

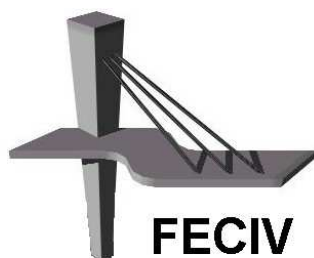
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

A análise da representação gráfica de projetos civis com “CAD”, “BIM” e “RA” para identificar as interferências de obra em projetos complementares.

LUCAS FRANCISCO MARTINS

UBERLÂNDIA, 10 de Abril de 2018

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil





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



LUCAS FRANCISCO MARTINS

**A análise da representação gráfica de projetos civis com cad, bim e ra
para identificar as interferências de obra em projetos complementares**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de **Mestre em**
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt

Uberlândia, 10 de Abril de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

M386a Martins, Lucas Francisco, 1988-
2018 A análise da representação gráfica de projetos civis com CAD, BIM E
RA para identificar as interferências de obra em projetos complementares
/ Lucas Francisco Martins. - 2018.

127 f. : il.

Orientador: Marcio Augusto Reolon Schmidt.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.1134>

Inclui bibliografia.

1. Engenharia civil - Teses. 2. Projeto de sistemas - Teses. 3.
Realidade aumentada - Teses. 4. Design centrado no usuário - Teses. I.
Schmidt, Marcio Augusto Reolon. II. Universidade Federal de
Uberlândia.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 624

Maria Salete de Freitas Pinheiro – CRB6/1262



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Avenida João Naves de Ávila, 2121 - Bairro Santa Monica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
Telefone: 34 3239-4137 - Bloco 1Y



ATA

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

ATA Nº: 213/2018

CANDIDATO: Lucas Francisco Martins N.º. Matrícula: 11622ECV010

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt

TÍTULO: "A análise da representação gráfica de projetos civis com "CAD", "BIM" e "RA" para identificar interferências de obra em projetos complementares".

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

LINHA DE PESQUISA: Engenharia Urbana

PROJETO DE PESQUISA: Análise Espacial Ambiental DATA

DA DEFESA: 10 de abril de 2018.

LOCAL: Sala de Reuniões Prof. Márcio Antônio Ribeiro da Silva, bloco 1Y.

HORÁRIO INÍCIO/TÉRMINO: 14h30min às 16h35min.

Reuniu-se na Sala de Reuniões Prof. Márcio Antônio Ribeiro da Silva, bloco 1Y - Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do PPGECC, assim composta: Professores Doutores: André Luiz de Alencar Mendonça – EST/UEA; Edson Angotti Júnior– IFTM e Marcio Augusto Reolon Schmidt orientador do candidato. Ressalta-se que os Prof. Dr. André Luiz de Alencar Mendonça participou da defesa por meio de vídeo conferência desde a cidade de Manaus (AM) e os demais membros da banca e a aluna participaram in loco.

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt apresentou a Comissão Examinadora e concedeu ao discente a palavra para a exposição do trabalho. A seguir, o senhor presidente concedeu a palavra aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Em face do resultado obtido, a Banca Examinadora considerou o candidato aprovado. Esta defesa de Dissertação de Mestrado Acadêmico é parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre. O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da

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

Membros titulares:

Prof. Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt – FECIV/UFU

Prof. Dr. André Luiz de Alencar Mendonça – EST/UEA

Prof. Dr. Edson Angotti Júnior– IFTM

https://www.sei.ufu.br/sei/controlador.php?acao=documento_imprimir_web&acao_origem=arvore_visualizar&id_documento=428953&infra_sistema=100000100&23/04/2018 SEI/UFU - 0376400 - Ata

Uberlândia, 10 de abril de 2018.



Documento assinado eletronicamente por Marcio Augusto Reolon Schmidt, Coordenador(a), em 13/04/2018, às 11:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Edson Angotti Junior, Usuário Externo, em 17/04/2018, às 15:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por André Luiz Alencar de Mendonça, Usuário Externo, em 23/04/2018, às 02:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [h ps://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 0376400 e o código CRC E4251A70.

Martins, L. F. Análise da representação gráfica de projetos civis com CAD, BIM e RA para identificar interferências de trabalho em projetos complementares. 132 p. Qualificação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2018.

RESUMO

Desde o início da representação gráfica técnica, existem problemas quanto à redução da dimensionalidade do 3D para o 2D. Os projetos na AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) adotam o paradigma de vista de topo ou projeção ortogonal em 2D. Este tipo de padrão perdurou até o CAD (*Computer Aided Design*). Duas mudanças importantes na representação técnica dos projetos foram na mudança da visão em perspectiva 3D do papel para o 3D virtual e nas interações com as novas plataformas tecnológicas RA (realidade aumentada) e BIM (*Building Model Information*). Nos projetos da AEC, há problemas de incompatibilidade ou de interferência, classificados em três tipos: *hard clash*, *soft clash* e *4D clash*. Neste contexto, o problema de pesquisa é a melhora da visualização e identificação das interferências do projeto para engenheiros e arquitetos, frente às tecnologias de representação, CAD, BIM e RA. A hipótese desse trabalho é que a visão em 3D melhora a identificação das interferências no projeto, e que a taxa de acerto melhora com a alteração do padrão de variável visual tom de cor, auxiliando o usuário na identificação das interferências diretas. Propõe-se a abordagem UCD (*User Centered Design*), utilizando o método de questionário e um protocolo de testes de eficácia para o entendimento de aspectos da percepção do usuário no uso das ferramentas comuns na compatibilização de projetos. Abordando a percepção cognitiva da representação gráfica no processo construtivo, esta pesquisa pretende avaliar como as diferenças do ambiente 2D para o 3D influenciam na eficácia na comunicação cartográfica de projetos civis, identificando possíveis vantagens do BIM e RA para a visualização e compatibilização de projetos complementares.

Palavras-chave: Representação gráfica - Cognição - CAD - BIM - Realidade aumentada - UCD - Arquitetura - Engenharia civil.

Martins, L. F. Analysis of the graphical representation of civil projects with CAD, BIM and AR to identify interferences of work in complementary projects. 132 p. Qualification of Master, Faculty of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2018

ABSTRACT

Since the beginning of the technical graphical representation, there are problems in reducing the dimensionality of 3D for 2D. The projects in AEC (Architecture, Engineering and Construction) adopt the paradigm of top view or orthogonal projection in 2D. This type of pattern lasted until CAD (Computer Aided Design). Two important changes in the technical representation of the projects were, the change in the 3D perspective view of the role for virtual 3D and in the interactions with the new technological platforms RA (augmented reality) and BIM (Building Model Information). In AEC projects, there are problems of incompatibility or interference, classified into three types: hard clash, soft clash and 4D clash. In this context, the research problem is the improvement of the visualization and identification of the interferences of the project for engineers and architects, face of the technologies of representation, CAD, BIM and RA. The hypothesis of this work is that 3D vision improves the identification of interferences in the design, and that the hit rate improves with changing the visual variable color tone pattern, helping the user in the identification of direct interferences. It is proposed the UCD (User Centered Design) approach, using the questionnaire method and a protocol of effectiveness tests for the understanding of aspects of user perception in the use of common tools in the compatibilization of projects. The aim of this research is to evaluate how the differences between the 2D environment and the 3D influence the effectiveness of cartographic communication on civil projects, identifying possible advantages of BIM and RA for the visualization and compatibilization of complementary projects.

Keywords: *Graphical representation - Cognition - CAD - BIM - Augmented reality - UCD - Architecture - Civil Engineering*

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

<i>AEC</i>	- Arquitetura, Engenharia e Construção
<i>CAD</i>	- <i>Computer Aided Design</i>
<i>BIM</i>	- <i>Building model information</i>
<i>2D</i>	- Duas Dimensões
<i>3D</i>	- Três Dimensões
<i>RA</i>	- Realidade Aumentada
<i>RV</i>	- Realidade Virtual
<i>UCD</i>	- <i>User centered Design</i>
<i>LER</i>	- Lesão por esforço repetitivo
<i>CAU</i>	- Conselho de Arquitetura e Urbanismo
<i>CREA</i>	- Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

SUMÁRIO

Resumo	6
Abstract.....	7
Símbolos, Abreviaturas e Siglas	8
Sumário	9
Lista de figuras.....	11
Lista de gráficos.....	12
Lista de tabelas.....	12
CAPÍTULO 1.....	13
Introdução	13
1.1. Objetivos	17
1.1.1. Objetivos específicos	17
1.1.2. Justificativa	17
CAPÍTULO 2.....	19
Revisão bibliográfica	19
2.1. A representação gráfica	19
2.1.1. Projeção ortogonal e perspectiva.....	21
2.2. O desenho assistido por computador.....	24
2.2.1. O BIM	29
2.3. Comunicação cartográfica e variáveis visuais.....	34
2.3.1. Cor.....	37
2.3.1.1. Sistemas de modelagem de cores	38
2.3.1.2. Aplicação de cores para representação de tubulações na AEC.....	41
2.4. Realidade virtual e aumentada	43
2.4.1. O BIM e a RA para AEC	46
2.4.2. Demonstração arquitetônica em projetos	49
2.5. A compatibilização de projetos e formas de representação	52
2.5.1. CAD 2D	53
2.5.2. BIM 3D	57
2.5.3. RA 3D	60
2.5.4. Tipos de interferências.....	64
2.6. Avaliação com usuários e IHC.....	67
2.6.1. Questionários	71

CAPÍTULO 3.....	73
Metodologia	73
3.1. Etapas da metodologia.....	75
3.2.1. Modelo de questionário.....	77
3.2.2. B - Testes em ambiente computacional.	81
Modelo da tarefa	85
CAPÍTULO 4.....	87
Resultados e discussões	87
4.1. Caracterização dos participantes e análise dos dados	87
4.2. Análise dos dados	91
4.3. Respostas dos questionários de satisfação	94
CAPÍTULO 5.....	101
Conclusões e recomendações	101
Referências bibliográficas	104
Apêndice A.....	113
Apêndice B	114
Apêndice C	115
Apêndice D	116
Apêndice E.....	117
Apêndice F.....	118
Apêndice G	119
Apêndice H	121
Apêndice I.....	121
Apêndice I.....	122
Apêndice J.....	122
Apêndice j.....	123
Apêndice K	124
Apêndice L.....	124
Apêndice M.....	125
Apêndice N	126
Apêndice O	127
Apêndice P.....	128
Apêndice Q	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Manuscrito renascentista, De Architectura.....	17
Figura 2 - Planos de projeção de figuras geométricas, projeção ortogonal.....	19
Figura 3 - Projeções ortogonais do Panteão e Santa Maria del Fiore.....	20
Figura 4 - Exemplo de desenho feito com <i>software</i> CAD.....	22
Figura 5 - Fluxo de informações entre os <i>stakeholders</i> do projeto.....	27
Figura 6 - Modelo em CAD geométrico, BIM e renderização.....	28
Figura 7 - Interface de <i>software</i> BIM: <i>Revit</i>	29
Figura 8 - Exemplo de edifício em modelo BIM.....	31
Figura 9 - Variáveis visuais de MacEachren.....	34
Figura 10 – Representação gráfica do sistema RGB.....	36
Figura 11 - Representação visual do modelo de Munsell.....	37
Figura 12 - Demonstração de RV imersiva.....	41
Figura 13 - Níveis de visualização em virtualidade e realidade.....	42
Figura 15 - Marcadores, imagem real e imagem de virtual, com RA.....	45
Figura 16 - Plano de corte de modelo.....	52
Figura 17 - Comparação entre ferramentas de visualização arquitetônica.....	57
Figura 18 - Visualização de planta arquitetônica no <i>tablet</i>	58
Figura 19 - Exemplo de visualização em Realidade Aumentada (RA).....	59
Figura 20 - Realidade Aumentada com utilização de marcadores.....	60
Figuras 21a e 21b - Interferências diretas ou <i>hard clash</i>	61
Figuras 22a e 22b - Exemplos de <i>soft clash</i>	62
Figuras 23a e 23b - Tipos de interferência 4D clash.....	63
Figura 24 - O modelo de três fases da Interação Humano-Computador.....	67
Figura 25 - Fluxograma da metodologia.....	71
Figura 26 - Os três tipos de ambiente que foram testados.....	80
Figura 27 - Sobre os níveis escolhidos	80
Figuras 28a e 28b - visualização com níveis em COG e em NBR.....	82
Figuras 29a e 29b - Testes de interface com 3D BIM e RA.....	83

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Custo acumulado e interferência, tempo e custo.....	15
Gráfico 2 - Evolução da representação gráfica.....	24
Gráficos 3a, 3b, 3c e 3d - formação, gênero e identificação de interferências...	84
Gráficos 4a, 4b, 4c e 4d profissional e dificuldade de compatibilização.....	85
Gráficos 5a, 5b e 5c - nível de experiência em <i>softwares</i> e interfaces.....	87
Gráficos 6- Requisitos básicos para execução do teste.....	88
Gráfico 7 - Satisfação geral do usuário.....	92
Gráfico 8 - Experiência no sistema.....	92
Gráfico 9 - Experiência da interface.....	93
Gráfico 10- Entendimento do projeto.....	94
Gráfico 11 - Entendimento do projeto.....	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrão de cores para utilização segundo a NBR-6493.....	38
Tabela 2 –cores para utilização segundo a NBR-6493 e NBR- 6118.....	39
Tabela 3 - padrão de cores para utilização em projetos.....	40
Tabela 4 - interferências das diferentes interfaces.....	89
Tabela 5 - Teste de Tukey/significância entre grupos.....	90
Tabela 6 - ANOVA – Teste eficácia dos usuários por interface BIM e RA.....	90
Tabela 7 - interferências nas diferentes interfaces e diferentes padrões	90
Tabelas 8a, 8b e 8c - (ANOVA) das 3 interfaces.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – erros comuns na representação 2d.....	53
--	----

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da representação de projetos auxilia no entendimento do objeto a ser construído e propicia uma melhor compreensão da forma proposta, para torná-lo o mais próximo do imaginado e evitar erros na representação e construção. Os profissionais da construção civil são cobrados no mercado de trabalho, devido à demanda de obras e aos curtos prazos a elas estabelecidos; no entanto, é comum verificar altas taxas de retrabalhos nos canteiros de obra, causando transtornos. Este problema pode ser atribuído principalmente à dificuldade de compreensão e interpretação do projeto proposto, à falta de profissionais capacitados na análise de interferência de projetos ou ainda à negligência na execução dos projetos no canteiro de obras.

De todas as etapas do ciclo de vida de uma obra, os processos iniciais são os que mais afetam o custo total da construção. Segundo Hammarlund e Josephson (1992), o custo acumulado de construção cresce à medida que a possibilidade de interferências diminui, concluindo-se que, quanto antes forem detectadas as interferências na obra, menos impacto no custo estas causarão. Observa-se que a compatibilização de projeto tem como objetivo a redução das interferências entre os projetos arquitetônico, estrutural e instalações complementares. A tarefa de compatibilização deve ser desenvolvida em vários momentos, desde a elaboração dos projetos até durante o processo de construção, pois em diferentes momentos da obra podem ocorrer interferências nos componentes dos projetos do produto.

Neste contexto, o fato de haver vários agentes envolvidos na produção de uma edificação também pode significar um desafio para a garantia da qualidade dos produtos e processos no subsetor edificações. Para que essas práticas possam ser devidamente adotadas, existe a necessidade de uma padronização e coordenação eficiente de tarefas e uma comunicação adequada entre os envolvidos.

De acordo com Muller *et al.* (2013), a coordenação e o fator humano do processo de projeto é de extrema importância, pois permitem melhorar planejamento de tempo e utilização de

recursos, e um posterior acompanhamento dos planos estabelecidos para que, ao final do processo, a análise crítica dos parâmetros estabelecidos possibilite que a empresa utilize suas experiências, em ganhos em termos de produtividade, motivação de pessoal, visão crítica sobre o processo de projeto, ganhos financeiros e, conseqüentemente, vantagem competitiva em relação às empresas que não possuem a cultura da gestão do processo de projeto. Existem diversas ferramentas que podem auxiliar na compatibilização; no entanto, não há uma padronização desse processo, e essa tarefa fica a cargo de engenheiros e arquitetos.

O uso do desenho digital atualmente é a linguagem para expressar todos os componentes do projeto pela informação dos dados quantitativos e qualitativos, mas algumas tecnologias ainda simulam um processo de desenho manual e não um processo de projeto. É necessário estabelecer uma análise qualitativa, crítica, do modo como os arquitetos e engenheiros trabalharam a representação gráfica em seus projetos ou propostas. Segundo Maciel *et al.* (2014), muitos erros apresentados nas obras são devidos à interpretação inadequada de quem executa ou a falta de investimento no setor de projetos. Os autores acrescentam ainda que a maior preocupação com a compatibilização dos projetos é importante, pois isto levará à redução de custos, melhoria da qualidade do produto final e redução de perdas causadas pelo retrabalho.

A tecnologia CAD (*Computer Aided Design*), é considerada, segundo Scheer *et al.* (2006), a inovação mais impactante de TI (Tecnologia da Informação) na AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) nas últimas quatro décadas. Segundo Ribeiro *et al.* (2015), os processos de representação para desenhos técnicos na construção civil em CAD consolidaram-se na década de 90; desde então, os projetos civis são feitos predominantemente pelo programa AUTOCAD 2D. Alguns profissionais ainda utilizam suas habilidades manuais para a concepção do projeto no papel; porém, nas fases seguintes, o trabalho geralmente é digitalizado, impresso em papel e levado à obra. Apesar da predominância na utilização desse programa, segundo Ribeiro *et al.* (2015), o AutoCAD 2D tem algumas desvantagens. Podem-se citar três: o desenho apenas em duas dimensões, a representação por entidades gráficas (feições) desconexas com um modelo integrado e a composição geométrica dos atributos de representação gráfica (estrutura de programação). Os autores concluem que existem benefícios de apresentar informações em 3D, melhorando a localização e a desagregação de feições no projeto. Segundo Righi e Celani (2008), as

ferramentas físicas, digitais e equipamentos utilizados durante o projeto interferem no desenho do modelo e consequentemente na obtenção de soluções. Logo, existem outras tecnologias que podem ser utilizadas na comunicação e na gerência de projetos de arquitetura e engenharia, que incorporam melhores sistemas de representação sob uma mesma linguagem computacional. De acordo com Batista e Ferreira (2015), a união dos sistemas virtuais empregados da forma tradicional CAD, com uma nova linguagem paramétrica, possibilita a representação do espaço de forma multidimensional com parâmetros que possibilitam uma melhor estrutura de informações e permitem melhorar a representação gráfica de um objeto. Segundo Eastman *et al.* (2013), a tecnologia BIM (*Building Information Model*) é a mais desenvolvida nessa área, pois possibilita criar digitalmente modelos virtuais de uma construção, oferecendo suporte gerencial ao projeto ao longo de suas fases, o que permite uma melhor análise e melhor controle que os processos convencionais. Esses modelos gerados por computador quando concluídos contêm o modelo tridimensional proposto, e dados parametrizados necessários para o apoio às atividades de construção, fabricação e aquisição por meio das quais a construção é realizada. Apesar do BIM ser uma tecnologia da década de 80, segundo Scheer *et al.* (2006), somente 30 anos depois ele começou a ser utilizado predominantemente; por isso, grande parte dos projetistas da AEC se encontram numa transição na forma de projetar.

Os avanços dos recursos computacionais interferiram diretamente na forma de interação do usuário com a tecnologia, trazendo interfaces mais intuitivas. A interface é a fronteira de comunicação do sistema homem-máquina, em que o homem capta os dados a partir da máquina e executa uma ação sobre ela, acionando algum dispositivo de controle. Segundo Wang *et al.* (2014), a otimização das interfaces resulta em uma melhor representação de informações para o usuário e consequentemente numa maior facilidade de acionamento dos controles, garantindo uma melhor interação entre os dados apresentados e os comandos exercidos sobre o sistema. A RA (Realidade Aumentada) é uma interface gráfica em expansão na construção civil; essa tecnologia consiste em visualizar informações virtuais no mundo real por meio de dispositivos eletrônicos. De acordo com XU *et al.* (2014), a utilização de tecnologias RA em aplicações práticas, como educação, *design*, fabricação, construção e entretenimento revela grande potencial. De acordo com Wang *et al.* (2014), várias atividades, especialmente aquelas envolvendo *design* e visualização de modelos 3D, no modelo misto (real e virtual) podem se beneficiar com esses modelos de interface. A RA

oferece novos potenciais para a interação humano-máquina em todo o ciclo de vida do projeto, com a mistura adequada do real e do virtual, pelos dispositivos de interação, podem ser direcionados para decisões sobre determinadas atividades do ciclo de vida do modelo. Trabalhos como de Bilda e Dermirkan (2003) demonstram que as evoluções dos meios digitais são fundamentais para a melhor compreensão visual do problema, permitindo uma resolução de forma mais rápida; porém, existem vários problemas na implantação dessas tecnologias. Segundo Schmidt e Delazari (2013), a tecnologia utilizada neste tipo de sistemas de representação em 3D, antecipou-se ao conhecimento necessário para se construir ambientes e representações de maneira adequada à comunicação cartográfica. As representações virtuais 3D de dados espaciais são muitas vezes criadas com a adaptação de critérios e princípios desenvolvidos para mapas em papel, aplicados a visualização cartográfica em meio digital com vista perspectiva. Nesse contexto, algumas pesquisas se baseiam somente na preferência estética do usuário, deixando de lado o papel prático e decisivo na identificação e na manipulação de informações na interface de representação. Visando contribuir para a representação gráfica no processo construtivo, esta pesquisa pretende, no contexto descrito anteriormente, avaliar a eficácia da visualização de interferências (comunicação cartográfica) de projetos em ambiente 2D para 3D, utilizando *softwares* de visualização de projetos civis, identificando possíveis vantagens da visualização em BIM e RA para a compatibilização de projetos complementares. O trabalho proposto leva em consideração, ainda, uma análise do emprego de cores para identificação de tubulações, comparando o padrão da NBR-6493 (1994) com uma abordagem cognitiva da representação dos tubos, considera a dissociação das feições através da variável visual tom de cor, pois, segundo Chen *et al* (2013), essa variável visual se mostra relevante para diferenciação e análise em projetos civis. Nesse contexto, foram aplicadas essas variáveis em dois sistemas de interface, uma com monitor bidimensional e outra com auxílio de um *tablete*. Esta pesquisa tem caráter interdisciplinar pois traz a semiótica e comunicação cartográfica para análises de engenharia visando melhoria na visualização de processos na AEC.

1.1. Objetivos

Avaliar a eficácia da visualização de interferências entre projetos arquitetônicos e complementares na AEC, em ambiente virtual 2D e 3D não imersivo, identificando as possíveis vantagens da visualização em 3D com realidade virtual e aumentada considerando a alteração da variável visual tom de cor na identificação de feições.

1.1.1. Objetivos específicos

A. Avaliar a eficácia da visualização tridimensional na identificação das interferências em projetos complementares utilizando monitor bidimensional, e com o artifício da realidade aumentada.

B. Analisar o emprego de cores para identificação de tubulações, comparando a NBR-6493 (1994) com uma abordagem cognitiva, que leva em consideração a dissociação das feições por meio da alteração da variável tom de cor;

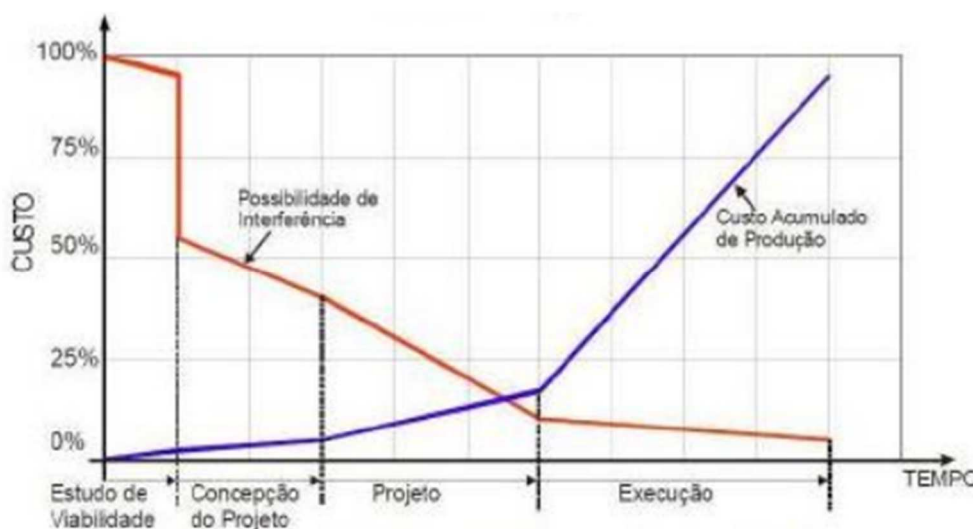
C. Realizar análise qualitativa dos testes, informando as percepções do usuário e também sugestões e sensações não abordadas pela análise dos dados

1.1.2. Justificativa

O crescimento da tecnologia da informação gerou possibilidades e facilidades advindas da passagem da criação e produção de projetos civis do meio analógico para o digital, de acordo com Righi e Celani (2009), principalmente nos últimos quinze anos, o enriquecimento nas capacidades de manipulação e apresentação de dados em diferentes tipos de dispositivos desenvolveram-se muito. Ainda segundo os autores, o desenho feito digitalmente é a linguagem predominante para expressar todos os componentes do projeto em AEC, pela informação em dados quantitativos. Devido às rápidas mudanças no sistema de representação, é importante estabelecer uma análise qualitativa, crítica, do modo como os arquitetos e engenheiros entendem e trabalham a representação gráfica em seus projetos ou propostas. De acordo com Muller *et al.* (2013), o processo de projetos interfere diretamente nos resultados econômicos do empreendimento, na eficiência do produto ao reduzir patologias e no auxílio no momento de execução da obra. Isto acontece porque com um projeto detalhado consegue-se elaborar planejamentos mais próximos da realidade e compatíveis com o que será executado. Um projeto bem elaborado propicia ao produto eficiência e qualidade, reduzindo improvisos, custos e tempo na fase de execução da obra.

O gráfico 1 demonstra o custo de reparos na obra em relação à etapa que se encontra a construção do modelo, nota-se que, quanto antes forem detectadas as interferências, menos impacto no custo estas causarão.

Gráfico 1 - Custo acumulado e da possibilidade de interferência, relacionando tempo e custo.



Fonte: Hammarlund e Josephson, 1992.

A preocupação com a compatibilização dos projetos é necessária, pois isto levará à redução de custos, melhoria da qualidade do produto final e redução de perdas causadas pelo retrabalho. Pode-se atribuir isto a falta de conhecimento de como construir representações eficientes para transmissão da informação e como usuários reagem a esta nova perspectiva. Esta situação cria problemas no estabelecimento da comunicação na obra. Compreender como tratar e desenvolver a visualização do projeto é importante para que estas novas técnicas e ferramentas sejam utilizadas de modo mais efetivo, comunicando-se adequadamente com todos os participantes de uma obra. Segundo Schmidt (2016), entre os problemas mais comuns destacam-se a grande quantidade de informação não classificada e não generalizada, problemas de interação e navegação com os modelos e a evidente falta de teoria consolidada para dirigir o processo de visualização de dados espaciais. Esta pesquisa tem o propósito de contribuir para o conhecimento na visualização de projetos ao estabelecer uma interface mais amigável para o usuário especialista em construção civil, voltada ao uso da modelagem virtual não imersiva, uma vez que o conhecimento sobre o tema ainda não está consolidado e as proposições existentes são recentes e necessitam de validação.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A representação gráfica

Segundo o dicionário Michaelis (4ª edição, 2016), o termo representação é o ato ou efeito de representar, expor, exhibir uma ideia concebida de alguma coisa. Em outra definição, é uma mostra de fenômenos físicos, econômicos, sociais, de forma ordenada e representada em escala. A representação tem origem remota na história da civilização, baseada em forças emotivas e evocativas, materializando-se em áreas como as artes visuais, o desenho e a pintura. De acordo com Gallego (1995), a representação e a sua formalização são resultado não só de um conjunto de desenhos, mas também de uma capacidade organizativa. De acordo com Sánchez *et al.* (2002), o desenvolvimento da expressão gráfica permite compreender a representação como um ato reflexivo e geradora de novas propostas e interpretações do espaço sensível.

Segundo o mesmo autor, a representação gráfica pode ser dividida em dois tipos: artística ou técnica. A representação artística tem finalidade lúdica ou histórica; por outra perspectiva, a representação gráfica técnica tem finalidade construtiva ou para orientação e por isso deve transmitir com maior precisão possível as características do objeto a ser construído ou localizado. A representação gráfica técnica é imprescindível na administração, arquitetura, medicina, geografia entre outras áreas, porém no contexto da arquitetura e da engenharia ela pode ser descrita como um sistema de coordenadas que descrevem um objeto ou modelo, representando-o por um conjunto finito de pontos e de segmentos de linhas que unem a pontos distintos. Uma característica importante no desenho técnico é a necessidade de padronização das características e das formas do desenho, uma vez que a representação artística pode trazer várias interpretações e possibilidades. A representação técnica requer eliminar as ambiguidades de interpretação para diminuir os possíveis erros.

Todo o processo de desenvolvimento e criação dentro da engenharia está intimamente ligado à expressão gráfica. Na antiguidade, termos para a definição do desenho e para representação

de projetos foram propostos no Tratado de Vitrúvio (escrito em aproximadamente 27 a. C.). Este tratado reunia, ainda que basicamente, um conhecimento de construção de estruturas, definições para a representação técnica e desenho arquitetônico. A figura 1 mostra a capa do manuscrito renascentista do Tratado de Vitrúvio.

Figura 1 - Manuscrito renascentista, De Architectura.



Fonte: LABTRI, Unicamp, 2015.

Segundo D'Agostino (2012), o livro *De architectura de Vitruvius* surgiu da necessidade de padronização e orientação do desenho arquitetônico e urbanístico de Roma. O imperador Augusto iniciou, por volta de 28 a.C., um ambicioso empreendimento de construções urbanas, que contava sobretudo com a reforma de mais de oitenta edifícios de culto.

De acordo com Bryan *et al.* (2016), a formação visual para ser realmente compreendida requer uma aprendizagem. Ela não é nem natural nem espontânea, porque possui uma linguagem própria que precisa ser apreendida. A representação gráfica permite compartilhar um número maior de informações cognitivas sobre um objeto, se comparada com a forma textual, desde que transcritas de maneira padronizada e ordenadas visualmente. As

informações cognitivas possuem vários níveis de leitura pelo agrupamento dos elementos que constituem o desenho.

Ainda segundo o autor, a linguagem gráfica é um sistema de signos gráficos, que é formada pelo significado (conceito) e pelo significante (imagem gráfica). As três relações importantes à similaridade, à ordem e à proporcionalidade consistem nos significados da representação gráfica e são expressas pelas variáveis visuais (tamanho, valor, textura, cor, orientação e forma).

Na área da cartografia, que utiliza uma linguagem essencialmente visual, a abordagem semiótica também permite avaliar as vantagens e as limitações da utilização da simbologia que irá constituir a linguagem gráfica, com o uso das chamadas variáveis visuais. Essas variáveis são os recursos utilizados em diversas áreas que necessitam de representação gráfica entre elas e a cartografia. A AEC pode beneficiar-se com os conhecimentos dessa área na elaboração de projetos, pois eles remontam aspectos cognitivos e interpretativos na percepção de mapas e desenhos, tanto a cartografia quanto a AEC têm necessidade de uma interpretação correta da representação gráfica para que sua comunicação seja mais eficiente e eficaz. Maciel *et al.* (2014) consideram que os diagramas, esboços, desenhos, mapas, gráficos e anotações escritas como formas de representações de projeto são representações externas sobre o pensamento do projetista; elas podem ser utilizadas como ferramentas do processo de concepção para compreensão do problema e investigação de soluções pela geração e registro de alternativas para subsequente avaliação, verificação e refinamento. Nesse contexto pode-se citar diversas maneiras para representação gráfica que foram importantes na construção de projetos. Para tornar o projeto executável é necessário estabelecer uma relação do pensamento do projetista com as técnicas disponíveis para construção. Das diversas projeções que foram evoluções importantes na maneira de antecipar o modelo construído, temos a ortogonal e perspectiva como as mais influentes.

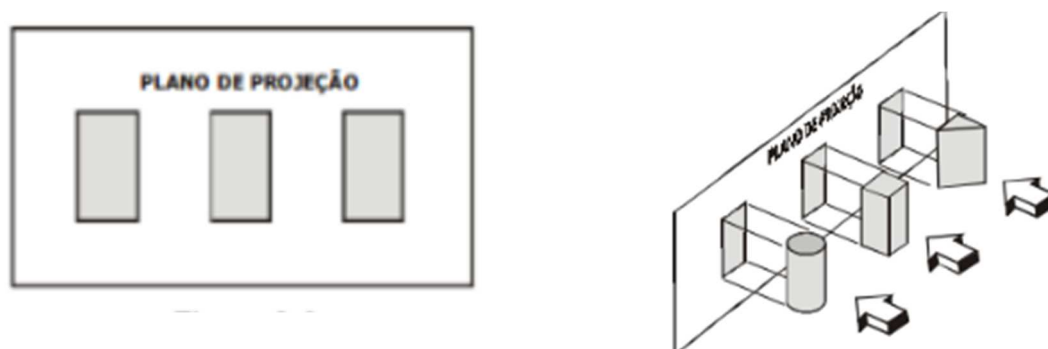
2.1.1. Projeção ortogonal e perspectiva.

A representação gráfica permite compartilhar um número maior de informações cognitivas sobre um objeto se comparada com a forma textual, desde que transcritas de maneira padronizada e ordenadas visualmente. Segundo Bryan *et al.* (2013), o modelo de projeção

ortogonal foi um dos primeiros processos de desenho técnico e responsável pela construção da maioria dos modelos; apesar de não ser uma representação fiel da realidade, é a mais utilizada pela facilidade na interpretação; no entanto, ela pode deixar lacunas na representação dos objetos, ou necessitar de vários desenhos para resolver ambiguidades.

A figura 2 mostra a projeção de 3 sólidos diferentes em um mesmo plano de projeção; apesar de 3 prismas diferentes serem projetados, a figura resultante da projeção é a mesma; percebe-se que ambiguidades podem ocorrer em projeções ortogonais, pois apenas um plano da figura pode ser representado. É necessária uma figura adjacente para poder determinar corretamente o modelo. Além desse problema, outras limitações desse tipo de representação gráfica impulsionaram desenhistas a buscar formas de representação mais eficientes.

Figura 2 - Planos de projeção de figuras geométricas, projeção ortogonal.



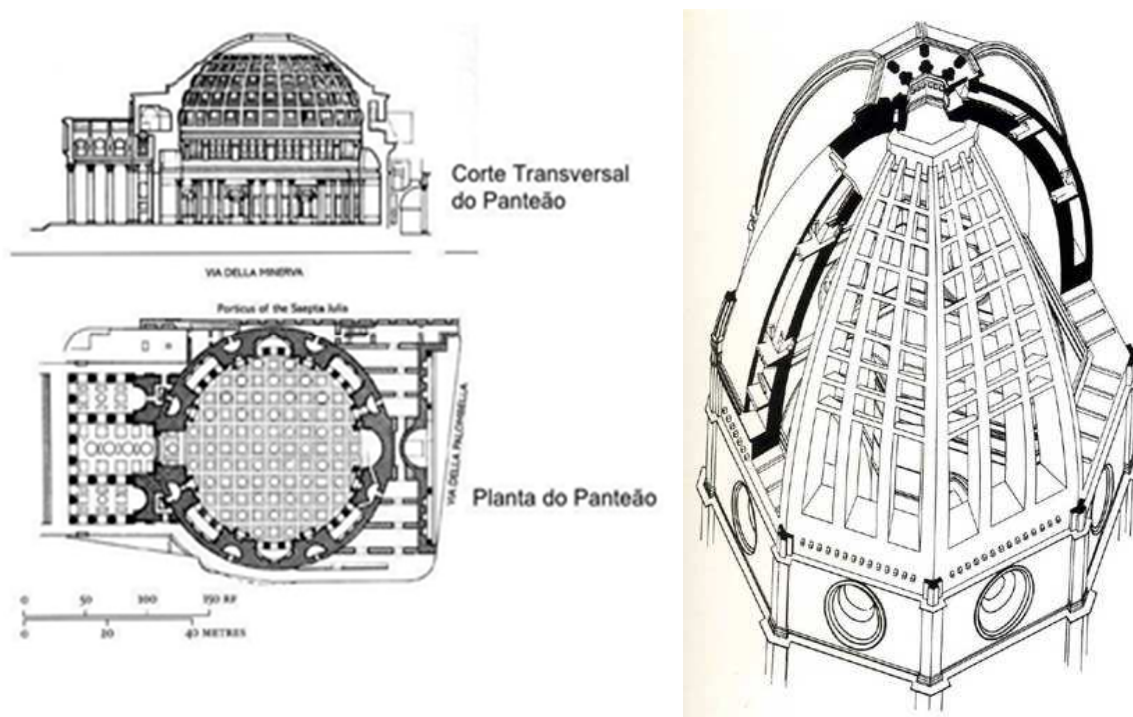
Fonte: Bortolosi, 2013.

