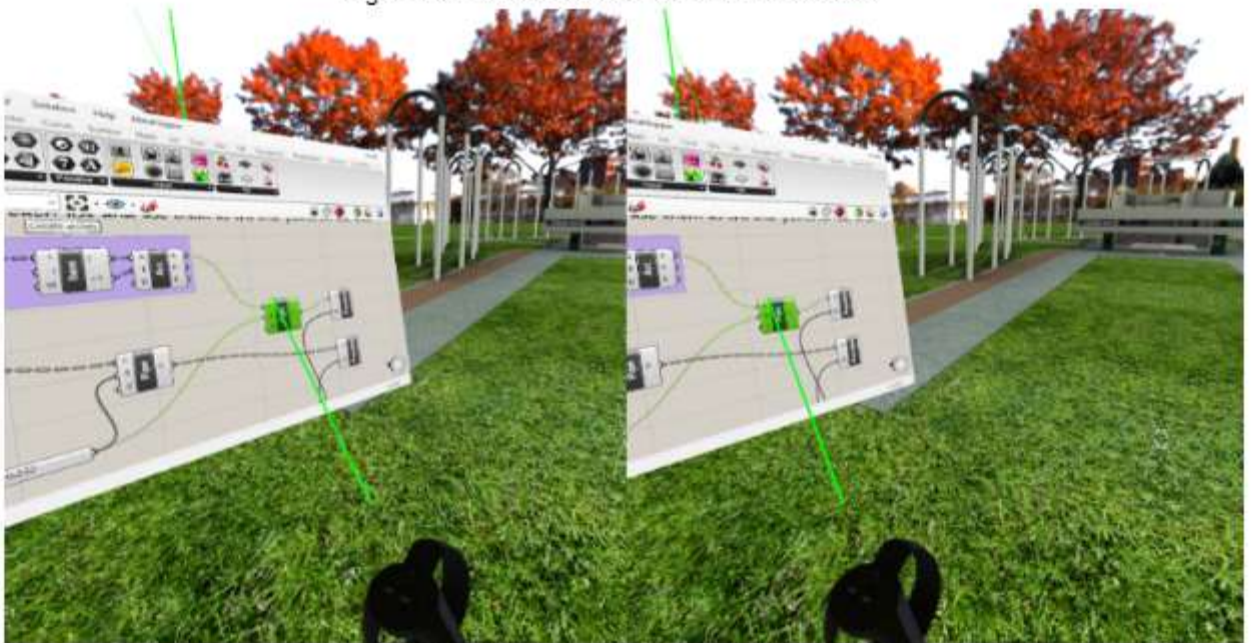
Fonte: PHYS (2016)

As tecnologias imersivas tem se mostrado um meio capaz de entrelaçar na arquitetura os métodos de inovação visual nascidos das artes visuais e ciência, mostrando-se importantes para a compreensão da produção formal de projeto no

espaço computacional. Inovações que permitem a imersão podem fazer com que a criatividade e a racionalidade tenham uma nova forma de serem visualizadas, tendo ainda como contribuição, a possibilidade de uso dos sensores de movimentos corporais compatíveis com a realidade virtual atualmente (BRUNETTI, apud HEMMERLING; COCCHIARELLA, 2017).

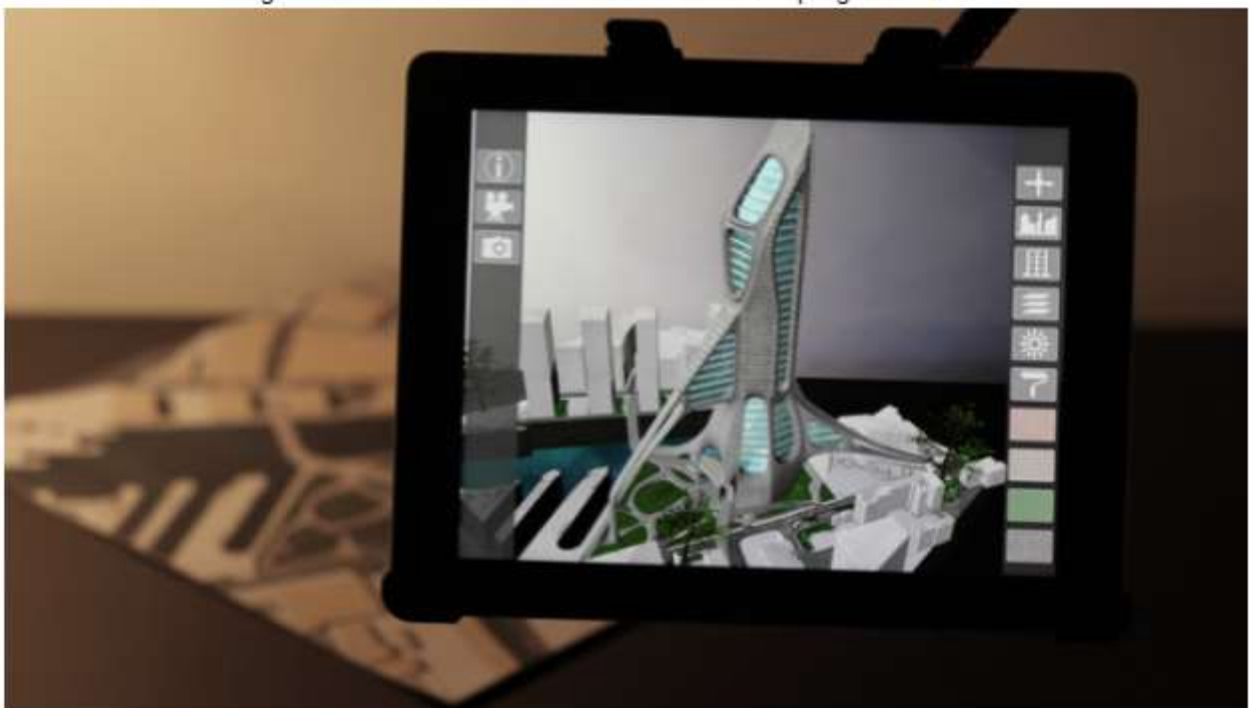
A princípio, a inserção da realidade virtual no processo de projeto arquitetônico trouxe dúvidas, por exemplo, pelo uso de softwares complicados. Atualmente, ela se tornou compatível com programas de modelagem tridimensional e BIM, como o Revit, SketchUp, Rhinosceros (figura 29), 3DS Max, Navisworks e ArchiCAD, programas de uso comum por parte de arquitetos e engenheiros. As conexões dos equipamentos podem ser feitas com computadores, dispositivos autônomos (possuem sua própria fonte de energia) e celulares. Nos últimos anos, a evolução dos equipamentos de realidade virtual, tornou-a um pouco mais acessível a projetistas e estudantes, e passaram a existir aplicativos para celulares e tablets, aproximando os arquitetos da possibilidade de integrarem a realidade virtual em seus processos de projeto (GEBCZYŃSKA-JANOWICZ, 2020). A realidade aumentada pode ser executada com o uso de tablets ou celulares através de aplicativos que suportam arquivos dos programas de modelagem tridimensional como ARki (figura 30), Storyboard VR, Smart Reality, entre outros.

Figura 29 - Realidade virtual no Rhinosceros



Fonte: DERANEN; FRAGUADA; BIHAN (2018)

Figura 30 - Realidade aumentada em tablet no programa ARki



Fonte: GROZDANIC (2017)

A realidade virtual hoje é executada em sua maioria, através da junção de computadores, programas, óculos de realidade virtual, fones de ouvido e controles ou *joysticks*, que ao ser segurado, permite que uma representação virtual das mãos seja visualizada "dentro" da RV. É possível expandir a experiência por meio de equipamentos como trajes sensoriais (Tesla Suit - figura 31), esteiras de

deslocamento (Virtuix - figura 32), luvas que detectam movimentação (Haptx, Manus), entre outros.

Figura 31 - Tesla Suit



Fonte: PURTILL (2021)

Figura 32 - Virtuix



Fonte: OLSON (2021)

A realidade aumentada (figura 33) pode ser utilizada por meio de celulares e tablets, enquanto a realidade mista tem sido desenvolvida para ser usada com óculos que

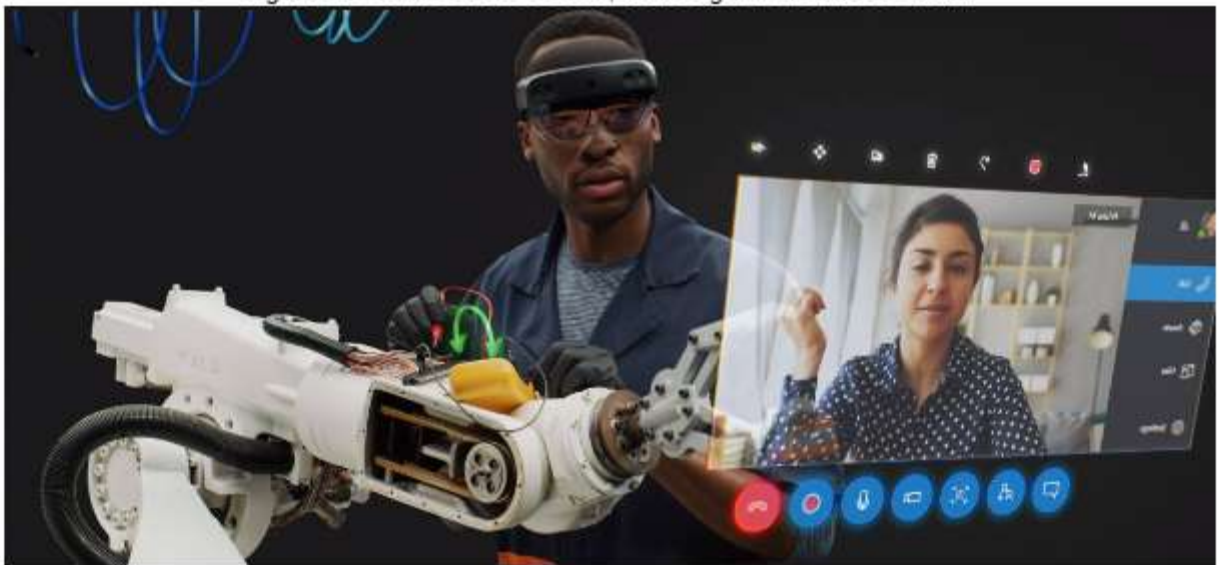
permitem a visualização do entorno ao mesmo tempo que se enxerga o que é projetado nos óculos (figura 34).

Figura 33 - Realidade aumentada em campo



Fonte: VIRTUALIST (2019)

Figura 34 - Microsoft HoloLens, tecnologia de realidade mista



fonte: MICROSOFT (sem data)

A Fologram, empresa para pesquisa, projeto, tecnologia e prática voltada para realidade mista, realizou em parceria com a All Brick e a Universidade da Tasmânia, a construção de uma parede curva de tijolos (figura 35 e 36) com o uso da realidade mista. Dois construtores participaram da experiência e utilizaram o mesmo modelo de holográfico no lugar de linhas guias. Essa prática pode alterar não só a maneira

como se constrói, mas o modo como o projeto é desenvolvido, passando a ter o objetivo de servir como guia visual de execução de vedações e outros elementos construtivos (FRANCO, 2019).

