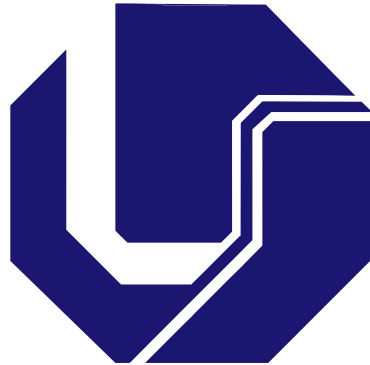


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**UMA PROPOSTA DO USO DE BUILDING INFORMATION
MODELING ASSOCIADO À ENGENHARIA SIMULTÂNEA
PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS EM AEC**

Diogo Martins Azevedo

Junho
2022

DIOGO MARTINS AZEVEDO

**UMA PROPOSTA DO USO DE BUILDING INFORMATION
MODELING ASSOCIADO À ENGENHARIA SIMULTÂNEA
PARA DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS EM AEC**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Banca Examinadora:

Prof. Alexandre Cardoso, PhD – Orientador (UFU)

Prof. André Luís de Araujo, PhD – UFU

Eng. Gerson Flávio Mendes de Lima, PhD – CGW

Profa. Pollyana Coelho da Silva Notargicomo, PhD – USP

Uberlândia

2022

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

A994p
2022 Azevedo, Diogo Martins, 1994-
 Uma proposta do uso de Building Information Modeling associado à
 engenharia simultânea para desenvolvimento de projetos em AEC
 [recurso eletrônico] / Diogo Martins Azevedo. - 2022.

 Orientador: Alexandre Cardoso.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia.
 Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica.
 Modo de acesso: Internet.
 Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.5326>
 Inclui bibliografia.
 Inclui ilustrações.

 1. Engenharia elétrica. I. Cardoso, Alexandre, 1964-, (Orient.). II.
 Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em
 Engenharia Elétrica. III. Título.

CDU: 621.3

Rejâne Maria da Silva
Bibliotecária - CRB-6/1925



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
 Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 3N - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3239-4707 - www.posgrad.feelt.ufu.br - copel@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Engenharia Elétrica				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 775, PPGEELT				
Data:	Quinze de Junho de dois mil e vinte e dois	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	17:00
Matrícula do Discente:	11812EEL004				
Nome do Discente:	Diogo Martins Azevedo				
Título do Trabalho:	Uma proposta do uso de Building Information Modeling associado à engenharia simultânea para desenvolvimento de projetos em AEC				
Área de concentração:	Processamento da Informação				
Linha de pesquisa:	Computação gráfica				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Coordenador do projeto: Alexandre Cardoso. Título do projeto: Desenvolvimento de metodologia utilizando o conceito BIM (Building Information Modeling) aplicada a projetos de subestações integrado à Sistema de Inteligência Geográfica (SIG) e ao Enterprise Resource Planning (ERP). Número do processo na instituição executora: CONTRATO 8000010818 Agência financiadora: ANEEL/Furnas. Vigência do projeto: até Jun/24.				

Reuniu-se por meio de videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, assim composta: Professores Doutores: André Luís de Araujo - FAUeD/UFU; Pollyana Coelho da Silva Notargiacomo - USP; Gerson Flávio Mendes de Lima - CGW; Alexandre Cardoso - FEELT/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Alexandre Cardoso, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato(a), agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

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



Documento assinado eletronicamente por **Gerson Flavio Mendes de Lima, Usuário Externo**, em 15/06/2022, às 16:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pollyana Coelho da Silva Notargiacomo, Usuário Externo**, em 15/06/2022, às 16:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andre Luis de Araujo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 15/06/2022, às 16:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Cardoso, Professor(a) do Magistério Superior**, em 15/06/2022, às 17:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3661106** e o código CRC **8CAD5A20**.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, pelo incentivo e pelo apoio proporcionado em todas as etapas de minha vida.

Ao Professor Alexandre Cardoso, pelas orientações, oportunidades e ensinamentos, sendo um grande instrutor, companheiro e amigo.

Aos Professor Edgard Lamounier, pela confiança, apoio e conselhos durante todo o decorrer do mestrado.

Ao Dr.Eng. Gerson Flávio, pela confiança, apoio, conselhos e oportunidade desde minha época de estágio até os dias atuais.

Agradeço aos meus amigos de Laboratório em especial ao Gabriel Cyrino, Leandro Mattioli, Camilo Barreto e Paulo Camargos os quais passo a maior parte do meu dia, o que cria um vínculo de amizade que espero levar pelo resto de minha vida.

Aos demais colegas do Grupo de Realidade Virtual e Aumentada (GRVA) pelo companheirismo, apoio e profissionalismo.

À FAPEMIG (Fundação de AmpSSSaro à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais S.A) e Furnas Centrais Elétricas pelo apoio financeiro concedido no âmbito do projeto de pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, pelo excelente serviço prestado. E a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Resumo

AZEVEDO, Diogo M. **Uma proposta do uso de Building Information Modeling associado à engenharia simultânea para desenvolvimento de projetos em AEC.** Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia Elétrica - UFU. Uberlândia, 2022.

Com a crescente difusão do uso de tecnologias BIM (Building Information Modeling - Modelagem da Informação da Construção), dentro dos meios da Arquitetura e Engenharia Civil, mostra que os resultados advindos de trabalhos colaborativos têm trazidos grandes benefícios para estas áreas, desde a concepção do projeto até sua execução e operação. Ademais, o uso desta metodologia facilita a compatibilização das distintas disciplinas de projetos, uma vez que, é possível utilizar o protocolo de comunicação IFC (*Industry Foundation Class*) para incorporar as disciplinas de projeto em um único modelo, o qual é nomeado modelo federado. Entretanto, a criação de modelos separados e depois unificando em um único ponto gera um número grande de incompatibilidade entre as disciplinas desenvolvidas. Desta forma, este trabalho propõe o uso de um sistema de servidor para o desenvolvimento das disciplinas elétricas e hidráulica com mensuração das incompatibilidades entre estas disciplinas e as que foram importadas. De uma forma geral, os resultados obtidos neste trabalho apresentam resultados satisfatórios, visto que as disciplinas desenvolvidas em um sistema de trabalho colaborativos tiveram 137 incompatibilidades enquanto as demais tiveram uma média geral de 1968 incompatibilidades.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção, Projeto de Instalações, BIM, Sistema Centralizado de Modelos, Modelo Federado.

Abstract

AZEVEDO, Diogo M. **A proposal for the use of Building Information Modeling associated with simultaneous engineering for the development of projects in AEC.** Masters Dissertation – Faculty of Electrical Engineering – UFU. Uberlândia, 2022.

With the growing diffusion of the use of BIM (Building Information Modeling) technologies, within the fields of Architecture and Civil Engineering, it shows that the results arising from collaborative work have brought great benefits to these areas, since the designation of project project until its execution and operation. Furthermore, the use of this methodology facilitates the compatibility of different project disciplines, since it is possible to use the IFC (Industry Foundation Class) communication protocol for the project incorporated as disciplines in a single model, which is named federated model . However, creating separate models and then unifying them in a single point generates a large number of incompatibilities between the developed disciplines. Thus, this work offers the use of a server system for the development of electrical and hydraulic disciplines with measurement of incompatibilities between these disciplines and those that were imported. In general, the results obtained in this report communicate satisfactory results, since the disciplines developed in a collaborative work system had 137 incompatibilities, while the others had an overall average of 1968 incompatibilities.

Keywords: Building Information Modeling, BIM Design, Colaborative Centered Model System, Federated Model.

Publicações

As publicações resultantes deste trabalho são apresentadas a seguir:

AZEVEDO, Diogo M.; FARIAS, Edson S J. et al. Preditor de Consumo Elétrico hospitalar utilizando a Rede Neural Artificial Multilayer Perceptron. In: 2018 13th IEEE International Conference on Industry Applications (INDUSCON). [S.l.: s.n.], 2018.

AZEVEDO, Diogo M.; LIMA, Gerson F M. et al. Utilização de tecnologia BIM aplicada a projetos de Subestações de energia elétrica integrada a Sistema de Inteligência Geográfica (SIG). In: ENCONTRO Regional Ibero-Americano do Cigré - ERIAC XVIII. Foz do Iguaçu PR: [s.n.], 2019.

AZEVEDO, Diogo Martins; MAROTTI, Ana et al. Development of BIM (Building Information Modeling) concept applied to projects of Substations Integrated with the Geographic Intelligence System (GIS). **WSEAS Transactions on Power Systems**, WSEAS, v. 16, p. 1–7, 2021.

Lista de Figuras

2.1	Campos que o BIM Abrange.	7
2.2	Níveis de Maturidade BIM.	9
2.3	Níveis de Abstração BIM.	11
2.4	Peça de uma chave seccionadora fuzível de 13,8 kV paramétrico.	12
2.5	Parede Parametrizada	13
2.6	Representação dos LoDS de uma edificação	15
2.7	Associação dos envolvidos em um projeto BIM.	16
3.1	Procedimento iterativo da fase de seleção de trabalhos correlatos	20
4.1	Organização da aplicação de um servidor BIM - com modelo federado	28
4.2	Caso de uso para arquitetos	29
4.3	Caso de uso para Engenheiros Estruturais	30
4.4	Caso de uso para Engenheiros de Instalações	31
4.5	Caso de uso para Coordenador BIM	32
5.1	Fluxo de desenvolvimento adotado inicialmente no processo	35
5.2	Fluxo de Sistema de Servidor Adotado	36
5.3	Modelo Quadro Geral de Distribuição de Baixa Tensão	37
5.4	Tomadas Revit	38
5.5	Parametrização baseada nas normas brasileira	39
5.6	Cubículo de média tensão	40
5.7	Modelo Quadro Geral da Subestação	40
5.8	Tabela de Quadro de Cargas	41
5.9	Subestação modelada vista superior	41

5.10	Vista 3D da Subestação	42
5.11	Arquitetura Revit Server Host	43
5.12	Arquitetura Revit Server Acelerador	44
5.13	Distintos times trabalhando de forma colaborativa via Worksets	45
5.14	Lista de Worksets	45
5.15	Worksets Elétrico (a) e Hidráulico (b) Modelo Centralizado (c)	46

Lista de Tabelas

3.1	Resultado da pesquisa em suas respectivas base de dados	19
3.2	Comparação entre os trabalhos relacionados.	26
4.1	Requisitos Não Funcionais	32
4.2	Requisitos Funcionais	33
5.1	Tabela de incompatibilidades entre disciplinas	48
5.2	Comparação entre os trabalhos relacionados.	49

Lista de Abreviaturas

AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
AIA	American Institute of Architects
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design
CAE	Computer-Aided Engineering
GFI	Gerenciamento Facilitado da Informação
IFC	Industry Foundation Class
LoD	Level of Development
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
MIA	Modelagem da Informação da Arquitetura
MIP	Modelagem da Informação de Ponte.
MIS	Modelagem da Informação da Simulação
MSIC	Modelagem da Informação de Simulação da Construção
O&M	Operação e Manutenção

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	4
1.1.1	Objetivo Principal	4
1.1.2	Objetivos específicos	4
1.1.3	Metodologia	4
1.2	Limitações da pesquisa	5
1.3	Organização da Dissertação	5
2	Fundamentação Teórica	6
2.1	Introdução	6
2.2	<i>Building Information Modeling</i> (BIM)	6
2.2.1	Níveis de Abstração do BIM na AEC	10
2.2.2	Modelos Paramétricos	11
2.2.3	Nível de desenvolvimento de um Modelo	14
2.2.4	Modelo federado	16
2.3	Considerações finais	17
3	Pesquisas Relacionados	18
3.1	Introdução	18
3.2	Protocolo de seleção de trabalhos acadêmicos	18
3.3	Artigos Selecionados	20
3.3.1	<i>Automatic Integrity Checking of IFC Models relative to building Regulations</i> (GU; ZHANG; GU, 2016)	20

3.3.2	<i>Automated BIM-based process for wind engineering design collaboration (DELAVAR et al., 2019)</i>	21
3.3.3	<i>Building Information Modeling (BIM) and Facility Management (FM) (BONANOMI, 2015)</i>	22
3.3.4	Loosely Coupled Systems of Innovation: Aligning BIM Adoption with implementation in Dutch Construction (PAPADONIKOLAKI, 2018) . .	23
3.3.5	Management of Collaborative BIM Data by Federating Distributed BIM Models (BEACH et al., 2017)	24
3.3.6	Organization of technological approach to the design of engineering systems using BIMtechnologies (SUBBOTIN; MELKUMYAN; KHURIEV, 2019)	25
3.4	Considerações Finais	25
4	Método e amostras	27
4.1	Introdução	27
4.2	Arquitetura do sistema	27
4.3	Casos de uso	29
4.4	Requisitos do sistema	32
4.5	Considerações finais	33
5	Desenvolvimento	34
5.1	Introdução	34
5.2	Característica da amostra	34
5.3	Estudo de Caso	35
5.3.1	Contextualização do projeto	35
5.3.2	Concepção inicial do projeto	37
5.3.3	Subestação de energia elétrica do hospital	39
5.3.4	Sistema de Servidor BIM	42
5.4	Resultados do sistema de servidor	47
5.5	Comparativo trabalhos correlatos	49
5.6	Considerações finais	50
6	Discussão e Trabalhos futuros	51
6.1	Introdução	51

6.2	Conclusões	51
6.3	Trabalhos futuros	52
6.4	Considerações Finais	53

Introdução

Durante anos os projetos de instalações as ampliações e substituições de dos dispositivos da instalação apoiam-se em arquivos bidimensionais elaborados com o auxílio de computadores (Computer-Aided Design - CAD) e análise de diagramas unifilares ou diagrama vertical em caso de instalações elétricas e hidráulicas. Tais arquivos consistem em uma base de plantas e cortes que devem sempre estar atualizadas. Em alguns casos estas especificações técnicas são elaboradas ao longo de muitos anos, de forma a englobar diversas ampliações no contexto de operação, troca de ativos de campo no caso de empreendimentos de grande porte, o que faz com que estas informações tornem-se imprescindíveis no contexto de Operação e Manutenção (O&M) (PEREIRA; PAIVA ALMEIDA SPRITZER, 2007).

Estes métodos ainda são baseados em CAD, mesmo com a quebra de paradigma proposta por Eastman (1975), de troca virtual de informações o que faz com que a gestão da produção, operação e manutenção de uma edificação seja facilitada, uma vez que é norteadas por três ações genéricas, sendo elas, o Projeto do Sistema de Produção, Operação do Sistema de Produção e Melhorias do sistema de Produção (KOSKELA; BALLARD, 2003). Assim, deve-se Partir de um projeto inicial do sistema, o qual será utilizado como subsídio para à Operação e Manutenção (O&M), onde ao haver atualizações de acordo com as demandas da edificação deve ser atualizado (PEREIRA; PAIVA ALMEIDA SPRITZER, 2007).

Devido a existência destas diversas plantas, cortes e especificações, as quais possuem distintos perfis de informações e detalhamentos, faz-se necessário a existência de um banco de dados atualizado, pois, as informações que estão nestas plantas são imprescindíveis para o planejamento de obra. Uma vez, que estas, quando não atualizadas, podem ocasionar a obsolescência de ativos de campo, impossibilita previsão de conflitos, dificulta expansões futuras, o

que ocasiona re-trabalho durante estas atualizações, o que, gera furos no orçamento (BRUGNI et al., 2012).

De forma semelhante, o mercado da Arquitetura e Engenharia apresentou problemas de Operação e Manutenção de empreendimentos. E com o aumento da competitividade no setor da construção civil e a complexidade dos projetos o mercado vêm exigindo metodologias e práticas de gestão mais eficazes (MANZIONE, 2013). Desta forma, um meio para melhor gestão destes empreendimentos foi o uso dos conceitos de *Building Information Modeling* (BIM) o qual apresentou um aprimoramento de redução de custos, tempo e aumentou a qualidade do desenvolvimento da construção (KU; TAIEBAT, 2011). Estes aperfeiçoamentos foram baseados em trabalho colaborativo entre os distintos times da construção civil (AKINTOYE; MCINTOSH; FITZGERALD, 2000).

O uso do BIM, nas disciplinas de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) é apresentada de maneira bem consistente (KIM et al., 2012). Com o uso deste conceito gera-se um modelo virtual paramétrico. Ao ser finalizado este modelo carregará de forma precisa toda a geometria, ademais, este modelo também carrega dados relevantes para a execução, operação e manutenção (EASTMAN et al., 2014).

Estes dados associados a modelos tridimensionais geram uma melhoria na documentação, visualização de projetos, interpretação na execução, capacidade de simulação (possibilita antever problemas de custos e desperdício) e melhoria na coordenação dos projetos (MANZIONE, 2013). Vale ressaltar que, sem a aplicação da metodologia BIM, em práticas de projetos complexos, existem dificuldades devido à fragmentação e deficiência de comunicação entre os diversos times envolvidos (CRESPO; RUSCHEL, 2007; AKINTOYE; MCINTOSH; FITZGERALD, 2000; EASTMAN et al., 2014). Desta forma os conceitos BIM podem ser utilizados para a criação de um Gêmeo Digital (*Digital Twin*), o qual servirá como um banco de dados tridimensionais de informações construtivas que auxiliaram na operação da edificação (KAEWUNRUEN; LIAN, 2019).

A concepção de um *Digital Twin* consiste na união das distintas disciplinas da edificação de forma que está possam ser alteradas e subsidiar a O&M, entretanto para conceber um projeto tridimensional executivo há a demanda de mão-de-obra extremamente especializada, capaz de integrar sistemas virtuais com sistemas sensoriais da edificação (FONSECA; GASPAR, 2020). Para tal existem *frameworks* para a construção de modelos tridimensionais com o intuito de associar estes a sensores, métodos preventivos de evacuação (em edificações com-

plexas como hospitais, centros comerciais e indústrias) partindo de análises norteadas pelas normas locais (GUO et al., 2018).

Ademais a aderência destas modelagem, torna-se viável em termos de atualização de conceitos de Projetos, Execução, Operação e Manutenção, uma vez que, esta proposta esta em concordância com o Governo federal. Visto que, foi instituído no Decreto Nº 9.983 de 22 de agosto de 2019 o qual tem como objetivo disseminar o BIM e promover um ambiente adequado ao investimento desta tecnologia. Tendo em vista as vantagens de projetos apresentas pelo uso dos conteitos da metodologia Building Information Modeling. Desta forma, faz-se necessário pesquisas e desenvolvimentos de sistemas, frameworks e habilidades para readequar os métodos de desenvolvimento de projetos baseados em pranchas bidimensionais CAD para BIM.

Assim, ressalta-se que para o uso destas tecnologias, mesmo que o Governo tenha demonstrado esforços para à adoção dos métodos de desenvolvimento e gerenciamento de projetos suportados por ferramentas computacionais que agregam informações dentro de um modelo tridimensional ainda há um longo caminho para uma atingir uma maturidade eficiente no nível de informações entre disciplinas, uma vez que há uma demanda de mão-de-obra especializada no uso de tecnologias BIM. No contexto mundial, já existem países com uma maturidade mais elevada no uso destas tecnologias, como por exemplo a Inglaterra que já divide o BIM em níveis distintos de uso, estes níveis variam de acordo com a maturidade de uso das ferramentas e de desenvolvimento dos modelos (KURUL; OTI; CHEUNG, 2016).

