

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DAS CONSTRUÇÕES E ESTRUTURAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ALINE BIANCA PINTO PINHEIRO

**ENGENHARIA SIMULTÂNEA X ENGENHARIA SEQUENCIAL: ESTUDO DE
CASO DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM SÃO LUÍS UTILIZANDO A
PLATAFORMA BIM NA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS**

São Luís - MA
2018

ALINE BIANCA PINTO PINHEIRO

**ENGENHARIA SIMULTÂNEA X ENGENHARIA SEQUENCIAL: ESTUDO DE
CASO DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM SÃO LUÍS UTILIZANDO A
PLATAFORMA BIM NA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como parte das exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho

Coorientador: Prof. Esp. Joel de C. Nogueira Diniz

São Luís - MA
2018

Pinheiro, Aline Bianca Pinto.

Engenharia Simultânea x Engenharia Sequencial: estudo de caso de residência unifamiliar em São Luís utilizando a plataforma BIM na compatibilização de projetos / Aline Bianca Pinto Pinheiro. – São Luís, 2018.

81 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho.

1. Engenharia Simultânea. 2. Engenharia Sequencial.
3. Compatibilização. 4. BIM. I. Título.

CDU 624:004(812.1)

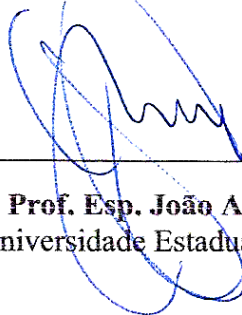
ALINE BIANCA PINTO PINHEIRO

**ENGENHARIA SIMULTÂNEA X ENGENHARIA SEQUENCIAL: ESTUDO DE
CASO DE RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR EM SÃO LUÍS UTILIZANDO A
PLATAFORMA BIM NA COMPATIBILIZAÇÃO DE PROJETOS**

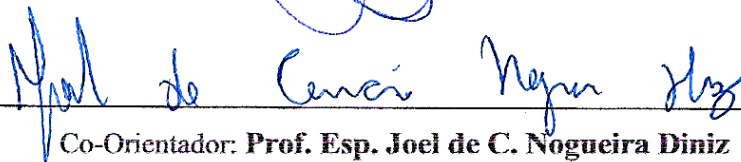
Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como parte das exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 25 / 06 / 2018

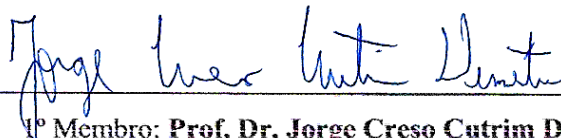
BANCA EXAMINADORA



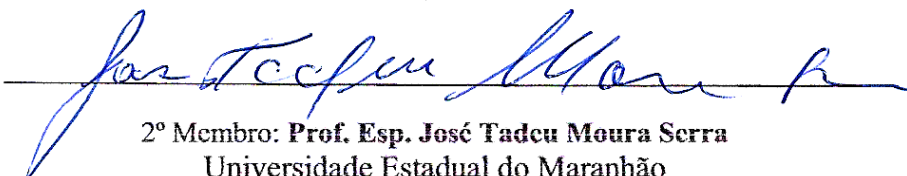
Orientador: **Prof. Esp. João Aureliano de Lima Filho**
Universidade Estadual do Maranhão



Co-Orientador: **Prof. Esp. Joel de C. Nogueira Diniz**
Unidade de Ensino Superior Dom Bosco



1º Membro: **Prof. Dr. Jorge Creso Cutrim Demétrio**
Universidade Estadual do Maranhão



2º Membro: **Prof. Esp. José Tadeu Moura Serra**
Universidade Estadual do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por permitir uma trajetória acadêmica repleta de aprendizado e por sempre me guiar por todas as minhas decisões.

Aos meus pais, Adilson Paulo Pinheiro e Lourimar Monteiro Pinto Pinheiro, pelo exemplo de companheirismo perante aos filhos e pelo apoio incondicional durante todo o meu caminho percorrido. Por tudo que já fizeram e fazem por mim. Por sempre vibrarem nas minhas conquistas e me reerguerem nas minhas derrotas.

Ao meu irmão Adriano Érick Pinto Pinheiro, por quem tenho completa admiração, por todo o apoio durante meus 5 anos de Universidade.

À minha tia Leanne e ao meu tio Ivan por toda a dedicação e empenho para compartilhar seus conhecimentos desde o meu período escolar até o fim da minha graduação.

A Mateus José Brandão, pelo grande companheirismo e incentivo durante grande parte do meu período letivo na graduação e nas conquistas pessoais.

À Marta Helena Brandão, a quem admiro muito, por todo o apoio e carinho que exerceu e exerce sobre mim.

Ao Eng. Antônio José Brandão, profissional o qual eu tenho total admiração e respeito. Fundamental no meu amadurecimento pessoal e profissional para minha carreira como engenheira.

A Rafael Antônio Brandão por realizar a tradução do resumo deste trabalho.

Aos amigos que conquistei na UEMA em especial na turma 2013.2, a qual tive o prazer de conviver e de enfrentar todos os desafios que a Universidade traz. Aos meus amados amigos Júlio Cesar e Victória Guimarães, que, mesmo de longe, torcem por mim e me dão apoio incondicional.

Aos professores do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, a quem devo minha formação acadêmica e meu crescimento intelectual.

Ao meu orientador João Aureliano de Lima Filho e ao meu coorientador Joel de C. Nogueira Diniz, por terem sido fundamentais no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”
Simone de Beauvoir

RESUMO

No atual cenário da construção civil, a crescente demanda pela diminuição do tempo e o aumento da qualidade de produção, tem levado empresas a adotar mudanças de estratégias acerca da elaboração de projetos. Na metodologia da Engenharia Sequencial, tradicionalmente utilizada nos dias atuais, a indústria da construção atua com uma segmentação entre as fases projetuais e de execução, criando uma barreira entre fases obrigatoriamente interdependentes. Esta descontinuidade, acrescida às falhas na organização das informações, dificulta a recuperação de dados e induz profissionais de projetos, gestão e execução a tomarem decisões baseadas em suas intuições e experiências, resultando na falta de coerência e interligação das atividades executadas. Tal fato, causa conflitos e interferências entre os projetos. O seguinte trabalho, propõe a aplicação de uma metodologia conhecida como Engenharia Simultânea no setor da construção civil, através de softwares BIM (*Building Information Modeling*). É realizada uma abordagem sobre a importância do processo de compatibilização de projetos na Engenharia Civil, enfatizando os benefícios dos *softwares* BIM para esta finalidade. A fim de alcançar os resultados almejados, realizou-se pesquisas bibliográficas sobre a E.S e o BIM a respeito de questões relativas aos seus benefícios de utilização no setor da construção civil, para que, então, seja possível contrastar com as limitações que o CAD apresenta. Busca-se ainda uma avaliação mais prática, através de um estudo de caso realizado em uma residência unifamiliar em São Luís, onde os projetos foram modelados no Revit e as principais interferências da construção foram identificadas e previstas utilizando a função *clash detective*, presente no *software* Naviswork. O trabalho expõe a eficiência da elaboração de projetos em programas da plataforma BIM para detecção de interferências, uma vez que, projetos que utilizam essa plataforma, tendem a apresentar maior vantagem competitiva, por fornecerem melhor coordenação e qualidade. A análise foi possível graças à utilização de recursos de identificação automática, permitidos pelas ferramentas BIM, comprovando, assim, sua grande capacidade de automação.

Palavras-chave: Engenharia Simultânea; Engenharia Sequencial; Projeto; Compatibilização; Interferências; BIM.

ABSTRACT

On the current scenario of construction industry, the increasing demand for shorten project schedules and quality improvements of the products has taken the companies to change their project design methods. The Sequential Engineering, which is a project design method widely used nowadays, has each stage of a project being carried out separately, setting a barrier between stages that should be necessarily interdependent. This discontinuity and the flaws in data organization makes it harder to recover and induces engineers to take decisions based on their intuition and previous experiences, resulting in lack of coherence and linkage over conducted activities. This fact causes conflicts and interferences between projects. This work proposes the implementation of a methodology known as Concurrent Engineering on civil construction using a Building Information Modeling software, which concepts lead to time optimization of project design. An approach is taken about the importance of project management using BIM software on civil engineering. To do that, literature searches about Sequential Engineering and BIM were made in order to check limitations of non BIM software such as AutoCAD. A study case of a stand-alone house located in Sao Luis was done using the software Revit to model all the projects involved on the construction, and the clashes between them were checked using the tool *clash detective* present on Naviswork software. This research demonstrates the efficiency of BIM platform to elaborate projects and detect interferences, since projects made in this platform tend to present greater competitive advantage through better coordination and overall quality. The BIM automatic identification features allowed the analyzes to be conducted, proving its automation capacity.

Key words: Simultaneous Engineering; Sequential Engineering; Project; Compatibilization; Interferences; BIM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento ao longo de suas fases	19
Figura 2 - O avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo de falhas do edifício	20
Figura 3 - Furo horizontal em viga para passagem de tubulação sanitária.....	23
Figura 4 - Esquema da abordagem sequencial (over the wall).....	25
Figura 5 - Desenvolvimento sequencial do projeto de uma edificação.....	26
Figura 6 - Configuração de equipe multidisciplinar de projeto.....	31
Figura 7 - Desenvolvimento do projeto na visão da Engenharia Simultânea.....	33
Figura 8 - Desenvolvimento do projeto na visão da Engenharia Sequencial	34
Figura 9 - Processo Sequencial x Processo Simultâneo	35
Figura 10 - Diferença entre BIM e CAD	39
Figura 11 - Casa concebida em CAD 3D	40
Figura 12 - Planta baixa.....	40
Figura 13 - Exemplos de extrações de quantidades realizadas por soluções BIM.....	41
Figura 14 - Teste (Hard Clash) de conflitos entre projetos no Naviswork.....	48
Figura 15 - Projeto Arquitetônico.....	51
Figura 16 - Projeto da Cobertura	52
Figura 17 - Projeto de Fundação Estrutural (Vigas Baldrame)	52
Figura 18 - Projeto de Fundação Estrutural (Locação de Sapatas).....	53
Figura 19 - Projeto Estrutural (Laje, Vigas e Pilares)	53
Figura 20 - Projeto Sanitário	54
Figura 21 - Projeto Elétrico	54
Figura 22 - Exemplo de famílias de alvenarias e suas variações.....	56
Figura 23 - Exemplo de modificação de materiais constituintes de uma alvenaria	56
Figura 24 - Fachada da residência em Revit.....	57
Figura 25 - Fachada lateral da residência em Revit.....	57
Figura 26 - Projeto Estrutural elaborado em Revit.....	58
Figura 27 - Projeto de instalações elétricas elaborado em Revit.....	58
Figura 28 - Reunião no Naviswork de todos os projetos modelados	59
Figura 29 - Esquema para análise das interferências.....	61
Figura 30 - Interferência detectada entre viga baldrame estrutural x tubulação sanitária	62

Figura 31 - Interferência entre viga baldrame x tubulação sanitária detectada em obra	63
Figura 32 - Desvio de caminho da tubulação sanitária.....	63
Figura 33 - Primeira interferência detectada entre pilar x eletroduto e interruptor.....	64
Figura 34 - Momento da verificação da interferência do pilar e do interruptor na obra	65
Figura 35 - Segunda interferência detectada entre pilar x eletroduto, interruptor e tomada	66
Figura 36 - Quebra do pilar	66
Figura 37 - Nova locação do interruptor	67
Figura 38 - Problema de compatibilização de tomada x tubulação hidráulica.....	68
Figura 39 - Incompatibilidade de Projeto Hidráulico x Projeto Elétrico.....	69
Figura 40 - Solução encontrada para contornar o problema.....	69
Figura 41 - Conflito entre madeiramento do telhado e tubulação de águas pluviais.....	70
Figura 42 - Situação do conflito gerado na obra	70
Figura 43 - Resultado do preenchimento do pilar para relocação da tubulação.....	71
Figura 44 - Interferências por disciplinas confrontadas	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Apropriação dos conceitos da Engenharia Simultânea	32
Quadro 2 – Definições de BIM.....	37
Quadro 3 – Limitações das representações 2D.....	46
Quadro 4 – Softwares BIM das 4 empresas mais divulgadas na área	49
Quadro 5 – Ambientes constituintes da residência unifamiliar	50
Quadro 6 – Resumo das interferências encontradas	72

LISTA DE SIGLAS

2D - Duas dimensões

3D - Três dimensões

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

BIM - *Building Information Modeling*

CAD - *Computer-Aided Design*

CBIC - Câmara Brasileira da Indústria da Construção

DARPA - *Defense Advanced Research Projects Agency*

ES - Engenharia Simultânea

IFC - *Industry Foundation Classes*

NBR - Norma Brasileira

SINDUSCON-PR - Sindicato da indústria da Construção Civil do Paraná

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

UEMA - Universidade Estadual do Maranhão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	15
2	OBJETIVO	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	METODOLOGIA.....	16
4	O PROJETO	17
4.1	O projeto na construção civil.....	17
4.1.1	Definição de Projeto	18
4.1.2	A importância do projeto no processo construtivo	18
4.2	Compatibilização de projetos	22
5	ENGENHARIA SIMULTÂNEA E ENGENHARIA SEQUENCIAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL	24
5.1	Engenharia Sequencial.....	25
5.1.1	Definição	25
5.1.2	Características.....	25
5.2	Engenharia Simultânea.....	27
5.2.1	Histórico	27
5.2.2	Definição	27
5.2.3	Objetivos.....	29
5.2.3.1	Antecipação de fases e decisões	29
5.2.3.2	Simultaneidade das atividades	30
5.2.3.3	Multidisciplinaridade.....	30
5.2.4	Critérios de aplicação	31
5.3	Engenharia Simultânea x Engenharia Sequencial	32
6	BIM (Building Information Modeling).....	36
6.1	Definição	36
6.2	Benefícios de utilização	38
6.2.1	Visualização em 3D do que está sendo projetado	38
6.2.2	O ensaio da obra no computador	40
6.2.3	Extração automática dos quantitativos de um projeto	41
6.2.4	Identificação automática de interferências	42
6.2.5	Interoperabilidade.....	42
6.2.6	Integração entre programas e exportação de dados	43

6.3	Dificuldades de implementação	43
6.4	Deteção de interferências com BIM e CAD 2D	45
6.4.1	CAD 2D para compatibilização.....	45
6.4.2	Detectando interferências com BIM.....	47
6.5	Softwares da plataforma	48
7	ESTUDO DE CASO	49
7.1	Características da obra	50
7.2	Caracterização dos projetos	51
7.2.1	Arquitetônico	51
7.2.2	Estrutural	52
7.2.3	Projeto de Instalações Hidrossanitária e Elétrica	54
7.3	Softwares utilizados	55
7.3.1	Revit	55
7.3.2	Naviswork.....	59
7.4	O processo de compatibilização	60
7.5	Identificação e estudo das interferências no modelo	61
7.5.1	Caso 1: Interferência entre Projeto Estrutural e Instalação Sanitária	61
7.5.2	Caso 2: Interferência entre Projeto Elétrico e Projeto Estrutural	64
7.5.3	Caso 3: Interferência entre Instalação Elétrica e Instalação Hidráulica	68
7.5.4	Caso 4: Interferência entre Arquitetura x Instalação de águas pluviais	69
7.6	Análise dos resultados	71
8	CONCLUSÃO	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77

1 INTRODUÇÃO

A performance das construções executadas na área da Engenharia Civil, é consequência do modelo gerencial de organização e de execução adotados em obras de edificações. Reflexos negativos nos processos surgem devido à falta de planejamento, incompatibilidade de projetos, erros na confecção destes e, por vezes, pressões para entrega de um empreendimento. De acordo com Franco e Agopyan (1993), muitas medidas de controle de qualidade dependem de uma concretização e definição na fase da concepção dos projetos, sendo assim, não é possível controlar uma atividade se as suas características não se encontram perfeitamente definidas.

A complexidade dos processos construtivos resulta na crescente demanda de tempo para desenvolvimento e conclusão do produto. Para o aumento do nível de eficiência perante à situação de produção em tempos cada vez mais curtos, empresas buscaram antecipar o início de atividades que, anteriormente, dependiam da conclusão das demais etapas. Elevou-se assim o grau de paralelismo das atividades de desenvolvimento para garantir melhor eficiência de produção (PEDRINI, 2012). O modelo linear da tradicional Engenharia Sequencial utilizado para desenvolvimento de produtos, começa a dar espaço para a metodologia da Engenharia Simultânea na indústria, pontualmente na construção civil, a partir da necessidade de maior rapidez e desempenho na confecção de projetos.

O sistema BIM por sua vez, possibilita esse trabalho simultâneo de troca de informações entre profissionais parceiros na prática de projeto de edificações reunindo *softwares* que permitem que os usuários promovam a construção de uma edificação de maneira virtual, ou seja, antes mesmo de ser construído. Eles apresentam uma nova forma de visualização de projetos aliado à gestão de informação, evitando assim, erros e o retrabalho de muitos serviços executados por incompatibilidade de projetos.

De acordo com Peixoto (2013), “o retrabalho surge de uma operação mal executada e que, só depois dela iniciada, é que se percebem os equívocos”. Com a ausência do uso de programas da plataforma BIM, ações que deveriam ser previstas e evitadas, passam despercebidas e, conseqüentemente, afetam diretamente um importante fator: o tempo.

Projetos realizados em 3D criam uma atmosfera capaz de analisar um ambiente virtual em 3 dimensões, possibilitando um entendimento maior a respeito da futura edificação. O uso da tecnologia BIM aliado a um bom planejamento, mostra como realizar mais ações com menos tempo e com melhores resultados, trazendo consigo a capacidade de aliar compatibilização de projetos com a antecipação de resultados das etapas de execução do

empreendimento, possibilitando previsão de falhas e a oportunidade de cada equipe de projeto poder alterar apenas seu escopo.

A plataforma BIM é uma tecnologia com potencial para aperfeiçoar a comunicação entre parceiros de negócio, melhorar a qualidade da informação disponível para a tomada de decisões e dos serviços entregues e reduzir os prazos e os custos em cada etapa do ciclo de vida do edifício. (MANZIONE, Leonardo, 2015)

Ela torna possível incorporar ao modelo, informações sobre cronograma, sequência de obra e fases de implantação.

A recorrente falta de comunicação entre os projetos e a sua execução, leva à procura de métodos capazes de minimizar erros, aumentando a compatibilização dos processos e criando um espaço para certezas, evitando interpretações errôneas acerca do projeto. Rodrigues e Heineck (2001) destacam que a compatibilização deve acontecer nas etapas dos estudos preliminares, anteprojeto, projetos legais e projeto executivo, verificando a integração geral dos projetos até as verificações de interferências geométricas.

1.1 Justificativa

Os modelos de projetos analisados em CAD apresentam uma representação planificada da construção passível a interpretações errôneas. Por sua vez, programa CAD é uma tecnologia computadorizada com foco no desenho do produto e na documentação da fase de projeto. No que diz respeito ao setor da construção, as decisões em empreendimentos complexos são tomadas com precariedade de informações, resultando em oportunidades perdidas e em efeitos indesejados para o funcionamento da obra. A plataforma BIM, traz consigo um maior poder de armazenamento de informações de projeto, oferecendo mecanismos necessários para o seu controle antes e durante a construção.

O seguinte trabalho visa demonstrar as diferenças associadas ao uso da tradicional metodologia da Engenharia Sequencial com a metodologia aplicada à Engenharia Simultânea, mostrando os benefícios de utilização dos *softwares* BIM na compatibilização de projetos de forma a minimizar dificuldades encontradas na sua confecção. O estudo de caso realizado, permite avaliar e comparar os diferentes cenários de planos de ataque e programações de serviços. Antes da execução, por exemplo, permite verificar incompatibilidades com possíveis riscos e, durante a execução, permite controlar melhor suas etapas construtivas.

Para implantação desta tecnologia, faz-se necessária uma transição do sistema de informação tradicional (CAD) para o BIM. Em construções de grande porte, feitas por grandes empresas, já se nota a presença dos principais itens relacionados à Engenharia Simultânea, mas

em obras de pequeno porte, observa-se que os métodos de trabalho não acompanham a tecnologia disponível, refletindo em desperdícios de tempo e dinheiro.

Segundo Ellis (1992) “Engenharia Simultânea é um ambiente de desenvolvimento no qual a tecnologia de projeto auxiliado por computador é utilizada para melhorar a qualidade do produto, não somente durante o desenvolvimento, mas em todo ciclo de vida”.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Aplicar a metodologia da Engenharia Simultânea através dos *softwares* BIM para compatibilização de projetos.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar pesquisas acerca dos benefícios da metodologia da Engenharia Simultânea e da utilização da tecnologia BIM.
- Avaliar in loco as etapas construtivas de uma obra residencial unifamiliar na cidade de São Luís, analisando possíveis falhas ou inexistência de compatibilidade de projeto.
- Realizar a modelagem dos projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico utilizando o *software* Revit, da Autodesk, e compatibiliza-los no *software* Naviswork, também da Autodesk.
- Comparar os resultados e interferências obtidos utilizando a metodologia da Engenharia Simultânea com o que foi executado em obra com o uso do AutoCAD, derivada da Engenharia Sequencial.

3 METODOLOGIA

Com o intuito de demonstrar e comprovar os resultados, focando na contribuição dos conceitos da Engenharia Simultânea para melhoria do desenvolvimento de projetos, avaliou-se a capacidade de desempenho dos programas da plataforma BIM no que se refere à compatibilização de projetos por meio de um estudo de caso.

O conteúdo proposto utiliza um modelo de pesquisa voltado para análise de incompatibilidade de projetos durante a execução de uma casa, e apresenta a viabilidade de previsão de falhas por meio de *softwares* da plataforma BIM (*Building Information Modeling*).

Inicialmente, o capítulo 4 deste trabalho aborda uma revisão bibliográfica sobre a importância da elaboração de bons projetos, assim como a importância da compatibilização para a qualidade dos projetos e das construções. Do mesmo modo, o capítulo 5 apresenta uma revisão bibliográfica a respeito dos conceitos e aplicações da metodologia da Engenharia Simultânea, elaborando um comparativo com a Engenharia Sequencial. Nas pesquisas foram utilizados livros, artigos científicos, revistas eletrônicas, dissertações de mestrado, doutorado e monografias de graduação.

No capítulo 6, foi feita uma abordagem sobre os conceitos gerais do BIM e suas aplicações práticas para a construção civil, demonstrando os seus benefícios de utilização, assim como as dificuldades de sua implementação no mercado construtivo. Alguns dos *softwares* existentes na plataforma foram citados e suas principais características foram expostas.

Após as pesquisas descritas, o estudo de caso elaborado, presente no capítulo 7, disserta sobre a construção de uma residência unifamiliar de um pavimento na cidade de São Luís, com o intuito de aplicar as ferramentas BIM para compatibilização de projetos de um modelo real. Desse modo, criou-se um ambiente que disponibiliza objetos de comparações entre os métodos sequencial e simultâneo.

O trabalho vem acompanhado de modelagens de projetos realizados no programa Revit, da Autodesk, como ferramenta de utilização para análise visual da edificação. Serão modelados os projetos arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico para fins de análise de resultados.

Após as modelagens, a próxima etapa consiste na identificação das interferências do modelo. Visando otimizar o processo de identificação, foram criadas seleções de objetos a serem confrontados no modelo. As interferências foram identificadas através de testes de conflito (*clash detection*) utilizando recursos do Naviswork, *software* também da Autodesk. Os testes foram feitos checando elementos dos projetos arquitetônico, estrutural e de instalações (hidrossanitária e elétrica), como já dito anteriormente.

Sendo assim, serão analisados os prós e os contras acerca da plataforma, fazendo um comparativo entre a Engenharia Sequencial utilizada tradicionalmente em obras, com a metodologia da Engenharia Simultânea utilizando a plataforma BIM.

4 O PROJETO

4.1 O projeto na construção civil

4.1.1 Definição de Projeto

Segundo Novaes (2001), existem dois tipos de conceitos para projeto: estático e dinâmico. O conceito estático, “refere o projeto como um produto, constituído por elementos gráficos e descritivos, elaborados de acordo com linguagem apropriada, destinado a atender às necessidades da etapa de produção”. O conceito de projeto dinâmico, “confere ao projeto um sentido de processo, através do qual as soluções são elaboradas e necessitam ser compatibilizadas”.

A NBR 13.531 (ABNT, 1995, p.2) adota a definição de elaboração de projeto de edificação como:

Determinação e representação prévias dos atributos funcionais, formais e técnicos de elementos de edificação a construir, a pré-fabricar, a montar, a ampliar, a reduzir, a modificar ou a recuperar, abrangendo ambientes exteriores e interiores e os projetos de elementos da edificação e das instalações prediais.

Para Cambiaghi (1994), o termo projetar significa antecipar graficamente aquilo que será executado, representando um instrumento capaz de permitir simulações e testes de diferentes ideias e sistemas construtivos, para poder, então, escolher aqueles que apresentem resultados mais eficientes para cada caso.