Figuras 35 e 36 - Uso do Fologram para executar uma muro em bloco cerâmico



Fonte figura 35: FOLOGRAM (sem data) / Fonte figura 36: FRANCO (2019)

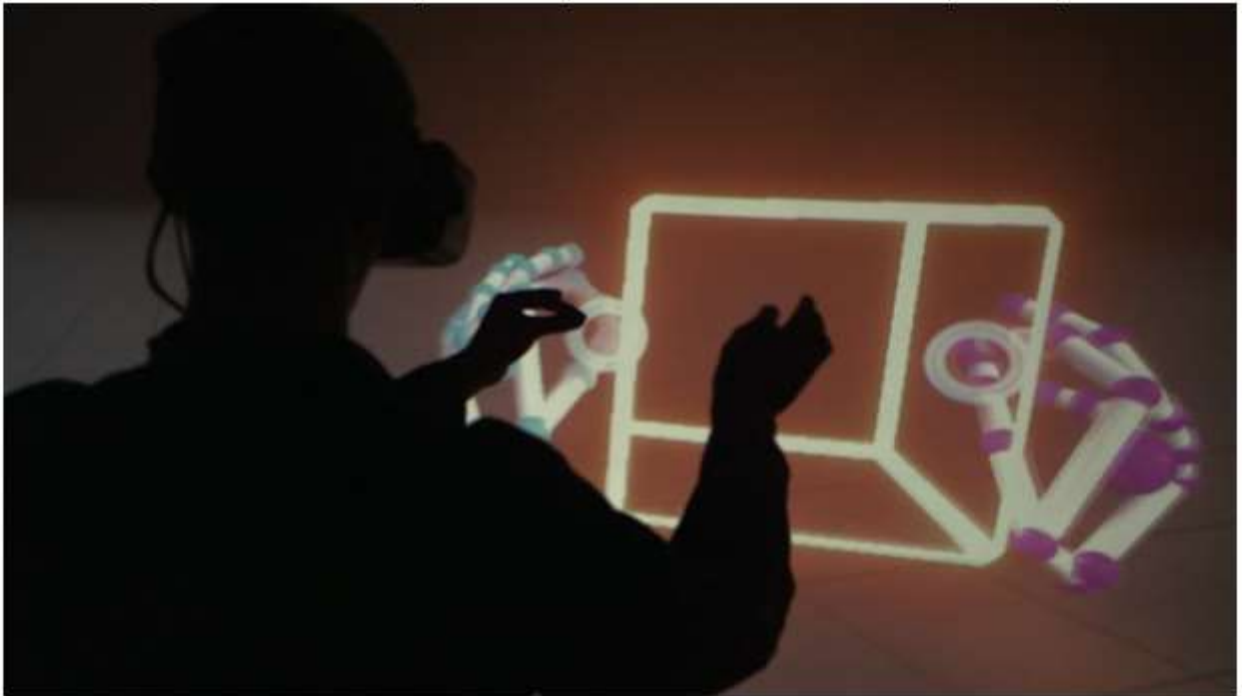
De Vasconcelos (2021) afirma que dependendo da tipologia de tecnologia, quando proporciona percepção espacial ou permite interação com os elementos ao redor, diferentes níveis de imersão são gerados. Um desafio atual para potencializar a

imersão nos espaços de realidade virtual, é o aumento do grau de simulação da presença. Com o BIM, continua o autor, tornou-se possível automatizar os desenhos técnicos parcialmente, tornando a documentação arquitetônica mais consistente, no entanto, nas fases iniciais do projeto que envolvem a criatividade, percepção espacial, e sensibilidade, pode não ser o método projetual mais adequado. Para Vasconcelos, o programa de arquitetura caminha na direção da otimização do processo de projeto, tornando a modelagem mais controlada e abstrata, em contrapartida, as experiências imersivas da realidade virtual caminham para tornarem-se menos abstratas, ou seja, estar "dentro" do projeto através da RV pode facilitar a experimentação e a percepção diante das espacialidades modeladas.

Os arquitetos já estão fazendo uso da realidade virtual em seus processos de projeto para testar layouts, compatibilizar o projeto arquitetônico com outras disciplinas, encontrar soluções, projetar estruturas, entre outros. O uso da realidade virtual, aumentada e mista ainda segue uma lógica projetual bastante relacionada à busca pela solução mais correta. Em sua fase de desenvolvimento atual, tornou-se possível modificar a modelagem das experiências imersivas praticamente em tempo real, ao mesmo tempo que se está "de dentro" da realidade virtual, por exemplo. Em contrapartida, os arquitetos continuam produzindo espaços de modo bastante semelhante com a década de 1990, porque os processos de projeto, o meio de utilizar os programas e lidar com a criação arquitetônica, ainda permanecem bastante voltados ao produto final de projeto e pouco ao processo de imersão, e conseqüentemente, compreensão dos projetistas na fase de criação, como a realidade virtual pode oferecer, por exemplo (DE VASCONCELOS, 2021).

Hoje os computadores oferecem *hardwares* (teclados e mouses) fixos para se manipular o visível na tela, algo que foi aprendido pelos usuários, mas que não exerce toda a capacidade de movimentação humana possível. A realidade virtual transforma o processo de modelagem por meio de alguns fatores, como a movimentação das mãos, já que com os *joysticks*, ou *handtracking* (figuras 37 e 38), existe maior liberdade de efetuar movimentos semelhantes aos que a humanidade já realiza no cotidiano com a instantaneidade dos comandos computacionais.

Figuras 37 - Handtracking da Ultraleap: sensores nas mãos são lidos pelo computador



Fonte: ULTRALEAP (sem data)

Figura 38 - Uso de handtracking com realidade virtual em projeto de arquitetura



Fonte: MAHON (2016).

As limitações do uso da realidade virtual entre os engenheiros e arquitetos levantadas por Sidani (2021), existem e segundo ele, ainda não foram solucionadas. Essas limitações encontram-se no grande tempo para renderizar modelos em BIM, compatibilizar interfaces entre programas e entre programas e equipamentos, existência de atraso nos quadros de imagens e baixa qualidade gráfica, o que gera

falta de realismo no ambiente experimentado e exige altos requisitos do computador. Todavia, com as simulações da realidade virtual e aumentada no processo de representação arquitetônica, outras tipologias de interação são iniciadas. No início dos anos 2000, Whalley (ANOVA apud KOLAREVIC; MALKAWI, 2006) citou que o uso dessas técnicas expande a percepção visual, permitindo processos colaborativos de projeto e que o indivíduo “veja dentro dos objetos”, auxiliando, por exemplo, na manutenção de edifícios já construídos. Como tecnologia em ascensão, o período de evolução da realidade virtual e aumentada, traz consigo questões problemáticas a serem superadas. Whalley acredita que os ambientes imersivos oferecem novas oportunidades de simulação e interação com o ambiente construído, desse modo, as vantagens de seu uso se tornarão cada vez mais evidentes à medida que sejam feitas otimizações conforme solicitações em ambientes que permitem *feedback* de usuários. Com a tendência de evolução que a realidade virtual, aumentada e mista possuem, é apenas questão de tempo até que as vantagens de seu uso sejam reconhecidas e essas ferramentas passem a fazer parte da lista de fatores protagonistas que causaram modificações no processo projetual e representativo da arquitetura.

Caso as tecnologias imersivas venham a ser utilizadas como parte do processo de projeto, o que os programas hoje permitem será mantido, por exemplo, visualizar a modelagem como um todo em 2D, 3D ou focar em um único trecho com ampliação. Isso se justifica, porque os óculos ainda funcionam de forma semelhante às telas, no entanto, somado a isso existe a possibilidade de experimentar a visão do projeto como uma simulação em escala real, de maneira individual ou coletiva. Transformando, dessa forma, o ponto de vista do projetista ao lidar com o modelo (figura 39). Não é necessário o compartilhamento da visualização por meio de uma tela por aqueles que estão sentados ao seu lado, a fim de apresentação da proposta de projeto, todos podem visualizar, imersos “ao seu lado” na simulação do projeto digital em uma realidade virtual. A liberdade de fazer um passeio pelo projeto pode oferecer análises mais minuciosas, já que ao somar o ponto de vista em escala real, é possível ir além da visualização da prancha e do zoom, permitindo a experiência e a interação semelhante ao que o espaço real possibilita.

Figura 39 - Realidade Virtual



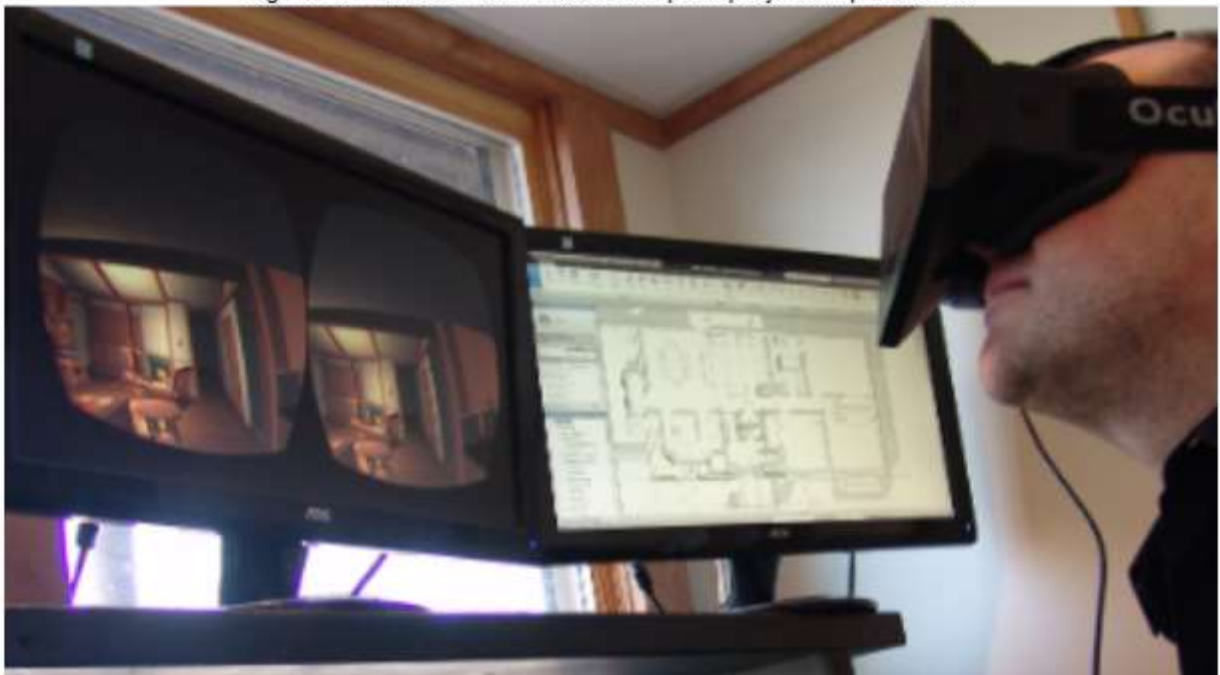
Fonte: BAKER (2022)

As tecnologias imersivas também são capazes de transformar o modo de enxergar a representação do projeto finalizado. Atualmente o formato do projeto em 3D já faz parte das entregas projetuais, porém, a linguagem de produto final ainda é bastante focada no desenho em plantas baixas, cortes, fachadas e perspectivas bidimensionais. Com o uso da RV, RA e RM, o 2D, 3D e a experiência em escala real existirão como um conjunto, já que o arquivo final do projeto permitirá a junção de todos esses formatos. Com a tendência de evolução que possuem, é apenas questão de tempo até que as vantagens de seu uso sejam reconhecidas e essas ferramentas passem a fazer parte do trabalho do arquiteto diariamente, transformando o processo de representação projetual, mas ainda é necessário driblar alguns desafios que essas tecnologias em fase de desenvolvimento apresentam.

Como citado, a criação do BIM (figura 40) de uma possibilidade de visualizar o projeto através da realidade virtual como uma de suas ferramentas nativas, representa um direcionamento significativo de integração entre realidade virtual e o processo de projeto arquitetônico. Contudo, a interação da RV com a modelagem

arquitetônica se encontra limitada principalmente à visualização, pequenas modificações e compatibilização de projetos. Não se pode modificar a modelagem ao estar utilizando a RV em BIM, por exemplo. Essa limitação pode ser justificada porque qualquer modificação em um elemento do modelo, significa necessidade de processá-lo novamente de forma completa, ou seja, a grande quantidade de dados incorporados ao modelo torna o processamento computacional para realizar essa tarefa um desafio caro (DE VASCONCELOS, 2021).

Figura 40 - Uso de realidade virtual para projeto arquitetônico



Fonte: BROUCHOUD (2013)

A realidade virtual se mostra eficiente em termos de relação com o usuário, para o convencimento, por exemplo. Se passar a ser usada com frequência pelos arquitetos, a realidade virtual pode substituir imagens e vídeos bidimensionais dos projetos atuais. Porque aproxima o arquiteto do projeto em escala real, dessa forma, contribui para a previsibilidade de conflitos, coloca integrantes de diferentes equipes “dentro” do projeto em conjunto, lidando de frente com as incompatibilidades, ou seja, a realidade virtual tem potencial para somar visualização, imersão, compatibilização de projeto e diálogo em tempo real. A realidade virtual permite uma experimentação de projeto e uma maneira de lidar com o objeto representado, acima do que é possível obter atualmente com as ferramentas mais utilizadas, todavia, é importante que a realidade virtual não se torne apenas uma ferramenta

representativa tendo essa possibilidade de experimentação espacial desprezada. (DE VASCONCELOS, 2021).

