



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

PEDRO JOSÉ DE OLIVEIRA FILHO

**AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE ENTRE UM SOFTWARE DE
MODELAGEM BIM E UM SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUTURAL**

ARARUNA – PB

2021

PEDRO JOSÉ DE OLIVEIRA FILHO

**AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE ENTRE UM SOFTWARE DE
MODELAGEM BIM E UM SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUTURAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Me. Anderson Viana do
Nascimento.

ARARUNA

2021

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

O48a Oliveira Filho, Pedro Jose de.
Avaliação da interoperabilidade entre um software de modelagem bim e um software de cálculo estrutural [manuscrito] / Pedro Jose de Oliveira Filho. - 2021.
72 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde , 2021.
"Orientação : Prof. Me. Anderson Viana do Nascimento ,
Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Engenharia estrutural. 2. Projeto. 3. Análise estrutural. I.
Título

21. ed. CDD 624.1

PEDRO JOSÉ DE OLIVEIRA FILHO


AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE ENTRE UM SOFTWARE DE
MODELAGEM BIM E UM SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUTURAL

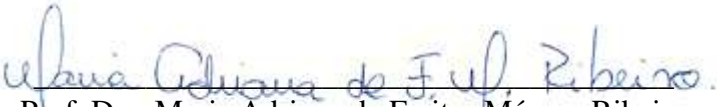
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

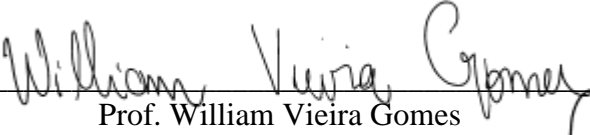
Área de concentração: Estruturas.

Aprovado em: 15/10/2021.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Me. Anderson Viana do Nascimento (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. William Vieira Gomes
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha mãe, pela cumplicidade, dedicação, e sintonia, DEDICO.

Agradecimentos

A Deus, pela soberania, fidelidade, e “ pilar ” de sustentação, que me consentiu saúde e determinação para não fraquejar no decorrer da materialização deste trabalho imponente.

Estendo ao professor Anderson Viana, por ter aceitado a solicitação de orientador e ter desempenhado tal função com maestria, dedicação, paciência e amizade.

Aos professores, aliados dessa jornada, pelas advertências e ensinamentos que me permitiram crescer e desempenhar um papel meticuloso no meu processo de formação profissional.

À minha mãe Nesilangea Sousa, aos meus avós Neli Rosa e Elias Eleazar, aos meus tios Filipe e Paula, aos meus padrinhos Gilhalas e Analice, pelo apoio incondicional e por trilharem ao meu lado o percurso que me trouxe até aqui.

Agradecimento singular a minha bisavó, Honorina, que, na vitalidade dos seus 92 anos, mostrou-me incessantemente que uma pessoa pode ser cada dia mais forte.

Que todos os nossos esforços estejam sempre focados no desafio à impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível.
(Charles Chaplin)

Resumo

O setor da construção civil encontra-se sempre em processo de modernização, a procura por novas ferramentas que auxiliem na realização dos trabalhos é constante, a implantação do BIM representa essa busca. A área de concepção de projetos tem recebido iniciativas públicas e privadas com o intuito de modernizar o processo de projeto, e com isso melhorar o processo de construção ao prover maior integridade aos dados que irão compor o produto. Seguindo esse raciocínio, o presente trabalho visa explorar a concepção de projetos usando duas ferramentas de projeto com metodologias de trabalho distintas e a interoperabilidade entre essas ferramentas, usando como objeto de estudo um edifício residencial concebido em concreto armado. A metodologia de trabalho empregada a partir da avaliação de interoperabilidade entre o Revit e o TQS foi descrita visando a verificação de problemas na interação das ferramentas e nas possíveis soluções adotadas para o prosseguimento do projeto. A interoperabilidade foi avaliada observando a transferência de informações e dados, e a disposição coerência na transmissão dos elementos geométricos. Enfatizou-se os procedimentos que foram realizados em cada software para que o modelo entrasse em acordo com a metodologia de aplicação da ferramenta. À vista disso, a qualidade na transmissão dos dados foi considerada satisfatória quando se tem a disposição um projetista para realizar as devidas adequações necessárias para que o modelo se enquadre na metodologia de trabalho da ferramenta. Compreende-se que procedimentos, metodologias e ferramentas novas necessitam de vivência para atingirem não a qualidade adequado nos resultados, bem como a velocidade de concepção dos serviços de acordo com a demanda do mercado de trabalho.

Palavras-chaves: BIM. Interoperabilidade. Projeto. Revit. TQS.

Abstract

The civil construction sector is always in the process of modernization, the search for new tools to help in carrying out the work is constant, the implementation of BIM represents this search. The project design area has received public and private initiatives in order to modernize the design process, and thus improve the construction process by providing greater integrity to the data that will make up the product. Following this reasoning, this work aims to explore the design of projects using two design tools with different work methodologies and the interoperability between these tools, using as object of study a residential building conceived in reinforced concrete. The work methodology used from the assessment of interoperability between Revit and TQS was described in order to verify problems in the interaction of the tools and possible solutions adopted for the continuation of the project. Interoperability was evaluated by observing the transfer of information and data, and the coherence arrangement in the transmission of geometric elements. The procedures that were carried out in each software were emphasized so that the model could be in accordance with the methodology of application of the tool. In view of this, the quality of data transmission was considered satisfactory when a designer is available to carry out the necessary adjustments so that the model fits into the tool's working methodology. It is understood that new procedures, methodologies and tools need experience to achieve not the adequate quality of results, as well as the speed of designing services according to the demand of the labor market.

Lista de Figuras

Figura 1 – Estágio do ciclo de vida do empreendimento no contexto BIM	17
Figura 2 – Alteração paramétrica da medida do chanfro	18
Figura 3 – Incompatibilidade encontrada pelo Navisworks	20
Figura 4 – Representação do Nível de Detalhamento de (LOD) de modelos BIM.	22
Figura 5 – Integração de vários projetos em BIM	23
Figura 6 – Dimensões do Modelo BIM	24
Figura 7 – Vista 3D no Revit	25
Figura 8 – Vista 3D de um projeto estrutural no Revit	26
Figura 9 – Quantitativo de Concreto gerada no Revit	26
Figura 10 – Organograma dos Elementos do Revit	27
Figura 11 – Exemplo de aplicação de vínculos analíticos no Revit.	30
Figura 12 – Interação tradicional x Interação BIM	32
Figura 13 – Fluxograma de etapas de execução do trabalho	34
Figura 14 – Vista 3D do Projeto Arquitetônico no Revit	35
Figura 15 – Vista 3D do projeto Estrutural no Revit	35
Figura 16 – Parâmetros dos tipos de pilar	37
Figura 17 – Parâmetros dos tipos de viga	38
Figura 18 – Planta de eixos do térreo	38
Figura 19 – Parâmetros do tipo de laje	39
Figura 20 – Parâmetros para os tipos de fundação	39
Figura 21 – Modelo analítico 3D do Revit	40
Figura 22 – Plantas de piso do modelo estrutural no Revit	40
Figura 23 – Dados da família de pilar criada	41
Figura 24 – Dados da família de viga criada	41
Figura 25 – Janela de Exportação do arquivo RTQ	41
Figura 26 – Mensagem de aviso do plugin TQS	42
Figura 27 – Janela para criar novo edifício	42
Figura 28 – Janela de criação de pavimentos do TQSt	43
Figura 29 – Identificação aleatória dos elementos estruturais pelo TQS	43
Figura 30 – Janela de edição de edifício	44
Figura 31 – 3D do modelo estrutural no TQS	44
Figura 32 – Atribuição aleatória de blocos de fundação pelo TQS	45
Figura 33 – Janela de edição dos pilares	45
Figura 34 – Janela de piso auxiliar no TQS	46
Figura 35 – Janela de edição de lajes no TQS	46