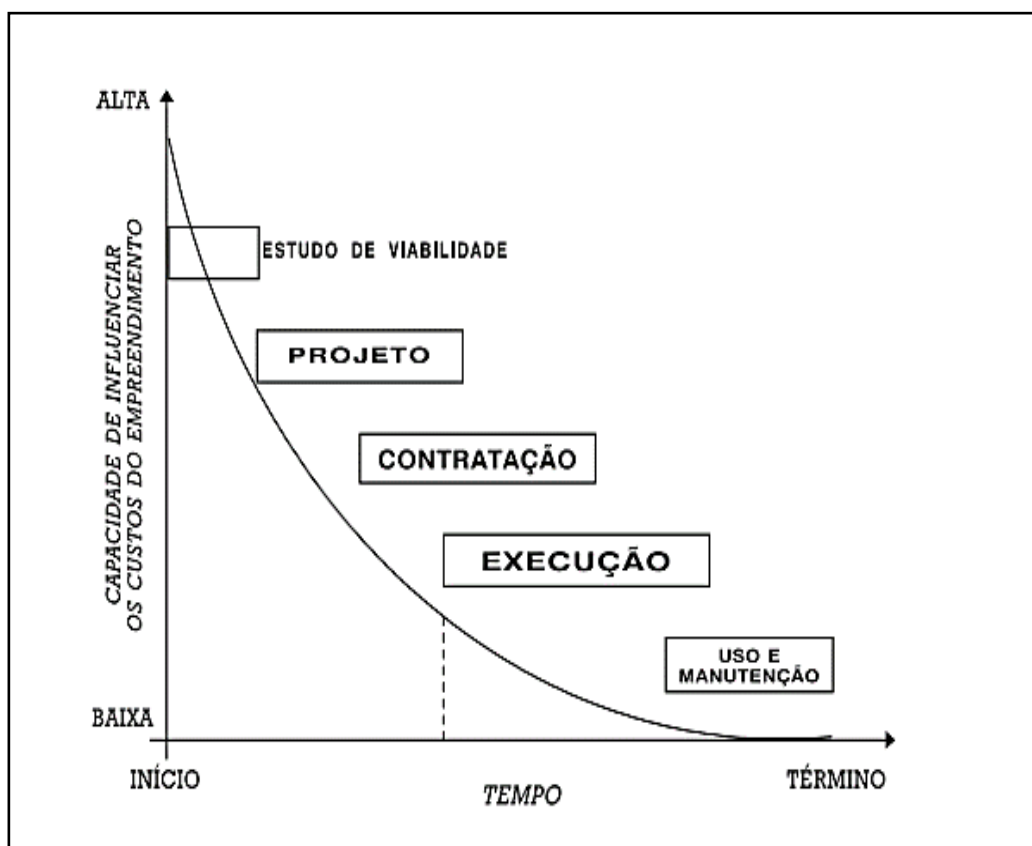
Existem diversas definições para demonstrar o que o projeto representa na indústria da construção civil, porém, todos convergem para o mesmo sentido: apresentar os melhores resultados possíveis e as melhores formas de lidar com as diversas situações existentes. Fica claro então que o projeto tem importância fundamental no processo de construção, onde configura previamente toda a estrutura física da edificação, a partir das necessidades do cliente, criando e verificando situações através do qual as soluções são definidas.

4.1.2 A importância do projeto no processo construtivo

O projeto prevê e direciona como, quando e por quem as operações serão realizadas. Com o estudo dos projetos da obra, as previsões são mais precisas, o processo pode ser otimizado, e o bom resultado tem maior garantia. Segundo dados apresentados por Helene; Souza (1988), provenientes de levantamentos realizados em vários países da Europa, a maior parte dos problemas patológicos na construção civil têm origem na etapa de projeto, variando de 36% a 49%.

Imprevistos não podem ser antecipados quando se está no meio da execução de um empreendimento, porém os seus efeitos podem ser atenuados quando são sintetizados um bom planejamento e um bom projeto para uma obra. O gerenciamento permite uma avaliação correta das etapas de execução, tecnologias e equipamentos empregados, produtividade e, a cada passo, a avaliação do impacto no custo orçado, fazendo com que os gastos não saiam de controle. Com isso, pode-se garantir que a obra, na fase de execução, mantenha um bom ritmo e sem situações desnecessárias, já que tudo foi planejado com antecedência, afim de evitar os imprevistos que sempre encarecem os custos e impactam negativamente nos prazos.

Figura 1 - Capacidade de influenciar o custo final de um empreendimento ao longo de suas fases



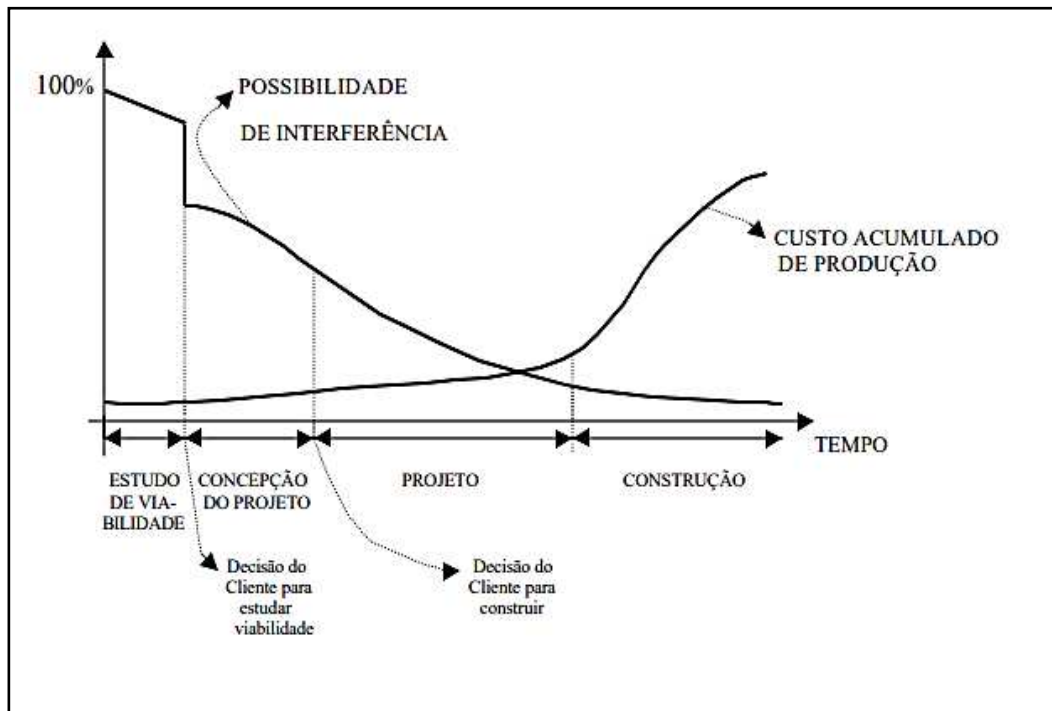
Fonte: *Construction Industry Institute* (CII), 1987 (apud MELHADO; AGOPYAN, 1995, p. 4)

A figura 1 representa considerações feitas pelo grupo *Construction Industry Institute – CII* (apud MELHADO; AGOPYAN, 1995, p. 4), onde demonstram que as primeiras fases de viabilidade e análise de um projeto são as mais críticas. Nestas fases iniciais, as decisões tomadas são as que têm maior capacidade de influenciar o custo final da obra.

Os pesquisadores suecos Hammarlund & Josephson (1992) também destacaram a importância das fases iniciais do empreendimento por meio de um estudo, apresentado na figura 2, no qual as fases iniciais influenciam nas chances de reduzir os custos acumulados de

produção. O gráfico traz também que as etapas de concepção e de projeto representam um custo pouco significativo quando comparado ao custo acumulado da produção, ao passo que nesta fase a possibilidade de interferência, aprimorando o produto resultante, ainda é bastante elevada.

Figura 2 - O avanço do empreendimento em relação à chance de reduzir o custo de falhas do edifício



Fonte: Hammarlund; Josephson (1992)

Fabrício (2002) afirma que o projeto tem seu desenvolvimento “[...] a partir da sucessão de diferentes etapas em níveis crescente de detalhamento, de forma que, a liberdade de decisões entre alternativas, vai sendo substituída pelo amadurecimento e desenvolvimento das soluções adotadas”.

A deficiência da coleta de informações prévias e sistemáticas dos ambientes construídos, resulta no distanciamento entre causas e consequências, perdendo-se assim, o controle da qualidade do processo (OENSTEIN, 1992). No decorrer do desenvolvimento de um empreendimento lançado no mercado após o projeto de arquitetura ser aprovado, por exemplo, seu lançamento é realizado separadamente do desenvolvimento dos projetos (FABRÍCIO, 2002). O resultado disso, segundo o autor, é que “[...] a atuação dos diversos projetistas envolvidos no processo não ocorre de maneira conjunta e o projeto é elaborado sem a efetiva contribuição de todos os participantes ao longo das diferentes etapas do processo de projeto”.

Muitas pesquisas demonstram que os erros ocasionados por falhas de projeto fazem parte da rotina da maioria das construtoras e, normalmente, só são descobertos durante a execução da obra. Oliveira; Altíssimo; Denardin (2001) mostram que no Brasil 52% das falhas na construção civil se relacionam a erros de execução e, os 48% restantes, se dividem em problemas com projeto e na qualidade do material bem como na má utilização dos equipamentos e dos edifícios. Estes dados deixam evidentes as falhas existentes no processo produtivo da construção e apontam para a importância e a necessidade do setor em tentar melhorar a qualidade das edificações brasileiras.

De acordo com Nascimento; Macedo (2001), para a sobrevivência de uma empresa no mercado competitivo, torna-se imperativo a necessidade urgente de eliminar desperdícios a fim de que produtos/serviços tenham baixo custo e o mais elevado nível de qualidade. Cambiaghi (1994 *apud* NASCIMENTO & MACEDO ,2001) afirma que o desperdício pode representar de 25% a 30% do custo da obra. A falta de projetos adequados e, principalmente, de planejamento, contribui com 70% deste problema, provocando erros, falhas e retrabalho.

Baía (1998), realizou estudos de caso em empresas de arquitetura que avaliariam as etapas de desenvolvimento, controle e coordenação de projeto. Sendo assim, foi possível constatar algumas dificuldades com relação à implantação do fluxo do processo de projeto proposto:

- Baixo grau de compromisso dos profissionais e empresas de arquitetura com a estratégia e metas dos contratantes (custos, prazos, atendimento ao usuário final).
- Excesso de retrabalho no processo de desenvolvimento do projeto, em função de alterações por parte do contratante e da falta de integração entre os diversos agentes participantes;
- O controle de qualidade durante o processo de projeto é incipiente; sendo ainda necessário o desenvolvimento de procedimentos de controle eficazes, de fácil utilização que sirvam de base para tomadas de decisões nos projetos futuros e em andamento;
- Não existe uma troca sistemática de informações entre o escritório de projeto e a obra, não promovendo assim a aplicação dos princípios de racionalização e construtibilidade desde a etapa inicial do processo de projeto;
- Ausência de coordenação do processo de projeto do edifício, ou seja, não há um trabalho conjunto entre a construtora, os demais projetistas e o escritório de arquitetura durante o processo de projeto do edifício.

Todos os fatores acima citados, com relação ao processo de projeto do edifício, contribuem para uma falta da qualidade do projeto como um todo, pois esse é desenvolvido sem uma visão sistêmica. Para que esses fatores sejam minimizados, é necessário destacar a importância do comprometimento e motivação de toda a empresa, alta gerência e funcionários, para o desenvolvimento e manutenção de um sistema de gestão da qualidade.

Um planejamento bem elaborado de um projeto é a atividade fundamental para o sucesso de qualquer empreendimento tanto no início quanto durante todo o período da obra, pois assegura uma probabilidade favorável com relação aos resultados esperados.

Pode-se então perceber que, para um bom desempenho de um projeto de engenharia, é necessária uma análise de todos os fatores que o antecedem e o maior índice de coleta de informações possível para verificar a compatibilidade de todos os projetos envolvidos e, se possível, simular o projeto antes dele ser colocado em prática.

4.2 Compatibilização de projetos

O ato de compatibilizar projetos significa verificar se os componentes dos sistemas ocupam espaços conflitantes entre si, compartilhando dados com segurança e confiabilidade até que os projetos estejam finalizados (GRAZIANO, 2003).

SEBRAE / SINDUSCON – PR (1995, *apud* PETRUCCI JR., 2003, p. 34) define compatibilização de projetos como:

[...] é a atividade de gerenciar e integrar projetos correlatos, visando o perfeito ajuste entre os mesmos e conduzindo para a obtenção dos padrões de controle de qualidade total de determinada obra. Sendo que seu objetivo é eliminar ou minimizar os conflitos entre os projetos inerentes à determinada obra, simplificando a execução e otimizando a utilização de materiais e da mão de obra bem como a subsequente manutenção.

A compatibilização minimiza os conflitos existentes para que a execução seja simplificada e otimizada, fazendo com que os materiais e o tempo de construção tenham maior nível de aproveitamento. A compatibilização de projetos deve, portanto, ir além da verificação de interferências físicas. É necessário analisar globalmente a eficiência e relações como a de custo-benefício das soluções.

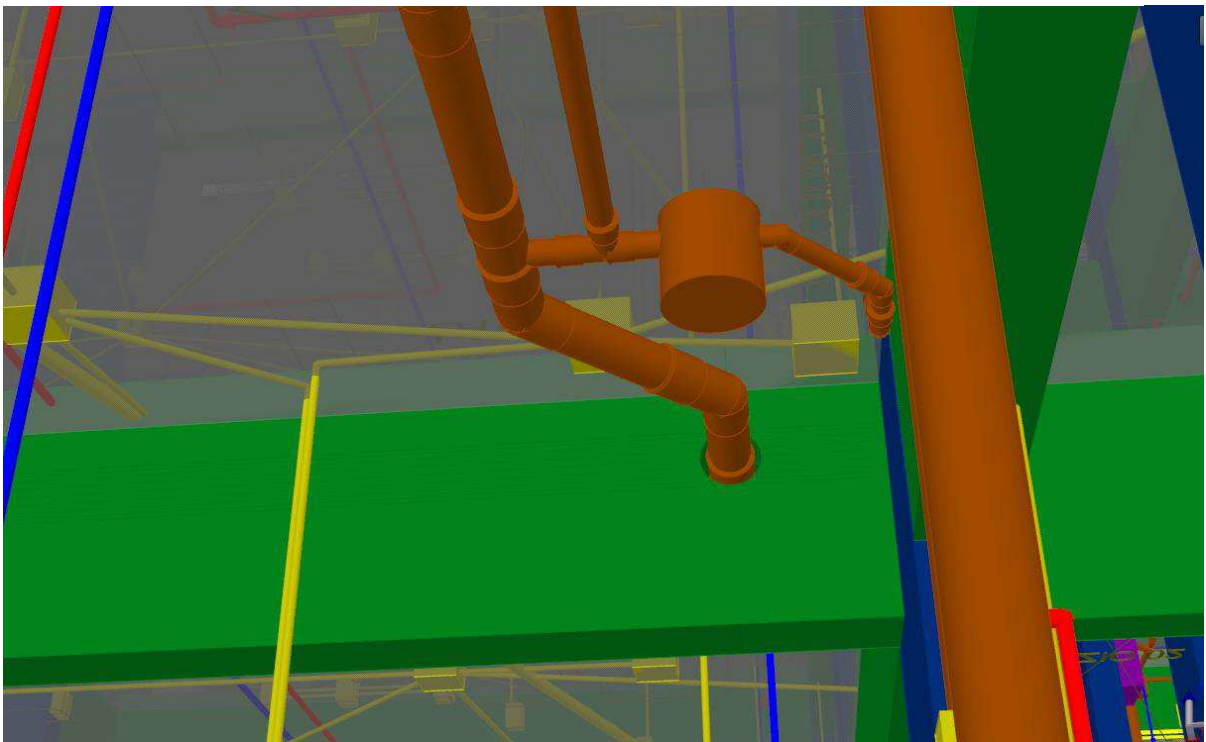
O processo tradicional de projetar é caracterizado por uma forma sequencial de elaboração, baseado em representações bidimensionais, onde muitas vezes as equipes trabalham de forma isolada, sem uma maior interação entre os projetistas. Segundo Melhado et al. (2005), esse arranjo tradicional foca a delimitação das características do produto-edifício, e dá pouca ênfase ao papel do projeto como ferramenta para auxílio na condução das atividades

construtivas. Isso acaba gerando uma lacuna entre os que projetam e os que concebem a construção, levando às incompatibilidades, erros diversos de projetos, falta de detalhes relativos à construção, dentre outros problemas.

Há situações em que a deficiência de análise de compatibilidade de projetos causa patologias na obra. O surgimento de problemas ou manifestações patológicas podem ter origem em quaisquer das etapas de produção e/ou utilização das edificações, relacionando-se diretamente ao nível de controle de qualidade exercido em cada uma dessas etapas e da compatibilidade entre as mesmas (IOSHIMOTO, 1988). Existem diversos casos em que a falta de atenção nos projetos para verificação de interferências causa transtornos na hora da execução.

Chippari (2014) cita um exemplo de interferência que relata uma tubulação de projeto sanitário se chocando com uma viga de concreto de um projeto estrutural, assim como o exemplo mostrado na figura 3. Caso o fato tivesse ocorrido na fase de projeto, seria possível realizar alterações sem dificuldades, porém, se a falha ocorre no processo construtivo, a situação se torna mais complicada de ser resolvida pelo nível de complexidade da interferência. Em algumas situações não é possível realizar uma abertura na estrutura após a concretagem, por isso, deve-se alterar o projeto de instalação e adapta-lo de forma a sanar o problema, fato que gera atrasos e aumento de custos.

Figura 3 - Furo horizontal em viga para passagem de tubulação sanitária



Fonte: KIRSTEN, 2017

Com a segregação do trabalho existente no processo de produção de projetos, uma razão que justifica a compatibilização, para diversos autores, é o caráter multidisciplinar do processo, ou seja, o grande número de pessoas envolvidas, resulta na dificuldade da troca de informações e de coordenação.

Normalmente, os projetos são elaborados em diversos escritórios com diferentes especialidades reféns de informações de terceiros para realiza-los. Os projetos individuais desenvolvidos por cada escritório precisam ser continuamente articulados por uma equipe de coordenação, e isso se torna especialmente difícil quando essa articulação ocorre somente ao final das contribuições individuais (GEHBAUER; ORTEGA, 2006).

A análise de inconformidades entre os projetos, promove benefícios para o processo de entendimento através de sua adaptação, onde possíveis ações são tomadas buscando aperfeiçoamento e melhoria tanto na qualidade do projeto quanto na execução da obra.

Para este trabalho, a compatibilização é entendida como a atividade que visa identificar e eliminar possíveis erros e interferências físicas entre subsistemas de um mesmo projeto. O foco principal está na solução de incompatibilidades, já que elas são um problema recorrente na construção civil brasileira e que geram problemas qualitativos nas obras.

5 ENGENHARIA SIMULTÂNEA E ENGENHARIA SEQUENCIAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O processo de uma construção geralmente é abordado de maneira fragmentada devido à crescente complexidade do ambiente da construção civil, que exige profissionais cada vez mais especializados. A eficácia do projeto é afetada, pois, atualmente, não são incentivadas a integração e a comunicação entre os participantes, o que também contribui para a divergência do fluxo de informações.

A Engenharia Simultânea destacou-se como uma nova abordagem para a concepção, desenvolvimento e execução de um projeto, defendendo que o processo de uma construção passe a ser baseado na paralelização de tarefas e na integração de participantes por meio da formação de equipes multidisciplinares. A busca por maior qualidade, agilidade e eficiência na elaboração de projetos, com destaque na integração destes, elevou o crescimento na competitividade de mercado.

De acordo com Pretti (2013) a Engenharia Simultânea se desenvolve em cima de um modelo de processo do empreendimento. Esse tipo de modelo é usado como balizador, servindo para orientar o processo de concepção do edifício e dos projetos a eles relacionados.

É importante conhecer o modelo de processo tradicionalmente estabelecido na maioria dos projetos para que possam ser feitas as devidas comparações entre ele e o modelo simultâneo, demonstrando as características de cada um e no que elas se aplicam.

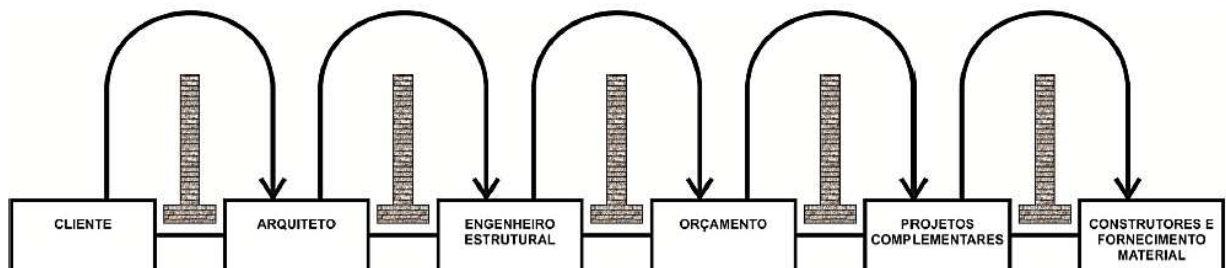
5.1 Engenharia Sequencial

5.1.1 Definição

Tradicionalmente, a abordagem do desenvolvimento do produto no setor da construção civil é conhecida como modelo sequencial ou *over the wall* (por cima do muro). Este processo recebe esta nomenclatura pois o processo é fragmentado, ou seja, uma atividade só inicia após a outra ser concluída, gerando dependência entre os processos (PRETTI, 2013).

Os projetos passam sequencialmente de um projetista para outro e, uma das características fundamentais deste método é que, cada etapa do processo é considerada isoladamente. A figura 4 traz uma ilustração do processo, onde criam-se grandes tempos de espera entre as etapas.

Figura 4 - Esquema da abordagem sequencial (*over the wall*)



Fonte: Adaptado de ANUMBA; EVBUOMWANA, 1998

5.1.2 Características

Nesta metodologia de projeto, perde-se a possibilidade da discussão de soluções para pequenos problemas de compatibilidade, por exemplo. Se durante a confecção de uma planta ocorrer problemas de interferência de projetos e tais soluções tivessem sido apresentadas desde os primeiros momentos de sua concepção, evitaria revisões de etapas já finalizadas.

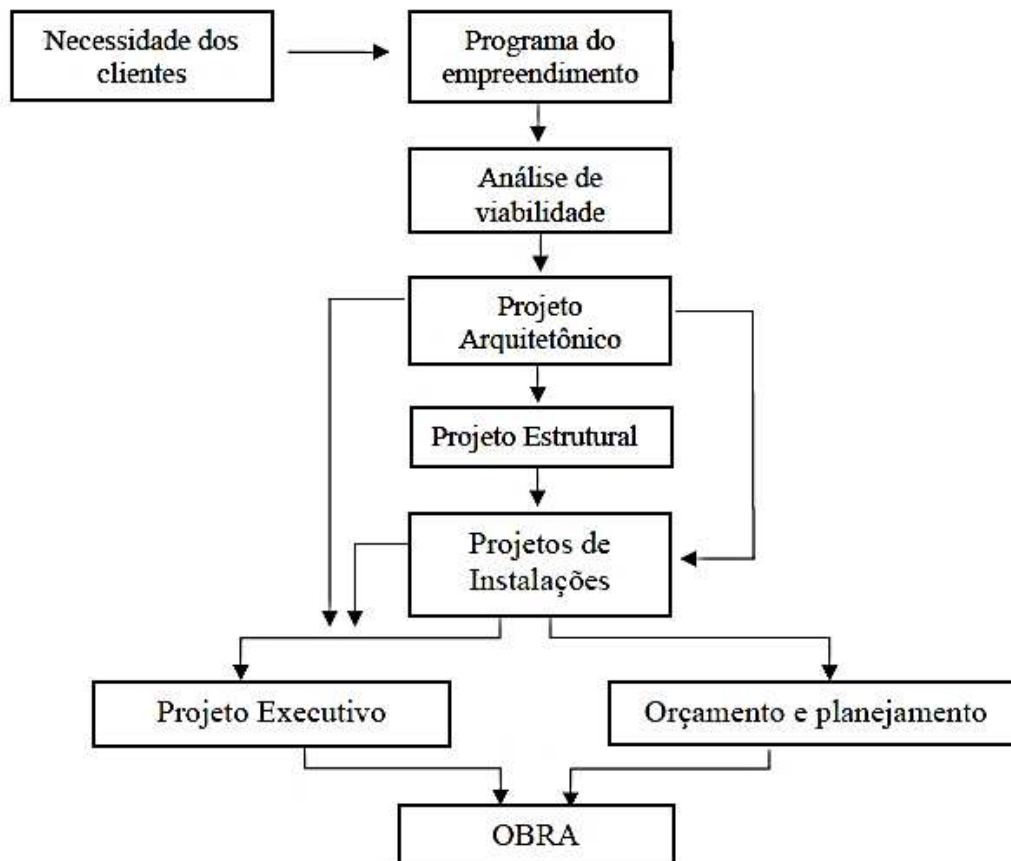
Esse procedimento sequencial, em que propostas técnicas são complementares às decisões arquitetônicas previamente tomadas, não traz clareza com relação às funções e responsabilidades dos profissionais envolvidos, gerando uma série de incompatibilidades (MENEZES, A. M.; PEREIRA JUNIOR, M. L.; PALHARES, S. R. A; VIANA, M. L. S.,

2010). Segundo Okamoto (2006), como consequência de todas estas dificuldades encontradas no modelo tradicional e sequencial de elaboração de projetos, surgiu a grande quantidade de retrabalho, desperdícios, alto custo da produção e baixa qualidade dos produtos finais.