A distância afeta a maneira de projetar. Os deslocamentos permitidos pelo AutoCAD, são menores do que os do modelo BIM. Diferente do AutoCAD, o BIM permite deslocamentos internos, rotações tridimensionais, ocultar itens, entre outros, dando oportunidade para que o arquiteto possa assumir pontos de vistas diferentes. A realidade virtual pode permitir outros tipos de deslocamentos para o projetista. Embora programas de CAD e BIM permitam representar espaços tridimensionais, os arquitetos os visualizam por meio de uma tela bidimensional, portanto, a percepção é limitada pela tela. A realidade virtual tem capacidade de oferecer imersão em ambientes e situações improváveis, usá-la apenas para reproduzir experiências cada vez mais realistas pode limitá-la a proporcionar o que o "real", o físico, já realiza. Para incorporar a realidade virtual no fluxo de trabalho, o arquiteto precisa hoje preencher alguns dos pré-requisitos existentes, por exemplo, aprender a utilizar programas de modelagem tridimensional complexos comumente utilizados para a modelagem de jogos digitais e programação, processo caro e demorado. Outra opção é aprender a modelar elementos de RV dentro de programas específicos, como Gravity Sketch (figura 41), Blocks, entre outros (DE VASCONCELOS, 2021).

Figura 41 - Gravity Sketch



Fonte: GEO WEEK NEWS (2016)

O aumento da utilização da modelagem digital na arquitetura ocorreu quase que simultaneamente com os setores de comércio eletrônico, banco online, redes sociais, entre outros, no entanto, a arquitetura não acompanhou esses meios adjacentes citados em uma crescente semelhante em termos de evolução, como afirma Marble (2012). O ocorrido pode ser justificado pela rápida satisfação que os arquitetos desenvolveram com a produção visual alcançada após a ascensão das modelagens digitais. A valorização exacerbada da representação somada a necessidade de agilidade dos projetos, levou os projetistas a vivenciar um fascínio pelo realismo promovido pela tecnologia, utilizando a máquina como reprodutor automatizado das técnicas renascentistas e não valorizando todo o potencial intrínseco de algumas tecnologias digitais, como a realidade virtual e aumentada. Ambas permanecem tendo seu uso majoritariamente voltado para uma visualização e apresentação da modelagem tridimensional (MARBLE, 2012).

Apesar de fazer parte da rotina de alguns escritórios de arquitetura, a utilização de ferramentas como a realidade virtual ainda enfrentam desafios de evolução relacionados à existência de uma demanda. Primeiramente, é importante que a RV seja realmente percebida como uma ferramenta que evolui o processo projetual. O uso da RV precisa se tornar imprescindível ou no mínimo agradável e acessível aos arquitetos. É necessário que a indústria da realidade virtual adicione aos objetivos atuais focados em jogos, automobilística, redes sociais, entretenimento, entre outros, aos objetivos da construção civil. Para que ocorra uma evolução representativa, de visualização e experimentação da arquitetura e construção civil, é preciso que fabricantes de programas de modelagem tridimensional e RV trabalhem em conjunto na evolução de equipamentos e programações mais compatíveis com a área.

Desde a representação da arquitetura em pedras, papel e couro a arquitetura sofreu modificações variadas, mas talvez nenhuma tão significativa quanto a utilização dos computadores. O arquiteto passou a possuir uma ferramenta inteligente que se tornou parte indispensável de seu processo de criação. Essa ferramenta passou a permitir que das formas e ângulos reproduzidas em telas digitais, ocorresse uma escalada para sólidos e prototipagem da eficiência ou da impressão 3D do projeto. Como a humanidade dominou a compreensão da simulação através da perspectiva

estática, por exemplo, uma pintura, a simulação de uma perspectiva móvel por meio dos computadores e realidade virtual, permitiu acesso a um novo nível de relação com a representação. Se ao visualizar uma pintura, fosse possível fazer uso da realidade virtual, seria possível adentrar no quadro e ver tudo o que estava visível e tudo o que não está visível. Sendo assim, a imersão de ver "de fora" ou "de dentro" de um quadro, não são iguais e não trazem as mesmas experimentações. A realidade virtual permite uma compreensão ainda mais próxima das mensagens que uma representação pode tentar transmitir, porque permite a interação, o percurso e liberdade do indivíduo imerso, porém, o faz de forma mais completa, principalmente se utilizada para além da visualização.

4. O PRÓXIMO PASSO

A tecnologia permanece em evolução e, ao que tudo indica, é uma área com tendência de grande expansão sem previsão de ficar estagnada. Como área de trabalho, a programação e robótica disparam em número de vagas com pouca mão de obra. Isso porque com o uso dos computadores, a possibilidade de criação, seja de ferramentas ou programas, tornou-se quase que sem precedentes. A área de atuação é extremamente ampla, porque a tecnologia se insere e evolui em quase todos os ramos.

Na arquitetura, as tecnologias permanecem sendo desenvolvidas e inseridas como parte da formação e da atuação do profissional, em conjunto, é inserida cada vez mais no canteiro de obras. A adição dessas evoluções no aprendizado e na execução da arquitetura, tendem a impactar a criação de representação e do projeto, por envolverem processos interligados, seja da vida acadêmica para a profissional ou do projeto para a execução. Algumas tecnologias que se encontram em estágio de uso inicial ou experimental na arquitetura serão abordadas no primeiro subtópico deste capítulo por apresentarem potencial de serem cada vez mais aplicadas na arquitetura e construção civil. Outras tecnologias utilizadas em outros ramos, ou que estão começando a serem utilizadas na arquitetura, serão abordadas no segundo subtópico por possuírem potencial para serem aplicadas à arquitetura. Será importante destacar as principais tecnologias, programas e

conceitos com o perfil mencionado, para que se torne possível verificar seus potenciais de contribuição para a modificação da representação arquitetônica.

4.1. Novas tecnologias e seu potencial para impacto na arquitetura

As inovações atuais da tecnologia abrangem as mais diversas áreas, assim como a arquitetura. Muitas são as ferramentas que vêm sendo desenvolvidas para a área, neste subtópico, foram selecionadas algumas das várias ferramentas que podem alterar o modo de fazer a arquitetura existente hoje. Inicialmente, são trabalhados programas e mecanismos relacionados ao levantamento de dados através de escaneamento 3D a laser que podem complementar a representação arquitetônica de levantamento e pós-construção: os programas HBIM (Historic Building Information Modeling - Modelagem da Informação da Construção Histórica) e o Edificius. Em seguida, é trabalhada a inteligência artificial. Os exemplos trazidos mostram algumas das formas que ela pode ser usada na arquitetura: para produzir projetos que respondem a estímulos humanos e para gerar plantas, layouts e orçamentos conforme dados e interações dos usuários. Por fim, é apontada a utilização da robótica para a impressão 3D de projetos arquitetônicos. O HBIM, Edificius e a inteligência artificial complementam a maneira de representar a arquitetura como ela é feita hoje. A impressão 3D e a robótica trazem consequências para o representar, porque o projeto passa a ter que ser feito para um novo executor final da obra: as máquinas.

Algumas tecnologias vêm ganhando espaço aos poucos na arquitetura. Como já citado, o BIM contribuiu enormemente para a eficiência, compatibilização, agilidade, assertividade, além de ter inserido a tridimensionalidade paramétrica aos projetos de arquitetura, aumentando a qualidade do produto final. O HBIM (Historic Building Information Modeling - Modelagem da Informação da Construção Histórica), é uma abordagem BIM aos patrimônios históricos. O conceito foi introduzido pela primeira vez em 2009 pelo professor Maurice Murphy em conjunto com Maurice McGovern e Sara Pavia, no entanto, o tema é atual e é assunto tratado em artigos datados de 2022 como uma tecnologia ainda em fase inicial de utilização. Ele consiste em uma biblioteca de protótipos de objetos paramétricos, baseada em um sistema de programas de plataformas cruzadas com dados arquitetônicos históricos, que tem

como objetivo mapear objetos paramétricos através de uma nuvem de pontos e levantamento de imagens (MURPHY; MCGOVERN; PAVIA, 2009).

Em seu processo, o HBIM (figura 42) coleta remotamente dados do objeto utilizando scanner e laser terrestre combinado com modelagem fotográfica digital. Para modelagem, o programa possui uma biblioteca paramétrica de objetos baseados em manuscritos desde Vitruvius até livros de padrões arquitetônicos do século XVIII. O formato dos arquivos é obtido por meio de linguagem descritiva geométrica (GLD) compatível com o programa BIM, ArchiCAD. Após a varredura a laser, o edifício mapeado é plotado em formato de componentes de construção, para que o edifício ganhe forma dentro do programa, em um processo de engenharia reversa. Sendo assim, os itens escaneados tornam-se paramétricos. Como produto final, o HBIM oferece a criação de modelos tridimensionais completos, incluindo informações sobre os métodos de construção e composição dos materiais por trás das camadas de superfície do edifício. Com o arquivo final, é possível criar automaticamente cortes, detalhes e tabelas para análise da conservação dos objetos históricos, estruturas e meio ambiente (MURPHY; MCGOVERN; PAVIA, 2009).

Figura 42 - HBIM



Fonte: BIBLUS (2019)

Programas atuais como o Edificius (figura 43), permitem o levantamento de dados por meio de pontos como propõe o HBIM. Além disso, é possível realizar no programa a reprodução de danos existentes no edifício e inserção de imagem diretamente na superfície da modelagem como forma de representação mais realista com a situação atual. Os arquivos do Edificius se comunicam com bibliotecas de famílias de programas como Revit, Sketchup, Blender, Rhino, Grasshopper, e diálogo de formato com os programas citados, comumente utilizados pelos arquitetos atualmente.

Figura 43 - Programa Edificius



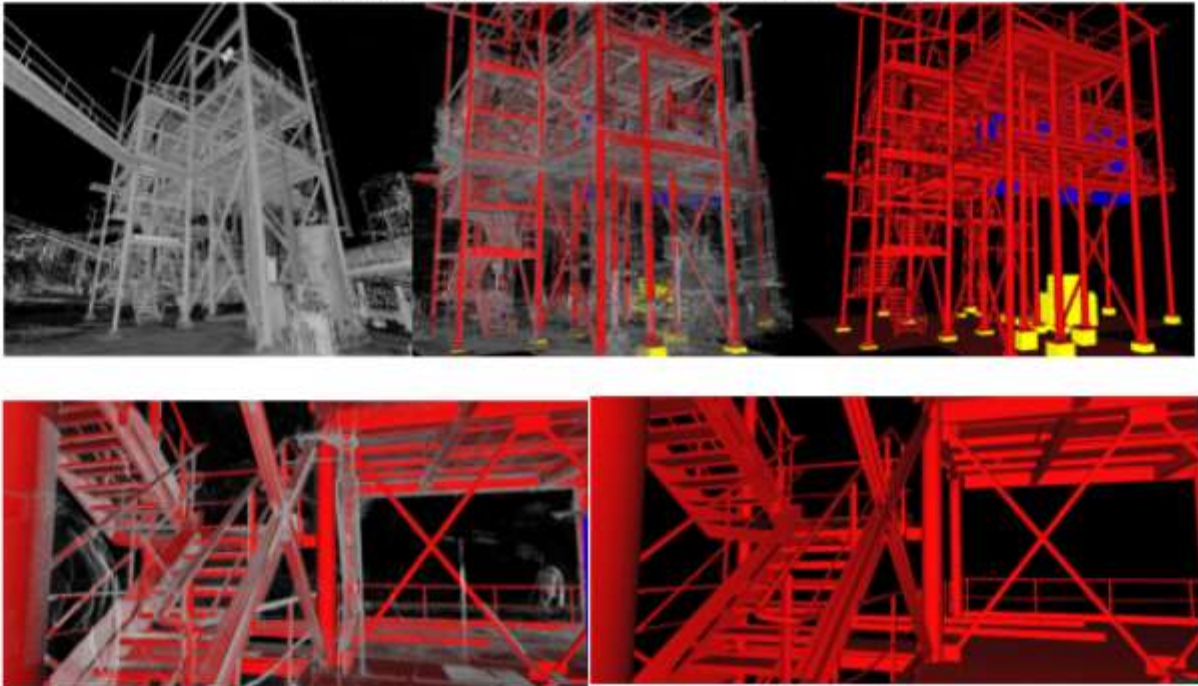
Fonte: ACCA SOFTWARE (sem data)

O HBIM traz para a representação da arquitetura uma possibilidade significativa, porque mescla o levantamento de pontos com a modelagem tridimensional. Sendo assim, a representação que antes seria feita inteiramente pelo projetista, agora parte passa a ser realizada pelo HBIM com possibilidade de análise de dados. Apesar da possibilidade de ser utilizada para a documentação de edifícios históricos, o levantamento com nuvem de pontos não necessariamente fica voltado apenas a esse objetivo. O escaneamento 3D a laser (figura 44) também tem sido utilizado para as *built*¹, escaneamento de topografia, estrutura e arquitetura em geral. O

¹ As *built* significa "como foi construído". Nesse caso, diz respeito a um levantamento de um projeto já construído.

procedimento tradicional geraria a necessidade de um longo trabalho de campo e de levantamento, e posteriormente, todas as informações do projeto teriam que ser passadas com exatidão para um programa de modelagem, agora, fazendo uso dos flashes de luz para o levantamento de dados do espaço desejado, é possível complementar a representação arquitetônica.