Figura 36	–Janela de edição de vigas	47
Figura 37	–3D do modelo estrutural corrigido no TQS	47
Figura 38	–Cargas em vigas e lajes do pavimento tipo	48
Figura 39	–Cargas em vigas e lajes no pavimento cobertura	48
Figura 40	–Janela de edição de pilares	49
Figura 41	–Cargas de vento na janela de edição de edifício	49
Figura 42	–Janela de erros do processamento global	50
Figura 43	–Visualizador de erros do TQS	50
Figura 44	–Janela de pré-dimensionamento de sapatas	51
Figura 45	–Janela de exportação do TQS para o Revit	52
Figura 46	–Mensagem de erro na exportação de armadura dos pilares	52
Figura 47	–Janela de exportação do TQS para o Revit	53
Figura 48	–Janela de importação no Revit	53
Figura 49	–Mensagem de erro na importação	54
Figura 50	–3D da importação no Revit	54
Figura 51	–Família de sapata criada	55
Figura 52	–Dados da família de pilar criada	56
Figura 53	–Dados da família de viga criada	56
Figura 54	–Janela de criação de edifício	56
Figura 55	–Arquivo DWG inserido no TQS	57
Figura 56	–Opção para converter DWG	57
Figura 57	–3D do modelo estrutural	58
Figura 58	–3D do modelo importado no Revit	59
Figura 59	–Perspectiva mostrando as armaduras nos elementos 3D	60
Figura 60	–Família de vergalhão criada no Revit	60

Lista de Quadros

1	Nível de Detalhamento (LOD) de modelos BIM.	21
2	Tipos de Famílias	28

Lista de abreviaturas e siglas

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
BIM	<i>Building Modeling Information</i>
AEC	Arquitetura, engenharia e construção
LOD	<i>Level of Development</i>
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
MEP	<i>Mechanical, electrical, and plumbing</i>
MPa	Megapascal
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
XML	eXtensible Markup Language
GDL	<i>Geometric Description Language</i>
MDL	<i>MicroStation Development Libraries</i>
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
tf	Tonelada-força
kgf	Quilograma-força
Fck	Resistência característica

Sumário

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivos Gerais	15
1.1.2	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	<i>Building Modeling Information</i> (BIM)	16
2.1.1	Modelagem Paramétrica	17
2.1.2	Compatibilização de Projetos	18
2.1.3	Nível de Desenvolvimento (LOD)	20
2.1.4	Dimensões do Modelo BIM	22
2.2	Autodesk REVIT	24
2.2.1	Elementos	27
2.2.2	Famílias, tipos e instâncias	27
2.2.3	Modelo Analítico Estrutural	29
2.3	TQS	30
2.4	Interoperabilidade	31
3	METODOLOGIA	34
3.1	Sistema de Pesquisa	34
3.2	Softwares Utilizados	34
3.3	Instrumento de Estudo	34
3.4	Desenvolvimento da Pesquisa	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Modelagem Estrutural no Revit	37
4.2	Exportação Revit para TQS	41
4.3	Análise e validação do sistema estrutural	48
4.4	Exportação do TQS para o Revit	51
4.5	Modelagem no TQS e exportação para o Revit	55
4.5.1	Modelagem	55
4.5.2	Processamento global e inserção das sapatas	58
4.5.3	Exportação da modelagem no TQS para o Revit	58
5	CONCLUSÃO	61
	Referências Bibliográficas	62

Apêndices	65
APÊNDICE A Plantas de Piso	66

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo os projetos de engenharia eram feitos manualmente, com o avanço da tecnologia surgiram ferramentas computacionais para auxiliar no desenvolvimento dos projetos. Os *softwares* conhecidos como CAD (*Computer Aided Design* no português Projeto e Desenho Assistidos por Computador) foram uma das primeiras ferramentas utilizadas para substituir o desenho manual por um processo automatizado, com isso as informações ficavam mais precisas e o trabalho mais eficiente.

Inicialmente, os projetos eram desenvolvidos de maneira separada, em cada área da construção civil tinha seu projeto separado das demais, isso, muitas vezes, ocasionava incompatibilidades que só eram percebidas durante a execução da obra, sendo necessário mudanças nos projetos e com isso o aumento nos custos envolvidos.

Nesse cenário a concepção de um projeto estrutural trata-se de um trabalho importante e detalhista. O responsável pela sua elaboração deve projetar uma estrutura capaz de suportar as cargas aplicadas dentro das restrições de segurança, bem como atender a funcionalidade a qual foi destinada. Sendo assim, a metodologia aplicada no desenvolvimento de projetos estruturais deve ser capaz de fornecer informações detalhadas e realizar uma modelagem que permita o entendimento de todo o sistema estrutural.

A Modelagem da Informação da Construção (em inglês, *Building Modeling Information* – BIM) é um dos mais promissores desenvolvimentos na indústria relacionada à arquitetura, engenharia e construção (AEC). Com a tecnologia BIM, um modelo virtual preciso de uma edificação é construído de forma digital. Quando completo, o modelo gerado computacionalmente contém a geometria exata e os dados relevantes, necessários para dar suporte à construção, à fabricação e ao fornecimento de insumos necessários para a realização da construção (SACKS et al., 2021).

O BIM traz consigo a possibilidade de reproduzir o ciclo de vida de uma edificação de maneira próxima a realidade, com isso a leitura dos projetos se torna mais eficiente e minimiza os erros no momento da execução. Além disso, um grande destaque para a metodologia BIM é a sua capacidade de trazer consigo uma infinidade de informações acerca da geometria do modelo, eficiência no momento de detalhar o projeto, fornecimento de quantitativos de maneira automática, entre outras inúmeras funcionalidades as quais uma simples representação 2D e 3D não é capaz de trazer.

A interoperabilidade identifica a necessidade de passar dados entre aplicações, e para múltiplas aplicações contribuam em conjunto com o trabalho a fazer. A interoperabilidade elimina a necessidade de replicar a entrada de dados que já foram gerados e facilita fluxos de trabalho suaves e automação. Da mesma forma que arquitetura e construção são atividades colaborativas, as ferramentas que as apoiam também o são (SACKS et al., 2021).