Para tentar suprir essas diferenças de maneira a obter uma representação mais detalhada de um objeto que não seja somente artística, mas também com base científica para construção, os projetistas recorreram a outros métodos.

Para diversos autores como Thuillier (1994), Wertheim (2001) e Koyré (1982), a aplicação de métodos científicos na expressão gráfico-visual só começou próximo ao Renascimento quando se fortaleceu a demanda por mais expressões realistas e que, baseadas em métodos universais, agregassem credibilidade à representação. Ao longo dos séculos XV e XVI se popularizam as técnicas da perspectiva linear, permitindo que se reproduzisse sobre o plano a sensação de profundidade captada pelo ato de olhar objetos no espaço.

O desenvolvimento do sistema de representação em perspectiva linear, com a planta e fachada relacionadas, foi disseminado por Brunelleschi. A projeção e, principalmente, o corte teve seu uso difundido no sul da Europa e na Itália, por volta de 1500. O corte detalhado resultava em uma construção com mais detalhes construtivos e de melhor visualização. A figura 3 mostra a planta baixa e um corte transversal do Panteão em projeções ortogonais e, ao lado, uma perspectiva isométrica da catedral Santa Maria del Fiore.

Figura 3 - Projeções ortogonais do Panteão e desenho de domo da Catedral Santa Maria del Fiore, utilizando perspectiva isométrica, de Brunelleschi.



Fonte: URL1, 2018.

Segundo Palaré (2013), desde o final do Renascimento até por volta de 1950, o desenho técnico aplicado nas construções civis pouco mudou; uma das dificuldades das grandes obras era a compatibilização e o compartilhamento das informações no decurso da execução, pois o compartilhamento do projeto durante a construção é crucial para uma obra mais eficiente.

Uma obra civil geralmente envolve mais de uma pessoa; logo, o projetista em questão deve delegar tarefas a outro para execução, ao passo que várias pessoas devem desempenhar funções distintas para a construção de um objeto; quanto maior e mais complexa a obra,

maior será a necessidade de um sistema de compartilhamento de informação padronizada e uma representação gráfica que atenda às necessidades de gerência e visualização da construção. O processo de projeto e representação gráfica para arquitetura e engenharia civil teve grandes mudanças após a Segunda Guerra Mundial, pois as novas aplicações científicas avançaram na solução de problemas mais elaborados, decorrentes da produção industrial em série. Pode-se destacar uma área que aumentou a eficácia da resolução de problemas gráficos: a teoria da informação.

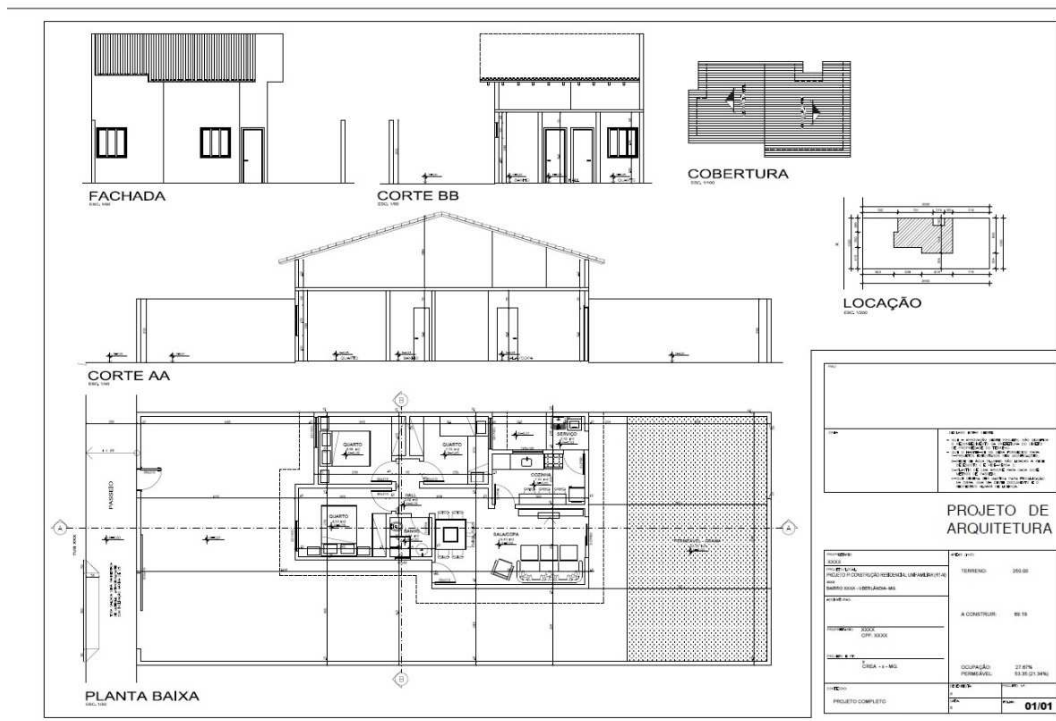
Ainda segundo Palaré (2013), antes da informática, os engenheiros civis e arquitetos necessitavam de detalhar todas as fases manualmente, utilizando prancheta, régua T e outras ferramentas para o desenho técnico de seus projetos. Em seguida, a informática passou a fazer que diminuísse o esforço manual (por volta de 1970); porém ainda não havia sido desenvolvido nada de novo em relação ao processo dos desenhos técnicos, deixando bastante a desejar. Foi para suprir esta lacuna que foram desenvolvidos os primeiros *softwares* gráficos de engenharia (por volta de 1980) chamados de CAD (*Computer Aided Design*), que traduzindo para o português significa Projeto Assistido por Computador. De acordo com Gonçalves (2009), ao incorporar os sistemas de representação sob uma mesma linguagem no meio digital, amplia-se a capacidade de armazenamento e associação dos sistemas de representação espacial, possibilitando a criação de objetos no meio virtual. Os sistemas de representação em papel tinham limitações físicas; a união dos sistemas de representação empregados na forma tradicional, em uma linguagem digital, possibilitou a representação do espaço em um suporte multidimensional, que é o espaço virtual; diferentemente do papel, as tecnologias computacionais permitem a representação do espaço em um ambiente tridimensional, que se aproxima mais da disposição dos objetos no mundo real.

2.2. O desenho assistido por computador

Segundo Standiford e Standiford (2000), em 1982 foram inseridos numa calculadora os primeiros códigos de programação de um sistema para elaboração de um projeto em 3D de uma usina nuclear na Hungria. A calculadora era de 64K e o sistema era o *ArchiCad*. A partir dessa época, então, a sigla CAD (*Computer Aided Design*) passou a representar essa tecnologia. Para Scheer *et al.* (2007), a tecnologia CAD é a inovação mais importante dos últimos 40 anos e os autores indicam três gerações distintas na evolução do uso do

computador em arquitetura: a primeira é a do desenho assistido por computador, a segunda a modelagem geométrica e, por fim, a modelagem do produto, com início no final da década de 1980. O AutoCAD 2D destina-se a desenhos técnicos em geral, ou seja, cada área específica que necessitava de representação gráfica teve de se adaptar às possibilidades do sistema, na representação de diversos tipos de projetos como por exemplo: projetos mecânicos, aeroespaciais, marítimos, hidráulicos, elétricos e arquitetônicos. A figura 4 mostra um projeto simples feito com AUTOCAD, muito utilizado na construção civil desde o começo da década de 90.

Figura 4 - Exemplo de desenho feito com *software* CAD.



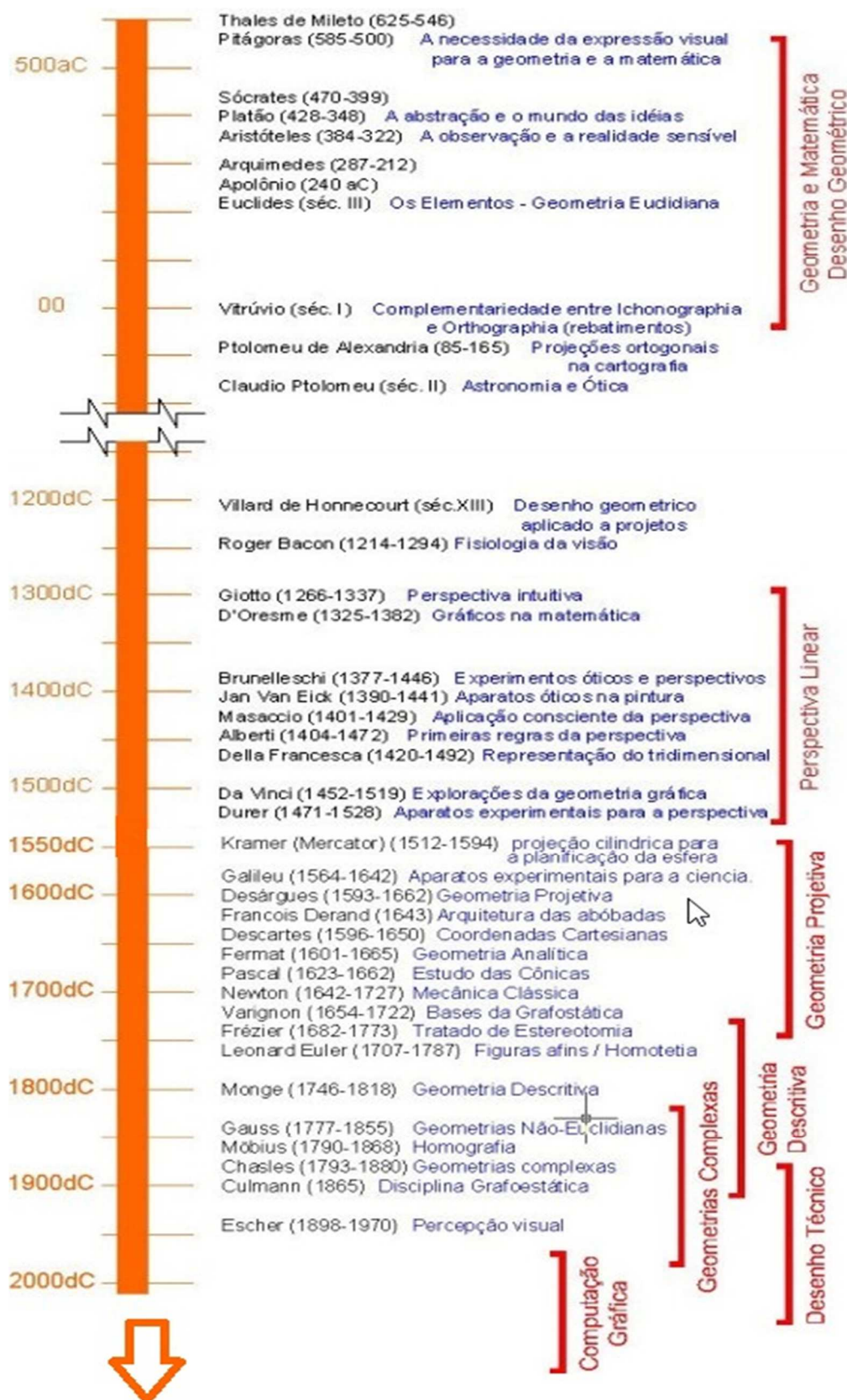
Fonte: Arquivo pessoal.

Segundo Alves (2013), com a criação do CAD 3D, rapidamente a tecnologia digital de representação avançou para demonstrar a tridimensionalidade. O AutoCAD 3D foi inicialmente utilizado em trabalhos na modelagem de peças; uma vez que, segundo o mesmo autor, a visualização tridimensional do modelo permitiu uma melhor visualização do objeto; portanto, acelerando sua modelagem. Apenas para uma definição mais completa, o fenômeno volumétrico ainda pode ser dividido em 2,5D e 3D. Vários autores se preocupam em definir essas duas classes para evitar confusões, o que acontece com frequência e precisa ser evitado. Slocum e Egbert (1999) definem 2,5D como uma superfície, em que cada ponto

é conhecido como a latitude, longitude e um valor acima (ou abaixo) de um ponto de referência, chamado ponto zero. Um exemplo clássico da representação desse fenômeno é a superfície da Terra, onde cada ponto tem as duas coordenadas e um valor de elevação em relação ao nível do mar. Ao 3D, no entanto, é chamado de 3D Verdadeiro pelo autor, são os pontos associados a múltiplos valores para cada par de coordenadas, contendo a coordenada “z” em todas as suas dimensões. Assim, por exemplo, um ponto associado a esse fenômeno pode ser especificado por quatro valores: latitude, longitude, altitude (acima ou abaixo do ponto zero especificado) e o valor do fenômeno nesse ponto, como por exemplo, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera. Pode-se exemplificar, ainda, que em muitas modelagens de objetos tridimensionais (casas e peças mecânicas) para fins de observação exterior, apenas a parte externa está modelada; no entanto, o interior do objeto não é detalhado, pode-se dizer que está vazio. Nesse trabalho, quando mencionado 3D em BIM ou em RA, trata-se da definição 2,5D citada acima, pois apesar do BIM e RA apresentarem volume tridimensional, o interior desses objetos virtuais pode ser considerado vazio. Voltando para a representação digital na AEC, com a introdução das tecnologias no campo da informática, novas ferramentas passaram a ser introduzidas no processo de projetar, entre elas, as chamadas maquetes eletrônicas ou modelos virtuais.

Segundo Alves (2013), essas maquetes são dotadas de mais informações visuais do que a construção em três dimensões utilizada no CAD comum. Elas têm a adição de texturas, sombras, cores e outras variáveis que auxiliam na visualização e no gerenciamento do modelo. Ainda de acordo com o mesmo autor, a adoção do método de criação de maquetes eletrônicas mais elaboradas possibilitou a utilização de novas formas arquitetônicas, mais complexas, e uma diferente organização do espaço. Ou seja, a mudança nos modelos virtuais transformou o jeito de projetar e a visão dos arquitetos, que passaram a propor uma nova maneira de organizar o espaço. O gráfico 2 apresenta um esquema da evolução gráfica. Percebe-se que a computação gráfica e os métodos tridimensionais digitais são técnicas recentes; logo, há necessidade de se fazerem estudos mais aprofundados na cognição e na interpretação de dados para essa área.

Gráfico 2 - Evolução da representação gráfica.



Fonte: Palaré (2013).

Voltando a evolução do desenho técnico, em computação gráfica, tivemos o CAD 2D e após o CAD 3D. Apesar de ter sido um grande progresso para a representação digital na construção civil, o CAD 3D não solucionou todos os problemas. De acordo com Stavric e Marina (2011), o CAD 3D surgiu com duas estruturas de informação: o CAD geométrico e o CAD paramétrico. A diferença básica entre esses dois sistemas é a relação numérica que define os objetos no meio virtual. O CAD geométrico tem relações fixas de posição espacial, enquanto o paramétrico funciona por intermédio de uma relação estabelecida por parâmetros ou por comparação entre termos diferentes.

Ainda, segundo os autores, apesar de mais complexo, o CAD paramétrico não pode ser considerado como uma evolução do CAD geométrico, haja vista que são duas vertentes da tecnologia CAD que se ramificaram. A utilização da estrutura de programação em modo paramétrico induz a uma evolução nos processos de projeção e de representação das edificações, diferentemente do 2D geométrico, que deixa as informações em modo fixo e não passivo de modificação sequencial.

O CAD 3D geométrico representa tridimensionalmente o edifício de maneira virtual, por meio de uma inserção manual de cada ponto, linha ou plano do modelo desejado; nota-se que cada vista do modelo é independente e tem caracteres diferentes e, apesar de fazerem parte do mesmo desenho, eles não interagem e não se comunicam como um sistema único. Os *softwares* CAD geométricos não permitem a extração de outras vistas do desenho de forma automática, eles necessitam de inserção manual para cada desenho. Em suma, o desenho em CAD geométrico é uma simulação da maneira de projetar em folha de papel no meio virtual, com algumas ferramentas de alinhamento e padrões de linha. De acordo com Souza *et al* (2009), o produto destes *softwares* não pode ser considerado como um modelo acurado de construção, pois o modelo esperado de uma representação tridimensional eficiente de uma edificação deve ser equivalente a um protótipo, a uma construção virtual, para que seja munida dos atributos simulados da obra e tenha vistas conectadas, isso só pode ser obtido através dos *softwares* paramétricos. Segundo Ribeiro *et al.* (2015), é provável que os desenhos técnicos com softwares geométricos permaneçam durante um bom tempo como elemento de comunicação entre projetistas e obra, devido à sua popularidade e ao baixo esforço computacional exigido.

No entanto, segundo Kang *et al.* (2016), as representações gráficas em 2D geométrico, geradas automaticamente a partir do modelo, passam a diminuir a posição de confiança dentro do processo de projeto, pois os modelos paramétricos possuem melhor capacidade para a representação e assessoria para o projetista, pois seus elementos são interconectados e integrados, facilitando correções, de alto e baixo nível no projeto, de forma automática; assim como detectar omissões, conflitos ou inconsistências, essas capacidades levam a desenhos com menos chances de erro humano, resultando em uma elaboração mais rápida e produtiva de desenhos e, como consequência, a melhoria na qualidade final do projeto. Em suma, o 3D paramétrico é uma simulação do processo de projeto, em que se emula virtualmente a construção real. O uso AutoCAD paramétrico para a projeção foi a base para o sistema mais completo de simulação virtual, o método BIM, oficialmente traduzido pela ABNT como Modelagem da Informação da Construção.

2.2.1. O BIM

Conforme Ayres *et al.* (2009), a tecnologia da informação beneficiou o setor da construção civil, com a adoção de diversas formas de gerenciamento de dados de empreendimentos, bem como na velocidade e desenvolvimento da representação gráfica. No contexto da construção civil, de acordo com Souza *et al.* (2009), o aumento da complexidade dos objetos e processos resultou na inserção de uma mentalidade industrial, principalmente as soluções adotadas na indústria da manufatura. Nesse contexto, a noção de modelagem de produto foi modificada, almejando uma simulação virtual do produto, buscando abrigar todo o “ciclo de vida” do modelo. Esse conceito de gerir a informação com um sistema de múltiplas vistas conectadas a um modelo evoluiu para o *Building Information Modeling* (BIM), como uma modelagem paramétrica que busca integrar todos os processos relacionados à construção do produto da edificação.

De acordo com Andrade (2012), os recursos, associados à tecnologia BIM, podem trazer ganhos a todas as etapas de um projeto, ligando os diferentes atores envolvidos em uma construção para trabalhar em um mesmo modelo digital, diminuindo assim a ocorrência de conflitos entre as diversas disciplinas e trazendo um ganho de produtividade, com a redução do retrabalho e do tempo de ajustes nos diversos projetos que compõem o empreendimento.

A figura 5 mostra um esquema de troca de informações entre os atores e instituições responsáveis pela obra em uma construção civil; nota-se uma complexidade maior na troca de informações quando se utiliza um projeto com o modelo CAD; essa relação pode dificultar as resoluções para a obra, determinando obstáculos para o processo da construção.

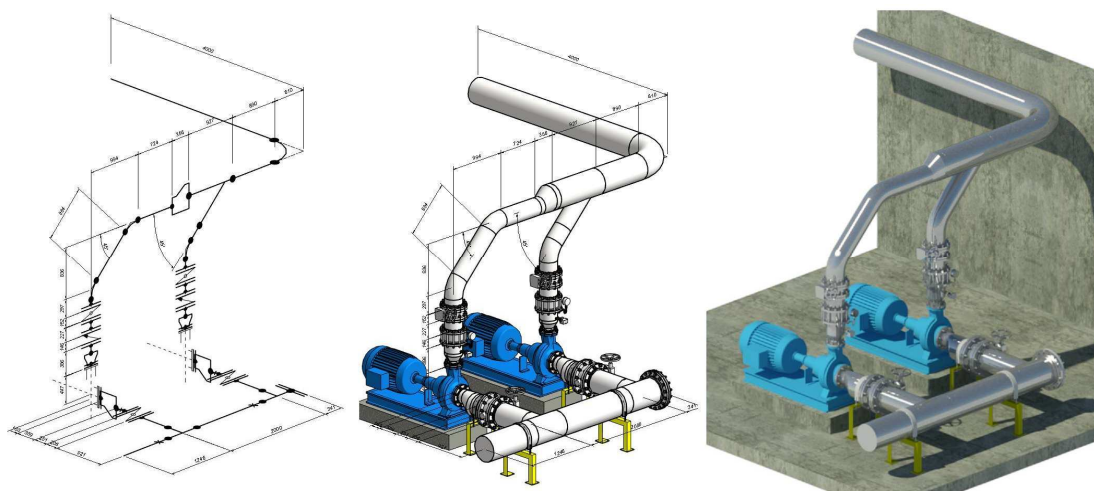
Figura 5 - Comparação do fluxo de informações entre os *stakeholders* do projeto.



Fonte: Maciel *et al.* (2014)

A tecnologia BIM simplifica este processo de fluxo de informações, possibilitando criar digitalmente modelos virtuais com atributos diferentes em cada peça da construção. Além disso, eles oferecem suporte ao projeto ao longo de suas fases, permitindo uma análise dos dados e controle para todos os envolvidos melhor que os processos manuais. De acordo com Eastman *et al.* (2013), quando concluídos, esses modelos gerados por computador contêm geometria e dados precisos necessários para o apoio às atividades de construção, fabricação e aquisição por meio das quais a construção é realizada. Além disso, a cada dia surgem novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas a fim de ampliar e potencializar as aplicações BIM. A figura 6 a seguir mostra a diferença de visualização nas interfaces CAD 3D e BIM. Pode-se notar que as vistas no programa correspondem a um único modelo, no entanto a quantidade e o modo de visualizar as informações são distintas.

Figura 6 - Visualização de modelo em CAD 3D, BIM e renderização.

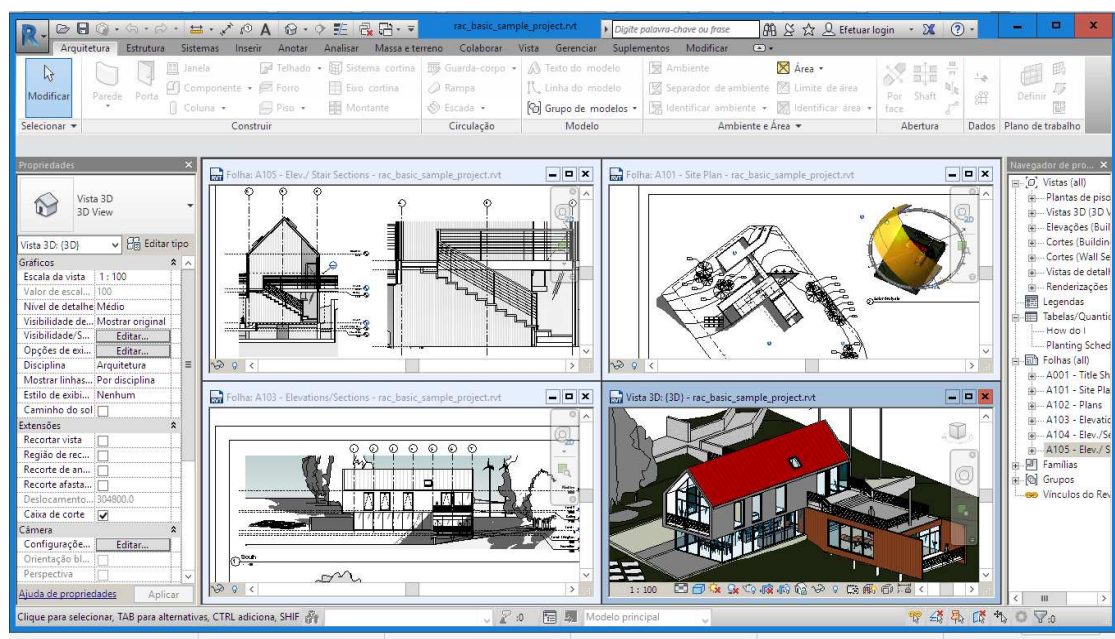


Fonte: URL2. 2018

Santos (2012) afirma que BIM pode ser aplicado em diferentes finalidades, que seriam inviáveis com o método CAD, como estudos de viabilidade, desenvolvimento de projetos completos, simulações de eficiência, orçamentação por parâmetros, planejamento em tempo real, controle automatizado, pré-fabricação controlada, colaboração entre *stakeholders*, representação paramétrica, registro e demolição controlada da edificação.

Conforme Santos (2014), com o surgimento do BIM houve uma mudança de paradigma, pois a edificação deixa de ser referenciada apenas por linhas em uma representação simbólica da tridimensionalidade; o projeto passa a utilizar ferramentas de modelagem 3D orientadas a objetos, em que cada elemento construtivo do modelo possui suas informações especificadas e parametrizadas, com poder de relacioná-las a outros objetos. Um modelo da edificação em 3D possui dados que contribuem para as análises e simulações do projeto que, de outra forma, poderia ser desfavorável, tanto em tempo quanto em custo-benefício, inviabilizando o estudo de outras alternativas possíveis para o modelo.

A figura 7 a seguir mostra um *software* BIM. Nota-se que as várias vistas no programa correspondem a um único modelo. A alteração, em qualquer uma das vistas dele, modifica todas as outras vistas automaticamente.

Figura 7 - Interface de *software* BIM: Revit.

Fonte: Arquivo pessoal.

O BIM possibilita ter uma base de dados integrada, em cima da qual são modeladas (geradas) informações para alimentar toda a equipe colaborativa. As informações sendo geradas a partir de um banco de dados único trazem a confiança de que essas estão em conformidade com o projeto e atualizadas, uma vez que toda a equipe o alimenta.

Segundo Campestrini (2015), por consequência do único banco de dados, as tomadas de decisão serão mais assertivas, melhorando substancialmente o produto resultante do projeto. Além de fornecer um conteúdo mais preciso, o modelo computacional deve aumentar a quantidade de informações durante o projeto.

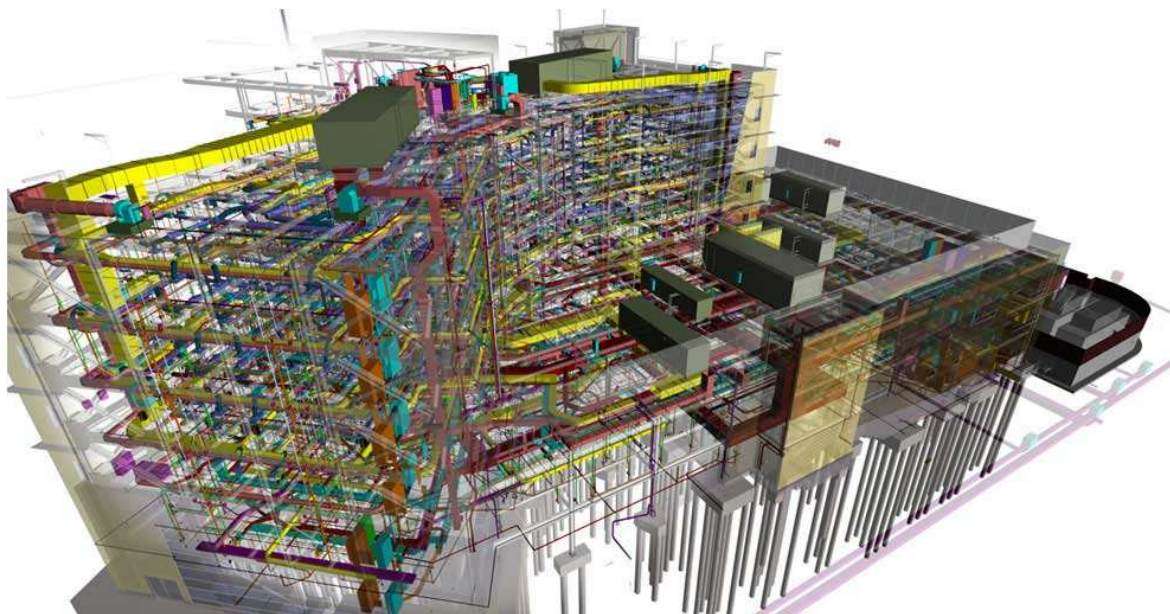
Existem ainda níveis de detalhamento dentro do BIM, ainda de acordo com Campestrini (2015), ao programar um modelo BIM para receber informações sobre o cronograma relativo à produtividade das equipes de produção, número de equipes e sequência construtiva, esse modelo receberá o nome de modelo BIM 4D. Dele serão retiradas informações sobre o cronograma da obra, como início e término de cada atividade, configurações espaciais a cada etapa da execução, *lead time* e ritmo de produção, por exemplo. Ainda, em um modelo BIM programado para receber informações financeiras ou de custo dos serviços como o custo de

materiais, mão de obra e equipamentos, despesas indiretas e bônus, etc., será o modelo BIM 5D. A partir deste modelo, será possível obter diversas informações, entre elas o custo das atividades da obra e as curvas ABC. E quando se deseja obter informações sobre o uso da edificação, programa-se um modelo a ser chamado de modelo BIM 6D. Esse recebe informações sobre a validade dos materiais, os ciclos de manutenção, o consumo de água e energia elétrica, entre outros. O modelo BIM 6D, contendo essas informações, poderá ser usado para extrair informações de custos de operação e manutenção da edificação. De quantos mais atributos forem constituídos os objetos do modelo, é possível uma melhor obtenção de informações para a modelagem e, a partir delas, tomar decisão com melhores chances de êxito.

Além do conhecimento da redução do custo causado pelo melhoramento dos projetos, as exigências dos clientes por maior qualidade no produto e pela implantação do sistema de gestão da qualidade pelos bancos financiadores do setor público têm levado as empresas incorporadoras e construtoras a buscar o aperfeiçoamento no processo de projetos, haja vista que este possui grande influência na redução de problemas decorrentes das obras, um desses momentos é no momento de compatibilização dos diversos projetos que compõem o edifício.

Segundo Risdén *et al.* (2000), a visualização do usuário pode ser melhorada com a visão 3D devido ao controle da ambiguidade da visão em perspectiva. A codificação de cores também é um fator importante para reduzir a ambiguidade da altitude das feições visualizadas. Ainda, segundo o autor, o controle vertical de engenheiros de *software* aprimorou com melhorias no *display* 3D. Pode-se ver na figura 8 um edifício modelado virtualmente em BIM, apresentado em sua vista tridimensional e sem as alvenarias de vedação; percebe-se como se comportam as tubulações e outros objetos no edifício.

Figura 8 - Exemplo de edifício em modelo BIM. Medical Center Castro Valley, Usa.



Fonte: URL3,2018

2.3. Comunicação cartográfica e variáveis visuais

De acordo com Sandercock (2000), a comunicação cartográfica busca entender o processo pelo qual o cérebro humano é envolvido no reconhecimento de padrões e de suas relações no seu contexto espacial, visando melhorar a eficácia da transmissão das informações gráficas. Um dos objetivos do estudo da representação visual dos dados é explorar a eficácia do sistema visual humano no reconhecimento de padrões e estruturas espaciais. O estudo da visualização cartográfica busca entender, nos dados apresentados, algumas características relevantes, que são ou não naturalmente percebidos pelo usuário.

Segundo Maceachren (1995), a comunicação cartográfica no sentido geral pode ser interpretada como “tornar visível”. Segundo Golparvar *et al.* (2009), a definição da simbologia e do posicionamento das feições utilizando os atributos da comunicação cartográfica ampliam a capacidade de armazenamento das questões espaciais na memória do usuário, e podem ser utilizadas em outras áreas que tenham necessidade de melhor visualização de dados, como engenharia, mecânica e medicina. De acordo com Roth (2011), o propósito da representação determina a simbologia que deve ser usada para representar de

forma adequada as características do fenômeno gráfico a que se refere. Estas características do fenômeno são denominadas níveis (ou escalas) de medidas e representam uma abordagem de estruturar as informações obtidas sobre a realidade.

O estudo da comunicação cartográfica aplicada à visualização de projetos não é conceito novo, contudo eles assumiram novos significados na era da informação. Maceachren (1995) elucida que a aplicação de novos tipos de representação deve considerar as características do usuário e as circunstâncias de uso das visualizações; Andrade (2012) concorda que a adequação da linguagem gráfica na representação depende dos métodos básicos da cartografia temática.

A eficácia do produto cartográfico está relacionada ao nível de transferência informacional entre o usuário e a representação. O conhecimento das tarefas e das necessidades que o usuário deve exercer com base na representação, os especialistas em desenho devem considerar o conhecimento, as capacidades e as habilidades cognitivas do usuário. A adoção de simbologia pictórica pode ser uma alternativa para a representação dos elementos presentes nos ambientes. De acordo com Maceachren (1994), as Variáveis Visuais são os recursos utilizados pelo cartógrafo ou pelo elaborador de uma representação cartográfica para implantar sobre um suporte as informações relacionadas a um tema geográfico ou não; logo, as representações cartográficas dependem das variáveis visuais, de maneira isolada ou simultânea, para se exprimirem.

Segundo Robbi (2000), as variáveis visuais devem representar, de acordo com os níveis de medida adequados, as variações gráficas do fenômeno por meio de símbolos pontuais, lineares ou de área, no caso dos mapas bidimensionais. Segundo Schmidt (2012), as mudanças nas variáveis visuais para discriminação de símbolos auxiliam a distinção entre os pontos de referência e os demais objetos representados, que são categorizados com base em suas semelhanças. Vários autores organizaram a sua própria classificação de variáveis visuais tentando abranger os tipos de feições que são visualizados no mapa. Na tentativa de explorar e definir melhor esses termos, pode-se citar Morrison (1974), Bertin (1983), Caivano (1990) e Maceachren (1992), que, apesar das diferenças, concordam na maioria dos termos.

Serão adotadas as variáveis de Maceachren (1992), que são as seguintes:

Localização: É definida pela posição relativa das variáveis que formam um padrão; é a mais utilizada como variável associativa para explicar a posição visual entre categorias existentes.

Tamanho: Utilizada para representação de dados quantitativos, preferencialmente demonstrando a proporção correta entre as classes. Exemplo: círculos representados pelos seus diâmetros, proporcionais ao elemento estudado (círculo com 5mm, círculo com 3mm, círculo com 2mm).

Orientação: Refere-se à orientação do ponto, isto se tiver forma, e se não apresentar uma forma redonda; no caso de um atributo linear ou um polígono, representa a orientação da textura da qual é preenchida. O atributo referente à forma representa exatamente o que a entidade apresenta. Dependendo do seu formato, os pontos podem ser representados por diferentes tipos de geometria, as linhas podem ser preenchidas ou não e os polígonos podem ter as mais variadíssimas formas, isto porque, por norma, não têm um formato regular.

Textura: Apresenta dados quantitativos ou qualitativos também indicando ordenamento. É semelhante à intensidade, porém a variação ocorre na repartição de preto e de branco, mantendo-se a proporção de preto e branco. Exemplo: linha tracejada.

Arranjo: É definida pela posição relativa das marcas que formam um padrão, é a melhor utilizada como variável redundante para explicar diferenças visuais entre categorias mais óbvias.

Forma: Agrupa todas as variações geométricas ou figurativas, permitindo, ao mesmo tempo, uma qualificação precisa dos objetos e uma boa percepção de sua similitude ou de suas diferenças.

Esmaecimento (ou *fuzzy*): Esta variável concede ao atributo uma apresentação de fronteiras não rígidas, ou seja, dá a prioridade ao criador do mapa se a preferência está em apresentar um atributo em forma de mancha, ou numa forma rígida e geométrica. Poderá haver variáveis nominais que tenham um melhor entendimento se for usada esta prioridade, simplesmente por ficar “mais agradável” à vista do leitor. O mesmo acontece com a transparência, principalmente se estiver sendo utilizada iconografia, pois o ícone pode ter uma presença imprescindível no mapa, assim como um tamanho irreduzível, e o cartógrafo poderá optar, caso seja harmonioso, a colocação de uma transparência no elemento visual.