Figura 44 - Escaneamento 3D a laser de construção



Fonte: MASTER SERVIÇOS (2019)

Um outro conceito em evolução no momento, e que tem sido aplicada em diversas áreas, é a inteligência artificial (IA - figura 45), sendo inserida aos poucos no processo de projeto arquitetônico. O campo da inteligência artificial busca construir entidades inteligentes, isto é, máquinas que conseguem computar como atuar em uma variedade de novas situações. A IA gera hoje um trilhão de dólares por ano em receita, e o especialista Kai-Fu Lee acredita que seu impacto será o maior de toda a humanidade. Atualmente ela abrange uma variedade de campos de tecnologia, mídia e computação. Sua capacidade de expansão permite que, na verdade, ela ainda atinja uma universalidade de outros campos (RUSSELL, 2022).

Figura 45 - Impressão 3D com uso de inteligência artificial



Fonte: CALDAS (2020)

Para compor o funcionamento da inteligência artificial, é necessário outras tecnologias em expansão trabalhando em paralelo. Gabriel (2022), faz uma analogia da IA com o corpo humano e afirma que ela funciona como o processamento do cérebro biológico. Segundo ela, quanto maior a capacidade do cérebro, mais rapidamente os pensamentos acontecem, no entanto, sem memória o cérebro não consegue processar e extrair inteligência. A autora, dando prosseguimento às analogias, afirma que o conceito de Big Data equivale à memória humana, alimentando o processamento cerebral para virar inteligência. O IoT (internet das coisas) faz o papel de capturar os dados do mundo, semelhante a visão, audição, tato e paladar humano, enquanto isso, o 5G seria o sistema nervoso, permitindo transmissão de informação pelo corpo para ser processado no cérebro. Sendo assim, Gabriel comenta que a união dessas tecnologias desempenha artificialmente no mundo digital, o papel que o cérebro humano exerce no corpo biológico, não à toa que, quanto mais ele é desenvolvido, mais poderoso se torna o "cérebro" da inteligência artificial.

O projeto Ada (figura 46) do Studio Jenny Sabin em colaboração com a Microsoft Research, foi nomeado em homenagem à primeira programadora de computador, Ada Lovelace. O projeto é trazido aqui como exemplo de uso da inteligência artificial na arquitetura e é o primeiro pavilhão a fazer uso dela, incorporando inovação material, desempenho e tecnologias emergentes. A estrutura de Ada foi feita a partir da junção de 895 nós impressos em 3D e hastes de fibra de vidro formando uma casca rígida externa. Com base em padrões faciais, tons de voz e sons processados por algoritmos de IA, Ada responde com três escalas de iluminação responsiva e graduada. Os dados de sentimento específicos captados por Ada, são correlacionados com cores, zonas espaciais dentro do projeto e materiais responsivos. A aplicação da inteligência artificial em projetos como o Ada, demonstram a expansão de possibilidades e de objetivos para a criação arquitetônica (BRECHER; KNAPP, sem data).

Figura 46 - Ada, projeto de pavilhão com uso de inteligência artificial do Studio Jenny Sabino em parceria com a Microsoft Research



fonte: BRECHER; KNAPP (sem data)

A Inteligência artificial conta hoje com uma tipologia de algoritmo intitulada de *Generative Adversarial Networks* (Redes Generativas Adversárias - GAN), que trabalha com geração de conteúdo e que pode facilmente gerar incerteza na humanidade sobre estar produzindo algo real ou falso. A GAN foi desenvolvida para utilizar exemplos de casos, como forma de treinamento para gerar seus resultados. Uma de suas capacidades de destaque é a criação de imagens de alta resolução.

Ela é constituída por dois componentes principais: o discriminador e o gerador. O discriminador é aquele que avalia e aprende a determinar qual conteúdo é real. O gerador é o componente que gera o conteúdo em si. Dessa forma, por meio do aprendizado do que é falso ou real, a GAN desenvolve um conteúdo inteligente que gera, por exemplo, imagens o mais próximo possível da realidade (GOODFELLOW et al., 2020).

A invenção metodológica geracional de Stainlas Chaillou para seu projeto em Harvard, é um exemplo do uso da inteligência artificial na arquitetura em conjunto com a GAN. Sua invenção faz uso de inteligência artificial para desenvolver estudos espaciais e de layout. Utilizando a GAN em conjunto com uma biblioteca de dados sobre estilos arquitetônicos, ele criou um sistema que gera plantas baixas por meio de inteligência artificial. O sistema é capaz de desenvolver múltiplas variações de um mesmo projeto de forma automática e se altera conforme as modificações de tamanho da planta baixa (BALDWIN, 2019).

Semelhante ao projeto de Stainlas (figura 47), existe o aplicativo da empresa Higharc (figura 48) com funcionamento parecido. Com base na determinação de uso que o cliente fornece para cada ambiente da casa, por exemplo, o aplicativo gera layouts automaticamente. Em conjunto, ele indica valores de mercado para cada layout, fornece opções para modificações prontas do ambiente, esses espaços também são alterados automaticamente à medida que os limites dos espaços são modificados. Caso o ambiente esteja pequeno para o layout desejado, o aplicativo gera alertas para que soluções sejam tomadas. Atualmente, diversas profissões correm o risco de deixarem de existir ou sofrerem grandes transformações devido a utilização de inteligência artificial, robótica e automação. Exemplos como a criação de Stainlas e Higharc, demonstram a possibilidade de que a profissão do arquiteto tenha que se adequar às novas tecnologias e talvez, ao aprendizado da programação, incorporando-as nos processos de criação e representação. É possível também que a representação do arquiteto absorva novos objetivos, como o desenvolvimento de bibliotecas padrões de layout, móveis, circulações mínimas, estética arquitetônica e códigos de programação que façam a criação de espaços inteligentes, como o Higharc, entre outros (BALDWIN, 2019).

Figura 47 - Criação de Stainlas



Fonte: BALDWIN (2019)

Figura 48 - Exemplo de uso do Higharc para modificar o layout do projeto. Ao lado é possível verificar a precificação de cada tipologia



Fonte: HIGHARC (sem data)

Como um dos transformadores da arquitetura atual por meio de tecnologia e programação existe hoje a robótica. A robótica envolve máquinas programadas para realizar tarefas a partir de programas preestabelecidos. Suas sequências de operações podem ser utilizadas para fabricação de produtos, transporte de materiais, serviços em espaços confinados, com alta periculosidade à vida humana, em conjunto, pode ser aplicada na área médica para realização de alguns procedimentos cirúrgicos. Os robôs industriais são, em sua maioria, máquinas projetadas com o propósito de substituir o trabalho humano em situações de desgaste físico ou mental, além disso, situações perigosas e repetitivas (ALMEIDA, 2019).

A introdução da robótica na construção civil teve início na década de 1990 e não foi um sucesso logo no início. A princípio, os equipamentos eram escassos e tinham objetivos muito singulares, o que os tornavam muito caros para a utilização na arquitetura. Serviam principalmente para otimizar os projetos em situações específicas. Na década de 2000 o cenário da robótica na arquitetura mudou, porque as tecnologias digitais ganharam maior espaço e passaram a gerar grande impacto no entendimento dos projetos e na prática da profissão. Atualmente, os robôs

industriais (figura 49) geram interesse por sua versatilidade, isto é, por serem designados a desempenhar tarefas genéricas, não necessariamente sendo construídos para desempenhar uma única função. Por possuírem funções programáveis, é possível fazer com que manipulem materiais, por exemplo, de uma forma livremente customizada (GRAMAZIO; KOHLER, 2014).

Figura 49 - Exemplo de impressão utilizando robô industrial



Fonte: CUTIERU (2022)

A automação consiste em uma tecnologia atual que se vale de sistemas mecânicos, elétricos, eletrônicos e de computação para controlar processos produtivos. Por meio de um sistema automático, as máquinas verificam seu próprio funcionamento e realizam correções. A automação é utilizada no sistema dos robôs (ALMEIDA, 2019). Recentemente, a construção utilizando a robótica tem recebido atenção crescente de maneira associada à impressão 3D (figuras 50 e 51). Para realizá-la, uma máquina automatizada, ou seja, uma impressora 3D, imprime camada por camada por meio de sobreposição, formando a estrutura de um projeto completo. Os sistemas de impressão industrial hoje consistem principalmente de grandes impressoras 3D para atender a construção civil de grande porte. Um número

crecente de empresas passou a incorporar robôs para solucionar a escassez de mão de obra qualificada (HOSSAIN et al., 2020).

Figuras 50 e 51 - Utilização de robótica para impressão 3D de residência



Fonte figura 50: INSIDE EDITION (2021) / Fonte figura 51: DEAN (2022)

Hossain (2020) defende que a impressão 3D na construção civil possui grande potencial para influenciar a área de forma positiva, trazendo construções mais rápidas, menor desperdício de material, requisitos de menor carga horária para a mão de obra e segurança no local de trabalho. O uso da impressão 3D desenvolveu

um número ainda limitado de edifícios e pequenas pontes, porém, o autor afirma que a literatura mostra de forma cada vez mais enfática que as construções passarão a ser feitas com impressão 3D nos próximos anos. Dubai, por exemplo, anunciou que 25% de seus edifícios serão construídos com essa tecnologia até 2030 (HOSSAIN et al., 2020).

Para que se realize as construções atuais, executadas pela mão de obra humana em conjunto com os processos de criação dos arquitetos, existe uma tipologia específica de representação e detalhamento. Apesar dessa tipologia ter se tornado mais complexa com o passar do tempo, e ter agregado novas ferramentas de trabalho, desempenha o objetivo de permitir a correta compreensão da mão de obra, em termos de execução de projeto. Caso a perspectiva de aumento da utilização da impressão 3D, inteligência artificial, automação e programação na construção civil se torne uma realidade, possivelmente ocorrerão mudanças no ensino da arquitetura e nos métodos de representação do profissional arquiteto. Isso se dará, porque ensino e a profissão da arquitetura terão que absorver as necessidades de um novo executor final: as máquinas, e terão que lidar com a adição de mais um “cérebro” com capacidade de escolha dentro do processo criativo: a inteligência artificial. De forma geral, as tecnologias e avanços abordados neste subtópico, não fazem referência direta ao ato de desenhar e representar, por outro lado, por diversas vezes a representação da arquitetura está diretamente vinculada aos processos anteriores, como levantamento de dados e posteriores ao desenho, como a execução da obra, significando que as alterações da construção civil poderão interferir na representação arquitetônica.