Assim, torna-se imprescindível o desenvolvimento e pesquisas para o uso destas tecnologias no contexto brasileiro, visto que, a maioria dos modelos já desenvolvidos, normas utilizadas dentro dos softwares de desenvolvimento e dimensionamentos são baseadas em normas estrangeiras.

Além de estar em concordância as vantagens de possuir um modelo tridimensional, que combina as informações construtivas da edificação e a junção das distintas disciplinas de projeto em um único modelo as quais são compatibilizadas entre-si criando um modelo federado, gera-se uma enorme vantagem na hora de execução, evitando assim, retrabalho e de forma a auxiliar as tomadas de decisões em todas etapas do ciclo de vida de uma edificação (SOLIHIN; EASTMAN; LEE, 2016). Ademais, esta *as-build*, proporcionará um melhor planejamento em manutenções e expansões da edificação (SILVEIRA, 2018).

Contudo o desenvolvimento destes modelos ainda são baseados em sistemas linearizados,

que estão sendo adaptados para métodos colaborativos de elaboração de projeto, entretanto para tal torna-se necessário o desenvolvimento e implementação de métodos regulatórios para o trabalho colaborativo (GARYAEVA, 2018).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Principal

Propor e implementar uma estratégia, a qual, suporte a utilização de uma plataforma multi-usuário associada a processos de concepção de projetos BIM e avaliar as incompatibilidades encontradas entre disciplinas que foram desenvolvidas em um método colaborativo, de forma a atingir um nível 2 de BIM, em oposição a disciplinas linearizadas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Propor uma arquitetura que suporte o uso de multi usuários em desenvolvimentos de projetos de engenharia simultânea;
- Elaborar projetos a partir desta arquitetura multi usuários e comparar com sistemas linearizados;

1.1.3 Metodologia

Para alcançar os objetivos desta pesquisa, as seguintes etapas foram seguidas:

- Definição da ferramenta BIM utilizada para elaborar o projeto;
- Parametrização dos modelos que compõe o projeto;
- Criar um modelo compartilhado para as distintas disciplinas e times envolvidos na elaboração do projeto;
- Criação de um modelo central com as disciplinas de instalações elétricas, hidrossanitária, estrutural e arquitetura;
- Comparar os métodos de elaboração tradicional com o proposto.

1.2 Limitações da pesquisa

Durante a pesquisa observou-se dificuldades para a aplicação desta metodologia, sendo elas:

- Padronização das ferramentas a serem utilizadas entre os projetistas e órgãos públicos responsáveis;
- Dificuldade de encontrar modelos prontos e adequados para o uso no modelo desenvolvido;
- Adequação de entrega de documentos para órgãos públicos;
- Capacitação de entidades e profissionais para estas novas tecnologias;
- A quantidade de amostras desenvolvidas;

1.3 Organização da Dissertação

No Capítulo 2, os fundamentos teóricos dos principais temas associados ao trabalho e à aplicação são apresentados.

O Capítulo 3 apresenta o estado da arte referente às principais pesquisas, aplicações de projetos desenvolvidos a partir dos conceitos de BIM.

No Capítulo 4, há um detalhamento do trabalho de forma ampla abordando conceitos, do BIM como a criação de modelos e proposta de utilizar um sistema de servidor BIM.

O Capítulo 5, apresenta um estudo de caso utilizando BIM e o sistema de servidor BIM utilizado.

O Capítulo 6 apresenta as considerações finais e perspectivas de trabalhos futuros.

Fundamentação Teórica

2.1 Introdução

Este capítulo tem o intuito de fornecer o entendimento de conceitos abordados ao longo da dissertação. Em sua essência, o texto trata de tópicos relacionados a aplicação da metodologia BIM, abordando processos, tecnologias e políticas necessárias para a adoção do BIM de uma forma mais ampla dentro dos campos das engenharias.

2.2 *Building Information Modeling* (BIM)

O conceito de BIM tem seus primórdios em 1975, com um protótipo proposto por Charles M. "Chuck" Eastman, no qual propõe a transição do desenho técnico para o desenho auxiliado por computador. Assim, seria possível definir elementos de forma interativa: derivando seções, planos isométricos ou perspectiva de uma mesma descrição de elementos. Independentemente, qual quer mudança no arranjo teria efeito em todas as vistas, sendo realizada apenas uma vez (EASTMAN, 1975).

Contudo, o conceito BIM ainda não estava definido propriamente com esta nomenclatura. Diversas pesquisas foram desenvolvidas seguindo a ideia de Chuck Eastman. O Termo *Building Information Modeling*, surgiu na década de 80 com as junções dos termos "*Building Product Model*" (Termo norte americano) e "*Product Information Models*" (termo Europeu) (EASTMAN et al., 2014). No entanto, o termo, *Building Information Modeling*, só foi propriamente utilizado em documentos em 1992 (NEDERVEEN; TOLMAN, 1992).

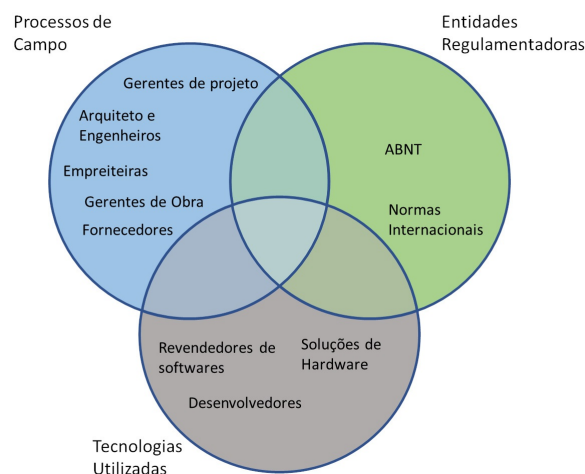
É possível observar que há um enorme esforço em aplicar esta metodologia, mesmo que

com nomenclaturas diferentes, as pesquisas a respeito desta aplicação possuem uma longa data. Por isso, são aplicadas principalmente nos setores da Arquitetura e Engenharia Civil. Deste modo, a modelagem da informação da construção é um desenvolvimento da área relacionado à Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), que havia o intuito de transformar desenhos manuais em desenhos auxiliados por computadores (CAD), de forma a conceber um modelo tridimensional que carrega todas as informações necessárias para a execução de um projeto (EASTMAN et al., 2014).

Uma outra definição para *Building Information Modeling* relaciona-se com um processo que permite a gestão da informação, utilizando de modelos tridimensionais carregados de informações. Ou seja, BIM é o conjunto de modelos compartilhados, digitais e semanticamente ricos que formam a espinha dorsal desta metodologia (MANZIONE, 2013).

Esta modelagem não fica apenas no escopo de projeto e torna-se uma ferramenta que aumenta a eficiência no gerenciamento da obra e manutenção da edificação. Através das características do modelo BIM, em que há uma parametrização do modelo, é possível que os projetistas antecipem incompatibilidades (CHIEN; WU; HUANG, 2014). E, com isto, além da esfera da tecnologia o BIM também engloba políticas, processos e ferramentas (SCHEER; FILHO, 2009)(Figura: 2.1).

Figura 2.1: Campos que o BIM Abrange.



Adaptado de Succar, Sher e Williams (2012)

O BIM pode ser entendido como um produto quando se refere ao modelo tridimensional criado. É nomeado como ferramenta quando é entendido as aplicações que são nomeadas como BIM *authoring tools*, as quais interpretam o modelo da edificação, além de agregar informações e representações a ele. Por fim, BIM é entendida como processo, quando é formada por atividades desenvolvidas durante o ciclo de vida da edificação e pelas distintas disciplinas, profissionais e entidades (SCHEER; FILHO, 2009), assim para ser um processo o mesmo deve englobar todas as classificações anteriores.

Com todas estas entidades envolvidas para realizar um projeto é necessário que haja um controle da informação e uma metodologia de comunicação entre as partes envolvidas. Por se tratar de uma elevada quantidade de informação gerada entre as diversas disciplinas envolvidas com: projetos, execução e operação, tais informações não devem ser subestimadas. Em projetos industriais de grande escala mais de 50% dos problemas na construção são atribuídos a falta de comunicação entre os projetistas das diversas disciplinas envolvidas no planejamento (ARAYICI, 2015).

Com os benefícios da metodologia *Building Information Modeling* é possível suprir a falta de comunicação, além de outros benefícios advindos desta nova proposta de projeto, construção e operação (SUCCAR; SHER; WILLIAMS). Contudo, são necessárias algumas métricas para avaliar a maturidade de organização do modelo BIM proposto (SUCCAR; SHER; WILLIAMS). Estas métricas tem o intuito de avaliar os sucessos e as falhas de cada time ao aplicar esta metodologia.

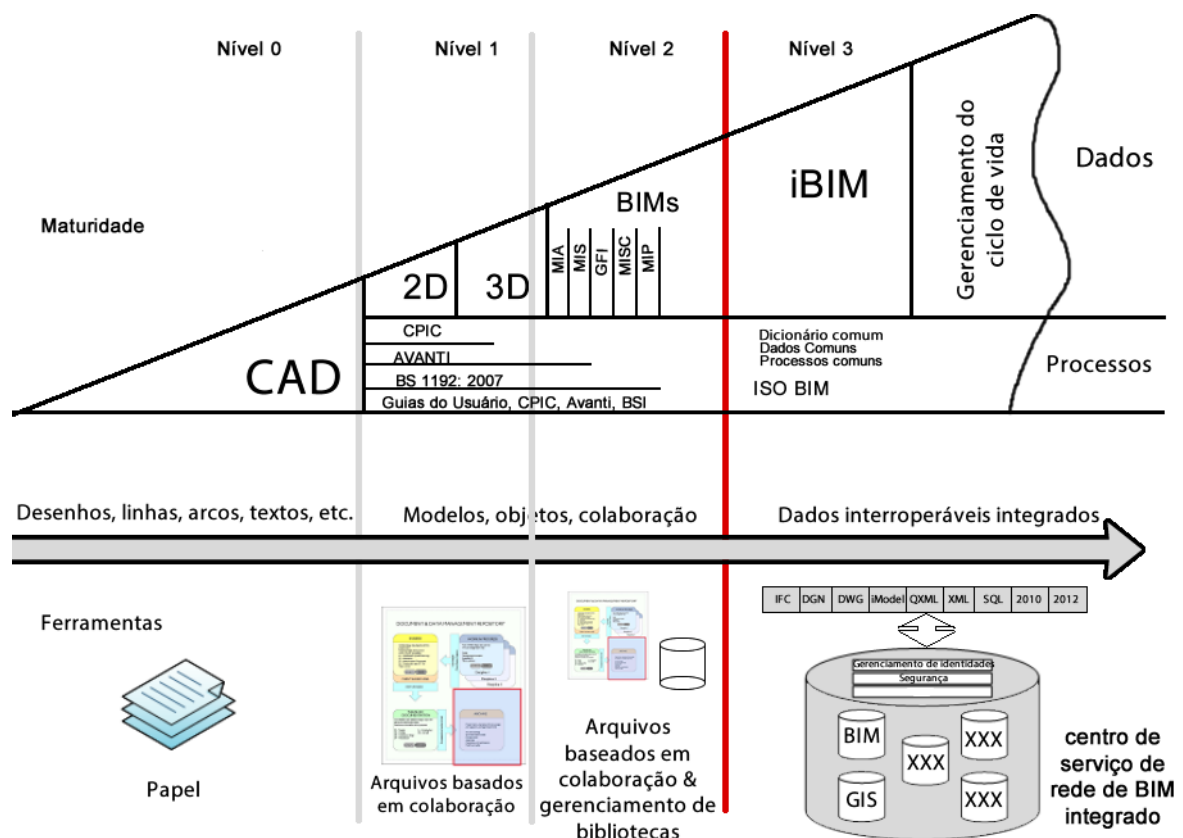
As métricas desenvolvidas por Succar, Sher e Williams (2012) baseiam-se nos seguintes princípios:

- Deve ser preciso com as medidas bem definidas, sendo possível um alto nível de acurácia;
- Aplicabilidade do modelo, podendo ser utilizados por todos envolvidos no ciclo de vida da edificação;
- Deve-se atingir os mesmos resultados quando conduzido por diferentes assessores;
- É necessária uma progressão lógica, em que as entregas entre as entidades envolvidas servem de pré-requisitos para as próximas
- Flexibilidade em que o modelo deve ser possível de ser executado em diferentes tipos de mercados e escalas organizacional;

- O modelo deve ser informativo, fornecendo feedback para melhorias;
- Deve especificar os requisitos para a Indústria da construção;
- Um modelo universal, que pode ser utilizado em qualquer lugar do mundo;
- Deve ser intuitivo e fácil de aplicar a avaliação da performance da metodologia BIM aplicada.

Além dos princípios citados acima, a maturidade do BIM é medida através de níveis. Estes subdividem-se em três distintos níveis de aplicabilidade da metodologia avaliando fatores colaborativos (GROUP et al., 2011), como é possível ver na Figura 2.2.

Figura 2.2: Níveis de Maturidade BIM.



Fonte: Group et al. (2011)

Onde:

MIA - Modelagem da Informação da Arquitetura;

MIS - Modelagem da Informação da Simulação;

GFI - Gerenciamento Facilitado da Informação;

MSIC - Modelagem da Informação de Simulação da Construção;

MIP - Modelagem da Informação de Ponte.

Ademais, o BIM também pode ser utilizado com outras ferramentas, como o uso de ferramentas de modelagem energética com aplicações BIM, gerando uma simulação energética. Esta, permite inferir as cargas internas, o planejamento da obra referente ao tempo e os sistemas: Mecânicos, Elétricos e Hidrossanitários (MEP) em um modelo conceitual inicial (GSA, 2015).

Além das análises de processos, faz-se necessário uma análise cuidadosa do software como remete a figura 2.1, É fundamental que os membros dos times, os quais estão trabalhando no modelo BIM, consigam trocar informações pertinentes para as tomadas de decisão (GSA, 2015).

2.2.1 Níveis de Abstração do BIM na AEC

Há uma classificação em quatro níveis de abstração da metodologia BIM, que englobam questões conceituais de modelos, como: interoperabilidade de aplicações, impactos da tecnologia, criação de modelos e interfaces das aplicações CAD. Tais aplicações realizam a modelagem do produto, a relações semânticas entre os diferentes objetos que compõe o modelo final e as funcionalidades das partes do componentes do modelo (AYRES FILHO, 2009).

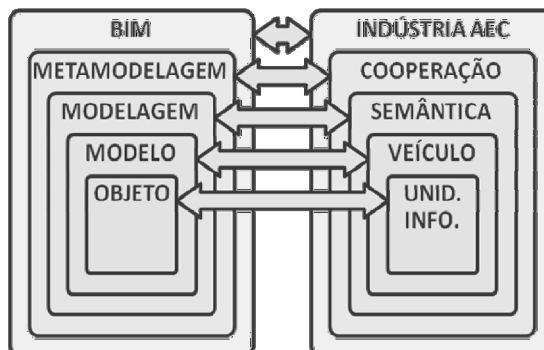
Dentre estes níveis de abstração do BIM há o da metamodelagem, que é o de maior hierarquia. Este aborda aspectos sobre modelos conceituais, interoperabilidade de aplicação e os impactos da tecnologia no âmbito da indústria da construção. Existindo, assim, um trabalho colaborativo entre as entidades envolvidas, tendo o foco em padrões objetivando atingir a interoperabilidade (SCHEER; FILHO, 2009).

Abaixo do nível de metamodelagem se encontra o nível de modelagem, a qual engloba aspectos da semântica do modelo, abordando questões relacionadas a criação dos modelos, suas funcionalidades e interface das aplicações CAD (Computer Aided-Design), que realizam a modelagem do produto. Esta etapa foca na instância que tem como objetivo atingir a semântica do objeto (AYRES FILHO, 2009).

Sucessivamente há o nível de modelo, que engloba as relações semânticas entre diferentes objetos que compõem um único modelo de edificação. A última camada é a do objeto, que aborda questões sobre a funcionalidade das partes que compõem o modelo, como: comportamento e atributos necessários para a descrição de elementos construtivos (Relação dos níveis

de abstração do BIM na Figura 2.3) (SCHEER; FILHO, 2009).

Figura 2.3: Níveis de Abstração BIM.



Fonte: (SCHEER; FILHO, 2009)

2.2.2 Modelos Paramétricos

Um dos princípios do *Building Information Modeling* é a necessidade dos modelos serem paramétricos, ou seja, mais do que apenas um modelo tridimensional o mesmo deve possuir as seguintes capacidades (EASTMAN et al., 2014):

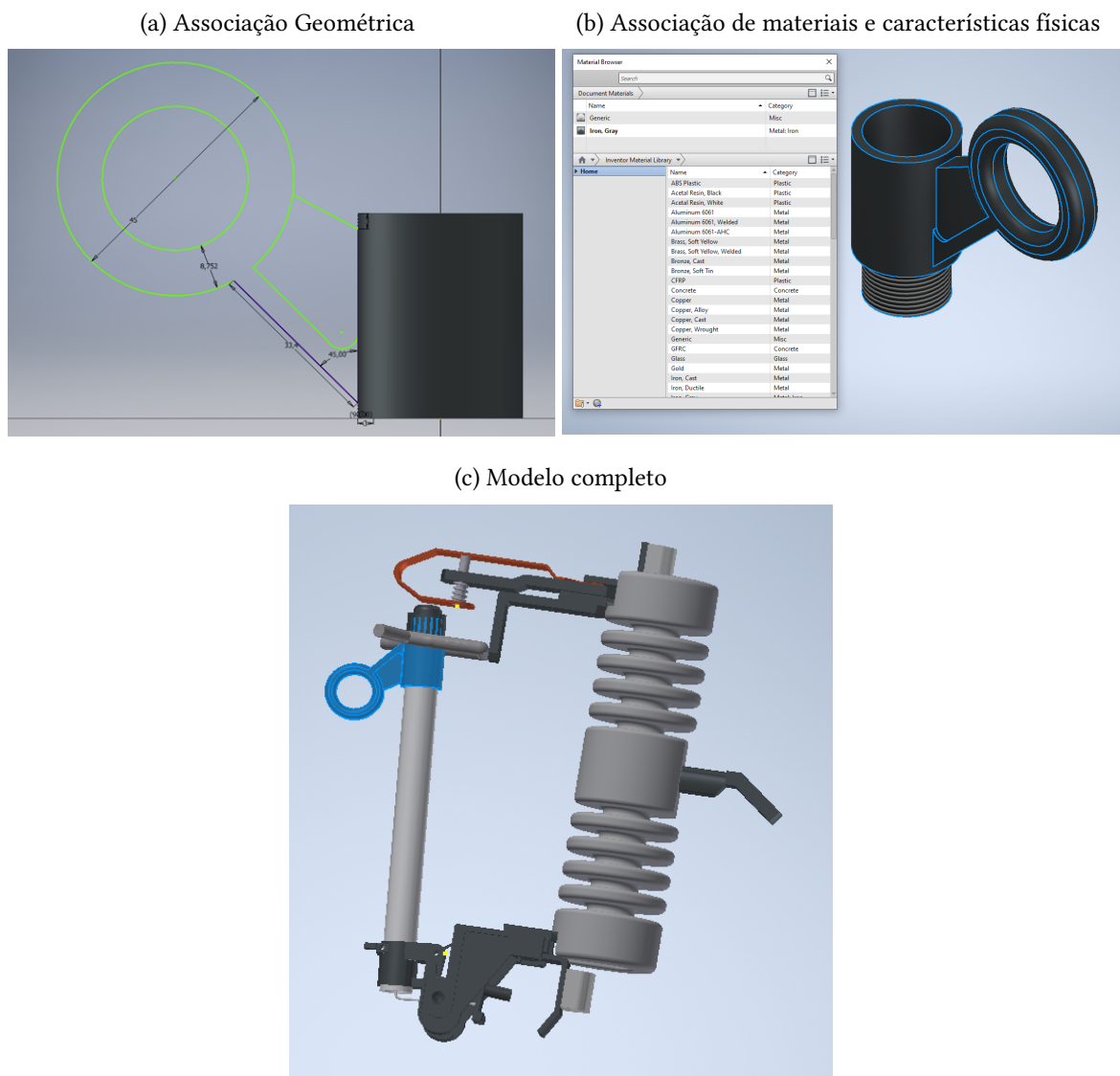
- Suporte a funções algébricas e trigonométricas;
- Suporte à ramificação de condições e regras de gravação que podem associar recursos de diferença para uma instância do objeto;
- Geração de link entre objetos, possibilitando conectá-los de maneira livre;
- Utilizar de parâmetros globais ou externos para o controle do layout ou seleção de objetos;
- Habilidade de estender parâmetros existentes ou classes de objetos.