2.3.1. Cor

A cor é uma variável visual muito significativa para a cartografia temática. Ela corresponde à parte visível pelos seres humanos do espectro eletromagnético. Em quaisquer imagens visuais e na representação gráfica, a cor tem propriedade de potencializar a comunicação; por ser uma variável mais complexa, ela é dividida em 3 atributos:

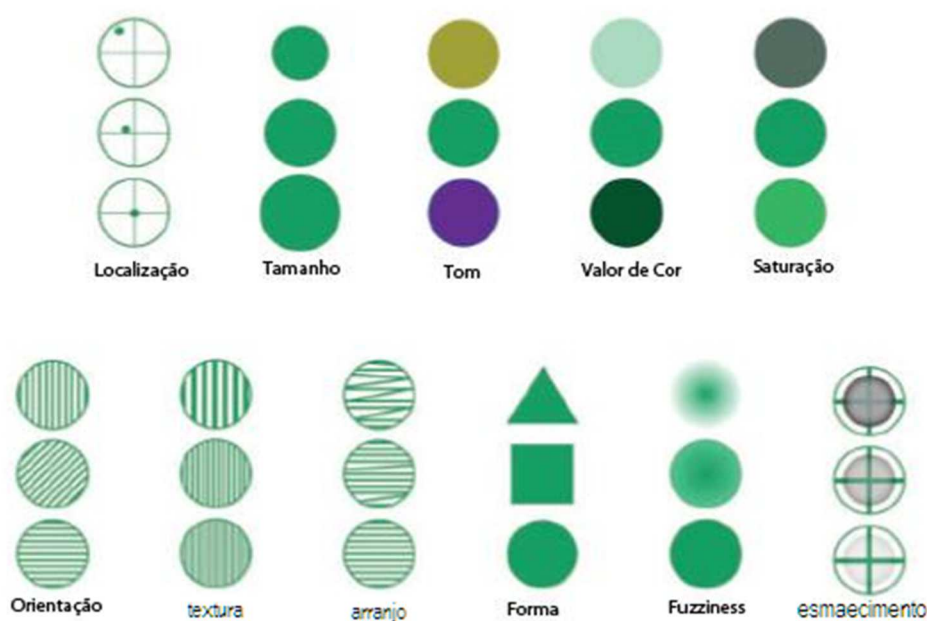
Valor de cor: Usada para representar dados quantitativos ou qualitativos indicando ordenamento. O preenchimento da figura pode ser com tons de cinza ou tons de uma única cor (representação monocromática). Neste caso a variação não vai estar na cor, mas na sua intensidade. Exemplo: círculo verde escuro, círculo verde médio, círculo verde claro.

Saturação: A saturação também chamada de croma é a intensidade ou o brilho da cor.

Tom de Cor: Representa tanto dados quantitativos quanto qualitativos. Para os qualitativos (sem ordenamento) são utilizadas cores contrastantes, e para os quantitativos ou qualitativos (com ordenamento) utilizam-se cores análogas, também denominadas sequenciais ou semelhantes. Exemplos: cores contrastantes (amarelo, vermelho, azul); cores harmônicas (amarelo, laranja, vermelho).

A seguir na figura 9 são apresentadas as representações das variáveis visuais de MacEachren (1992), que foram descritas acima:

Figura 9 - Variáveis visuais de MacEachren.



Fonte: MacEachren, 1992.

A escolha da variável visual tom de cor se justifica em função das propriedades perceptivas. Pode-se citar alguns trabalhos que demonstraram a importância desta variável visual para fins de modelagem na construção civil, como Akinci *et al.* (2002), que usaram cores, em suas três características, para destacar conflitos espaciais em um modelo tridimensional de construção civil e os usaram para notificar usuários de problemas construtivos em seu sistema protótipo durante as análises de conflito de tempo-espço. Songer et al. (2003) sugeriram que uma aplicação consistente de cores permitiria que as métricas de desempenho fossem representadas mais facilmente. Ahlstrom e Arend (2005) apresentaram um protótipo de paleta de cores que usou codificação por cores para priorizar a exibição de informações, mantendo boa legibilidade em monitores de controle de tráfego aéreo. Gao et al. (2006) estudou a importância de aplicar desenhos coloridos na construção, o que facilita designers e empreiteiros com uma comunicação mais eficiente e precisa. Dawood e Sikka (2008) observaram que cores apropriadas podem ser usadas como uma ferramenta para comunicar mais informações aos usuários. Puhalla (2008) aponta que as cores são um atributo intrínseco e a combinação de várias cores permite que as pessoas comunicar visualmente para reforçar a hierarquia de informações. No entanto, a seleção dos esquemas de cores usados atualmente é frequentemente baseada nas preferências pessoais dos engenheiros sem considerar a usabilidade dessas cores esquemas.

O trabalho de Chen et al (2013) demonstra a importância da variável visual cor, principalmente para as funções de ordem e seleção das feições de acordo com o andamento dos processos, a escolha da variável visual cor se mostrou muito eficaz na distinção objetos no desenho. Outro fator que influencia a qualidade dos dados envolvidos, a interação do usuário com a representação e o processo de orientação relativa do usuário é a forma de disponibilização dos dados ao usuário final, seja por meio computacional ou não (Schmidt, 2012).

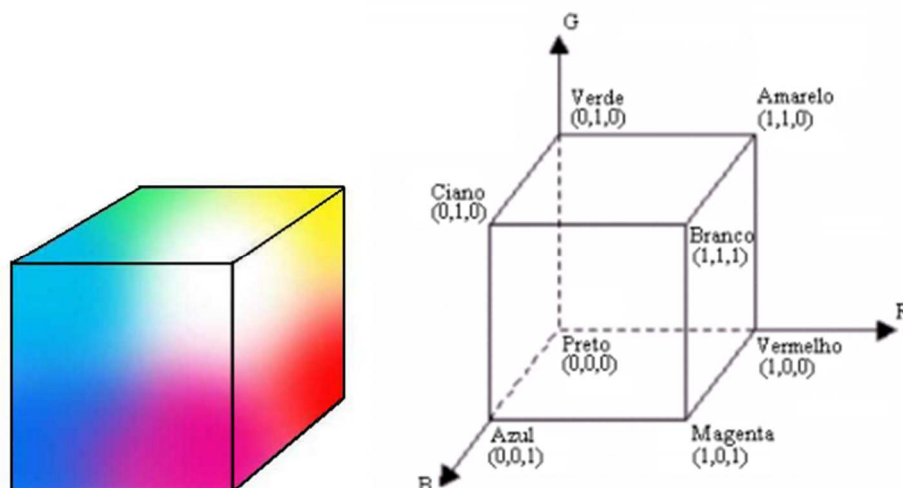
2.3.1.1. Sistemas de modelagem de cores

A cor pode ser considerada um fenômeno de percepção, em que uma resposta mental da radiação eletromagnética é detectada pelos olhos. Segundo Melchiades e Boschi (1999), a luz, quando abordada como onda, consiste em uma radiação eletromagnética, em que a onda

luz é caracterizada por uma radiação correspondente a um intervalo de comprimentos de onda do espectro. Desse modo, cada objeto visível depende do espectro da luz incidente. De acordo com Robinson *et al.* (1995), os sistemas mais comuns de modelagem de cor no meio eletrônico são: o HLS (*Hue, Lightness, Saturation*), HVC (*Hue, Value, Chroma*) e o RGB (*Red, Green, Blue*) e o sistema de Munsell.

O presente estudo delimitou os sistemas de Munsell e RGB, pois o Munsell é sistema de cores utilizado na NBR-6493 (operado no capítulo 3) e o sistema RGB, que é o mais comum nos programas de modelagem dos dispositivos atuais e de fácil inserção dos dados das cores no sistema. Um requisito básico para um sistema de modelagem de cor eletrônico é a unicidade da posição de cada cor no espaço tridimensional da cor. O sistema RGB de cores primárias pode ser representado graficamente pelo cubo unitário definido sobre os eixos R, G e B, como mostra a Figura 10. Atentando-se para o fato de que a presente figura se limitou aos valores 0 e 1, apenas para a demonstração da formação das cores. Geralmente o valor de definição das cores nesse sistema é composto de uma escala gradual que vai de 0 a 255, proporcionando uma gama maior de cores disponíveis.

Figura 10 – Representação gráfica do sistema RGB.

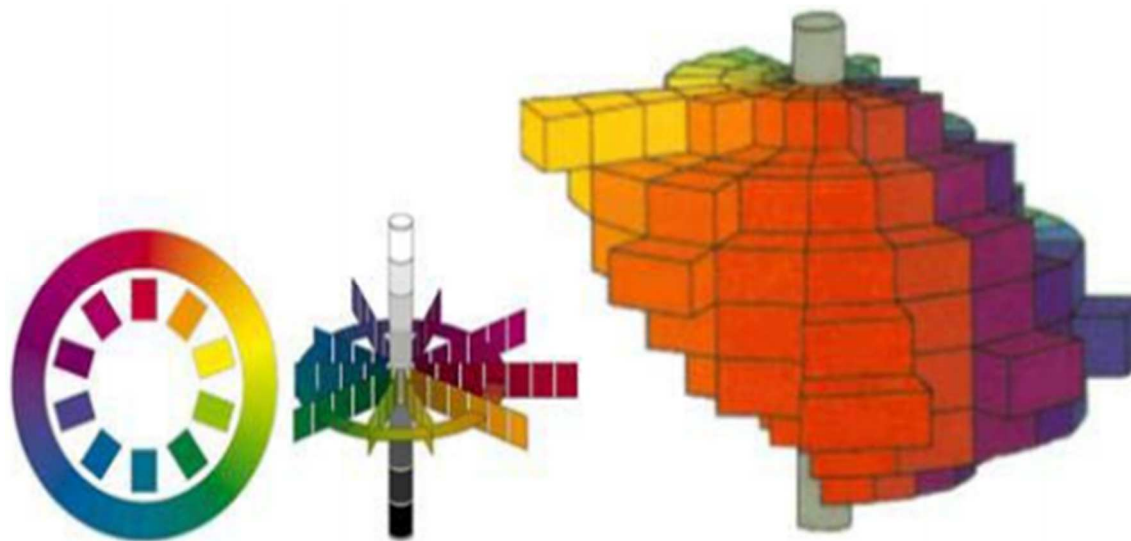


Fonte: Adaptado de Schoten, 2010.

Os sistemas de cores RGB e HSV, descritos anteriormente, não levam em consideração os brilhos naturais das cores, que caracterizam as diferentes variações perceptivas de cada cor; entretanto, segundo Slocum e Egbert (2004), o sistema de cor de Munsell baseia-se na

percepção humana. O modelo de Munsell tem estrutura similar ao modelo HSV (piramidal), porém é assimétrico, devido aos valores de luminosidade e saturação serem diferentes para cada tom. Uma importante característica deste modelo é que intervalos iguais na variação do modelo representam intervalos iguais de percepção. Segundo Robinson *et al.* (1995), a relação entre as três dimensões do sistema de cor de Munsell pode ser visualizada como um sólido tridimensional de cores. Este sólido é definido por dez tons de cor diferentes, variando em dez intervalos de níveis de cinza diferentes, correspondente à variação em luminosidade, e variando em quantidades diferentes de níveis de saturação em cada diferente tom, como mostra a Figura 11:

Figura 11 - Representação visual do modelo de Munsell.













Fonte: Adaptada de Munsell Book of Color, (1929).

O presente trabalho discorre apenas sobre a visualização em tela de computador ou *tablet*, e, de acordo com Griffin e Robinson (2010), a cor percebida de um produto gerado na tela do computador é consequência de vários pontos coloridos tão pequenos que o olho humano não consegue distinguir individualmente, o que dá origem a uma mistura de cores. Assim, pelo sistema RGB, por exemplo, diferentes intensidades de vermelho, verde e azul criam as diferentes possibilidades de cores a serem exibidas na tela.

2.3.1.2. Aplicação de cores para representação de tubulações na AEC

Em relação às cores para representação de projetos complementares, funciona de acordo com a NBR 6493 (emprego de cores para identificação de tubulações), o emprego das cores é padronizado e repetido a fim de se evitar erros, essa norma brasileira foi projetada em 1993 e passou a vigorar em 30 de novembro de 1994, que define as cores padrão de acordo com o tipo de substância que a tubulação conduz. Seu objetivo é a identificação dos tubos visando à padronização e à prevenção de acidentes. As cores são classificadas de acordo com o sistema de Munsell já citado anteriormente. Cada cor tem seu código apresentado na norma para evitar qualquer confusão a respeito do matiz correto. Podem-se observar as cores representadas na Tabela 1:

Tabela 1 - Padrão de cores para utilização segundo a NBR-6493.

COR	Nome popular da cor	Fluido interno	Nomenclatura Munsell
	Laranja segurança	Químicos não gasosos	Munsell 2.5YR6/14
	Amarelo segurança	Gases não liquefeitos	Munsell 5Y87/12
	Azul segurança	Ar comprimido	Munsell 2.5PB 4/10
	Branco	Vapor	Munsell N 9.5
	Cinza claro	Vácuo	Munsell N 6.5
	Cinza escuro	Painéis e dutos elétricos	Munsell N 3.5
	Alumínio	Gases liquefeitos inflamáveis	Munsell 3.5 Y 13
	Marrom	Materiais fragmentados	Munsell 2.5 YR 2/4
	Preto	Combustíveis viscosos	Munsell N 1
	Verde Emblema	Água (exceto incêndio)	Munsell 2.5G 1/4
	Vermelho segurança	Água combate incêndio	Munsell 5 R 4/14

Fonte: NBR-6493 (adaptada).





Segundo a norma:

- Não é obrigatório que toda a tubulação esteja pintada na cor padrão. É aceita uma faixa de identificação com a respectiva cor. Caso haja algum obstáculo, a faixa pode ser interrompida na área onde a tubulação não estiver exposta (ex.: tubo encostado na parede);
- Atenção: No caso de combate a incêndios, usar o vermelho-segurança, e toda a tubulação deverá ter esta cor, a faixa de identificação é proibida;

- Opcionalmente, sobre as faixas, pode haver o sentido de deslocamento do fluido e outras informações pertinentes do ponto de vista da segurança de operação;
- Quanto à tubulação de água (verde-emblema), pode-se acrescentar o P, para identificar água potável (pintado com a cor branca) e pode-se ainda acrescentar S ou D para diferenciar água salgada e doce.

Podem-se destacar as cores mais utilizadas nos projetos de construções civis atualmente, são as que estão relacionadas com os projetos complementares: na NBR 6493 o cinza escuro é indicado para as tubulações elétricas e o verde emblema para água, na NBR-6118 o cinza claro é o utilizado na representação dos elementos estruturais como vigas, e o preto é utilizado em projetos arquitetônicos por convenção.

Tabela 2 – Padrão de cores para utilização segundo a NBR-6493 e NBR- 6118.

COR	Nome cor	Tubulação ou projeto	Munsell	RGB
	Preto	Arquitetônico	Munsell N1	5.5.10
	Cinza claro	Estrutural	Munsell N 9.5	210.210.210
	Verde emblema	Água (exceto incêndio)	Munsell 2 5 G 1/4	6,35,17
	Cinza escuro	Painéis e dutos elétricos	Munsell N 3.5	125.122.125





Fonte: NBR-6493, adaptada.

Ressalta-se que a NBR 6493 teve o projeto de origem em 1993 e foi aprovada em 1994, quase 25 anos até o momento. É importante notar que os dispositivos eletrônicos portáteis e computadores pessoais para desenho arquitetônico não haviam se popularizado em 1994. A solução para construção civil nesse período era desenho em papel em duas dimensões. A tecnologia de visualização 3D, tanto geométrica quanto paramétrica, também não era disseminada. Segundo Autodesk (2017), foi apenas em 1997 que o CAD com a versão destinada a projetos civis foi lançada, conhecida por versão *R14*.

Nota-se que o desenvolvimento de sistemas operacionais robustos para a aplicação em computadores e a redução de custos em *hardware* aconteceu na década de 90 e a versão estável do AutoCAD (*software* mais popular) aconteceu apenas em 2003. Portanto a NBR 6493 não considerou a visualização em dispositivos eletrônicos. Nesse contexto, propõe-se uma mudança no tom de cor para visualização dos projetos complementares, levando em

consideração os aspectos da cartografia temática mais especificamente nas bases de convenções cartográficas proposta pela IOF (*International Orienteering Federation*), em que são levados em consideração os aspectos cognitivos e hábitos relacionados aos signos cartográficos. Segundo o ISOM *International Specification for Orienteering Maps* (2017), a água deve ser relacionada com a cor azul e não com a cor verde (sugerida na NBR 6493), que deve ser relacionada com plantas ou padrões de vegetação. E devido a não ter convenções para a dutos elétricos na ISOM, propõe-se a cor amarela para os dutos elétricos devido ao contraste causado com a cor azul. Espera-se que as cores primarias facilitem a dissociação dos tubos nos projetos, tanto na visualização 2D quanto na 3D. Segue a Tabela 3 demonstrando o novo padrão de cores.

Tabela 3 - Proposta de padrão de cores para utilização em projetos.

COR	Nome cor	Tubulação ou projeto	Munsell	RGB
	Preto	Arquitetônico	N1	5.5.10
	Cinza claro	Estrutural	5.0R.500/0	210.210.210
	Azul	Água (exceto incêndio)	7.5 400/16	41.101.171
	Amarelo	Painéis e dutos elétricos	10Y 9.00/12.00	240,233,15

Fonte: Autor.

Essa proposta de visualização com diferentes níveis de padrão de cor será testada em interfaces 2D e 3D no capítulo 3, com o intuito de pesquisar um pouco mais sobre a visualização de projetos na construção civil.

2.4. Realidade virtual e aumentada

Nas últimas décadas, as representações da realidade extrapolaram as telas e monitores de dispositivos eletrônicos, e começaram a gerar ambientes tridimensionais interativos, a chamada realidade virtual (RV). Segundo Tori *et al.* (2006), é uma interface avançada para aplicações computacionais, que permite ao usuário a navegação e interação em tempo real em um ambiente virtual podendo fazer uso de dispositivos multissensoriais, para atuação ou *feedback*.

A realidade virtual é dividida em duas modalidades, separadas pela sensação de presença do

usuário, a imersiva e não-imersiva. Na imersiva o usuário tem a sensação de estar presente dentro da aplicação, no sentido físico. Geralmente o usuário é munido de dispositivos multissensoriais que percebem os seus estímulos e respondem a eles, seu campo de visão é totalmente coberto pelas imagens da aplicação, como por exemplo do capacete HMD (*Head mounted display*) e da caverna (*CAVE*).

A Figura 12 mostra um usuário em imersão com óculos de realidade aumentada, nesse caso um rastreador no capacete (sensor de movimento) interage com o computador para mostrar imagens correspondentes no campo de visão do usuário. A sensação de imersão pode ser amplificada usando vários dispositivos adicionais, como por exemplo o de visão estereoscópica 3D, ou dispositivos acústicos por meio de simulações sonoras de posicionamento, atraso, absorção, reflexão.

Figura 12 - Demonstração de RV imersiva.

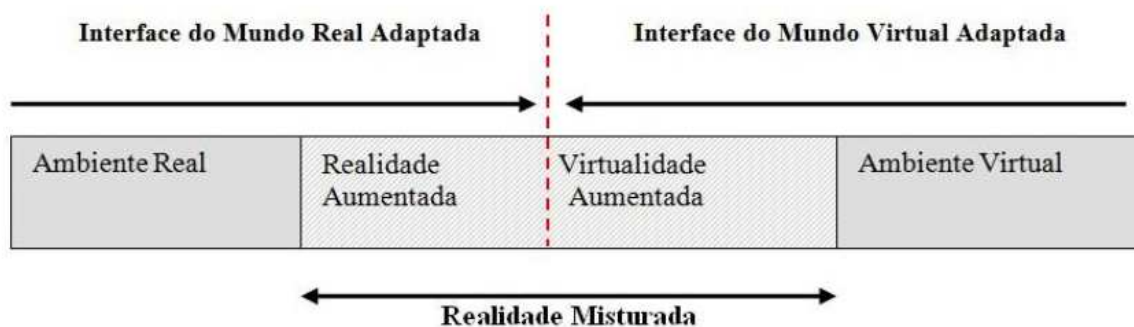


Fonte: URL5, 2015.

A Imersão dá a sensação de estar em um outro ambiente e não está diretamente ligada à RV, pois há outros tipos de imersão, como a mental. A RV envolve a “imersão física”, que é o sentimento de estar com o corpo dentro desse outro ambiente. Por outro lado, a RA (Realidade Aumentada), o ambiente real não é completamente suprimido, ao contrário. Em vez de imergir a pessoa num ambiente completamente sintético, a RA adiciona suplementos sintéticos no ambiente real ou no vídeo ao vivo do ambiente real. Enquanto a Realidade Virtual leva o usuário a se sentir completamente inserido em um outro ambiente, a Realidade Aumentada procura levar a agilidade digital a realçar aspectos do mundo real. Há diversos níveis de imersão e representação da realidade e o do virtual, eles estão relacionados ao

quanto o usuário está inserido no ambiente, a figura 13 foi proposta por Milgram *et al.* (1996), apresenta a definição de realidade mista que eles propõem.

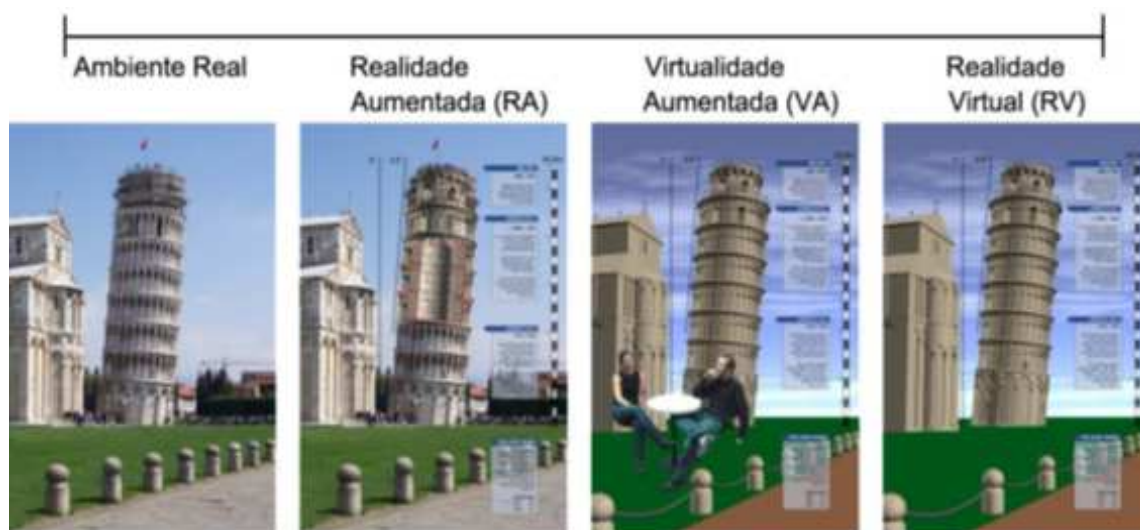
Figura 13 - Diagramas *continuum* de Milgram.



Fonte: Adaptado de Milgram (1994 citado em Tori; Kirner; Ciscouto, 2006).

Estes autores propuseram o conceito de “Realidade Misturada” para combinações de elementos reais ou virtuais que formam um *continuum* que se define pela quantidade de supressão da realidade e dos dispositivos que estão a esse sistema ligados. Pode-se destacar a Virtualidade Aumentada, que cria um ambiente no qual o uso de elementos virtuais é predominante e tenta substituir o mundo real, e a Realidade Aumentada cria um ambiente em que os elementos virtuais são sobrepostos ao mundo real. A figura 14 exemplifica o modelo da Figura 13, indicando modelos reais e virtuais em uma imagem.

Figura 14 - Níveis de visualização em virtualidade e realidade.



Segundo Schmidt (2012), a realidade aumentada com monitor vem se destacando ultimamente devido à facilidade de obter os equipamentos necessários à sua visualização. A maioria dos *smartphones* e *tablets* atuais são dotados das tecnologias necessárias para utilizar essa interface, como GPS, conexão *wireless*, giroscópios, acelerômetros, *display touchscreen* e capacidade de processamento de dados. Essa visão aumentada pode conter informação suplementar valiosa em diversos contextos científicos e de engenharia, pois apresenta como vantagem a mobilidade da ferramenta e a possibilidade de se criarem somente aqueles objetos necessários à suplementação da informação.

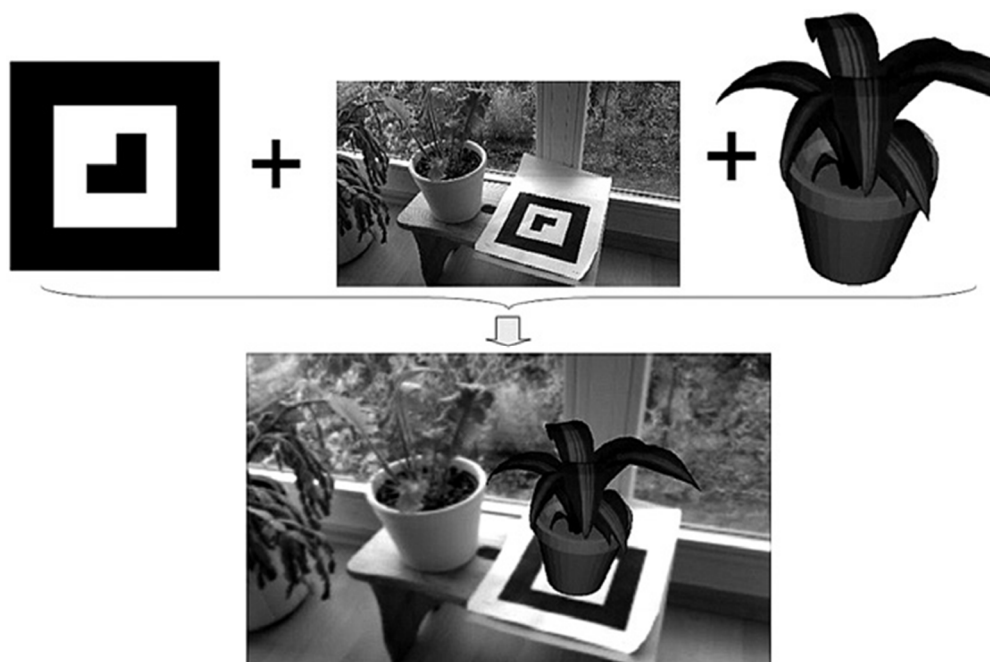
2.4.1. O BIM e a RA para AEC

A RA, como uma técnica de visualização, possui um largo campo de pesquisa para tratar da combinação de dados do mundo real e dos gerados por computador. No contexto da construção civil, de acordo com Wang *et al.* (2014), a visualização arquitetônica desempenha um papel importante na gestão de interações complicadas, entre proprietários e *designers* para equilibrar vários tipos de restrições e requisitos. As abordagens tradicionais para visualizar desenho arquitetônico se concentram em imagens estáticas, ou modelos tridimensionais (3D) que causam problemas, como o custo, falta de comunicação das partes interessadas (*stakeholders*) e reutilização limitada. A modelagem de informações de construção (BIM) está emergindo como um método de criação, compartilhamento, troca e gerenciamento de informações ao longo do ciclo de vida entre todas as partes interessadas de acordo com Becerik-Gerber *et al.* (2012); Wang *et al.* (2012). A sinergia do BIM e RA abre novas possibilidades no campo da visualização arquitetônica, navegação e interação muito além da tradicional navegação estática e interação na frente de uma tela de computador. De acordo com Silva e Fosse (2012), podem ser usados diferentes dispositivos num sistema de RA para AEC, Kirner *et al.* (2009) afirmam que o avanço das tecnologias permitiu que os HUDs (*head mounted display*) fossem, na maioria dos casos, substituídos por dispositivos portáteis, como os celulares e *tablets* por exemplo, pois eles se tornaram capazes de desempenhar a função destes *displays*, com resultados bastante satisfatórios e com baixo custo. Segundo Motawa e Almarshad (2013), as plataformas *mobile* são hoje portadoras de grande número de usuários, permitindo a interação entre serviços e pessoas, a plataforma *mobile* é a mais usada no mundo atualmente, o desenvolvimento de aplicações para uso nesta plataforma se mostra bem promissor. A RA é oriunda da realidade virtual RV

e foi, por meio dela, que se permitiu ao usuário uma participação ativa no cenário virtual, ativando aplicações computacionais diretamente nos elementos tridimensionais, de maneira diferente dos dispositivos comuns com monitores. Os monitores necessitam atuar sobre representações de função da aplicação, como menus e botões. Na realidade virtual as funções usuais para a manipulação de objetos como rotacionar, ampliar, adicionar, cortar, entre outras, podem ser aplicadas diretamente sobre o objeto virtual.

Pode-se citar sistema de RA popular e de baixo custo em que algumas placas retangulares com desenhos, conhecido como marcadores fiduciais, que, com ajuda de um *software*, permite a visualização em Realidade Aumentada. Para isso, basta o usuário colocar o marcador no campo de visão da câmera, como pode-se ver na Figura 15, que será possível ver o marcador e, sobre ele, um objeto virtual previamente modelado; ao movimentar o marcador, o objeto virtual também se movimentará.

Figura 15 - Marcadores, imagem real e imagem de virtual, com RA.



Fonte: Silva e Nascimento (2014)

Diversas pesquisas de RA foram desenvolvidas e implementadas em uma variedade de campos. A visualização de RA para exibição médica foi abordada em vários estudos

(Klatzky *et al.* 2008, Lamounier *et al.* 2010, Shekhar *et al.* 2010 e Simpfendörfer *et al.* 2011). A RA, em apoio de vendas e assessoria, pode ser encontrada em estudos de Zhu *et al.* (2004), Pereira *et al.* (2011), Wakeman *et al.* (2011) e Brown e Barros (2013). O treinamento militar baseado em RA foi descrito por Henderson e Feiner (2009), Henderson e Feiner (2011) e Livingston *et al.* (2011). Vários exemplos de educação aprimorada de RA foram demonstrados por Billinghamurst e Dünser (2012), Hsiao *et al.* (2012), Matsutomo *et al.* (2012) e Kamarainen *et al.* (2013). Os jogos RA para entretenimento foram apresentados por Huynh *et al.* (2009), Burke *et al.* (2010) e Botella *et al.* (2011). Atualmente, os pesquisadores e empreendedores da indústria estão cada vez mais interessados em utilizar a RA para aplicação em AEC e facilitar a compreensão dos edifícios.

A visualização arquitetônica desempenha um papel importante para gerenciar interações complicadas. As abordagens tradicionais para visualizar o projeto arquitetônico concentram-se, ou em imagens estáticas bidimensionais e desassociadas, ou tridimensionais sem os detalhes de sua composição. A realidade aumentada como uma técnica de visualização útil é um campo de pesquisa que trata da combinação de dados do mundo real e gerados por computador. Considerando a RA como técnica de visualização, a relação entre real e virtual fornece um contexto virtual adicional a um objeto importante no mundo real ou facilita o usuário a se concentrar em um objeto virtual. Dong *et al.* (2013) demonstraram que os estudantes aprendem melhor quando os docentes usam representações 3D para ensinar teorias e conceitos de engenharia. Estudos indicam ainda que a integração de visualizações interativas em 3D no programa educativo da engenharia pode ajudar significativamente os alunos a relacionar conceitos abstratos em sala de aula (principalmente conceitos teóricos) com problemas práticos e reais no terreno.

Segundo Behzadan *et al.* (2008), a RA traz vantagens para o processo educativo da engenharia, facilitando a aprendizagem de conceitos abstratos, na visualização de objetos em 3D, assim como reforça-se a segurança operacional dos estudantes e dos equipamentos. Kang *et al.* (2016) afirmam que o BIM está mudando a indústria da construção desde o estágio de *design* até a manutenção, a cita também que a sinergia do BIM e RA abre novas possibilidades no campo da visualização arquitetônica, navegação e interação. A percepção do espaço vai além da navegação estática tradicional, com interação na frente de uma tela de computador. Afirma ainda que o uso de novas ferramentas de visualização digital do

edifício facilita a compreensão do projeto no canteiro de obras, pois as ferramentas de visualização que utilizam modelos BIM, além de permitirem a extração de informações sobre a geometria do modelo, permitem também a visualização de atributos e a gestão de projeto, ajudando ainda para que outros envolvidos no processo possam acompanhar o seu desenvolvimento. Assim é possível aumentar o número de envolvidos com a visualização, principalmente utilizando dispositivos móveis, dada a facilidade de acesso, manuseio intuitivo e o desempenho dos *softwares* para essa plataforma. Esta abordagem é útil para o ensino e aprendizagem institucional e também para empresas envolvidas em qualquer projeto na AEC. Um estudo realizado pelo UPC-Barcelona-Tech por Riera *et al*, (2013) com estudantes de engenharia com mestrado em construção demonstrou que a aplicação da realidade aumentada no ensino dos processos construtivos aumenta o desempenho acadêmico do mesmo do ponto de vista do futuro empregador. Os alunos que têm bem desenvolvida a capacidade espacial de visualização tendem a ser melhores solucionadores de problemas.

2.4.2. Demonstração arquitetônica em projetos

Segundo Ayres *et al*. (2009), o CAD geométrico não apresenta nenhuma vantagem na eficácia do desenho sobre a prancheta, uma vez que seu processo é baseado na produção de desenhos que não têm conexão entre si e gera um percentual de erros muito grande. Segundo Hanna *et al* (2014), é importante o arquiteto manter uma estreita relação do processo de projeto com a execução. Para alcançar este objetivo, os profissionais devem alinhar-se à orientação atual do uso do processo de projeto digital. Eles acreditam que o CAD 2D tradicional deve ser substituído por *softwares* mais completos que privilegiem a capacidade de geração da forma pela interpretação e análise de problemas de projeto e não apenas pela geometria da forma. Paralelamente ao desenvolvimento dos *softwares* de CAD, a academia vem pesquisando o uso alternativo do computador como ferramenta ativa no processo de planejamento.

O papel foi substituído gradativamente pela tela do computador, mas nos desenhos técnicos digitalizados as informações permaneceram organizadas semelhantes ao papel, fragmentadas e desestruturadas. A chance de erro ao efetuar revisões ou alterações em projetos representados com auxílio do computador foi mantida, uma vez que a leitura e as

modificações continuavam sendo feitas desenho a desenho ou quadro a quadro, que poderiam estar em plantas, *layers*, ou arquivos diferentes. A comunicação e a interação entre os projetos das diversas disciplinas presentes na edificação pelos desenhos técnicos tradicionais também são problemáticas. A indústria da construção civil está lentamente adotando o uso de técnicas modernas de computação para vários propósitos diferentes. Atualmente, os desenhos em 2D são quase sempre produzidos em algum tipo de sistema CAD. Poucas empresas ou projetos empregam modelos 3D paramétricos e menos ainda utilizam RV para melhorar as comunicações entre as partes envolvidas no processo de construção. Entretanto, segundo Ayres *et al.* (2009), há indicação de que um ganho de eficiência de até 30% pode ser alcançado com a utilização de RV e outras técnicas para melhorar as comunicações no processo de construção. Outra vantagem é que o investimento necessário para criar um modelo RV é pequeno comparado ao impacto que esta causa, pois ela proporciona análises e correções prévias do projeto e tem um retorno na qualidade final e no resultado financeiro, principalmente ao construir uma estrutura grande e complexa.

No intuito de auxiliar o engenheiro que tem de lidar com modelos 3D complexos, os sistemas de CAD comerciais podem ser melhorados com uma interface do usuário mais amigável, alternativa baseada na tecnologia de RV.

A demonstração arquitetônica tradicional, sem utilizar o BIM ou ferramentas de visualização mais avançadas, enfrenta problemas que afetam diretamente seu desempenho. Segundo Kalkofen *et al.* (2009) e Wang (2015), esses problemas incluem:

- ☐ Tempo para modelar modelo em escala 3D;
- ☐ Integração com o ambiente real;
- ☐ Alto custo para fabricar material de marketing para venda de imóveis;
- ☐ Baixa integração de informações.

Quando devidamente implementada, a informática tem um efeito significativo sobre o produto. A RA em sala de aula estimula o aumento da interação professor/aluno, incentivando a aprendizagem cooperativa, a colaboração, a resolução de problemas e a capacidade de consulta dos estudantes. Segundo Behzadan *et al* (2008), a experiência educacional oferecida pela RA é diferente por uma série de razões:

- Apoio e interação direta entre ambientes reais e virtuais;

- O uso de uma tecnologia de interface tangível para a manipulação de objetos;
- A capacidade de uma transição suave entre a realidade e a virtualidade.