A visão sequencial do processo de projeto, conforme ressalta Melhado (1997), consagra uma relação hierárquica não só nas práticas, mas também em várias normas técnicas vigentes que consideram o projeto de arquitetura como o responsável pelas indicações a serem seguidas pelos projetos de estruturas e instalações.

Para os autores Fabrício e Melhado (2001) “A orientação cartesiana e sequencial do processo de projeto tem evidentes limitações na promoção da integração entre os agentes na geração de soluções técnicas coordenadas no desenvolvimento dos empreendimentos”. A figura 5 demonstra o desenvolvimento sequencial para elaboração de um projeto de uma edificação.

Figura 5 - Desenvolvimento sequencial do projeto de uma edificação



Fonte: Adaptado de Brasiliano, 2000, p. 66.

Dessa forma, tendo como referência todas as dificuldades presentes na maneira tradicional de desenvolvimento de projeto, foi necessário averiguar uma nova forma de projetar,

na qual se valoriza uma visão abrangente e integrada de projeto e execução, além da integração dos agentes e o trabalho colaborativo e simultâneo das equipes, como será abordado mais à frente.

5.2 Engenharia Simultânea

5.2.1 Histórico

Inicialmente, a Engenharia Simultânea não foi um método desenvolvido especificamente para a indústria da construção civil. Originalmente, ela surge na indústria manufatureira e sofre algumas adaptações para que possa ser usado pela construção. Pode-se considerar a 2ª Guerra Mundial como o marco inicial de todo esse período de transformação. Ela foi um difusor de águas em relação aos processos de gerenciamento de projetos.

Até a Segunda Guerra Mundial, a maioria dos projetos industriais era conduzida por um pequeno grupo de projetistas ou um único projetista generalista. Os produtos eram mais simples; os processos de produção eram mais simples. Portanto, não havia grande necessidade de métodos sistematizados de gerenciamento e coordenação de projetos. (ANUMBA; KAMARA; CUTTING-DECELLE, 2007, p.12, tradução nossa).

Após a 2ª guerra, houve um grande desenvolvimento tecnológico que surgiu pela necessidade nos campos de batalha e na produção de armas. Técnicas de gerenciamento de projetos e engenharia de sistemas foram desenvolvidas. Estes novos conhecimentos serão amplamente aplicados na indústria manufatureira (ANUMBA; KAMARA; CUTTING-DECELLE, 2007).

A construção civil, assim como a indústria manufatureira, também passa a sofrer pressões por melhorias de qualidade, de tempo e de custo. Para conseguir sanar estes fatores, a construção passa a desenvolver técnicas que se assemelham à indústria manufatureira.

Segundo Pretti (2013) os processos de ambas são relativamente parecidos e permitem importar ferramentas, teorias e procedimentos de sucesso de uma para outra, desde que consideradas as devidas particularidades e feitas as adaptações necessárias.

5.2.2 Definição

A Engenharia Simultânea ou também solicitada de *parallel engineering* (Engenharia Paralela), tem origem do inglês *concurrent engineering*. Este modelo tem sido definido por diversos autores, sendo alguns deles, apresentados mais adiante.

Os princípios da Engenharia Simultânea são válidos para modernizar as práticas de gestão de projetos no setor de construção de edifícios. Com base nestas premissas, a metodologia sequencial passa a ter um novo paradigma de projeto simultâneo para gestão do processo de projeto de empreendimentos de edifícios (CASAROTTO; FÁVERO; CASTRO, 1999). Atividades que antes eram realizadas somente após o término e aprovação de atividades anteriores, ou seja, sequenciais (como explicado o item 5.1 deste trabalho), que consumiam mais tempo e dinheiro, passaram a se antecipar de forma que seu início não dependa dos demorados ciclos de aprovação.

Para Castellano (1996), A Engenharia Simultânea é embasada em dois pontos fundamentais. Primeiramente, quanto antes puder ser feito mudanças no projeto, mais vantajoso e econômico este se torna. O segundo ponto consiste em realizar as etapas do projeto paralelamente ao invés de realiza-las passo a passo, tornando o projeto mais rápido.

Cada uma das obras realizadas na construção civil é diferente, no entanto, a lógica dos seus processos de produção é semelhante (ASSUNÇÃO, 1996). Ainda se é necessária uma correta conceituação da Engenharia Simultânea quando aplicada à construção civil, pois diferentemente de outras áreas, onde o conceito é fortemente aplicado e consolidado, na construção civil o termo ainda deve ser definido (SILVA, 2013, *apud* HALIN, G; KUBICKI, S, 2008).

A Engenharia Simultânea engloba diversos entendimentos que tem como objetivo a economia de tempo de produção. Na construção civil, o método é visto como um novo modo organizacional da empresa para extrair as vantagens que os equipamentos e *softwares* disponíveis para o desenvolvimento de produtos e processos trazem.

Callegari (2007) enfatiza que “O destaque da Engenharia Simultânea é a valorização do projeto e das primeiras fases de elaboração do produto com foco na eficiência do processo produtivo e na qualidade do produto”.

O estudo realizado pelo DARPA definiu Engenharia Simultânea (ES), também conhecida como Engenharia Paralela, da seguinte forma:

Engenharia Simultânea é uma abordagem sistemática para o desenvolvimento integrado e paralelo do projeto de um produto e os processos relacionados, incluindo manufatura e suporte. Essa abordagem procura fazer com que as pessoas envolvidas no desenvolvimento considerem, desde o início, todos os elementos do ciclo de vida do produto, da concepção ao descarte, incluindo qualidade, custo, prazos e requisitos dos clientes. (WINNER et al., 1988 *apud* PRASAD, 1996).

Para Callegari (2007, p. 15, *apud* FABRÍCIO, 2002):

A abundância de definições e de enfoques para a Engenharia Simultânea pode ser explicada pelos diferentes interesses e práticas de cada estudioso do assunto de cada organização que a implanta. Conforme os objetivos de quem a estuda e as emprega e conforme o ambiente produtivo em questão, as práticas da Engenharia Simultânea devem sofrer alterações de forma a se adaptar às necessidades e condições setoriais.

Realizando uma análise de alguns conceitos citados, percebe-se que todos convergem para a valorização do trabalho de equipes multidisciplinares de forma integrada; a racionalização da produção; a preocupação com a qualidade de desenvolvimento do produto e o desenvolvimento simultâneo e integrado do projeto do produto e do processo.

5.2.3 Objetivos

Os objetivos da Engenharia Simultânea são discutidos de diversas maneiras, assim como ocorre nos seus conceitos. Há pesquisadores que acreditam que o objetivo é o paralelismo do processo, outros que consideram a integração como objetivo. Existem aqueles que acreditam ser a multidisciplinaridade, ou mesmo o ciclo de vida do produto, outros ainda consideram a construtibilidade¹ do processo como objetivos finais. (PRETTI, 2013).

De acordo com Silva (2013, p. 19) “A Engenharia Simultânea é projetada para facilitar as considerações simultâneas de todas as questões relacionadas a projeto e processos das etapas de concepção”.

Otimizar os processos produtivos, de modo a garantir a qualidade final do produto a um custo reduzido, acaba se tornando um dos principais objetivos da Engenharia Simultânea. Porém, este objetivo encobre um de seus objetivos específicos que muito contribui para o desenvolvimento tecnológico do setor produtivo: a possibilidade da geração de novos conhecimentos (SILVA, 2013).

À medida que as equipes multidisciplinares organizam as atividades, cresce a troca de informações entre diferentes áreas do conhecimento, onde, quando fundidas e organizadas de modo objetivo, podem gerar a inovação tecnológica do setor, exigindo, por consequência, melhoria e qualificação da mão de obra empregada. A seguir serão expostas algumas características encontradas na metodologia simultânea de processo.

5.2.3.1 Antecipação de fases e decisões

¹ “Construtibilidade é a capacidade de um projeto ser executado” (THE CONSTRUCTION MANAGEMENT COMMITTEE, apud KOSKELA, 1992).

A característica de antecipação de fases e decisões na Engenharia Simultânea, procura criar segurança nas fases iniciais de concepção da edificação. O objetivo é que, ao antecipar as deliberações sobre fatores importantes a respeito da edificação como o custo e o tempo, por exemplo, seja possível elaborar um orçamento e planejamento adequados, minimizando problemas e imprevistos no futuro para adequação do projeto na obra. O resultado é a segurança e a qualidade de desenvolvimento do empreendimento.

Esse tipo de característica reduz gastos futuros pois “[...] um dos princípios norteadores da ES é que ‘quanto mais tarde são realizadas mudanças nos projetos, mais onerosas elas se tornarão’” (CASTELLS; LUNA, 1993 *apud* FABRÍCIO, 2002, p. 160).

5.2.3.2 Simultaneidade das atividades

Uma das propostas da metodologia da Engenharia Simultânea é realizar atividades que trabalhem em conjunto para o desenvolvimento simultâneo do empreendimento. Entende-se por simultaneidade a realização em paralelo de várias atividades, cujo objetivo é “reduzir o tempo e ampliar a integração entre as interfaces de projetos” (FABRÍCIO, 2002, p.160). A ideia visa a integração dos setores para atingir de modo mais eficiente os pontos de conflito entre as etapas e projetos, minimizando fatores como o tempo gasto com o desenvolvimento.

No processo simultâneo, o paralelismo permite a definição das atividades de forma conjunta. Este método evita que alguma decisão seja tomada de forma singular, comprometendo a relação com as outras atividades do ciclo de vida do empreendimento. O resultado de uma situação de singularidade de decisões, no método sequencial hoje utilizado, traria, também, sequencialmente o erro que seria seguido pelas demais etapas, gerando retrabalho, inconsistência e perda de qualidade do projeto final.

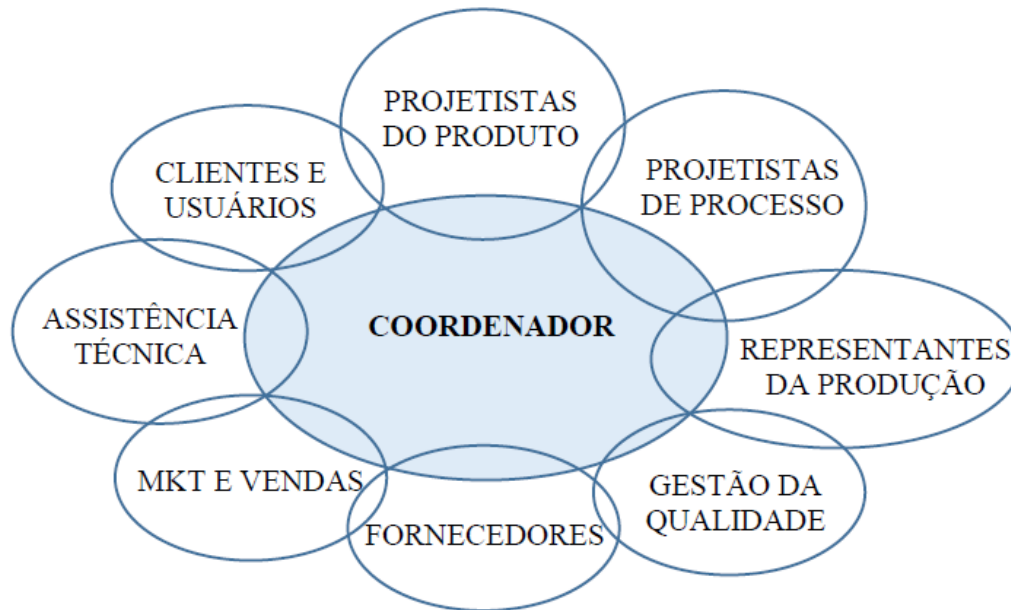
Neste tipo de situação, há maior troca de informação entre os contribuintes, havendo menor perda de informação, já que as trocas ocorrem a todo o momento, ao invés de apenas em momentos específicos, como ocorre na Engenharia Sequencial.

5.2.3.3 Multidisciplinaridade

Na Engenharia Simultânea, a empresa só consegue aproveitar todos os seus benefícios se houver uma equipe multidisciplinar que opere desde o início da concepção do produto. Tanto as tomadas de decisões, quanto a simultaneidade das atividades, só ocorre

quando o processo conta com uma equipe multidisciplinar que age de forma conjunta (Figura 6).

Figura 6 - Configuração de equipe multidisciplinar de projeto



Fonte: Adaptado de FABRÍCIO, 2002, p. 162

O êxito da equipe só será alcançado com a presença do coordenador, que se encarregará por integrar os projetistas; divulgar as diretrizes de projeto da empresa; identificar a necessidade de uso de consultores, e em resumo, deverá acompanhar e coordenar o processo como um todo. Somando-se a isso, também é necessário que se tenha uma equipe treinada e que exista parceria entre a construtora e as empresas contratadas. Essas parcerias motivam projetistas e fornecedores a adotar os procedimentos padrões da contratante e, assim, trabalhar com uma equipe que tenha conhecimentos técnicos usados pela construtora.

5.2.4 Critérios de aplicação

A Engenharia Simultânea pode ser aplicada à praticamente qualquer obra de edificação. Para obras de grande porte onde a complexidade é um pouco mais acentuada, como por exemplo em prédios, ela possui ainda maior eficiência, visto que é onde tendência a ocorrer maior número de erros de compatibilização de projetos. Para garantir o sucesso no investimento de elementos que compõe a metodologia, políticas de gestão do conhecimento devem existir para auxiliar na transposição destes conhecimentos adquiridos para outras obras e setores de uma empresa, caso contrário, esta experiência poderá ser perdida (MOECKEL e AZEVEDO, 2004).

Para o sucesso da Engenharia Simultânea, ela deve atender a um projeto, empresa e indústria específicas, de modo a assegurar que isto seja adequadamente estruturado e específico à organização (ANUMBA; BAUGH; KALFHAN, 2002).

Para a apropriação da ES se destacam três aspectos, sendo eles apresentados no quadro 1 a seguir por Fabricio e Melhado (1998).

Quadro 1 - Apropriação dos conceitos da Engenharia Simultânea

1°	Estrutura organizacional voltada a proporcionar o relacionamento entre os diferentes projetistas, em todas as etapas do desenvolvimento de um empreendimento.
2°	Desenvolvimento de sistemas de gestão da qualidade, os quais possam coordenar e garantir a sinergia positiva na atuação entre os diferentes “atores” do processo.
3°	Sistemas de Tecnologia da Informação empregados, proporcionando a eficiente troca de informações, mesmo entre reuniões não presenciais.

Fonte: Adaptado de FABRÍCIO E MELHADO (1998)

Existem várias barreiras para a implementação da Engenharia Simultânea, e estas podem ser classificadas como técnicas e organizacionais. As barreiras técnicas giram em torno da falta de conhecimento em programar a Engenharia Simultânea, bem como a falta de apropriação de ferramentas e técnicas necessárias. Isto pode levar ao uso inadequado e desnecessário de ferramentas, e perícia insuficiente para maximizar seu potencial (ANUMBA; BAUGH; KALFHAN, 2002).

Como já exposto no item 5.2.2 deste trabalho, existe ainda a dificuldade até mesmo na definição semântica da Engenharia Simultânea quando aplicada à construção civil devido ao fato de alguns autores reformularem sua definição, pois, segundo eles, a construção civil possui particularidades que não possibilitam seu total enquadramento na Engenharia Simultânea (SILVA, 2013, *apud* HALIN, G; KUBICKI, S, 2008). Dessa forma, há ainda muito que explorar e definir dentro do tema. O fato é que os princípios gerais da Engenharia Simultânea muito podem contribuir para o setor da construção no Brasil e no mundo.

5.3 Engenharia Simultânea x Engenharia Sequencial

O método mais tradicional utilizado nos últimos tempos, aplica o processo sequencial na elaboração de produtos e projetos. A mudança do processo sequencial para o

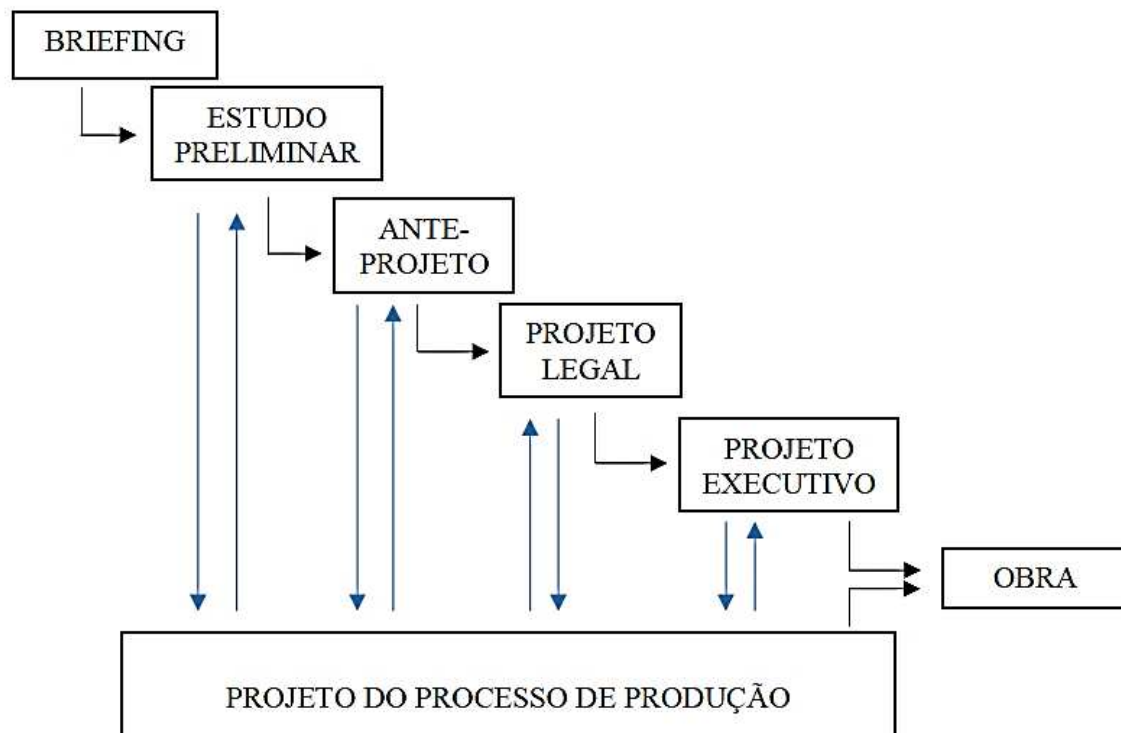
processo integrado e multidisciplinar é um dos objetivos da ES, que visa a melhoria da abordagem tradicional, melhorando a forma como os projetos se desenvolvem e evitando a grande quantidade de alterações que ocorrem tardiamente.

Segundo Rezende e Andrey (2008), as etapas do produto são tratadas simultaneamente, ganhando-se em prazo, eliminando retrabalho e aumentando a qualidade do produto, estabelecendo um canal de comunicação mais eficiente entre as partes envolvidas.

Ao se tornarem claras as informações e os métodos de aplicação da Engenharia Simultânea, desmistifica-se o alto custo de implantação e treinamentos necessário para este processo, ao mesmo tempo em que uma implantação modelo é feita, mesmo que de forma simulada.

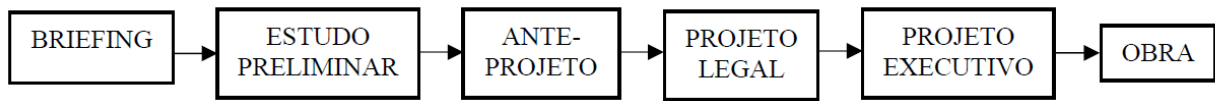
O processo de desenvolvimento do produto final será o fator que diferenciará as análises entre a Engenharia Simultânea e a Engenharia Sequencial. As figuras 7 e 8 de Tavares Júnior (2001) mostram esquemas que representam as suas principais diferenças.

Figura 7 - Desenvolvimento do projeto na visão da Engenharia Simultânea



Fonte: Adaptado de TAVARES JÚNIOR, 2001

Figura 8 - Desenvolvimento do projeto na visão da Engenharia Sequencial



Fonte: Adaptado de TAVARES JÚNIOR, 2001

No desenvolvimento do projeto na Engenharia Simultânea (figura 7) é possível observar que ele é realizado em paralelo com o desenvolvimento do produto. Na Engenharia Sequencial (figura 8), há deficiência na troca de informações de cada etapa, falta de integração entre elas e a consequência destes fatores, será o acréscimo de retrabalhos que trarão prejuízos no tempo e no custo da obra.

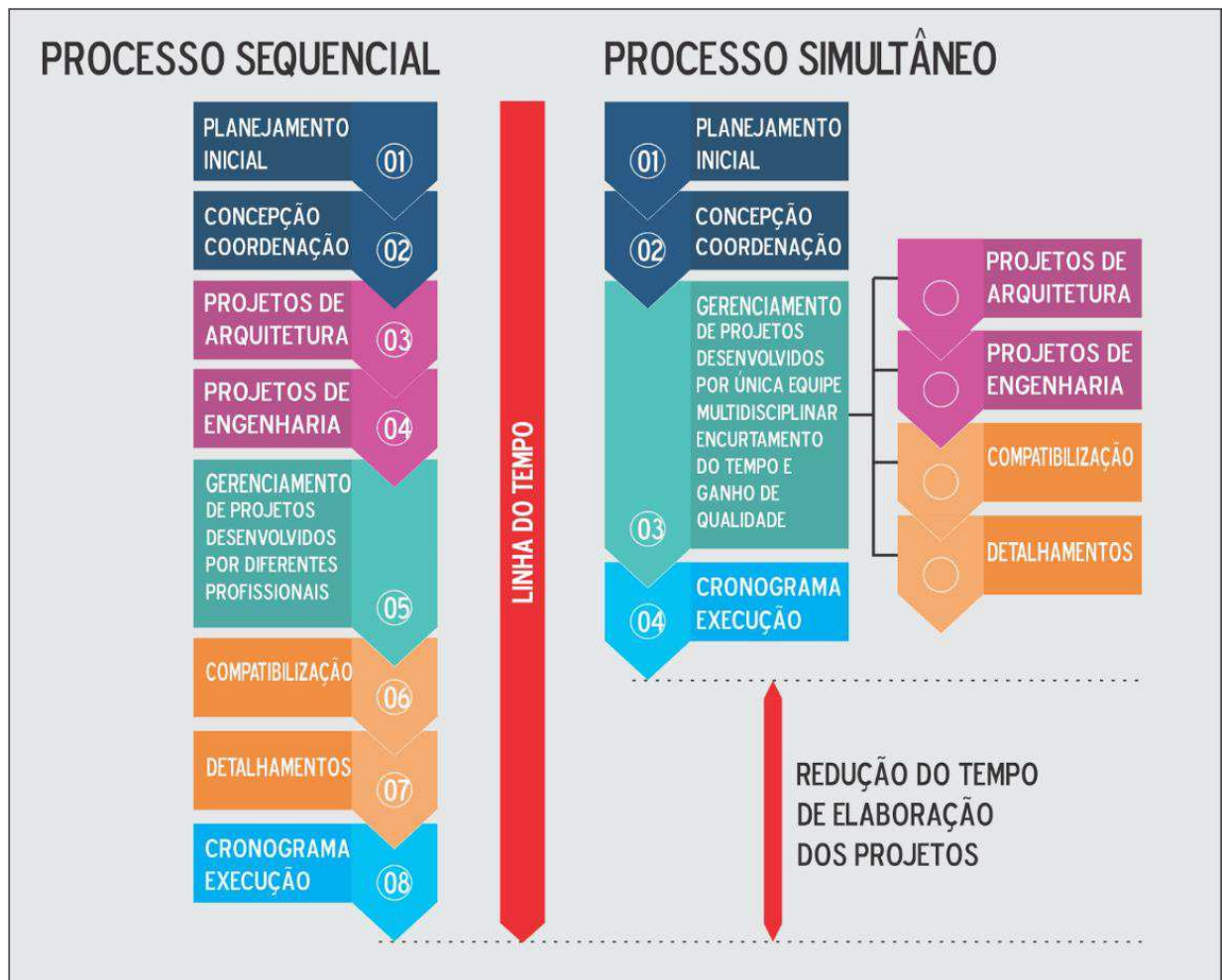
Em um sistema de elaboração sequencial, onde é tradicionalmente utilizado por profissionais da área da Engenharia Civil, cada um dos projetos é feito de forma isolada, por equipes de trabalho diferentes, sem incorporar um ao outro, apesar de tratar-se do mesmo empreendimento. Ao fim da elaboração dos projetos, faz-se necessário criar um processo de compatibilização que analisa e une todos eles, visando solucionar conflitos entre os sistemas projetados.

A elaboração do projeto de compatibilização demanda uma grande quantidade de tempo para seu desenvolvimento, e, muitas vezes, a solução destes conflitos exige novas revisões dos projetos iniciais, o que exige muito mais tempo. A lentidão gerada pelo processo acaba diminuindo também a qualidade e nível de detalhamentos, e prejudica o início e/ou andamento das obras.

Para Castellano (1996), o desenvolvimento de um produto requer que muitas fases sejam feitas sequencialmente tornando o tempo total do projeto muito longo. A Engenharia Simultânea, como já comentado, possui conceitos fundamentais de que muitas dessas etapas podem ser feitas paralelamente ou simultaneamente. Assim, o tempo total do projeto pode ser reduzido.

A figura 9, traz uma comparação entre a metodologia tradicional e a metodologia simultânea no desenvolvimento do projeto. Como é possível observar, nem todas as etapas serão feitas simultaneamente. Algumas ainda dependem de outras para seu início, porém, é inquestionável o ganho de tempo para sua concepção.