As relações que podem ser incorporadas no modelo da construção são a essência do projeto de uma edificação. A criação e a manipulação dessas relações se constituem no ato de projetar. Os parâmetros provisionam aos projetistas acessos diretos a esses relacionamentos de um meio natural e intuitivo (MANZIONE, 2013).

Segundo AYRES FILHO (2009), há dois tipos básicos de parâmetros em modelos digitais: os que armazenam informações referente a forma do elemento (posições, dimensões e transformações geométricas) e aqueles que armazenam características funcionais dos elementos (materiais, especificações, requisitos legais, procedimentos de montagem, preços, fabricantes, entre outros).

Assim, baseado nas características já citadas, o modelo estende as características geométricas, para além da soma das representações topológicas e geométricas. O mesmo contém uma metaestrutura a partir da qual novas instâncias dos sólidos podem ser derivadas (AYRES FILHO, 2009), como é apresentado nas Figuras 2.4a e 2.4b. A primeira se associa à dados geométricos. Já a segunda, à materiais.

Figura 2.4: Peça de uma chave seccionadora fuzível de 13,8 kV paramétrico.

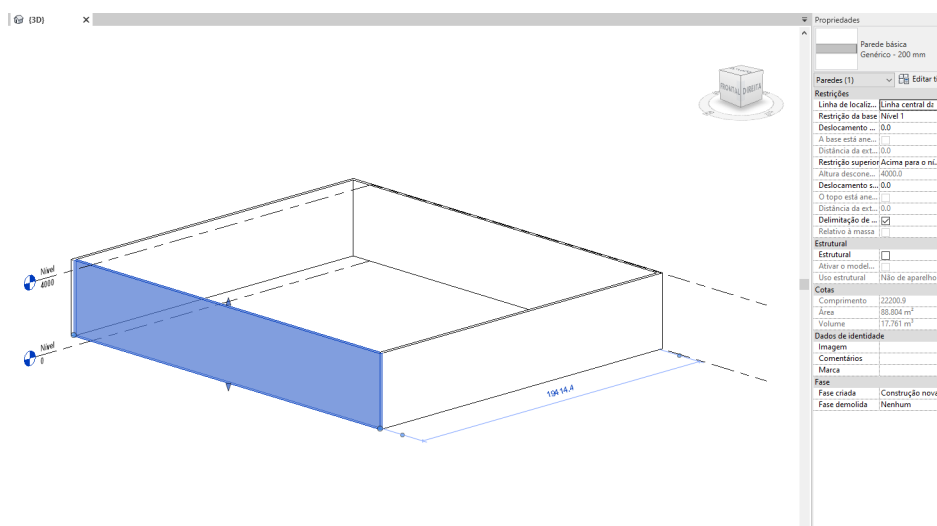


Fonte: Autor

Com isto, é plausível avaliar modelos paramétricos como um conjunto de sólidos paramétricos, que são classes de um sólido específico (Figura 2.4c). Por exemplo, uma classe "prisma" deve conter todas as informações necessárias para criar um prisma de qualquer dimensão (AYRES FILHO, 2009). É possível observar, também, que a modelagem paramétrica possui forte relação com os conceitos de orientação a objeto, de onde surge a nomenclatura objeto paramétrico. O objeto pode ser entendido como uma classe que encapsula todos os dados e métodos.

Nos campos da Arquitetura e Engenharia Civil, as empresas de software BIM já pré-definiram uma série de classes de objetos da construção para os usuários, como: parede, piso, laje, etc (Exemplo Figura). Estes podem ser adicionados, modificados ou estendidos (EASTMAN et al., 2014).

Figura 2.5: Parede Parametrizada



Fonte: Autor

Assim é possível entender que a estrutura interna de uma instância de um objeto, como definida dentro de um sistema de modelagem paramétrica, é um grafo orientado. Neste grafo os nós são famílias de objetos com parâmetros ou operações que constroem ou modificam um objeto. Já os arcos no grafo, são relações de referência entre os nós (EASTMAN et al., 2014).

Contudo, a modelagem paramétrica trata apenas da geometria e topologia, para sistemas BIM, há a necessidade de modelos paramétricos que além das relações já citadas, carregam em si uma variedade de propriedades. Estas incluem especificações de materiais, resistência, especificações de parafusos ou soldas, dentre outras (EASTMAN et al., 2014).

2.2.3 Nível de desenvolvimento de um Modelo

A natureza do processo de elaboração e execução de um projeto é variável. Na concepção inicial, o desenvolvimento do conteúdo das informações possui um alto impacto na solução final. Conforme o processo progride o impacto das informações diminuí, correspondendo à passagem de um estado menos estruturado para um estágio bem definido. Ou seja, há um aumento da complexidade do fluxo das informações com o número crescente de agentes envolvidos (MANZIONE, 2013). Segundo Manzione (2013) o projeto é um processo de aproximações sucessivas que se movem em direção a uma informação mais precisa de acordo com a com o uso dos conceitos do BIM essas aproximações tornam-se mais efetivas.

Contudo, essa representação cada vez mais precisa pode gerar uma falsa indicação de precisão, pois, a representação dos modelos exige o posicionamento dos objetos de forma precisa e correta, mesmo quando não necessária (BEDRICK, 2008).

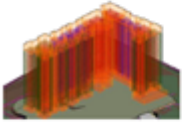


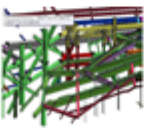

Faz-se necessário uma padronização de modelos BIM, definindo o escopo que o modelo deve atender. Para tal, o Instituto Americano de Arquitetos (AIA - *American Institute of Architects*) desenvolveu um protocolo de BIM que define um Nível de Desenvolvimento (LoDs - *Level of Development*) para cada modelo, de acordo com a evolução do projeto e em qual fase se localiza (BONANOMI, 2015).

Para isso, o AIA apresenta a classificação de nível de desenvolvimento (Figura 2.6) :

- LoD 100: Um modelo de edificação com volumetria, englobando: área, altura, localização e orientação. Este modelo e utilizado para análise de volume, orientação e custos baseados em áreas, como por exemplo, o custo de condomínio;
- LoD 200: Além da volumetria são inseridos, de forma generalista, outros modelos dentro do ambiente. Assim, é possível aproximar os quantitativos, ou seja, são inseridas informações não geométricas, o modelo fornece uma análise mais precisa de custos e começa a surgir um escalonamento de tempo (BIM 4D e 5D);
- LoD 300: São inseridos modelos específicos para a edificação, de forma a permitir: um quantitativo, uma percepção de volumetria, uma localização e uma orientação precisa. Neste nível de desenvolvimento o modelo já apresenta uma estimativa de custo precisa, o escalonamento de tempo já está ordenado e com detalhamento de elementos e sistemas. Além disso, são gerados documentações e desenhos necessários para a construção;

- LoD 400: Além dos detalhamentos especificados no LoD 300, são inseridas informações referentes à fabricação, de forma a permitir a construção dos modelos propostos. As estimativas de custo, baseadas nos custos dos elementos inseridos, e o escalonamento das atividades, já estão definidas;
- LoD 500: O modelo atinge um nível de detalhamento que auxilia nas atividades de gerenciamento da edificação, englobando componentes e sistemas construtivos de forma precisa em: tamanho, formato, localização, quantidade e orientação. São inseridas informações não geométricas, como data da instalação, garantia etc. Este modelo é utilizado para a manutenção e operação.

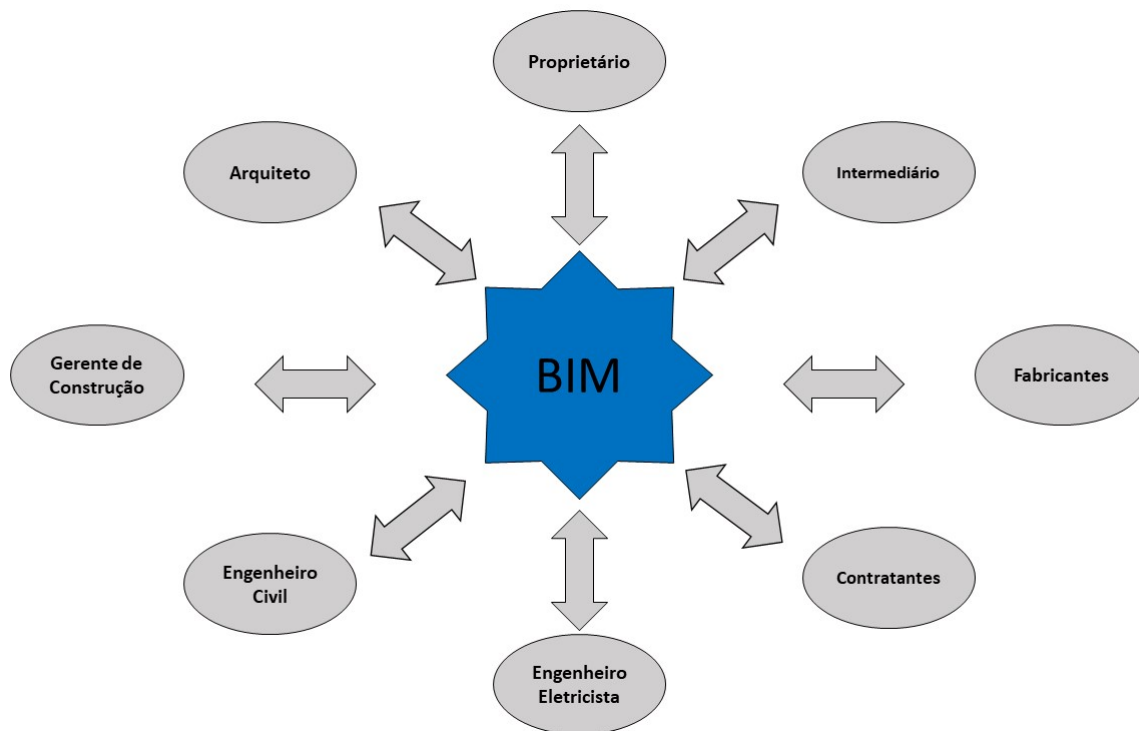
Figura 2.6: Representação dos LoDS de uma edificação

LoD 100	LoD 200	LoD 300	LoD 400	LoD 500
				

Adaptado de Manzione (2013)

Desta forma, um modelo BIM deve ser capaz de fornecer a todas as disciplinas informações referente às paredes, janelas, piso etc. Além de possibilidade de interoperabilidade, o qual permite que os envolvidos no desenvolvimento do projeto possam acessar informações pertinentes para as suas disciplinas, informações estas geradas por outras disciplinas (Figura 2.7).

Figura 2.7: Associação dos envolvidos em um projeto BIM.



Fonte: Azevedo et al. (2019)

2.2.4 Modelo federado

O desenvolvimento de um projeto contendo todas as disciplinas integradas e desenvolvidas de forma simultânea não era tão eficaz em sistemas bidimensionais com entrega de projetos em cascata, uma vez que, os projetos eram desenvolvidos de maneira bidimensional, com representações simbólicas da edificação e de seus projetos complementares (SOLIHIN; EASTMAN; LEE, 2016). A representação dos projetos eram em diversas páginas onde cada página continha a arquitetura e apenas uma disciplina, mesmo com o avanço do CAD não houveram grandes mudanças no método de planejamento e desenvolvimento de projetos (SOLIHIN; EASTMAN; LEE, 2016).

O surgimento de um modelo federado só foi possível após o desenvolvimento de um método de comunicação entre softwares de modelagem, assim, com o surgimento e adoção de um protocolo de classes, o IFC (*Industry foundation Class*) foi possível aderir todas as disciplinas em um único modelo (LIEBICH et al., 1997).

Com este modelo federado torna-se possível o gerenciamento de ativos, uma vez que com o uso dos conceitos de BIM para a criação de modelos tridimensionais junto com um protocolo de classes para comunicação entre os distintos modelos faz com que as atenções sejam voltadas

para estas tecnologias, tanto na pesquisa quanto na prática. Entretanto, o uso dos conceitos de BIM as vezes não é suficiente para avaliar todo o ciclo de vida da edificação especialmente nas fases de Operação e Manutenção, porém, nas etapas de projeto e construção há um grande avanço(LU et al., 2019).

Neste contexto a concepção de modelos federados de maior complexidade faz-se necessário o uso de ferramentas que permitam o desenvolvimento de distintas disciplinas de forma simultâneas, fazendo uma mudança de paradigma nas etapas de projeto, visto que como proposto no BIM com *Level of Detail* 500 há a necessidade de compatibilização das disciplinas, assim a representação virtual torna-se uma as-build para tal torna-se necessário métodos de trabalhos simultâneos ou de forma colaborativa (SALIM; MAHJOOB, 2020).

Desta forma, o modelo federado transcende os conceitos de BIM e de um modelo tornando o modelo em um Gêmeo Digital o mesmo está diretamente interligado com a metodologia e as tecnologias necessárias para o desenvolvimento do mesmo, visto que há a necessidade de desenvolvimento nas áreas de modelagem, concepção de um Ambiente Virtual e na manipulação de dados que comunicarão diretamente com este ambiente (FONSECA; GASPAR, 2020).

2.3 Considerações finais

Este capítulo abordou: o surgimento da modelagem da informação da construção, a evolução da concepção de um único modelo, que engloba as informações pertinentes para a execução e os níveis de maturidade de que o BIM pode alcançar, e a modelagem paramétrica. O capítulo também apresentou o nível de desenvolvimento de cada modelo de uma maneira conceitual proposta pela AIA. Além da relação entre as áreas de aplicação e a metodologia BIM, em fases de projeto, construção e pós-operação, onde na pós-operação o modelo desenvolvido utilizando os conceitos de BIM, serve de base para a junção com outras ferramentas de gerenciamento de ativos.

Pesquisas Relacionados

3.1 Introdução

Com o intuito de avaliar o estado da arte em relação ao desenvolvimento de modelos BIM, contudo, estes modelos devem ser federados, ou seja, possuir distintas disciplinas de projeto em um único modelo, com possibilidade de visualização e compatibilização destas disciplinas. Os critérios para a revisão sistemática se referem ao nível de desenvolvimento dos trabalhos BIM no meio acadêmico e no meio comercial com possibilidade de interoperabilidade entre os distintos times, que trabalham de forma colaborativa, para a concepção e elaboração de projetos.

3.2 Protocolo de seleção de trabalhos acadêmicos

Para a pesquisa de trabalhos acadêmicos foram utilizadas as seguintes palavras de busca dentro dos repositórios:

1. *Building Information Modeling;*
2. *Teamwork;*
3. *Integrated Project;*
4. *Collaborative Design.*

Com estas palavras foi formada a seguinte string:

- *((BIM OR "Building information Modeling" OR "Building information Modelling") AND ("teamwork" OR "Collaborative Design") AND "integrated project")*

Esta string foi utilizada com termos correspondentes em português. As pesquisas tiveram a restrição de período de 2016 até o primeiro semestre de 2020.

Filtros que foram aplicados:

1. Avaliação de título e artigos repetidos;
2. Análise do resumo e conclusões, avaliando se está dentro do escopo de trabalhos em conjunto com sistema de projetos integrados
3. Leitura do artigo completo, avaliando em qual nível o uso da metodologia BIM se encontra dentro do meio acadêmico e, assim, selecionando os artigos que apresentassem modelos BIM com integração de diversas disciplinas e distintos objetos BIM.

No total, foram identificados 54 resultados nas bases de dados para leitura completa (figura 3.1), o quantitativo de artigos separados por base de dados e filtro está representado na tabela 3.1.