Assim, com base nos fatos relatados e visando atender os parâmetros estabelecidos para um projeto estrutural, o presente trabalho fundamenta-se na interoperabilidade entre um *software* de cálculo estrutural e um *software* de modelagem, respectivamente o TQS e o Revit, sendo realizada a análise da interação entre os *softwares*, observando o compartilhamento das informações, com o intuito de integrar de maneira mais eficiente diferentes tipos de aplicações para trabalharem em conjunto.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho tem como propósito avaliar a interoperabilidade entre um *software* de projeto estrutural e um *software* de modelagem que faz uso da tecnologia BIM, observando o procedimento utilizado e transferência de informações entre os *softwares*.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Elaborar um projeto arquitetônico e o projeto estrutural simultaneamente para realizar a interoperabilidade entre os *softwares*;
- Descrever o procedimento e analisar a qualidade na transferência das informações entre os *softwares*;
- Quantificar e fazer um comparativo dos procedimentos necessários para realizar a interoperabilidade entre os programas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo expõe-se os principais tópicos sobre a metodologia BIM no desenvolvimento de projetos, programas usados no desenvolvimento dos projetos, o fluxo de trabalho dos programas, e sobre a interoperabilidade entre os *softwares*.

2.1 *Building Modeling Information (BIM)*

Sobre o BIM, pode-se afirmar que:

O termo “BIM” vem sofrendo diversas modificações e evolução ao longo dos últimos anos, influenciando assim na aplicação deste conceito. Diversos tipos de Modelos Digitais da Construção podem ser gerados através do BIM, as possibilidades são inúmeras, no que diz respeito a padronização de elementos (ALVES, 2021, p. 2).

Pode-se acrescentar ainda que:

BIM é uma filosofia de desenvolvimento de projetos que pretende integrar os profissionais de AEC do início ao fim dessa fase, para a criação de um modelo virtual que represente todas as características do produto final, incluindo informações técnicas, de orçamento, de execução, de manutenção, entre outras, apresentando também a relação delas em função do tempo. Espera-se alcançar isso através da utilização de dados paramétricos (dados baseados em parâmetros) em todos os elementos inseridos nas ferramentas de *software* (DURANTE, 2013, p. 32).

Hardin e McCool (2015) afirmam construir uma estrutura virtual antes de construí-la fisicamente. Isso permite que os participantes na elaboração do projeto possam projetar, analisar, sequenciar e explorar o projeto por meio de um ambiente virtual, no qual fazer mudanças é menos dispendioso financeiramente do que durante a construção. Hoje, essa promessa vai se tornando realidade, uma variedade de *softwares* BIM e aplicativos de dispositivos móveis estão entregando resultados que reduzem o risco de construção. Embora algumas ferramentas são mais avançadas que outras, raramente se encontra um impasse onde alguma função está simplesmente “impossível” de ser alcançado por meio dessa tecnologia.

Ao invés de se representar uma parede de forma bidimensional, com duas linhas paralelas, o objeto parede possui propriedade que descrevem suas dimensões geométricas como comprimento, largura e peso, bem como seus materiais, acabamentos, especificações, fabricantes e custos. Todos os elementos podem ser descritos desta forma. Um objeto pode ter um finito conjunto de parâmetros que ditam sua forma (MATTEI, 2008).

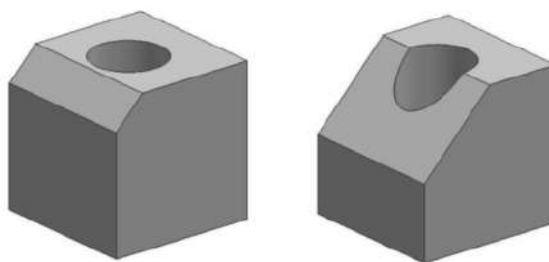
A inteligência paramétrica e a capacidade de atualização também são pontuadas como requisitos, em virtude de permitirem elevado grau de confiabilidade ao modelo. Torna-se

ados. Esses objetos têm a capacidade de transmitir ou receber conjuntos de atributos do modelo, como por exemplo os materiais estruturais e dados de energia, para outros modelos e aplicações (BAIA, 2015).

De acordo com Sacks et al. (2021) nos programas CAD 3D tradicionais, cada detalhe da geometria de um elemento deve ser editado manualmente de maneira individual pelo usuário. Não obstante, em um sistema de modelagem paramétrica as geometrias de determinada categoria e grupo ajustam-se automaticamente às modificações do contexto e aos controles de alto nível do usuário.

Aplicativos computacionais que empregam o conceito de modelos paramétricos permitem ao projetista a possibilidade de explorar diferentes alternativas de soluções de projeto de forma rápida e segura. Novos objetos podem ser criados e reconstituídos sem necessitar apagar ou criar outro objeto. Além do mais, objetos com formas geométricas complexas, que outrora eram de difícil manipulação, são possíveis de serem transformados em modelos paramétricos (ANDRADE; RUSCHEL, 2009), como exemplificado na Figura 2.

Figura 2 – Alteração paramétrica da medida do chanfro



Fonte: Silva (2019)

Conceitualmente, ferramentas BIM são modelos paramétricos baseados em objetos com um conjunto predefinido de famílias de objetos; cada uma tem comportamentos programados dentro deles (SACKS et al., 2021).

Segundo Andrade e Ruschel (2009, p. 603):

A estrutura de um modelo paramétrico é composta por “famílias” de objetos incluindo atributos de forma, atributos que não são de forma e relações. Assim, diferentes instâncias de um tipo podem gerar uma grande variedade de objetos, com parâmetros diversificados e dispostos em posições variadas.

2.1.2 Compatibilização de Projetos

Segundo Rodríguez et al. (2005), a compatibilização de projetos consiste na análise, verificação e correção das interferências físicas entre as diferentes soluções de projeto para uma obra.

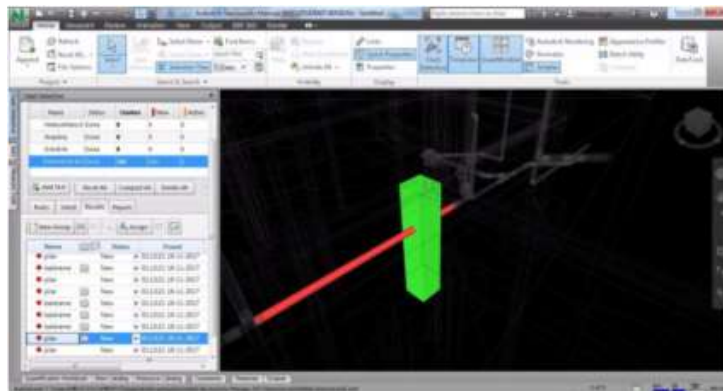
O processo de matching é multidisciplinar, além do projeto arquitetônico, envolve diversos projetos de engenharia. Portanto, esta é uma atividade que leva à integração de interfaces entre projetos de construção, com o objetivo de resolver com sucesso os problemas históricos de dispersão de projetos no campo da construção, e reduzir ou mesmo eliminar alguns dos principais problemas: interferências físicas causadas pelo projeto incompatibilidade e perda de funcionalidade, resultando em retrabalho no canteiro de obras (SANTOS, 2013).

O objetivo de realizar a compatibilização é filtrar e corrigir as falhas que estão ligadas às inconsistências físicas entre os elementos da construção, visando a concordância ideal entre todos os projetos, com isso pode-se minimizar futuros conflitos que possam vir a surgir durante a obra, facilitando a execução, racionalizando os materiais e otimizando o tempo de construção.

O BIM é uma ferramenta de extrema importância para evitar falhas e perdas de material e tempo com a realização de retrabalho, visto que todos os erros e conflitos foram resolvidos e eliminados no início do projeto, reduzindo também a possibilidade de alterações nos projetos no momento da construção. A compatibilização de projetos com o BIM proporciona também um melhor custo benefício, tendo em vista que os métodos construtivos, o planejamento do canteiro e as fases da obra são determinados ainda nas fases de projeto (SACKS et al., 2021).