De acordo com Wang (2014), a visualização é um dos atributos mais importantes sobre o BIM. Podem-se citar alguns estudos que identificaram inúmeras aplicações e benefícios implementando RA e BIM na indústria de construção, como:

- Wu *et al* (2011) propuseram uma estrutura de aplicativos, denominada gerenciamento de Integração de Informações do Projeto, para resolver efetivamente os problemas de integração de informações de projetos e interfaces.
- Hu *et al* (2016) apresentaram um modelo que pode oferecer aos alunos um ambiente de construção visual com base no BIM pelo uso de tecnologia informática, que oferece aos alunos uma plataforma prática e ambiente de aprendizagem colaborativo.
- Chen *et al.* (2013) desenvolveu uma abordagem de visualização robusta para avaliar a cobertura de sistemas de CCTV (*Closed Circuit Television*) em espaços de construção pública. O desenvolvimento baseado no *Revit Application Program Interface* (API) mostrou-se efetivo e pode ser amplamente aplicado a outros espaços de construção em condições similares.
- Hagedorn e Döllner (2007) apresentaram uma abordagem para visualizar e analisar o edifício 3D dentro de modelos virtuais de cidades 3D. Para facilitar informações sobre dados visuais complexos e cenários espaciais, duas técnicas de visualização de BIM configuráveis foram desenvolvidas, uma que mapeia dados do BIM com visuais de construção 3D.
- Billinghamurst (2008), distorcendo geometricamente as representações da construção em 3D, encontrou melhoras significativas na utilização de variáveis visuais para melhor percepção do usuário.
- Kang *et al.* (2015) apresentaram um conceito inteligente para armazenar e para lidar com modificações durante a obra, com a correção das interferências e verificação visualmente destacada, por meio da variável cintilação.
- Kim e Kim (2012) propuseram um sistema integrado para a visualização do progresso automatizado da construção usando BIM com estrutura de dados em IFC (*Industry Foundation Classes*) para que dados pudessem corresponder a partes de componentes estruturais adquiridos usando tecnologia de sensoriamento remoto.
- Zhang *et al.* (2016) contribuíram para resolver o problema de segurança e uso de

EPIs com a verificação automática de regras e ferramentas para construir modelos de informações que analisam automaticamente o edifício e os trabalhadores para detectar riscos de segurança e sugerir medidas preventivas para os usuários.

- Sacks *et al.* (2010a) implementaram dois protótipos para facilitar o fluxo de processos no contexto dos sistemas BIM. Esse estudo demonstrou a relação forte entre BIM e construção enxuta, e importância de interface de visualização baseada em BIM para fornecer transparência de processo.
- Wang *et al.* (2014) desenvolveram um BIM baseado em sistema de gerenciamento de instalações.

As pesquisas anteriores se dedicaram à visualização de informações com formas geométricas e com modelos de informações da construção, como especificações de *design*, demandas de marketing, preferências do cliente e informações de manutenção.

A integração de BIM e RA está prevista para se tornar uma característica inata da visualização arquitetônica no setor de construção. No entanto, houve poucas investigações que examinaram como o BIM e a RA podem ser integrados nas plataformas de visualização existentes para melhorar análise de interferências (Xiangyu e Love, 2012). Esta pesquisa apresenta um protótipo de sistema de visualização arquitetônica baseado em BIM e RA. Pois a interação entre essas tecnologias mostra um futuro promissor; porém, um dos principais fatores para o sucesso de sua implementação é a relação com o usuário. A disponibilidade e os preços da tecnologia de RA estão a fazer com que esta esteja em breve disponível para as rotinas diárias de educação, no entanto o *software* e a usabilidade são que determinam o sucesso das aplicações de realidade aumentada.

2.5. A compatibilização de projetos e formas de representação

A compatibilização de projetos, segundo Sinduscon-PR (1995, p. 17), “é a atividade de gerenciar e integrar projetos correlatos, visando o perfeito ajuste entre eles e conduzindo para a obtenção dos padrões de controle de qualidade total de determinada obra”. Segundo Sousa (2010), o objetivo da compatibilização é eliminar os conflitos entre os projetos inerentes à determinada obra, simplificando a execução e otimizando a utilização de materiais e mão de obra, bem como a subsequente manutenção.

Segundo Solano (2005), a compatibilização também pode ser entendida a partir do próprio

significado da palavra. Interagir os projetos referentes, de modo a sincronizar as atividades dimensionais, tecnológicas e estéticas. O processo de projetos possui um papel definitivo na busca da melhoria da eficiência produtiva, uma vez que ele interfere diretamente nos resultados econômicos do empreendimento, na eficiência do produto, na redução de patologias e no auxílio da execução da obra. A relevância da compatibilização em edifícios pode ser notada com os desperdícios que a falta dela pode causar; segundo Rodriguez (2005), a falta de compatibilização pode contribuir para a elevação de custos devido ao superdimensionamento ou ao subdimensionamento dos sistemas, gerando desperdícios de recursos materiais e de mão de obra para a operação e a manutenção. Segundo Santos (2014), compatibilizar projetos requer investimentos que podem representar de 1% a 1,5% do custo da obra, mas gera diminuição de despesas que variam de 5% a 10% desse mesmo custo. Além de reduzir o tempo gasto no canteiro de obras, os ganhos são garantidos pela redução do desperdício e pela eliminação do retrabalho. Portanto, existe a necessidade de analisar as falhas que se desenvolvem durante o processo de execução de uma obra devido à falta de compatibilização de projetos. De acordo com Amâncio e Krüger (2010) é durante a fase de projeto que vários fatores se mostram relevantes, na medida em que se leva em consideração aspectos que facilitem a execução da obra como, por exemplo, o detalhamento das atividades a serem desenvolvidas no canteiro de obras.

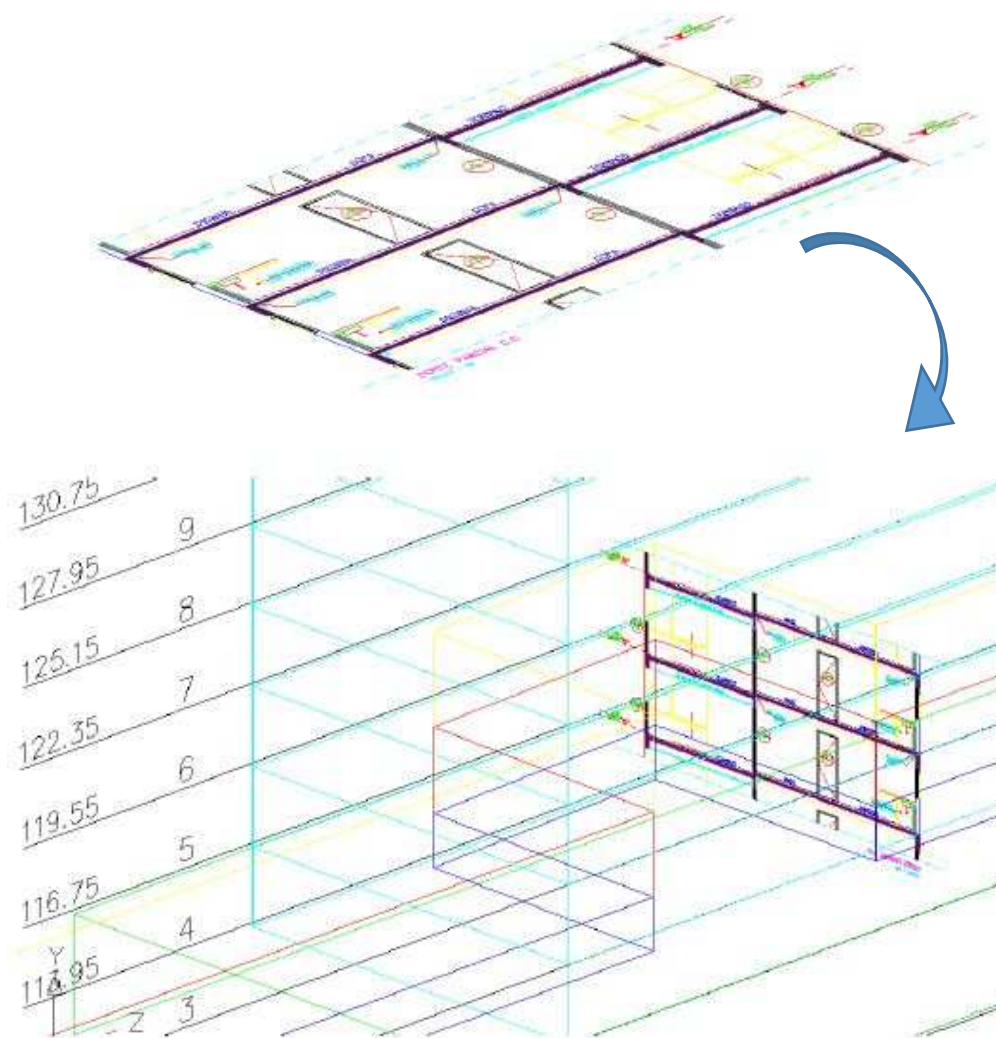
Existem diversas maneiras para se compatibilizar um projeto na construção civil manualmente e também com o auxílio de *softwares* com inteligência artificial. Pode-se citar três maneiras CAD 2D, CAD (BIM)3D, CAD (BIM) RA.

2.5.1. CAD 2D

Essa ferramenta possibilita que o usuário coloque as plantas baixas de diversos projetos (arquitetura e complementares) sobre um plano virtual, em que ele fará as detecções de interferência analisando visualmente os cruzamentos entre os componentes. Essa é a ferramenta mais utilizada atualmente na construção civil, geralmente utilizando o *software* AUTOCAD 2D (Autodesk); no entanto, como já citado anteriormente, essa ferramenta possui algumas desvantagens, como problema da ambiguidade das vistas ortogonais tratado no capítulo 2, que dificulta a visualização real da geometria do objeto, pois fornece ao usuário apenas uma vista em 2D. Ainda, segundo Sena (2012), a fragmentação dos projetos no modelo dificulta a associação cognitiva entre os desenhos. Habitualmente, a detecção de

interferências nesse modelo é feita de forma manual e fica sobre total responsabilidade do projetista (arquiteto ou engenheiro) a sobreposição de projetos distintos. Esse processo é feito com diversos projetos que se interagem, e a identificação de interferências é complexa e demorada, ficando totalmente a critério do especialista responsável pela compatibilização. Outro inconveniente é o caso das laterais e cortes do modelo estarem desassociadas da planta baixa. Segundo Ayres *et al.* (2009), esse fato pode acarretar diversos problemas cognitivos, pois a desagregação desses desenhos dificulta e, às vezes, inviabiliza o entendimento correto da situação. A necessidade de se verificar todos os detalhes de plantas, cortes e elevações, denota grande quantidade de informações. Em um plano de duas dimensões ficam prejudicados os aspectos cognitivos, devido à falta de um sistema que melhor interprete o modelo e facilite a percepção dos erros. Percebe-se na Figura 14 essa situação de um plano de corte na forma bidimensional e a tentativa de colocar o plano agregado à planta baixa do modelo. Isso é um trabalho que leva tempo e pode abrir precedente para erros humanos, já que frequentemente o processo é todo manual.

Figura 16 - Plano de corte de modelo.



Fonte: SENA (2012).

Além desses fatores, pode agravar mais o fato de que a utilização de tecnologia da informação em geral é bem restrita nesse processo. Segundo Ferreira e Santos (2014), as simplificações adotadas e omissões de informações em projetos 2D são fatores que dificultam as análises de interferências automáticas dos projetos. Para os autores, essas manobras ocorrem para tornar o desenho mais legível em plantas, cortes e elevações. Quando elas ocorrem, a equipe responsável pela compatibilização deve recriar mentalmente o espaço omitido ou simplificado, o que faz com que o processo de compatibilização seja intuitivo e, portanto, sujeito a erro humano. Pode-se constatar no Quadro 1 alguns erros comuns na prática de compatibilização, utilizando ferramentas de projeto em 2D, relacionando os erros já citados e alguns exemplos práticos encontrados no Modelo.

Quadro 1 – Erros comuns na representação 2D.

Característica	Descrição	Exemplo
Ambiguidade	A mesma representação pode ser interpretada de mais de uma forma, mesmo que adicionada de notas, símbolos ou esquemas; em geral, um ponto do desenho não pode ser claramente percebido.	Representação das vigas que estão no mesmo plano ou em níveis diferentes (invertidas), em que essas diferenças são apresentadas em seções que podem passar despercebidas pelo projetista.
Simbolismo	O objeto é representado por um símbolo cujas dimensões e formas não têm relação com o objeto real que representa.	Os pontos de elétrica (interruptor, tomadas, etc.) usam símbolos fora de proporção com o real, induzindo o projetista a ignorar as relações espaciais reais.
Omissão	Tentando tornar o desenho mais sintético, são omitidas informações tidas como “óbvias” a quem está projetando. Entretanto, para outros envolvidos, a informação em geral é desconhecida e pode não estar em consideração. Também pode-se caracterizar pela omissão de uma certa elevação ou corte necessário para a correta interpretação do projeto.	O projetista não representou a peça metálica de fixação do conjunto flexível de água quente e fria do misturador do chuveiro. Porém, a interferência com a estrutura para a parede de <i>drywall</i> e a existência de um <i>shaft</i> com tampa removível apertaram a instalação dentro do <i>shaft</i> quando se considerou a peça de fixação dos misturadores.
Simplificação	O projetista simplifica uma determinada representação, alterando o volume real do objeto ilustrado. Este problema é semelhante ao simbolismo; porém, diferentemente deste, a simplificação guarda algumas relações de forma e dimensão com o modelo real, porém esta característica não as representa explicitamente.	O projetista de hidráulica frequentemente representa como uma simples linha ou curvas as tubulações de água quente ou fria. Estas tubulações têm em geral diâmetros de 40 ou 50mm, praticamente a metade da dimensão da tubulação de esgoto de 100mm. Em espaços muito restritos, essa representação compromete a análise das reais ligações entre as diversas peças.
Fragmentação	Está relacionada à separação da informação em várias vistas (planta elevação e corte) e pode ser agravada com a eventual representação dessas vistas em folhas separadas. O esforço cognitivo é aumentado quando é necessário correlacionar vistas diferentes, favorecendo o erro. Esse procedimento é diferente do desenho mecânico, em que as vistas devem sempre ser alinhadas, facilitando a correlação dos detalhes e vistas.	O projetista de elétrica indicou a altura de uma arandela na escada. As vigas da escada nem sempre estão no mesmo nível do pavimento. Para poder compreender o todo e evitar que a arandela fique na viga, serão necessários vários cortes ou elevações para o entendimento dos diferentes níveis.

Fonte: Tonisse *et al.* (2013).

Ainda de acordo com Tonisse (2013), a representação em 2D deveria ser a síntese resultante

do processo de projeto (ciclo de vida) e não apenas uma fonte de análise geométrica. Assim, a utilização da representação 2D como processo exclusivo de desenho pode se traduzir em soluções errôneas ou enganosas, pela falta de informação, decorrentes da omissão, da simplificação, do uso de simbolismo, pela ambiguidade ou, ainda, pela combinação de vários fatores que geram uma visão parcial do espaço projetado.

2.5.2. BIM 3D

Existem pelo menos duas maneiras de se fazer uma análise de interferência em 3D: com CAD geométrico e CAD paramétrico. Essas duas opções se diferem na modelagem da informação do arquivo. O CAD geométrico é uma evolução da análise em 2D comum, com diversos problemas semelhantes, pois utiliza-se uma modelagem tridimensional dos projetos, que estão divididos em diversas camadas correspondentes aos tipos de projetos; e com a sobreposição dessas camadas, procura-se apenas com auxílio visual encontrar as interferências. Isso geralmente é feito no *software* AUTOCAD 3D. Esse tipo de abordagem pode diminuir alguns problemas com a fragmentação, ambiguidade e simbolismo, mas ainda é limitado apenas ao desenho; toda a análise é feita visualmente pelo usuário especialista, sem garantir um processo mais eficiente com a análise das informações contidas no modelo.

No CAD paramétrico a detecção de interferências ocorre tanto durante a modelagem do projeto pela maneira visual quanto após a junção dos componentes das diferentes disciplinas de projeto por automatização do processo. Segundo Stavric e Marina (2011), por se tratar de um ambiente tridimensional e paramétrico, as interferências e erros podem ser localizados pelos indicadores de conflitos com uma análise de dados. Outro fator que auxilia é a possibilidade de geração de cortes e vistas diversas instantâneas em qualquer ponto do modelo. Isso auxilia na detecção visual de problemas, fato que não é possível em projetos em CAD geométrico. Essa maneira de realizar a compatibilização de projetos consiste em visualizar informações virtuais do modelo em 3 dimensões pelos dispositivos eletrônicos, visando oferecer um ambiente mais realista do projeto e melhorar os problemas com a interface do usuário (ambiguidade, omissão, fragmentação, etc). Esse é um modelo de processo em expansão na construção civil. O ambiente tridimensional pode ser fornecido por modelagem tipo CAD 3D e tipo BIM. Espera-se que com o BIM essa maneira de realizar a compatibilização de projetos na construção civil seja facilitada. O BIM é o avanço nas

tecnologias de 3D paramétricas, pois gera dados e atributos do objeto, facilitando a gerência de projeto. Ao contrário dos processos bidimensionais manuais, nos quais gráficos e desenhos são superpostos a uma mesa ou em um computador para encontrar as interferências, os gráficos 3D em BIM permitem examinar de forma manual com auxílio da tridimensionalidade e a detecção de forma automatizada.

Segundo Sacks (2010b), a representação tridimensional usada durante o processo de desenvolvimento de projeto pode representar mais completamente a informação espacial, reduzindo abstrações, especialmente na etapa de análise. É interessante observar que a análise é a atividade que está entre a identificação do problema e a documentação final da solução. Esse aspecto torna-se mais importante quando há a necessidade de envolvimento de muitos profissionais e especialidades, que observam o mesmo objeto sob óticas diferentes. O mesmo autor identificou vantagens significativas em termos de redução de tempo de projeto e de ganhos de qualidade no que se refere à visualização de interferências espaciais.

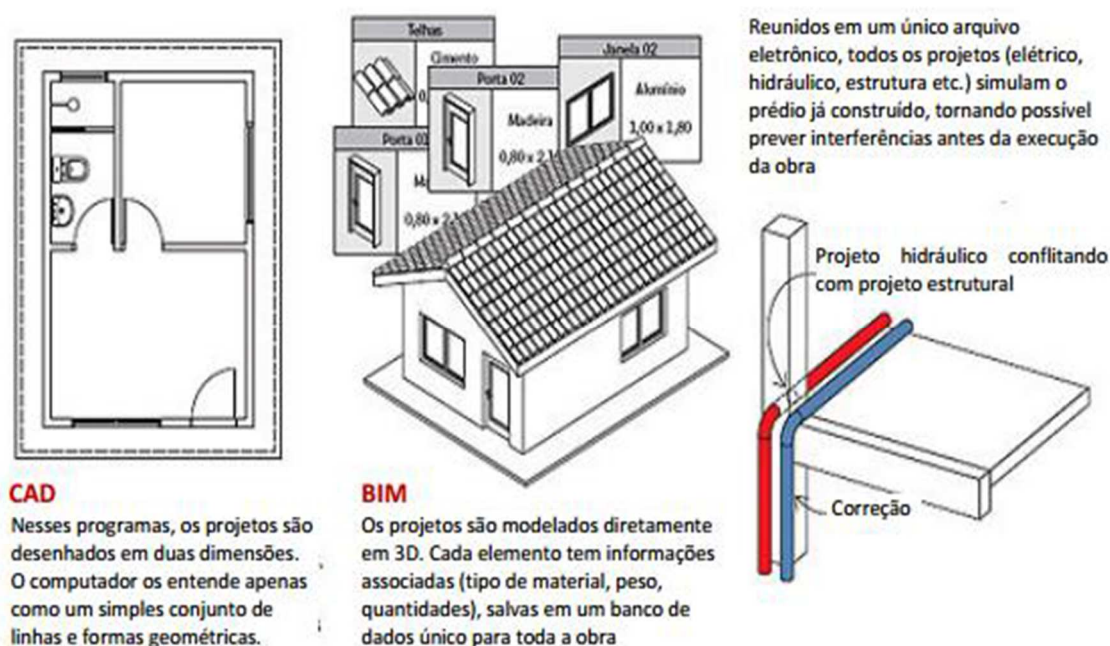
Quanto à detecção automatizada, alguns *softwares* modeladores possuem ferramentas que permitem os testes de conflitos, geralmente chamados de *Clash Detection*, além de programas de análise e gerenciamento de modelos que rodam testes de conflitos mais completos entre modelos específicos e que permitem ao usuário confrontar informações de elementos em subsistemas, como por exemplo, rodar um teste confrontando as vigas estruturais em concreto com as tubulações de passagem de água fria. Para Eastman *et al.* (2013), os resultados obtidos de testes com análises de BIM, dependem do nível de detalhamento do modelo. Quanto mais preciso e rico em detalhes for o modelo, mais eficiente será o teste de conflitos. No entanto, a detecção automatizada ainda não substitui um observador humano, devido a dois principais conflitos existentes; o primeiro pode ser demonstrado em um estudo de Sacks (2010b), que apresentou resultados dos benefícios da tecnologia de CAD 3D (incluindo, neste caso, *software* com recursos de modelagem paramétrica) aplicada a projeto e detalhamento de construção com pré-fabricados de concreto. Entre as desvantagens notou-se que os conflitos não diretos entre os objetos podem acarretar uma confusão no sistema, principalmente *Soft Clash*, *Workflow Clash* (detalhados mais adiante), que estão relacionados com a passagem do tempo e a localização das estruturas quando o conflito não acontece diretamente com o choque físico das estruturas, mas com a impossibilidade de realização da tarefa devido a transportes que devem ocorrer

dentro da obra e que não são levados em conta pela AI. Uma segunda desvantagem é a necessidade de trabalhadores humanos para construção da maioria dos objetos. Isso reflete a necessidade da identificação dos objetos no projeto. No entanto, entre os benefícios, encontram-se a redução de custos, redução de tempo e prevenção de erros na produção.

Thomas *et al.* (2011) analisaram o uso de tecnologias da informação em desenvolvimento de projetos e a sua relação com o desempenho do projeto em obra. Os resultados desta pesquisa apontaram benefícios advindos do uso de tecnologia da informação (TI) em projeto, tanto para investidores quanto para construtores que obtiveram significativa redução de custos. As tecnologias de informação analisadas neste estudo foram: código de barras, bancos de dados integrados, sistemas de CAD 3D e EDI (troca de dados eletrônicos). O estudo comprovou que o investimento em TI foi altamente significativo para o avanço da empresa, reduzindo custos e acelerando resultados. O trabalho de Ferreira (2007) teve como objetivo comparar o método proposto para o uso do CAD 3D em relação ao CAD 2D, no processo de compatibilização. Para tanto, foi acompanhado o desenvolvimento de um mesmo projeto por dois escritórios diferentes que usam essas tecnologias. Inicialmente, esperava-se que o CAD 3D fosse menos eficiente, portanto mais demorado, e ao mesmo tempo fosse mais eficaz no que se refere à compatibilização, uma vez que a percepção de interferências seria um procedimento automático. O resultado foi o diferente do esperado, o projeto feito em CAD 3D foi mais rápido e a eficácia na compatibilização foi praticamente a mesma que em 2D.

A Figura 17 mostra a diferença na visualização geométrica e dos arquivos que podem ser acessados pelas duas ferramentas CAD e BIM para realizar análise de interferências.

Figura 17 - Comparação entre ferramentas de visualização arquitetônica.



Fonte: Andrade (2011).

2.5.3. RA 3D

Devido à tendência da utilização de tecnologias RA em aplicações práticas, como educação, *design*, fabricação, construção e entretenimento revela o grande potencial desde então. Novas tecnologias propõem pesquisas na área de realidade aumentada para melhorar os problemas com a interface do usuário, de acordo com Chi *et al* (2013), a realidade aumentada (RA) é uma interface gráfica em expansão na construção civil.

Tendo por foco a apreensão do espaço arquitetônico, Bruno Zevi (2009) afirma que plantas, cortes e até fotografias são incapazes de transmitir plenamente o espaço arquitetônico, sendo necessária a experiência natural do deslocamento físico e visual pelo espaço. A RA visa aumentar a percepção do usuário da realidade por submetê-lo a situações inexistentes no mundo real de modo muito próximo à experiência real. Desse modo, torna-se possível, por exemplo, ampliar a capacidade da visão humana ao tornar visíveis elementos virtuais. Na aplicação à construção civil, por exemplo, a RA pode ser capaz de exibir ao usuário de um edifício a localização das tubulações do prédio, ainda que estas estejam localizadas no interior de uma parede.

Essa maneira de realizar a compatibilização de projetos foi proposta nesse trabalho e consiste em visualizar informações virtuais do modelo no mundo real por meio de dispositivos eletrônicos, utilizando uma interface de realidade aumentada. Uma construção é modelada na estrutura BIM e depois o arquivo transferido para um *software* de visualização em RA, para que o usuário tente identificar as interferências no modelo com o auxílio de um *tablet* e um marcador fiducial para a manipulação com as mãos, diferentemente dos outros modelos em que se usa o *mouse* e o teclado.

A tecnologia de Realidade Aumentada (RA) propicia esse tipo de experiência ao sobrepor modelos digitais ao mundo real, numa visualização realista controlada de modo natural, a Figura 18 mostra um exemplo de RA com um *tablet*. Nesse caso, a RA usa o modelo utilizado para a construção do edifício para tornar visível ao usuário informações ocultas.

Figura 18 - Visualização de planta arquitetônica no *tablet*.



Fonte: Almin (2012).

A RA é capaz de preservar o senso natural de presença em um espaço enquanto adiciona a elementos do mundo virtual (Tori, Kirner & Siscoutto, 2006). Isso pode ser demonstrado na Figura 19, que é uma visualização em RA na obra para analisar as tubulações do edifício.

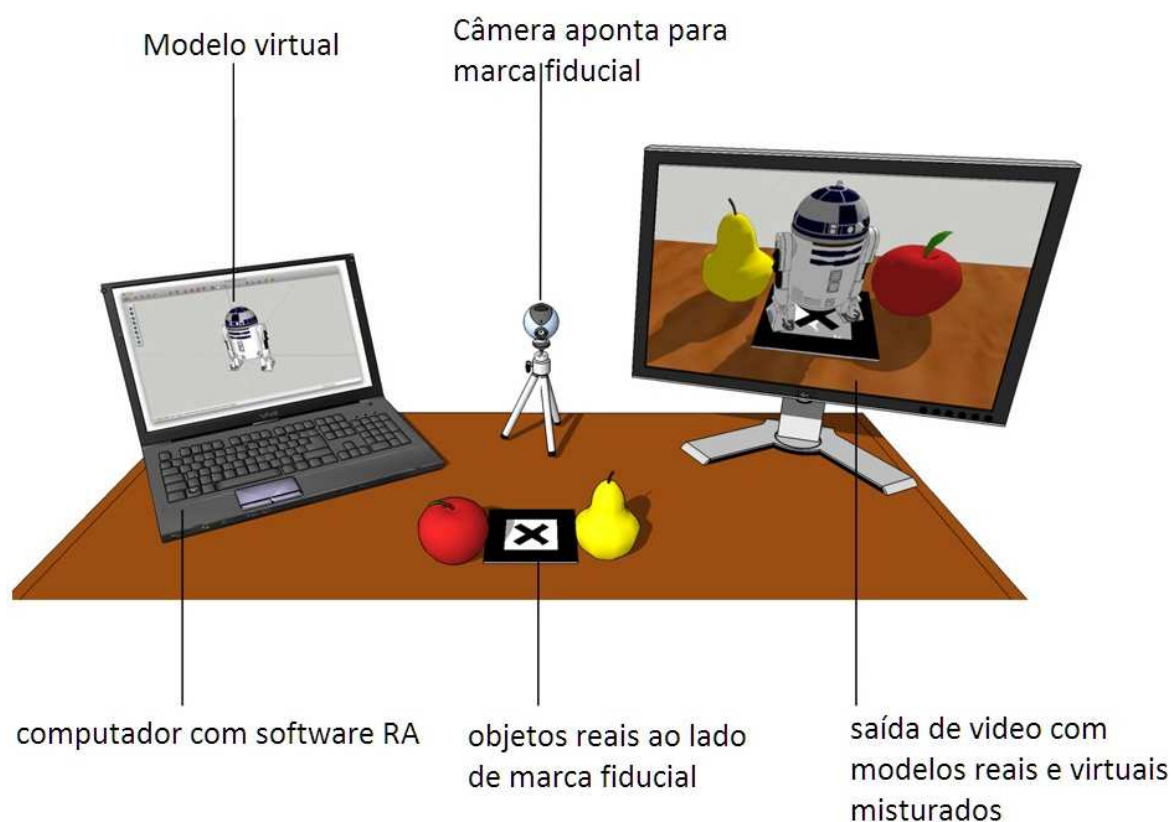
Figura 19 - Exemplo de visualização em Realidade Aumentada (RA).



FONTE: URL.6

A RA pode usar técnicas de rastreamento para localizar com precisão os objetos virtuais no mundo real. Esse procedimento permite definir continuamente a posição em que o objeto virtual deve ser adicionado à cena real. Em sistemas interativos, esse rastreamento também é utilizado para registrar a posição e os gestos do próprio usuário. Para esse fim podem ser usadas diversas tecnologias, como sensores infravermelhos e sistemas de posicionamento global (GPS), embora essas técnicas representem soluções dispendiosas para Bimber e Raskar (2005), citado por Cupers Schmid, Freitas e Ruschel (2012). Desse modo, o rastreamento óptico mostra-se uma solução bastante acessível, principalmente para análise de interferências no escritório. Nesse caso, a aplicação de realidade aumentada utiliza uma câmera para localizar um padrão visual determinado que passa a ser usado como referência para a localização do modelo digital na visualização. O marcador pode ser do tipo fiducial quando possui um padrão gráfico preto e branco facilmente identificável; ou do tipo natural quando for definido por uma imagem fotográfica do ambiente real (Cupers Schmid *et al.*, 2012). A Figura 20 mostra o funcionamento desse sistema.

Figura 20 - Funcionamento da Realidade Aumentada com utilização de marcadores.



Fonte: URL7.2018

Com essa tecnologia os usuários podem manipular cada elemento virtual de forma mais fácil e intuitiva do que usando os dispositivos padrões de um computador como *mouse* e teclado. Os conjuntos de elementos virtuais podem ser trazidos para o local de trabalho de construção virtual existente para serem usados no planejamento do local de construção. Os conjuntos de elementos virtuais simulam diferentes cenários de trabalho de construção. A Realidade Aumentada permite integrar o desenho no ambiente real como construído. Segundo Wang (2013), a RA poderia ajudar na qualidade de visualização, comparando uma instalação construída com a correspondente, bem como revisão de construção antes da construção real. Essa maneira visa também melhorar o fluxo da informação nos projetos, pois com o uso de dispositivos móveis (*smartphones* e *tablets*) para a visualização das informações do edifício, é possível visualizar em tempo real informações atualizadas e com detalhes sobre a obra, com toda a riqueza semântica que pode estar contida no modelo BIM. Também é possível enviar informações para os escritórios de projeto sobre eventuais alterações necessárias no projeto e receber em tempo real as alterações sofridas no modelo BIM. Dessa forma,

melhora-se o fluxo da informação no canteiro de obras em relação ao uso de plantas impressas, por fornecer um modelo completo e menos abstrato do edifício.

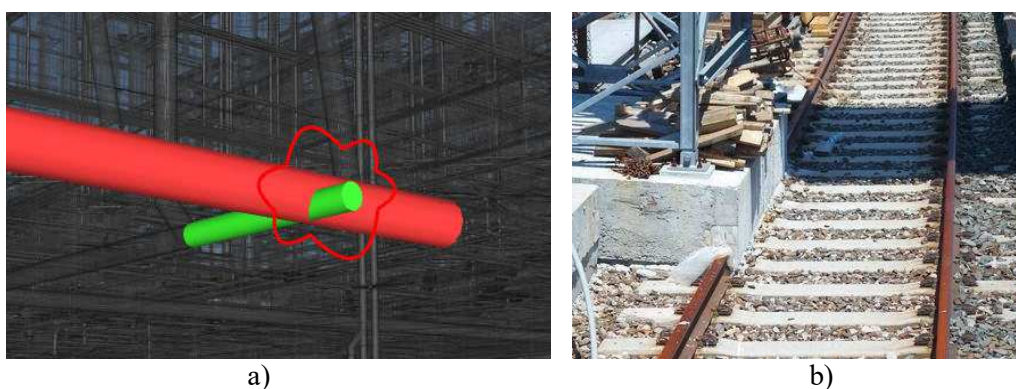
Ainda segundo Wang (2013), no contexto espacial de seu ambiente físico a RA pode ser muito útil na detecção de interferência em obras, pois objetos que compõem os ambientes virtuais podem colidir com outros objetos reais evidenciando as interferências. Essa interação ocorre quando dois ou mais objetos tentam ocupar o mesmo espaço ao mesmo tempo no ambiente.

2.5.4. Tipos de interferências

Considerando essas três ferramentas para análise de projetos, é importante identificar os tipos de interferências que podem prejudicar o andamento da obra, de acordo com Gijezen et al. (2010), os conflitos detectados em uma obra podem ser classificados em três tipos:

- *Hard Clash* - Ocorre quando dois objetos ocupam o mesmo espaço físico. Quando há o choque entre os elementos. É o tipo mais comum de interferência, pode-se ver um exemplo nas Figuras 21a e 21b dois tipos de interferências diretas; a Figura 21a mostra a interferência entre dois tubos que foi antecipada na fase de projeto com o modelo virtual; a Figura 21b, no entanto, houve uma sobreposição de elementos estruturais na fase de execução.

Figuras 21-Interferências diretas a), e *hard clash* b).

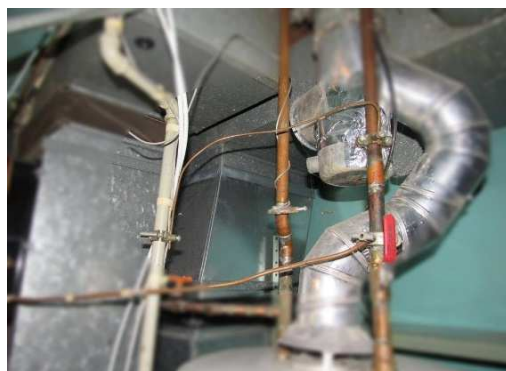


FONTE: URL8.2018

- *Soft Clash* ou *Clearance Clash* - São os conflitos que ocorrem sem o choque físico

direto dos objetos. O *Soft Clash* ocorre em elementos que demandam certa tolerância espacial livre dentro de um raio específico, ou de área próxima. Essa demanda espacial pode ser pela necessidade de movimento ou pela necessidade de espaço livre operacional que pode afetar a estrutura próxima; por exemplo, o aquecimento de uma estrutura, interferência magnética, entrada de luz ou risco de acidente. Pode-se ver nas Figuras 22a e 22b esse tipo de conflito; a Figura 20a mostra uma instalação de gás e tubulação elétrica muito próximas, nesse caso o calor gerado pelo funcionamento normal dos tubos pode danificar a outra instalação e há risco de acidente; na Figura 22b vemos que a tolerância espacial necessária para a abertura da porta não foi feita, nesse caso eles danificaram a estrutura da porta para a sua abertura.

Figuras 22: Exemplos de *soft clash*.



a)



b)

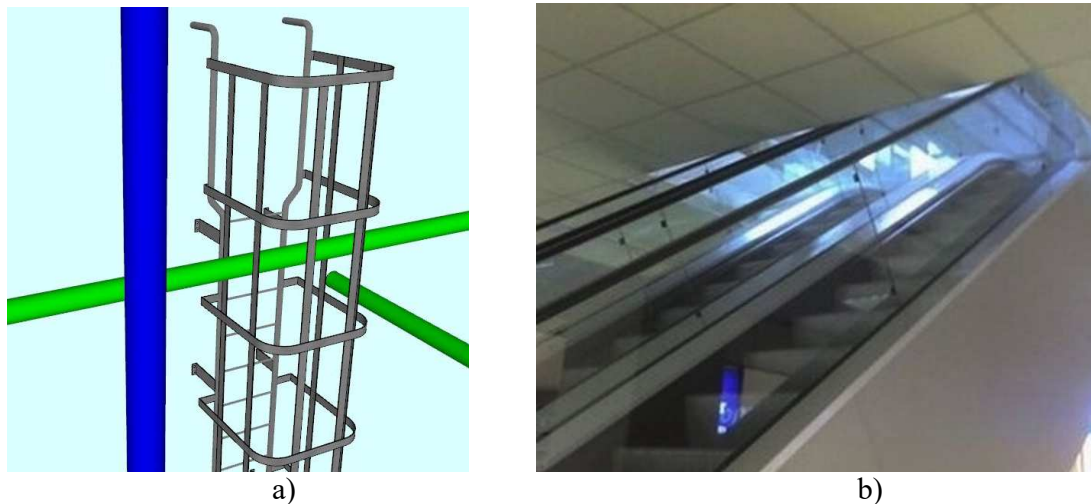
FONTE: URL9.2018

- *4D Clash* ou *Workflow Clash* - São conflitos que são detectados no sequenciamento de atividades ao longo do tempo. Eles podem ocorrer durante o curso da obra ou ficarem evidentes só após o término da execução. No *4D Clash* o fluxo da obra é interrompido ou parcialmente afetado devido à imprecisão do tamanho do fluxo de objetos ou pessoas, esse evento é comum acontecer com equipamentos construtivos como guindastes e máquinas que atuam temporariamente na construção, ou acontecer com objetos físicos que não têm um dimensionamento correto de acordo com as estruturas adjacentes.