Figura 9 - Processo Sequencial x Processo Simultâneo



Fonte: Disponível em: http://blogengenhariadeprojetos.blogspot.com.br/2016/10/engenharia-simultanea-evolucao-e_47.html. Acesso em: 04 mar. de 2018

Hartley (1998) afirma que “[...] um princípio importante da Engenharia Simultânea é que a qualidade se introduz no projeto desde o começo, erradicando quaisquer características que possam ser adversamente afetadas por variações na produção”, e complementa que não é possível passar a responsabilidade pela qualidade. Cada pessoa é o próprio responsável pelo seu papel no desenvolvimento do produto.

Como resultado, os projetos são concebidos de forma harmônica, sendo o projeto de compatibilização facilitado e feito de forma mais rápida e eficiente. Assim, a vantagem promovida pela Engenharia Simultânea se expressa principalmente pelo encurtamento significativo da fase de projeto e contribuição para o cronograma de obras, já que a qualidade dos projetos gerados minimiza erros e problemas de execução a serem corrigidos in loco.

6 BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

A evolução na qual o modo de projetar tem se desenvolvido na metodologia da Engenharia Simultânea, carrega consigo a necessidade de mudanças culturais e gerenciais nas empresas. O arsenal tecnológico disponível para otimização de projetos se encarrega de mudar conceitos antigos sobre planejar, projetar e entregar.

A transição ocorrida entre a formulação de projetos em pranchetas e papel vegetal para o CAD, no seu transcorrer, também gerou grandes mudanças culturais quanto à sua aplicação. O CAD, sendo uma ferramenta de auxílio ao desenho ou projeto, tornou quase obsoletas as ferramentas que eram tradicionais de desenho, ganhando em tempo e diminuindo os custos de produção. No entanto, não houve mudanças significativas, visto que, apesar destes ganhos, apenas houve o intercâmbio do desenho manuscrito para o digital.

A criação de informações já se tornou automatizada quando o CAD foi introduzido. Com o *software*, o BIM busca precisão e capacidade para lidar com muitas informações e, na prática, também compatibilidade com outras soluções, pois atingir um fluxo de trabalho corporativo de outra forma seria um desafio.

Com a necessidade de reformulação do processo de projeto feitos em CAD, a modelagem de objetos trouxe maior riqueza de informações para execução dos mesmos. O BIM, também chamado de Modelo da Informação da Construção em português, ganhou espaço para apresentar essa nova geração. Ele não é apenas uma reunião de *softwares* de modelagem, é uma filosofia de desenvolvimento de projetos. Neste capítulo, será abordado as definições do BIM, suas ferramentas e características.

6.1 Definição

De acordo com a coletânea CBIC (2016), BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que, quando atuados em conjuntos, geram a metodologia para gerenciar o processo de projetar uma edificação e ensaiar seu desempenho, gerenciando as suas informações e dados, utilizando plataformas digitais (baseadas em objetos virtuais), através de todo o seu ciclo de vida.

O conceito da plataforma pode ser encontrado de diferentes formas por diversos autores (como exposto no quadro 2 a seguir), porém, pode-se considerar que a plataforma atua como ferramenta responsável por coletar informações que estão ligadas aos projetos e reuni-las

em um só modelo, de forma que elas podem ser analisadas e extraídas antes e durante a construção.

Quadro 2 – Definições de BIM

FONTE	DEFINIÇÃO
ABDI, 2017	BIM é uma tecnologia de modelagem associada a um conjunto de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de edificações.
SUCCAR, 2009	BIM é uma série de tecnologias, processos e políticas que possibilitam que os diversos envolvidos no processo projetem, construam e utilizem um empreendimento de forma colaborativa.
EASTMAN, 2014	BIM é usado como verbo ou adjetivo para descrever ferramentas, processos e tecnologias que são facilitadas pela documentação digital e legível pelo computador de uma edificação, seu desempenho, seu planejamento, sua construção e, posteriormente, sua operação.
ERNSTROM, 2006	BIM é o desenvolvimento e uso de um modelo de programa de computador para simular a construção e operação de um empreendimento. BIM usa um conceito inteligente e paramétrico de uma representação digital de uma construção onde podemos gerar informação que possa ser utilizada para tomar decisões e melhorar o processo de construção.

Fonte: Autora, 2018

A utilização do BIM, hoje, pode até ser considerada uma novidade no ramo da produção de projetos, porém, ela não deve ser considerada uma tecnologia tão nova, visto que soluções similares têm sido utilizadas em diversas indústrias onde a complexidade dos empreendimentos exigem um maior investimento nos projetos e especificações. O termo é novidade para o acesso da indústria da construção civil a essa ferramenta, que só se tornou possível graças a facilidade de aquisição dos *hardwares* (computadores com grande capacidade de armazenamento) e *softwares* (CBIC, 2016).

Habitualmente, os projetos de construções são concebidos com base em desenhos bidimensionais, que apresentam planos, cortes, elevações, isométricos e etc. Com a inserção do conceito de modelagem de informações, a base se estende para além do formato 2D ou 3D, acrescentando às três dimensões espaciais primárias (largura, altura e profundidade), o conceito da quarta dimensão (4D) que engloba o fator tempo e a compatibilização; o fator custo

(orçamento) como a quinta dimensão (5D); sustentabilidade com a sexta dimensão (6D) e a manutenção como a sétima dimensão (7D).

6.2 Benefícios de utilização

Em uma indústria competitiva como a da construção civil, não basta mais cada equipe fazer algo só para a sua área. É necessário pensar no conjunto, ou seja, é necessário evitar interferências entre eles para melhorar a qualidade e o desempenho do empreendimento. Hoje, as construtoras procuram um fornecedor que apresente os produtos já acabados, ou seja, que entregue soluções, e não simplesmente mão de obra.

Pesquisadores como Coelho e Novaes (2008, p. 03-04), salientam que:

A adoção de sistemas BIM aponta para a necessidade de revisão do processo de projeto e sua gestão na construção civil. A elaboração entre os membros das equipes de projeto passa a girar em torno de um modelo baseado em informações, necessárias para o planejamento e construção de um edifício. Neste contexto, o envolvimento na fase de concepção de projetos dos profissionais envolvidos no orçamento, planejamento e construção, mostra-se adequado à formação de um modelo consistente do edifício

O BIM é indicado para escritórios que desejam ter maior controle sobre os seus projetos, visto que ele atualiza automaticamente as plantas perante quaisquer modificações em elementos de projeto, reduzindo gastos, erros e omissões, proporcionando a previsibilidade de custos e desempenho, consentindo maior liberdade e tempo para a experimentação de alternativas de projeto e aprimorando os resultados finais. A seguir serão apresentados alguns dos benefícios e funcionalidades da plataforma extraídas da coletânea de implementação do BIM para construtoras e incorporadoras CBIC (2016, vol 1).

6.2.1 Visualização em 3D do que está sendo projetado

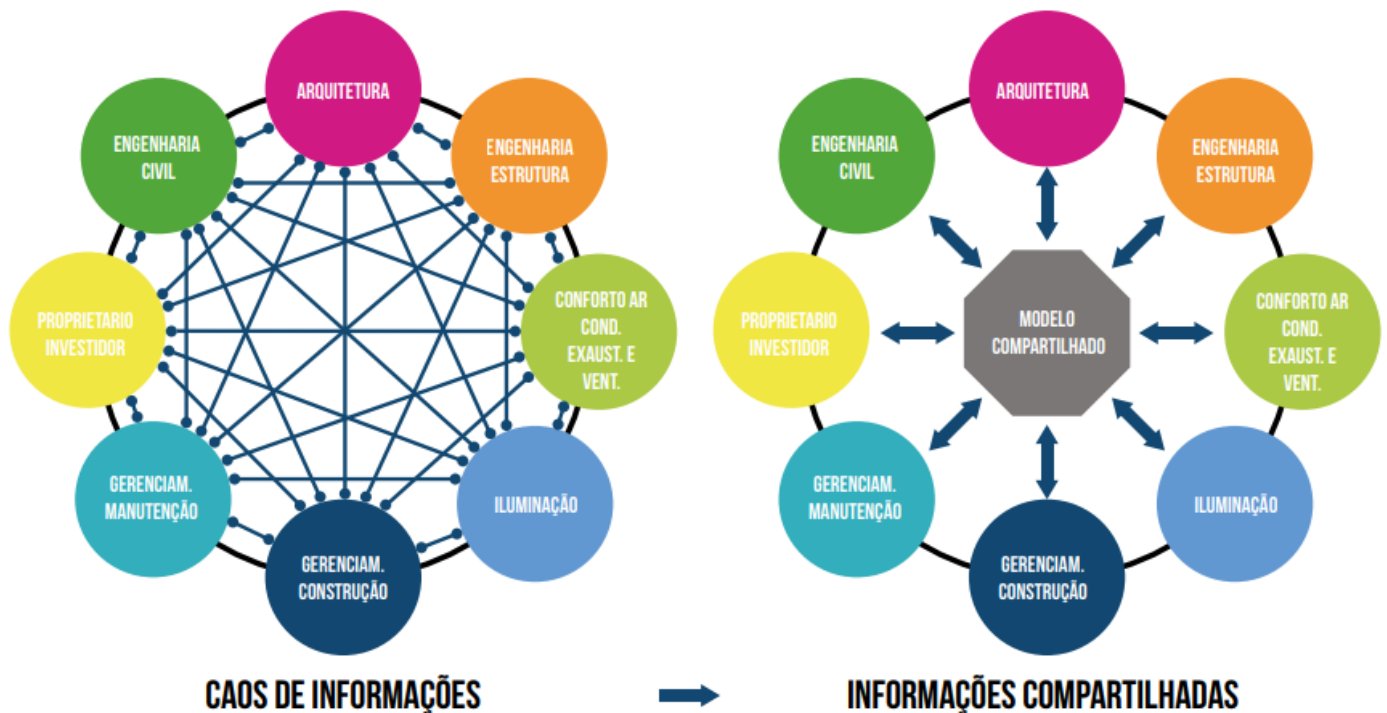
Nos *softwares* BIM, diferentemente dos desenhos feitos no CAD, não há interpretação dos projetos apenas como um conjunto de linhas. Em cada elemento é necessário garantir especificações para que ele seja representado como tal. Por exemplo, ao desenhar uma parede, o projetista deve atribuir a ela características como dimensões, espessura de reboco, chapisco, revestimento, do material de vedação que irão compor aquele elemento.

A linha principal de trabalho do BIM é a modelagem de um protótipo virtual da edificação, como se fosse a construção da edificação no ambiente virtual, que acompanhará a

edificação física ao longo de todo o seu ciclo de vida. Aplica-se inclusive a denominação de “edifício virtual” (AYRES; SCHEER, 2007).

Outro diferencial da plataforma é que os modelos 2D estarão interligados ao banco de dados central, isso permite que os projetos sempre estejam em acordo, já que qualquer alteração em um dos modelos provocará alteração nos demais, impedindo ou minimizando a existência de interferência entre os sistemas. Na figura 10, a representação da esquerda demonstra o processo tradicional de trocas de informações sobre várias disciplinas, comumente envolvidas no desenvolvimento de um projeto baseado em documentos (CAD). A ilustração da direita demonstra o estabelecimento de um modelo compartilhado, que é utilizado para a troca de informações entre as diferentes disciplinas.

Figura 10 - Diferença entre BIM e CAD

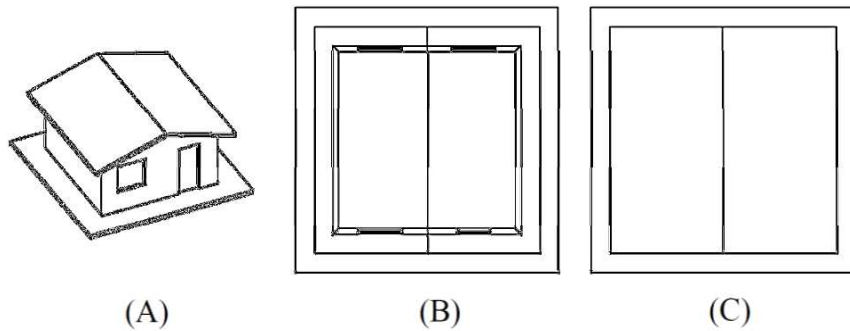


Fonte: CBIC (2016, p. 54)

Mesmo os projetos elaborados em CAD 3D, ou seja, programas que executam maquetes eletrônicas, apresentam dificuldades de transmissão de informação. Ayres Filho; Scheer (2007), mostram um exemplo a respeito deste tipo de confecção. A figura 11 apresenta uma casa em perspectiva elaborada em CAD 3D. Ao pegar essa mesma casa e solicitar ao programa as seções relativas à planta baixa e planta de cobertura, temos as imagens 11B e 11C, que não são plantas baixas. A planta 12 necessita de mais informações para transmitir bom

entendimento a quem executa. Apesar de apresentarem maior informação, possui o mesmo tipo de dificuldades que o CAD geométrico.

Figura 11 - Casa concebida em CAD 3D



Fonte: Adaptado de AYRES F FILHO; SCHEER, 2007.

- (A) Perspectiva gerada por CAD 3D;
- (B) Planta baixa gerada a partir de CAD 3D
- (C) Planta de cobertura gerada a partir de CAD 3D

Figura 12 - Planta baixa



Fonte: Adaptado de AYRES F FILHO; SCHEER, 2007

6.2.2 O ensaio da obra no computador

A ocorrência de mudanças no decorrer da obra em relação ao planejamento e projetos iniciais é um fato corriqueiro. A plataforma BIM pode minimizar a incidência e o impacto causado por tais mudanças. A modelagem de informações possibilita a geração automática de projetos, análises de projetos, planejamentos, simulações gestão de instalações e

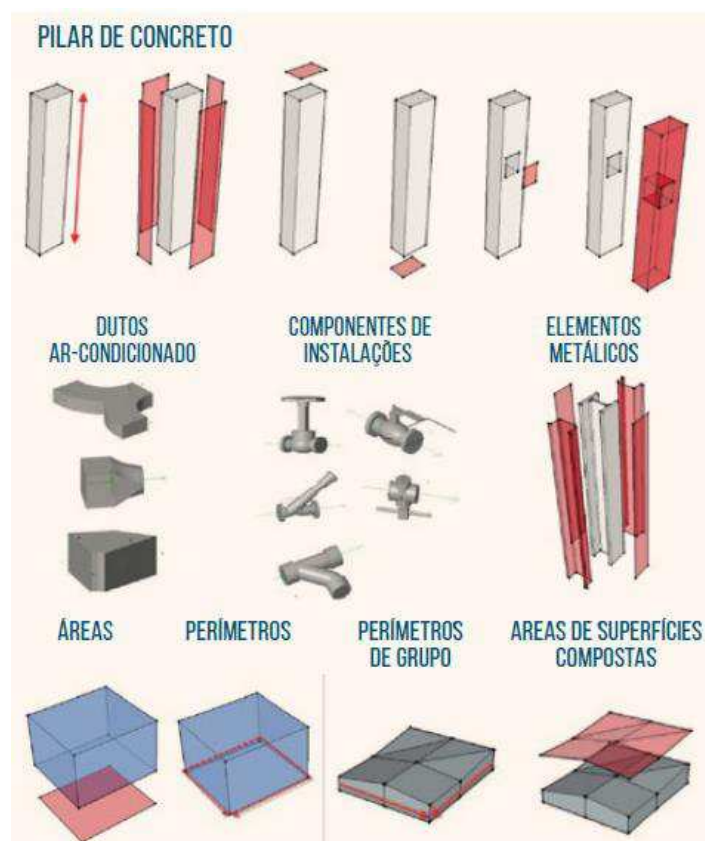
ainda por cima, permite que a equipe de projeto fique melhor informada para tomar decisões adequadas e construir edificações com maior qualidade.

O fato de ocorrer a possibilidade de visualização da edificação antes da sua construção física, minimiza conflitos e problemas específicos na fase da construção. Suas incertezas e riscos poderão ser analisados e contornados previamente. Este grande ensaio virtual realizado antes de iniciar a execução no canteiro de obras está inserido na vertente do BIM 4D e configura-se como algo valioso para a indústria da construção civil.

6.2.3 Extração automática dos quantitativos de um projeto

Até pouco tempo atrás, os levantamentos de quantitativos eram feitos a partir da determinação manual de medidas, contagem de objetos e cálculo de áreas e volumes. Como todas as atividades humanas, esses levantamentos manuais estão cercados de erros e demandam tempo. Modelos BIM possuem objetos que podem ser facilmente contados, e, suas áreas e volumes, podem ser facilmente calculados quase que de forma instantânea. (EASTMAN et al, 2011). A figura 13 demonstra exemplos de como ocorre as extrações de quantitativos.

Figura 13 - Exemplos de extrações de quantidades realizadas por soluções BIM



A tecnologia BIM oferece grandes possibilidades devido a sua capacidade de fornecer um modelo digital que pode ser compartilhado por todas as partes interessadas durante todo o ciclo de vida da edificação, desde a confecção de projetos preliminares até a administração das instalações. Como um banco de dados visual dos objetos da construção, o BIM pode fornecer quantificações automáticas e precisas, ajudando significativamente na redução da variabilidade das estimativas de custo. (SABOL, 2008). A possibilidade de quantificação implica diretamente no modelo presente no BIM 5D.

As estimativas de custos da construção geralmente começam com a quantificação, que é um processo de contagem de componentes extraídos de desenhos impressos ou em CAD. Depois da quantificação, os orçamentistas utilizam métodos que variam desde planilhas eletrônicas até aplicativos específicos para a produção da estimativa de custo do projeto.

Segundo Sabol (2008) esse processo é suscetível a erros humanos que geram inconsistências que se propagam por toda a estimativa. O autor ainda acrescenta que a quantificação é uma atividade que ocupa bastante o orçamentista, demandando de 50 a 80% do seu tempo em um projeto.

Com o uso da tecnologia BIM, é possível extrair quantitativos e medidas diretamente de um modelo. Isso fornece um processo no qual a informação se mantém consistente ao longo de todo o projeto, de forma que as mudanças podem ser prontamente acomodadas. Além disso, fornece suporte para todo o ciclo de vida, dessa forma é possível gerar estimativas de custo para qualquer fase: construção, operação, demolição, etc.

6.2.4 Identificação automática de interferências

Os *softwares* BIM permitem localizar automaticamente, por meio do *clash detection*, as interferências entre os objetos que compõe um modelo, como será tratado mais detalhadamente no item 6.4. Alguns desses *softwares* fornecem listas de interferência que já incluem a imagem do problema e referências da sua localização, facilitando em caso onde a edificação é mais complexa e apresenta muitas repetições de trechos de instalações.

6.2.5 Interoperabilidade

Segundo Chen et al. (2008), a interoperabilidade significa convivência, autonomia e ambiente associado. A interoperabilidade é o que permite que *softwares* de diferentes fabricantes possam “conversar” entre si usando uma linguagem comum e aberta. A multidisciplinaridade e a colaboração são requisitos fundamentais e ocorrem com maior

intensidade na metodologia da plataforma. A ocorrência da colaboração entre diversos profissionais envolvidos alimentando um único modelo garante a necessidade da interoperabilidade na plataforma.

“Com a interoperabilidade, se elimina a necessidade de réplica de dados de entrada que já tenham sido gerados e facilita, de forma automatizada e sem obstáculos, o fluxo de trabalho entre diferentes aplicativos, durante o processo de projeto.” (ANDRADE & RUSCHEL, 2009).

De acordo com Shen et al. (2010), a interoperabilidade traduz a capacidade de certos dados – gerados por uma parte específica – serem corretamente interpretados por outras partes. Segundo os autores, esse é o primeiro passo para qualquer integração de sistemas e colaboração.

Com o uso crescente de programas e o surgimento de diversos aplicativos em BIM, a falta de padronização e a dificuldade na transferência de dados entre sistemas passaram a ser alguns dos problemas enfrentados pelos usuários. Buscando diminuir esse problema e padronizar a troca de informações, um modelo de dados chamado *Industry Foundation Classes* (IFC), foi criado para garantir a incorporação dos arquivos, como será visto no tópico seguinte.

6.2.6 Integração entre programas e exportação de dados

As ferramentas computacionais devem permitir que os indivíduos envolvidos em um empreendimento, trabalhem de forma integrada e, com isso, compartilhem informações durante todo o seu ciclo de vida (ANDRADE; RUSCHEL, 2010). Os *softwares* utilizam um formato próprio para armazenar arquivos, entretanto, para facilitar a interação de cada modelo com outros programas disponíveis na plataforma BIM, é possível salvar o projeto com um formato livre chamado IFC, que funciona na maioria dos outros programas.

Existem também, ferramentas de exportação gráfica que podem criar imagens ou vídeos mostrando o desenvolvimento do projeto. A sua utilização, é aproveitada para melhor entendimento dos métodos construtivos, da checagem de interferências, estudo de cenários, ou mesmo demonstrar de forma mais dinâmica para o cliente o seu futuro empreendimento.

6.3 Dificuldades de implementação

Khemlani (2004) estabelece que os principais desafios das empresas que pretendem implementar o BIM como ferramenta de utilização no setor privado, estão relacionados às

mudanças na forma de pensar e trabalhar o projeto, ou seja, são as mudanças culturais existentes na forma tradicional de projetar.

O uso do BIM solicita uma nova maneira de pensar. Empresas e profissionais habituados a desenvolver projetos usando metodologias tradicionais e processos de representação em duas dimensões (2D), se veem diante da necessidade de mudar seus conceitos, como afirma Silva, Matias e Melhado (2015). Outro ponto importante é o fato das equipes, que eram tradicionalmente fragmentadas, se tornarem uma única equipe, integrada e colaborativa, ocorrência que as vezes é recebido com relutância.

Barrison e Santos (2010) desenvolvem a abordagem de que a implantação e utilização do BIM causa impacto na estrutura interna das empresas, sendo necessária a criação de novas responsabilidades e papéis dos colaboradores internos e externos para que possam atender às diferentes necessidades de produção e gestão das informações geradas. Além destes fatores, é necessária a capacitação e qualificação dos profissionais já existentes na empresa e a contratação de um BIM *Manager*, que representa a função de alguém com conhecimento profundo na atividade que exerce.

Um estudo de caso feito por Silva, Matias e Melhado (2015) apresentou as barreiras para a implementação da modelagem da informação da construção em uma empresa, listando alguns itens relevantes a respeito da utilização da plataforma:

- Falta de tempo e planejamento para a implantação da tecnologia – falta de um consultor técnico que orientasse o uso da ferramenta
- Falta de profissionais qualificados
- Resistência a mudanças pela equipe – normalmente encontrada em profissionais mais experientes
- Falta de infraestrutura de TI (Tecnologia da Informação) – A falta de equipamentos que comportem os *softwares* atrasa o desenvolvimento das atividades planejadas
- Adaptação às normas brasileiras de construção (NBR 15965) – grande parte da biblioteca existente nos *softwares* é estrangeira
- Tamanho dos arquivos – os arquivos de modelos gerados são muito maiores que os de CAD, gerando mais dificuldades

Apesar dos benefícios existentes na implementação do BIM, a tecnologia tem seu preço. Segundo Faria (2007). A licenças dos *softwares* da plataforma podem chegar aos R\$ 17 mil. Porém, tudo isso é um investimento que trará retorno para as empresas que o aderirem.

Como em qualquer período de transição, os projetos industriais podem se beneficiar das novas ferramentas de tecnologia da informação, se devidamente implementadas. No entanto, sem planejamento para implantação de uma inovação tecnológica e organizacional, alterações no processo de projeto e uma ação de qualificação de profissionais eficiente, anterior à introdução de técnicas de modelagem, os resultados esperados tendem a não serem alcançados.

Como toda evolução, sempre há muitas transições boas e ruins. Para uma utilização eficaz do BIM, é requerido inúmeras mudanças, tais como: alterações em contratos, escopos e entregas; mudanças no ambiente de trabalho, buscando integração multidisciplinar e foco no desempenho da equipe como um todo e não como disciplinas individuais; alterar o processo de comunicação do projeto; entre outros. Estas mudanças podem gerar resistência dos profissionais, principalmente dos mais experientes, o que pode contribuir para a dificuldade na implementação do BIM em uma organização. (SILVA, MATIAS E MELHADO, 2015).

6.4 Detecção de interferências com BIM e CAD 2D

6.4.1 CAD 2D para compatibilização

A detecção de interferências no programa é feita de forma manual, pela sobreposição de projetos distintos. O processo de identificação se torna confuso, pois há fragmentação de projetos, além do que estes são formados sem objetos paramétricos e bidimensionais. O resultado de interferências físicas utilizando o CAD 2D é falho, árduo e ineficaz, além do que o produto final fica a critério exclusivo do compatibilizador.

Para Ferreira e Santos (2007), as simplificações adotadas pelos projetistas e as omissões de informações recorrentes em projetos 2D, são fatores que dificultam as análises de interferências dos projetos. Para os autores, essas simplificações ocorrem devido aos projetistas pressentirem que, dessa forma, o desenho ficará mais legível em plantas, cortes e elevações. Quando este tipo de situação ocorre, a equipe responsável pela compatibilização deve recriar mentalmente o espaço que foi omitido, fazendo com que o processo de compatibilizar se torne intuitivo e sujeito a erro humano.