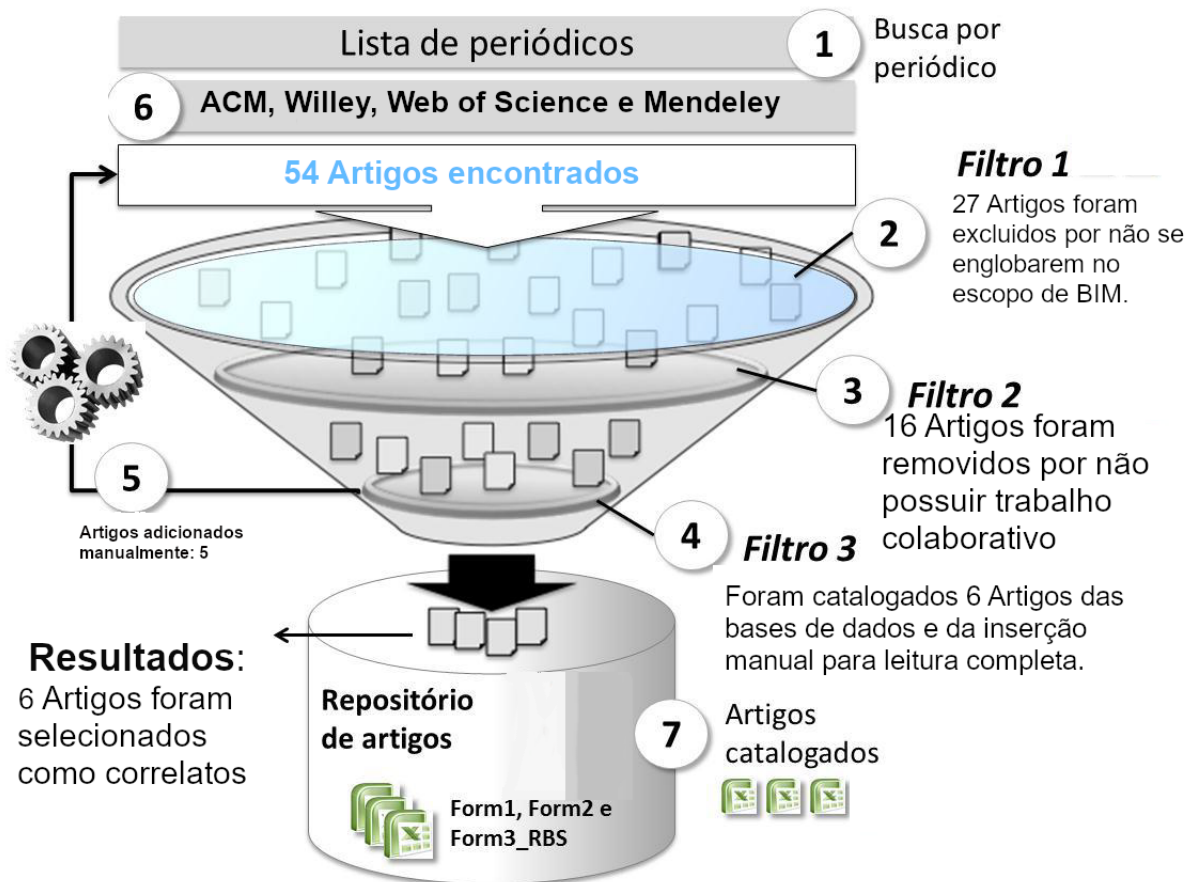
Para a seleção dos correlatos foram avaliados:

1. O uso dos conceitos de BIM em projetos de instalações;
2. Métodos de trabalhos colaborativos ou métodos de interoperabilidade;
3. Implementação de trabalhos que aderem o uso de BIM com outras tecnologias emergentes;

Tabela 3.1: Resultado da pesquisa em suas respectivas base de dados

Base de dados	Filtro 1	Filtro 2	Filtro 3
Web of Science	7	7	2
Willey	43	17	3
ACM Digital Library	4	3	1
Total	54	27	6

Figura 3.1: Procedimento iterativo da fase de seleção de trabalhos correlatos



(Adaptado de CONFORTO; AMARAL; SILVA, 2011)

3.3 Artigos Selecionados

3.3.1 *Automatic Integrity Checking of IFC Models relative to building Regulations (GU; ZHANG; GU, 2016)*

O autor ressalta que embora haja um padrão aberto internacional de comunicação entre softwares BIM, o IFC (*Industry Foundation Class*) segundo o autor, este formato de troca de arquivos permite a união de todas as disciplinas sejam lidas e associadas à um único arquivo.

Entretanto, é ressaltado que mesmo com o esforço das empresas e entidades para a criação de uma padronização de comunicação entre os softwares BIM, o mesmo ainda apresenta problemas de comunicação. Visto que, o formato IFC pode ser corrompido impossibilitando a comunicação entre os softwares, de forma que faz-se necessário uma conferência manual da geometria do modelo, conferindo a integridade deste.

Desta forma Gu, Zhang e Gu (2016), propõe um método de análise de automática da in-

tegridade do modelo IFC, avaliando as informações pertinentes para quem está importando o modelo. Além desta importação o método desenvolvido pelo autor demonstra os elementos com problemas de forma à facilitar a análise do modelo.

Como resultado Gu, Zhang e Gu (2016) encontrou diversos problemas referente à integridade de informação durante a importação do modelo IFC para um software BIM. Assim, tendo dificuldades na geração de um modelo com todas as disciplinas. Entretanto ao aplicar sua metodologia foi obtida uma redução de esforços manuais durante a junção das disciplinas de projetos em um único modelo.

O autor apresenta que há uma lacuna importante na análise de integridade dos modelos BIM, principalmente na junção entre os projetos complementares em um único modelo. Para esta junção em um único modelo Gu, Zhang e Gu (2016), cita que há falta de regulamentação entre a comunicação dos distintos modelos desenvolvidos pelos times envolvidos na elaboração do projeto.

3.3.2 Automated BIM-based process for wind engineering design collaboration (DELAVAR et al., 2019)

O autor apresenta um trabalho o qual propõe um framework para a implementação e análises de sistemas de aerodinâmica de empreendimentos durante as etapas pré-construção. Para tal, o autor utiliza dos padrões da metodologia BIM e suas tecnologias. Tendo como objetivo aprimorar a eficiência e resultados vindo das fases de planejamento, durante as etapas de projeto utilizando os mecanismo de interoperabilidade de disciplinas que existem dentro do processo que envolve a metodologia BIM.

Delavar et al. (2019) ressalta que com o avanço das bibliotecas de modelos, é possível, que estas sejam adequadas para atender diferentes estudos, podendo ser industriais ou não industriais. Desta forma, a o autor apresenta que é possível realizar diversas análises nas etapas pré-construção. Atingindo um melhor planejamento, por consequência, um menor custo caso seja necessário alterar o projeto.

Contudo o autor ressalta que um fator para as análises e simulação é o LoD (*Level of Development*) do modelo, que para as análises proposta pelo trabalho é de um LoD de nível 300, irá atingir o resultado desejado, podendo ser até menor o nível de desenvolvimento do modelo levando em conta as análises que serão realizadas.

Com um modelo com LoD 300 Delavar et al. (2019), propõe a união do modelo com o

sistema de análise de ventos em edificações, assim com o uso de um modelo tridimensional associado a um software de análise é possível definir o projeto da estrutura para que o mesmo consiga resistir a ventos de altíssima velocidade.

O autor conclui que existem fatores importantes para a integração de softwares de análise com o modelo BIM. Primeiro é a referência da computação gráfica em que o sistema de coordenadas dos modelos devem ser o mesmo ou devem ser compartilhado. Após a definição do sistema de coordenadas faz-se necessário uma estratégia para a integração destas ferramentas, para assim alinhar as distintas disciplinas que envolvem projetos da natureza de geração de energia eólica. Desta forma, é possível realizar um paralelo com instalações as quais todas as disciplinas devem comunicar entre si.

Desta forma, é possível inferir que um dos principais fatores para a evolução dos modelos é a comunicação entre distintas ferramentas de modelagem, simulação e projetos. Além desta comunicação o autor propõe a centralização de todos os dados não geométricos dentro de um Banco de Dados centralizado, os quais, serviração de subsídio para a modelagem futura. Visto que, os testes iniciais realizados pelo autor eram com um baixo LoD e com a aquisição de resultados, foi aumentando o nível de desenvolvimento dos modelos a partir de dados não geométricos adquiridos nas primeiras simulações.

Embora, o autor tenha proposto um Banco de Dados centralizado, ainda foi para dados não geométricos diferente do trabalho proposto, o qual foi utilizado um banco de dados centralizado para dados geométricos e não geométricos.

3.3.3 Building Information Modeling (BIM) and Facility Management (FM) (BONANOMI, 2015)

Bonanomi (2015), apresenta as relações entre a metodologia BIM e a renovação, manutenção e operação de construções. Uma vez Constatou-se que o uso de tecnologias colaborativas se mostra muito eficiente na área da engenharia da construção. Ademais, com o aumento de novas tecnologias, edificações antigas precisam de meios mais eficientes para renovar e aplicar manutenções em um âmbito geral.

O autor ressalta que com o aumento de ativos gerenciáveis em edificações, o mercado de gerenciamento de edificações passou por um aumento significativo na redução de custos, na eficiência em gestão de tempo e melhor na qualidade de troca de informações nas distintas etapas da construção. No trabalho foi realizada uma análise referente aos métodos tradicio-

nais, ressaltando que um grande problema destes métodos de desenhos separados é a falta de comunicação entre os distintos projetos. O que causa incompatibilidades, na elaboração dos projetos complementares, desta forma, há um retrabalho. Este poderia ser evitado a partir de meios colaborativos, com o intuito de evitar a fragmentação de dados.

Desta forma, o autor custos referente a retrabalho, tempo desperdiçado analisando distintos projetos para compatibilização, problemas durante a Operação e Manutenção devido à plantas desatualizadas e o esperado devido à falta de interoperabilidade de projetos. Além disso, é apresentado o fato de gerentes de obras e donos de empreendimentos estarem realizando a transição dos projetos tradicionais para projetos interoperáveis. Ressaltou-se, ainda, o uso da tecnologia BIM nesta nova etapa dentro da indústria da construção, visto a grande quantidade de benefícios que o uso desta metodologia traz como: Economia de recursos até os e impactos nos processos futuros.

O autor enfatiza a importância de padronização de modelos tridimensionais, uma vez que, há um repositório de dados que engloba dados técnicos, informativos funcionais, organizacionais e legais dos projetos. Bonanomi (2015) afirma que há distintos níveis de informações dentro do projeto, visto que, em uma fase inicial o detalhamento referente a produtos específicos dentro do projeto não estará definido, de forma que o mesmo, só será definido após execução. Este deve ser documentado no modelo final, de tal forma que o modelo passará por todos níveis de desenvolvimento de modelos (LoDs 100 a 500).

3.3.4 Loosely Coupled Systems of Innovation: Aligning BIM Adoption with implementation in Dutch Construction (PAPADONIKOLAKI, 2018)

Papadonikolaki (2018) realizou uma pesquisa em que avalia-se o uso de BIM em três estudos de casos distintos. Foi observado pelo autor os distintos níveis de BIM dentro de cada projeto, níveis que foram moldados pelos times envolvidos. Visto que, um dos fatores importantes foram as análises da implementação da metodologia BIM dentro de uma única organização e entre distintas organizações.

O autor ressalta que embora as empresas tenham uma enorme motivação para desenvolver os projetos em BIM, o sistemas atuais de coordenação de projeto não possuem suporte para este novo método de projeto. Ainda que as empresas busquem por essa motivação o método

de projetar só está sendo substituído devido à pressão externa (demanda de cliente).

Dentro dos estudos de caso do autor, foram analisados três empreendimentos, sendo dois residenciais e um misto entre residencial e comercial. Nestes empreendimentos os envolvidos foram divididos em grupos e feita a análise da motivação para o uso do BIM dentro da empresa. E foi observado que em sua maioria o uso do BIM dentro da empresa foi por demandas externas e obrigação, embora, alguns dos envolvidos utilizaram devido à qualidade que é obtida através do uso do BIM para projetos.

Com o trabalho do Papadonikolaki (2018), foi possível observar que a maioria das empresas ainda só optam por desenvolver um projeto em BIM quando é de forma obrigatória, embora seja comprovada a qualidade e eficiência do uso destas tecnologias para a construção no todo do empreendimento. Visto que ainda preferem o uso de ferramentas CAD bidimensionais.

(PAPADONIKOLAKI, 2018) afirma que ainda há dificuldades dentro de distintas empresas de compatibilização entre as visões sobre o BIM, além do domínio das ferramentas que existem dentro dos times envolvidos, em que sempre há um time com um domínio menor, o que causa dificuldades na comunicação durante a elaboração do projeto. Uma vez que alguns envolvidos não disponibilizam como elaboraram o processo. Assim, um processo unificado em que todos trabalham de forma colaborativa torna-se um diferencial.

3.3.5 Management of Collaborative BIM Data by Federating Distributed BIM Models (BEACH et al., 2017)

Este artigo propõe um framework capaz de fornecer uma solução para o gerenciamento da colaboração no setor de engenharia e construção de arquitetura (AEC). A solução apresentada neste documento fornece uma sobreposição para federar e controlar automaticamente os dados BIM distribuídos. O uso dessa sobreposição fornece um modelo BIM integrado que é fisicamente distribuído entre as partes interessadas em um projeto de construção.

No entanto, existem obstáculos importantes a serem superados, incluindo incerteza sobre a propriedade dos dados, preocupações relacionadas à segurança / privacidade dos dados e relutância em “terceirizar” o armazenamento de dados.

Este documento descreveu uma sobreposição BIM que permite a federação automática de dados BIM distribuídos de forma consistente e gerenciada. Ele também descreveu uma abordagem federada distribuída para o BIM que aborda várias barreiras importantes para a adoção do BIM na indústria de construção. Os autores abordaram essas barreiras federando de forma

transparente os dados armazenados na infraestrutura de TI de uma disciplina individual para que as preocupações sobre a propriedade dos dados e a superexposição a alterações não autorizadas possam ser amenizadas porque ninguém fora da disciplina de autoria tem permissão para alterar os dados. Isso permite o compartilhamento de dados BIM entre diferentes disciplinas por meio de um modelo BIM integrado virtual que é realmente distribuído fisicamente, mas ainda federado de forma transparente entre as partes interessadas do projeto.

3.3.6 Organization of technological approach to the design of engineering systems using BIM technologies (SUBBOTIN; MELKUMYAN; KHURIEV, 2019)

Este trabalho apresenta técnicas e soluções para sistemas colaborativos de engenharia. de forma a ser divididos em sistemas colaborativos interno ao escritório e sistemas externos.

Subbotin, Melkumyan e Khuriev (2019), apresenta uma análise de efetividade do desenvolvimento e planejamento de projetos com o uso de processos e ferramentas BIM, para tal o autor apresenta o uso de ferramentas colaborativas.

O autor ressalta que as análises deles foram feitas a partir dos softwares Autodesk Revit, Tekla, ArchiCAD e MagiCAD. E ressalta como exemplo de método colaborativo o uso do Revit Server como apresentado nesta dissertação.

Entretanto, embora o autor apresente diversas possibilidades de métodos colaborativo o mesmo foca apenas no sistema da Autodesk e em uma única disciplina, contudo ressalta-se que o método de sistemas colaborativo aprimora os métodos de gestão e ao desenvolver os projetos de maneira colaborativa pode haver uma redução no tempo de desenvolvimento e compatibilização de projetos.

3.4 Considerações Finais

Com o intuito de extrair os principais atributos dos trabalhos encontrados na literatura, assim como estabelecer um comparativo entre cada um deles e a pesquisa desenvolvida, foi elaborada a Tabela 3.2, contendo as quatro características definidas anteriormente para a comparação.

Tabela 3.2: Comparação entre os trabalhos relacionados.

Trabalho / Característica	Integração com diversas Disciplinas	Método colaborativo de trabalho	Desenvolvimento de modelos BIM	Métodos de interoperabilidade entre modelos
Gu, Zhang e Gu (2016)	✓	✗	✓	✓
Delavar et al. (2019)	✓	✗	✓	✓
Bonanomi (2015)	✓	✗	✗	✗
Papadonikolaki (2018)	✓	✓	✗	✓
sBeach et al. (2017)	✓	✓	✗	✓
Subbotin, Melkumyan e Khuriev (2019)	✗	✓	✓	✗

Método e amostras

4.1 Introdução

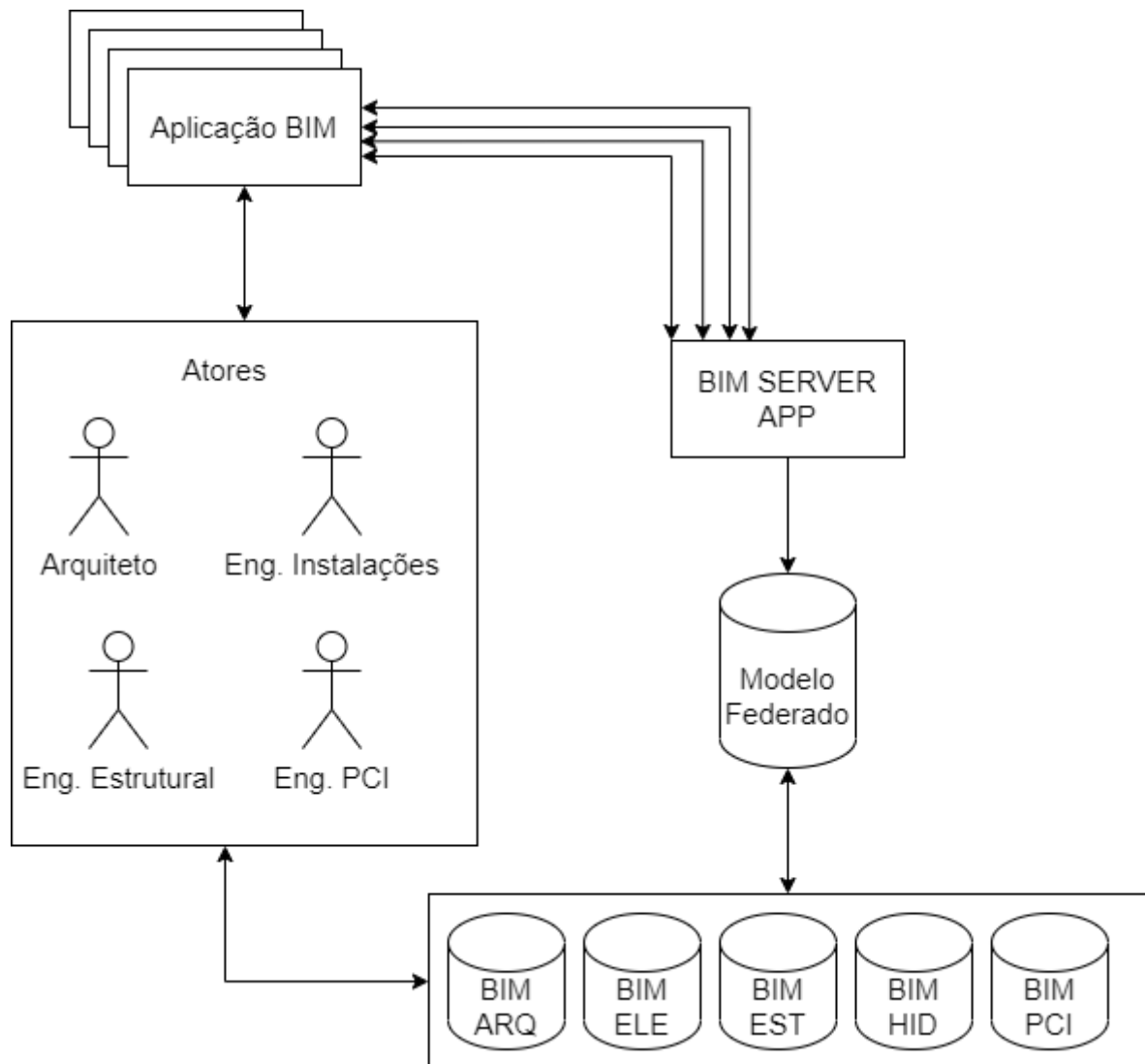
Este capítulo apresenta o método de desenvolvimento da pesquisa, sendo uma estratégia baseada na concepção de uma arquitetura que suporte a utilização de uma plataforma multi-usuário associadas aos processos de concepção de projetos em BIM. De forma que esta arquitetura restrinja o acesso de usuários às suas respectivas disciplinas. Também será ressaltado neste capítulo os Casos de uso e os requisitos do sistema.

4.2 Arquitetura do sistema

Como já ressaltado dentro da revisão existem distintos servidores BIM, dentre eles os sistemas da Autodesk, Bentley e outras desenvolvedoras de softwares. Contudo não há dentro da revisão uma prova de conceito do uso destes sistemas, eles são citados como um método de desenvolvimento de um modelo federado, em que há dentro de um único modelo a junção de todos os modelos que suportam a Arquitetura, Engenharia e Construção.

Desta forma o sistema deve atualizar a restringir acessos para que não hajam alterações em disciplinas em que não sejam da perícia do profissional que está trabalhando em conjunto no servidor. Nota-se que ao trabalhar em um sistema de servidor é criado um modelo federado, com todas as disciplinas que foram desenvolvidas por este sistema (figura 4.1).