Ao contrário dos modelos tradicionais de compatibilidade que eram feitos a olho nu, no BIM o processo pode ser mais confiável, e as incompatibilidades podem ser identificadas, mesmo não sendo evidentes. É possível verificar essas incompatibilidades através da modelagem textit software ou através da coordenação de projetos específicos e do gerenciamento de projetos (GONZÁLEZ; MANZANARES; RODRÍGUEZ, 2020).

Uma das ferramentas que pode ser utilizada para a compatibilização dos projetos de várias especialidades simultaneamente e avaliar a existência de conflitos nos projetos, como pode ser observado na Figura 3, durante todo o processo construtivo de forma antecipada é o *Navisworks*, da Autodesk. Além da identificação dos conflitos, este software permite também a realização de relatório de erros e, podem ser definidas distâncias mínimas entre os elementos para que, sempre que a proximidade entre os elementos seja inferior à definida seja detectado como conflito (TARRAFA, 2012).

Figura 3 – Incompatibilidade encontrada pelo Navisworks

Fonte: Menegaro (2017)

2.1.3 Nível de Desenvolvimento (LOD)

De acordo com Manzione (2013), para a precisão e adequação de um modelo BIM é necessária uma estrutura conceitual na qual seja possível definir antecipadamente os objetivos do projeto, e conseqüentemente dos estágios de evolução do modelo durante o ciclo de vida. Tendo em vista a criação de uma estrutura conceitual, foi criado o *Level of Development* (LOD), também chamado de nível de desenvolvimento, que deve ser atribuído a cada objeto utilizado na modelagem. O LOD se refere ao nível de caracterização e complexidade do modelo BIM que é atribuído aos objetos que o compõem.

Gonçalves (2015) afirma que o LOD é um dos aspectos mais importantes a se levar em consideração na modelagem BIM. O LOD refere-se ao grau de detalhamento e complexidade do modelo BIM, designado a partir do grau de desenvolvimento atribuído aos objetos que o compõem, representando as necessidades de cada elemento na modelagem. Sua importância se dá pelo fato de em uma fase prévia da concepção do modelo seja definido o nível de detalhe a qual o modelo deverá alcançar, para que cada um dos membros da equipe tenha conhecimento da quantidade de informação que deve estar aplicado aos objetos que serão inseridos no modelo.

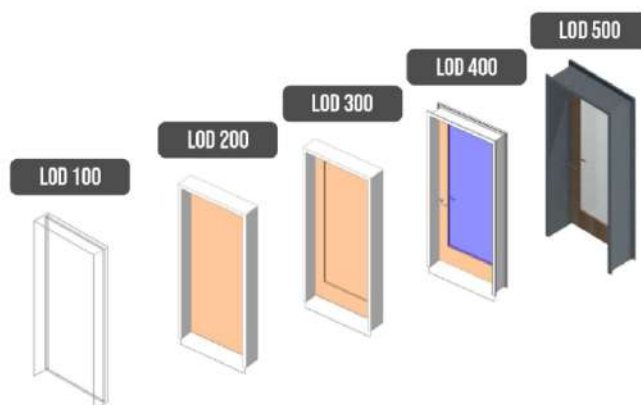
O nível de precisão da estimativa de custos se deve principalmente ao nível de desenvolvimento do Modelo BIM. A *American Institute of Architects* (AIA) definiu no documento AIA E202 uma padronização para a contratação do modelo BIM. A modelagem é determinada através do LOD.

A classificação dada pelo BIMForum como uma interpretação do padrão AIA compreende os níveis 100, 200, 300, 350 e 400. O nível 500, proposto pela AIA, não pertence ao processo de projeto, pois constitui-se de informação pós-execução de um produto/modelo, fase conhecida como as *built* (BIMFORUM, 2019).

Quadro 1 – Nível de Detalhamento (LOD) de modelos BIM.

LOD 100	Equivale à fase de concepção do empreendimento. O modelo LOD geralmente consiste na construção genérica para realizar uma análise de toda a construção, como volume, orientação solar, custos por área, etc. Também pode ter informações sobre uma estimativa geral da duração e planejamento do projeto.
LOD 200	Modelo um pouco mais desenvolvido que o LOD 100, possui informação suficiente para a análise básica do sistema estrutural. No LOD 200 os modelos
	São normalmente utilizados para análise dos sistemas e objetivos gerais de desempenho. Alguns elementos podem conter informações não geométricas como estimativa de custos, por exemplo.
LOD 300	Nessa fase de desenvolvimento já é possível extrair informações acerca da documentação a nível de projeto executivo. No LOD 300 os modelos são adequados para estimar, coordenar a construção, para a detecção de conflitos, programação e visualização da edificação. Os Modelos que apresentam o LOD 300 devem incluir os atributos e parâmetros definidos pelo proprietário.
LOD 350	Este nível de desenvolvimento apresenta os dados geométricos que constam no LOD 300 com algumas especificações necessárias para o início da montagem e fabricação. Segundo a AIA deve apresentar detalhes suficientes para a instalação e coordenação da fabricação (BEDRICK, 2013).
LOD 400	Neste nível de desenvolvimento, o modelo deve possuir detalhes adicionais e todas as estruturas primárias e secundárias de apoio. Deve possuir informações completas sobre a fabricação, montagem ou construção. Este LOD é mais utilizado por empreiteiros e fabricantes para construir e fabricar componentes do projeto, incluindo os sistemas MEP.
LOD 500	O nível final de desenvolvimento representa o projeto como ele foi construído. O modelo é configurado para centralizar o armazenamento de dados para integração dos sistemas de construção, operações e manutenção. Este modelo pode ser utilizado para a gestão da manutenção e operação da edificação ou instalação.

Fonte: Adaptado de Manzione (2013)

Figura 4 – Representação do Nível de Detalhamento de (LOD) de modelos BIM.

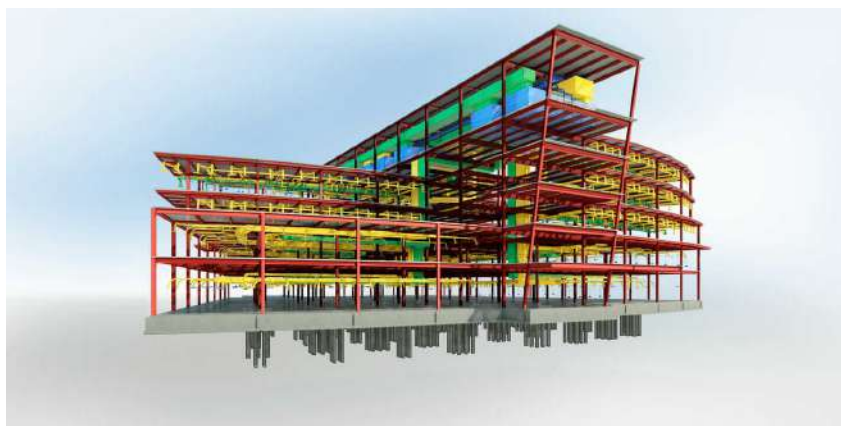
Fonte: EPE (2019)

As informações que estão inseridas no modelo não são uma série de linhas e formas geométricas como em muitos dos *softwares* CAD, mas sim de um conjunto de “objetos” tridimensionais que são inseridos ou virtualmente “construídos” no modelo.