Ferreira e Santos (2007) também demonstram por meio do quadro 3 a seguir, elaborado a partir de sua pesquisa, algumas limitações, características e exemplos a respeito das representações típicas do desenho bidimensional, evidenciando que a representação

bidimensional carrega uma série de limitações que a tecnologia CAD 2D não possui condições de resolver.

Quadro 3 – Limitações das representações 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 em algum ponto do contexto do desenho que pode não ser claramente percebido.	A representação das vigas que estão no mesmo plano ou em níveis diferentes (invertidas), em que essas diferenças são representadas 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.	A indicação dos pontos de elétrica (interruptor, tomada alta ou baixa etc.) usa símbolos fora da proporção com o objeto real que representam, induzindo o projetista a ignorar as relações espaciais reais.
Omissão	Na tentativa de tornar o desenho mais sintético, são omitidas informações consideradas “óbvias” para o especialista que está projetando. Entretanto, para a análise de outros envolvidos, a informação em geral é desconhecida e, por não estar representada, não é levada em consideração. Também pode se caracterizar pela omissão de uma elevação ou corte necessário para a correta interpretação do projeto.	Em um dos problemas identificados, o projetista não representou a peça metálica de fixação do conjunto flexível de água quente e fria do misturador do chuveiro. Para o projetista de hidráulica, era óbvio que aquele conjunto não ficaria no ar. Porém, a interferência com a estrutura para a parede de drywall e a existência de um shaft com tampa removível, apertou a instalação dentro do shaft, 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 do 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 e fria. Estas tubulações, em geral, têm diâmetros de 40 ou 50 mm, praticamente a metade da dimensão da tubulação de esgoto (de 100 mm). Em espaços muito restritos, esse tipo de representação sempre compromete a análise das reais ligações entre as diversas peças.
Fragmentação	A fragmentação está relacionada à separação da informação em várias vistas ortográficas (planta, elevação, corte) e pode ser agravada com a eventual representação destas vistas em folhas separadas. O esforço cognitivo é aumentado quando é necessário correlacionar informações representadas em duas vistas diferentes, favorecendo o erro. Esse procedimento é diferente do desenho mecânico, onde as vistas devem sempre ser alinhadas, facilitando a correlação dos detalhes das vistas.	O projetista de elétrica, em um dado projeto, indicou a altura de uma arandela na escada. As vigas da escada nem sempre estão no mesmo nível do pavimento tipo. Para poder compreender o todo e evitar que a arandela acabasse ficando na viga, seriam necessários cortes e ou elevações para o entendimento dos vários níveis.

Fonte: Autora, 2018

6.4.2 Detectando interferências com BIM

A capacidade de utilização da plataforma BIM permite a visualização do projeto em três dimensões. A possibilidade de analisar o projeto como um todo, auxilia a verificação de incompatibilidades considerando diversos pontos do projeto e a busca por soluções.

Com os programas disponíveis na plataforma, os projetos já são elaborados em três dimensões, porém, caso o usuário esteja habituado ao tradicional método do modelo 2D, este recurso ainda se encontra disponível para utilização no BIM. Qualquer mudança realizada no modelo tridimensional é automaticamente atualizada em todos os arquivos bidimensionais e vice-versa, deixando de lado a necessidade de revisões detalhadas pelos projetistas.

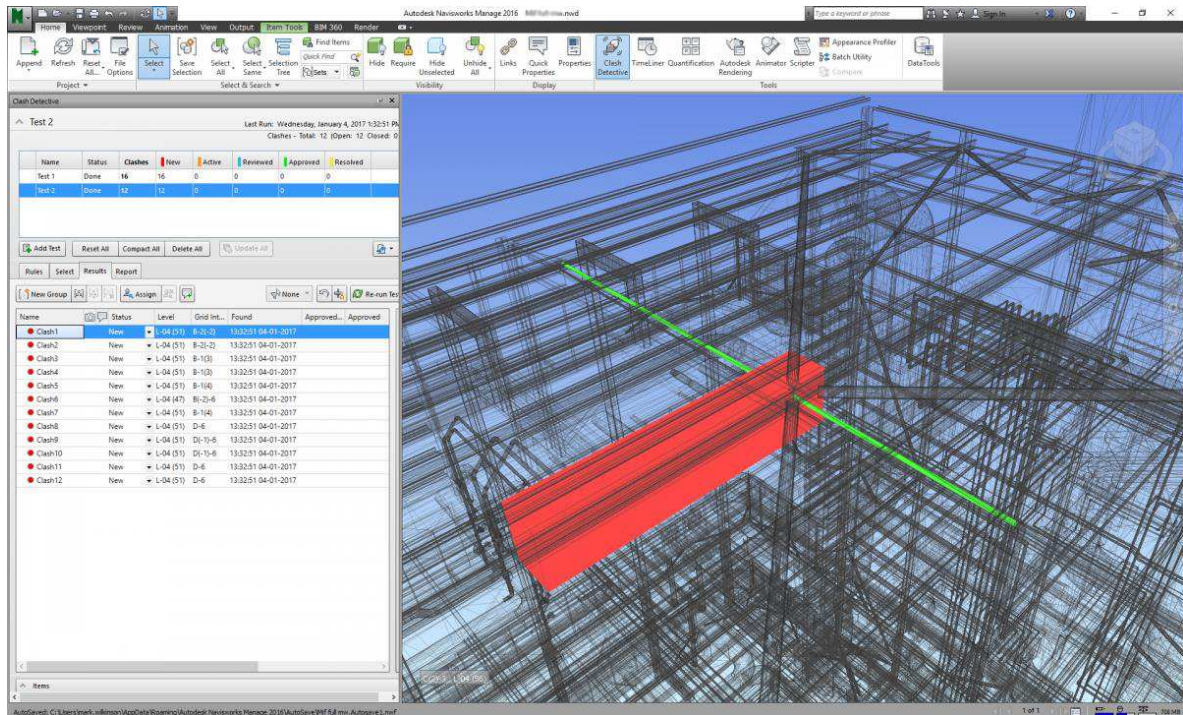
Além da maior facilidade de visualização, em geral, os *softwares* modeladores possuem como aditivo, ferramentas que permitem os testes de conflitos entre os projetos produzidos permitindo que o usuário possa confrontar informações específicas de elementos de subsistemas, como por exemplo, rodar um teste confrontando as vigas estruturais em concreto com as tubulações de passagem de instalações hidrossanitárias.

Para Eastman et al. (2011), os resultados obtidos com os testes dependem do nível de detalhamento do modelo. Quanto mais preciso e rico em detalhes for o modelo, mais eficiente será o teste de conflitos.

Conflitos detectados no BIM são divididos em três tipos de classificação:

- *Workflow Clash* – Conflitos detectados durante o sequenciamento de atividades ao longo do tempo de construção. São úteis para checagem de conflitos dentro do canteiro de obras, como máquinas que atuam temporariamente
- *Soft Clash* – Conflitos que ocorrem sem o choque físico dos objetos. Ocorrem em elementos que demandam certa tolerância espacial livre dentro de um raio específico, como por exemplo, o espaçamento mínimo necessário para passagem de tubulações entre o forro e a laje.
- *Hard Clash* – Ocorre quando dois objetos ocupam o mesmo espaço, conflitando entre si. É o tipo mais comum de interferência.

Figura 14 - Teste (Hard Clash) de conflitos entre projetos no Naviswork



Fonte: Naviswork, 2015

6.5 Softwares da plataforma

Os modelos gerados nos programas da plataforma BIM são uma construção virtual do projeto arquitetônico. Graças a eles, é possível planejar, quantificar, coordenar e recuperar informações a qualquer momento da vida do empreendimento.

Atualmente, existe uma vasta gama de *softwares* de base BIM disponíveis no mercado. Nos últimos anos tem-se verificado uma disponibilidade crescente de novas soluções, de aplicação diversificada e com uma maior capacidade de visualização, de cálculo e de simulação (COSTA, 2011).

O quadro 4 apresenta os *softwares* da plataforma BIM mais relevantes produzidos pelas quatro empresas mais divulgadas nesta área. A lista apresenta uma grande variedade de ferramentas que suportam o conceito BIM. O líder de mercado é a Autodesk, com programas como o Revit e o Naviswork, que por sua vez, são ferramentas de utilização para o estudo de caso do presente trabalho. Em relação à questão popularidade, o ArchiCad também é bastante difundido e ele, por sua vez, foi um dos primeiros *softwares* BIM desenvolvidos para arquitetos em 1984 pela Graphisoft.

Quadro 4 – Softwares BIM das 4 empresas mais divulgadas na área

Empresa	Software	Função Primária no BIM
<u>Autodesk</u>	Revit Architecture	Modelação de Arquitetura e desenho paramétrico
	Revit Structure	Modelação Estrutural e desenho paramétrico
	Revit MEP (Mechanical, Electrical and Plumbing)	Modelação de MEP
	Naviswork	Simulação, Estimativas e Análises Construtivas
	Robot Structural Analysis	Cálculo de Estruturas
<u>Graphisoft</u>	ArchiCAD	Modelação de Arquitetura e desenho paramétrico
	EcoDesigner	Análise Energética
	MEP Modeler	Modelação de MEP
<u>Tekla</u>	Tekla Structures	Modelação de Estruturas de aço e concreto armado
	Tekla BIMsight	Simulação, Estimativas e Análises Construtivas
<u>Bentley Systems</u>	Bentley Architecture	Modelação de Arquitetura
	Bentley Structural Modeler	Modelação Estrutural
	Bentley Hevacimo Mechanical Designer	Modelação de MEP
	Bentley AECOsim Building Designer	Modelação de Arquitetura, Estrutural, Mecânica, Elétrica
	Bentley Interference Manager	Análise de Conflitos
	STAAD.pro	Cálculo de Estruturas
	RAM Structural System	Cálculo de Estruturas

Fonte: Autora, 2018

7 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso proposto neste trabalho visa avaliar a performance da plataforma BIM para um bom desempenho de compatibilização de projetos. Espera-se com isso, apresentar os benefícios de utilização e de metodologia para compatibilização de projetos e, conseqüentemente, redução de potenciais interferências que afetariam a construção e a qualidade do projeto. Portanto, o foco está em demonstrar o processo de compatibilização através da identificação de interferências físicas, principalmente.

7.1 Características da obra

O estudo de caso foi realizado por meio do acompanhamento da construção de uma residência unifamiliar de um pavimento, situado na cidade de São Luís – MA, no período compreendido entre 26 de Setembro de 2017 a 23 de Fevereiro de 2018 (5 meses). A execução da residência foi realizada por um engenheiro, onde este ficou encarregado da elaboração e execução dos projetos complementares, estrutural e arquitetônico. A obra possui área construída de 218,96 m² e foi projetada para uma família com 4 moradores, onde possui as áreas úteis mostradas no quadro 5.

Quadro 5 – Ambientes constituintes da residência unifamiliar

Cômodos	Área útil (m²)
Suíte 1	13,11
Suíte 2	15,55
Quarto	11,55
BWC 1	3,85
BWC 2	3,85
BWC 3	4,12
BWC 4	4,12
Escritório	8,12
Cozinha	10,57
Sala de estar	20,58
Sala de jantar	14,42
Garagem	26,75
Lavanderia	5,75
Dispensa	4,30
Área de lazer	37,2
Circulação	6,58
TOTAL	190,42

Fonte: Autora, 2018

O acompanhamento de todas as etapas da obra, tinha como função a análise das etapas construtivas com ênfase em possíveis incompatibilidades geradas no canteiro a partir da execução de projetos realizados com o Autocad. A finalidade do estudo de caso é demonstrar as vantagens de utilização dos *softwares* Revit e Naviswork da plataforma BIM para a compatibilização de projetos.

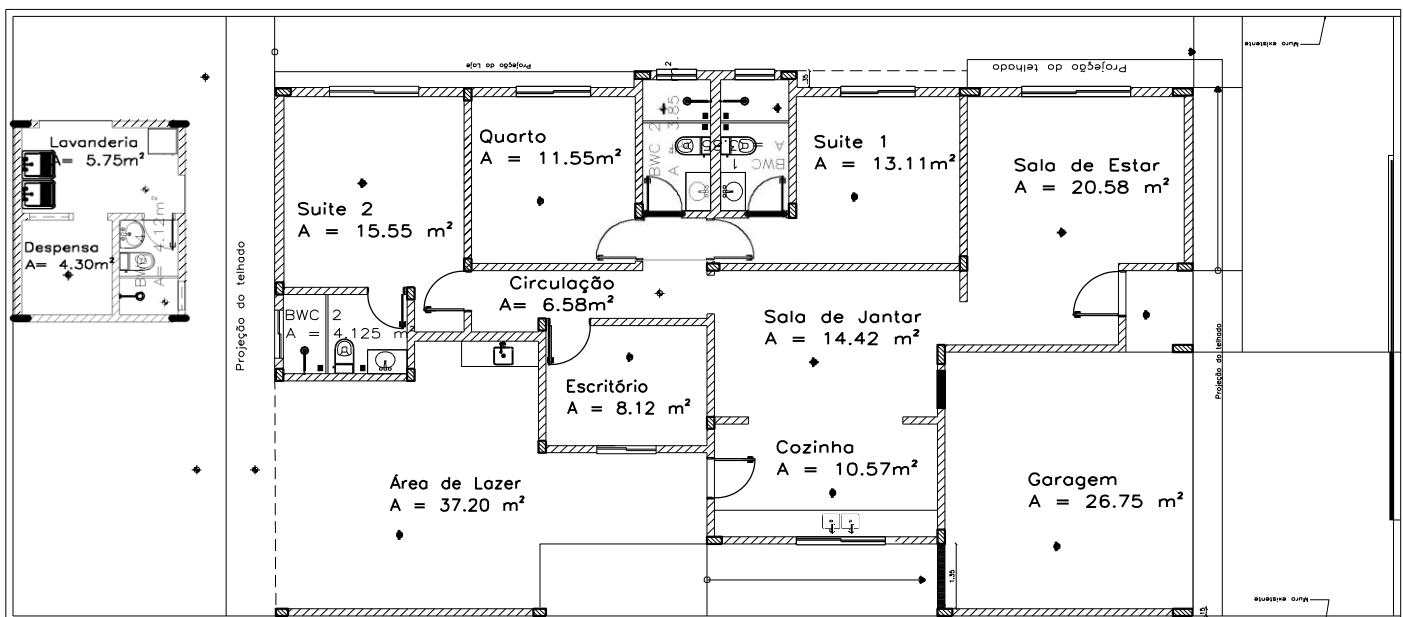
7.2 Caracterização dos projetos

7.2.1 Arquitetônico

A edificação em estudo possui uma área construída de 218,96 m² e um lote com 360,32 m² de área.

Os projetos foram elaborados pelo engenheiro que, por sua vez, também seria morador da residência, por isso, houve facilidade no atendimento de conforto e expectativas para a edificação. A planta arquitetônica dispõe de um pavimento térreo e uma área de cobertura para abrigo dos sistemas hidráulicos e da caixa d'água. Conforme a figura 15, é possível verificar os cômodos constituintes da residência, como já foi listado anteriormente no tópico 7.1 deste capítulo.

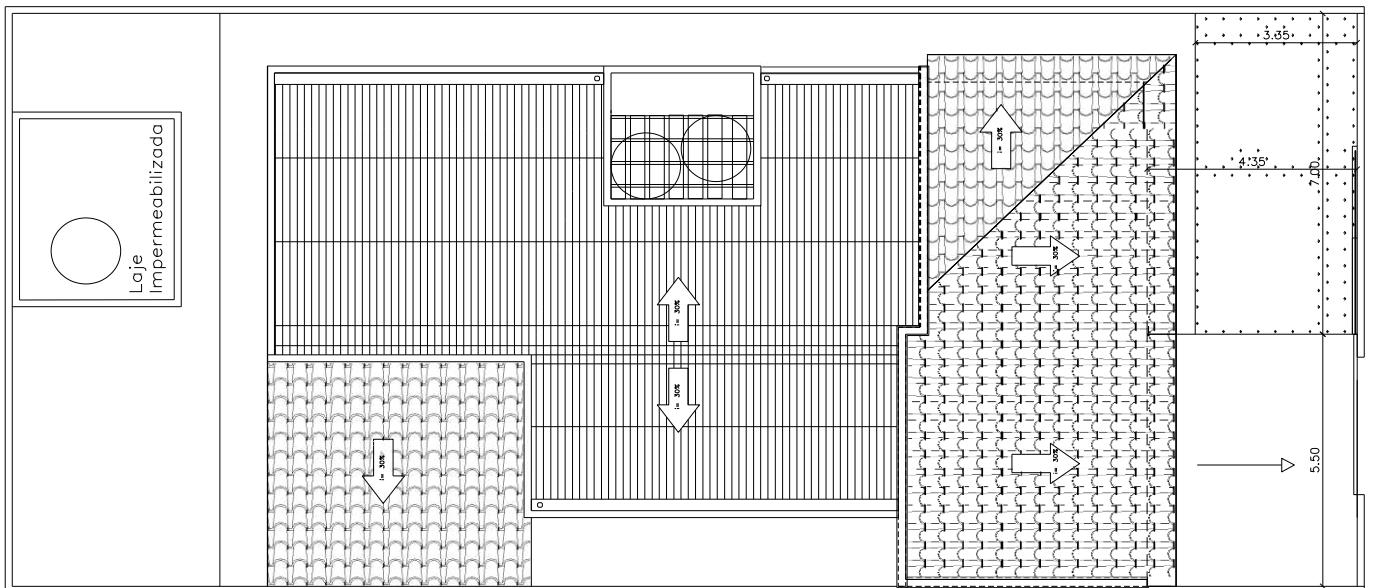
Figura 15 - Projeto Arquitetônico



Fonte: Autora (Imagem capturada do AutoCAD), 2018

A planta de cobertura da edificação, que está ilustrada na figura 16, possui telhas de concreto que obedecem a inclinação proposta no projeto, e possui um telhado embutido com telhas Brasilit que recobrem as instalações hidráulicas existentes na cobertura da residência.

Figura 16 - Projeto da Cobertura

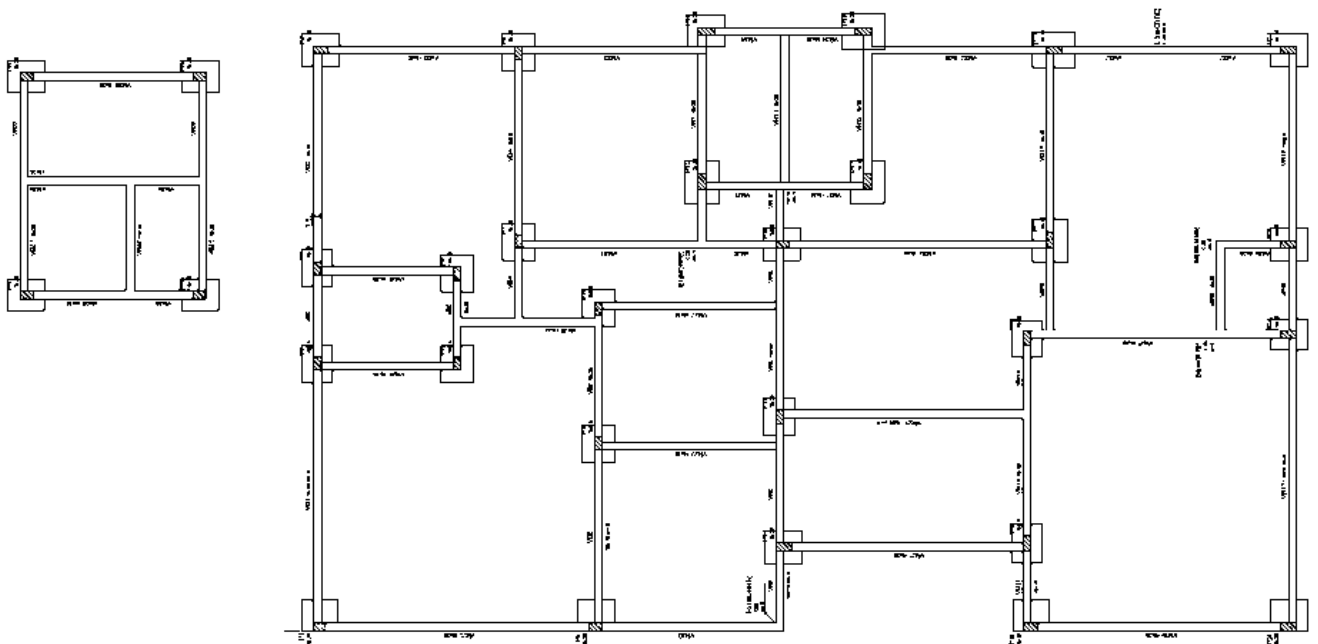


Fonte: Autora (Imagem capturada do AutoCAD), 2018

7.2.2 Estrutural

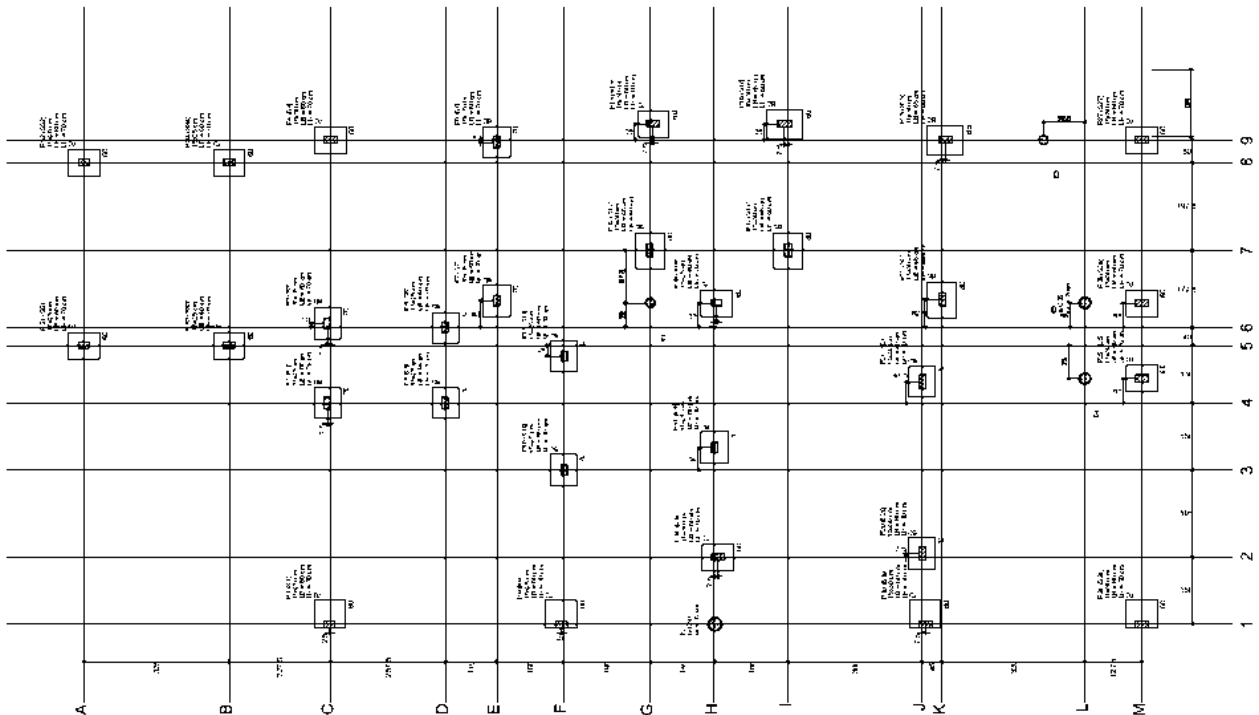
O projeto estrutural foi realizado com base no projeto arquitetônico. Em relação ao tipo de fundação, mostrado nas figuras 17 e 18, após verificação do terreno, o projetista optou por fundações diretas, do tipo sapatas e vigas baldrame com características de compressão de 25 Mpa.

Figura 17 - Projeto de Fundação Estrutural (Vigas Baldrame)



Fonte: Autora (Imagem capturada do AutoCAD), 2018

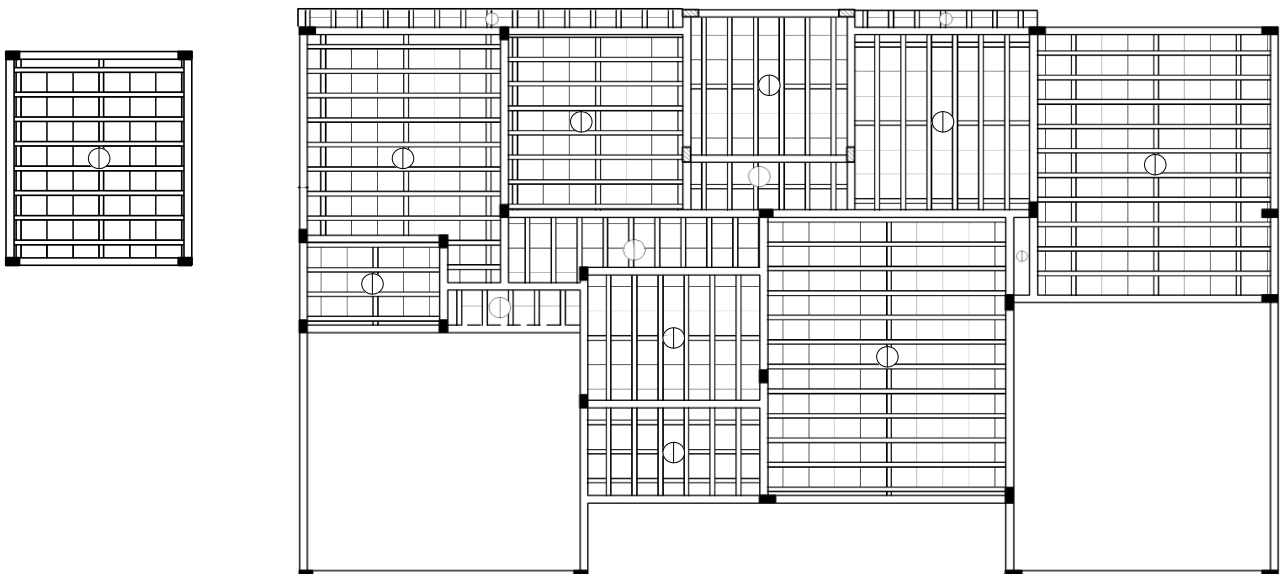
Figura 18 - Projeto de Fundação Estrutural (Locação de Sapatas)



Fonte: Autora (Imagem capturada do AutoCAD), 2018

Os elementos estruturais como vigas e pilares foram executados *in loco* com o uso de concreto armado. Os pilares variavam de dimensões entre 15x30 e 15x25. Já as vigas variavam entre 15x15, 15x20, 15x25, 15x30 e 15x50. Para as lajes, como mostrado na figura 19, optou-se pelo tipo pré-fabricada do tipo laje com vigotas treliçadas com EPS para redução de custos do imóvel.