Figura 4.1: Organização da aplicação de um servidor BIM - com modelo federado



Fonte: Autor

Notadamente está não é a única maneira de desenvolver-se um modelo federado, é possível de se criar um modelo federado, é possível realizar a junção dos distintos projetos em um único a partir do modelo de classes IFC, onde é realizada a transferência de arquivos e geometria de um software BIM para outro, contudo este método não permite atualizações constante.

Mesmo que seja criado um link ainda há o garalo

E permitir acessos remoto para distintos escritório para tal, foi utilizado um sistema de *DDNS (Dynamic Domain Name System)*. Desta forma, o processo de criação, compatibilização, análises passam de um único escritório para um time, os quais podem atualizar constantemente o arquivo sem a necessidade de encaminhar por métodos tradicionais.

Com este método de desenvolvimento de projetos o sistema passa a ser um método similar a um sistema de desenvolvimento iterativo e incremental, onde os envolvidos na concepção

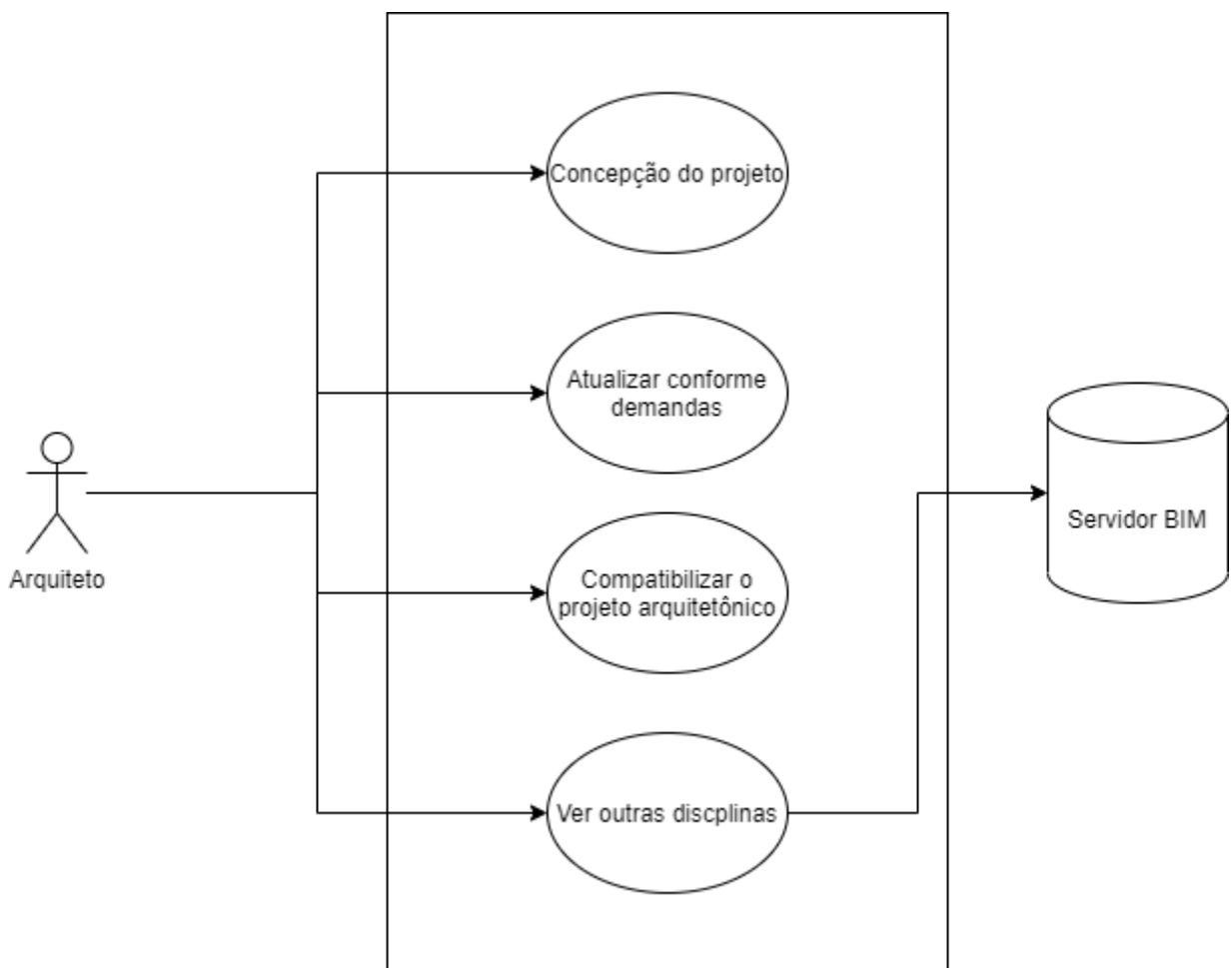
de projetos passam a ter um ciclo de desenvolvimento conjunto com ganhos na comunicação entre os times envolvidos. Assim um sistema que baseava-se no método de cascata de desenvolvimento de projetos passa a utilizar dos conceitos do método agile de desenvolvimento de projeto.

4.3 Casos de uso

Para o uso de um sistema de servidor foram elaborados casos de uso para melhor atender os atores envolvidos no desenvolvimento de um projeto BIM.

Assim o primeiro ator em questão é o arquiteto que tem como função desenvolver o projeto arquitetônico e adequá-lo conforme demandas do dono do empreendimento ou em questões de engenharia para compatibilização e funcionalidades dos sistemas (Figura 4.2).

Figura 4.2: Caso de uso para arquitetos

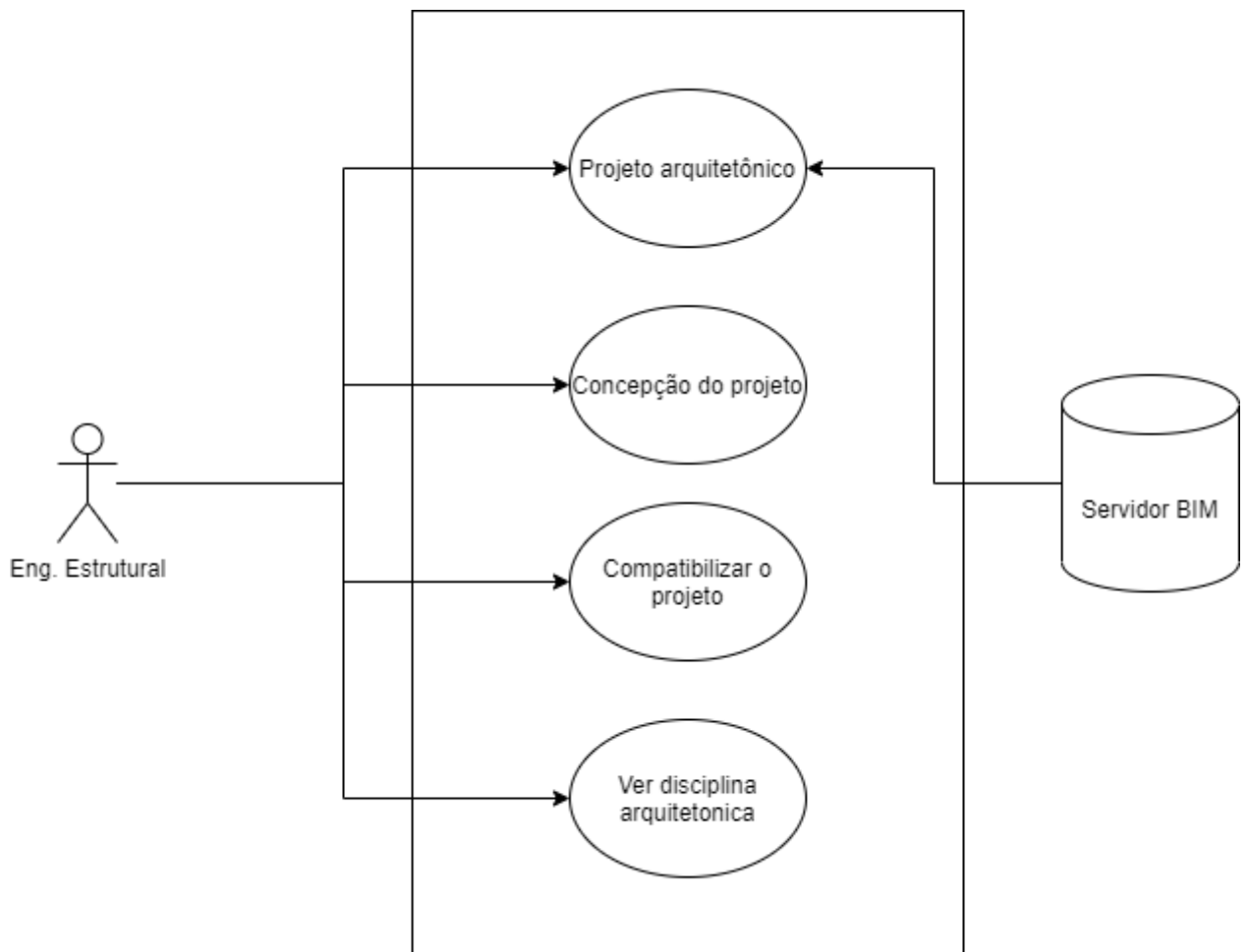


Fonte: Autor

O segundo ator envolvido é o Engenheiro estrutural, que necessita da arquitetura e das

cargas que haverão no empreendimento para desenvolver o projeto estrutural (figura 4.3).

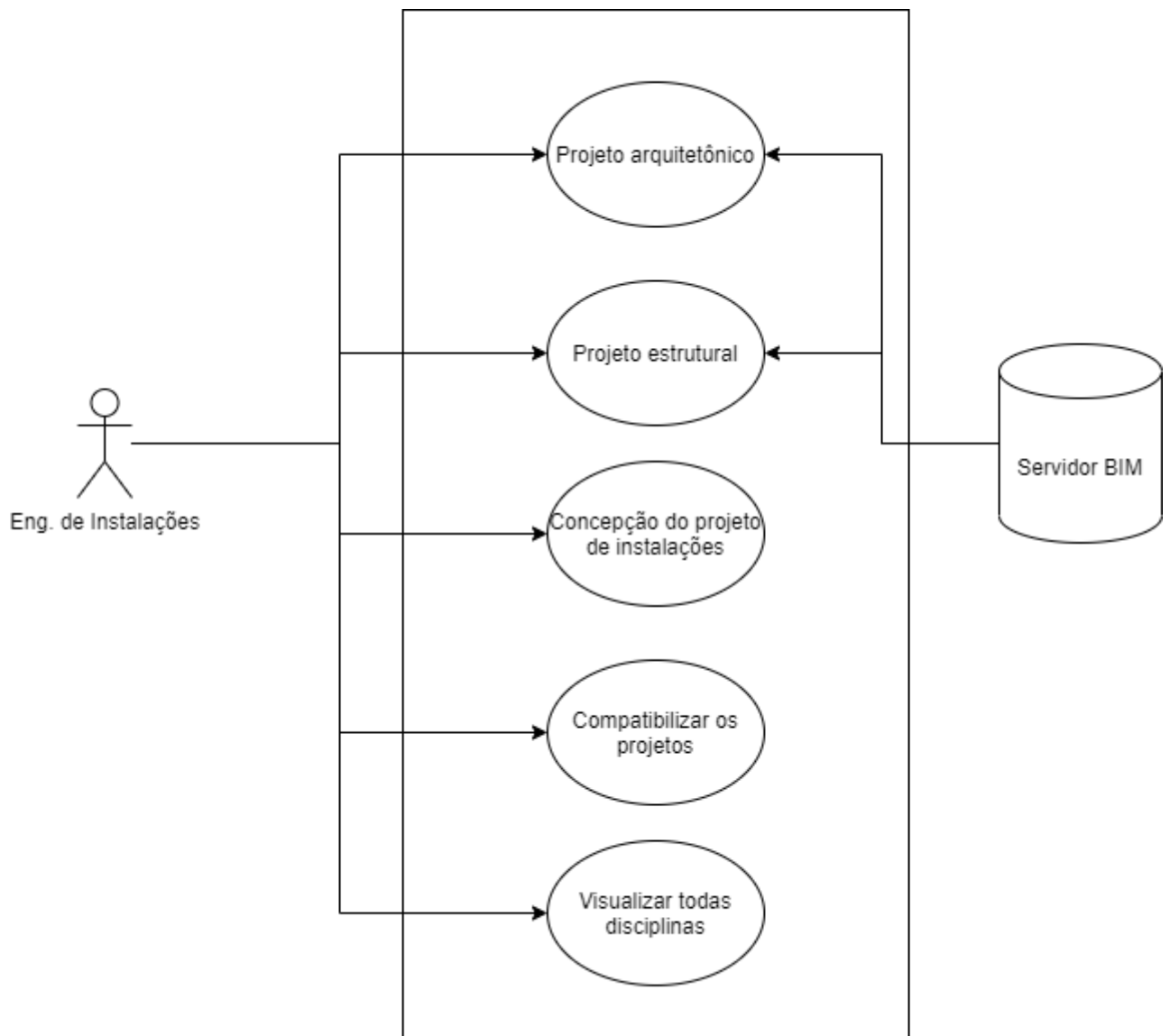
Figura 4.3: Caso de uso para Engenheiros Estruturais



Fonte: Autor

Para os engenheiros de instalações, o qual engloba temos os seguintes caso de uso (figura 4.4).

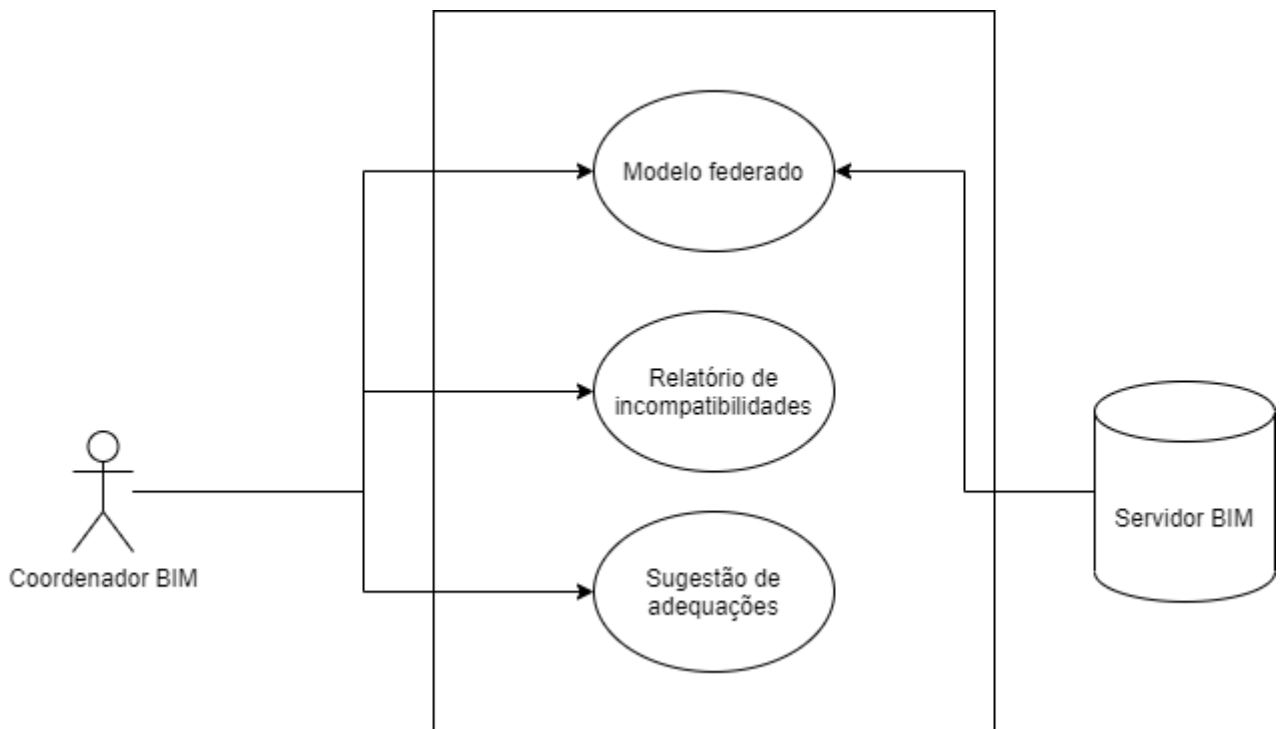
Figura 4.4: Caso de uso para Engenheiros de Instalações



Fonte: Autor

Para o coordenador de projetos BIM temos os seguintes caso de uso (figura 4.5).

Figura 4.5: Caso de uso para Coordenador BIM



Fonte: Autor

4.4 Requisitos do sistema

Neste tópico serão abordados os requisitos para a instalação do sistema de servidor da Autodesk (Revit Server 2021) e os requisitos funcionais do sistema para atender os multi usuários.

Tabela 4.1: Requisitos Não Funcionais

1	Sistema Operacional	Windows Server 2012 R2 ou posterior
2	Servidor Web	Microsoft Internet Information Server 7.0 ou posterior
3	.Net Framework	Versão 4.8 ou posterior
4	Tipo de CPU (Computer Processing Unit)	Mínimo de 4 núcleos frequência maior que 2,6 Ghz
5	Memória RAM	Mínimo de 8 GBs
6	Disco Rígido	Capacidade mínima de 500GB, com RPM Mínima de 10.000 ou um SSD

Tabela 4.2: Requisitos Funcionais

1	Atualização de projetos	Atualizar os projetos dos times envolvidos quando abrirem o sistema
2	Acesso Remoto	Os usuários devem conseguir acessar de forma remota os arquivos necessários
2	Restrição de disciplinas	Os times envolvidos devem poder alterar somente as disciplinas de sua responsabilidade
3	Visualização de disciplinas	Capacidade de visualizar as disciplinas desenvolvidas para evitar conflitos de compatibilidade futura
4	Checagem de compatibilização	Possibilidade de checar os pontos de incompatibilidade do projeto

4.5 Considerações finais

Este capítulo abordou a arquitetura do sistema de servidor BIM, bem como os requisitos funcionais e não funcionais do sistemas e apresentou os casos de uso do sistema de servidor.

Desenvolvimento

5.1 Introdução

Este capítulo aborda o desenvolvimento de uma estratégia para elaborar modelo federado BIM. É a apresentado a concepção de um projeto de um hospital como prova de conceito de uma estratégia para elaborar projeto de instalações e subestações utilizando dos conceitos BIM, também apresenta um sistema de servidor para controle de arquivos e elaboração de projeto simultâneo reduzindo as incompatibilidades das disciplinas elétricas e hidráulica. E como resultado desta elaboração existe um quantitativo de incompatibilidades do modelo federado entre as disciplinas desenvolvidas a partir de um sistema de servidor com as que foram importadas a partir do protocolo IFC.

5.2 Característica da amostra

O modelo desenvolvido foi de um hospital com área de aproximadamente 27.000m², com características específicas para edificações hospitalares, como por exemplo, um sistema de no-break instantâneo para áreas de centro cirurgico e UTIs. Sistemas de ar-condicionado VRF, estrutura da edificação, sistemas de alimentação com eletrocalhas e barramentos blindados para distribuição de energia, eletrocalhas de sistemas de telecomunicações, sistemas de água fria, esgoto e água pluvial.