4.2. Tecnologias já aplicadas em outras áreas com potencial para serem aplicadas na arquitetura

Inicialmente, os computadores e seus programas foram criados para serem utilizados em outras áreas, que não a da arquitetura e construção civil. Aos poucos seu uso começou a ser absorvido por arquitetos e atualmente compõem parte essencial do processo projetual da maioria dos profissionais da área. De forma semelhante, existe hoje a expectativa de que certas tecnologias digitais passem a

ser adotadas na arquitetura ou tragam consequências posteriores. Algumas delas são utilizadas em outras áreas, ou estão em estágio de protótipo.

Neste subtópico, são apontadas conceitos e ferramentas de outras áreas que possuem potencial para serem utilizadas na arquitetura como forma de modificação da representação. Primeiramente será trabalhado o metaverso. Sendo criado para possibilitar interação social, compras, gerar rendimentos e para que funcione como um mundo virtual, o metaverso é abordado porque oferece a possibilidade de que os arquitetos construam sua arquitetura ou a realizem dentro do metaverso como forma de arte. Dessa forma, o metaverso possibilita que a representação da arquitetura seja a própria construção, ao ser feita diretamente no mundo virtual. Em seguida, são trabalhadas algumas ferramentas de representação usadas em outras áreas que já transformam suas representações e que podem ser aplicadas à arquitetura. Dessa maneira, é apresentado o programa Gravity Sketch. Ele permite a modelagem 3D com realidade virtual, imersão, uso de formas livres e sala de colaboração virtual. Semelhantes ao Gravity Sketch, é apresentado o Kodon, programa que permite o uso de outras formas, como pixels, chamado de voxels, para que a modelagem seja feita. O Low-Poly é outra técnica de representação semelhante aos voxels e seu uso pode permitir uma exploração formal diferente do usual para a arquitetura. Por fim, é apresentado o Mental Canva, porque permite a criação de croquis de profundidade virtual praticamente infinita e visualização interativa.

Gabriel (2022) afirma que a partir da era digital a jornada da evolução da abstração ganhou um novo patamar devido a introdução das tecnologias digitais. A autora crê que esse fato levou a possibilidade de expansão dos corpos e mentes para além do corpo biológico orgânico, ampliando a existência. Ela completa que esse processo tem tornado a humanidade em seres híbridos, vivendo uma simbiose entre humanos e tecnologia.

A existência humana, bem-estar e até mesmo as transações bancárias para se usufruir do mundo em que se vive a humanidade, precisa hoje passar por uma realidade mista, ou seja, entre o mundo físico e o digital, afirma Gabriel (2022). A autora defende que o digital vem absorvendo atividades que antes pertenciam

apenas a dimensão física, como os jogos, música, filmes, compras, relacionamentos, por conseguinte, com a aceleração tecnológica, a tendência é que esse processo transfira cada vez mais partes da vida humana para o digital. O ambiente que mistura o mundo físico com o digital e flui entre ambos, para a autora, é o metaverso. O termo teve origem há cerca de 30 anos, no romance de ficção científica de 1992, *Snow Crash*, de Neal Stephenson, explorado em filmes de ficção como *Matrix* de 1999, e *Jogador número 1* de 2018, afirma ela.

Mundialmente conhecido, o filme *Matrix* (Figura 52), aborda o conceito de metaverso por apresentar uma história onde os personagens vivem em passagens subterrâneas de um mundo pós apocalíptico dominado por máquinas. Ao terem um equipamento inserido em seus cérebros, suas consciências são conectadas a um mundo digital criado pelas máquinas para controle da humanidade: a matrix, e é ela que se assemelha ao conceito do metaverso, um mundo criado por meio de programação. No entanto, apesar dessas referências feitas ao metaverso há anos, Gabriel (2022) afirma que apenas com a evolução tecnológica das últimas décadas é que sua infraestrutura foi gradativamente sendo realmente criada para tornar-se executável.

Figura 52 - Matrix Resurrections



Fonte: WARNER BROS. PICTURES BRASIL (2021)

O significado do metaverso pode ser resumido como um mundo gerado por computador, com sistema de valores e econômico independentes do mundo físico, criando uma sociedade digital. Para se ter a moeda digital, é necessário comprá-la com dinheiro físico. O metaverso também se caracteriza como um mundo virtual universal, focado em conexão de ambientes virtuais tridimensionais via internet e interação social. Alguns exemplos de metaverso são jogos como Second Life, The Sandbox (figura 53), Fortnite e Decentraland (FISCHER, 2022). Estes jogos possibilitam a comunicação entre pessoas de qualquer lugar do mundo, a criação de avatares (personagem dentro do jogo) e o recebimento de criptomoedas (blockchain, moedas virtuais) usáveis no próprio universo para adquirir itens, modificar o avatar, ou até mesmo alterar o universo do jogo, dentro daquilo que é permitido pelos desenvolvedores (WANG, 2022 apud FISCHER, 2022).

Figura 53 - The Sandbox

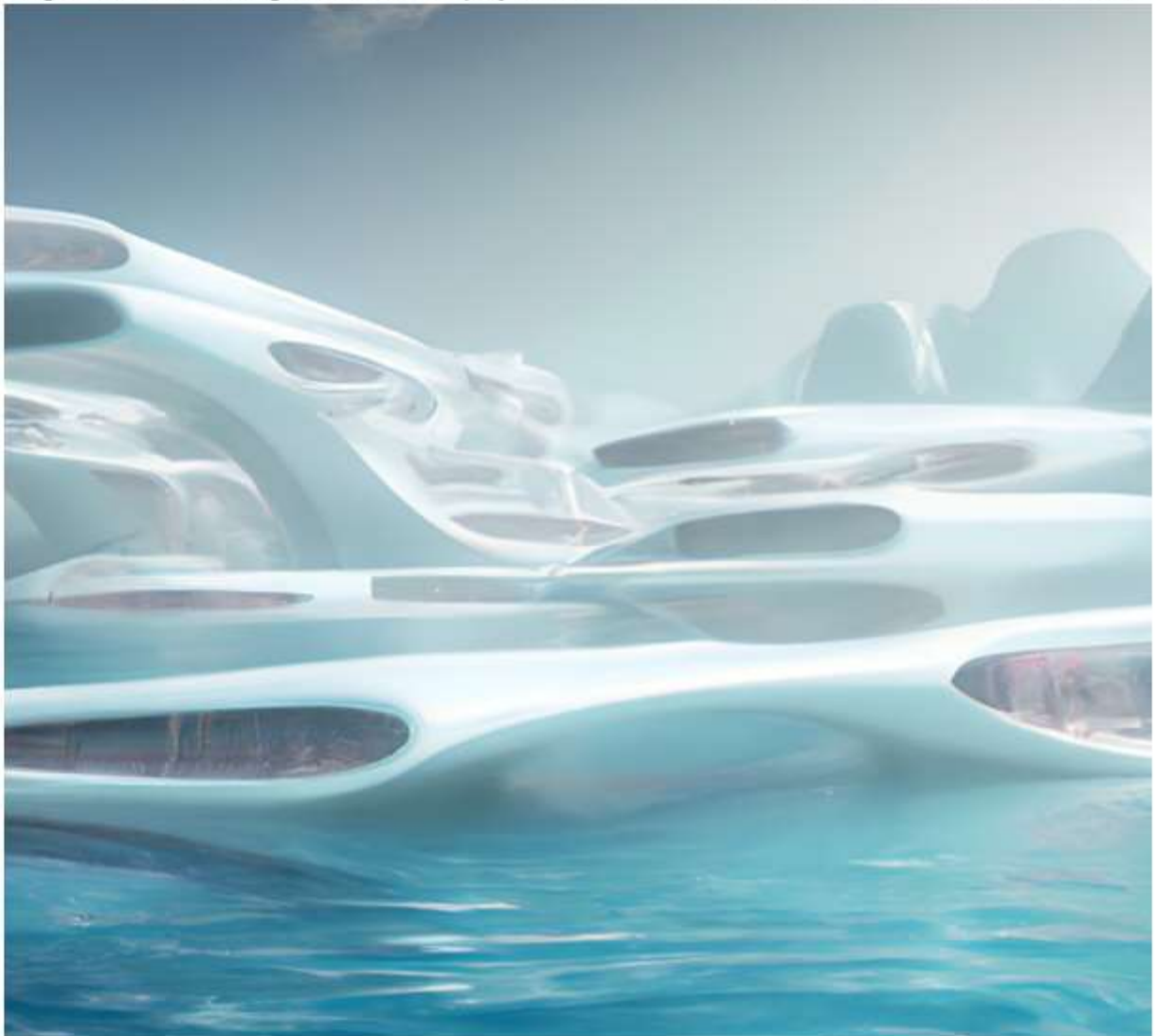


Fonte: YE (2021)

Sem o uso de dispositivos como fones de ouvido de realidade virtual, trajes de sensibilidade e outros equipamentos semelhantes, a imersão no metaverso ainda é muito limitada hoje, mantendo os sentidos apenas entre a visão e a audição (FISCHER, 2022). No entanto, Fischer (2022) acredita que o metaverso está prestes

a evoluir em um ritmo muito rápido, mas a princípio ficará limitado ao nível dos jogos de computador. As possibilidades de inserção da arquitetura no metaverso, envolve por exemplo, a possibilidade de planejar e modelar o mundo em si e também, a inserção da arquitetura como arte, segundo ela. A arte digital arquitetônica contemporânea, afirma Fischer, utiliza métodos de produção em massa ou mídia digital, é gerada por computador e rotulada como fractais ou arte algorítmica. A figura 54 demonstra um exemplo de metaverso criado como um projeto de arte digital. Criado pelo escritório Zaha Hadid Architects em parceria com Refik Anadol Studio, o Architecting the Metaverse combina arquitetura, arte, tecnologia e inteligência artificial.

Figura 54 - Architecting the Metaverse, projeto imersivo de arte do escritório Zaha Hadid Architects

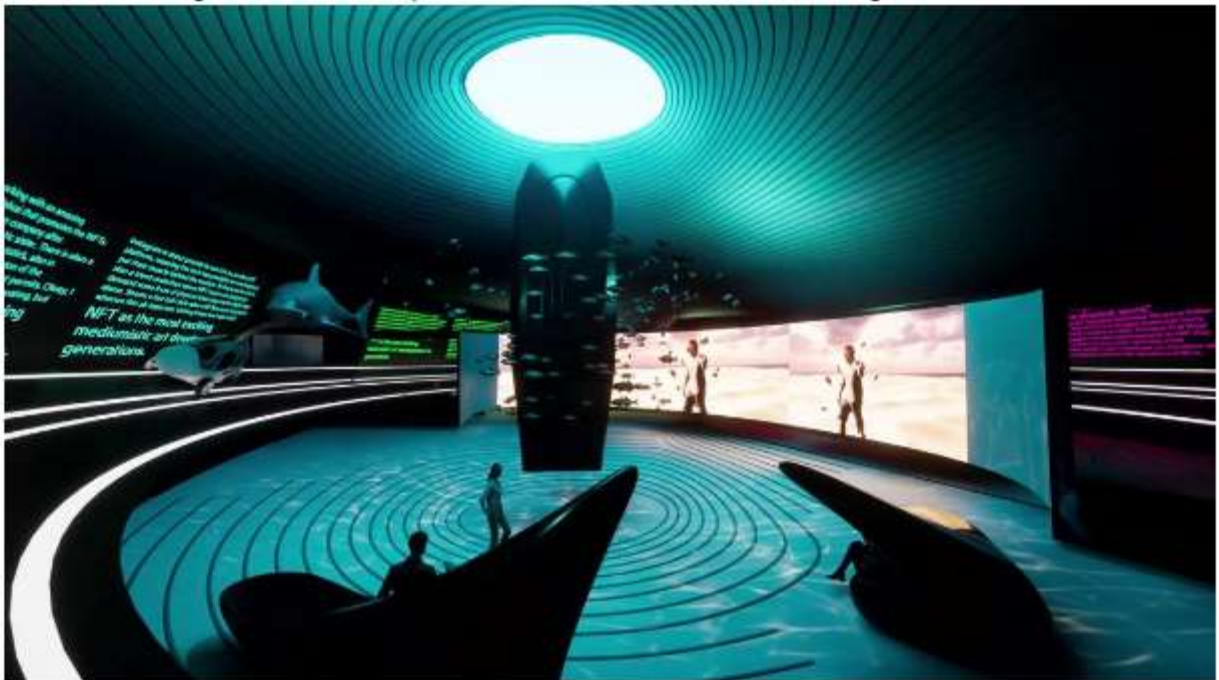


Fonte: ZAHA HADID ARCHITECTS (2022)

A arquitetura como arte no metaverso, ou modelagem dos universos, apresenta grandes possibilidades, principalmente, de alteração da forma de representar a arquitetura em si. O metaverso não possui as limitações da vida cotidiana, não há espaço urbano para encaixar o modelo, tamanho, clima, gravidade, a não ser que seja pré determinado pelos desenvolvedores. Uma das únicas limitações é o objetivo de que o ser humano deve poder lucrar com o metaverso que decide se conectar. Sendo assim, a arquitetura pode fazer de sua representação qualquer tipologia de forma, padrão, cores, espessuras, tamanho, sem forma pré definida. Com o uso de todos os sentidos, a arquitetura pode se conectar com a humanidade de muitas formas, por ser uma experiência com potencial para utilizar a visão, memória, tato e audição. O metaverso atualmente, ainda se encontra limitado aos dois sentidos de visão e audição, mas já apresenta grande potencialidade de inserção arquitetônica, expansão representativa do que se conhece hoje e possibilidades lucrativas. Caso os arquitetos venham a inserir de fato sua representação no metaverso, é possível que uma tipologia de representação interativa totalmente nova ganhe vida, para complementar, será feita sem as limitações terrestres e buscando objetivos que não necessariamente envolvem os objetivos da realidade física de habitação, descanso, alimentação, trabalho, entre outros (FISCHER, 2022).