Figura 19 - Projeto Estrutural (Laje, Vigas e Pilares)

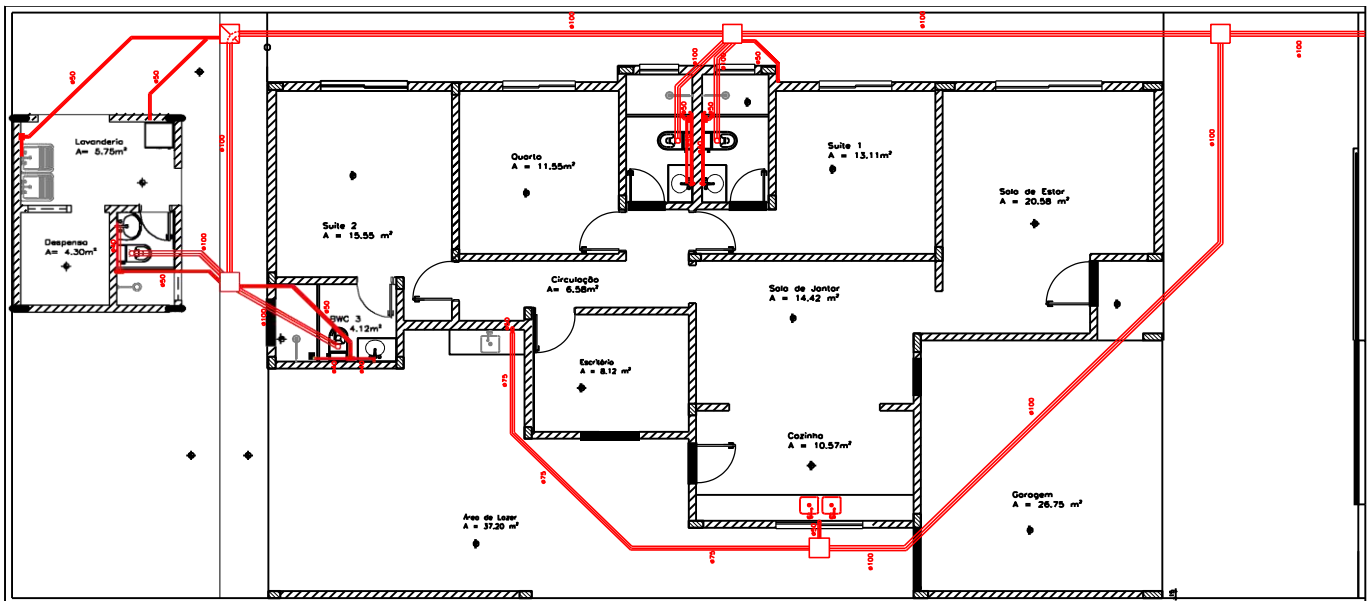


Fonte: Autora (Imagem capturada do AutoCAD), 2018

7.2.3 Projeto de Instalações Hidrossanitária e Elétrica

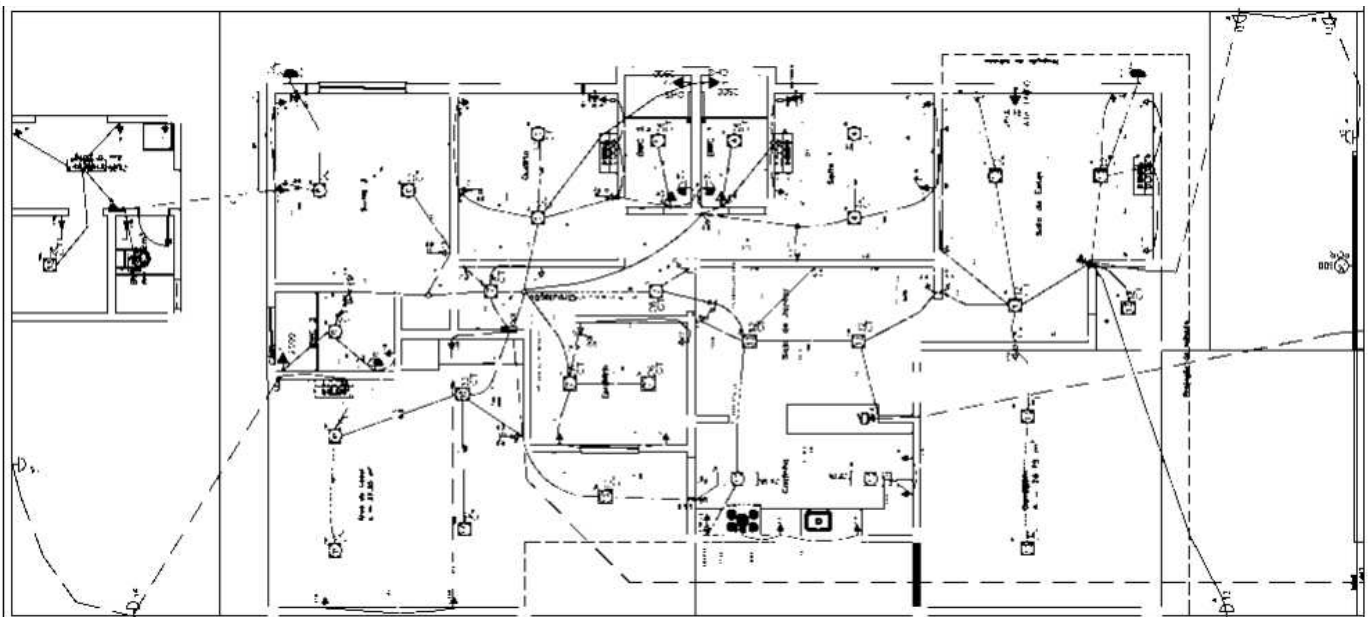
Para representação do das instalações hidrossanitárias, será aqui exposto o projeto sanitário como exemplo de demonstração do modelo elaborado no AutoCAD. O projeto Sanitário da figura 20 foi realizado utilizando tubulações que variavam de diâmetro com 40mm, 50mm, 75mm, 100mm e inclinação de 2%. As caixas de passagem as quais passavam as tubulações foram feitas de alvenaria e apresentavam dimensão de 40x40.

Figura 20 - Projeto Sanitário



Fonte: Autora (Imagem capturada do AutoCAD), 2018

Figura 21 - Projeto Elétrico



Fonte: Autora (Imagem capturada do AutoCAD), 2018

O projeto elétrico (figura 21) foi realizado conforme necessidade dos moradores e apresenta 18 circuitos.

7.3 Softwares utilizados

7.3.1 Revit

O Revit foi a ferramenta escolhida entre as disponíveis no mercado para elaboração da modelagem dos projetos do estudo de caso deste trabalho de conclusão de curso. Ele é um *software* produzido pela Autodesk, porém, ao contrário do Autocad, é baseado na tecnologia BIM. Com base nisso, o projeto realizado com o programa é interligado e os elementos são associados a outros componentes e informações. Ele unifica todas as informações do projeto em um modelo central, que pode ser compartilhado pelos projetistas de diferentes áreas, facilitando assim questões de comunicação e aumentando a qualidade dos projetos.

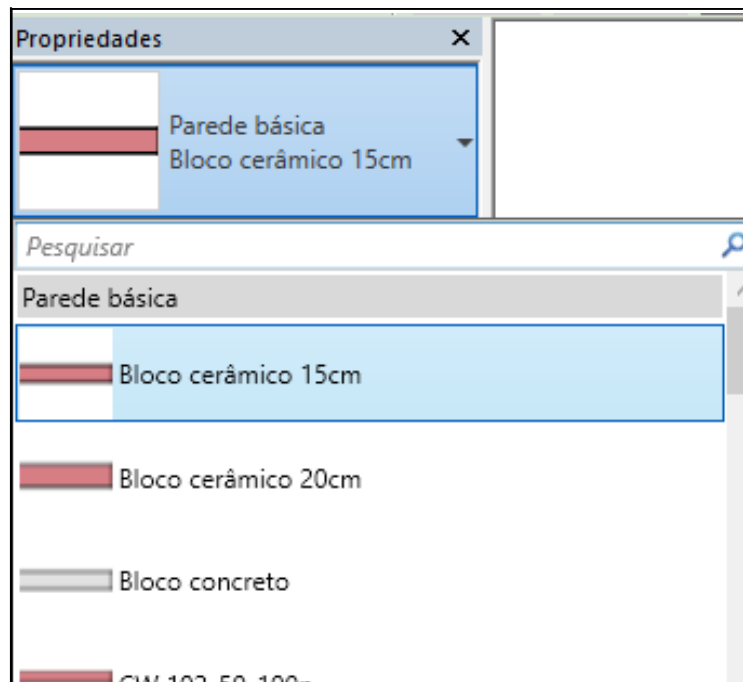
Ao se projetar com este *software*, o projetista cria um modelo computadorizado que simula um edifício de verdade, na sua forma física, onde todos os processos são documentados para extração de tabelas e listas de materiais

O Revit possui alteração paramétrica, fato que permite a atualização dos dados de todas as tabelas e vistas 2D e 3D do desenho automaticamente, ou seja, enquanto o projetista utiliza as informações do modelo de construção, o Revit coleta esses dados sobre o projeto e redistribui para as outras representações.

O programa fornece, ao ser instalado, alguns pacotes de famílias disponíveis para utilização nas modelagens. O termo família utilizado no software significa um grupo de elementos com um conjunto de propriedades, chamadas parâmetros, e um objeto gráfico relacionado. Cada uma das famílias dos diversos sistemas constituintes de uma construção, contém parâmetros próprios, relacionados com seu próprio funcionamento, materiais que os constituem e as próprias formas geométricas.

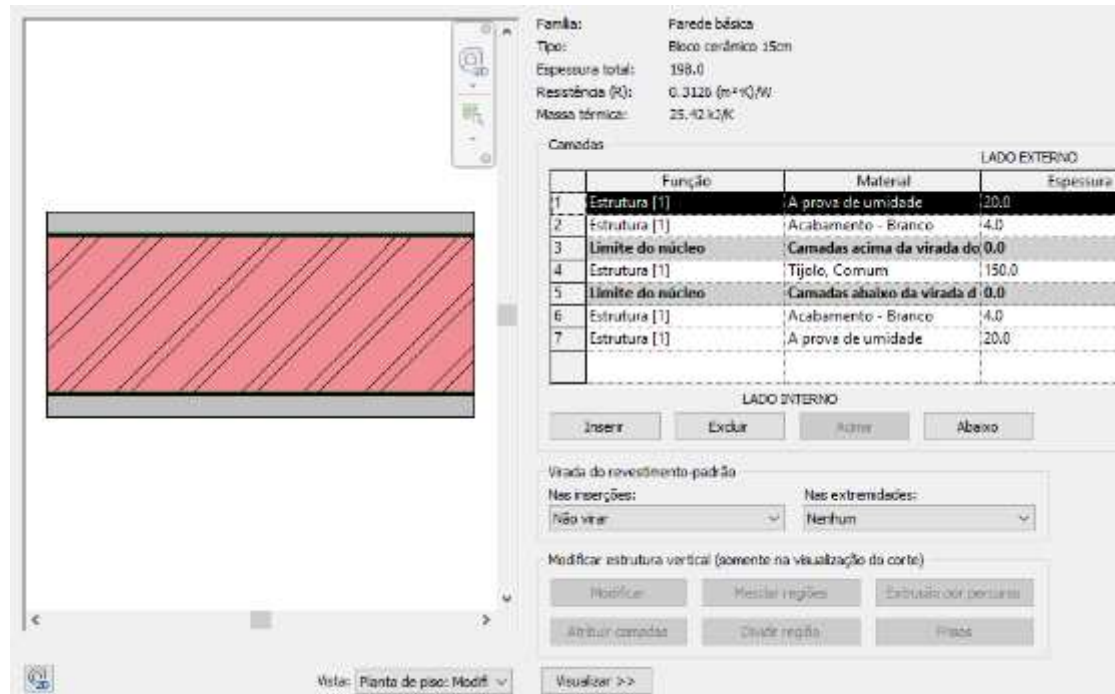
Uma família, por exemplo, pode se subdividir em diversos tipos (figura 22). As paredes, elemento básico para um empreendimento, recebem variações de tipos de blocos, espessura da argamassa, espessura do chapisco e o que mais o projetista desejar colocar no projeto. Na figura 23, é demonstrado como o Revit oferece este tipo de esquematização para modificações de materiais.

Figura 22 - Exemplo de famílias de alvenarias e suas variações



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Revit), 2018

Figura 23 - Exemplo de modificação de materiais constituintes de uma alvenaria



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Revit), 2018

Em relação ao projeto do estudo de caso elaborado, inicialmente foi realizado a modelagem do projeto arquitetônico, e em seguida, os modelos de projeto estrutural e de

instalações foram confeccionados. A figura 24 e 25 demonstram o projeto arquitetônico renderizado elaborado em Revit.

Figura 25 - Fachada lateral da residência em Revit



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Revit), 2018

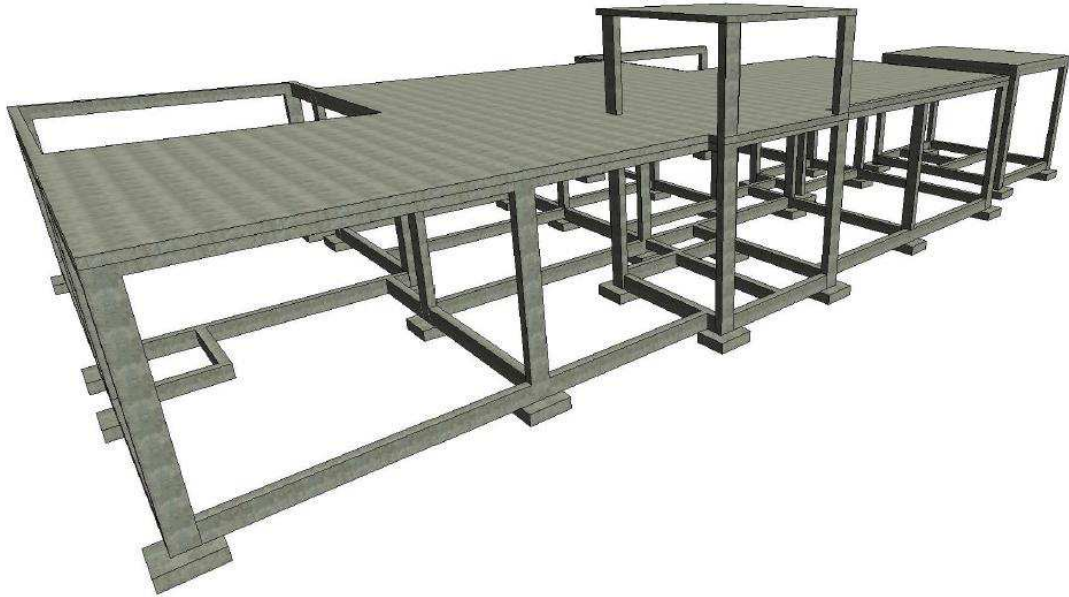
Figura 24 - Fachada da residência em Revit



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Revit), 2018

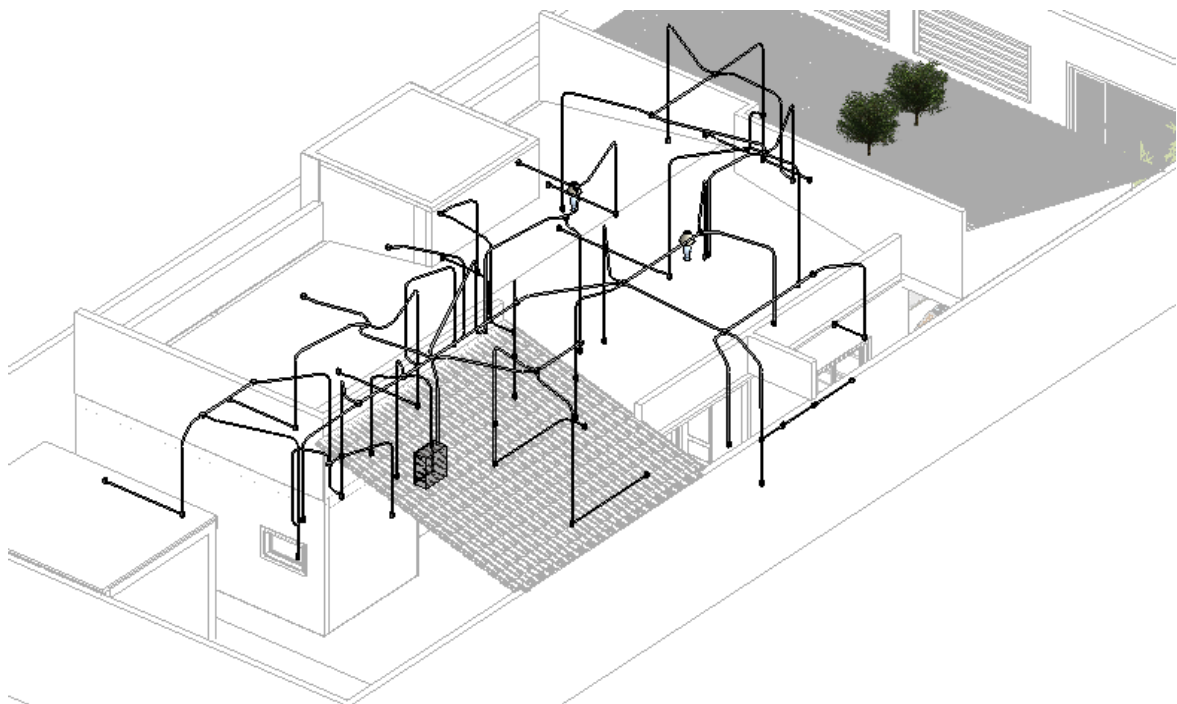
Já as figuras 26 e 27, apresentam o projeto estrutural e o de instalações elétricas modelados no programa. É possível assim, observar a capacidade de apresentação e de possibilidades de análise de como será o resultado da obra, antes dela ser construída fisicamente.

Figura 26 - Projeto Estrutural elaborado em Revit



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Revit), 2018

Figura 27 - Projeto de instalações elétricas elaborado em Revit



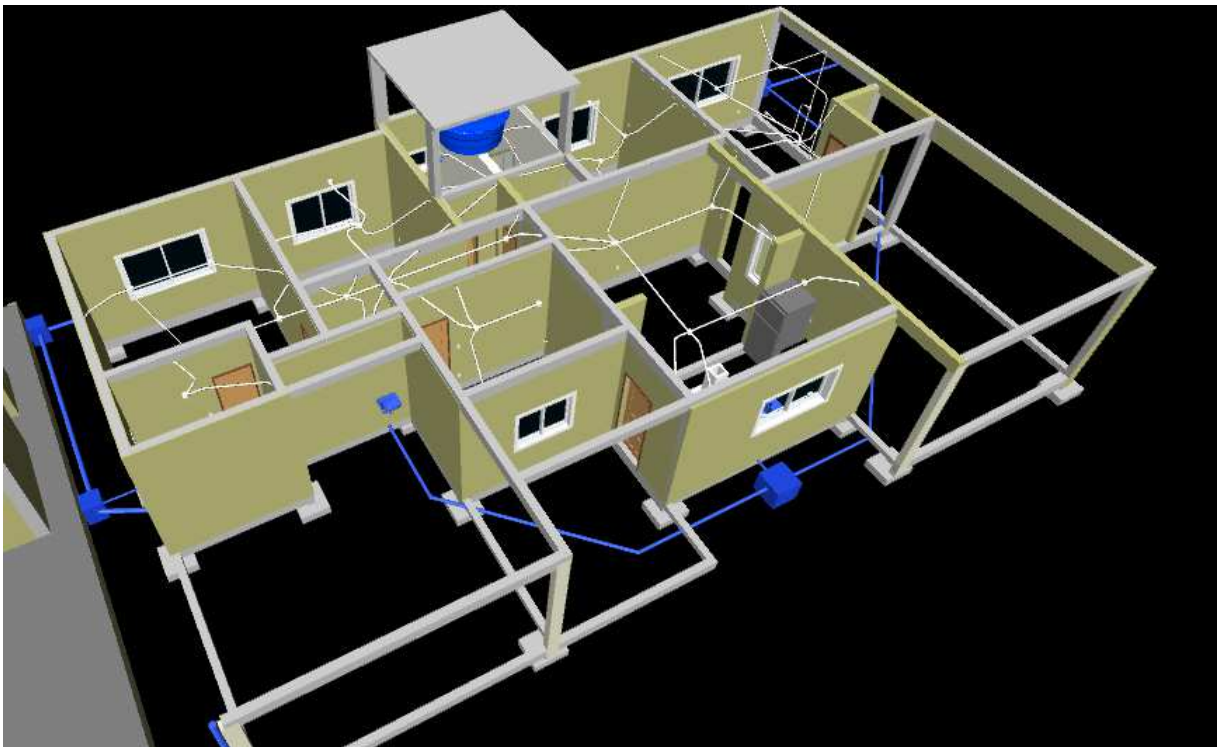
Fonte: Autora (Imagem capturada do software Revit), 2018

7.3.2 Naviswork

Apesar do Revit também possuir o comando de análise de interferências dos modelos, o programa utilizado neste trabalho para verificação de compatibilidade de projetos foi o Naviswork. O Navisworks Manage é um *software* da Autodesk que permite a análise, coordenação e compatibilização de diferentes tipos de projetos. No programa, é possível vincular diferentes projetos em um arquivo, identificar conflitos e interferências entre os elementos dos diferentes projetos, associar o projeto com o cronograma da obra, fazer uma simulação 4D da construção, extrair quantitativos, fazer animações 3D, fazer anotações em vistas 3D para revisão, verificar medidas, etc. (OLIVEIRA, 2015).

O programa não realiza modelagem de projetos, ele serve como intermediador para união de projetos já confeccionados, ou seja, ele realiza uma integração. A figura 28 apresenta a reunião dos modelos do estudo de caso no programa. É um *software* útil tanto na fase que antecede a construção quanto no acompanhamento da mesma. Com os recursos de visualização e integração entre diferentes projetos, o Navisworks Manage se torna uma ótima ferramenta de comunicação que pode ser utilizada em reuniões ou demonstrações.

Figura 28 - Reunião no Naviswork de todos os projetos modelados



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Naviswork), 2018

7.4 O processo de compatibilização

Como forma de otimizar o processo de identificação de interferências e falhas de projetos, se fez necessário o conhecimento prévio dos principais problemas comumente encontrados na etapa de compatibilização. A carga de conhecimento proveniente do estudo prévio, traz maior eficiência e velocidade ao processo de identificação, possibilitando que elementos específicos que costumam apresentar interferências sejam confrontados. Essa revisão serve como parâmetro e elemento de partida norteador para a busca de potenciais problemas existentes no modelo.

Como já dito anteriormente, o estudo de caso focará na análise das seguintes disciplinas de projetos: arquitetônico; estrutural; instalações (hidrossanitárias e elétricas). Portanto, apenas será feito o levantamento de interferências que englobam essas disciplinas, visto que são as que tendenciam a ter maior probabilidade de conflitos.

Para confecção deste estudo de caso, optou-se pela utilização do *software* Revit para modelagem por conta da facilidade de acesso perante à sua instalação bem como a sua forma de utilização, visto que existem inúmeros meios de comunicação e tutoriais que demonstram como o programa é manuseado. Para a etapa de compatibilização, optou-se pelo Naviswork, onde também possuiu facilidade de obtenção. É possível instala-los pelo próprio site da Autodesk, onde é oferecido tanto o pacote para compra para obter o licenciamento (caso seja operado em uma empresa), quanto o fornecimento dos programas para estudantes de forma gratuita por 3 anos. Para realização deste trabalho, foi necessário realizar previamente um intenso estudo sobre o no manuseio dos dois *softwares* como forma de efetivar a qualidade do produto final.

Com a finalização dos projetos elaborado pelo projetista, foi solicitada a autorização para cópia dos projetos, em CAD, arquitetônico, estrutural, hidrossanitário e elétrico para realização do estudo de caso. A etapa do processo de modelagem com o *software* Revit foi iniciada após os projetos em mãos.