Um fator que vale ressaltar deste projeto é que a estrutura era de pré-moldado todos as instalações já deveriam ter o shaft definido e o entreferro havia limitações de tamanho para passagem das disciplinas elétricas, hidráulicas, de telecomunicação, de ventilação.

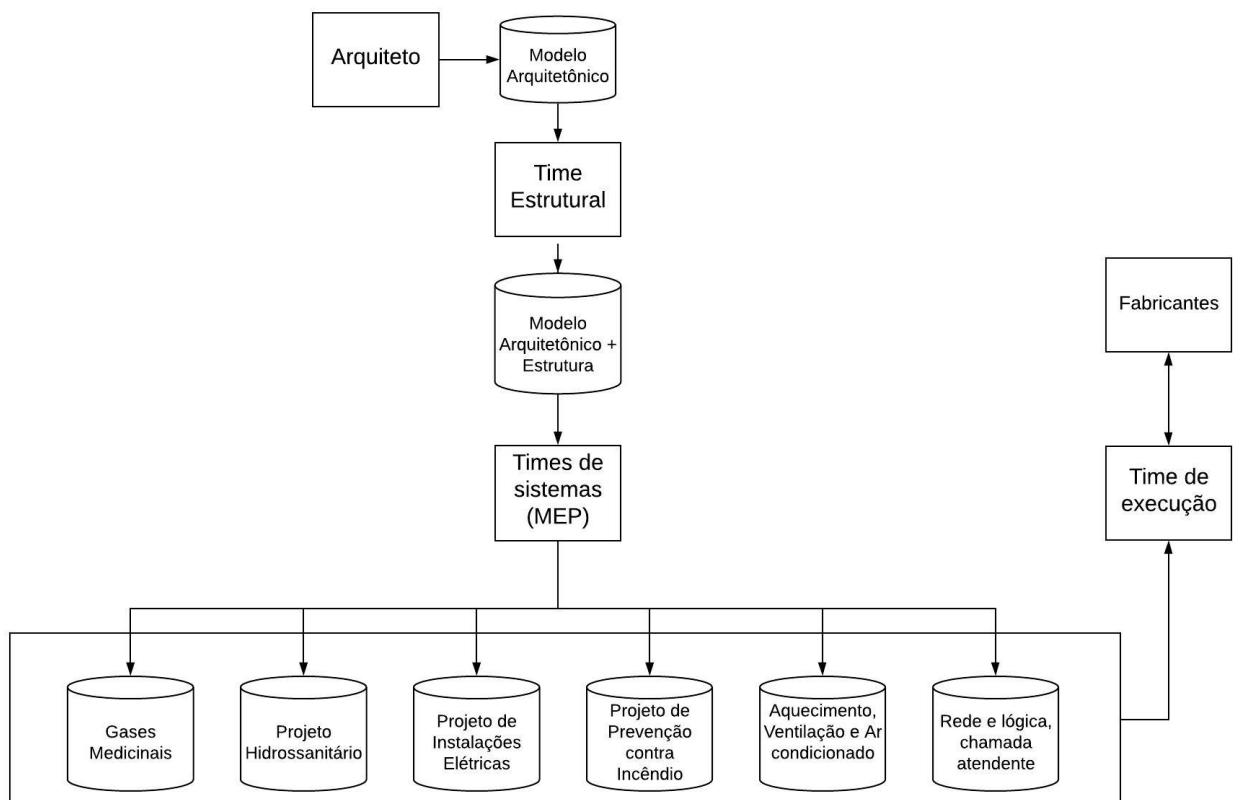
Assim para uma execução precisa e com um menor custo em retrabalhos os projetos elaborados devem estar o mais compatibilizado possível entre si. Para tal o dono do empreendimento optou pela elaboração de um modelo tridimensional federado, o que gerou o estudo de caso deste trabalho.

5.3 Estudo de Caso

5.3.1 Contextualização do projeto

O desenvolvimento do projeto nas fases iniciais foram pelo método tradicional de projetos (Figura 5.1), onde, os arquivos não estavam em um modelo centralizado e eram repassados e duplicados dentro de cada escritório envolvido. Assim, quando houveram as primeiras mudanças foram identificados problemas de comunicações entre os times.

Figura 5.1: Fluxo de desenvolvimento adotado inicialmente no processo



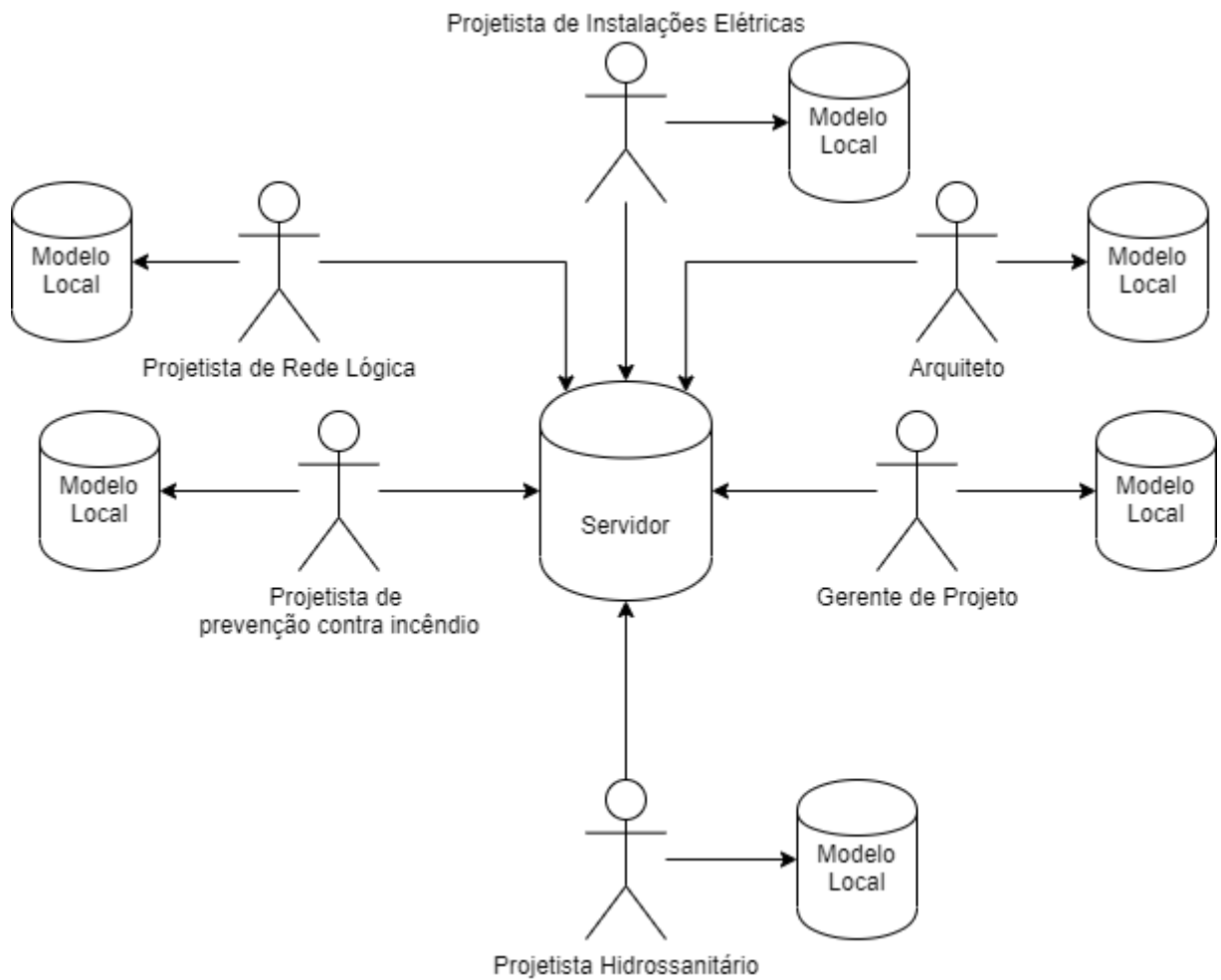
Fonte: Autor

Contudo, este modelo já havia se mostrado ineficiente devido a existência de vários arquivos locais, ou seja, todas as vezes que havia alterações era necessário atualizar para um

novo arquivo. Desta maneira, os times de sistemas necessitavam aguardar um arquivo final da arquitetura e estrutura para a concepção do projeto em si.

Desta forma foi adotado um sistema o qual os projetos hidrossanitários, de prevenção contra incêndio, de instalações elétricas e rede lógica foram desenvolvidos de forma conjunta (figura 5.2).

Figura 5.2: Fluxo de Sistema de Servidor Adotado



Fonte: Autor

Assim, embora inicialmente fossem utilizados softwares BIM, a metodologia em si não estava sendo aplicada nos processos de concepção do projeto. Então, uma proposta para o uso da metodologia, de forma colaborativa, foi a criação de um sistema de servidor, semelhante ao apresentado na secção 5.3.4.

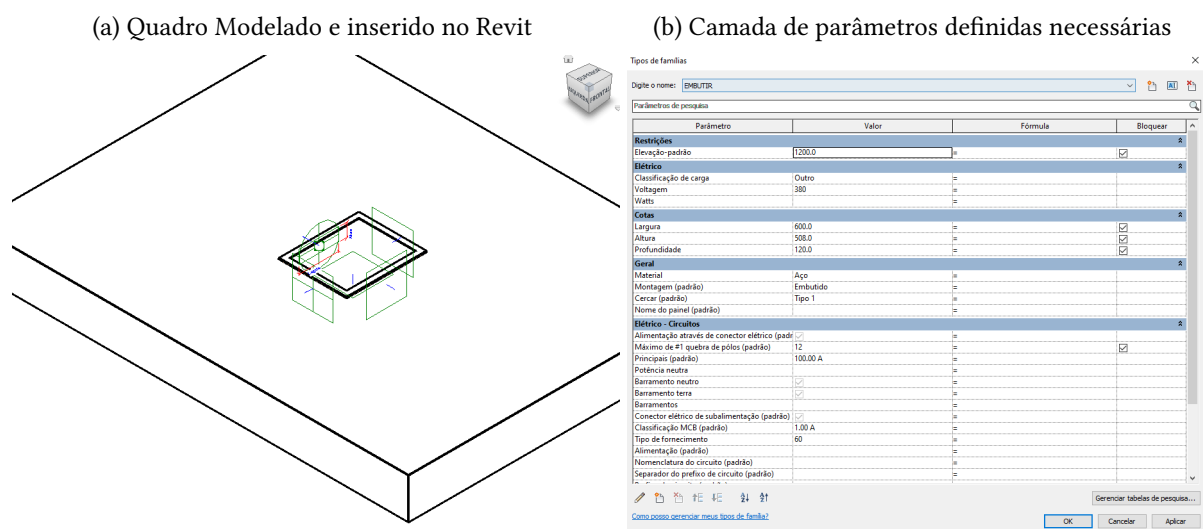
5.3.2 Concepção inicial do projeto

As primeiras versões dos projetos foram elaborados por cada time em um arquivo individual, seguindo o fluxo de informações apresentado na figura 5.1. Este fluxo era baseado em entrega de arquivos separados para compatibilização e, posteriormente, eram repassados para o time de execução.

Porém, este fluxo baseado em entrega de arquivos separados demonstrou uma enorme ineficiência, quanto a distribuição de informações necessárias para o planejamento e elaboração de projetos, assim a proposta de um modelo centralizado (figura 5.2) foi adotada.

Para o planejamento e desenvolvimento do projeto de instalações elétricas, foi elaborado modelos de quadros de distribuição de baixa tensão, baseando na norma NBR-5410:2008. Estes quadros foram modelados respeitando as especificações do fabricante. Em seguida, foram atribuídas as coordenadas de sistemas para que os mesmos fossem posicionados em uma parede a uma altura determinada por um parâmetro editável (Figura 5.3).

Figura 5.3: Modelo Quadro Geral de Distribuição de Baixa Tensão

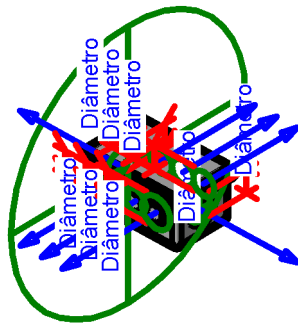


Fonte: Autor

Além da modelagem dos quadros, foram feitas as modelagens das tomadas, as quais devem pontos de referência inseridos para conexão de conduítes (Figura 5.4). Também foram inseridos nos quadros conexões, porém para eletrocalhas.

Figura 5.4: Tomadas Revit

(a) Modelo Tridimensional



(b) Parâmetros das tomadas

Tipos de famílias

Nome: TOMADA BANDA C/ CADA

Parâmetros de pressão

Parâmetro	Valor	Fórmula	Bloquear
Instalação			
Elevação-padrão	00.00	=	<input checked="" type="checkbox"/>
Instalação			
Deslocamento do Símbolo (padrão)	0.00	=	<input type="checkbox"/>
Elétrico			
Power Factor	1.000000	=	<input type="checkbox"/>
Switch Voltage	220.00 V	=	<input type="checkbox"/>
Numero de Polos (padrão)	1	=	<input type="checkbox"/>
Load Classification	Tomada	=	<input type="checkbox"/>
Load	200.00 VA	=	<input type="checkbox"/>
Cotas			
Diâmetro Top Cen (padrão)	2.70	=	<input type="checkbox"/>
Diâmetro Di Sup (padrão)	2.70	=	<input type="checkbox"/>
Diâmetro Di Cen (padrão)	2.70	=	<input type="checkbox"/>
Diâmetro Di Inf (padrão)	2.70	=	<input type="checkbox"/>
Diâmetro Eq Sup (padrão)	2.70	=	<input type="checkbox"/>
Diâmetro Eq Cen (padrão)	2.70	=	<input type="checkbox"/>
Diâmetro Eq Inf (padrão)	3.50	=	<input type="checkbox"/>
Diâmetro Bas Cen (padrão)	2.70	=	<input type="checkbox"/>
Notas de dimensionamento			

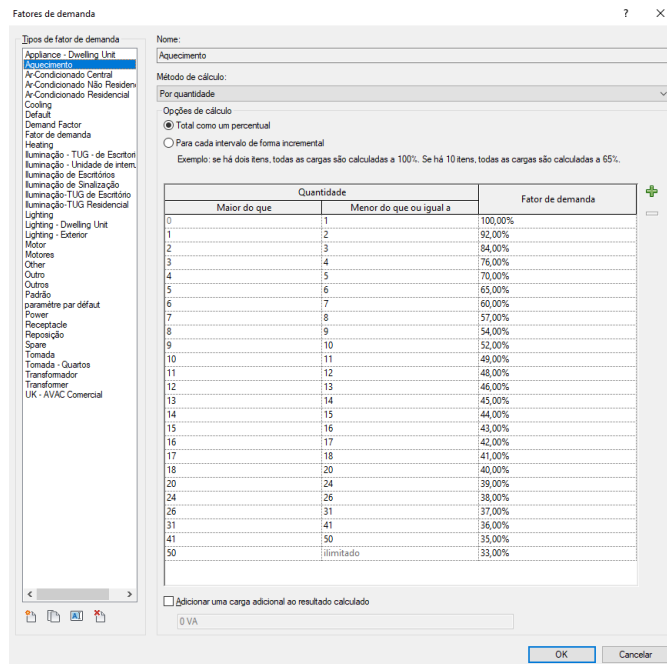
OK Cancelar Aplicar

Fonte: Autor

Um fator importante para este projeto foi a classificação da carga. Para projetos de instalações elétricas a definição dos sistema de proteção e de dimensionamento de condutores são baseados a partir de de fatores de utilização, como o fator de demanda (COTRIM, 2003). O fator de demanda é uma estimativa do uso da simultaneidade dos equipamentos ligados em um mesmo ponto de alimentação de acordo com a Resolução N° 414 de 09 de setembro de 2010.

Assim, definiu os circuitos e aplicou os fatores de demanda, de acordo com a concessionária de energia norteadas pelas tabelas das normas de distribuição 5.1 da Cemig (ND, 2017). Dentro das opções do software, foram criados os fatores de demanda para atender as normas brasileiras, uma vez que os fatores já existentes no software eram norteados pelas normas norte americana (Figura 5.5).

Figura 5.5: Parametrização baseada nas normas brasileira



Fonte: Autor

Assim sendo, ao criar circuitos para os quadros, fatores pré-definidos pelas cargas e se aplica os fatores de demanda em conjunto com as demandas, para o dimensionamento de proteções e de diâmetro dos cabos que serão utilizados.

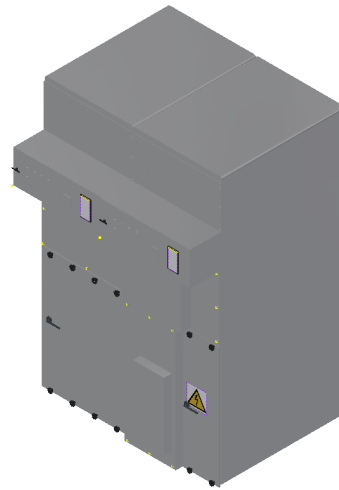
5.3.3 Subestação de energia elétrica do hospital

Assim como foi apresentado na secção 5.3.2 para os modelos de baixa tensão, também foi necessário para os modelos de média tensão.

Assim, para a concepção da Subestação foram modelados os ativos necessários para a representação virtual da Subestação no Ambiente. Dentre os componentes, houve a concepção de um cubículo blindado de média tensão, que é responsável pelo armazenamento de componentes disjuntores e sistemas eletrônicos de energia elétrica. Este cubículo é amplamente utilizado em setores industriais e de construção civil. O mesmo deve ser utilizado nas subestações de energia elétrica de média tensão, para consumidores que necessitam de alta demanda de energia elétrica.

Desta forma, seguindo o workflow proposto, o cubículo foi modelado no software Autodesk Inventor, a partir de seu datasheet fornecido por uma empresa de montagem de painéis elétricos (figura 5.6).

Figura 5.6: Cubículo de média tensão

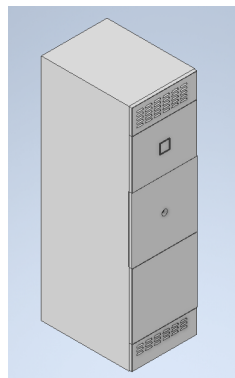


Fonte:Autor

Com o cubículo modelado geometricamente, este foi exportado para o Revit com o intuito de adicionar as informações pertinentes ao escopo do projeto.

Além deste cubículo, foram modelados quadros de grande porte sem ser embutidos para a subestação. Um destes quadros era voltado para disjuntores de até 1000A, responsável pela divisão entre os pavimentos da edificação, os quais servirão para alimentar os quadros distribuídos pelo prédio (figura 5.7).