Neto, Silva et al. (2014) afirma que essa classificação é muito abrangente e não específica detalhadamente como cada área de conhecimento deve abordar por se tratar de uma estratégia conceitual. Porém, é por meio dessa abordagem que se estrutura o nível de desenvolvimento dos componentes do modelo, que vai desde o estudo preliminar dos materiais utilizados até o mais alto nível de detalhamento para enviar o modelo desenvolvido à fase de fabricação.

2.1.4 Dimensões do Modelo BIM

O BIM não se trata apenas de um *software*, tão pouco de um modelo otimizado, mas sim, de um aperfeiçoamento em todo o processo de construção de uma edificação, com isso consegue-se inserir mais informações nos projetos, tornando-os mais acessíveis e promovendo a integração entre vários colaboradores, como pode ser observado na Figura 5 (HARDIN; MCCOOL, 2015).

Figura 5 – Integração de vários projetos em BIM

Fonte: AUTODESK (2015)

A metodologia BIM traz consigo a ideia de reunir todas as informações de um projeto, obra ou empreendimento em uma mesma plataforma. Diante disso, surgiram as diversas dimensões do BIM, onde tem-se as diferentes atividades de um empreendimento na mesma plataforma.

- BIM 3D: O BIM 3D é a inserção dos projetos do empreendimento em um mesmo ambiente virtual, em três dimensões, com todos os elementos projetados. É nessa dimensão do BIM que se faz a modelagem paramétrica. Uma das vantagens do BIM 3D é a chamada "*clash detection*" (detecção de conflitos), como por exemplo, porta fora de lugar, tubulação que colide com estrutura, etc (TEIXEIRA et al., 2016).
Teixeira et al. (2016), BIM 4D: No BIM 4D é adicionado o cronograma de obra ao projeto. Com isso, é possível acompanhar o progresso físico da obra e realizar o planejamento adequado.
- “BIM 5D: No BIM 5D é acrescentado o orçamento da obra ao projeto. Cada elemento recebe um vínculo representando o custo. Qualquer alteração física no modelo 3D do projeto altera também o orçamento” (TEIXEIRA et al., 2016).
- BIM 6D: Na sexta dimensão do BIM é feita a análise energética da edificação. A sexta dimensão também é relacionada à sustentabilidade. Nesta etapa, realizam-se simulações para maior economia de energia e certificados Green Buildings (TEIXEIRA et al., 2016).
- “BIM 7D: O BIM 7D é relacionado ao uso e manutenção da edificação, até a demolição. Neste uso do BIM, é feito controle de garantia de equipamentos, planos de manutenção, custos de operação e até mesmo a análise de como se dará a demolição” (TEIXEIRA et al., 2016).

Figura 6 – Dimensões do Modelo BIM



Fonte: SIENGE (2019)

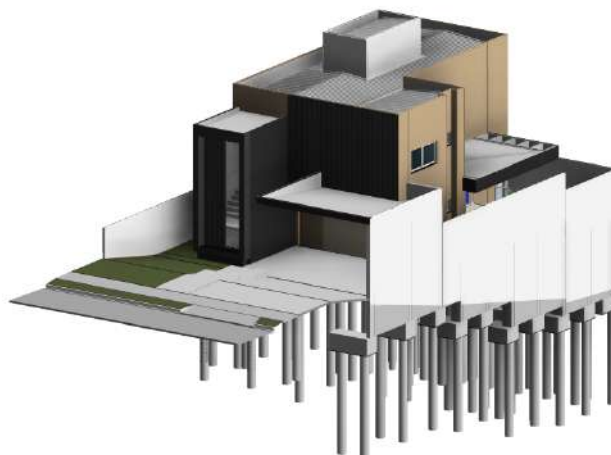
2.2 Autodesk REVIT

O Revit é um *software* desenvolvido pela Autodesk, que usa a tecnologia BIM (*Building Information Modeling*). Trata-se de uma ferramenta para a concepção de projetos de arquitetura e engenharia e um sistema completo de documentação do projeto que suporta todas as fases do processo. Com o *software* Revit tem-se um completo sistema para criação de projetos de arquitetura e engenharia em 3D, onde o usuário precisa pensar no projeto e não nos desenhos que irão representar o projeto (JUSTI, 2008).

O *software* Revit é um dos programas mais utilizados dentro da metodologia BIM de projeto, proporcionando a integração completa entre projetos arquitetônicos, estruturais, hidráulicos e elétricos, podendo, assim, ser entendido como uma “evolução” das ferramentas CAD, pois proporciona a análise e simulações de sistemas e estruturas, bem como, compatibilizar e verificar as possíveis interações dos diversos projetos de uma mesma edificação, apontando as interferências e/ou conflitos entre os mesmos (MATOS et al., 2018).

O Revit trabalha produzindo vistas, tabelas e documentação que estão atreladas a um modelo de construção virtual, onde é possível realizar processos de planejamento e coordenação. O programa também trabalha com modelagem paramétrica, como consequência tem-se a automação das alterações, que são transmitidas para todo o projeto.

Os projetos que utilizam este *software* já conseguem uma vantagem competitiva de imediato, fornecendo uma qualidade e coordenação bem melhor além de ajudar a arquitetos, engenheiros e toda a equipe a ter uma maior interação e comunicação em todas as fases do projeto (JUSTI, 2008). A Figura 7 exemplifica um projeto feito em Revit.

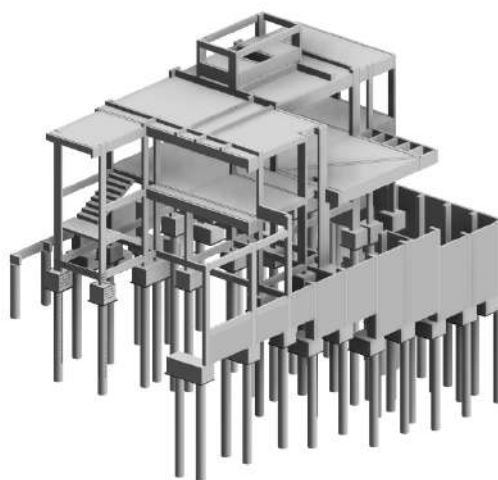
Figura 7 – Vista 3D no Revit

Fonte: Autor, 2021

O Revit possui três modalidades de projeto: Architecture, para projetos arquitetônicos; Structure, para projeto estrutural; MEP, para projetos elétricos, hidráulicos e de instalações mecânicas.

De acordo com Helm (2012), o Revit, ao invés de possuir blocos como o AutoCAD, possui componentes chamados de “famílias” para separar os objetos construtivos como: paredes, pisos, janelas, portas, mobiliário, telhados e coberturas, equipamentos e tudo aquilo que define uma construção, porém com uma grande diferença, não são apenas linhas desenhadas que formam um objeto, mas objetos que podem ser manipulados no espaço de desenho, quando modificado em uma vista, este se modifica em todo o projeto, além de extrair informações como fabricantes, camadas da parede ou piso por exemplo, materiais empregados, valores e custos, quantidades, dimensões e todas as informações pertinentes ao projeto.