Utilizando-se o Revit, foram inseridos os arquivos recebidos, com a função de importação do AutoCAD como se fosse uma figura, logo, redesenhou-se o projeto sobre a imagem, para posteriormente gerar o projeto no programa. O *software* apresenta parametrização de informações, sendo assim a modelagem é gerada em três dimensões, gerando os cortes de forma rápida, facilitando a percepção e verificação de possíveis inconformidades.

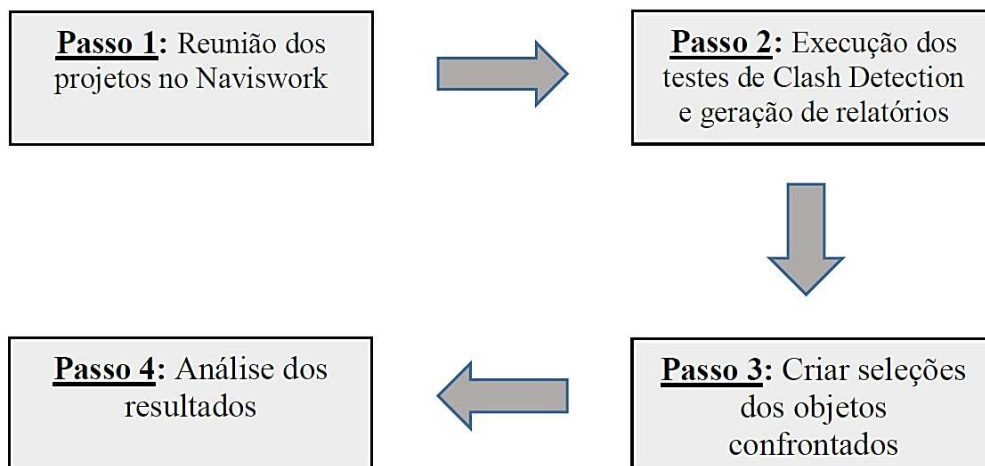
O programa traz a fundamentação do desenho em sobreposições, ou seja, pode-se desenhar o nível da cobertura sobreposta onde se está desenhado o pavimento inferior, o que facilita a visualização caso algo esteja em conflito.

Após todos os projetos modelados, eles foram convertidos para o formato IFC para integração de todos no *software* Naviswork para análise de interferências, visto que ele é um *software* eficaz na detecção de incompatibilidades.

7.5 Identificação e estudo das interferências no modelo

Realizando uma análise bidimensional e tridimensional com o auxílio do Revit, foram encontradas algumas interferências, as quais serão mostradas a seguir, juntamente com as figuras que apresentam o comparativo da interferência encontrada no programa com o que ocorreu em obra.

Figura 29 - Esquema para análise das interferências



Fonte: Autora, 2018

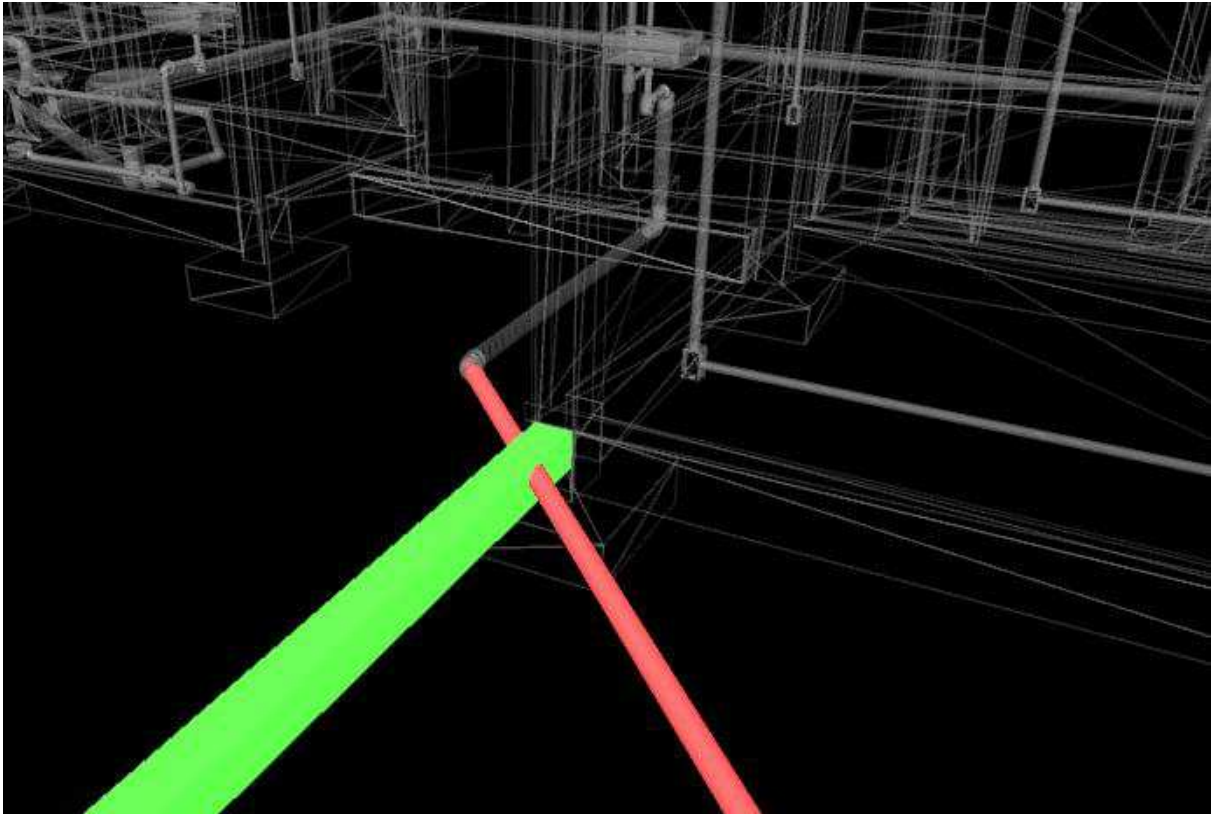
7.5.1 Caso 1: Interferência entre Projeto Estrutural e Instalação Sanitária

Dentre os problemas relacionados com a estrutura e as instalações, os furos não previstos para passagem de tubulações são os mais recorrentes. Com a modelagem dos projetos sanitário e estrutural no Revit, as interferências encontradas no Naviswork foram imediatamente notificadas pelo programa onde constam os elementos conflitantes.

O teste foi realizado no programa com *Hard Clash* e com tolerância de 1 centímetro. Na figura 30, o trecho onde passa a tubulação sanitária está conflitando com o projeto estrutural de fundação, especificamente, com uma viga baldrame. Como forma de comparação, a

ocorrência não foi detectada previamente em AutoCAD quando o projetista elaborou os projetos, visto que o programa não realiza verificação de compatibilidade de projetos.

Figura 30 - Interferência detectada entre viga baldrame estrutural x tubulação sanitária



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Naviswork), 2018

Em obra, a instalação foi executada da forma como constava no projeto e, por isso, houve quebra da estrutura para passagem da tubulação. Após a abertura na viga baldrame ser feita para a passagem da tubulação (figura 31), além do conflito existente entre os projetos, não houve inclinação suficiente no trecho, por isso, foi necessário um desvio de caminho (figura 32), fato que consumiu tempo (para abertura da viga baldrame, escavação da passagem da tubulação, análise da inclinação que não estava nos conformes e estudo de outra maneira de passagem da tubulação), dinheiro com material (pois o caminhamento seria modificado) e mão de obra para execução do serviço.

Figura 31 - Interferência entre viga baldrame x tubulação sanitária detectada em obra



Fonte: Autora, 2018

Figura 32 - Desvio de caminho da tubulação sanitária



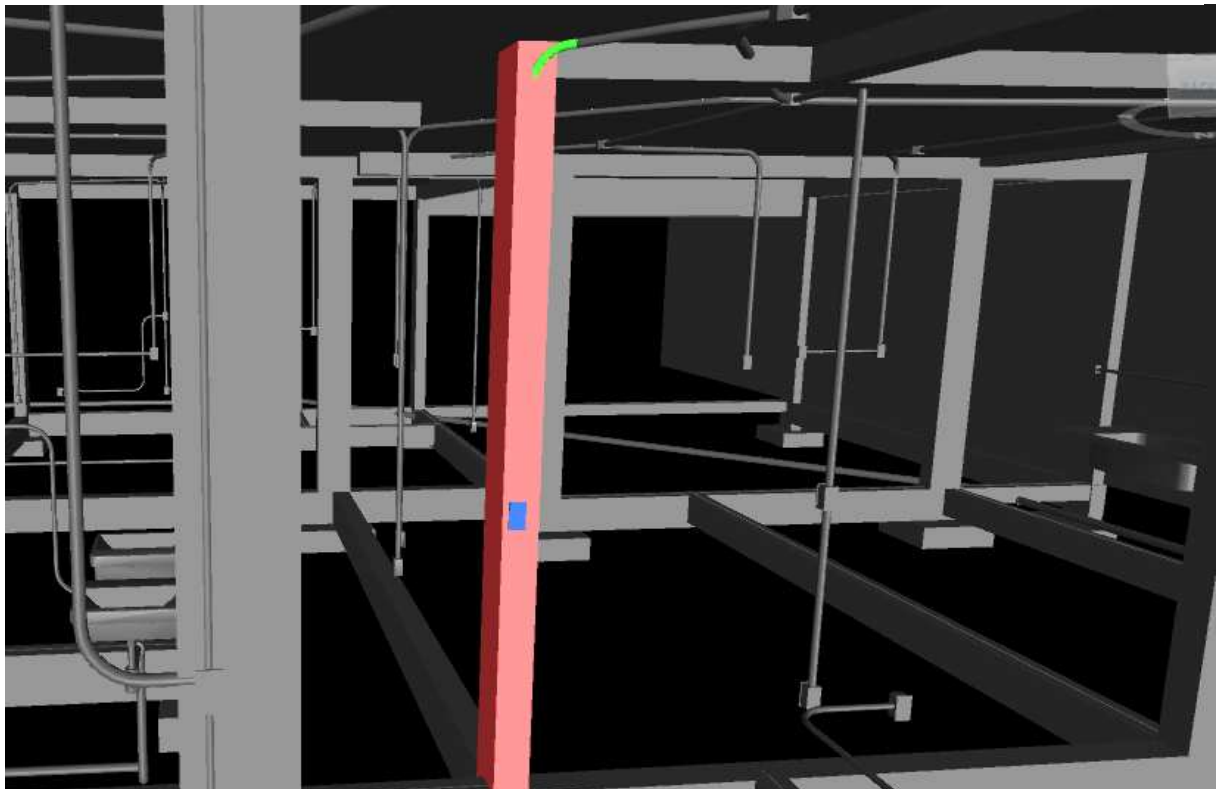
Fonte: Autora, 2018

7.5.2 Caso 2: Interferência entre Projeto Elétrico e Projeto Estrutural

No modelo de projeto elétrico, foram identificados problemas de locação de componentes como tomadas e interruptores. Os problemas foram encontrados no momento em que o projeto estava sendo executado no canteiro de obras, causando atrasos, retrabalho e mudança de estratégias em cima da hora. O encontro do interruptor com o pilar ocorreu em duas situações.

Através da análise de *Hard Clash* com tolerância de 1 cm, o primeiro caso, como a situação detectada pelo *software* na figura 33, não houve quebra do pilar para instalação do interruptor, visto que a interferência era visualmente identificável no momento da marcação dos pontos elétricos. Na etapa da locação dos interruptores (figura 34), houve a verificação do encontro do componente com o pilar. Para sanar o problema, tanto a passagem do eletroduto quanto o seu local tiveram que ser relocados.

Figura 33 - Primeira interferência detectada entre pilar x eletroduto e interruptor



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Naviswork), 2018

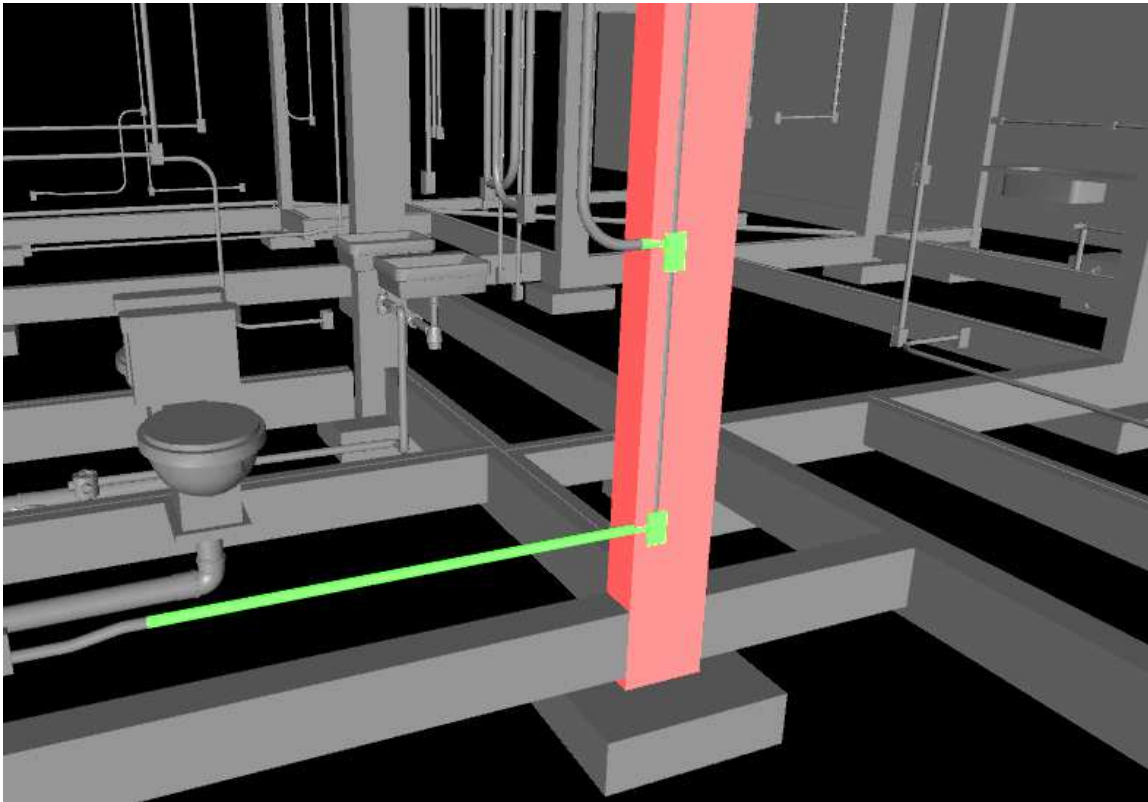
Figura 34 - Momento da verificação da interferência do pilar e do interruptor na obra



Fonte Autora, 2018

Também utilizando a análise de *Hard Clash* com tolerância de 1 cm, a figura 35 apresenta o segundo caso onde houve problema de interferência entre um pilar estrutural e o projeto de instalação elétrica detectado pelo Naviswork. A locação do ponto de interruptor e de tomada se encontravam no canto do pilar. Neste caso, houve quebra da estrutura pois o pilar estava encoberto pelo reboco, dificultando a sua localização. Ao seguir o projeto, o eletricista, efetuou a quebra com um martelo e notificou que havia uma estrutura no local onde haveria um interruptor.

Figura 35 - Segunda interferência detectada entre pilar x eletroduto, interruptor e tomada



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Naviswork), 2018

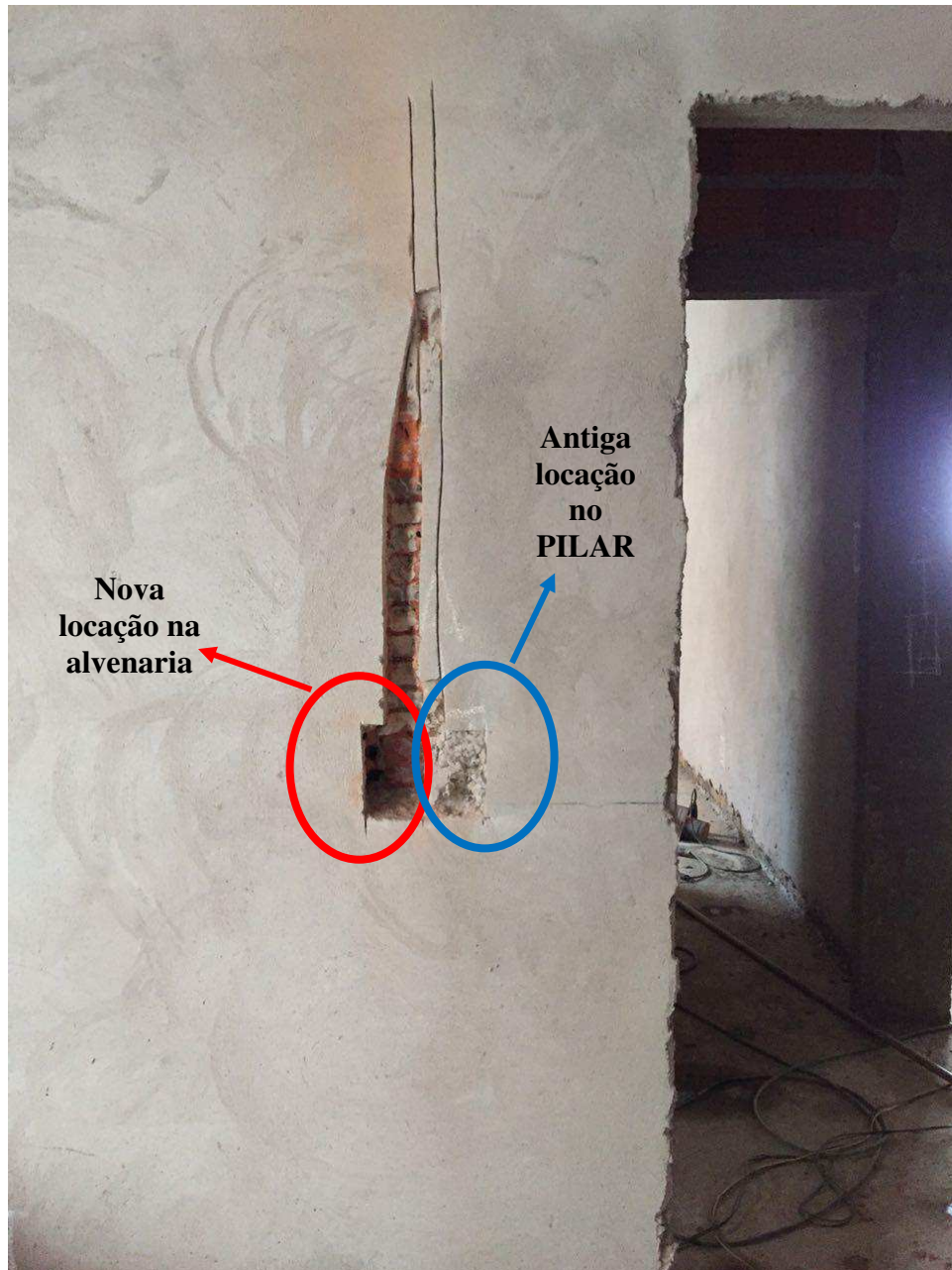
Figura 36 - Quebra do pilar



Fonte: Autora, 2018

Como não houve êxito na localização da extensão da estrutura apenas visualmente, visto que este pilar em específico havia dimensionalmente sido estendido durante a sua execução, foi necessário ir efetuando quebra superficial do local pelo electricista (figura 36) até a identificação de onde o pilar terminava, para então poder encontrar um local seguro para sua locação (figura 37).

Figura 37 - Nova locação do interruptor



Fonte: Autora, 2018

Nos dois casos de interferência de estrutura com a instalação elétrica, a modelagem dos projetos no Revit e a compatibilização realizada no Naviswork, possibilitou a identificação

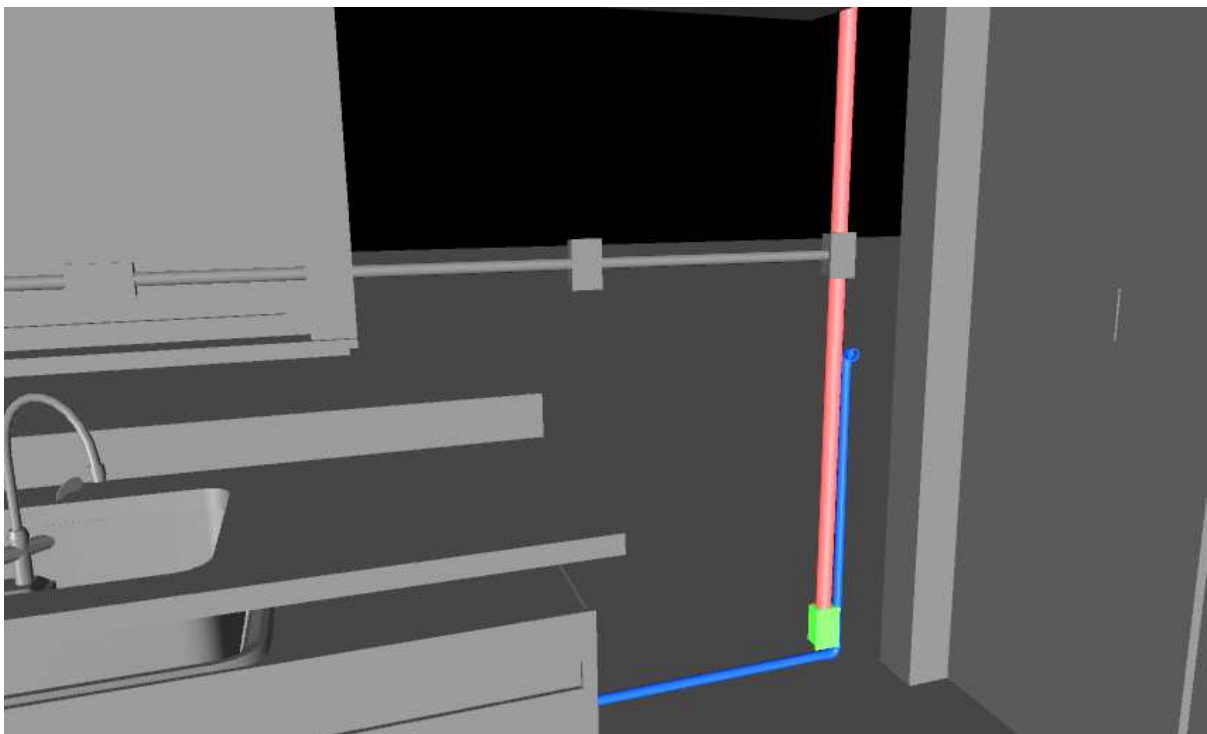
precisa dos problemas de interferências que ocorreram na obra. Ou seja, se os projetos tivessem sido feitos utilizando estes *softwares*, seria possível prever as situações de interferência.

7.5.3 Caso 3: Interferência entre Instalação Elétrica e Instalação Hidráulica

Na locação dos pontos elétricos na cozinha, foi constatado visualmente na obra que a tomada da máquina de lavar louça, ficaria muito próxima da tubulação de água fria, fato que poderia gerar transtornos ou até mesmo causar acidentes. Este tipo de compatibilização de projetos foi analisado apenas em campo, por isso, mais uma vez foi necessária uma mudança de estratégia para analisar um novo local para a passagem do eletroduto e da tomada. Como já existia um projeto de móveis planejados, a máquina de lavar louça não poderia sair e ser locada em outro local, portanto, houve apenas um afastamento lateral da tomada.

Verificou-se através de teste *Soft Clash* entre tomadas/eletrodutos e tubulações hidráulicas, a análise de interferências. A figura 38 mostra a detecção da interferência pelo Naviswork e as figura 39 e 40, a situação encontrada apenas no momento da execução da obra e, respectivamente, a solução para contornar o problema.