Figura 5.7: Modelo Quadro Geral da Subestação



Fonte: Autor

Com este quadro modelado geometricamente e atribuído as informações pertinentes para a construção, foi desenvolvida uma padronização para as tabelas de quadros. As quais comunicam diretamente com as cargas associadas ao quadro para os modelos e consequentemente à comunicação entre outros quadros, de forma que desde o modelo da tomada, que tem uma potência e um fator de demanda associado, até o disjuntor, que será dimensionado pela demanda

será associada a um circuito a partir de 'n' tomadas. Assim, ao atualizar a carga do circuito o disjuntor, que está inserido no quadro, será atualizado de forma automática (figura 5.8).

Figura 5.8: Tabela de Quadro de Cargas

(a) Layout para quadro de alimentação

Painel: <Nome do>				
Fonte de Alimentação:	<Fornecimento de>	Sist. Distribuição:	<Sistema de distribui>	Tipo de Quadro:
Montagem:	<Montagem>	Número de Fases:	<Número de fases>	<Tipo de fornecimento>
Material:	<Cercar>	Número de Cabos:	<Número de cabos>	Corrente de Alíme:
				<Principais>
				Disjuntor de Entra:
				<Classificação ICB>
Notas:				
<Notas no cabeçalho da tabela>				
Circuito	Descrição da Carga	Seção do Fio	# de Fases	Carga
1	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
2	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
3	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
4	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
5	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
6	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
7	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
8	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
9	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
10	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
11	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
12	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
13	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
14	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
15	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
16	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
17	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
18	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
19	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
20	<Nome da carga>	<Seção do>	<Número d>	<Classificação>
				<Total conect>
				<Total de cor>

(b) Layout Aplicado

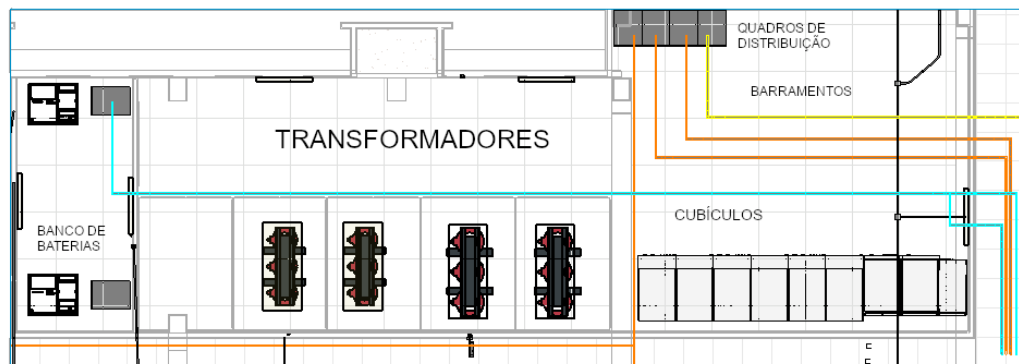
Painel: Quadro ...					
Fonte de Alimentação:	Sist. Distribuição:	ODG 380/220	Tipo de Quadro:	MCB	
Montagem:	Número de Fases:	3	Corrente de Alim.:	800 A	
Material:	Número de Fios:	4	Disjuntor de Entr.:	800 A	
Notas:					
Circuito	Descrição da Carga	Seção do Fio	# de Fases	Disjuntor	Load
Qua. ODG1-1PV1		BARRA	3	200 A	145515 VA
Qua. ODG2-1PV1		BARRA	3	200 A	145515 VA
Qua. ODG3-1PV1		BARRA	3	50 A	28479 VA
Qua. ODG4-1PV1		BARRA	3	200 A	147243 VA
Qua. ODG5-1PV1		BARRA	3	200 A	147243 VA
Qua. ODG6-1PV		BARRA	3	40 A	22650 VA
Qua. ODG7-1PV		BARRA	3	200 A	131428 VA
Qua. ODG8-1PV		BARRA	3	40 A	21138 VA
Qua. ODG9-1PV		BARRA	3	200 A	142158 VA
Qua. ODG10-1PV		BARRA	3	200 A	93171 VA
Qua. ODG11-1PV		BARRA	3	80 A	49793 VA
					1076643 VA
					1538 A

Classificação da Carga	Carga Real	Fator de Dem...	Demanda Esti...	Totais do Painel
Outro	8520 VA	100.00%	8520 VA	Carga Real Total: 1076643 VA
Chuveiro Elétrico	854000 VA	30.00%	192200 VA	
Outro	18800 VA	100.00%	18800 VA	Corrente Real Total: 1830 A
Lighting - Dwelling Unit	880 VA	100.00%	880 VA	Corrente Estimada... 755 A
Iluminação	11836 VA	90.00%	9249 VA	
Tomada	111800 VA	30.00%	33540 VA	
Reposição	60000 VA	100.00%	60000 VA	

Fonte: Autor

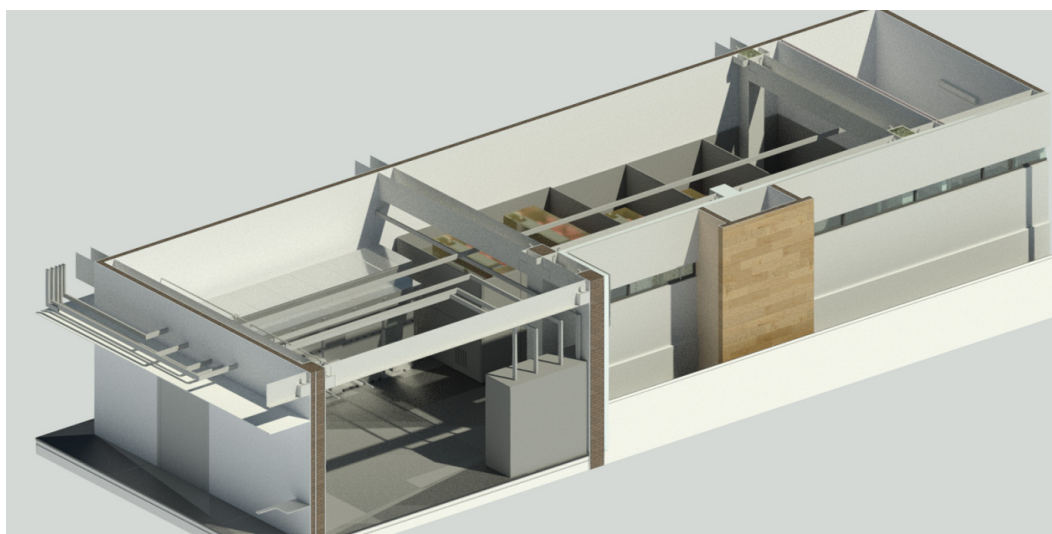
Após a conclusão das informações pertinentes do modelo, insere-se em cena e faz-se as conexões com os sistemas de distribuição para as instalações (figuras 5.9 e 5.10). Estas instalações seguem com um barramento blindado, que conecta os quadros principais até os demais quadros, variando entre circuitos comuns (barramentos laranja), circuitos de máquinas de imagem (barramento amarelo) e circuito que seguem a norma ABNT NBR 13534:2008 - Instalações elétricas de baixa tensão - Requisitos específicos para instalação em estabelecimentos assistenciais de saúde devem ser representados na cor azul.

Figura 5.9: Subestação modelada vista superior



Fonte: Autor

Figura 5.10: Vista 3D da Subestação



Fonte: Autor

5.3.4 Sistema de Servidor BIM

Objetivando um melhor sistema de gestão de arquivos e compatibilização, foi definido o uso de um sistema de servidor BIM. Este trabalha de forma colaborativa entre os softwares de modelagem da informação da construção.

Assim foram levantados os softwares BIM com possibilidade de trabalho colaborativo de distintas disciplinas simultaneamente. O mais aderente, devido a facilidade de instalação e de usabilidade, foi a solução da Autodesk chamada Revit Server. Outro critério importante para a seleção desta solução encontra-se no fato de que a maioria dos times envolvidos no projeto já utilizavam de produtos da Autodesk para auxiliar em seus projetos.

O Revit Server é uma aplicação de servidor, cuja sua função principal é o compartilhamento de trabalho. Assim, ao compartilhar um projeto, os distintos times das equipes podem acessar e modificar, trabalhando de forma colaborativa. Com o compartilhamento de trabalho baseado em um sistema de servidor, há a possibilidade de que múltiplas instâncias do Revit Server sejam instaladas em diferentes locais. Deste modo, podem ser configuradas para executar funções específicas para otimizar a colaboração através de uma rede de área ampla (WAN).

Uma instância do Revit Server pode ser configurada para executar três funções distintas de forma separada ou simultânea. Sendo as funções de: host, acelerador e administrador do sistema.

A função host tem como objetivo hospedar os modelos, criando assim um modelo central para os projetos compartilhados. Além disto, o host tem como função versionar o projeto,

criando então um histórico de atualizações do modelo. Esta função geralmente é utilizada nos servidores mais centralizados e conhecidos, geralmente, como o servidor de Revit (figura 5.11).

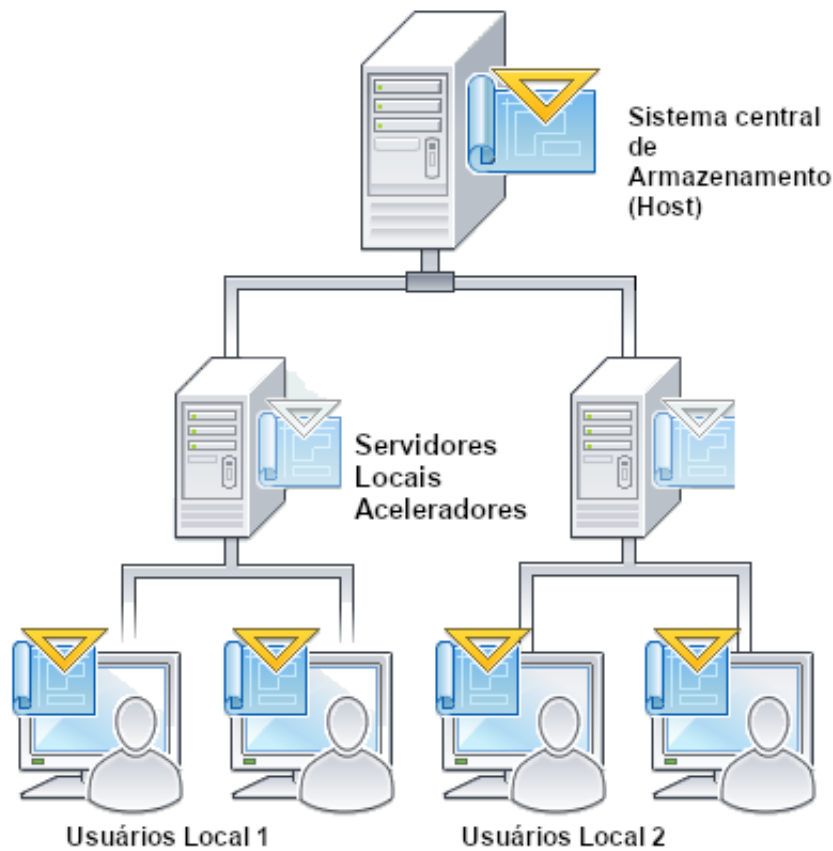
Figura 5.11: Arquitetura Revit Server Host



Adpatado de Autodesk (2020b)

A função de acelerador é uma instância do servidor, que comunica direto com o um sistema de servidor, com a instância de Host ativada. O intuito desta funcionalidade é agilizar a comunicação entre usuários em uma rede de área local (LAN) para um servidor em uma WAN. Conceitualmente o Revit Server acelerador é similar a um servidor local (figura 5.12).

Figura 5.12: Arquitetura Revit Server Acelerador



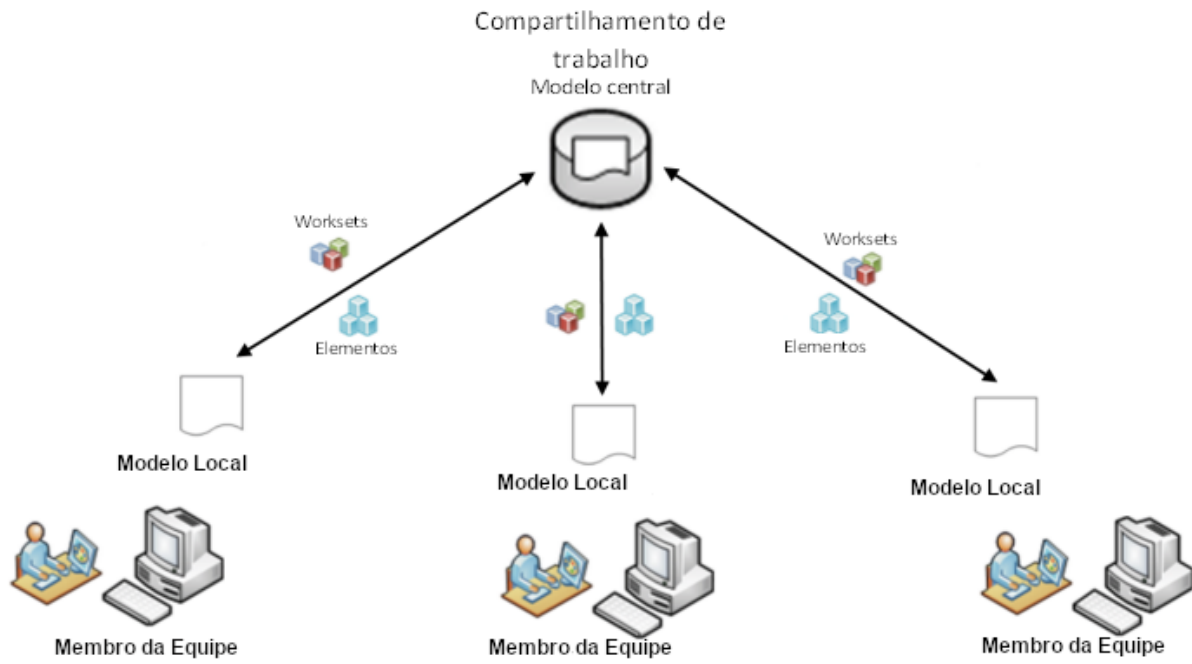
Adaptado de Autodesk (2020b)

A função de administrador permite que o utilitário de gerenciamento, com base na Web do administrador do Revit Server, seja chamado na instância do Revit Server. Podendo, assim, gerenciar as pastas e arquivos do host em um sistema Web.

Assim, para o presente estudo de caso, foi utilizado um sistema centralizado em um computador que atende os requisitos citados acima, com a função de host e administrador. Desta maneira, os times responsáveis pela elaboração das distintas disciplinas podem trabalhar de forma colaborativa em um único modelo via WAN.

Para trabalhar de forma colaborativa com organização foi definido *worksets*. Estes são funcionalidades do software que permite que distintos times trabalhem de forma colaborativa sem interferência entre os projetistas (figura 5.13).

Figura 5.13: Distintos times trabalhando de forma colaborativa via Worksets



Fonte: Autodesk (2020a)

As *worksets* são definidas como coleções de elementos em um projeto compartilhado. Para este projeto em específico, cada *workset* foi utilizada para representar uma disciplina de projeto (figura 5.14).

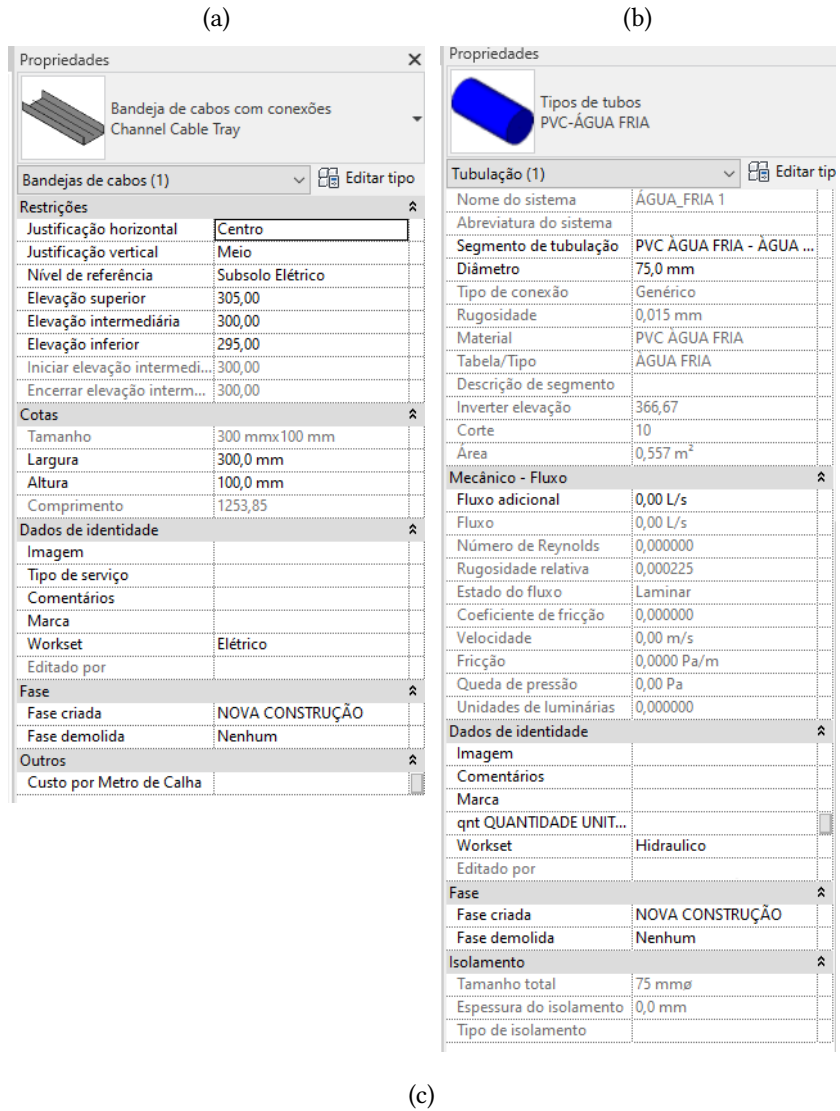
Figura 5.14: Lista de Worksets

Nome	Editável	Proprietário	Usuários temporários	Aberto	Visível em todas as vistas
Arquitetura	Não			Sim	<input checked="" type="checkbox"/>
Elétrica	Não			Sim	<input checked="" type="checkbox"/>
Esgoto	Não			Sim	<input checked="" type="checkbox"/>
Exemplo	Não			Não	<input checked="" type="checkbox"/>
Hidráulica	Não			Sim	<input checked="" type="checkbox"/>
Iluminação	Não		drivecgw	Não	<input checked="" type="checkbox"/>
Níveis e eixos compartilhados	Não			Sim	<input checked="" type="checkbox"/>
PCI	Não			Não	<input checked="" type="checkbox"/>
Telaceo1	Não			Sim	<input checked="" type="checkbox"/>
Workset1	Não	rita		Sim	<input checked="" type="checkbox"/>

fonte: Autor

Assim os worksets são criados baseado nas disciplinas envolvidas no projeto (figura 5.15).

Figura 5.15: Worksets Elétrico (a) e Hidráulico (b) Modelo Centralizado (c)



Desta forma, com a junção de várias disciplinas sendo desenvolvidas em um único ambiente, foi possível reduzir consideravelmente o número de incompatibilidades. Durante o desenvolvimento do projeto já era possível visualizar o posicionamento espacial de dutos, tubos e vigas. Assim, sendo possível antecipar erros e reduzindo o retrabalho diante de incompatibilidades.