O workshop "*Architecture for Metaverse*" (figura 55) foi desenvolvido por Patrik Schumacher, Shajay Bhooshan e Xuexin Duan, integrantes do Zaha Hadid Architects e divulgado no site DigitalFUTURES, uma plataforma para educação de arquitetura. No resumo, os autores afirmam que os arquitetos serão, em breve, responsáveis pela modelagem do metaverso. Para eles, o metaverso suporta novas formas de produção cultural, como a arte digital e museus de arte digital. O workshop exemplifica as possibilidades de impacto do metaverso na representação da arquitetura. A expectativa era de que fossem desenvolvidas criações espaciais focadas na experiência do usuário, interação social e composição dramática, fazendo uso de tecnologias de projeto paramétrico (DigitalFUTURES International, 2022).

Figura 55 - Workshop Architecture for the Metaverse, do DigitalFUTURES



Fonte: BHOOSHAN; DUAN; SCHUMACHER (2022)

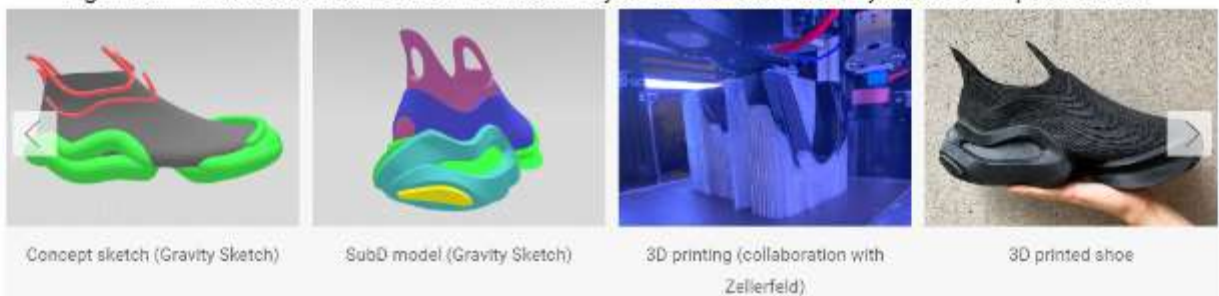
Dentre as novas tipologias de modelagem para atender as demandas por uma representação mais livre, criativa, que engloba as novas tecnologias existentes, como a realidade virtual, por exemplo, existem também novos programas para atender a essa realidade. Áreas com mais liberdade formal como a modelagem de jogos, animações, publicidade e as artes, possuem a tendência de se anteciparem no uso de novos programas de representação. O Gravitysketch (figuras 56 e 57), por exemplo, é uma ferramenta de modelagem 3D, utilizada por meio de realidade virtual e imersão, para que se desenvolva qualquer desenho gráfico com liberdade. O programa possui uma “sala de colaboração” para que a equipe interaja em projetos desde o início do processo. Os integrantes podem acessar o modelo virtualmente de qualquer local do mundo e revisar as etapas de criação. Para fazer uso do programa é necessário utilizar também um controle com rastreamento de movimento, o que simula o esboço a mão diretamente na visualização tridimensional com o uso da realidade virtual.

Figura 56 - Gravitysketch



Fonte: VENTURE BEAT (2016)

Figura 57 - Processo criativo de Finn Rush Taylor utilizando o Gravitysketch e impressão 3D



Fonte: TAYLOR (2020)

Semelhante ao Gravitysketch, existem outros aplicativos como o Kodon, da TenkLabs AS, especializada em escultura de software em RV. O programa permite a criação de modelos tridimensionais. A empresa tem como objetivo levar os usuários a misturar novos conceitos de modelagem atuais, como os voxels (figura 58), modelagem baseada em formas retangulares, como pixels, e geralmente feita dentro de uma malha quadriculada tridimensional. Além disso, o programa permite esculturas de superfície, que é o ato de esculpir sobre uma forma sólida digital e a modelagem por meio de malha de polígonos. O programa Blocks da Google, também funciona de forma muito semelhante ao Gravitysketch, porém, focado apenas na modelagem de voxels. O uso dessas ferramentas na arquitetura ainda não é comum. Caso a realidade virtual venha a se tornar uma ferramenta com mais

arquitetos adeptos, aplicativos como esses podem contribuir para a fase de concepção e análise formal dos projetos, bem como, para esboços, estudo de ideias, apresentação de conceitos, entre outros.

Figura 58 - Representação digital em voxel de Eliane Fernandes



Fonte: FERNANDES (sem data)

A tipologia de modelagem Low-Poly é abordada por AKCAY KAVAKOGLU (2021) em seu artigo como um assunto emergente no campo da arquitetura, artes visuais e design de produto. O autor define a ferramenta como tendo a característica de envolver abstrações simples através da reconfiguração formal por meio da diminuição do número de polígonos da modelagem. Por conseguinte, ele afirma que o Low-Poly (figura 59) consiste em um ambiente de modelagem tridimensional, composto por uma malha poligonal de uma pequena quantidade de polígonos, se relacionada aos métodos mais comuns de modelagem. AKCAY afirma que por meio dele, é possível identificar os polígonos utilizados para compor a modelagem ao olhar para o objetivo, diferente das técnicas que fazem uso de muitos polígonos e

dão a impressão de “superfícies lisas”, como as esculturas de superfície. Apesar de ser mais comum na indústria de jogos pela forma de otimizar o uso de energia nos computadores, exatamente pela diminuição dos polígonos, tem se tornado uma ferramenta popular na geração de formulários para a indústria de projetos, afirma o autor. A redução do número de polígonos do Low-Poly também diminui o nível de complexidade da representação, mas AKCAY conclui que, para além disso, ele tem o potencial de reordenar as formas digitais e variar os recursos composicionais de proporção e equilíbrio comuns nas modelagens digitais.

Figura 59 - Exemplo de modelagem em low poly



Fonte: POLYPERFECT (2021)

O Mental Canvas (figura 60), é outro programa que está modificando a representação, porém, com foco em croquis, ou seja, o resultado envolve a composição principalmente de linhas e cores. Ele permite que sejam feitos desenhos em um ambiente digital tridimensional e infinito. É como se o usuário pudesse fazer desenhos dentro de desenhos, que podem ser visualizados de diferentes locais na tela. No processo de criação, caso se tenha o interesse de desenvolver tridimensionalidade, o usuário desenvolve um desenho no campo de visão inicial da tela. Ao efetuar o comando de aproximar ou distanciar do desenho, é possível desenhar camadas mais profundas ou mais externas, porque as representações podem ser feitas em três dimensões. Muito mais utilizados para modelagem de

jogos, arte, produtos e publicidade, os programas citados podem caracterizar o início da trajetória de utilização da realidade virtual para a modelagem, ou adição de plataformas de maior liberdade formal para aplicação na representação da arquitetura.

Figura 60 - Mental Canvas



Fonte: APPS MICROSOFT (sem data)

As tecnologias emergentes de outras áreas de forma geral se conectam com as tecnologias inovadoras que já estão sendo aplicadas na arquitetura. Isso porque atualmente as tecnologias se complementam dentro das evoluções da programação. A realidade virtual se conecta à modelagem tridimensional, a inteligência artificial se conecta com a robótica, que se conecta à automação, e todas têm possibilidade de se conectarem e serem utilizadas dentro da arquitetura. Algumas alteram diretamente o cerne da representação do arquiteto e outras transformam a construção civil de forma mais robusta. Bem como a realidade virtual, as tecnologias emergentes precisam passar por um processo evolutivo e do estágio de teste dentro da área, para que posteriormente os resultados sejam realmente mapeados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A representação da arquitetura teve seu início ocidental marcado pela característica inicial de registro. Com a evolução dos conhecimentos humanos e aumento da complexidade de suas obras, aos poucos o registro foi se tornando um complemento à execução das obras. Mesmo que a presença do arquiteto como mestre de obras se mantivesse como imprescindível. Quando a evolução representativa começa a se delinear, ocorre uma pausa, mas ela retorna com muita força para sanar problemáticas complexas da arquitetura gótica. Com o Renascimento, a educação, o estudo da representação, tridimensionalidade, conformações fiéis ao que se enxerga, levaram a representação arquitetônica a seu maior nível de complexidade geométrica até então, não obstante, levou a representação ao nível da arte, que já despertava o fascínio pela reprodução da realidade. O aumento da complexidade das obras e crescimento econômico dos países, trouxe a necessidade de complexidade, detalhamento e agilidade. Durante todos esses períodos, a representação da arquitetura teve seu objetivo alterado conforme objetivos de cada época: registro, complemento de execução, previsão de problemas da obra, especificação, até se tornar a junção de linhas e pontos adequados às leis matemáticas do plano tridimensional e atualmente, se tornar a junção de todas essas funções, de acordo com inúmeros objetivos que a representação do arquiteto passou a possibilitar.

Com a ascensão da máquina, a representação passou a ter uma nova possibilidade de ser desenvolvida. Aos poucos a linha do papel passou a ser um conjunto de pixels frutos da programação de um equipamento digital. Passou a ser possível visualizar o desenho de outros pontos de vista e com a internet, a informação passou a estar conectada no mesmo "local" digital em que se desenvolvia o projeto, ou seja, o computador, mas permitindo o compartilhamento a nível global e gerando a possibilidade de uma produção participativa e colaborativa. Os programas se desenvolveram e o interesse dos arquitetos por explorar as liberdades tecnológicas que o computador passou a oferecer, resultaram em inovação formal. Não obstante, foi adicionado a representação a experimentação de formas não convencionais de projeto. O BIM trouxe para o projeto a união da experiência tridimensional, somada a uma representação inteligente, onde cada elemento é capaz de carregar dados complexos. Tornando a representação uma poderosa ferramenta de levantamento de dados e integração entre equipes e obras, antecipando e simulando uma

realidade física futura. Com a impressão 3D, foi possível materializar a representação digital, diminuindo o tempo para a materialização daquilo que é digital para o meio físico, quase fundindo as duas realidades, passando a fazer parte do estudo inicial das edificações, potencializando o processo exploratório e investigativo.