Percebe-se na Figura 23a que o tubo verde passa na parte interna da escada impedindo a passagem de pessoas em seu interior, na Figura 23b a escada rolante

ficou com o pé direito muito baixo, não permitindo a passagem de pessoas em pé.

Figura 23: Tipos de interferência 4D clash.



FONTE: URL10.2018

Importante notar que alguns *softwares* de IA (inteligência artificial), estão se aprimorando para essas detecções, alguns *softwares* de estrutura BIM contêm essa utilidade. Contudo, segundo Brien (2005), a automatização do processo ainda denota uma atividade específica ou isolada do problema; os métodos de automação atuais levam a solução de uma tarefa específica, principalmente o *hard clash*, o computador ainda não possui uma análise completa sobre o contexto da tarefa e sua relação real com o ambiente construído, muitas tarefas podem ser auxiliadas pelo computador, mas sua relação com o ambiente real e suas intempéries ainda são dependentes de análise humana.

Segundo o mesmo autor, os métodos de automação específicos de tarefas tendem a favorecer subsistemas ocasionando métodos de formulação de baixa amplitude de problema, tais procedimentos geralmente dão resultados inferiores aos ótimos. Ainda que os métodos de automatização auxiliem na detecção de problemas, é substancial a análise humana do processo de interferências, por isso o processo cognitivo é tão importante para essa análise; haja vista que a verificação do modelo é basicamente visual, a utilização das variáveis visuais no processo de identificação pode auxiliar em situações em que o computador não interpreta as reais necessidades da obra.

2.6. Avaliação com usuários e IHC

Para avaliar a usabilidade, pode-se examinar a norma ISO 9241 (2011) “a medida pela qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com efetividade, eficiência e satisfação em um contexto de uso específico”. De acordo com Looije *et al.* (2007), a melhor maneira de determinar o que é intuitivo para os usuários é a prática da observação durante a utilização do produto, geralmente isso é feito com testes de usabilidade, no intuito de expor deficiências da interface, para interpretar melhor as ideias e a tomar decisões em relação ao desenho da plataforma ou interface. A avaliação dos produtos identifica as oportunidades para mudanças e novas propostas, avaliando as soluções para os problemas que os usuários têm com os sistemas atuais, possibilitando analisar os fatores de produtividade dele. Segundo Barbosa (2010), geralmente as avaliações de interface baseiam-se em eficácia, eficiência, segurança, utilidade, facilidade de aprender e lembrar. Essas tecnologias são avaliadas aplicando-se essas metas, com relação a quanto ela satisfaz esses objetivos. De acordo com Mendonça (2013), os principais motivos para usar UCD (*User Centered Design*) são: a satisfação do usuário e o excesso da estimativa de custo de projetos de *software*. Aproximadamente 63% dos projetos de *software* excedem suas estimativas de custo, sendo que as quatro principais razões deste excesso são as solicitações frequentes de alterações pelos usuários, as tarefas que não foram previstas pelos projetistas, a falta de entendimento pelo usuário de seus próprios requisitos e comunicação e entendimento insuficiente entre usuários e projetistas. Ou seja, todos esses erros são provenientes da falta de entendimento de quem é o usuário e quais são suas necessidades, conseqüentemente quais tarefas ele precisa realizar, torna-se imprescindível envolvimento do usuário no processo de desenvolvimento. A consequência desse envolvimento integrado é o aumento na satisfação e produtividade do usuário, pois este sendo compreendido, significa que o produto será mais interessante e útil, evitando retrabalhos nos projetos e diminuindo o custo total de investimento no produto. Portanto, o ciclo de erros nos projetos realimenta-se pelo simples fato de não se entender quem realmente utilizará o sistema.

Usando um processo de reconhecimento do usuário, temos maiores as chances de se construir algo útil, que de fato melhore a produtividade, reduza erros humanos, reduza a manutenção. Além disso, UCD pode gerenciar as expectativas dos usuários e dos projetistas e desenvolvedores, encorajando a propriedade da solução com o entendimento das

limitações, resultando em aumento da satisfação de ambos.

Podem-se citar alguns critérios para avaliação que geralmente envolvem:

- Efetividade: permite que o usuário alcance os objetivos iniciais de interação, e tanto é avaliada em termos de finalização de uma tarefa quanto também em termos de qualidade do resultado obtido.
- Eficiência: refere-se à quantidade de esforço e recursos necessários para se chegar a um determinado objetivo. Os desvios que o usuário faz durante a interação e a quantidade de erros cometidos pode servir para avaliar o nível de eficiência do site.
- Satisfação: está relacionada com fatores subjetivos. De maneira geral, satisfação refere-se ao nível de conforto que o usuário sente ao utilizar a interface e qual a aceitação como maneira de alcançar seus objetivos na interface.

A avaliação de usabilidade é por si só um processo que implica muitas etapas, dependendo do método empregado. As atividades comuns, independentemente do método, incluem:

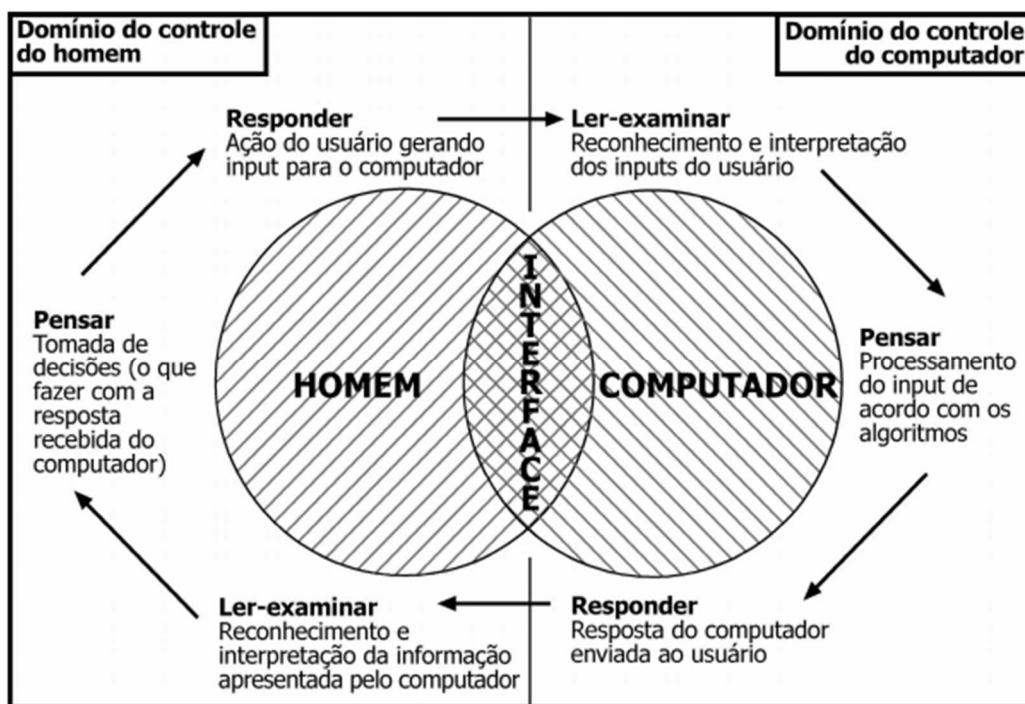
- Captura – Coleta de dados de usabilidade, tais como tempo de completude de tarefas, erros, violações de orientações e índices de subjetividade.
- Análise dos dados – Interpretação dos dados de usabilidade para identificar problemas de usabilidade nas interfaces.
- Análise crítica – Sugestão de soluções ou melhorias para reduzir problemas.

Várias técnicas de avaliação de usabilidade foram propostas e cada uma delas, possui seus próprios requisitos e geralmente técnicas diferentes descobrem problemas de usabilidade diferentes. Existem alguns conceitos de *design* que possibilitam o desenvolvimento de interfaces que estão de acordo com os objetivos de usabilidade. Estes conceitos vão desde consistência, criar relações, organização, legibilidade, clareza, presença de pistas para navegação, imagens e idiomas apropriados, até técnicas elaboradas para obtenção de interfaces mais eficientes. Segundo Mendonça (2013), o comportamento dos usuários não é fácil de ser previsto; conseguir entender o cliente e obter informações úteis para o seu desenvolvimento, necessita de uma pesquisa profunda para perceber quem é o usuário, quais seus objetivos ao usar o produto, que tarefas realizará, e como ele pensa que a ferramenta deveria funcionar, além de outras perguntas relacionadas ao lado cognitivo do processo. Looije *et al.* (2007) afirmam que os desafios para a usabilidade de interfaces nestes dispositivos são em maior ou menor grau dependentes de fatores tecnológicos, ambientais e

sociais. Para Crampton (2002), como o contexto na qual a informação aparece é fator crítico para a análise e em sistemas interativos, faz-se primordial que este possa ser manipulado. Isto porque as conclusões acerca de dados analisados são muito afetadas pelo contexto, uma vez que, em diferentes contextos, os mesmos dados podem ser apresentados de forma diferente.

De acordo com Tognazzini (2002), a importância de se realizar a avaliação de sistemas determina o sucesso da aplicação, pois o *design* para interação, pelo seu ciclo de *design* e teste iterativo, a ausência de testes com usuários como uma parte integral de seu processo de *design*, desperdiça muito dinheiro. Isso explica o fato de realizar as avaliações dos problemas antes de o produto ser lançado, e não depois, pois isso ajuda a equipe a concentrar-se nos problemas verdadeiros, e não imaginários; assim os engenheiros podem codificar em vez de debater, influenciando positivamente no tempo para o lançamento, que é reduzido, assim torna-se possível fornecer um *design* robusto já no lançamento. De acordo com Mayhew (1992), o modelo interativo composto pelo homem e pelo computador dispõe de um limite que compõe a Interface Humano-Computador (IHC). Esses dois subsistemas comunicam-se entre si, e têm a interferência de fatores externos como o ambiente físico, ambiente organizacional e o ambiente social. Segundo Padovani (1998), a Interação Humano-Computador dá-se por um revezamento do domínio do controle da situação, ora pelo usuário, ora pelo computador. Nesse sistema, tanto um quanto outro possuem forças e fraquezas; a ideia é que os computadores possam ser desenvolvidos para suportar as fraquezas das pessoas. A preocupação com esse processo é importante, principalmente no que tange às responsabilidades de cada uma das partes, de forma que essa interação seja o mais simples possível para o homem. Segundo Brown (2010), as etapas de desenvolvimento de um produto devem levar em consideração esse revezamento no controle da situação, subdivididas em três fases: Ler-Examinar, Pensar e Responder. A Figura 24 apresenta essa situação.

Figura 24 - O modelo de três fases da Interação Humano-Computador (MAYHEW, 1992).



Fonte: MAYHEW, 1992

Esse processo de observação já é muito usado no processo de desenvolvimento de *softwares* e *websites*. Segundo Mayhew (1992), “As decisões com respeito à funcionalidade devem ser baseadas numa clara e completa ideia dos objetivos da organização, do usuário e do trabalho e tarefas dele”. Isso inclui um entendimento das forças e fraquezas gerais do sistema humano de processamento da informação, assim como um perfil geral do nível médio de habilidade, conhecimento específico e nível de educação do grupo usuário intencionado. Essa estratégia do conhecimento do usuário se diferencia de outros métodos mais tradicionais de *design* de produtos, nos quais eles são desenvolvidos a partir de objetivos da empresa ou funcionalidades disponíveis. Essas metodologias tradicionais tendem a fazer com que o consumidor se adapte à interface concebida inicialmente. Identificar necessidades e estabelecer os requisitos dos usuários parte da análise dos fundamentos e o propósito subjacente do que as pessoas estão fazendo, de que maneira elas estão tentando realizar a tarefa e por quê. Para isso é preciso ter conhecimento das condições sob as quais o produto será utilizado e as restrições de seu desempenho. Os testes baseados em laboratório visam avaliar a usabilidade da interface e representação, enquanto em campo o teste pode descobrir a interação usuário-aplicativo em ambientes móveis reais e naturais. Na realização desta atividade, as seguintes práticas de IHC podem ser adotadas: análise e modelagem do usuário e análise e modelagem das tarefas, ergonomia, conhecimento do *hardware* e *software*

utilizados seja pela organização desenvolvedora do produto, seja pelo sistema já implantado.

Segundo MAYHEW (1992), as maiores causas de problemas na IHC é o fato de os desenvolvedores considerarem o produto desenvolvido como uma unidade independente, quando na verdade faz parte de um sistema maior, com vários usuários e subsistemas.

Para obter as informações relativas à usabilidade, utilizam-se técnicas para coletas de dados, informações; dentre elas as mais utilizadas na pesquisa com o usuário são a entrevista, *brainstorming*, questionário, grupos focais, etnografia pura e participativa, investigação contextual, *Card Sorting*, *Think Aloud*, entre outros (Courage e Baxter, 2005; Rogers *et al.*, 2013).

2.6.1. Questionários

Segundo Shneiderman (1998), questionários são acessórios familiares, baratos e geralmente complementos para testes de usabilidade e avaliações de especialistas. Um grande número de questionários respondidos confere robustez e autoridade ao teste, especialmente se compararmos resultados potencialmente tendenciosos e variáveis dados pelo pequeno número de participantes de testes de usabilidade ou especialistas avaliadores. Segundo Nielsen (1993), a chave para questionários efetivos são objetivos claramente especificados com antecedência e, em seguida, o desenvolvimento de itens fundamentais para atingir estes objetivos. Um questionário deve ser preparado, revisado e discutido entre profissionais e testado com uma pequena amostra de usuários antes da aplicação definitiva. Os procedimentos estatísticos e as formas de apresentação de dados também devem ser discutidos antes. Segundo Filardi e Traina (2008a), nas técnicas de questionamento aplicadas nos testes de usabilidade envolvem a indagação efetiva do usuário e constituem em perguntar diretamente ao usuário sobre a interface com o objetivo de descobrir se o sistema está de acordo com as suas necessidades. Essas técnicas podem ser úteis para extrair detalhes do ponto de vista do usuário em relação ao sistema; normalmente são utilizadas informações dos usuários para revelar resultados que não teriam sido considerados pelo projetista do sistema. Além disso, é um método relativamente simples, barato de administrar e provê materiais suplementares úteis para serem usados por outros métodos.

As principais técnicas de questionamento são entrevistas e questionários. Segundo Dix *et al.* (2004), os dados sobre a preferência dos usuários diferem no tipo de preparação

requerida, por isso a necessidade de apresentação concisa e na flexibilidade das respostas. Os dados coletados nas entrevistas tendem a ser qualitativos, enquanto os questionários são geralmente quantitativos. Segundo Preece *et al.* (1994), a aplicação de questionário é uma técnica bem estabelecida de coleta de dados demográficos e de opiniões de usuários. Os questionários podem ser utilizados isolados ou em conjunto com outros métodos de avaliação, a fim de esclarecer ou aprofundar algum assunto. Também podem ser aplicados em várias fases do processo de *design*, incluindo o levantamento de requisitos, análise e avaliação das tarefas. No entanto é importante estabelecer qual o propósito do questionário, como as respostas serão analisadas e especificar quais as variáveis estão sendo medidas. É importante que perguntas sejam claras e que os dados coletados possam ser analisados adequadamente. Segundo Dix *et al.* (2004), um teste prévio é necessário, pois permite corrigir problemas com a estruturação e objetivos, pois frequentemente as respostas obtidas nos questionários são convertidas em valores numéricos para realização de análises estatísticas. Segundo Preece *et al.* (1994), a utilização de questionários para coleta de dados durante as sessões de avaliação possui muitas vantagens:

- Descrever o objetivo de todas as questões, diminuindo a chance de esquecer-se de coletar algum dado importante.
- Uniformizar as questões entre os participantes para comparar as respostas entre os participantes diferentes.
- Coletar dados quantitativos e qualitativos. A subjetividade é um componente importante nas avaliações de usabilidade.

Segundo Filardi E Traina (2008b), os questionários devem possuir uma abordagem hierárquica de fatores decisivos do teste para assegurar uma validação empírica dos itens e estimar sua confiabilidade com propósito de:

- Orientar o *design* ou *re-design* de sistemas;
- Oferecer uma ferramenta para estimar áreas potenciais de melhorias de sistemas;
- Prover um instrumento de validação para conduzir avaliações comparativas;
- Servir como um instrumento de teste em laboratórios de usabilidade.

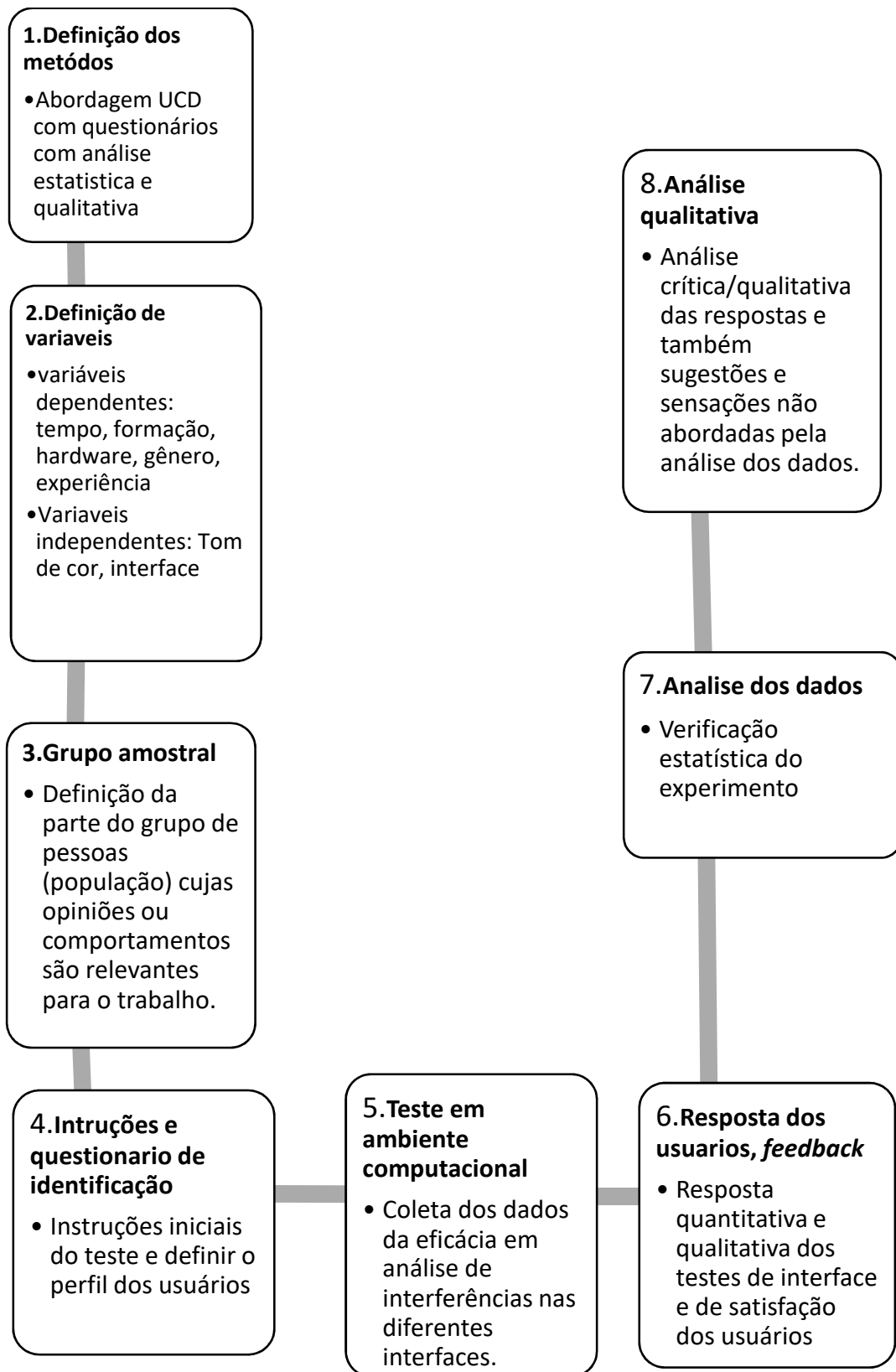
CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Essa pesquisa analisou alguns aspectos da visualização de projetos da AEC com usuários especialistas com foco na verificação de incompatibilidades por meio da visualização de interferências entre projetos arquitetônicos e complementares na AEC, em ambiente virtual 2D e 3D não imersivo, identificando as possíveis vantagens da visualização em 3D, com realidade virtual e aumentada. Considerando o contexto de análise por parâmetros de cartografia temática, alterando variável visual tom de cor para manutenção de orientação do usuário e localização de feições.

Analisando os objetivos da pesquisa, segue na figura 25 o fluxograma da metodologia adotada.

Figura 25 – Fluxograma da metodologia.



3.1. Etapas da metodologia

3.1.1. Definição do método

A abordagem UCD juntamente com os questionários foram os métodos escolhidos para avaliação neste trabalho, segundo apresentado anteriormente. Estes são dispositivos versáteis e de fácil aplicação que permitem ao aplicador avaliar suas questões em um contexto específico e restrito. Além disso, a ponderação das alternativas de resposta permite avaliar estatisticamente a relevância da média do grupo amostral.

3.1.2. Definição de variáveis

No contexto da pesquisa a variável dependente é o antecedente e a variável independente é o consequente. Procurou-se nesta pesquisa a relação acerca do comportamento das variáveis independentes com base no aspecto das variáveis dependentes, intentando aclarar sobre a eficácia da identificação das interferências, foram fixadas as variáveis dependentes: tempo, formação, hardware, gênero, experiência tom de cor e interface e analisadas os resultados da mudança das variáveis independentes: Tom de cor, interface.

3.1.3. Grupo amostral

A amostra representa parte do grupo de pessoas (população) cujas opiniões ou comportamentos são relevantes para o trabalho. O número total de pessoas no grupo que se deseja alcançar com o questionário seguinte leva em consideração uma amostra aleatória de usuários especialistas; para isso foi verificada a população média de engenheiros e arquitetos no Brasil, que é cerca de 900.000 mil pessoas, segundo os dados CAU (2016) e CREA (2014). Com relação à margem de erro, refere-se ao percentual que descreve em que medida a resposta da sua amostra representa uma aproximação ao "valor real" da sua população foi considerado em 18%, levando em consideração a viabilidade da quantidade de entrevistas. O grau de confiança que indica a medida do nível de precisão com a amostra e reflete a população dentro da margem de erro foi utilizado no trabalho o valor padrão de 95%. O tamanho da amostra para entrevistas, foi baseado no teorema do limite central fórmula 1, de acordo com Witte e Witte (2013) como seguinte:

$$N = \frac{\frac{z^2 \cdot p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \cdot p(1-p)}{e^2 N}\right)} \quad (1)$$

Em que, tamanho da população = N, margem de erro = e, escore z = z, "e" é o percentual expresso em decimais (por exemplo, 3% = 0,03), p = proporção estimada da população que apresenta a característica (quando desconhecida utiliza-se p = 0,5). O próximo passo foi a montagem dos testes visando analisar os problemas da pesquisa; para isso utilizaram-se questionários de identificação dos usuários; o questionário se encontra no Apêndice A. Em seguida foram feitos testes de eficácia em ambiente computacional. A análise de variância (ANOVA) foi executada para a matriz experimental para confirmar a significância dos efeitos. A análise de variância é a uma das mais confiáveis abordagens quando se querem comparar várias médias. Os resultados obtidos são mostrados nas tabelas, os efeitos dos fatores principais e das interações de segunda ordem. Para a análise de variância e as demais análises e gráficos foi utilizado o *software* estatístico *PAST 3* (Venables *et al.*, 2015). A intenção da execução da análise de variância é verificar quais efeitos foram significativos.

3.1.4. Instruções e questionário para identificação dos participantes.

Essa parte visa dar as instruções iniciais e elucidar o funcionamento do teste; em seguida o questionário vai definir o perfil dos usuários de modo a entender suas características e ponderar a análise. Esta etapa visa reduzir problemas de entendimento da tarefa. Os voluntários poderiam, desta forma estar adaptados aos ambientes de teste (diferentes plataformas) antes do início dos testes propriamente.

3.1.5. Testes em ambiente computacional.

Com os testes pretende-se coletar dados da eficácia em análise de interferências dos ambientes. Foram dadas instruções aos voluntários que recebiam os formulários e interagiam com as diferentes plataformas. A ordem das representações em função da solução visual proposta com a variável tom de cor, bem como a ordem com qual plataforma interagir foram aleatórias. Isto foi utilizado para se evitar um possível aprendizado do voluntário ao iniciar com uma plataforma mais simples (2D) e ir acrescentando graus de liberdade como no BIM e depois na RA.

3.1.6. Resposta dos usuários. (*Feedback* – Entrevistas)

Após a aplicação dos testes propriamente, os voluntários foram entrevistados. A resposta dos usuários são os resultados do teste de satisfação ou insatisfação dos usuários em determinados pontos da interface. Essa análise é complementar e serve para entender o processo de tomada de decisão realizada em pontos específicos da interação com as plataformas durante os testes.

3.1.7. Análise dos dados.

A análise dos dados refere-se à verificação estatística do teste em ambiente computacional, mostrando os resultados obtidos. Os dados foram recolhidos e gravados em excel (2013), após a contagem e tratamento a variância e as demais análises e gráficos foi utilizado o *software* estatístico *PAST 3* (Venables *et al.*, 2015)

3.1.8. Análise qualitativa.

É uma análise crítica/qualitativa das respostas e também sugestões e sensações não abordadas pela análise dos dados.

3.2.1. Modelo de questionário

Foram dadas instruções sobre o teste para os participantes explicando sobre a natureza e a confidencialidade das suas informações; após as instruções iniciais foi entregue um formulário de instruções e termo de colaboração (Apêndice A) e em seguida foram feitas 13 perguntas de modo a caracterizar os participantes especialistas, com intenção de avaliar a experiência profissional e conhecimento específicos entre outras coisas dos usuários no ramo da AEC, principalmente a relação destes com a análise de interferência em obras e a familiaridade e habituação do participante com os *softwares* utilizados.

A seguir o modelo do questionário apresentado e o que se pretende analisar com cada pergunta:

QUESTIONÁRIO

Número do participante: _____

1. Indique somente a formação mais alta:

☐ Graduação em andamento.

Área de formação:

☐ Graduação.

☐ em Arquitetura.

☐ Mestrado.

☐ em Engenharia Civil.

☐ Doutorado.

☐ em área correlata _____

A questão número 1 visa descobrir se há alteração das respostas com o nível e a área de formação do usuário, haja vista que os cursos citados têm abordagens diferentes da construção civil.

2. Sexo:

☐ Masculino.

☐ Feminino.

Pesquisas como as de Geary *et al.*, 2000 e Baron-Cohen *et al.*, 2005 demonstraram que homens e mulheres geralmente têm percepções diferentes do espaço e diferentes pontuações em testes. Essa questão visa entender se o gênero é um fator importante na identificação das interferências.

3. Trabalha na área da sua formação?

☐ Sim.

☐ Não.

Verificar se o usuário tem contato direto com a profissão e está ativo na área da construção civil, pois alguns usuários podem não estar exercendo a profissão e interferir nos resultados do teste.

4. Há quanto tempo atua profissionalmente?

☐ De 1 a 3 anos.

☐ Mais de 7 anos.

☐ De 4 a 7 anos.

☐ Não atuo.

A pergunta 4 pretende reforçar a questão 3 para identificar se o tempo de atuação na construção é um fator relevante.

5. Você tem alguma deficiência visual? (e.g.: miopia, hipermetropia, astigmatismo, daltonismo)

☐ Sim. Se sim,
qual? _____

☐ Não.

A questão 5 pretende identificar se possíveis deficiências visuais no participante podem interferir no teste, ou impossibilitar, haja vista que a maioria do teste acontece no âmbito visual.

6. Você tem alguma lesão ou deficiência (permanente ou temporária) nos membros superiores? (contusão, LER, estiramento).

☐ Sim.

☐ Não.

Para realização do teste com realidade aumentada é necessário a manipulação de objetos com as mãos (*tablet* e marcador fiducial). Essa pergunta é para atestar se alguma deficiência no manuseio do objeto pode interferir no teste.

7. Você já trabalhou na interpretação de projetos?

☐ Não, nunca.

☐ Sim, mas ocasionalmente.

☐ Sim, poucas vezes.

☐ Sim, com frequência.

A pergunta 7 pretende analisar a experiência do usuário de uma maneira genérica na interpretação de projetos de modo a atestar familiaridade com interpretação de projetos

8. Você tem dificuldades com a análise de projetos?

☐ Eu evito os projetos, pois me confundo e acabo por não encontrar as respostas de que necessito.

☐ Eu não tenho dificuldades para usá-los.

☐ Eu uso frequentemente, porém tenho algumas dificuldades para compreendê-los totalmente.

A questão 8 pretende entender as limitações do usuário quanto à análise e à utilização de projetos, visando entender melhor se as dificuldades pessoais vão interferir nos resultados

9. Você já fez uma análise de interferência entre projetos complementares?

☐ Sim.

☐ Não.

A questão 9 pretende reforçar a questão 7 e verificar a experiência do usuário de maneira genérica.

10. Se sim, que interface você usou? Se não, pule a questão.

☐ Análise em papéis impressos e separados.

☐ Análise em papéis impressos e sobrepostos.

☐ Monitor bidimensional (computador *desktop* ou *notebook*).

☐ *Tablets* ou celulares.

☐ *Tablets* ou celulares com realidade aumentada.

A questão 10 pretende identificar a familiaridade dos usuários com determinadas interfaces no âmbito da construção civil, reforçando o fator de experiência adquirida e a habituação em determinado tipo de sistema.

11. Como você classifica a tarefa de compatibilização de projetos complementares?

☐ Muito fácil.

☐ Difícil.

☐ Fácil.

☐ Muito difícil.

☐ Moderada.

☐ Não consigo.

A questão 11 pretende reforçar a questão 8 no ponto de familiaridade de execução dessa tarefa e a relação dela com a dificuldade pessoal para a realização das tarefas

12. Quais *softwares* você utiliza?

☐ Autocad 2D

☐ Bimx

☐ Lumini

☐ Autocad 3D

☐ Sketchup

☐ Cad visualizador

☐ Revit

☐ Eberick

☐ Outro _____

☐ Navisworks

☐ Robot

☐ Solid Works

☐ Lumion

A questão 12 pretende descobrir os hábitos do usuário em algumas aplicações computacionais, descobrindo a intimidade do usuário com determinados tipos de programas.

13. Há quanto tempo utiliza esse(s) *softwares*?

☐ Menos de 1 ano.

☐ De 5 a 10 anos.

☐ De 1 a 3 anos.

☐ Mais de 10 anos

☐ De 3 a 5 anos.

A questão 13 pretende reforçar a situação da questão 12 no intuito de reconhecer a intimidade e os hábitos na utilização desses *softwares*.

3.2.2. B - Testes em ambiente computacional.

Informações técnicas do experimento.

As 30 pessoas com graduação concluída ou em andamento no setor da AEC, entre eles alunos, professores e profissionais do ramo, foram convidados para um teste de identificação de interferências entre objetos virtuais em projetos arquitetônicos no ambiente computacional não imersivo.

O teste ocorreu em dois locais controlados: a sala 1Y 206, bloco da Engenharia Civil e em um escritório de arquitetura que ofereceu o espaço; ambos com mesa branca e plana, computador *desktop* e um *tablet*, mais o auxílio de um aplicador de testes. A configuração dos dispositivos são:

Desktop:

Processador intel core I7-4790 3.6 GHz/8MB/IGPU.

Placa mãe ASUS VANGUARD B-85.

Memória RAM 2x8GB DDR3 2400mhz.

Placa de vídeo Geforce GTZ-760 4GB

Fonte ATX Corsair CX750.

SSD Corsair 120GB.

HD Seagate 1TB/ 7200RPM 64mb SATA.

Monitor LG 29LN300B (led) de 29 polegadas diagonal.

S.O Windows 10, 64bits.

Tablet:

Processador intel 1.8 Ghz dualcore. ARM córtex-A9.

Memória RAM 1Ghz.

Placa de vídeo – on board.

Energia 7,000 mAh Li-Ion battery.

Câmera 3.2 MP traseira, VGA (0.3 MP) dianteira.

Gráficos PowerVR SGX540.

Entrada Tela multitoque, bussola digital.

Sensor de proximidade e luz, acelerômetro e giroscópio.

Armazenamento: 16/32 GB flash memory, microSDXC slot (up to 32 GB).

Display 1280x800 px, 10.1 in (26 cm) diagonal, Model: LTL101AL06-003.

Peso 583 gramas.

Dimensões 256.7 mm (10.11 in) altura;

175.3 mm (6.90 in) largura;

9.7 mm (0.38 in) espessura.

S.O Android 6.0 marshmallow.

Após assinar o termo, e responder ao questionário de caracterização, o participante recebe instruções verbais e escritas sobre o assunto e da realização dos testes. Para a visualização dos modelos foram utilizados três tipos de interface:

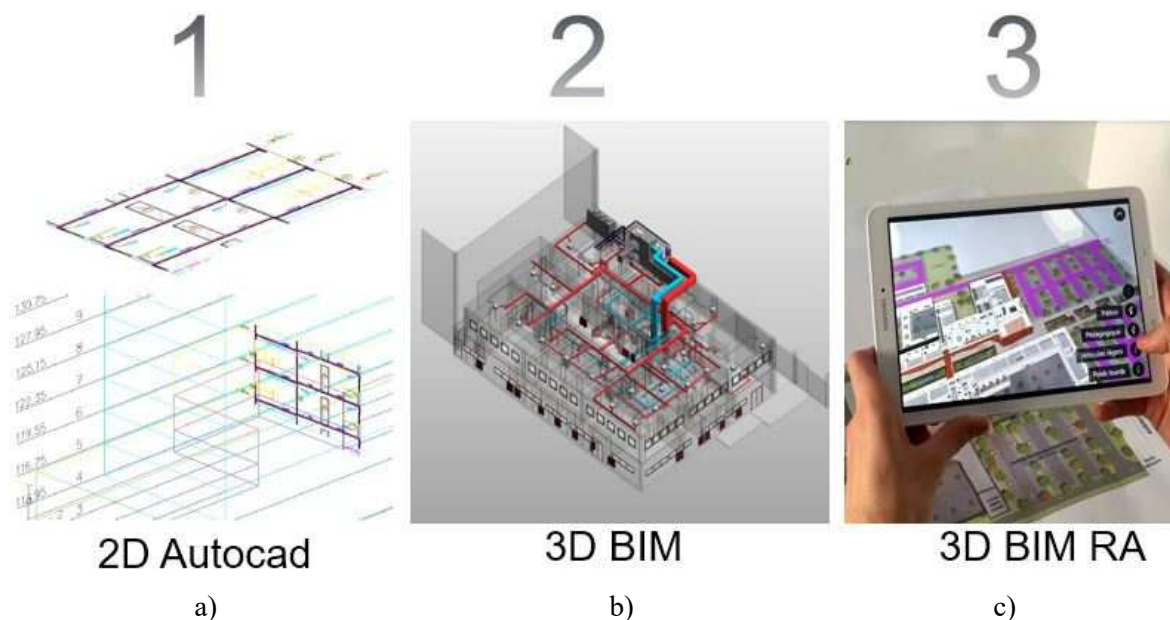
2D CAD: Utilizando o computador *desktop* com as configurações já citadas anteriormente. Nessa máquina os projetos de arquitetura, estrutural, elétrico e hidrossanitário foram projetados em um plano virtual bidimensional 2D, utilizando arquivo em formato DWG, com a plataforma gratuita e *online* A360 Viewer da empresa Autodesk, que permite a visualização de modelos com possibilidades de adição e restrição de camadas do projeto (projetos complementares), utilizando apenas *mouse* e teclado para manobrar o modelo virtual. Neste caso o usuário executa a tarefa de análise de interferência analisando visualmente os cruzamentos entre as feições, ver Figura 23a.

3D BIM: O mesmo computador *desktop* munido da mesma plataforma de visualização *online* A360 Viewer, em que as detecções de interferências são feitas a partir da visualização informações virtuais dos projetos arquitetônico, elétrico e estrutural em 3D, podendo utilizar adição e subtração dos projetos complementares do projeto. Ver Figura 23b.