Figura 38 - Problema de compatibilização de tomada x tubulação hidráulica



Fonte Autora (Imagem capturada do software Naviswork), 2018

Figura 40 - Incompatibilidade de Projeto Hidráulico x Projeto Elétrico



Fonte: Autora, 2018

Figura 39 - Solução encontrada para contornar o problema



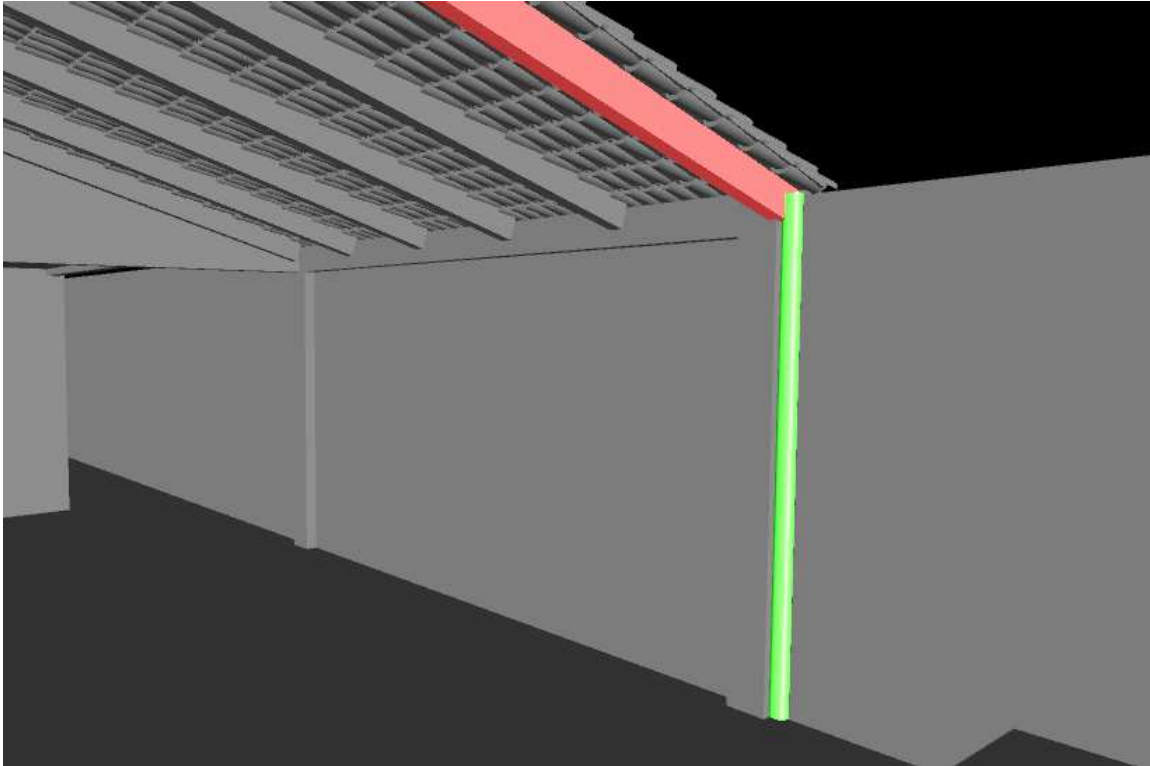
Fonte: Autora, 2018

7.5.4 Caso 4: Interferência entre Arquitetura x Instalação de águas pluviais

Através do teste *Hard Clash* com tolerância de 1 cm entre elementos que fazem parte da arquitetura e o projeto de tubulações hidrossanitárias, foi constatada uma colisão entre o madeiramento do telhado e uma tubulação de águas pluviais que faria a drenagem daquele local (figura 41). A tubulação se encontrava ao lado de um pilar para, posteriormente, ser encoberto por questões estéticas, por isso, retirar a tubulação daquele local e afasta-la mais para o lado, geraria transtornos em relação à parte estética do local

Durante a execução do madeiramento da cobertura (figura 42), até o preenchimento da última peça, não havia sido constatado a colisão entre a terço e a tubulação de águas pluviais, (4 cm de conflito no total). O resultado foi a paralisação da atividade para avaliar uma estratégia que melhor adequar a locação da estrutura, já que todas as peças já haviam sido locadas e, retirá-las, atrasaria no cronograma das atividades.

Figura 41 - Conflito entre madeiramento do telhado e tubulação de águas pluviais



Fonte: Autora (Imagem capturada do software Naviswork), 2018

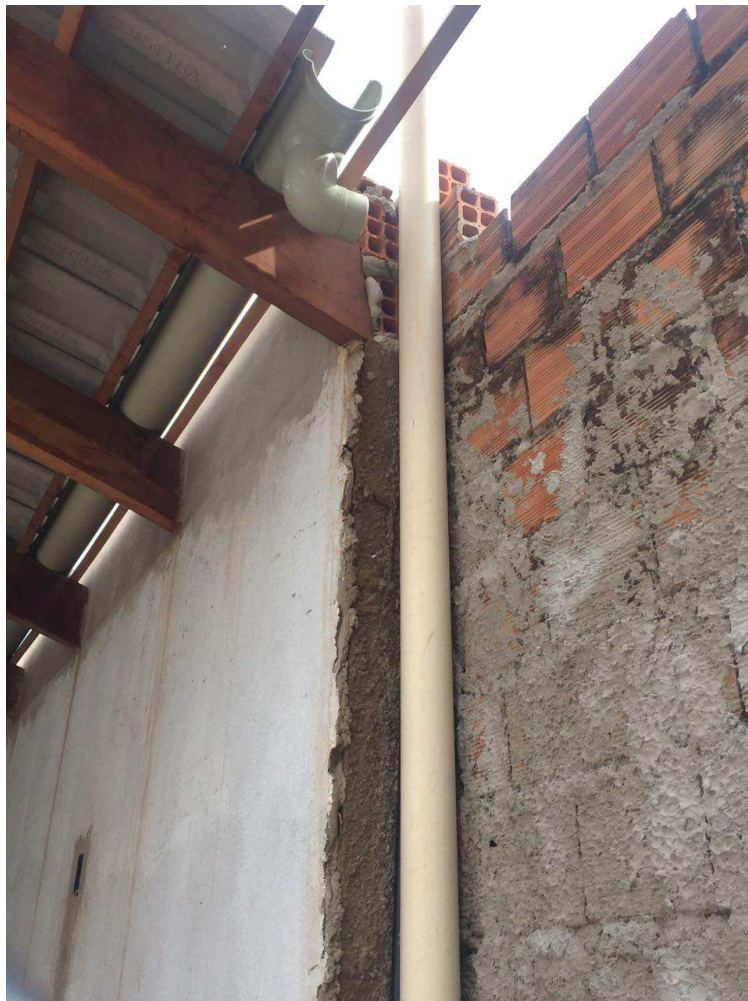
Figura 42 - Situação do conflito gerado na obra



Fonte: Autora, 2018

Após verificação pelo engenheiro, decidiu-se estender um espaço após o pilar por meio de preenchimento com uma coluna de tijolo. O resultado traria espaço suficiente para que a terça fosse relocada de forma a não conflitar com a tubulação, que, por ser estrategicamente posicionada ao lado do pilar, conseqüentemente também iria ser descolada. O fato gerou alguns dias de atraso e retrabalho para reposicionar a tubulação. Na figura 43, é possível verificar o resultado da modificação.

Figura 43 - Resultado do preenchimento do pilar para relocação da tubulação



Fonte: Autora, 2018

7.6 Análise dos resultados

Dentro da metodologia proposta, partindo do levantamento de interferência recorrentes em projetos de edificações, os resultados obtidos reenfazem as diferenças entre projetar em CAD e em um *software* da plataforma BIM. Através da análise da edificação

estudada, foi possível identificar as dificuldades encontrados na execução da obra devido à falha na detecção de interferências do modelo cujos princípios partem da Engenharia Sequencial, comprovando a importância do uso da tecnologia BIM a favor do projetista.

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos no processo de identificação, foi elaborado um resumo, conforme quadro 6 e a figura 44. Os projetos apresentaram relativamente poucos problemas graves de compatibilização.

Um dos fatores que alimentam este resultado, se deve ao fato de que o engenheiro que executou a obra do início ao fim, foi o mesmo que confeccionou todos os projetos, ou seja, a probabilidade de erro é reduzida. Projetos que são desenvolvidos de forma isolada, sem a interação dos profissionais envolvidos, geram prejuízos para o decorrer da construção. Diante dos resultados, a utilização dos *softwares* Revit e Naviswork no estudo, se tornam ainda mais eficientes em obras de edificações de grande porte, devido ao fato de que os projetos são mais complexos e a probabilidade de interferência é maior.

Quadro 6 – Resumo das interferências encontradas

QUADRO RESUMO DE VERIFICAÇÃO DE INTERFERÊNCIAS			
Disciplinas analisadas	Interferências identificadas	Modo de identificação	Quantidade
Estrutural x Inst. Hid.	Tubulação sanitária x viga baldrame	<i>Hard Clash</i>	1
Estrutural x Inst. Elétrica	Interruptor/tomada e Pilar	<i>Hard Clash</i>	3
	Pilar com passagem de eletrodutos	<i>Hard Clash</i>	3
Inst. Hid. X Inst. Elétrica	Tubulação Hid. e Tomada	<i>Soft Clash</i>	1
	Tubulação hid. e Eletroduto	<i>Soft Clash</i>	1
Arquitetônico x Inst. Hid.	Madeiramento do telhado x tubulação de drenagem	<i>Hard Clash</i>	1

Fonte: Autora, 2018

Figura 44 - Interferências por disciplinas confrontadas



Fonte: Autora, 2018

A maioria dos problemas encontrados no momento da execução na obra eram resolvidos no mesmo instante, não gerando tantos atrasos nem gastos. O fato do engenheiro conseguir modificar o projeto na hora, sem precisar da autorização de alguma empresa responsável por este departamento, facilitava o andamento do processo.

Este tipo de situação não aconteceria em empresas de grande porte e em obras mais complexas, pois, geralmente, existe uma equipe de confecção de projetos específica para realiza-los. Diante disso, o engenheiro de execução, ao perceber alguma interferência de projetos, precisa contatar o setor de projetos, relatar o problema e aguardar a decisão da modificação. Isto gera perda de tempo para resolver o problema na obra.

Apesar disso, a obra não deixou de apresentar interferências e criar problemas durante o andamento da construção. É possível notar que a grande maioria das interferências identificadas está relacionada ao modelo de instalações. Essa disciplina se encontra presente em 100% dos problemas, como visto na figura 44. Especificamente, os projetos de instalações x estrutura apresentaram grande número de interferências físicas.

As vantagens em utilizar a plataforma BIM, não apagam as dificuldades encontradas para projetar com o *software*. Houveram empecilhos para localizar materiais disponíveis para confecção dos projetos, com ênfase no de instalações elétricas. Para confecção de projetos de instalações, é necessário haver um *template* (modelo de projeto), que normalmente era disponível na internet apenas conforme pagamento do mesmo. Outro

empecilho era a dificuldade de encontrar ajuda de alguém para auxiliar em caso de dúvidas em relação a algum comando de algum dos programas, visto que são poucos os profissionais disponíveis no mercado que sabem e possuem experiência em manusear tais *softwares*. Por ser uma tecnologia relativamente nova e que está começando a ganhar espaço na construção civil, ainda há estes tipos de dificuldades.

8 CONCLUSÃO

Visando atingir o primeiro objetivo específico, foram demonstrados os conceitos e as diversas aplicações da metodologia da Engenharia Simultânea para a construção civil, evidenciando seus benefícios para o setor, que vão além da compatibilização de projetos. Também foram expostos as utilidades e eficácias acerca da plataforma BIM, demonstrados por meio de pesquisas e confirmado a sua capacidade de compatibilizar projetos por meio deste estudo de caso.

Quanto à representação dos projetos, comparando o AutoCAD 2D e o Revit percebeu-se que a modelagem 3D utilizada com o programa da plataforma BIM, possibilitou uma melhor interpretação e visão geral do projeto, sendo possível lançar alterar e identificar todos os elementos.

Uma das grandes vantagens identificadas no BIM, neste projeto, foi o fato de que os mesmos elementos são utilizados em distintas plantas e vistas e que, em CAD, necessitariam de replicação tantas vezes quanto fosse necessário. Isto devido à forma de trabalho bidirecional, quando o mesmo elemento pode ser apresentado em diversas vistas sem perder informação e representação.

Da mesma maneira que o projeto arquitetônico e o estrutural, os projetos hidrossanitário e elétrico apresentaram a possibilidade de controle total das dimensões e do posicionamento de todos os elementos do projeto, tubulações e conexões, tanto em 2D como em 3D, gerando uma visualização de possíveis interferências de forma rápida e antecipada.

Caso uma peça fosse desnecessária ou caso não houvesse um devido encaixe entre a cota de uma tubulação e outra, por exemplo, o Revit emite um aviso acerca deste problema. Em ambos os projetos, mas principalmente no projeto sanitário, o BIM propiciou uma visão com as dimensões e o posicionamento real de cada um dos elementos no espaço, situação que gerou uma redução significativa no esforço cognitivo em virtude da facilidade de visualização bidirecional de todos os elementos.

Com as análises feitas, foi possível concluir também, que o grau de detalhamento dos projetos modelados influi no processo de compatibilização. Quanto mais rico em informações for o modelo, mais fácil e eficiente será sua compatibilização.

Em comparação aos projetos elaborados em CAD 2D, a capacidade da metodologia BIM de agregar todos os dados do empreendimento em um único modelo, permitiu uma melhor gestão da informação e visualização do espaço projetado. Somando-se a isso, a possibilidade de reunião de informações facilitou o processo de compatibilização, pois reduz uma das

principais causas de incompatibilidades de projetos, que é a fragmentação da informação. A capacidade de visualizar objetos em um espaço tridimensional também facilitou o processo de identificação das interferências nos casos em que não foi possível utilizar a detecção automática. Essa vantagem apresentada pelos modelos BIM reduz erros relacionados à simbologia e simplificações adotadas em projetos bidimensionais, que podem gerar interpretações equivocadas.

A experiência de trabalhar com o Revit foi extremamente satisfatória, visto que foi a primeira vez que houve interação do autor com este *software* para modelagem de projetos. Ele se apresentou de forma a ser possível manuseá-lo apenas com pesquisa e surpreendeu com a facilidade de comando. A sua interface e principalmente a engrenagem de parametrização, onde qualquer alteração acarretava em mudanças em todo o projeto, foi o ponto alto da sua utilização. A cultura de se trabalhar com CAD limita projetistas a conhecerem e a utilizarem novos *softwares* como o Revit para modelagem de projetos e o Naviswork para a compatibilização deles.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode ser estudada a compatibilização de modelos com a interação do planejamento 4D associado. O estudo da compatibilização com o sequenciamento de atividades ao longo da construção pode levar a uma melhor elaboração de cronograma e evitar gargalos no canteiro de obras.

Por fim, apesar da mudança cultural ainda envolvida acerca da inserção dos *softwares* BIM nas empresas, a quebra de paradigmas é válida, pois traz benefícios desde fases iniciais e não somente à compatibilização. A utilização desta metodologia e tecnologia representa uma grande oportunidade de melhoria do processo de concepção e gestão do empreendimento como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.531. Elaboração de Projetos de Edificações: Atividades técnicas.** Rio de Janeiro, 1995, 10p.

_____. **NBR 15965-1: Sistema de Classificação da informação da construção – Parte 1: Terminologia e estrutura.** Rio de Janeiro, 2011.

ANDRADE, M.; RUSCHEL, R. C. **Interoperabilidade de aplicativos BIM usados em arquitetura por meio do formato IFC.** Gestão & Tecnologia de Projetos, Vol. 4, No. 2, p. 76-111, São Paulo, 2010.

ANDRADE, M.; RUSCHEL, R. C. **BIM: conceitos, cenários das pesquisas publicadas no Brasil e tendências.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DE PROJETOS, 1., 2009, São Carlos. Anais... São Carlos: RiMa Editora, 2009, p. 602-613.

AYRES FILHO, Cervantes; SCHEER, Sérgio. **Diferentes abordagens do uso do CAD no processo de projeto arquitetônico.** Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projetos na Construção de Edifícios. Paraná, 2007.

BAÍA, J.L. **Sistemas de gestão da qualidade em empresas de projeto:** aplicação às empresas de arquitetura. 1998. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

BALLARD, G.; KOSKELA, L. On the agenda of design management research. 6th **Annual Conference of the International Group for Lean Construction.** Guarujá, Sao Paulo, p. 13, 1998.

BRASILIANO, Ana Emília. **Gestão do desenvolvimento de projetos das edificações públicas: um modelo segundo os princípios da engenharia simultânea.** 2000, p. 245. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2000.

CHIPPARI, Patrizia. **Compatibilização de projetos economiza tempo e dinheiro.** Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cont/m/cm/compatibilizacao-de-projetos-economiza-tempo-e-dinheiro_6907>. Acesso em: 28 fev. 2018.

CALLEGARI, S. **Análise de Compatibilização de projetos em Três Edifícios Residenciais Multifamiliares.** 2007. 160 f. Dissertação (Arquitetura e Urbanismo), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

CAMBIAGHI, H. **Qualidade de projetos: instrumento para o aumento de produtividade na construção.** Construção, n.258, p.18, novembro 1994.

CASAROTTO FILHO, Nelson; FÁVERO, José S.; CASTRO, João E. E. **Gerência de Projeto/Engenharia Simultânea.** São Paulo: Atlas, 1999.

CASTELLANO, S. **Proposição de um Modelo para Planejamento e Desenvolvimento de Projetos em Empresas de Alta Tecnologia**. 1996. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Centro Tecnológico, Florianópolis, 1996.

CBIC, **Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, Câmara Brasileira da Indústria e da Construção**. Disponível em: <<http://cbic.org.br/bim/>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

CHEN, D., DOUMEINGTS, G. & VERNADAR, F. Architectures for enterprise integration and interoperability: Past, present and future, *Computers in Industry* 59: 647-659, 2008.

COSTA, A. (2011). Trabalho para o curso avançado de sistemas de apoio ao projeto. Lisboa: IST, Universidade Técnica de Lisboa.

EASTMAN, Chuck et al. **Manual de BIM: Um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Bookman Editora, 2014.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R., LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. Hoboken: Wiley, 2011.

ERNSTROM, Bill et al. **The contractors' guide to BIM**. Associated General Contractors of America, Arlington, VA, 2006.

EVBUOMWAN, N. F. O.; ANUMBA, C. J. **An integrated framework for concurrent life-cycle design and construction**. *Advances in Engineering Software*, v. 29, n. 7-9, p. 587-597, 1998.

FABRÍCIO, M. M. **O Projeto Simultâneo na Construção de Edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

FABRÍCIO, Márcio Minto; MELHADO, Silvio Burrattino. **Desafios para integração do processo de projeto na construção de edifícios**. In: WORKSHOP NACIONAL GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, São Carlos: USP, 2001.

FABRÍCIO, M. M.; MELHADO, S. B. **Projetos da Produção e Projetos para Produção na Construção de Edifícios: discussão e síntese de conceitos**. ENTAC 98. Florianópolis-SC, 1998

FARIA, R. Construção Integrada. **Revista Técnica**. São Paulo: Pini, n. 127, p. 44-49, out. 2007. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/127/artigo64516-1.asp>>. Acesso em: 13 fev. 2018.

FERREIRA, Milene Aparecida Nascimento B. A importância do planejamento na indústria da construção civil. Disponível em: <http://www.techoje.com.br/site/techoje/categoria/impressao_artigo/413>. Acesso em: 21 abr. 2018.

FERREIRA, R. C.; SANTOS, E. T. **Características da representação 2D e suas limitações na etapa de compatibilização espacial do projeto.** *Gestão e Tecnologia de Projetos*, v.2, nº 2, p.36-51, 2007.

FORMOSO, C. T. *Lean Construction: princípios básicos e exemplos.* *Construção Mercado: custos, suprimentos, planejamento e controle de obras.* Porto Alegre, v. 15, p. 50- 58, 2002.

FRANCO, Luiz Sérgio; AGOPYAN, Vahan. **Implementação da Racionalização Construtiva na Fase de Projeto.** São Paulo: Escola Politécnica/USP, 1993.

GEHBAUER, Fritz; ORTEGA, Lucilla de Godoy. **Compatibilização de projetos na construção civil.** Projeto COMPETIR. Recife, 2006.

GEROLLA, Giovanni. **O Brasil - universidades, projetistas, arquitetos, engenheiros - está preparado para o BIM?** *AU - Arquitetura e Urbanismo*, São Paulo, v. 208, p. 16-17, jul, 2011.

GRAZIANO, Francisco Paulo. **Compatibilização de projetos.** Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT (Mestrado Profissionalizante), São Paulo, 2003.

HARTLEY, John R. **Engenharia simultânea: um método para reduzir prazos, melhorar a qualidade e reduzir custos.** Porto Alegre: Bookman, 1998.

HAMMARLUND, Y.; JOSEPHSON, P. E. **Qualidade: cada erro tem seu preço.** Tradução de Vera M. C. Fernandes. *Téchné*, n. 1, p. 32-34, nov. / dez. 1992.

HELENE, P. R. L., SOUZA, R. de. *Controle da qualidade na indústria da construção civil.* In: *Tecnologia de Edificações.* São Paulo: PINI, 1988. p.537-542.

IOSHIMOTO, E. **Incidência de manifestações patológicas em edificações habitacionais.** In: *Tecnologia de edificações.* São Paulo: PINI/IPT, p. 545-548, 1988.

KAMARA, J.; ANUMBA, C.; CUTTING-DECELLE, A. **Introduction to Concurrent Engineering in construction.** In: ANUMBA, C.; KAMARA, J; CUTTING-DECELLE (Eds.) *Concurrent Engineering in construction projects.* New York: Taylor & Francis, 2007.

KIRSTEN, André Egon. **Soluções Viáveis para compatibilizar o projeto estrutural.** Disponível em: < <http://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/solucoes-viaveis-para-projeto-estrutural/>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

MANZIONE, Leonado. **Pontos essenciais para a implementação do BIM.** Disponível em: <<http://www.makebim.com/2017/10/05/pontos-essenciais-para-a-implementacao-do-bim/>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

MELHADO, S. B. et al. **Coordenação de Projetos de Edificações.** O Nome da Rosa. São Paulo, 2005.

MELHADO, S. B. **O processo de projeto no contexto da busca de competitividade.** In: *Anais do Seminário Internacional - Gestão e Tecnologia na Produção de Edifícios.* São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1997

MELHADO, S. B.; AGOPYAN, Vahan. **O conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle**. São Paulo, EPUSP, 1995. (Boletim Técnico. Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/139).

MENEZES, Gilda L. B. **Breve Histórico de implantação da plataforma BIM**. Revista Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v. 18, n. 22, p. 155-157, 2011.

MENEZES, A. M.; VIANA, M. L. S. ; PEREIRA JUNIOR, M. L. ; PALHARES, S. R. **A adequação (ou não) dos aplicativos BIM às teorias contemporâneas de ensino de projeto de edificações**. Anais: XIV Congresso de La Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital. Bogotá, 2010.

MOECKEL, A; AZEVEDO, H. **Análise de aplicabilidade da tecnologia workflow em um ambiente de Engenharia Simultânea**. XXIV ENEGEP – Florianópolis, SC, Brasil, 2004.

NASCIMENTO, Adriana Maria de Sá; MACEDO-SOARES, T. Diana L. V. A. de. **A competitividade no setor de construção**. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (XVI: 1996: Piracicaba). Anais. Piracicaba, SP: UNIMEP/ABEPRO, 1996.

NOVAES, C. C. **Ações para controle e garantia da qualidade de projetos na construção de edifícios**. In: WORKSHOP NACIONAL DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1. 2001, São Carlos. Anais... São Carlos: EESC/USP, 2001.

NOVAES, C. C. **Um enfoque diferenciado para o projeto de edificações: projetos para produção**. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Gramado, 1997. Horizontes da Engenharia de Produção. Gramado, UFRGS/ ABEPRO, 1997, 8p.

OKAMOTO, Patrícia Seiko. **Teoria e prática da coordenação de projetos de edificações residenciais na cidade de São Paulo**. 2006. 182p. Monografia (MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2006.

OLIVEIRA, M. e FREITAS, H. **Processo de projeto de obras de edificações: iniciativas para a melhoria da qualidade**. Porto Alegre/ RS Revista READ (<http://read.adm.ufrgs.br>), v. 3, nº 3, Outubro de 1997.

ORNSTEIN, Sheila; ROMÉRO, Marcelo. **Avaliação Pós-Ocupação do ambiente construído**. São Paulo: Studio Nobel; Editora da Universidade de São Paulo, 1992.

PEDRINI, Manuela Kautscher. **Engenharia simultânea: planejamento e controle integrado do processo de produção/projeto na construção civil**. 2012. 233f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

PEIXOTO, Ricardo André Fiorotti, **“Retrabalho é patologia do processo de construção”**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/retrabalho-e-patologia-do-processo-de-construcao/>> Acesso em: 18 nov. 2017.

PRASAD, B. **Concurrent Engineering Fundamentals: integrated product and process organization**. New Jersey: Prentice Hall International Series, v.1, 1996.

PRETTI, S. M. **Engenharia Simultânea em construtoras- incorporadoras: uma análise de maturidade.** 244 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

REZENDE, Paulo E; ANDERY, Paulo R. P. A utilização de princípios da engenharia Simultânea no processo de projeto de Pontes e viadutos. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, v. 3, n. 2, p. 53-87, nov. 2008.

RODRÍGUEZ, M. A. A.; HEINECK, L. F. M. **Construtibilidade no processo de projeto de edificações, 2002.** In: II Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios. Porto Alegre, 2002

SABOL, Louise. Challenges in Cost Estimating with Building Information Modeling. *Design + Construction Strategies*, Washington, DC, v. 5, p. 1-16, 06 jun. 2008.

SANTOS, J. P. A. **O projeto do Produto em Ambiente de Engenharia Simultânea.** São Carlos, 1995. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 1995

SEBRAE/ SINDUSCON – PR (Serviço Brasileiro de Apoio às Pequenas e Microempresas do Paraná) Diretrizes Gerais para Compatibilização de Projetos, Curitiba, 1995, 120p.

SHEN, W.; HAO, Q.; MAK, H.; NEELAMKAVIL, J.; XIE, H.; DICKINSON, J.; THOMAS, R.; PARDASANI, A.; XUE, H. Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: a review. *Advanced Engineering Informatics*, v. 24, n. 2, p. 196-207, abr. 2010

SILVA, T. F, COELHO, K. M.; MELHADO, S. **Projetos Industriais – Barreiras Para A Implementação Da Modelagem Da Informação Da Construção**, v. 2, n. 2, p. 27-37. VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (TIC2015). Recife, Novembro, 2015.

SILVA, Odila Rosa Carneiro da. **Engenharia simultânea na produção de edifícios de múltiplos pavimentos: cenário potencial na região metropolitana de Curitiba.** 2013, p. 19. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SUCCAR, Bilal. **Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders.** *Automation in construction*, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.