A realidade virtual surge como a evolução atual da representação arquitetônica e suas implicações ainda estão sendo desenhadas. Sua capacidade é de aproximar o projetista da sua representação tridimensional. Com seu uso, a forma de lidar com o desenho muda totalmente de escala, quando desejado. A interação em equipe se torna aproximada dentro do digital e a visualização do projeto em conjunto e lado a lado, transforma o diálogo sobre o projeto, que passa a ser visto em primeira pessoa. No entanto, conclui-se que ao menos na arquitetura, seu uso ainda é limitado ao fascínio Renascentista pela reprodução do real. A realidade virtual ainda é muito utilizada na arquitetura para a visualização da tentativa árdua de conceder aos espectadores representações cada vez mais realísticas dos projetos. Enquanto isso, a experiência em primeira pessoa de utilizar a realidade virtual como parte do processo de representação do projeto em si, não tem sido comumente utilizada pelos arquitetos. Ou até mesmo seu uso para conceber e estudar as formas iniciais do projeto em fase de composição, onde se possui muito mais liberdade de experimentação da própria tridimensionalidade construída. A realidade virtual, em conjunto com a realidade aumentada e mista, ainda encontra-se em fase anterior a ascensão e seu uso inicial inevitavelmente traz consigo essa característica de ser utilizada sem uma reflexão das suas possibilidades sem que pudessem extrapolar o óbvio, evitando estabelecer analogias diretas aos recursos e procedimentos cotidianos. Com a evolução de sua fabricação e compatibilidade com programas de representação arquitetônica, a realidade virtual possui a capacidade de se tornar a mais nova ferramenta do processo representativo dos arquitetos.

As novas tecnologias trazem consigo processos, métodos e respostas inteligentes, advindas de "consciências" artificiais. Por esse ponto de vista, é possível que a arquitetura seja complementada e transformada por um outro possuidor de conhecimento, as máquinas inteligentes. As máquinas já são capazes de trazer respostas ao analisar melhores soluções, em algum momento, também farão parte

do processo final de projeto, ou seja, sua execução. Sendo assim, começam a fazer parte da execução dos projetos, passando a serem um dos últimos receptores dos desenhos dos arquitetos. Novos programas de estudos formais de outras áreas surgem e são desenvolvidos em conjunto com a linguagem da realidade virtual. Essa realidade se assemelha muito a outros processos de absorção tecnológica que a arquitetura passou, os programas são utilizados por outros profissionais, com outros objetivos e, que aos poucos vai se tornando parte da representação da arquitetura, provocando reverberações e transformações. A imensa capacidade de programação computacional existente hoje e com tendência de evolução, mostram a expectativa de que irão fazer parte de quase qualquer setor produtivo da humanidade, inclusive a arquitetura.

As mudanças ao redor da arquitetura modificaram ou adicionaram formas de se representar o projeto. As máquinas, sendo elas as já utilizadas na arquitetura ou as novas tecnologias emergentes, levam impacto direto sobre a representação. Será necessário acompanhar o modo como essas tecnologias serão adotadas e se possível, ver com os próprios olhos, orgânicos ou digitais, suas transformações.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCA SOFTWARE. **Software para Projetos de Arquitetura**. Disponível em <<https://www.accasoftware.com/ptb/programa-de-arquitetura>>. Acesso em: 14 jan. 2023.

AKCAY KAVAKOGLU, Aysegul. Computational Aesthetics of Low Poly:[Re] Configuration of Form. 2021.

AMARAL, Bernardo. DA CRÍTICA DO CANTEIRO À AUTOGESTÃO: Sérgio Ferro, Usina e os mutirões autogeridos em São Paulo, BRASIL. **Finisterra**, v. 55, n. 114, p. 141-155, 2020.

ANDRADE, Max L. V. X. de; RUSCHEL, Regina Coeli; MOREIRA, Daniel de Carvalho. O processo e os métodos. In: KOWALTOWSKI et al (Org.) **O processo de projeto em arquitetura: da teoria à tecnologia**. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

ALMAGOR, Aviad. **Virtual Reality, Mixed Reality and Augmented Reality in Construction: The Future Is Now**. Constructionexec, nov. 2019. Disponível em: <www.constructionexec.com/article/virtual-reality-mixed-reality-and-augmented-reality-in-construction----the-future-is-now>. Acesso em: 07 jul. 2022

ALMEIDA, Paulo Samuel de. **INDÚSTRIA 4.0 - PRINCÍPIOS BÁSICOS, APLICABILIDADE E IMPLANTAÇÃO NA ÁREA INDUSTRIAL**. Editora Saraiva, 2019. E-book. ISBN 9788536530451. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536530451/>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

APPS MICROSOFT. **Mental Canvas Draw**. Disponível em: <<https://apps.microsoft.com/store/detail/mental-canvas-draw/9NBLGGH40F1J?hl=pt-br&gl=br&cid=mentalcanvas-website&rtc=1>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

ARTMATHSTPE BLOGSPOT. **L'experience de Brunelleschi**. 21 abr. 2012. Disponível em: <<http://artmathstpe.blogspot.com/2012/03/brunelleschi.html>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

AUTODESK. **Vídeo de apresentação do AutoCAD 2023**. 11 jan. 2023. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/autocad/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=ACDIST>>. Acesso em: 19 jan. 2023..

AUTODESK AEC BAR. **Perform solar analysis during building design**. Abr. 2018. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/search-result/caas/simplecontent/content/building-E2-80-93architecture-E2-80-94handling-solar-analysis-the-design-phase.html>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

BALDWIN, Eric. **Inteligência artificial Cria Estilos e Plantas Baixas Generativos com Aprendizagem de Máquina em Harvard**. 10 jun. 2019. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/918574/inteligencia-artificial-cria-estilos-e-plantas-b>

aixas-generativos-com-aprendizagem-de-maquina-em-harvard?ad_medium=gallery.
Acesso em: 23 de jan. 2023.

BAKER, Austin. **Getting Started with VR for Your Architecture & Design Team in 2022.** 31 jan. 2022. Disponível em: <<https://thewild.com/blog/architect-getting-started-with-vr>>. Acesso em: 18 jan. 2023.

BELHOSTE, Bruno; CORREIA, Ana Paula Pupo. A figura do arquiteto-engenheiro na antiguidade The Figure of the architect-engineer in the antiquity . **Revista Linhas**, Florianópolis, v. 12, n. 1, p. 05 - 18, 2011.

BHOOSHAN, Shajay; DUAN, Xuexin; SCHUMACHER, Patrick. **Architecture for the Metaverse.** 29 mai. 2022. Disponível em: <<https://digitalfutures.international/workshop/architecture-for-the-metaverse/#>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

BIBLUS. **O que é o HBIM? Conheça o BIM aplicado a edifícios existentes.** 27 ago. 2019. Disponível em <<https://biblus.accasoftware.com/ptb/o-que-e-o-hbim-conheca-o-bim-aplicado-a-edificios-existentis/>>. Acesso em: 14 jan. 2023.

BRECHER, John; KNAPP, Jake. **Ada, A project by Jenny Sabin Studio, in collaboration with Microsoft Research.** Disponível em: <https://www.jennysabin.com/ada?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com>. Acesso em: 16 jan. 2023.

BROUCHOUD, Jon. **Revit and Oculus Rift via Unity3D: Experiencing BIM in Virtual Reality for Architectural Visualization.** 15 abr. 2013. Disponível em: <<https://archvirtual.com/2013/04/15/revit-and-oculus-rift-via-unity3d-experiencing-bim-in-virtual-reality/>>. Acesso em: 18 jan. 2023.

CALDAS, Lucas Rosse. **Edificações inteligentes: um conceito em evolução.** 01 jun. 2020. Disponível em:

<<https://www.archdaily.com.br/br/940653/edificacoes-inteligentes-um-conceito-em-evolucao>>. Acesso em: 16 jan. 2023.

CAFFIN, Charles Henry. **How to Study Architecture: An Attempt to Trace the Evolution of Architecture as the Product and Expression of Successive Phases of Civilisation**. Dodd, Mead, 1925.

CARPO, Mario (Ed.). **The digital turn in architecture 1992-2012**. John Wiley & Sons, 2012.

CARPO, Mario. **The second digital turn: design beyond intelligence**. MIT press, 2017.

CATTANI, Airton. Arquitetura e Representação gráfica: Considerações históricas e aspectos práticos. **Arqttexto**, n. 9 (2006), p. 110-123, 2006.

CLARKE, Martin Lowther. The architects of Greece and Rome. **Architectural History**, v. 6, p. 9-22, 1963.

COULTON, Jim J. Greek architects and the transmission of design. In: **Architecture et Société**. De l'archaïsme grec à la fin de la République. Actes du Colloque international organisé par le Centre national de la recherche scientifique et l'École française de Rome (Rome 2-4 décembre 1980) Rome: École Française de Rome, 1983. pp. 453-470. (Publications de l'École française de Rome, 6).

CUTIERU, Andreea. **The Architect-Researcher: Exploring New Possibilities for the Production of Architecture**. 28 jan. 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com/975921/the-architect-researcher-exploring-new-possibilities-for-the-production-of-architecture?ad_medium=gallery>. Acesso em: 26 jan. 2023.

DA SILVA, Edna Lucia; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, v. 123, 2005.

DEAN, James. **A construction 3D printer gantry is helping to build a Houston home that will be the first multistory 3D-printed structure in the U.S., also incorporating wood framing in a new hybrid design.** 14 set. 2022. Disponível em: <<https://news.cornell.edu/stories/2022/09/first-its-kind-3d-printed-home-blends-concrete-wood>>. Acesso em: 28 jan. 2023.

DEAKIN UNIVERSITY. **Virtual Reality Lab.** Disponível em: <<https://www.deakin.edu.au/engineering/facilities/virtual-reality-lab>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

DE VASCONCELOS, Guilherme Nunes. **Atmospheres of Immersion: Designing and Experiencing in Architecture and Virtual Reality.** 2021.

DENKMALER, Karl Lepsius. **Mural do túmulo de khnumhotep, c.1900 a.C. Encontrado em Beni Hassan.** 20 abr. 2011. Disponível em: <<https://www.flickr.com/photos/designhistoriadaarte/5638206473/in/photostream>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

DERANEN, David; FRAGUADA, Luis E.; BIHAN, Andrew Le. **RhinoVR - a virtual reality sample plug-in for Rhino 7.** 18 abr. 2018. Disponível em: <<https://github.com/mcneel/RhinoVR>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

E-FLUX ARCHITECTURE. **Greg Lynn, The Architectural Imagination.** 13 jul. 2017. Disponível em: <<https://www.e-flux.com/announcements/146443/the-architectural-imagination/>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

ENCARNACAO, Jose L.; LINDNER, Rolf; SCHLECHTENDAHL, Ernst G. **Computer aided design: fundamentals and system architectures.** Springer Science & Business Media, 2012.

EASTMAN, Charles; LEE, Ghang; SACKS, Rafael; TEICHOLZ, Paul. **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. Grupo A, 2021. E-book. ISBN 9788582605523. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582605523/>>. Acesso em: 08 jan. 2023.

FEDOROV, Nikita. **Sensorama**. 14 ago. 2015. Disponível em: <<https://www.avadirect.com/blog/the-history-of-virtual-reality/>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

FERNANDES, Eliane. **Cardcaptor Sakura's Room**. Disponível em: <<https://dribbble.com/shots/9746657-Cardcaptor-Sakura-s-Room/attachments/1777292?mode=media>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

FISCHER, Anna. Architecture as art in Metaverse. **Executive Master in Art Market Studies, University of Zurich**, 2022.

FRANCO, José Tomás. **Assim é construída uma parede de tijolos utilizando realidade aumentada**. 02 jan. 2019. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/908796/assim-e-construida-uma-parede-de-tijolos-utilizando-realidade-aumentada>>. Acesso em: 18 jan. 2023.

FRANZÃO, Luana. **Programadoras operam o primeiro computador eletrônico da história, o ENIAC**. 23 fev. 2021. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/tecnologia/do-eniac-ao-notebook-confira-a-evolucao-dos-computadores-nas-ultimas-decadas/>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

FOLOGRAM. **Holographic Construction of the Hobart Hospital**. Disponível em: <<https://fologram.com/#case-studies>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

FORMALABS INC. **Additive Manufacturing Resin Tray Formlabs**. 28 fev. 2018. Disponível em: <formlabs.com/3d-printers/> ou

<<https://www.flickr.com/photos/161389331@N04/46572290761/>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

FUTURTRIBE. **The SLA-1 printer**. 15 out. 2020. Disponível em: <<https://www.futurtribe.com/when-was-the-first-3d-printer-invented/>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

GABRIEL, Martha. **Inteligência Artificial: Do Zero ao Metaverso**. Grupo GEN, 2022. E-book. ISBN 9786559773336. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559773336/>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

GEO WEEK NEWS. **Gravity Sketch**. 30 set. 2016. Disponível em <<https://www.geoweeknews.com/blogs/gravity-sketch-vr-app-lets-designers-work-inside-designs>>. Acesso em: 14 jan. 2023.