3D RA: Um *tablet* com *software* de visualização 3D instalado, AR-MEDIA em que a visualização informações virtuais é idêntica ao modelo 3D BIM, porém a interação com o arquivo dá-se manipulando o *tablet* com as mãos e com o auxílio de um marcador fiducial

servindo de referência para localização do modelo virtual no espaço. A Figura 26 exemplifica o tipo de visualização do usuário. Ver Figura 26.

Figura 26: Os três tipos de ambiente que foram testados.



FONTE: a - Sena(2010), b - Almin (2012), c- Wang *et al* (2014).

Segundo Barr *et al.* (1995), os fatores do ambiente computacional de teste como: processador, memória, frequência do *clock*, sistema operacional, aplicativo e programas em execução em segundo plano devem funcionar sem intermitência para bom prosseguimento do teste, e todas as configurações do sistema devem ser informadas. Ziviani (2008) complementa afirmando que a quantidade e qualidade dos dados a serem visualizados afetam o tempo de execução de um teste de forma significativa; alguns fatores como processador, *mouse*, teclado, monitor e memória influenciam nos resultados do teste. O ideal seria que esses fatores fossem idênticos em todas as máquinas disponíveis ou isolados. Para evitar distorções no teste, os experimentos foram realizados nas mesmas máquinas (*desktop* e *tablet*) para os 30 usuários, mantendo os mesmos dispositivos de entrada (*mouse* e teclado) e as mesmas configurações visuais do monitor, que nesse caso são:

Backlight:37 (0/100).

Cor:60 (0/100).

Contraste:90 (0/100).

Tom: G6 (G50/R50).

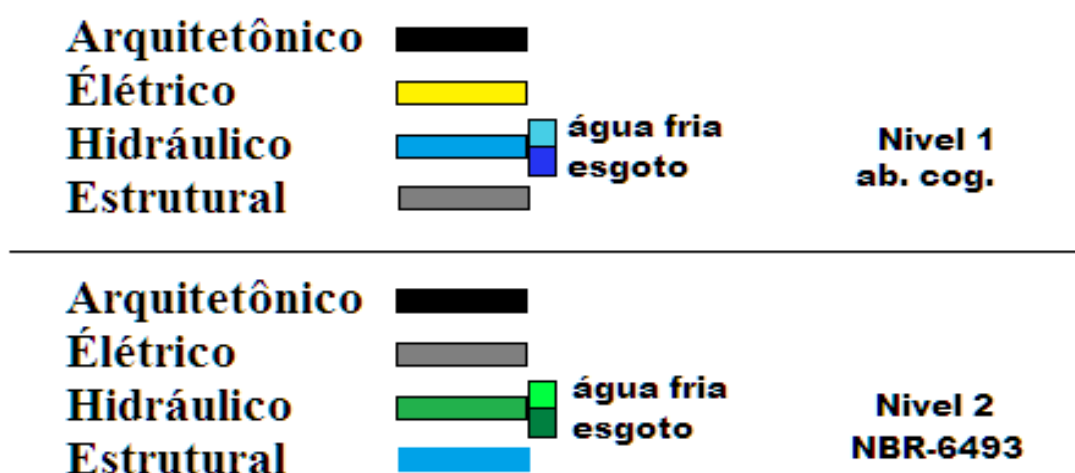
Brilho:60 (0/100).

Temperatura de cor: W9 (50W/50C).

Nitidez:40 (0/50).

Após manter o ambiente de interface o mais similar possível (fatores de controle), alguns fatores são importantes para experimentação, podendo sofrer algum efeito quando alterações são aplicadas às variáveis de entrada. Esses fatores foram divididos em vários níveis. A variável testada tem relação da percepção das feições em ambiente bidimensional e tridimensional com o tom de cor. Segundo Oliveira e Almeida (2008), o tom de cor é uma das variáveis visuais que mais interferem na dissociação dos elementos do desenho e ajuda na diferenciação das feições em mapas. A variável tom de cor terá dois padrões (níveis): cores segundo NBR-6493 e cores complementares conforme abordagem cognitiva AB.COG cognitiva da dissociação de cores conforme explanada anteriormente no item 2.1. Serão chamadas a partir de agora de NBR e COG. Seguem na Figura 27 os dois esquemas.

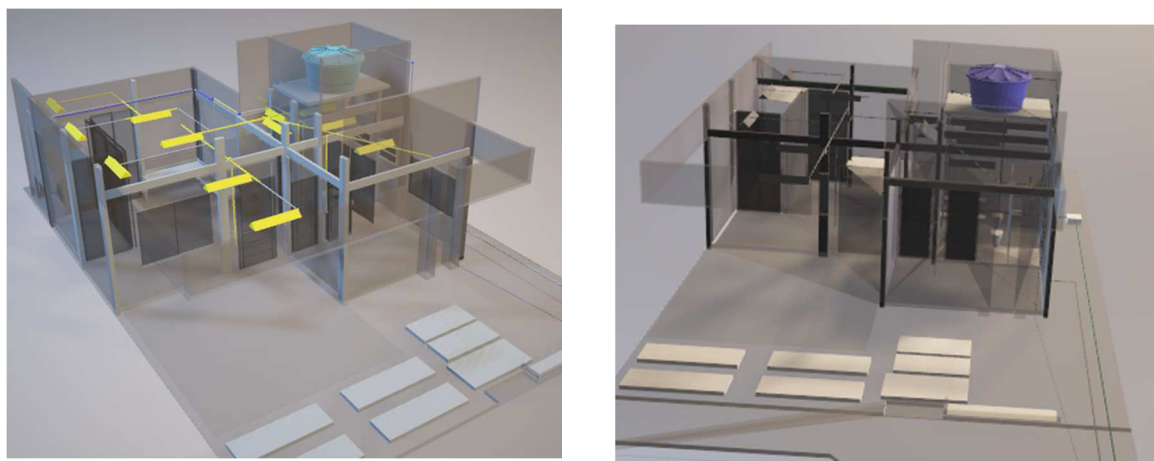
Figura 27 - Sobre os níveis escolhidos.



Fonte: Arquivo pessoal.

Na Figura 28 são apresentadas duas figuras mostrando a) diferença da visualização no padrão NBR e b) COG na interface BIM 3D.

Figuras 28: Exemplo de visualização com níveis em a) COG e em b) NBR.



a)

b)

Fonte: Arquivo pessoal.

Modelo da tarefa

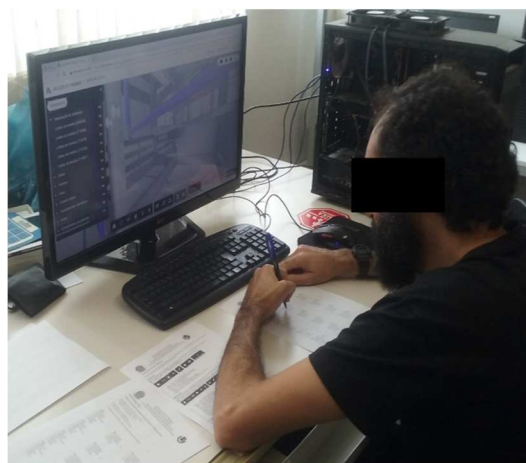
Bom dia, você foi contratado para realizar a compatibilização de 3 simples projetos arquitetônicos com os projetos complementares (Estrutural, Hidrossanitário e Elétrico) para uma grande empresa. Se houver alguma interferência, cada vez que você identificar uma sobreposição é preciso indicar o **local** e que **tipo de instalação** que houve a sobreposição.

Em cada tarefa os usuários foram convidados a fazer a tarefa de compatibilização identificando as interferências entre projetos, se houver. Foi estabelecido um tempo máximo de 15 minutos para cada interface. Nos pré-testes realizados anteriormente para análise das perguntas e do tempo constatou-se que 8 minutos era tempo suficiente para realização da tarefa sem intimidação ou incômodo com o tempo. Nas Figuras 29a e 29b temos duas fotos feitas no momento dos testes (permitida pelo participante), nelas pode-se perceber o usuário especialista manipulando as interfaces.

Figura 29: Testes de interface com 3D BIM e RA.



a)



b)

Os experimentos para os 3 ambientes virtuais (1=CAD 2D, 2=BIM 3D e 3=BIM RA) foram realizados aleatoriamente, e para manter a homogeneidade estatística do teste, o planejamento foi independente e identicamente distribuído (i.i.d), diversificando a sequência das tarefas e variando a ordem das interfaces testadas, em variação cíclica na ordem das interfaces e alternada na variação de cor. Após a coleta de dados os formulários foram armazenados e as informações foram transcritas em um banco de dados para as devidas análises.

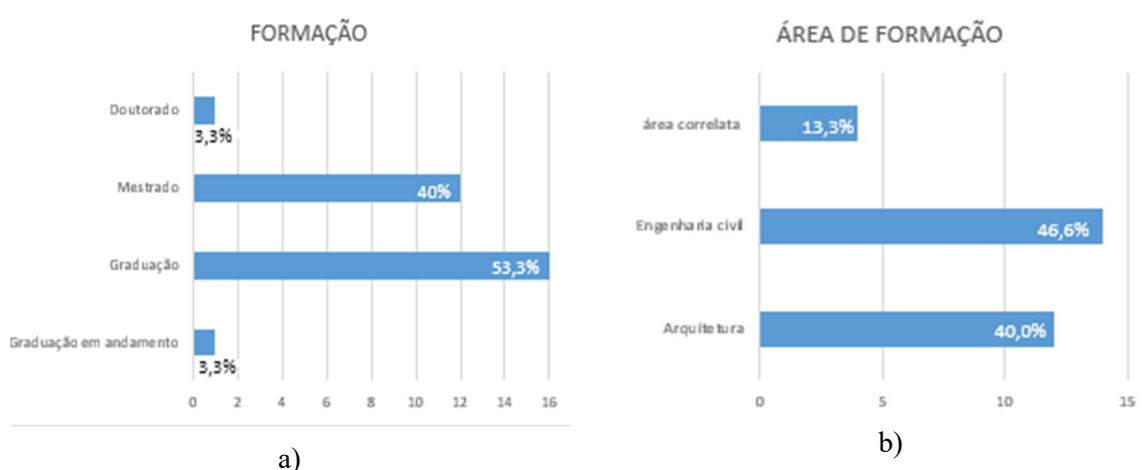
CAPÍTULO 4

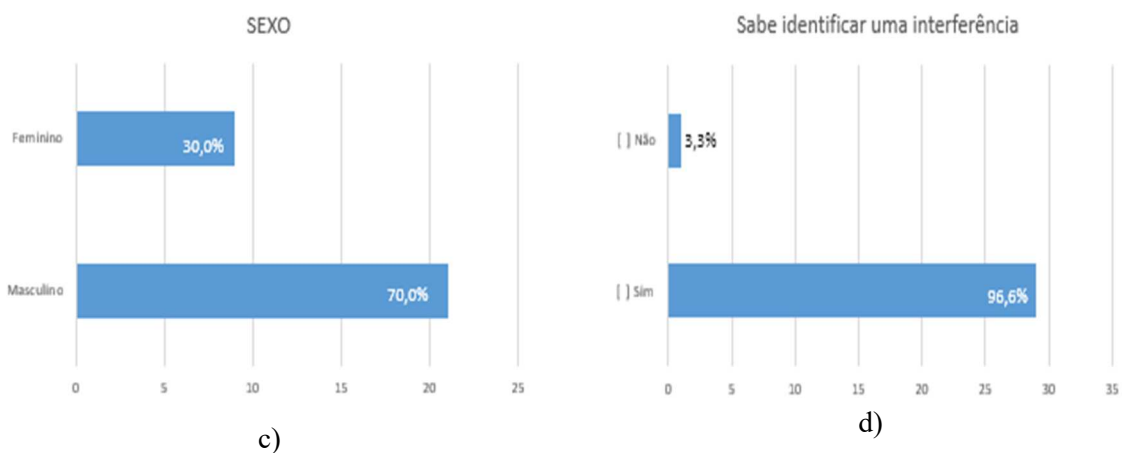
RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização dos participantes e análise dos dados

De acordo com as respostas do questionário sobre o nível de formação, percebe-se que a maioria dos usuários tem graduação completa (53,3%), seguido dos usuários que têm mestrado (40%), e o restante dos participantes compostos por doutores e graduandos juntos tem apenas 6,6%. No que se refere à área de formação, os engenheiros civis são ligeiramente a maioria, e 46,6% e 40% de arquitetos; nas áreas correlata, participaram engenheiros cartógrafos, eletricitistas e geógrafos somando 13,3% do montante. No tocante ao gênero, a maioria é do sexo masculino (70%) e a média de idade é em torno de 33 anos; já a média de idade do sexo feminino (30%) é de 26 anos, os extremos de idade foram 23 e 50 anos. É importante notar que um participante não sabia identificar o que era uma interferência e foi retirado da análise dos dados para não interferir nos resultados. Nesse caso o participante era de área correlata e não tinha conhecimento na área civil, o total de participantes analisados foi 30. Como exibem os Gráficos 3a, 3b, 3c e 3d a seguir:

Gráfico 3: Caracterização de a) nível, b) área de formação, c) gênero e d) identificação de interferências.

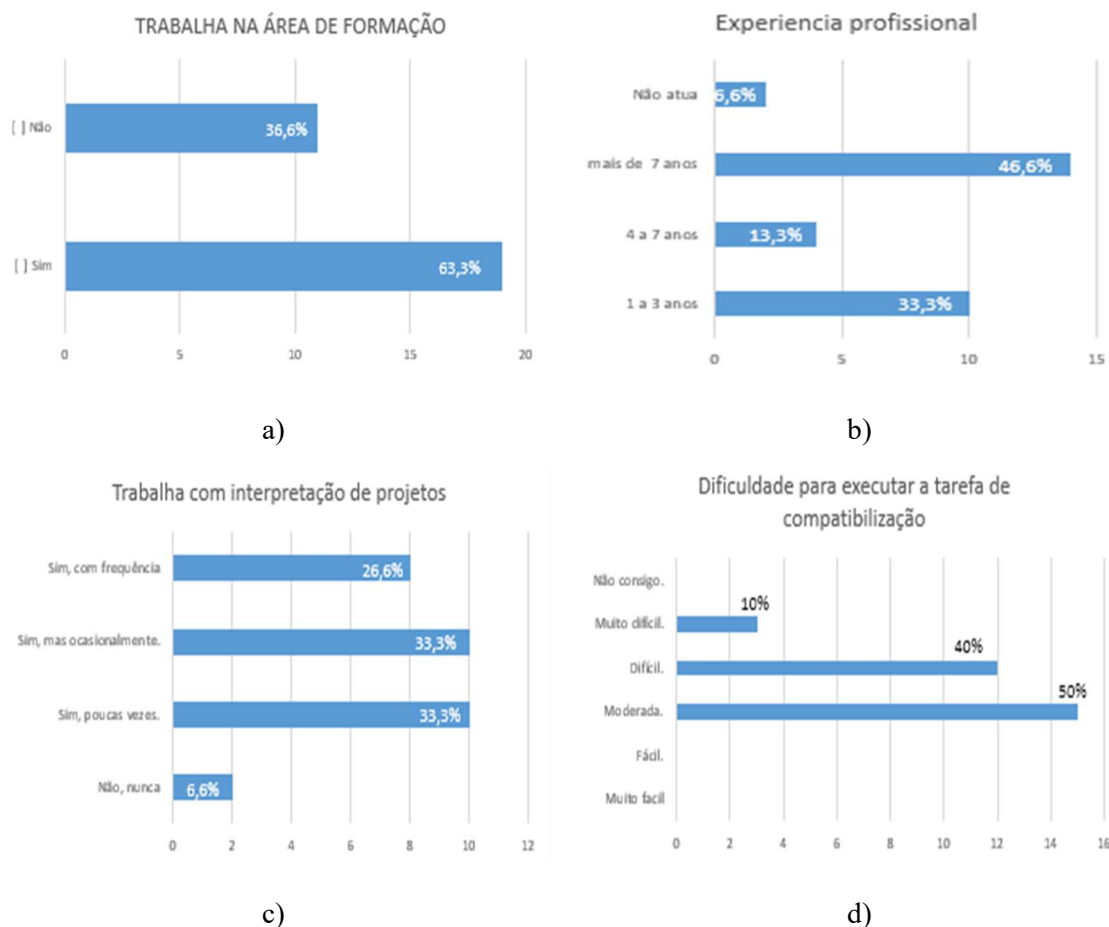




Percebeu-se que 63,3% dos usuários trabalham da área de formação e que quase metade dos usuários tem mais de 7 anos de experiência profissional.

No tocante ao trabalho com interpretação de projetos, mais de 90% dos usuários realizam esse trabalho ao menos esporadicamente, notando que aproximadamente um terço das pessoas realizam o trabalho com frequência. É importante notar que 50% dos usuários manifestaram que a tarefa de compatibilização é difícil ou muito difícil e a outra metade considera uma tarefa moderada, outro fato é que ninguém considerou uma tarefa fácil ou muito fácil; apesar de todos serem considerados usuários especialistas e com anos de experiência, ninguém considerou uma tarefa de fácil execução.

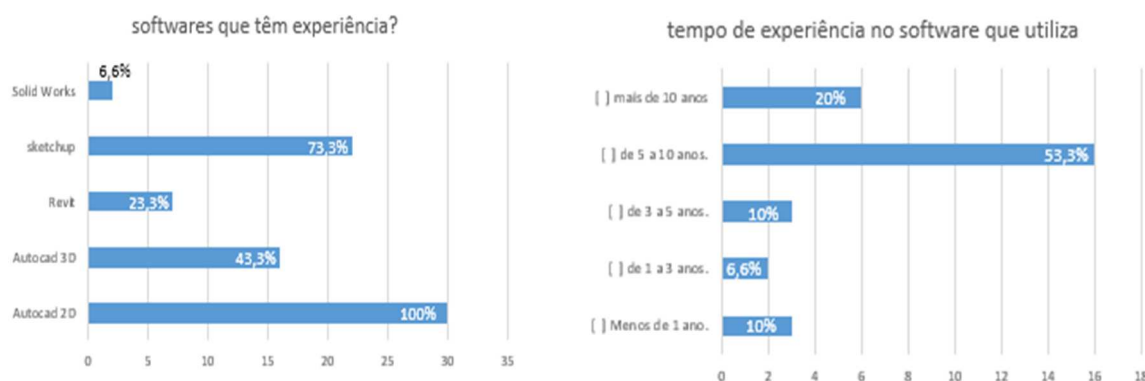
Gráficos 4 - Caracterização de experiência profissional e dificuldade de compatibilização.



Um fator importante é o grau de habituação do usuário com determinado tipo de *software*. Percebe-se no Gráfico 10a que todos os participantes são usuários de AUTOCAD 2D, (inclusive os das áreas correlatas) e que mais da metade deles tem mais de 5 anos de experiência, ou seja, a maioria dos usuários faz a compatibilização de projetos tridimensionais em interfaces bidimensionais. O programa *sketchup* 3D é o segundo mais utilizado no total, nota-se que a totalidade dos arquitetos disseram utilizar o *sketchup* para fins diversos, inclusive para a concepção dos projetos; segundo eles, após a concepção geralmente utiliza-se recurso do AUTOCAD 2D para fazer os desenhos técnicos. De acordo com os entrevistados o AUTOCAD 3D está entrando em desuso, por causa da sua dificuldade na manipulação e execução de comandos; nota-se claramente que é um problema de interface. Segundo os usuários, o *sketchup* fornece uma maneira mais rápida de construir os volumes sem a necessidade de digitar diversos comandos de programação e de decorar códigos; no entanto, o uso de *sketchup* para desenhos técnicos pode gerar imprecisões, principalmente porque o *sketchup* não se utiliza da perspectiva paralela e sim em perspectiva.

Observa-se no Gráfico 10a que o *Software Revit* é um dos menos utilizados, no entanto é o único que proporciona uma visualização tridimensional e tem a possibilidade da visualização 2D integrada com o desenho 3D em projeção paralela.

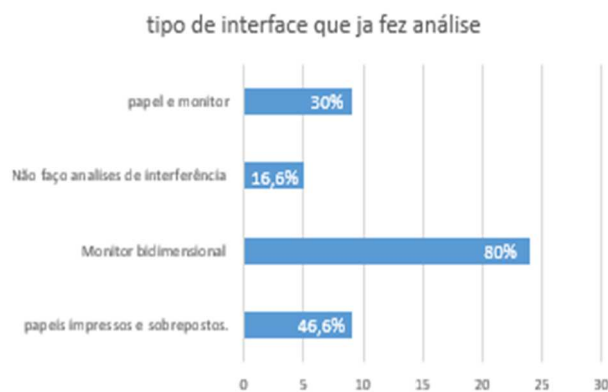
Gráfico 5 - Caracterização de tipo e nível de experiência em *softwares* e interfaces.



b)

a)

b)

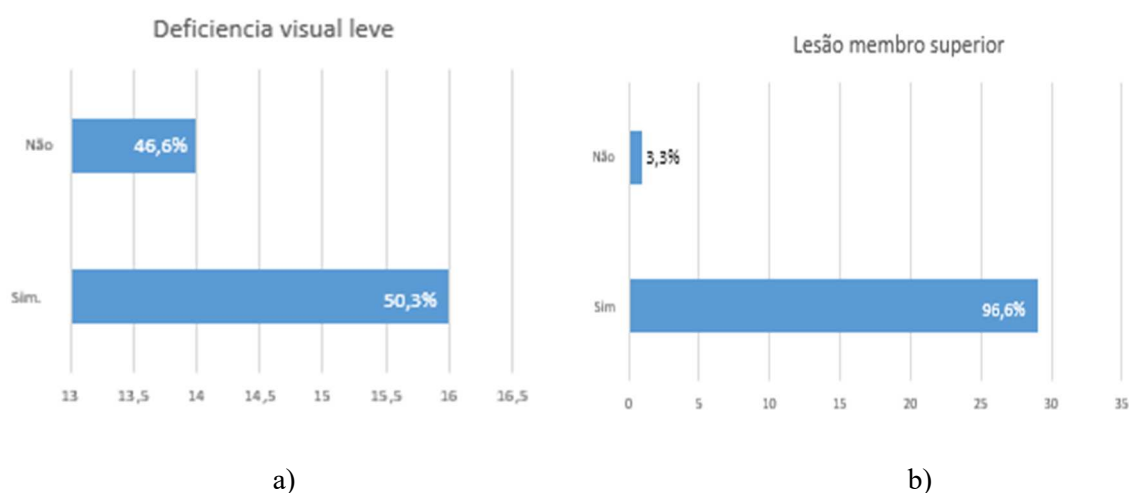


c)

Outro fator importante é o de que mais da metade dos usuários utiliza o CAD 2D há mais de 5 anos e 20% dos usuários o utilizam há mais de 10 anos. Isso pode acarretar um alto grau de habituação e dificultar a visualização de outra forma. A mudança de paradigma na interface (adicionando mais uma dimensão) pode dificultar a percepção do usuário já acostumado a realizar a tarefa de uma determinada forma. Os Gráficos 6a e 6b têm a intenção de descobrir se alguma lesão ou deficiência pessoal do usuário poderia interferir nos testes; no Gráfico 6b que elucida sobre lesões no membro superior, apenas 1 participante tinha LER

(lesão por esforço repetitivo) na mão direita; porém, por ser uma lesão leve e não alterar sua movimentação constantemente, não interferiu na manipulação do *tablet*, no caso das deficiências visuais; pode-se ver no Gráfico 6a que quase metade dos usuários apontaram algum problema de visão, no entanto a maioria desses problemas era referente à miopia, astigmatismo e hipermetropia; e todos esses pacientes usam óculos ou lentes corretivas e conseguem ter uma visão dentro da normalidade. Uma excepcionalidade foi um usuário que alegou ter daltonismo; por esse fato os seus dados foram excluídos para não interferir nas análises, ponderando que a percepção de cores é um dos fatores mais importantes na realização dos testes desse trabalho.

Gráfico 6 - Requisitos básicos para execução do teste.



4.2. Análise dos dados

Após a caracterização do usuário, foram feitas as análises para interpretação dos dados, a análise estatística e a análise qualitativa. A primeira análise foi da taxa de acerto (eficácia) das interferências mediante a mudança de interface de visualização.

O primeiro passo foi a coleta e organização dos dados em tabelas para as análises estatísticas, os dados de acerto da localização das interferências e gabarito.

Para entender se houve uma diferença significativa na eficácia das respostas, foi realizado o teste ou quadro de ANOVA (análise de variância),

Notou-se que a média geral de acerto da interface BIM foi a maior, 1,93; seguido da RA=1,33 e do CAD=1,16. Percebe-se também que a variância do método BIM foi a maior;

porém, no quadro de ANOVA nota-se que o quadrado médio dentro dos grupos deu um valor baixo, mostrando no total geral uma variação baixa entre os grupos. Seguindo para a comparação do valor de F com F crítico, constata que é quase o triplo do valor, realçando uma diferença significativa com 95% de confiança. Segue o quadro de ANOVA na Tabela 4.

Tabela 4 - Quadro de ANOVA: eficácia dos usuários por interface.

ANOVA					
	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>F</i>
BIM	1,166667	0,350574713			
CAD	1,933333	0,754022989	0,000474	3,10129576	8,3701512
RA	1,333333	0,643678161			
	Significativo	SIM			

Em seguida é importante destacar qual grupo que tem maior diferença na amostra. O teste mostrou que há uma diferença, porém não se pode afirmar em qual grupo tem a melhor eficácia no presente teste; para tal, foi realizado o teste de Tukey que indica quais grupos são mais significativos dentro dos métodos de teste, segue abaixo a Tabela 5 do teste de Tukey.

Tabela 5 - Teste de Tukey / significância entre grupos.

TUKEY	CAD	BIM	RA
A	5,501	0,00057	0,6758
B		1,196	0,008588
C			4,305

O Teste de Tukey comparou os pares de médias, ou seja, as médias dos grupos, considerando a comparação das médias, visando descobrir qual grupo tem diferença na eficácia de acerto; descobriu-se que o grupo BIM e RA são os que tiveram significância. O próximo passo foi isolar os dados do BIM e RA para notar se há alguma diferença significativa entre essas interfaces.

Percebe-se pela Tabela 6 que o teste entre os dois grupos teve uma diferença significativamente alta, pois o F foi quase o dobro do F crítico. Foi importante também analisar que as variâncias não destoaram muito, ficaram em média de 0,7, mostrando com 95% de confiança que a interface de visualização em 3D BIM foi mais eficaz nesse teste.

Tabela 6 - ANOVA/eficácia dos usuários por interface BIM e RA.

ANOVA					
	<i>Média</i>	<i>Variância</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>	<i>F</i>
BIM	1,933333	0,754022989			
RA	1,333333	0,643678161	0,007322	4,00687289	7,726973684

Outro fator testado foi o da eficácia de acerto da amostra quando há variação nas cores da tubulação segundo os padrões propostos (NBR e COG), como mostram os dados na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados de acerto das interferências nas diferentes interfaces e diferentes padrões.

CAD		BIM		RA	
NBR	COG	NBR	COG	NBR	COG
42,22 %	40 %	48,889 %	71,11 %	37,778 %	68,89 %

Após a coleta de dados foi feita uma análise da porcentagem de acerto das interferências, notou-se que a maior taxa de acerto por média geral ocorreu no grupo que fez os testes com visualização tridimensional feito em BIM, e que a menor taxa percentual de acerto ocorreu no sistema que foi apresentado com o *tablet* com RA com os padrões da NBR. Apesar de ser um valor que determina uma maior taxa de acerto, para evitar ambiguidade nas respostas nesse tipo de tratamento, é importante saber se essa diferença é significativa ou não na média de acerto dos tratamentos. Segue nas Tabelas 8a, 8b e 8c o teste (ANOVA) para determinar, estatisticamente, se há diferença significativa entre a eficácia de acerto entre as interfaces.

Segundo os dados analisados, não houve diferença significativa entre as variações de padrão no tom de cor na interface que utilizou AUTOCAD 2D, tabela 8a. A média de acerto foi de 1,27 na NBR e 1,20 no COG. Pode se perceber que a variância dos dados no grupo NBR x COG na plataforma CAD foi pouco divergente, com 0,20 na NBR e 0,31. Em seguida percebe-se que o F foi bem abaixo do F crítico, resultando em 95% de confiança. Segundo a ANOVA nesse teste não há diferença significativa na eficácia da tarefa quando há mudança do padrão de cor da interface com AUTOCAD 2D .

Na Tabela 8 b vemos que a análise da interface BIM obteve uma média de acerto diferente entre os dois tipos de padrão de cores, NBR=1,47 e COG=2,13; no entanto, a variância foi ligeiramente maior. Confrontando os valores do F e do F crítico nota-se que o valor de F foi quase o dobro do F crítico; por consequência há uma diferença significativa considerável,

conclui-se que com 95% de confiança, segundo a ANOVA nesse teste, há diferença significativa na eficácia da tarefa quando há mudança do padrão de cor da interface com BIM. Segue nas Tabelas 8a, 8b e 8c a Análise de Variância (ANOVA) das 3 interfaces.

Tabela 8a - Análise de variância (ANOVA) NBR e COG/ 2DCAD.

CAD					
	Média	Variância	valor-P	F crítico	F
NBR	1,26667	0,20952381			
COG	1,2	0,314285714	0,723951	4,1959718	0,127272727

Tabela 8b - Análise de variância (ANOVA) NBR e COG/ 3DBIM.

BIM					
	Média	Variância	valor-P	F crítico	F
NBR	1,4667	0,40952381			
COG	2,1333	0,40952381	0,008054	4,19597182	8,139534884

Tabela 8c - Análise de variância (ANOVA) NBR e COG/ 3DRA.

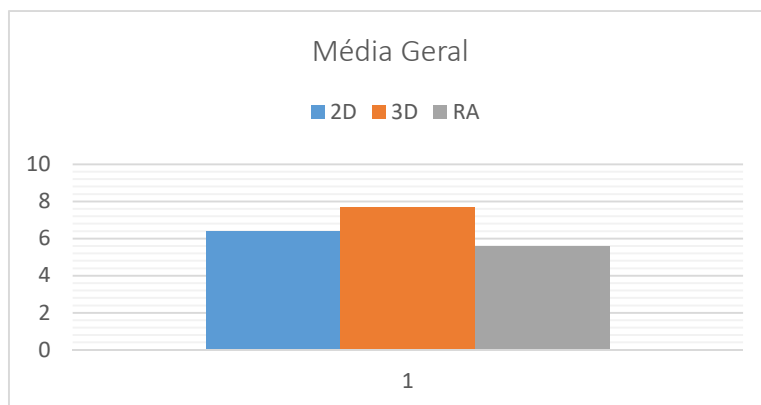
RA					
	Média	Variância	valor-P	F crítico	F
NBR	1,133333	0,695238095	0,002554	4,19597182	10,976
COG	2,066667	0,495238095			

Ainda na Tabela 8c a análise da interface RA também obteve uma média de acerto bem diferente entre os dois tipos de padrão de cores, NBR=1,13 e COG=2,06, no entanto a variância foi baixa. Comparando os valores do F e do F crítico nota-se que o valor de F foi quase o triplo do F crítico, por consequência uma grande diferença significativa. Pode-se afirmar com 95% de confiança, segundo a ANOVA nesse teste, há diferença significativa na eficácia da tarefa quando há mudança do padrão de cor da interface com RA.

4.3. Respostas dos questionários de satisfação

O Gráfico 18 representa a média geral da pergunta 1 do questionário de satisfação do usuário: que nota você daria para cada tipo de interface? É importante ressaltar que as respostas nos gráficos seguintes não são determinadas por erro e acerto de perguntas ou análises de eficácia, e sim respostas pessoais dos usuários quanto à interação e à satisfação com o sistema. O resultado pode se ver no Gráfico 7:

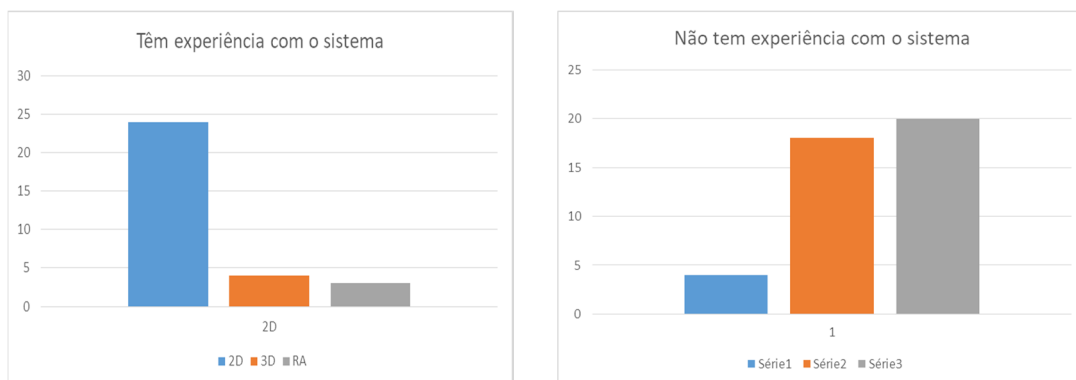
Gráfico 7 - Satisfação geral do usuário.



O resultado da média geral de satisfação entre as interfaces não foi muito distante; a interface 3D BIM teve a maior nota com 7,67, e as interfaces 2D CAD e 3D RA ficaram bem próximas, com 6,37 e 5,6 respectivamente.

Como esperado das respostas anteriores o CAD 2D é a interface mais conhecida, e que os usuários mais têm experiência em sua utilização. É importante notar que os usuários que disseram ter experiência com os outros sistemas (3D BIM e 3D RA), ao serem arguidos em que *software* já tiveram contato, todos os 3D BIM foram com o *software Revit*; e os que trabalharam com RA disseram ter trabalhado com diferentes aplicativos de *smartphone* para obras, mas não eram aplicativos para análise de interferência. Observa-se no Gráfico 8:

Gráfico 8 - Experiência no sistema.

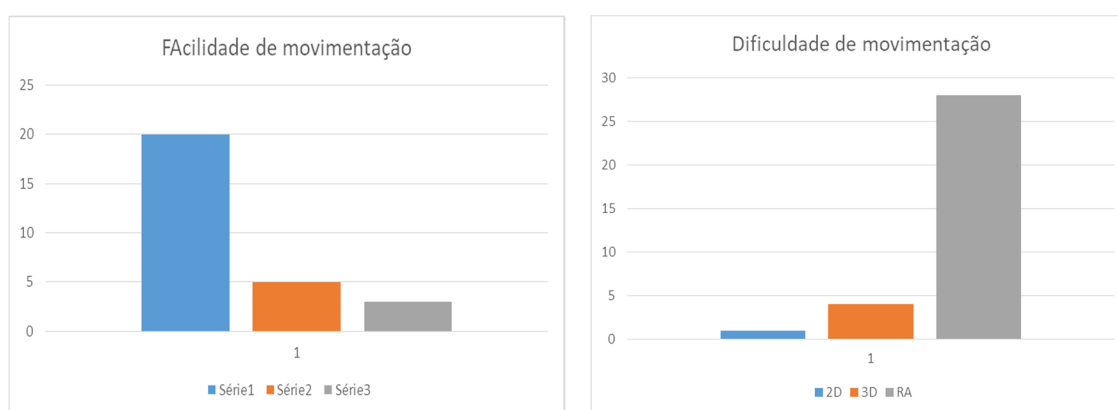


Nota-se que os usuários se sentem mais confortáveis ou preferem a movimentação com a interface 2D, porém é importante notar que o Gráfico 20 sobre a experiência com a interface e facilidade na movimentação são muito similares, isso pode expressar que o costume com a interface pode ajudar no entendimento e facilidade na movimentação; no entanto, apenas uma barra ficou diferente, a barra do BIM; mesmo com 70% dos usuários dizendo não ter

experiência com a interface, no questionário seguinte poucos participantes disseram ter dificuldades na movimentação.

A dificuldade na manipulação e movimentação da interface RA foi evidente, além de ser um sistema com visualização diferente ele também um modo de manipulação diferente dos dispositivos *mouse* e teclado, comumente usados em outras interfaces. Em seguida o Gráfico 9 mostra a facilidade para entender o projeto que os usuários expressaram.