5.4 Resultados do sistema de servidor

Além da concepção do projeto foi realizado um estudo de incompatibilidades entre as disciplinas e a compatibilização do projeto, para que durante a execução haja o mínimo de divergências entre o projeto/construído.

Assim, para a compatibilização do projeto foi o modelo federado foi exportado para o software Autodesk Navisworks, o qual, possui um sistema de clash detection, que faz a análise entre incompatibilidades das disciplinas chegando na tabela de incompatibilidades 5.1:

Tabela 5.1: Tabela de incompatibilidades entre disciplinas

Disciplinas Avaliadas	Número de interferências	Incompatibilidades/Área
1 - Arquitetura x Estrutural	8326	0,308
2 - Arquitetura x Climatização	862	0,032
3 - Estrutura x Climatização	96	0,004
4 - Arquitetura x Hidráulica	5706	0,211
5 - Estrutura x Hidráulica	3365	0,125
6 - Arquitetura x Elétrico	3775	0,140
7 - Estrutural x Elétrico	605	0,022
8 - Arquitetura x Gases medicinais	1629	0,060
9 - Estrutural x Gases medicinais	1609	0,060
10 - Arquitetura x Prevenção e Combate a Incêndio	19	0,001
11 - Climatização x Hidráulico	327	0,012
12 - Climatização x Elétrico	1078	0,040
13 - Climatização x Gases medicinais	150	0,006
14 - Climatização x Prevenção e Combate e Incêndio	6	0,0002
15 - Hidráulico x Elétrico	137	0,005

Estas análises consideraram incompatibilidades qualquer passagem nas paredes, forros etc. Assim os números de incompatibilidades entre a arquitetura e as demais disciplinas consideram todos os pontos de passagem de eletrodutos, dutos, tubulações etc. Desta forma mesmo com um número elevado nem todos são incompatibilidades.

Com estes resultados, é possível analisar que as incompatibilidades entre as disciplinas desenvolvidas foras do sistema de servidor é bem maior que as que foram desenvolvidas em conjunto tendo em vista que as disciplinas elétricas e hidráulicas possuem apenas 137 incompatibilidades sendo as disciplinas com um grande volume ocupado dentro da edificação na área de instalações.

Ademais ressalta-se que as disciplinas que possuem poucas incompatibilidades não ocupam as mesmas áreas, por exemplo, as tubulações de prevenção e combate a incêndio possuem um volume menor no projeto do que as instalações elétricas, hidráulica e climatização.

5.5 Comparativo trabalhos correlatos

Tabela 5.2: Comparação entre os trabalhos relacionados.

Trabalho / Característica	Integração com diversas Disciplinas	Método colaborativo de trabalho	Desenvolvimento de modelos BIM	Métodos de interoperabilidade entre modelos
Gu, Zhang e Gu (2016)	✓	✗	✓	✓
Delavar et al. (2019)	✓	✗	✓	✓
Bonanomi (2015)	✓	✗	✗	✗
Papadonikolaki (2018)	✓	✓	✗	✓
beach2017management	✓	✓	✗	✓
Subbotin, Melkumyan e Khuriev (2019)	✗	✓	✓	✗
Azevedo (2022)	✓	✓	✓	✓

5.6 Considerações finais

Este capítulo abordou o desenvolvimento de um estudo de caso de um projeto em BIM, que em seus primórdios estava sendo executado com ferramentas BIM. Todavia, sem aplicar todas as funcionalidades e sem contar com o amadurecimento dos times envolvidos. Utilizando um sistema de servidor BIM, foi possível visualizar um modelo integrado utilizando o método colaborativo. Também foi abordado aspectos e funcionalidades do servidor Revit, utilizado para o estudo de caso. E também foi analisada as incompatibilidades entre as disciplinas entre as disciplinas desenvolvidas em sistema de servidor

Discussão e Trabalhos futuros

6.1 Introdução

Nesse capítulo, são apresentadas as conclusões da dissertação, enfatizando o uso da metodologia e o desenvolvimento de maturidade de uso desta tecnologia. Tais conclusões levaram em consideração algumas etapas do projeto, bem como o nível de desenvolvimento do modelo centralizado, com diversos times trabalhando simultaneamente.

6.2 Conclusões

O trabalho apresentou uma estratégia, a qual, suporte ao uso de uma plataforma multi-usuário associada a processos de concepção de projetos BIM. Para tal foram elaboradas modelos tridimensionais que serviram de subsídio para a concepção de um projeto de engenharia a partir dos conceitos de modelagem paramétrica. Ademais, de acordo com os trabalhos acadêmicos analisados na revisão é possível observar que embora fale-se sobre o desenvolvimento em sistemas de servidor nem um destes apresentam um estudo de caso de métodos de trabalhos colaborativos.

Contudo para a concepção do projeto a partir dos conceitos em BIM foram necessária a criações de famílias aderentes às normas Brasileiras. Desta forma também foi abordada a criação e parametrização de modelos BIM, no caso deste trabalho foram criadas famílias para o Revit.

Após a concepção das famílias necessárias para a criação do projeto de instalações elétricas e hidráulicas foi utilizado um sistema de servidor para a elaboração de um modelo federado de

forma simultânea entre as disciplinas, elétricas, hidráulica prevenção e combate a incêndio.

Assim, ao utilizar este método de trabalho colaborativo foi obtido um resultado satisfatório em relação às disciplinas desenvolvidas, visto que, as que foram modeladas dentro do sistema de servidor (elétricas, hidráulica prevenção e combate a incêndio) apresentaram 137 pontos de incompatibilidades entre elétrica e hidráulica, 0 entre Elétrica e prevenção e combate a incêndios e 0 entre hidráulica e prevenção e combate a incêndio. Entre as demais tivemos uma média de 1968 incompatibilidades.

As demais disciplinas foram inseridas em um modelo arquitetônico Revit via IFC, o que gerou uma grande quantidade de incompatibilidades entre estas, nota-se que se fizermos uma média de incompatibilidade por área obtemos que a média destes é de aproximadamente 0,10 (incompatibilidades/m²). Enquanto as que foram desenvolvidas em sistemas de servidor foi de aproximadamente 0,007 (incompatibilidades/m²) sendo considerada uma área de 20.000m².

Desta forma observa-se que está é uma pesquisa qualitativa, com uma amostra de área considerável, o que nos leva a crer que os resultados obtidos nesta amostra podem ser aprimorados a partir do desenvolvimento de mais modelos e lapidando o processo. Entretanto, mesmo que seja apenas uma amostra os resultados são satisfatórios uma vez que a proporção entre as médias das quantidades de incompatibilidades encontradas entre as disciplinas desenvolvidas através do método de servidor com as que foram incorporadas no modelo federado a partir do protocolo IFC é de aproximadamente 0,07.

6.3 Trabalhos futuros

Como o método deste trabalho foi uma pesquisa qualitativa com uma amostra pequena, faz-se necessário a transição desta pesquisa para que seja uma pesquisa quantitativa, onde os resultados podem ser replicados e aprimorados a partir da melhora do processo de criação de modelos federados a partir do desenvolvimento em BIM.

O que pode resultar em novas métricas para avaliação de incompatibilidades chegando a um nível de otimização de projetos com um mínimo aceitável de incompatibilidades, uma vez que, estas sempre estarão presentes. Visto que, por mais que o projeto esteja otimizado pode ocorrer problemas externos à construção que poderá gerar incompatibilidades em cascata.

Ademais, ressalta-se que a criação deste modelo tridimensional pode servir de subsídio para a criação de um gêmeo digital, uma vez que este modelo pode ser inserido em uma engine

que permita a leitura de sensores externos com representação destes em um Ambiente Virtual criado a partir de um modelo BIM. Assim, associando um modelo digital a distintos bancos de dados de gerenciamento, como softwares ERP (Enterprise Resource System), e outros métodos de gestão de tal sorte que este modelo sirva de subsídio para as etapas de projeto, construção e operação da edificação.

6.4 Considerações Finais

Esse capítulo apresentou as conclusões do trabalho, avaliando os objetivos e os resultados alcançados. Também foi apresentado a evolução dos times envolvidos no estudo de caso perante o uso das ferramentas BIM, atingindo alto nível de colaboração. Por fim, apresentou-se as perspectivas de trabalhos futuros, voltados para o campo de desenvolvimento de interoperabilidade e trabalhos colaborativos

Referências

AKINTOYE, Akintola; MCINTOSH, George; FITZGERALD, Eamon. A survey of supply chain collaboration and management in the UK construction industry. **European Journal of Purchasing & Supply Management**, Elsevier BV, v. 6, n. 3-4, p. 159–168, dez. 2000.

DOI: 10.1016/s0969-7012(00)00012-5. Disponível em:

<[https://doi.org/10.1016/s0969-7012\(00\)00012-5](https://doi.org/10.1016/s0969-7012(00)00012-5)>.

ARAYICI, Yasuf. **Building Information Modeling**. [S.l.]: Bookboon, 2015.

AUTODESK. **Sobre o compartilhamento de trabalho**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em:

<<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/PTB/Revit-Collaborate/files/GUID-0FC44807-DF06-4516-905A-4100281AC486-htm.html>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

_____. **Sobre o Revit Server**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em:

<<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/PTB/Revit-Collaborate/files/GUID-4DE9A327-583E-40DA-81EB-1150D60E6887-htm.html/>>. Acesso em: 20 dez. 2019.

AYRES FILHO, CERVANTES. Acesso ao modelo integrado do edifício. **Pós-Graduação em Construção Civil-Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.**

AZEVEDO, Diogo M. et al. Utilização de tecnologia BIM aplicada a projetos de Subestações de energia elétrica integrada a Sistema de Inteligência Geográfica (SIG). In: ENCONTRO Regional Ibero-Americano do Cigré - ERIAC XVIII. Foz do Iguaçu PR: [s.n.], 2019.

BEACH, Thomas et al. Management of Collaborative BIM Data by Federating Distributed BIM Models. **Journal of Computing in Civil Engineering**, American Society of Civil

Engineers (ASCE), v. 31, n. 4, jul. 2017. DOI: 10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000657.

Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000657](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000657)>.

BEDRICK, Jim. Organizing the development of a building information model. **The American Institute of Architects**, v. 9, 2008.

BONANOMI, Marcella. Building Information Modeling (BIM) and Facility Management (FM).

In: KNOWLEDGE Management and Information Tools for Building Maintenance and Facility Management. [S.l.]: Springer International Publishing, out. 2015. p. 149-177. DOI:

10.1007/978-3-319-23959-0_6. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/978-3-319-23959-0_6>.

BRUGNI, Talles Vianna et al. IFRIC 12, ICPC 01 e contabilidade regulatória: influências na formação de tarifas do setor de energia elétrica (IFRIC 12, ICPC 01 and Regulatory

Accounting: Influences on Formation of Tariffs in the Electricity Sector). **Sociedade,**

Contabilidade e Gestão, v. 7, n. 2, p. 104-119, 2012.

CHIEN, Kuo-Feng; WU, Zong-Han; HUANG, Shyh-Chang. Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects: Empirical study. **Automation in Construction**, Elsevier BV,

v. 45, p. 1-15, set. 2014. DOI: 10.1016/j.autcon.2014.04.012. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.012>>.

CONFORTO, Edivandro Carlos; AMARAL, Daniel Capaldo; SILVA, SL da. Roteiro para

revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **Trabalho apresentado**, v. 8, 2011.

COTRIM, Ademaro Alberto Machado Bittencourt. **Instalações elétricas**. [S.l.]: Mcgraw-Hill do Brasil, 2003.

CRESPO, Cláudia Campos; RUSCHEL, Regina Coeli. Ferramentas BIM: um desafio para a

melhoria no ciclo de vida do projeto. III Encontro de Tecnologia de Informação e

Comunicação na Construção Civil. **Porto Alegre**, 2007.

DELAVAR, Mohammad et al. Automated BIM-based process for wind engineering design

collaboration. In: 2. v. 13, p. 457-474. DOI: 10.1007/s12273-019-0589-2. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1007/s12273-019-0589-2>>.

EASTMAN, Charles. The use of computers instead of drawings in building design. **AIA**

Journal, v. 63, n. 3, p. 46-50, 1975.

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

FEDERAL, Governo. **Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling.** [S.l.: s.n.], Outubro 2019. Acessado: 14 Out. 2019. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2019/decreto-9983-22-agosto-2019-789002-publicacaooriginal-158937-pe.html>>.

FONSECA, Ícaro Aragão; GASPAR, Henrique Murilo. Challenges when creating a cohesive digital twin ship: a data modelling perspective. **Ship Technology Research**, Informa UK Limited, v. 68, n. 2, p. 70–83, set. 2020. DOI: 10.1080/09377255.2020.1815140. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09377255.2020.1815140>>.

GARYAEVA, Venera. Application of BIM modeling for the organization of collective work on a construction project. In: _____. v. 251, p. 05025. DOI: 10.1051/mateconf/201825105025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/mateconf/201825105025>>.

GROUP, BIM Industry Working et al. Strategy paper for the government construction client group. **Centre for Digital Built Britain, London, United Kingdom**, 2011.

GSA, US. GSA BIM Guide 05-Energy Performance. **Online: <http://www.gsa.gov/portal/content/102283>**, Accessed, v. 11, n. 12, p. 2016, 2015.

GU, Jianqiao; ZHANG, Hehua; GU, Ming. Automatic Integrity Checking of IFC Models relative to building Regulations. In: PROCEEDINGS of the International Conference on Internet Multimedia Computing and Service. [S.l.]: ACM, ago. 2016. DOI: 10.1145/3007669.3007743. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3007669.3007743>>.

GUO, Yue et al. A BIM Integrated Hospital Emergency Management Framework. In: 2018 IEEE 22nd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design ((CSCWD)). [S.l.]: IEEE, mai. 2018. DOI: 10.1109/cscwd.2018.8465274. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/cscwd.2018.8465274>>.

- KAEWUNRUEN, Sakdirat; LIAN, Qiang. Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier BV, v. 228, p. 1537–1551, ago. 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.04.156. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.156>>.
- KIM, Sung Ah et al. Integrated energy monitoring and visualization system for Smart Green City development. **Automation in Construction**, Elsevier BV, v. 22, p. 51–59, mar. 2012. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.07.004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.07.004>>.
- KOSKELA, Lauri; BALLARD, Glenn. What Should We Require from a Production System in Construction? In: CONSTRUCTION Research Congress. [S.l.]: American Society of Civil Engineers, mar. 2003. DOI: 10.1061/40671(2003)42. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/40671\(2003\)42](https://doi.org/10.1061/40671(2003)42)>.
- KU, Kihong; TAIEBAT, Mojtaba. BIM Experiences and Expectations: The Constructors' Perspective. **International Journal of Construction Education and Research**, Informa UK Limited, v. 7, n. 3, p. 175–197, jul. 2011. DOI: 10.1080/15578771.2010.544155. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15578771.2010.544155>>.
- KURUL, Esra; OTI, Akponanabofa; CHEUNG, Franco. Level 3 BIM for Standardised Design Delivery, Refinement and Optimisation: Is it a real option in the UK?, 2016.
- LIEBICH, Thomas et al. IFC Methodology Guide Methodology for the Development of Industry Foundation Classes. en. IAI, 1997. DOI: 10.13140/2.1.1081.9846. Disponível em: <<http://rgdoi.net/10.13140/2.1.1081.9846>>.
- LU, Qiuchen et al. From BIM Towards Digital Twin: Strategy and Future Development for Smart Asset Management. In: SERVICE Oriented, Holonic and Multi-agent Manufacturing Systems for Industry of the Future. [S.l.]: Springer International Publishing, ago. 2019. p. 392–404. DOI: 10.1007/978-3-030-27477-1_30. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-27477-1_30>.
- MANZIONE, Leonardo. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo.

- ND, Norma CEMIG. 5.1 (6-1). **Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária-Rede de Distribuição Aérea-Edificações Individuais, Belo Horizonte**, 2017.
- NEDERVEEN, G.A. van; TOLMAN, F.P. Modelling multiple views on buildings. **Automation in Construction**, Elsevier BV, v. 1, n. 3, p. 215–224, dez. 1992. DOI: 10.1016/0926-5805(92)90014-b. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/0926-5805\(92\)90014-b](https://doi.org/10.1016/0926-5805(92)90014-b)>.
- PAPADONIKOLAKI, Eleni. Loosely Coupled Systems of Innovation: Aligning BIM Adoption with Implementation in Dutch Construction. **Journal of Management in Engineering**, American Society of Civil Engineers (ASCE), v. 34, n. 6, nov. 2018. DOI: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000644. Disponível em: <[https://doi.org/10.1061/\(asce\)me.1943-5479.0000644](https://doi.org/10.1061/(asce)me.1943-5479.0000644)>.
- PEREIRA, Roberto Martins; PAIVA ALMEIDA SPRITZER, Ilda Maria de. AUTOMAÇÃO E DIGITALIZAÇÃO EM SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA: UM ESTUDO DE CASO. **Revista Gestão Industrial**, Universidade Tecnológica Federal do Parana (UTFPR), v. 3, n. 4, dez. 2007. DOI: 10.3895/s1808-04482007000400012. Disponível em: <<https://doi.org/10.3895/s1808-04482007000400012>>.
- SALIM, Mahdi S; MAHJOOB, Ahmed Mohammed Raof. Achieving the Benefits and Requirements of Integrated Project Delivery Method Using BIM. In: IOP PUBLISHING, 1. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. [S.l.: s.n.], 2020. v. 901, p. 012033.
- SCHEER, Sergio; FILHO, Cervantes Gonçalves Ayres. Abordando a BIM em níveis de modelagem. In: SIMPÓSIO Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. [S.l.]: SBQP2009, 2009. DOI: 10.4237/sbqp.09.177. Disponível em: <<https://doi.org/10.4237/sbqp.09.177>>.
- SILVEIRA, Fernanda Pereira da. **Gestão de facilities e sua importância na pesquisa: análise preliminar da experiência da FMVZ/USP**. 2018. Tese (Doutorado). DOI: 10.11606/d.10.2019.tde-25022019-154529. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/d.10.2019.tde-25022019-154529>>.
- SOLIHIN, Wawan; EASTMAN, Charles; LEE, Yong Cheol. A framework for fully integrated building information models in a federated environment. **Advanced Engineering Informatics**, Elsevier BV, v. 30, n. 2, p. 168–189, abr. 2016. DOI:

10.1016/j.aei.2016.02.007. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.02.007>>.

SUBBOTIN, Artem; MELKUMYAN, Andrey; KHURIEV, Vladimir. Organization of technological approach to the design of engineering systems using BIM-technologies. In: RUDOY, D.; MURGUL, V. (Ed.). v. 135, p. 03008. DOI: 10.1051/e3sconf/201913503008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913503008>>.

SUCCAR, Bilal; SHER, Willy; WILLIAMS, Anthony. Measuring BIM performance: Five metrics. **Architectural Engineering and Design Management**, Informa UK Limited, v. 8, n. 2, p. 120–142, mai. 2012. DOI: 10.1080/17452007.2012.659506. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/17452007.2012.659506>>.