GOODFELLOW, Ian et al. Generative adversarial networks. **Communications of the ACM**, v. 63, n. 11, p. 139-144, 2020.

GOMBRICH, Ernst Hans. **A História da Arte**. Grupo GEN, 2000. E-book. ISBN 9788521636670. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636670/>>. Acesso em: 10 out. 2022.

GEBCZYŃSKA-JANOWICZ, Agnieszka. Virtual reality technology in architectural education. **World Transactions on Engineering and Technology Education**, v. 18, p. 24-28, 2020.

GRAMAZIO, Fabio; KOHLER, Matthias (Ed.). **Made by robots: challenging architecture at a larger scale**. John Wiley & Sons, 2014.

GREENGARD, Samuel. **Virtual reality**. Mit Press, 2019.

GROZDANIC, Lidija. **Arki**. 01 set. 2017. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/878548/os-5-melhores-aplicativos-de-realidade-virtual-e-realidade-aumentada-para-arquitetos>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

HEMMERLING, Marco; COCCHIARELLA, Luigi (Ed.). **Informed architecture: computational strategies in architectural design**. Springer, 2017.

HENRIQUES, Gonçalo Castro. **New Digital Procedures through Animation**. 2007.

HIGHARC. **The intelligent homebuilding platform**. Disponível em: <https://higharc.com/?utm_medium=website&utm_source=archdaily.com>. Acesso em: 23 de jan. 2023.

HOSSAIN, Md Aslam et al. A Review of 3D Printing in Construction and its Impact on the Labor Market. **Sustainability**, v. 12, n. 20, p. 8492, 2020.

INSIDE EDITION. **3D-Printed Houses Pave the Way as Home Prices Continue to Rise**. 18 mai. 2021. Disponível em: <<https://www.insideedition.com/3d-printed-houses-pave-the-way-as-home-prices-continue-to-rise-65595>>. Acesso em: 26 jan. 2023.

JONES, Chad B. **The role of the architect: changes of the past, practices of the present, and indications of the future**. Brigham Young University, 2006.

KENISON, Ervin; BRADLEY, Harry Cyrus. **Descriptive Geometry**. 1918, p. 34. Disponível em: <<https://archive.org/details/descriptivegeome00keni/page/34/mode/2up>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

KOLAREVIC, Branko; MALKAWI, Ali. **Peformative architecture**. 2005.

KORDIC, Angie. **Hard Edge Painting**. 17 nov. 2016. Disponível em: <<https://www.widewalls.ch/magazine/hard-edge-painting>>. Acesso em: 25 mar. 2022.

KOSTOF, S. Architecture in the ancient world: Egypt and Greece. In: **The Architect, Chapter in the history of the profession**. Oxford: Oxford University Press, 1986.

LOUVRE. **Côvado de Maya**. 2010. Disponível em: <<https://collections.louvre.fr/en/ark:/53355/cl010008140>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

MAHON, Casey. 4 Ways Virtual and Augmented Reality Will Revolutionize the Way We Practice Architecture. Archdaily, mar. 2016. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/783677/4-ways-virtual-and-augmented-reality-will-revolutionize-the-way-we-practice-architecture>>. Acesso em: 07 jul. 2022.

MARBLE, Scott (Ed.). **Digital Workflows in Architecture: Design–Assembly–Industry**. Walter de gruyter, 2012.

MARTINELLI, Dante Pinheiro. **TEORIA GERAL DOS SISTEMAS**. Editora Saraiva, 2012. E-book. ISBN 9788502180390. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788502180390/>>. Acesso em: 07 jan. 2023.

MASTER SERVIÇOS. **O que é 3d Laser Scanner?** 26 mai. 2019. Disponível em: <<https://masterserv.com.br/servicos/laser-scanner-3d-para-projetos-de-engenharia/>>. Acesso em: 16 jan. 2023.

MENGES, Achim; AHLQUIST, Sean. **Computational design thinking: computation design thinking**. John Wiley & Sons, 2011.

MITCHELL, William J. The theoretical foundation of computer-aided architectural design. **Environment and planning b: planning and design**, v. 2, n. 2, p. 127-150, 1975.

MURPHY, Maurice; MCGOVERN, Eugene; PAVIA, Sara. Historic building information modelling (HBIM). **Structural Survey**, v. 27, n. 4, p. 311-327, 2009.

MUSEU NACIONAL DA AUSTRÁLIA. **Hydria (water jar)**. Disponível em: <<https://www.nma.gov.au/exhibitions/ancient-greeks>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

MOHAI. **IBM 1620 data processing machine on display, Seattle World's Fair, 1962**. Disponível em: <<https://digitalcollections.lib.washington.edu/digital/collection/imlsmohai/id/3684/%20data>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

MOMA. **René Magritte. Tentative de l'impossible (Attempting the Impossible). Paris, 1928**. Disponível em: <<https://www.moma.org/audio/playlist/180/2386>>. Acesso em: 25 mar. 2022.

NEGROPONTE, Nicholas. **The architecture machine**, 1972.

OLSON, Mathew. **Two VR players using Virtuix Omni Pro treadmills and HTC Vive headsets. Photo by Virtuix**. 25 mai. 2021. Disponível em: <<https://www.theinformation.com/articles/vr-sequels-treadmills-and-sportscasting>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

OXMAN, Rivka. Theory and design in the first digital age. **Design studies**, v. 27, n. 3, p. 229-265, 2006.

PANISSON, Eliane. **Gaspar Monge e a sistematização da representação na arquitetura**. 2007.

PEREIRA, José R A. **Introdução à história da arquitetura: das origens ao século XXI**. Grupo A, 2009. E-book. ISBN 9788577806645. Disponível em:

<<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788577806645/>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

PHYS. **Virtual reality making construction sites safer**. 4 out. 2016. Disponível em: <<https://phys.org/news/2016-10-virtual-reality-sites-safer.amp>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

PIERCE MEYER, Katie. Technology in Architectural Practice: Transforming Work with Information, 1960s–1990s. **Information & Culture**, v. 51, n. 2, p. 249-266, 2016.

POLYPERFECT. **Low Poly Worlds vol. 2 - 3D model**. 06 out. 2021. Disponível em: <<https://sketchfab.com/3d-models/low-poly-worlds-vol-2-32d02eea8a7a4681bad7c5cf25c33010>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

PSA SISTEMAS. **Exigência do uso do BIM até 2021: fique por dentro**. 16 ago. 2018. Disponível em: <https://psasistemas.com.br/engenharia/exigencia-do-uso-do-bim-ate-2021-fique-por-dentro/?doing_wp_cron=1673817798.8592031002044677734375>. Acesso em: 20 nov. 2022.

PURTILL, James. **Haptic feedback suits simulate the world of touch and sensation. So how real does it feel?** 31 mar 2021. Disponível em: <<https://www.abc.net.au/news/science/2021-04-01/vr-teslasuit-simulates-virtual-reality-touch-haptic-feedback/100030320>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

RAYSPER, Yuri. **Axonometric projection**. 22 dez. 2006. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Proje%C3%A7%C3%A3o_axonom%C3%A9trica#/media/Ficheiro:Axonometric_projection.svg>. Acesso em: 10 jan. 2022.

ROSENBLUM, Naomi. **A world history of photography**. New York: Abbeville Press, 1997.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial: Uma Abordagem Moderna**. Grupo GEN, 2022. E-book. ISBN 9788595159495. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595159495/>>. Acesso em: 05 jan. 2023.

SANTILLANA, Giorgio de. O papel da arte no renascimento científico. São Paulo: **FAU-USP**, 1981.

SARCAR, M. M. M.; RAO, K. Mallikarjuna; NARAYAN, K. Lalit. **Computer aided design and manufacturing**. PHI Learning Pvt. Ltd., 2008.

SAVINI Antonio; SAVINI G. G., "A short history of 3D printing, a technological revolution just started," *2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON)*, 2015, pp. 1-8 , doi: 10.1109/HISTELCON.2015.7307314.

SIDANI, Adeb et al. Recent tools and techniques of BIM-based virtual reality: A systematic review. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 28, n. 2, p. 449-462, 2021.

ŚLUSARCZYK, Pawel. **What will happen when we put photopolymer resin to daylight?**. 25 ago. 2018. Disponível em: <<https://3dprintingcenter.net/what-will-happen-when-we-put-photopolymer-resin-to-daylight/>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SORENE, Paul. **Jaron Lanier's EyePhone: Head And Glove Virtual Reality In The 1980s**. 24 nov. 2014. Disponível em: <<https://flashbak.com/jaron-laniers-eyephone-head-and-glove-virtual-reality-in-the-1980s-26180/>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

TAYLOR, Finn Rush. **Footwear**. 09 jun. 2020. Disponível em: <<https://www.gravitysketch.com/workflows/>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

TEAGLE ELEVATOR. **Teagle Elevator**. 03 mai. 2021. Disponível em: <<https://teagleelevator.com/history/>>. Acesso em: 25 mar. 2022.

TECNOSIL. **A plataforma BIM oferece vantagens para todos os envolvidos no projeto e na construção**. 30 abr. 2018. Disponível em: <<http://www.tecnosilbr.com.br/conteudo/?p=324>>. Acesso em: 20 nov. 2022.

ULTRALEAP. **The world's most advanced hand tracking**. Disponível em: <www.ultraleap.com/tracking/>. Acesso em: 07 jul. 2022.

VENTURE BEAT. **Gravity Sketch lets you craft art in VR**. 29 set. 2016. Disponível em: <<https://venturebeat.com/business/gravity-sketch-lets-you-create-3d-models-in-virtual-reality/>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VIDIÉRE, Ésape Jean-Louis. **Du trait des tailleurs de pierre à la géométrie descriptive, par Joël Sakarovitch**. 14 abr. 2014. Disponível em: <<https://www.pinterest.fr/pin/342273640402942361/?d=t&mt=login>>. Acesso em: 10 jan. 2022.

VINTAGE EVERYDAY. **Sketchpad of Ivan Sutherland: This amazing footage shows what CAD looked like 55 years ago**. 06 set. 2018. Disponível em: <<https://www.vintag.es/2018/09/sketchpad-ivan-sutherland.html>>. Acesso em: 20 abr. 2022.

VIRTUALIST. **Augmented Reality (AR) in Architecture**. 23 set. 2019. Disponível em: <<https://virtualist.app/augmented-reality-ar-in-architecture/>>. Acesso em: 20 jan. 2023.

VON BORRIES, Friedrich et al. Space Time Play. **Computer Games, Architecture and Urbanism: The next Level**, 2007.

VRTIFACTS. **So Serious – 1980's Virtual Reality from NASA**. 13 mar. 2010. Disponível em: <<https://vrtifacts.com/so-serious-1980s-virtual-reality-from-nasa/>>. Acesso em: 19 jan. 2023.

WARNER BROS. PICTURES BRASIL. **Matrix Resurrections - Trailer Oficial 1 Legendado.** 09 set. 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Wg7V2_OBXwQ>. Acesso em: 28 jan. 2023.

WIKIART. **A Santissima Trindade de Tomasso Masaccio.** 16 out. 2010. Disponível em: <<https://www.wikiart.org/pt/masaccio/a-trindade-1428>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

WORLD HISTORY ENCYCLOPEDIA. **Horse depicted in Lascaux Cave in the Dordogne, southwestern France, dated to the Upper Palaeolithic period.** 2 set. 2016. Disponível em: <<https://www.worldhistory.org/image/5589/painting-of-a-horse-lascaux-cave/>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

YE, Josh. **The Sandbox runs a blockchain-based virtual world where people can socialise, play games and even attend concerts.** 13 dez. 2021. Disponível em: <<https://www.scmp.com/tech/big-tech/article/3159562/sandbox-founder-says-open-blockchain-based-metaverse-threatened>>. Acesso em: 23 jan. 2023.

ZAHA HADID ARCHITECTS. **Architecting the Metaverse.** 2022. Disponível em: <<https://www.zaha-hadid.com/design/architecting-the-metaverse/>> Acesso em: 22 jan. 2023.