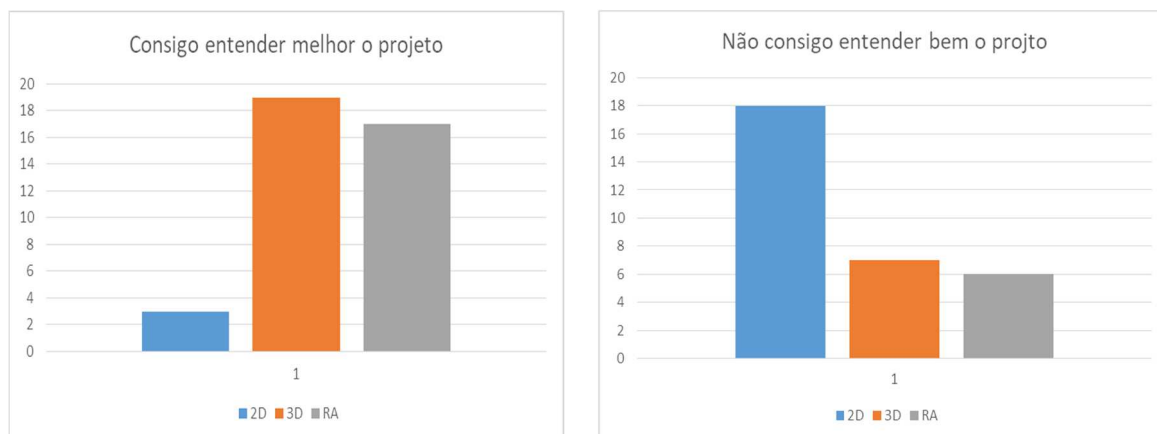
Gráfico 9 - Experiência da interface.



Nota-se no Gráfico 21 que os usuários de 3D BIM e 3D RA disseram entender melhor o projeto, e que os usuários de CAD, mesmo com mais experiência e facilidade na movimentação que foram vistas no Gráfico 20, disseram não entender bem o projeto.

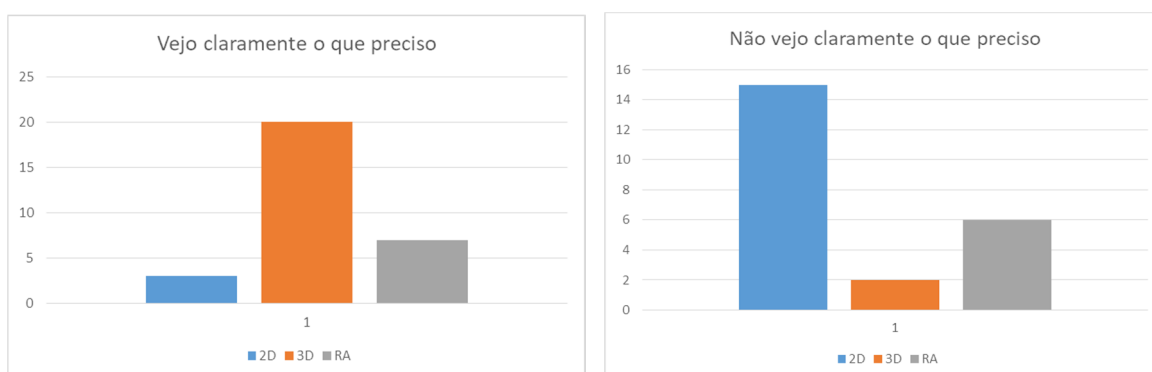
Vale ressaltar que a maioria dos usuários de 2D CAD pediu mais detalhes sobre o projeto, alegando que necessitavam de mais cortes e vistas para realizar a tarefa, mesmo o desenho oferecendo 4 cortes, 2 longitudinais e 2 transversais e mais as 4 elevações laterais e camadas separadas. Os usuários sentiram necessidade de cortes específicos para cada área que fosse analisada, inclusive questionando sobre a perspectiva isométrica, geralmente utilizada em projetos hidrossanitários.

Gráfico 10- Entendimento do projeto.



No Gráfico 22 nota-se que o 3D BIM teve os melhores resultados e que o 2D CAD teve os piores em relação a ver claramente o que precisavam; é importante fazer uma relação com os dois gráficos superiores em que se percebe que o 2D CAD teve maior facilidade de movimentação, porém os usuários alegaram não entender bem o projeto e também não ver claramente o que precisam. É importante notar também que os usuários da interface 3D RA alegaram entender melhor o projeto, mas a maioria disse não achar o que necessita; pode-se atribuir esse resultado ao outro gráfico em que os usuários disseram sentir muita dificuldade na movimentação e também a pouca experiência com o sistema (Gráfico 20).

Gráfico 11 - Entendimento do projeto.



4.4. Análise qualitativa

Percebeu-se que durante os testes alguns comportamentos importantes, são impressões e anotações feitas durante a aplicação dos testes. O primeiro foi perceber que ao ler as instruções, os usuários antes de iniciar testes os mesmos mostravam-se menos apreensivos e realizaram menos perguntas ao aplicador dos testes. A maioria dos participantes preferiu a abordagem de tentativa e erro, utilizando *ctrl-z* repetidamente até entender como o sistema funciona ou perguntar sobre o modo de manipular a interface.

Percebeu-se também que as pessoas com menos experiência em programas de desenho preferem as visualizações tridimensionais em primeira pessoa; pode se perceber isso principalmente nos casos das áreas correlatas e nos casos de arquitetos ou engenheiros que não tinham nenhuma ou pouca experiência ou hábito de usar programas de desenho técnico. A maioria das pessoas ficou interessada com a interface RA, expressando ter uma compreensão melhor do volume da casa por meio das visualizações tridimensionais.

Outro fato percebido foi que os engenheiros civis têm forte habituação para imagens em 2D, principalmente os que têm mais tempo de utilização do CAD 2D (efeito de habituação). Dois participantes desse grupo afirmaram ter mais segurança em olhar a casa (*framework* do teste) pelo projeto 2D. Percebe-se também que normalmente o grupo de engenheiros mesmo quando numa vista em 3D move a câmera para a obter algo semelhante às projeções paralelas comuns, como o corte, fachada ou vista lateral, rotacionando o desenho e usando frequentemente (quando tem experiência no programa) as ferramentas de corte.

Outra observação foram os problemas na percepção da profundidade no CAD 2D (diversos comentários sobre altura das feições, pedindo mais vistas laterais e detalhes) como relatado na literatura; durante os testes, obteve-se a mesma conclusão. É relevante considerar que mesmo aumentando os cortes e as vistas laterais para suprir a necessidade pontual de detalhamento, a desfragmentação do desenho e a necessidade de inúmeras vistas são fatores citados em diversos trabalhos como Sena (2012) e Ayres *et al.* (2009) como sendo prejudiciais à eficácia do trabalho.

Foram verificadas a existência de duas formas distintas em como a compatibilização é realizada, sendo a primeira seguir o tubo (objeto do teste) do começo da rede ao fim e, quando há ramificações, analisava-se até o fim a de uma ramificação e depois volta-se para o ponto de partida da ramificação e persegue o tubo até o fim; percebeu-se que esse tipo de usuário é o menos habituado com a interface. A segunda forma, nota-se que o participante explora o desenho de maneira a visualizar todo o projeto na tela (o popular *zoom extend*, ou comumente chamado de ajustar na tela). Após isso, trocam-se os *layers* (camadas) repetidamente; percorrendo os olhos em pontos específicos do projeto, notou-se que essa maneira é realizada por usuários mais experientes.

Foi observada que a interface de CAD 2D exige mais movimentação da tela (mais cliques e teclado); foi observada uma intensa movimentação dos dispositivos de entrada dos usuários enquanto usam a interface CAD 2D diferentemente das interfaces tridimensionais, que tem menos movimentação (menos cliques e uso do teclado); logo, o usuário passa mais tempo olhando para um mesmo quadro, não há deslocamento contínuo da tela. A aba *layers* (camadas) é muito usada no CAD 2D, já nas visualizações tridimensionais apenas 5 pessoas quiseram visualizar os projetos em desenhos separados (diferentes camadas); a maioria preferiu visualizar o projeto arquitetônico e complementares juntos.

Outro fator que interfere no teste é a demora de resposta dos controles, isso deixou os usuários nervosos e em certo grau pode prejudicar o teste, fato percebido com dois voluntários. Como a plataforma das interfaces CAD 2D e BIM 3D são *online*, alguns momentos a internet cedida pela universidade teve quedas, deixando dois usuários um pouco apreensivos para o teste; esse atraso não interferiu no andamento dos testes, mas pode-se perceber o desconforto; porém, logo que normalizou a rede, os testes voltaram a ter seguimento normal.

Diversos participantes opinaram que a visualização tridimensional deve ser um instrumento complementar. A maioria das pessoas teve dificuldade na movimentação da RA, porém disseram ser melhor para entender o projeto; esse foi um fato demonstrado na pesquisa de satisfação, a maioria dos usuários teve problema na manipulação da interface com RA, que se mostrou muito instável. Os motivos dessa instabilidade podem ser atribuídos ao baixo poder de processamento do *tablet*, como a resolução da câmera, dificuldade na conexão com internet, placa de vídeo e interações com o acelerômetro e giroscópio, que são peças fundamentais para o correto funcionamento das interfaces, todos esses problemas aliados a

falta de experiência na plataforma foram prejudiciais para a boa manipulação desta interface. Outro fator observado foi o baixo nível geral de acerto das interferências, levando em consideração que a melhor média (BIM) foi de 71,1 %, esse dado reflete o alto desperdício da construção civil no país, uma vez que não identificadas as interferências no projeto, elas vão ser visualizadas somente no canteiro de obras, e nesse caso serão duas opções, primeiro uma mudança no cronograma e na gestão dos materiais ou mudança direta na execução sem constar no projeto almejando uma solução conforme os recursos disponíveis no canteiro de obras. O desperdício na construção civil brasileira já foi citado em outros trabalhos como Alencar, e Santana (2010); NASCIMENTO (2014); STRAUB (2010). Nota-se que a interface mais usada atualmente é o CAD que obteve em média geral 40%. Para melhorar a eficácia na identificação e consequentemente a redução do desperdício, recomenda-se um melhor treinamento na interface utilizada pelo usuário, além de um investimento na padronização e melhora nos sistemas de gestão da construção.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O método de pesquisa possibilitou a avaliação comparativa de três interfaces de representação gráfica em usuários especialistas. O BIM se mostrou sistematicamente mais eficiente, mesmo com a inserção dos diferentes tons de cores adotados nos testes. Os resultados mostraram uma média geral de acerto da interface BIM de, 1,93, seguido da interface RA=1,33 e do CAD=1,16. Além da média geral, a análise da variância das médias demonstrou que essa taxa de acerto é significativa com o $p=0,000474$, baseando-se em um $\alpha=0,005$. A visualização tridimensional se mostrou mais eficaz em todas as interfaces, esse trabalho concorda com Sousa (2010), entendendo que a compatibilização de projeto pela superposição das plantas em 2D tem fortes limitações, principalmente entre as interfaces dos projetos hidrosanitários e projetos elétricos, devido à dificuldade na visualização espacial correta dos tubos e eletrodutos, fazendo com que sejam detectadas apenas aquelas incompatibilidades mais evidentes. A solução dos conflitos no desenvolvimento dos projetos é essencial para reduzir erros e incompatibilidades. A contratação de projetistas com uso de diferentes *softwares* e diversas linguagens e métodos (2D e 3D), no desenvolvimento dos desenhos também é um fator que dificulta a compatibilização dos projetos.

Foi testada ainda, a mudança no padrão de tom de cores visando facilitar a dissociação das feições, comparando o padrão da NBR-6493(1994) e uma abordagem cognitiva do processo de dissociação. Na plataforma CAD, de acordo com os testes a média de acerto, não obteve diferença estatística comprovada; no entanto, nas plataformas tridimensionais, obtiveram uma diferença significativa na taxa de acerto, baseado em um $\alpha=0,05$. Os valores de p para o BIM=0,008054 e do RA 0,002554 demonstraram uma maior eficácia de localização de interferências nessas duas interfaces. Pode-se atribuir esse resultado à maior facilidade de visualização do projeto no geral e a melhor propensão na visualização das feições.

No tocante a análise qualitativa um ponto observado foi a grande movimentação do usuário ao utilizar a plataforma CAD; de acordo com o acompanhamento do aplicador de testes, a

quantidade de cliques e dígitos no teclado é bem superior às outras plataformas; pode-se atribuir isso a desfragmentação do desenho, ela exige mais movimentos para identificar a real volumetria do objeto. Esse ponto é diferente nas interfaces tridimensionais, que tem menos movimentação (menos cliques e uso do teclado); logo, o usuário passa mais tempo olhando para um mesmo quadro, não há deslocamento contínuo da tela.

A realidade aumentada apresentou bons resultados para visualização: 60% dos usuários disseram entender bem o projeto utilizando essa visualização contra apenas 10% do CAD. O BIM foi o mais bem votado nesse quesito: com 70% afirmando entender bem o projeto. O teste com a plataforma RA teve aspectos positivos informados pelos participantes e também eficácia comprovada estatisticamente, a interface foi bem avaliada nos quesitos de visualização e entendimento da forma proposta; porém esta interface se mostrou instável e de difícil manipulação, notou-se que 86,6% dos participantes disseram ter dificuldade na movimentação da interface, pode-se relacionar esse fato com 66.6% dos usuários não terem nenhuma experiência com a interface; diferentemente das outras duas interfaces que tiveram valores mais baixos 53.3% BIM e 13,3% CAD; nessas interfaces, os usuários relataram menos dificuldade na manipulação 6,6% CAD e 13,3% no BIM; percebeu-se que o usuário de RA teve dificuldade de manipular o *tablet* com as mãos e anotar as interferências ao mesmo tempo, isso dificultou o teste para esta interface. Um fato importante é que 53% dos usuários disseram não ter experiência na interface BIM, porém apenas 13,3 % disseram ter dificuldade na movimentação; isso foi um valor muito baixo se comparado com as outras interfaces, conclui-se que é o BIM uma interface de visualização mais intuitiva.

Pode-se enumerar três principais problemas na utilização da RA aqui proposta: primeiro, a falta de experiência com a plataforma; segundo, a inexistência de dispositivos de entrada habituais (*mouse* e teclado) e terceiro, ao baixo poder de processamento e sensores do *tablet*, que dificultou a estabilização e visualização do modelo. Sobre a influência na visualização tridimensional nos projetos, percebeu-se que a maioria dos usuários especialistas realizam compatibilização em plataformas bidimensionais e que essa redução na dimensão é prejudicial à percepção volumétrica e da real posição dos objetos no projeto, causando eficácia mais baixa na identificação das interferências, principalmente nas superposições de objetos, por uma série de fatores já citados como fragmentação, ambiguidade, simbolismo, simplificação, omissão. No geral, as representações com abordagem cartográfica em visualizações 3D apresentam significativamente mais qualidade de resposta na

compatibilização de projetos. A abordagem desse trabalho mostrou uma taxa significativa de acertos na mudança para interfaces tridimensionais e também uma taxa de acerto superior na mudança de cores.

Recomenda-se para trabalhos futuros a expansão nos testes de visualização e manipulação para aperfeiçoar essas interfaces, essa ampliação pode ocorrer em 3 estágios: o primeiro é o teste em usuários analisando se outras variáveis visuais podem ajudar nessa identificação, como cintilação e arranjo; o segundo seria aumentar a complexidade dos modelos, colocando mais projetos complementares e edificações maiores para entender se a complexidade do modelo altera os resultados e em terceiro, melhorar a qualidade e diversidade dos dispositivos móveis para melhorar o manuseio do tablete em plataformas não imersivas.

As plataformas não imersivas têm a vantagem de serem mais baratas e de fácil acesso; no entanto, as plataformas imersivas também podem ser alvo de testes futuros para visualização na AEC, principalmente os óculos de realidade aumentada e capacetes Hud's (*Head mounted display*).

Outro fator a ser estudado são as incompatibilidades de projetos para analisar os custos das possíveis intervenções, comparando-os com o custo total da obra. E avançar nas identificações de incompatibilidades de fluxo 4D, ou seja, estudar o uso dos sistemas BIM na solução de barreiras temporais e espaciais no processo de compatibilização de projetos.

Nota-se que as interfaces tridimensionais ainda têm dificuldades para implantação na construção civil, as principais dificuldades na popularização na visualização da plataforma BIM é o alto grau de habituação dos usuários especialistas na plataforma CAD 2D e a dificuldade na movimentação e visualização em 3D.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES , P. **A importância da personagem virtual no contexto da animação 3D em tempo Real.** 2013. 104 (Mestre). Faculdade de Ilustração e Animação, Instituto Politécnico do Cávado e do Ave. <https://doi.org/10.5875/gep.v54y>.

AHLSTROM, U. & AREND, L. (2005). **Color usability on air traffic control displays**, in The HFES 49th Annual Meeting, Orlando, FL, September 26-30. <https://doi.org/10.1177/154193120504900121>

ALENCAR, L. H., SANTANA, M. H. **Análise do Gerenciamento de Múltiplos Projetos na Construção Civil.** Revista de Gestão e Projetos, v.1, p.74 -92, 2010. <https://doi.org/10.5585/gep.v1i1.5>

AMANCIO, R.C.A., KRÜGER, J.A. **A consideração de fatores de construtibilidade nas fases do processo de projeto em pequenos escritórios de arquitetura.** In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 13º, 2010, Canela. Anais... Canela, 2010, p. 10. <https://doi: 10.14808/sci.plena.2015.113301>

AKINCI, B., FISCHEN, M., LEVITT, R. & CARLSON, R. (2002). **Formalization and Automation of Time-Space Conflict Analysis**, Journal of Computing in Civil Engineering, 16(2), 124-134. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2002\)16:2\(124\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2002)16:2(124))

AYRES F. S. *et al.* **Impactos do uso do sistema CAD geométrico e do uso do sistema CAD-BIM no processo de projeto em escritórios de arquitetura.** Programa de Pós-Graduação em Construção Civil (Paraná. 1. 2009). <https://doi.org 10.4237/gtp.v4i2.100>

BATISTA, L. M.; FERREIRA, S. L. **"Avanços no intercâmbio de dados do projeto de instalações: do CAD 3D ao BIM em experiências representativas"**. p. 436-448 . In: Anais do VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção - TIC2015 [=ANTAC e Blucher Engineering Proceedings]. Porto Alegre: ANTAC; São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2357-7592, <https://doi.org 10.5151/engpro-tic2015-040>.

Becerik G. B., Jazizadeh, N. Li, G. Calis. **Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management.** Journal of construction engineering and management 138 (3) (2011) 431-442. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000433](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433)

BEHZADAN, A H, Aziz, Z, Anumba, CJ, Kamat, VR. (2008). **Ubiquitous location tracking for context-specific information delivery on construction sites.** Automation in Construction. 17(6), 737–748. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.02.002>

- BERTIN, J. **Semiology of graphics: Diagrams, networks, maps**. University of Wisconsin Press, Madison, WI, 1967/1983. <https://doi.org/10.1080/00690805.1987.10438353>

BILDA, Z.; DERMIKAN, H. **An insight on designers' sketching activities in traditional versus digital media**. *Design Studies*, v. 24, n. 1, p. 27-50, 2003. ISSN S0142-694X(02)00032-7. Munsell Book of Color, Munsell Color Company, Inc., Baltimore, Maryland, 1929. [https://doi.org/10.1016-S0142-694X\(02\)00032-7](https://doi.org/10.1016-S0142-694X(02)00032-7)

BILLINGHURST, M., Hakkarainen, M., Woodward, C, (2008). **Augmented assembly using a mobile phone**, *Proceedings of 7th IEEE/ACM international symposium on mixed and augmented reality (ISMAR 2008)* (pp. 167–168). <https://doi.org/10.1145/1543137.1543153>

BORTOLOSI, H., J. **Projeções Ortogonais**. Disponível em: <http://www.professores.uff.br/hjbortol/novidades-12/> Página consultada em outubro de 2017. <https://doi.org/10.1109/TNET.2005.857110>

BROWN, T. **Design Thinking: Uma poderosa metodologia para decretar o fim das velhas idéias** - 3ª Ed. Tradução: Cristina Yamagami. Rio de Janeiro: Campus - Elsevier, 2010. <https://doi.org/10.1145/19788580392159/04>.

BRYAN. B. E. **Draw in time , process of design and fabrication**. BanG studio, Six-disk pintograph tracing. v. 2, p. 98-107, 2013. <https://doi.org/10.1002/ad.2007>

CAIVANO, J. L. **Visual texture as a semiotic system**. *Semiotica* 80, 3-4 (1990), 239–252. doi:10.1515/semi.1990.80.3-4.239. <https://doi.org/10.1515/semi.1990.80.3-4.239>

RIGHI. E. G. ; CELANI, T. **Esboços na era digital** – Uma discussão sobre as mudanças na metodologia de projeto arquitetônico. XIV Convencion científica de ingenieria y arquitectura DESARROLLO, I. E. La Habana: SIGRADI XII. 1: 1-4 p. 2008. <http://dx.doi.org/10.11606/gtp.v13i1.133839>

CHEN, S.; GRIF, F. H. B.; CHEN, P.-H.; CHANG, L.; GRIFFIS, F. H. H. 2013. **A framework for an automated and integrated project scheduling and management system**. *Automation in Construction* 35: 89–110. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.04.002>

CHEN, Y.H. M.H. TSAI, S.C. KANG, C.W. Liu 2013. **Selection and evaluation of color scheme for 4D construction models**, *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, Vol. 18, pg. 1-19, <http://www.itcon.org/2013/1>. ISSN 1874-4753

CHI, H.L., KANG, S.C. , WANG, X. (2013). **Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction**. *Automation in Construction*, 33, 116–122. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.017>

D'AGOSTINO, M. H. **A beleza e o mármore , o tratado de architettura de vitruvio e o renascimento**. Universidade de Coimbra: Annablume , 2012. <http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0849-5>

DAWOOD, N., SIKKA, S. (2008). **Measuring the Effectiveness of 4D Planning as a**

Valuable Communication Tool, Journal of Information Technology in Construction, 13, 630-636. <http://hdl.handle.net/10149/92388>

DIX, A., FINLAY, J., ABOWD, G.D., BEALE, R. **Human-Computer Interaction**. 3 ed. Prentice Hall, Essex, 2004. [ISBN-13: 978-0-13-046109-4 ISBN-10: 0-13-046109-1](#)

DONG, B., Lam, K. P., Huang, Y.C., Dobbs, G. M.. 2013. “**A Comparative Study of the IFC and gbXML Informational Infrastructures for Data Exchange in Computational Design Support Environments.**” Proceedings BS 2007. 3-6 Sept 2013. Beijing, China. □e <http://dx.doi.org/10.1155/2015/786598>

EASTMAN, C., TEICHOLZ P., SACKS P., LISTON K. **Manual de BIM: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. Bookman, 2013. 483p. [ISBN-10: 8582601174 ISBN-13: 978-8582601174](#)

ELZAKKER, C. P. J. M. V. **The use of maps in the exploration of geographic data**. 2004. (doctor). Nederlandse Geografische Studies / Netherlands Geographical Studies, Nederlandse Geografische Studies / Netherlands Geographical Studies, Nederlandse Geografische Studies / Netherlands Geographical Studies. [ISBN: 90-6809-357-6](#)

GIJEZEN, S., Hartmann, T., Veenvliet, K.Th., Hendriks, H., and Buursema, N. (2010). **Organizing 3D Building Information Models with the help of Work Breakdown Structures to improve the Clash Detection Process**. Univ. of Twente, The Netherlands, 30 pp., http://essay.utwente.nl/59401/1/scriptie_S_Gijzen.pdf, visited August 31. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/786598>

FILARDI, A. L. e TRAINA, A. J. M. **Montando Questionários para Medir a Satisfação do Usuário: Avaliação de Interface de um Sistema que Utiliza Técnicas de Recuperação de Imagens por Conteúdo**. In VIII Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC 2008), Porto Alegre, 2008. Anais do IHC 2008. Porto Alegre : Sociedade Brasileira de Computação, 2008a. <https://doi.org/10.1145/1666091.1666120>

FILARDI, A.L., e TRAINA, A. J. M. **Combinação de Técnicas de Interação Humano-Computador para Avaliação de Sistemas de Recuperação de Imagens por Conteúdo**. In XIV Simpósio Brasileiro de Sistemas Multimedia e Web (WebMedia 2008), Vila Velha, Porto Alegre : Sociedade Brasileira de Computação, 2008b. <https://doi.org/10.11606/D.55.2007.tde-06122007-123935>

GALLEGO, F. J. **Sampling frames of square segments**. 1995. Office for Publications of the forms. Luxembourg., E.C. Luxembourg., Ispra (Varese) Italy.

Gao, Z., Walters, R. C., Jaselskis, E. J. & Wipf, T. J. (2006). **Approaches to improving the quality of construction drawings from owner's perspective**, Journal of Construction

Engineering and Management, 132(11), 1187-1192. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:11\(1187\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:11(1187))

GONÇALVES, M. M. **Brinquedoteca virtual Escolar - Possível aproximação da criança ao brincar e à aprendizagem**. 2009. 121 (Metrado). Engenharia e gestão do conhecimento, Universidade Federal de Santa Catarina. [ISSN digital 1982-1654 ISSN impresso 1516-084x](#)

GRIFFIN, A. L., ROBINSON, A. C. **Comparing color and leader line approaches for highlighting in geovisualization**. In Proc. GIScience (Zürich, Switzerland, 2010).

HAGEDORN C., Döllner B., Jürgen A. (2007). **High-level web service for 3D building information visualization and analysis**. GIS: Proceedings of the ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems. 15. 8. 10.1145/1341012.1341023. <https://doi.org/10.1145/1341012.1341023>

HAMMARLUND F., e JOSEPHSON, P.E. **Qualidade; cada erro tem seu preço**. Trad. de Vera M.C. Fernandes Hachich. Técnica, n.1, p.32-4, nov./dez. 1992. IPT. São Paulo/SP, 2003. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.03534>

HANNA, A. S.; YEUTTER, M.; Aoun, D. G. **State of practice of Building Information Modeling in the electrical construction industry**. Journal of Construction Engineering and Management 140(12). 2014. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000893](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000893)

HU, Z.Z.; ZHANG, X.Y.; WANG, H.W.; KASSEM, M. 2016. **Improving interoperability between architectural and structural design models: An industry foundation classes-based approach with web-based tools**, Automation in Construction 66: 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.001> Huang, S.-F.; Chen, C.; Dzeng, R.-J. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.001>

KANG, L. S.; KIM, H. S.; MOON, H. S.; KIM, S.-K. K. 2016. **Managing construction schedule by telepresence: Integration of site video feed with an active nD CAD simulation**. Automation in Construction 68: 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.003>

KANG, T. W.; HONG, C. H. 2015. **A study on software architecture for effective BIM/GIS-based facility management data integration**. Automation in Construction 54: 25–38. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.019>

KIM, I.; KIM, J.; SEO, J. 2012. **Development of an IFC-based IDF converter for supporting energy performance assessment in the early design phase**. Journal of Asian Architecture and Building Engineering 11(2): 313–320. <https://doi.org/10.3130/jaabe.11.313>

KIRNER, C., PINHO, M.S. (1996). **“Introdução a Realidade Virtual”**. Mini-Curso, JAI/SBC, Recife, PE.

KIRNER, T.G., KIRNER, M.; SISCOUTO, V. F. **“Development of an Information Visualization Tool Using Virtual Reality”**. Introdução à Realidade Virtual. Proceedings

of the 15th ACM Symposium on Applied Computing - SAC'2000, Como, Italy, p. 604-607. (2006)

KOYRÉ, A. **Estudos da História do Pensamento Científico**. 1a ed., Rio de Janeiro, Editora Forense Universitária, 1982.

LOOIJÉ, R., TE BRAKE, G. M., & NEERINCX, M. A. (2007). **Usability engineering for mobile maps**. In A. D. Cheok, P. H. J. Chong, W. Seah, & S. Ping (Eds.), *Proceedings of the mobility conference 2007*. (pp. 540-547). Association for Computing Machinery (ACM). <https://doi.org/10.1145/1378063.1378150>

MACEACHREN, A. M. **How maps work**. The Guilford Press, New York, NY, USA, 1995.

MACEACHREN, A. M. **Visualization in modern cartography**: Setting the agenda. In *Visualization in modern cartography*, A. M. MacEachren and D. Taylor, Eds. Pergamon, Oxford, England, 1994, pp. 1–12. [157]. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-042415-6.50008-9>

MACEACHREN, A. M. **Visualizing uncertain information**. *Cartographic Perspectives* 13 (1992), 10–19 <https://doi.org/10.14714/CP13.1000>.

MACIEL, M.; OLIVEIRA, F.; SANTOS, D. D. G. **Dificuldades para a implantação de softwares integradores de projeto (BIM) por escritórios de projetos de cidades do nordeste do Brasil**. v. 1, p. [2832-2841](#), 2014. [ISSN 21788960](#).

MELCHIADES, F. G.; BOSCHI, A. O. **Cores e revestimentos cerâmicos**. *Cerâmica Industrial*, São Paulo, v. 4, n. 1-6, p. 11-8, jan/dez. 1999.

MICHAELIS, Dicionário. **Lingua portuguesa**. 4ª Edição. Editora Melhoramentos Ltda.: 2017. V.1.

MONGE, G- *Geometría Descriptiva*. Madrid: **Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos**, 1996. Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, nº52. [ISBN: 84-380-0121-1](#).

MORRISON, J. L. **A theoretical framework for cartographic generalization with the emphasis on the process of symbolization**. *International Yearbook of Cartography* 14 (1974), 115–127.

MOTAWA, I., & ALMARSHADI, A. K. (2013). **A knowledge-based BIM system for building maintenance**. *Automation in Construction*, 29, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.09.008>

NIELSEN, J. **Usability Engineering**. Morgan Kaufmann, Inc. San Francisco, 1993.

OLIVEIRA, P., ALMEIDA O. **Cartografia Temática**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2009.

PALARÉ, O. R. **Geometria Descritiva História e didática** - novas perspectivas. Universidade de Lisboa, tese (doutorado em geometria) programa de pós-graduação da Faculdade de Belas Artes. 2013. (Doctor), Lisboa.

PREECE, J., Rogers, Y., and Sharp, H. **Human-Computer Interaction**. Addison-Wesley, Wokingharn, 1994

PUHALLA, D. M. (2008). **Perceiving hierarchy through intrinsic color structure,” Visual Communication**, 7(2), 199-228. <https://doi.org/10.1177/1470357208088759>

RIBEIRO J., Melo T., Francisco S., Schüller A. (2015). Ribeiro et al (2015) PDIViz Suppl, Haueisen Figueiredo. **Estudo comparativo da tecnologia CAD coma tecnologia BIM**. Revista de ensino de Engenharia, v. 34, n. 2, p. 11-18, 2015. ISSN 0101-5001.

RISDEN, K. K.A OLSEN M.,LEWIS E. M.. **An initial examination of ease of use for 2D and 3D information visualizations of web content**. International Journal of Human-Computer Studies, v. 53, n. 5, p. 695-714, 2000. ISSN 10715819.

ROBINSON, A. H., MORRISON, J. L., MUEHRCKE, P. C., KIMERLING, A. J., AND GUPTILL, S. C. **Elements of Cartography**. John Wiley & Sons, New York, NY, 1995.

ROTH, R. E. **Interacting with Maps: The science and practice of cartographic interaction**. PhD thesis, The Pennsylvania State University, 2011.

SACKS, R.; KOSKELA, L.; DAVE, B. A.; Owen, R. . **Interaction of Lean and Building Information Modeling in construction**. Journal of Construction Engineering and Management 136(9): 968–980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203..2010a](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203..2010a)[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203)

SACKS, R.; RADOSAVLJEVIC, M.; BARAK, R. **Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction**. Automation in Construction, Vol. 19, No. 5, p. 641-655, 2010b. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.010>

SANDERCOCK, M. **Cartographic visualization relies on the use of map to present cartographic ideas, is this visualization metaphor relevant in today’s digital world?**

SCHEER, S., ITO, A., AYRES FILHO, C. A., AZUMA, F., BEBER, M. **Impactos do uso do sistema CAD geométrico e do uso do sistema CAD-BIM no processo de projeto em escritórios de arquitetura**. 2006

SCHMIDT, M. A. R. **Avaliação da Variável Visual Tamanho Aplicada a Mapas Perspectivos Tridimensionais**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 22, n. 2, p. 358-368, 2016. ISSN 1982-2170.

SCHMIDT, M. A. R.; DELAZARI, L. S. **Gestalt aspects for differentiating the representation of landmarks in virtual navigation**. Cartography and Geographic Information Science, v. 40, n. 3, p. 159-164, 2013. ISSN 1523-0406/1545-0465.

SCHOTEN, T. **Course RT2: image processing**. [S.l.], 2010. Disponível em: www.google.com.br/search?q=SCHOTEN,+Theo.+Course+RT2:+image+processing&client=Acesso em 11 jan. 2018.

SENA, T. S., **A aplicação da metodologia BIM para a compatibilização de Projetos**. 2012. 81f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SHNEIDERMAN, B. (1998). **Designing the user interface**: Strategies for effective human-computer interaction (3rd ed.). Reading, MA: Addison-Wesley.

SILVA, I. L.; FOSSE, J. M. **Desenvolvimento de Aplicativos de Realidade Aumentada na Cartografia**: modelagem virtual e a experiência com o sistema de autoria colaborativa com realidade aumentada. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 06 - 09 de Maio de 2012. p. 001 – 008.

SLOCUM, T.; EGBERT, S. L. Cartographic data display in TAYLOR, F **Geographic Information Systems**: the microcomputer and modern cartography. New York: Pergamon Press, 1994, p 167-199.

SOUSA, F. J. **Compatibilização de Projetos em Edifícios de Múltiplos Andares**: Estudo de Caso. Dissertação de mestrado. Recife, Universidade Católica de Pernambuco. 2010. 117p.

SOUZA, L. L. A. D.; AMORIM, S. R. L.; LYRIO, A. D. M. **Impactos do uso do BIM em escritórios de arquitetura: oportunidades do mercado**. STANDFORD, KEVIN; STANDIFORD DEBRAH. Describe geometry; na integrated approach using Autocad. England: Delmar Thomson learning, ISBN:0766811239. Gestão & Tecnologia de Projetos, v. 4, n. 2, 2009. ISSN [ISSN 19811543].

SONGER, A. & HEYS, B. (2003). **A framework for multi-dimensional visualization of project control data**, in Construction Research Congress, Reston, Virginia, March 19-21.

STAVRIC, M.; MARINA, O. **Parametric modeling for advanced architecture**. International journal of applied mathematics and informatics, v. 5, n. 1, p. 9-16, 2011.

STRAUB, M. L. **Estudo de caso: estudo do custo do desperdício na construção civil**. 2010. 76 p. **Monografia** (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville, 2010.

SUN, C. ; N. Fang, D. M. Wu, and X. Zhang, “**Projection tridiensional using digital micro-mirror dynamic mask**” Sensors and Actuators, A, vol. 121, no. 1, pp. 113–120, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2004.12.011>

THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein** – A Face Oculta da Invenção Científica. 1a ed., Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editores, 1994.

TOGNAZZINI, B. **First Principles of Interaction Design**. 2012. Disponível em: https://www.d.umn.edu/~tcolburn/cs4531/slides/software_engineering/design_patterns/images/mediator.png Acesso em: 11 jan. 2012.

TONISSE, R. H.; GOES, B.; SANTOS, E. T. **Compatibilização de projetos: comparação entre o BIM e o CAD 2D**. In: SCHEER, S.; SANTOS, E. T.; AMORIM, S.; AMORIM, A. (Org.). Modelagem da informação da construção: uma experiência brasileira em BIM. 1.ed. Curitiba: UFPR, 2013. p.109-126.

WANG, X. WANG, J. WANG, P. YUNG, G. Jun. **Engagement of Facilities Management in Design Stage through BIM: Framework and a Case Study**, Adv. in Civ. Engg 2014; 13:1-8.

WANG, J. X. **Integrating Building Management System and facilities management on the Internet**. Automation in Construction 11 (6) 707-715. (2013). [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(02\)00011-0](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(02)00011-0)

WANG, J.; WANG, X.; XU, W. S. B. **Integrating BIM and augmented reality for interactive architectural visualisation**. Construction Innovation, v. 14, p. 453-476, 2012. <https://doi.org/10.1108/CI-03-2014-0019>

WERTHEIM, M. **Uma História do Espaço: de Dante à Internet**. 1a ed., Rio de Janeiro, Jorge Zahar Editora, 2001.

WU, C., AGARWAL, S., CURLESS, B., SEITZ, S.M. (2011). **Multicore bundle adjustment**. Proceedings of 2011 IEEE conference on computer vision and pattern recognition (CVPR 2011) (pp. 3057–3064) 2011 <https://doi.org/10.1109/CVPR.2011.5995552>

WITTE, R. S. , WITTE, J. **Statistics Statistics. 10th ed**. new york: wiley. ISBN-13: 978-1118450536 (2013)

XU, H., FENG, J.; LI, S. **Users-orientated evaluation of building information model in the Chinese construction industry**. Automation in Construction, v. 39, p. 32-46, 2014.

ISSN 09265805.

ZEVI, B. (2009). **A representação do espaço**. In: Saber ver a arquitetura (pp. 29-52). São Paulo, SP: WMF Martins Fontes.