Para Helm (2012), outra vantagem do Revit é que todos os colaboradores envolvidos no projeto conseguem visualizar estas modificações em tempo real, independente do ambiente em que se encontram, bastando para isso um acesso à internet ou mesmo em uma rede local, reduzindo problemas de compatibilidade de projetos e disciplinas complementares como estrutural, hidráulico e elétrico por exemplo, aumentando assim a qualidade do mesmo e diminuindo assim o tempo para a realização dos projetos.

Figura 8 – Vista 3D de um projeto estrutural no Revit

Fonte: Autor, 2021

Helm (2012) também afirma que é possível gerar tabelas de forma automática, como quantitativos de materiais e custos que são também modificados à medida que são feitas alterações dentro do projeto (Figura 8). Por exemplo, o programa é capaz de gerar tabelas contendo a área construída e os ambientes do projeto, bem como tabelas com quantitativo de concreto, número de tijolos, entre outras tabelas contendo informações importantes que diminuem o custo e tempo necessários para executar o empreendimento, como exemplificado na Figura 9.

Figura 9 – Quantitativo de Concreto gerada no Revit

Levantamento de Concreto		
NOME	ÁREA (m ²)	VOLUME (m ³)
Concreto 20MPa - Estacas	230,77 m ²	21,84 m ³
Concreto 20MPa - Estacas Muro de Contenção	195,78 m ²	18,72 m ³
Concreto 25MPa - Blocos Muro de Contenção	126,66 m ²	17,28 m ³
Concreto 25MPa - Lajes	5,56 m ²	1,11 m ³
Concreto 25MPa - Sapatas	109,79 m ²	14,46 m ³
Concreto 30MPa - Arranque de Pilar	18,82 m ²	0,85 m ³
Concreto 30MPa - Escada	24,92 m ²	1,58 m ³
Concreto 30MPa - Lajes	454,17 m ²	13,73 m ³
Concreto 30MPa - Pilares	164,19 m ²	8,36 m ³
Concreto 30MPa - Pilares Muro de Contenção	111,00 m ²	7,56 m ³
Concreto 30MPa - Vigas	88,27 m ²	2,37 m ³
Concreto 30MPa - Vigas Baldrame	69,70 m ²	3,21 m ³
Concreto Magro	49,08 m ²	1,07 m ³
Concreto Magro Blocos de Contenção	63,86 m ²	1,42 m ³

Fonte: Autor, 2021

2.2.1 Elementos

O Revit faz uso de três tipos de elementos em projetos: elementos do modelo, elementos de dados e elementos específicos da vista. Os elementos também podem ser referidos como famílias, a família contém a definição geométrica do elemento e os parâmetros usados, conforme pode ser visto no organograma mostrado na Figura 10. Cada instância de um elemento é definida e controlada pela família (AUTODESK, 2018a).

Figura 10 – Organograma dos Elementos do Revit



Fonte: Adaptado de AUTODESK (2018a)

Os elementos do modelo representam a geometria 3D real da construção. Eles são divididos entre os elementos que geralmente são integrados in loco (host) e outros elementos chamados componentes do modelo, incluindo aqueles que podem ser hospedados. São exemplos desses elementos as paredes, portas e janelas (AUTODESK, 2018a).

Os elementos de dados auxiliam a definir a circunstância do projeto, como níveis e planos de referência, por exemplo. Já os elementos específicos de vista só são exibidos nas vistas as quais foram inseridos, como as costas, por exemplo (AUTODESK, 2018a).

2.2.2 Famílias, tipos e instâncias

As famílias são classes de elementos que se agrupam em uma categoria, contendo parâmetros em comum, uso idêntico e geometria semelhante. Os elementos de uma família se diferenciam nos valores de algumas ou todas as propriedades, mas seu conjunto de propriedades é único (AUTODESK, 2014).

De acordo com a AUTODESK (2014), as famílias são divididas em três tipos: famílias do sistema, famílias recarregáveis e famílias modeladas no local, ver Quadro 2.

Quadro 2 – Tipos de Famílias

Famílias do Sistema	Como famílias do sistema definindo-se de grupos de elementos base para a configuração e concepção do produto foco do <i>software</i> e são inerentes a qualquer projeto iniciado no Revit. Exemplos são: paredes, pisos, telhados, níveis, etc
Famílias Recarregáveis	Podem ser carregadas em um projeto e transformado a partir de modelos de família. Você pode determinar o conjunto de propriedades e a representação gráfica da família. O uso é a partir fazer carregamento de arquivos RFA no ambiente do projeto, com geometria e propriedades.
Famílias Modeladas no Local	Definem elementos personalizados que podem ser criados no contexto de um projeto. Crie um elemento no local quando seu projeto precisar de uma geometria única, que você não pretende reutilizar ou uma geometria que precisa manter ou mais procurada com outra geometria no projeto. Já que elementos no local são planejados para uso limitado em um projeto, cada família específica do projeto contém um único tipo. É possível criar múltiplas famílias no local em seus projetos, e você pode colocar cópias de mesmo elemento no local em seus projetos. Diferente de famílias de componentes do sistema e padrão, não é possível tipos duplicados de famílias específicas do projeto para criar tipos múltiplos.

Fonte: Adaptado de AUTODESK (2014)

Assim como as famílias são agrupadas em categorias de acordo com a natureza dos elementos representados por elas, vários elementos com valores de parâmetros iguais são reunidos em tipos. Cada família pode apresentar vários tipos. Um tipo pode ser um tamanho específico de uma família, como um bloco de título 30” X 42” ou A0. Um tipo também pode consistir em um estilo, como um estilo alinhado-padrão ou um estilo angular-padrão para cotas. Com esse agrupamento cria-se um segundo nível de atualização automática como consequência de propriedades definidas em conjuntos (AUTODESK, 2014).

As instâncias são definidas como os elementos presentes no projeto que refletem algum objeto real localizado em uma determinada posição, possuindo uma única identificação. Alguns dos parâmetros têm seus valores fixados nas propriedades de cada instância e esse

sistema garante a individualidade dos elementos, padronizando características variáveis (AUTODESK, 2014).

Para melhorar o entendimento dos conceitos, tem-se como exemplo uma família de quadro estrutural (viga). Geralmente, os tipos dessa família são definidos em função da seção transversal, onde sua aplicação e variabilidade são definidas por um objeto de dimensões parametrizadas. Nas propriedades de instância encontram-se as restrições, uso e cargas: informações particulares ao objeto.

2.2.3 Modelo Analítico Estrutural

Sobre os modelos estruturais, pode-se afirmar que:

Um modelo analítico é uma representação 3D simplificada da descrição completa de engenharia de um modelo físico estrutural. O modelo analítico consiste nestes componentes estruturais, geometrias, propriedades do material e cargas, que juntos formam um sistema de engenharia (AUTODESK, 2018b, p. 1).

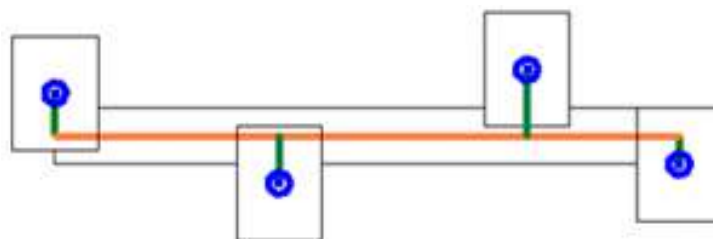
A visualização do modelo analítico depende do modelo do projeto, do modelo da vista, dos parâmetros da vista e dos estilos de objeto. O modelo do projeto de análise estrutural contém duas vistas de planta analítica estrutural e uma vista analítica 3D.