ZHANG, J.; Schmidt, K.; Li, H. 2016. **BIM and sustainability education**: Incorporating instructional needs into curriculum planning in CEM programs accredited by ACCE, Sustainability 8(6): 525. <https://doi.org/10.3390/su8060525>

URL1 - disponível em www.archeolog-home.com acesso em 26 de fev. 2018.

URL2 - disponível em <https://actech.net.br/template-revit-eletrica/> rodrigo revit mep acesso em 26 de fev. 2018.

URL3 - disponível em <https://www.tekla.com/ae/bim-awards-2014/bimmodel1.html> acesso em 20 de fev. 2018.

URL4 - disponível em <http://www.illusionstudio.com.br/realidade-virtual> url4.acesso em 10 de jan 2018.

URL5-disponível em Imagem disponível em www.indexarsolutions.com/applications/ra_t1.jpg. Acesso em 15 de jan 2018.

URL6 - disponível em Imagem disponível em www.indexarsolutions.com/applications/ra_t2.jpg. Acesso em 15 de jan 2018.

URL7 - disponível em www1.sp.senac.br/hotsites/blogs/revistainiciacao/index.php. acesso em 20 de jan 2018.

URL8 - disponível em <http://confoundly.com/construction-fails>, acesso 13 jan 2018.

URL9 - disponível em <http://confoundly.com/construction-fails>, acesso 13 jan 2018.

URL10 - disponível em <http://confoundly.com/construction-fails>, acesso 13 jan 2018.

APÊNDICE A

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado (a) para participar da pesquisa intitulada A ANÁLISE DA REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE PROJETOS CIVIS COM “CAD”, “BIM” E “RA” PARA IDENTIFICAR AS INTERFERÊNCIAS DE OBRA EM PROJETOS COMPLEMENTARES, sob a responsabilidade dos pesquisadores Prof Dr. Marcio Augusto Reolon Schmidt (FECIV/UFU), e do mestrando Lucas Francisco Martins. Nesta pesquisa nós estamos buscando entender como a variação de tons de cores, e o tipo de plataforma de representação podem influenciar o entendimento de projetos de engenharia em 3D. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido será obtido pelo pesquisador Lucas Francisco Martins, no momento da execução dos testes na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, entre os meses de novembro de 2017 e fevereiro de 2018 no do campus Santa Mônica da citada universidade.

Na sua participação você responderá a um questionário sobre a sua formação técnica, em especial com uso de mapas, e habilidade com dispositivos de navegação e informática. Em seguida será acompanhado enquanto utiliza o software instalado em um tablete que combina imagens da câmera e símbolos desenvolvidos para o projeto e um computador com CAD e BIM. Durante o uso você deverá falar quais as suas impressões sobre o uso e a aparência da simbologia apresentada. Este processo é comumente utilizado em pesquisas de usabilidade de softwares e sistemas de informática. Não haverá gravação de imagens ou sons. Em nenhum momento você será identificado. Os resultados da pesquisa serão publicados e ainda assim a sua identidade será preservada. Você não terá nenhum gasto ou ganho financeiro por participar na pesquisa.

Esta pesquisa traz como risco a identificação acidental de algum usuário em alguma publicação. Não existem riscos à integridade do indivíduo. Os testes serão realizados com a visualização de imagens e gravações do que está sendo observado. Os benefícios serão um maior entendimento sobre a percepção das diferenças de posicionamento e deslocamentos relativos das feições oriundas da representação virtual tridimensional e identificação de incompatibilidade em projetos de engenharia civil.

Você é livre para deixar de participar da pesquisa a qualquer momento sem nenhum prejuízo ou coação.

Qualquer dúvida a respeito da pesquisa, você poderá entrar em contato com: Prof Dr Marcio Augusto Reolon Schmidt, no telefone (34) 3239-4159, na Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia Av. João Naves de Ávila, nº 2121, bloco Y, sala 1Y201, Campus Santa Mônica – Uberlândia –MG. CEP: 38408-100.

Uberlândia, 07 de outubro de 2017

Assinatura dos pesquisadores

Eu aceito participar do projeto citado acima, voluntariamente, após ter sido devidamente esclarecido.

Participante da pesquisa

INSTRUÇÕES DO TESTE

TERMO LIVRE E ESCLARECIDO

1. O (A) participante é voluntário (a) para a realização dos testes.
2. A participação dos testes não infere qualquer ônus de qualquer natureza e nem estabelece qualquer relação entre o voluntário e o pesquisador que não a investigação científica.
3. Sugere-se que o (a) participante somente se apresente para os testes se houver real interesse, disposição e disponibilidade de tempo suficiente (entorno de 45 minutos).
4. O (A) participante pode desistir a qualquer tempo e seu teste será desconsiderado.
5. O (A) participante **não** será filmado (a) nesta pesquisa, sendo assegurado a **não** divulgação de suas imagens.
6. Ao participante serão explicadas as regras e procedimentos antes do início dos testes, o qual acorda mediante assinatura ao final deste documento.
7. A sessão de teste consiste de 4 etapas. Em cada etapa será solicitada o preenchimento de uma parte do questionário ou a indicação de uma feição. Todos os testes tratam de uma tarefa de análise de projetos complementares em ambiente computacional não imersivo.
9. Em nenhum momento será permitida a interferência do pesquisador e/ou do aplicador dos testes nas tarefas propostas, não importando quais dificuldades advenham da navegação em estado normal do sistema. Salvo na condição de o (a) participante ficar calado por mais de 30 segundos, ou necessitar de ajuda para afazeres sem relação com o teste.
10. O tempo máximo para execução do teste 50 minutos.

Aceito os termos deste documento,

Nome:

Data: ____/____/____

TAREFA SOLICITADA

PARTE II: TAREFA DE USO

Você foi contratado para realizar a compatibilização de 3 simples projetos arquitetônicos, incluindo os projetos complementares (Estrutural, Hidrosanitário e Elétrico), para uma grande empresa.

Serão propostas 3 interfaces diferentes para realizar sua tarefa.

Como usualmente nos projetos civis, não haverá variação da espessura das linhas que representam os tubos, Todas as linhas que representam os tubos têm a mesma espessura (bitola)

Instruções você terá no máximo 15 minutos para cada projeto.

Se houver alguma interferência, cada vez que você identificar uma sobreposição é preciso indicar na folha resposta o **local** e **tipo de instalação (projeto)** que houve a sobreposição.

Exemplo: Identifiquei um tubo de água se encontrando com elétrico na parede da sala.

Marque...

Projeto A-

- ☐ não ocorreram interferências.
- ☐ não é possível identificar interferências.
- ☒ interferência identificada: indique o local e quais projetos.

Local:

- ☒ Sala
- ☐ Quarto
- ☐ Banheiro
- ☐ Varanda
- ☐ Escritório

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☒ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☒ Elétrico
- ☐ Estrutural

Bom teste.

EXPLICAÇÕES SOBRE AS INTERFACES

Instruções para uso das interfaces.

Serão propostas 3 interfaces distintas para realização da tarefa, neste papel estão as instruções básicas para o uso de cada interface (zoom, pan, orbita), caso tenha mais dúvidas pergunte ao aplicador do teste.

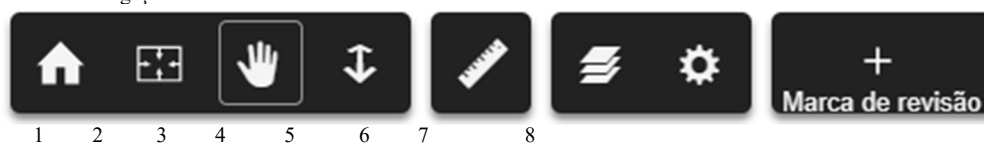
Interface 2D.

O programa utilizado será um visualizador on-line de projetos civis bem semelhante aos softwares CAD comuns, para utilizar o:

Zoom - (aproximar/ afastar) - gire o botão central do Mouse (scroll)

Pan - (arrastar/ transladar) – clique no botão central do mouse (scroll) e arraste, deslocar lateralmente

Barra de navegação:



- 1- Início → Volta o projeto para tela inicial.
- 2- Ajustar a vista → ajusta vista até aparecer todo o projeto
- 3- Pan → arrastar, transladar, desloca lateralmente o projeto
- 4- Zoom → aproxima ou afasta a vista
- 5- Measure → régua, medidas do local
- 6- Layers → Ativa ou desativa as camadas do projeto
- 7- Settings → Configurações de navegação e visibilidade
- 8- Marca de revisão → anotações para projetos (não será usado no teste).

Interface 3D.

O programa utilizado será um visualizador on-line de projetos civis bem semelhante aos softwares de visualização em 3D comuns, para utilizar o:

Zoom - (aproximar/ afastar) - gire o botão central do Mouse (scroll)

Pan - (arrastar/ transladar) – clique no botão central do mouse (scroll) e arraste, deslocar lateralmente

Orbita – (girar em torno de um ponto) – aperte a tecla SHIFT e arraste o botão central do mouse (scroll)



- 1- Início → Volta o projeto para tela inicial.
- 2- Ajustar a vista → ajusta vista até aparecer todo o projeto
- 3- Orbita → define ponto de giro do projeto
- 4- Pan → arrastar, transladar, desloca lateralmente o projeto
- 5- Zoom → Aproxima ou afasta a vista
- 6- First person → projeção de primeira pessoa, "caminha" pelo projeto utilizando teclas 'w', 'a', 's', 'd'.
- 7- Section analysis → ferramenta de corte, seccionar projeto
- 8- Measure → régua, medidas do local
- 9- Explode model → fragmenta as geometrias do modelo
- 10- Navegador do modelo → separa gerencia os componentes da construção, semelhante comando layers2D.
- 11- Settings → Configurações de navegação e visibilidade
- 12- Marca de revisão → anotações para projetos (não será usado no teste).

RA-Realidade Aumentada

Será utilizado um tablete, para livre visualização do projeto através de um plano de referência (livro). Manipule o livro de acordo com sua necessidade mirando a câmera sempre na parte frontal (capa) do livro.

- 1- Para aumentar/ diminuir o modelo, utilize o movimento de pinça na tela, com os dedos
- 2- Para girar o projeto, deslize dois dedos verticalmente na tela.

FOLHA DE MARCAÇÃO CAD

TESTE: Projeto A (CAD)

Teste de visualização de Interferências em Projetos complementares.

Favor responder, de acordo com a análise dos projetos, o questionário a seguir: n° _____

- ☐ não ocorreram interferências.
- ☐ não é possível identificar interferências.
- ☐ interferência identificada: indique o local e quais projetos.

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Dormitório 2
- ☐ Varanda
- ☐ Dormitório 1
- ☐ Cozinha

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Dormitório 2
- ☐ Varanda
- ☐ Dormitório 1
- ☐ Cozinha

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Dormitório 2
- ☐ Varanda
- ☐ Dormitório 1
- ☐ Cozinha

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Dormitório 2
- ☐ Varanda
- ☐ Dormitório 1
- ☐ Cozinha

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

FOLHA DE MARCAÇÃO BIM

TESTE: Projeto B (BIM)

Teste de visualização de Interferências em Projetos complementares.

Favor responder, de acordo com a análise dos projetos, o questionário a seguir:

Número do participante: _____

☐ não ocorreram interferências.

☐ não é possível identificar interferências.

☐ interferência identificada: indique o local e quais projetos abaixo...

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Hall
- ☐ Varanda
- ☐ Quarto
- ☐ Cozinha

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário X
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Hall
- ☐ Varanda
- ☐ Quarto
- ☐ Cozinha

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário X
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Hall
- ☐ Varanda
- ☐ Quarto
- ☐ Cozinha

Local:

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário X
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Hall
- ☐ Varanda
- ☐ Quarto
- ☐ Cozinha

Local:

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário X
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

FOLHA DE MARCAÇÃO RA

TESTE: Projeto C (RA)

Teste de visualização de Interferências em Projetos complementares.

Favor responder, de acordo com a análise

dos projetos, o questionário a seguir:

Número do participante: _____

☐ não ocorreram interferências.

☐ não é possível identificar interferências.

☐ interferência identificada: indique o local e quais projetos abaixo...

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Hall
- ☐ Varanda
- ☐ Quarto
- ☐ Cozinha

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário X
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Hall
- ☐ Varanda
- ☐ Quarto
- ☐ Cozinha

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário X
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Hall
- ☐ Varanda
- ☐ Quarto
- ☐ Cozinha

Local:

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário X
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

Local:

- ☐ Sala estar
- ☐ Banheiro
- ☐ Área de serviço
- ☐ Hall
- ☐ Varanda
- ☐ Quarto
- ☐ Cozinha

Local:

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário X
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutura

Tipo de projeto:

- ☐ Arquitetônico
- ☐ Hidro sanitário
- ☐ Elétrico
- ☐ Estrutural

QUESTIONÁRIO DE SATISFAÇÃO DO USUÁRIO

De acordo com as tarefas realizadas, responda as 3 perguntas a seguir:

1. Baseada na sua experiência e considerando os critérios de facilidade de interação e facilidade de cumprimento da tarefa na identificação de interferências, você considera uma nota adequada para cada interface:

CAD 2D

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10

BIM 3D

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10

3D RA

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ 6
- ☐ 7
- ☐ 8
- ☐ 9
- ☐ 10

2. Quais **VANTAGENS** você experimentou em cada interface (mais de uma opção é aceita)?

CAD 2D

- ☐ Tenho experiência com o sistema.
- ☐ Facilidade de orientar/movimentar.
- ☐ Consigo entender melhor o projeto.
- ☐ Vejo claramente o que preciso.
- ☐ Outro

BIM 3D

- ☐ Tenho experiência com o sistema.
- ☐ Facilidade de orientar/movimentar.
- ☐ Consigo entender melhor o projeto.
- ☐ Vejo claramente o que preciso.
- ☐ Outro

3D RA

- ☐ Tenho experiência com o sistema.
- ☐ Facilidade de orientar/movimentar.
- ☐ Consigo entender melhor o projeto.
- ☐ Vejo claramente o que preciso.
- ☐ Outro

3. Quais **DESVANTAGENS** você experimentou em cada interface.

CAD 2D

- ☐ Tenho experiência com o sistema.
- ☐ Facilidade de orientar/movimentar.
- ☐ Consigo entender melhor o projeto.
- ☐ Vejo claramente o que preciso.
- ☐ Outro

- ☐ Tenho experiência com o sistema.
- ☐ Facilidade de orientar/movimentar.
- ☐ Consigo entender melhor o projeto.
- ☐ Vejo claramente o que preciso.
- ☐ Outro

- ☐ Facilidade de orientar/movimentar.
- ☐ Consigo entender melhor o projeto.
- ☐ Vejo claramente o que preciso.
- ☐ Outro

3D RA

- ☐ Tenho experiência com o sistema.

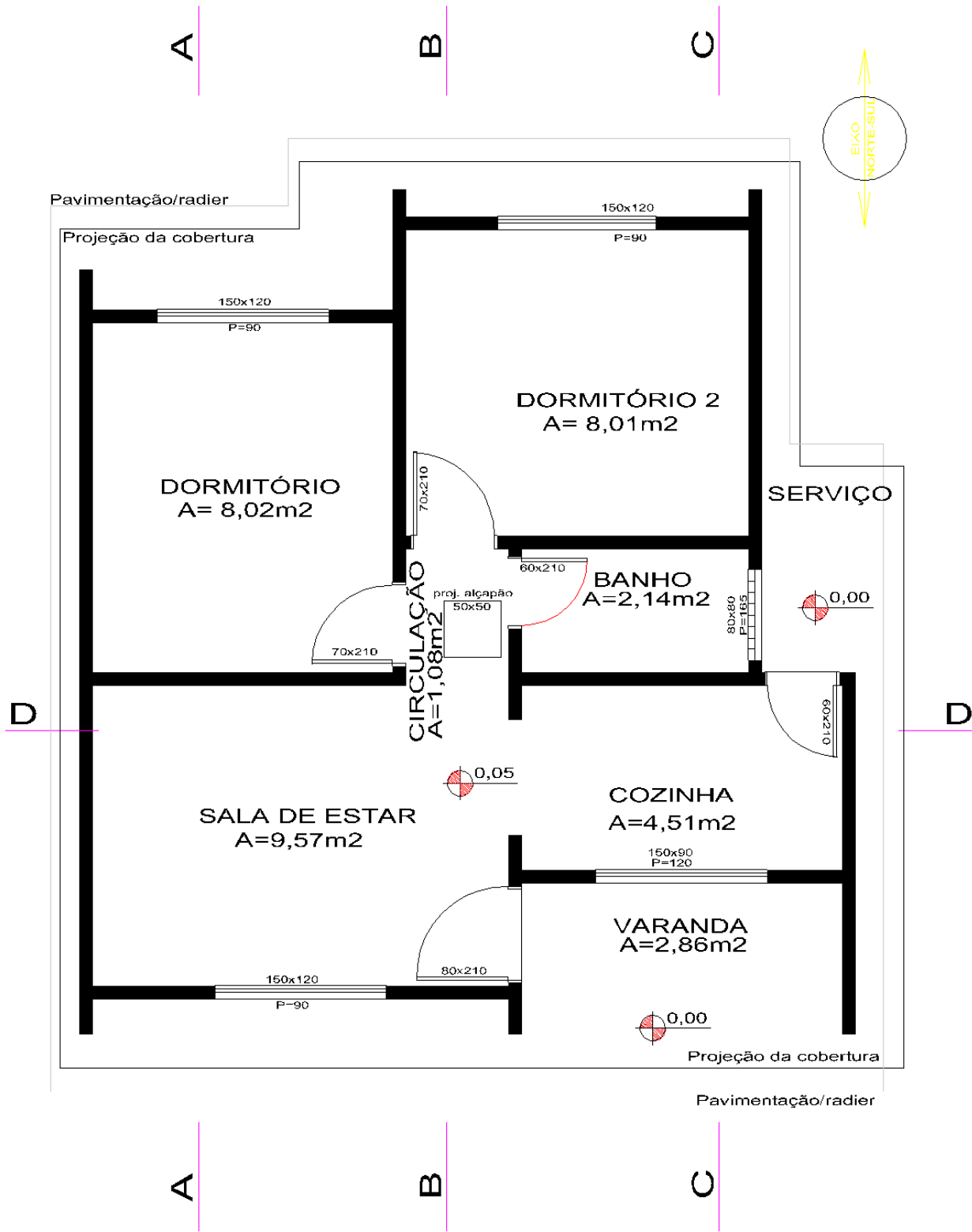
BIM 3D

APÊNDICE H

PROJETO COMPLETO CAD

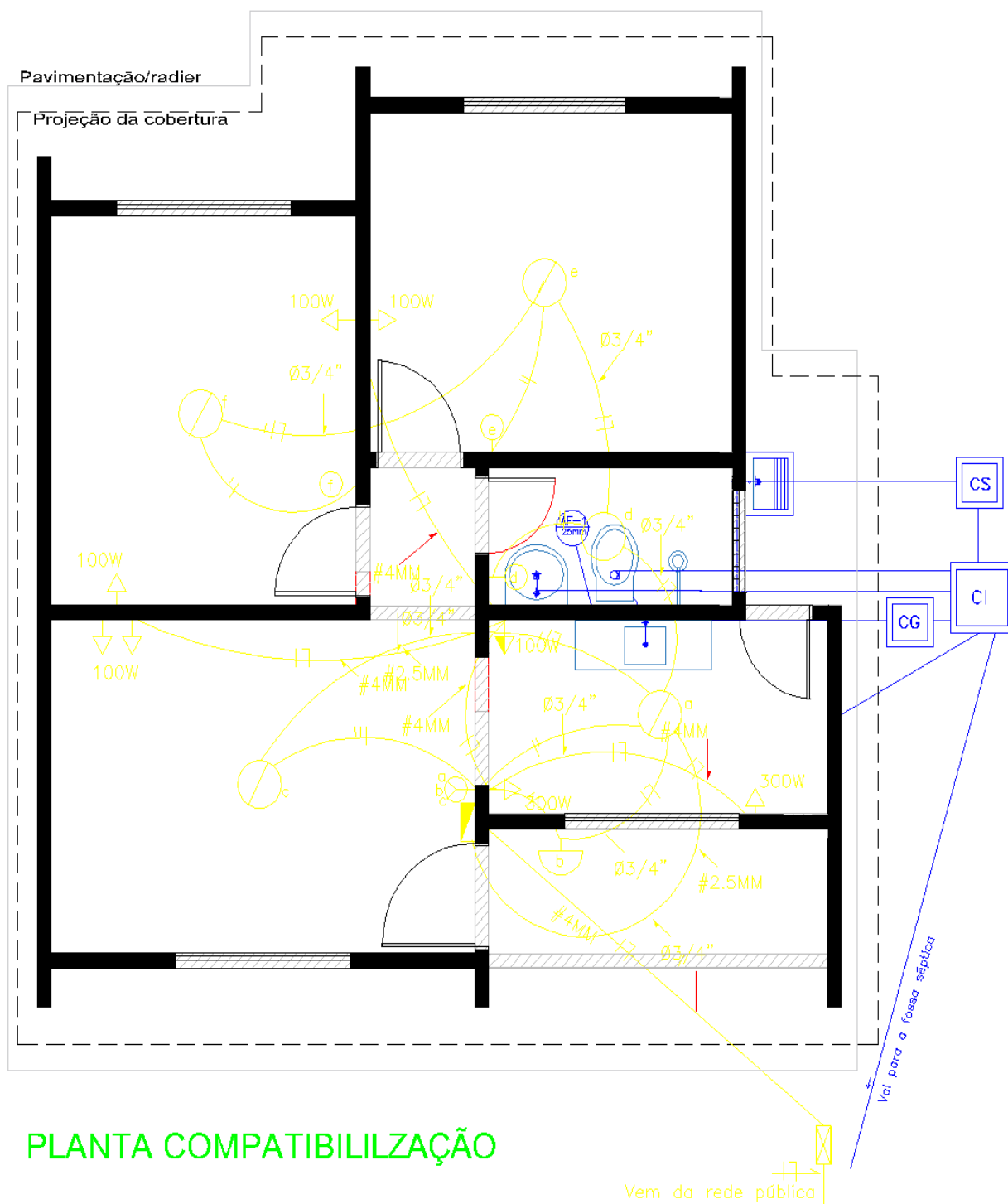


APÊNDICE I
PLANTA BAIXA CAD

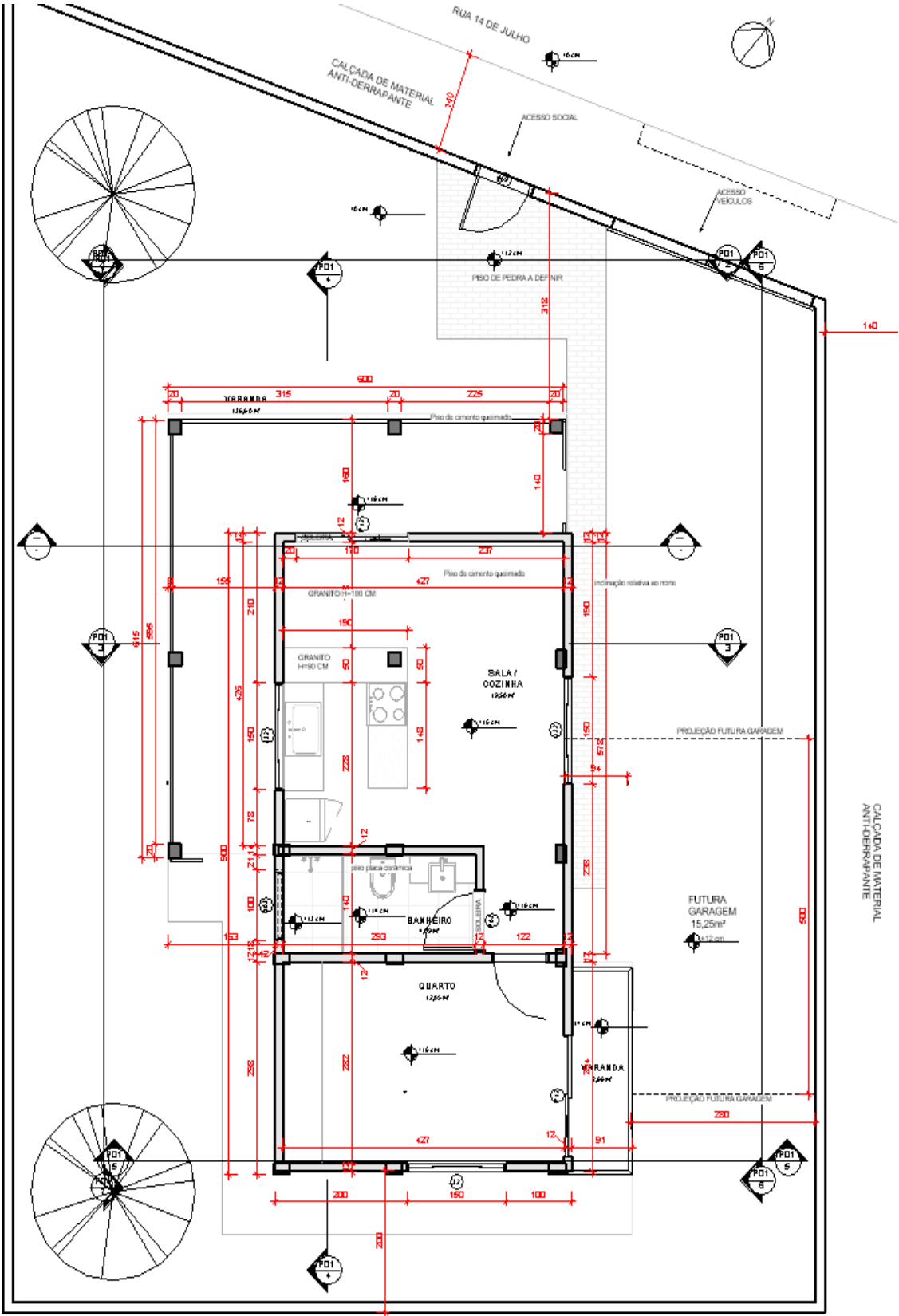


PLANTA BAIXA
CASA 2 DORMITÓRIOS $A = 41,16\text{ m}^2$ Esc.:1:50

APÊNDICE J



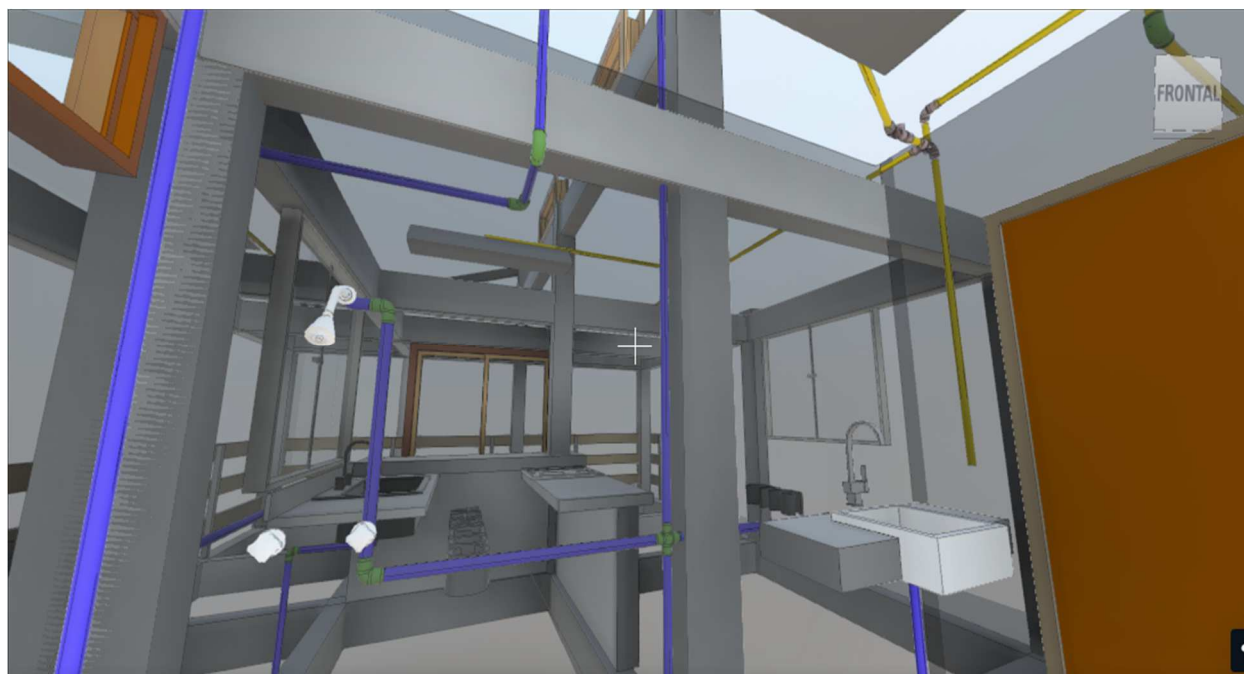
APÊNDICE K
PLANTA BAIXA BIM



PERSPECTIVA BIM

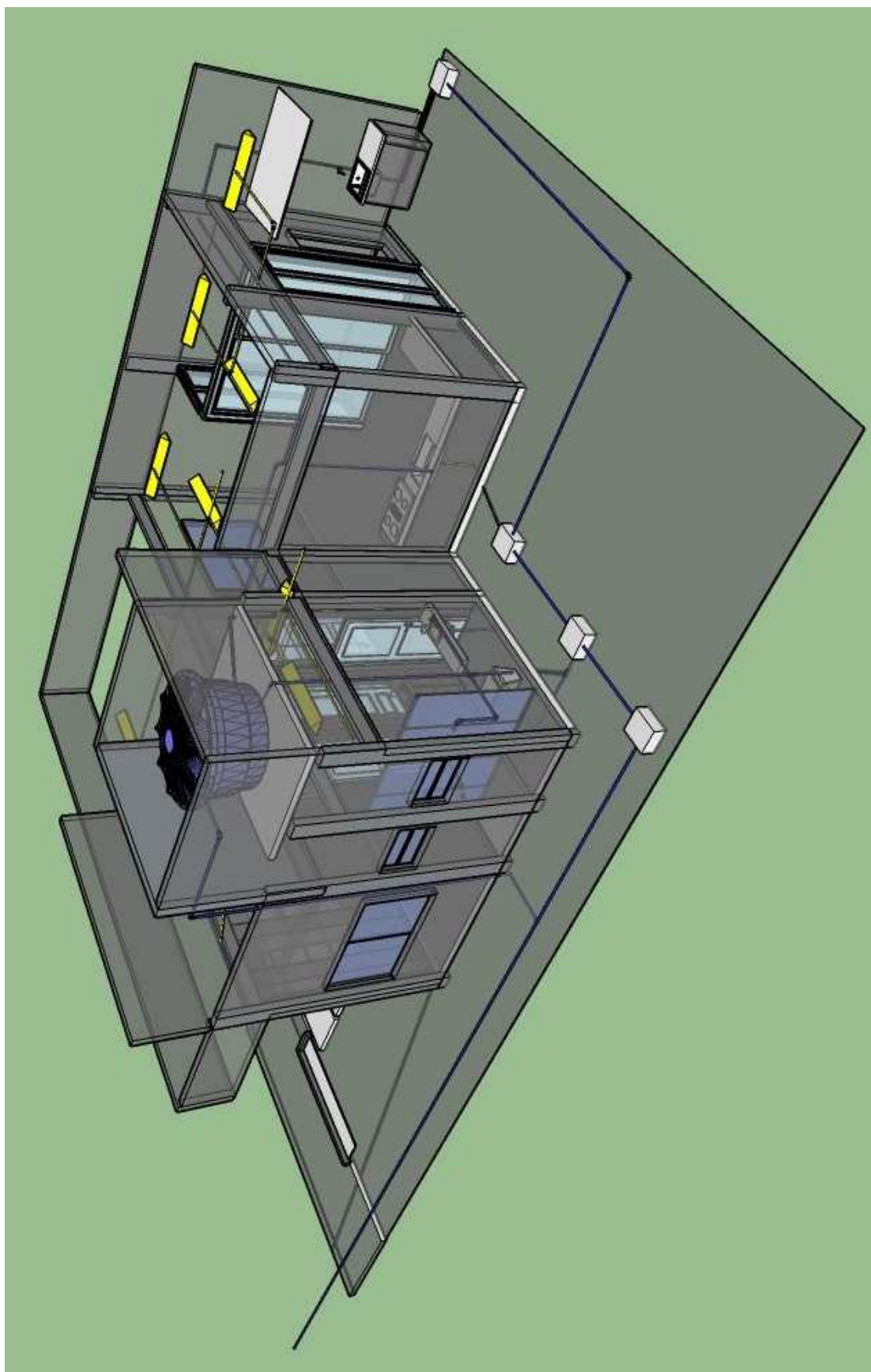


APÊNDICE N VISTA DE 1.ª PESSOA BIM



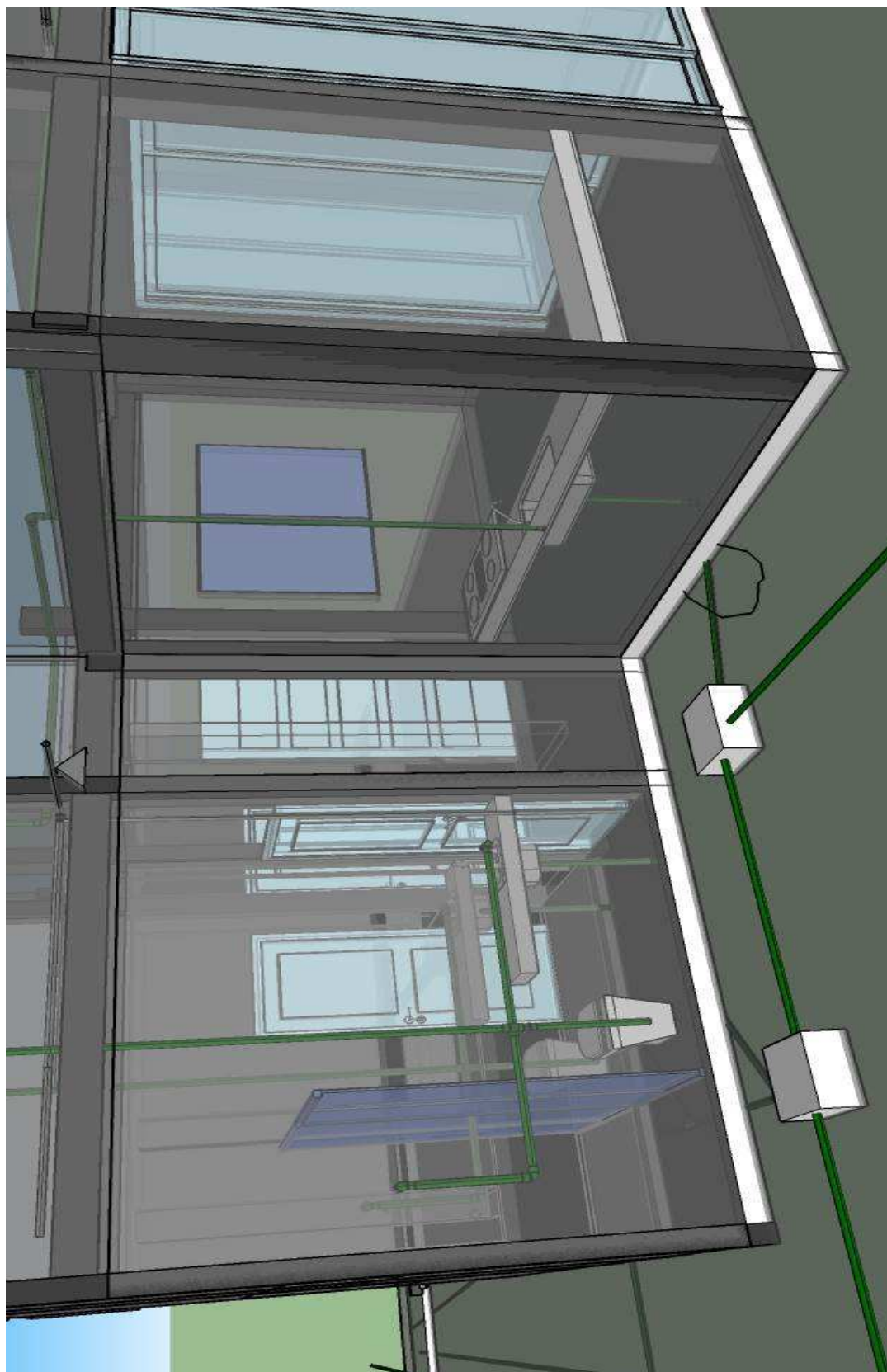
APÊNDICE O

PERSPECTIVA RA



APÊNDICE P

PERSPECTIVA RA



APÊNDICE Q

FOTO INTERFACE EM RA EM FUNCIONAMENTO E ARQUIVO