Na modelagem estrutural no Revit existe a correlação entre a geometria e a representação quanto à análise. Isso é feito automaticamente através do modelo de barras chamado modelo analítico. A continuidade dele é fundamental para a correta representação do funcionamento da estrutura, através da determinação acurada do caminho previsto dos carregamentos (AUTODESK, 2018b).

Um dos artifícios utilizados nos modelos para garantir as ligações são as chamadas "barras de rigidez infinita", também conhecidas como vínculos analíticos. Os vínculos são úteis principalmente na modelagem das ligações entre elementos distintos, como vigas e pilares (AUTODESK, 2018b).

Os vínculos analíticos podem ser utilizados em determinadas situações, como, por exemplo, a conexão de vigas ou colunas deslocadas ou a modelagem de diafragmas de piso rígido. Um vínculo analítico será criado automaticamente a partir de vigas analíticas para colunas analíticas com base nas regras definidas abaixo. Os vínculos analíticos podem ser definidos como completamente rígidos ou liberados em direções globais. Estes elementos analíticos fornecem a rigidez para o modelo analítico sem adicionar um objeto físico real (AUTODESK, 2018b).

Na Figura 11 tem-se representada uma viga com 3 vãos e com pilares posicionados em diferentes orientações. Em laranja está a barra representando a viga, em azul as colunas analíticas e em verde os vínculos. Visto que nenhum dos centros geométricos dos pilares coincide com o eixo da viga, a vinculação garante a correta interpretação de apoios entre elementos.

Figura 11 – Exemplo de aplicação de vínculos analíticos no Revit.

Fonte: Adaptado de AUTODESK (2018b)

2.3 TQS

De maneira oficial:

O CAD/TQS® é um *software* computacional gráfico desenvolvido e comercializado pela empresa TQS Informática Ltda®, destinado à elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, protendido e em alvenaria estrutural de edifícios pequenos e simples até grandes e complexos (SILVA; CRUZ, 2017, p. 59).

O TQS é um *software* utilizado para a criação de projetos estruturais de edificações em concreto armado. Ele é composto por um conjunto sistemas integrados e automatizado, que fornecem os recursos necessários para análise estrutural, dimensionamento e detalhamento de armaduras, geração de desenhos até a emissão de plantas (TQS, 2021).

TQS (2021) diz que o TQS torna a elaboração de projetos estruturais um processo bastante produtivo e tem interferência direta na qualidade dos mesmos. O programa atende de maneira eficaz aos requisitos das normas técnicas da ABNT, além de compatibilizar o modelo estrutural dentro de um processo BIM.

Engloba desde a concepção estrutural, passando pela análise de esforços e flechas, dimensionamento e detalhamento de armaduras, até a emissão das plantas finais. Seu desenvolvimento se baseia principalmente na NBR 6118:2014, complementado por outras normas o tornando mais completo (SILVA; CRUZ, 2017, p. 59).

O funcionamento geral do programa pode ser resumido em algumas etapas, começando pela criação do edifício. Nessa etapa inicial são definidos critérios acerca de pavimentos, cargas, ambiente, modelo de cálculo estrutural e informações gerais de escopo, bem como delimitados número de controle, cliente, endereço, entre outros. Após a definição de todos os parâmetros iniciais do edifício, parte-se para o modelador estrutural dentro do TQS, onde independente da metodologia de fluxo de trabalho adotada (com BIM ou não) serão realizadas a modelagem, lançamento da estrutura e a verificação da validade do modelo estrutural.

Segundo SILVA e CRUZ (2017), por meio de uma interface interativa e intuitiva, um modelador estrutural bem explicativo destinado para criação da estrutura (pilares,

vigas, lajes, etc) o engenheiro lança a estrutura conforme seu entendimento, definindo dimensões e posições dos elementos estruturais, apoios, interação com outros elementos estruturais, cargas e sobrecargas, acusando erros ou mostrando avisos de acordo com a norma. Lançando todos os pavimentos e obtendo o esqueleto estrutural do edifício, sendo possível visualizar seu pórtico e sua representação 3D para melhorar o entendimento do projetista.

Eliminadas as inconsistências encontradas após o lançamento estrutural, é então feito o processamento da estrutura, em que o sistema executa cálculos compostos por grelhas e pórticos espaciais simulando o comportamento da estrutura através dos dados introduzidos anteriormente, dos parâmetros e configurações em uso. Resultando em gráficos, diagramas e relatórios detalhados do processamento, em que o engenheiro analisa, interpreta e se necessário faz alterações posteriores no modelo estrutural para que satisfaçam as necessidades desejadas.

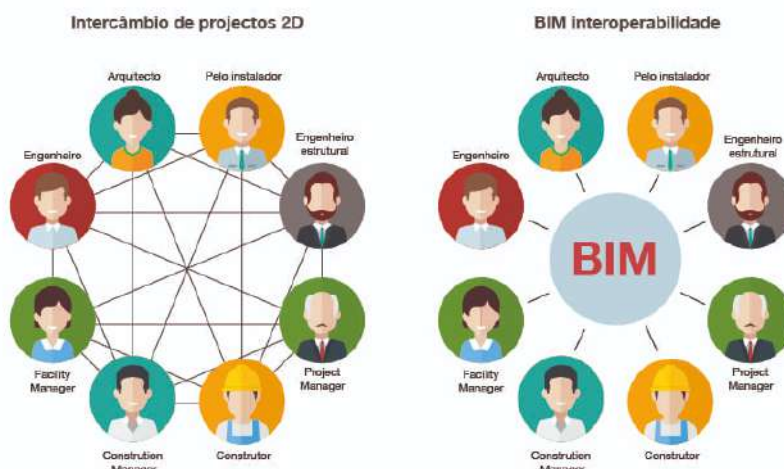
Por fim, o TQS gera os desenhos das armaduras e seus respectivos detalhamentos, os quais podem ser livremente alterados e otimizados pelo projetista. Os desenhos são, então, organizados em pranchas, seguindo as normas da ABNT para desenho técnico, em seguida as pranchas são impressas e enviadas para a obra.

2.4 Interoperabilidade

Ferramenta alguma é capaz de suportar sozinha todos os processos associados ao projeto e a construção de um empreendimento. A interoperabilidade corresponde a necessidade de transferir dados entre as aplicações, permitindo que vários especialistas e ferramentas colaborem em conjunto com o trabalho a ser realizado. Ela também “elimina a necessidade de replicar a entrada de dados que já foram gerados e facilita fluxos de trabalho suaves e automação” (SACKS et al., 2021).

Pontes (2019) diz que um dos diferenciais do BIM é a utilização da interoperabilidade como aliada, principalmente na compatibilização de projetos (ver Figura 12). A interoperabilidade consiste na capacidade de um sistema comunicar-se com outro, sendo este da mesma plataforma ou não, sem que haja perdas de informações, de modo que colaboradores de um mesmo projeto trabalhem de forma conjunta e simultânea.

Figura 12 – Interação tradicional x Interação BIM



Fonte: ACCA (2017)

O objetivo da interoperabilidade é facilitar a criação de padrões que torne possível a transmissão de dados entre diversas aplicações, mas sem perder a integridade das informações. Não é viável tentar trabalhar com um único aplicativo para gerenciar todas as necessidades e problemas de uma edificação durante todo seu ciclo de vida, a utilização de diversas ferramentas melhora essa análise (CHECCUCCI; PEREIRA; AMORIM, 2011).

O objetivo da interoperabilidade é facilitar a criação de padrões que torne possível a transmissão de dados entre diversas aplicações, mas sem perder a integridade das informações. Não é viável tentar trabalhar com um único aplicativo para gerenciar todas as necessidades e problemas de uma edificação durante todo seu ciclo de vida, a utilização de diversas ferramentas melhora essa análise (CHECCUCCI; PEREIRA; AMORIM, 2011).

“De maneira geral, a capacidade que dois ou mais sistemas têm de trocar informações e logo em seguida serem capazes de usá-las é o que define a interoperabilidade” (SILVA, 2019).

As informações que são transferidas de um projetista para outro por meio eletrônico ou até mesmo por papel é compreendida apenas por pessoas. Diante disso, a informação precisa ser inserida novamente em outros programas computacionais para que possa ser utilizada de maneira adequada. Nesse processo de transferência de informações, erros e falhas podem ocorrer e, dessa maneira, é percebida a importância da interoperabilidade (FROESE, 2003).

Sacks et al. (2021) diz que existem basicamente quatro diferentes maneiras de transmissão de dados entre dois sistemas BIM: ligação direta, formato de arquivo de troca de proprietário, formatos de arquivos de trocas de domínio público e formatos de troca baseados em XML.

As ligações diretas permitem uma ligação integrada entre dois sistemas, onde utiliza-se um formato binário de interface, como o formato GDL do *software* ArchiCad ou MDL da

Bentley (SACKS et al., 2021). O formato de arquivo de troca proprietário são formatos desenvolvidos por organizações comerciais para estabelecerem interface entre aplicativos diferentes, como DXF, amplamente usado em *softwares* CAD, e 3DS do 3ds Max). Os formatos de arquivos de trocas de domínio público definem uma forma aberta e flexível para troca de informações, estes carregam propriedades de objetos, materiais, relações entre objetos, além das propriedades geométricas (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).

Os formatos de domínio público são interfaces essenciais para uso em aplicativos de análise e gerenciamento de construção, como os sistemas BIM, um dos principais formatos utilizados dessa categoria para troca de informações é o IFC.

Para Sacks et al. (2021) os dois principais modelos de troca de dados de domínio público na construção civil são CIMsteel Integration Version 2 (CIS/2) e o *Industry Foundation Classes* (IFC). O CIS/2, segundo estes autores, é um formato desenvolvido para ser usado em projetos e fabricação de estruturas metálicas. O IFC, segundo a *International Alliance for Interoperability* (2008), é um formato aberto, neutro e com especificações padronizadas para o BIM. O IFC é um formato para ser usado no planejamento do edifício, no projeto, na construção e gerenciamento.

“O IFC é um específico formato de dados que tem a finalidade de permitir o intercâmbio de um modelo informativo sem perda ou distorção de dados ou informação” (ALVES, 2021). O Caderno de Apresentação de Projetos em BIM, aponta que o IFC é formato aberto de código, o mesmo não pertence a um único fornecedor de *software*, ele é neutro e independente.

No caso da interoperabilidade entre o TQS e o Revit, a mesma é feita por arquivo IFC mas também pelos formatos específicos de interação entre o *softwares*. No TQS a opção para exportar para o Revit já vem integrada ao *software* e o formato de saída é do tipo TQR. Já para exportar do Revit para o TQS é necessário a instalação de um plugin fornecido gratuitamente pela TQS Informática Ltda.

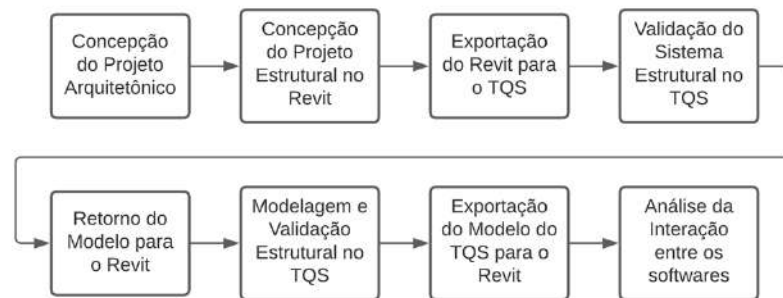
3 METODOLOGIA

Nesta seção será discutido a metodologia pela qual o trabalho foi realizado, com a finalidade de avaliar a interoperabilidade entre duas plataformas distintas, bem como analisar as diferenças e formas com as quais os dois *softwares* trabalham para a mesma finalidade, ou seja, na concepção do projeto estrutural.

3.1 Sistema de Pesquisa

Com a intenção de discretizar as etapas realizadas no trabalho, tem-se as principais apresentadas a seguir no fluxograma da Figura 13:

Figura 13 – Fluxograma de etapas de execução do trabalho



Fonte: Autor, 2021

3.2 Softwares Utilizados

O *software* de modelagem paramétrica escolhido para ser utilizado foi o Revit, na sua versão 2021. Tendo sido disponibilizada a licença educacional do *software* pela Autodesk. Para a concepção do projeto arquitetônico usa-se o módulo Architecture presente na interface do Revit, para o modelo estrutural usa-se o módulo Structure.

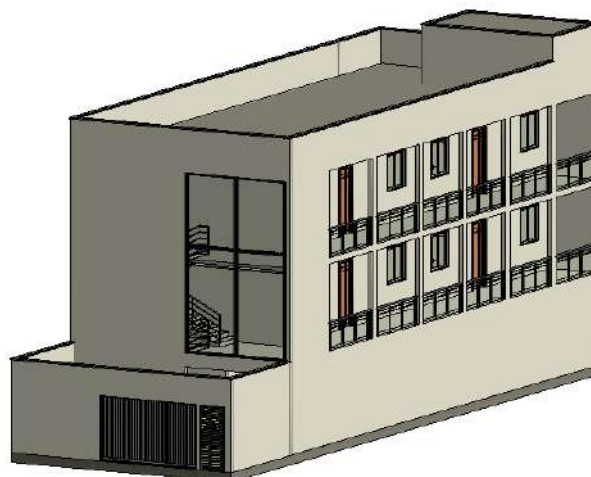
O *software* de projeto estrutural escolhido para este trabalho é o TQS, na sua versão V22, que é dentre os diversos *softwares* de projeto estrutural de concreto armado e protendido, um dos mais utilizados no Brasil. Onde foi também disponibilizado o acesso educacional do *software* por parte da TQS Informática Ltda.

3.3 Instrumento de Estudo

O trabalho tem como objeto de estudo um edifício residencial com 415,3 m² de área construída, com o térreo sendo composto por garagem e dois pavimentos superiores, com

dois apartamentos em cada pavimento, o qual foi concebido pelo autor a partir de conhecimentos adquiridos em um curso online, tendo sido também adaptado pelo autor para aplicação no presente trabalho (ver Figura 14).

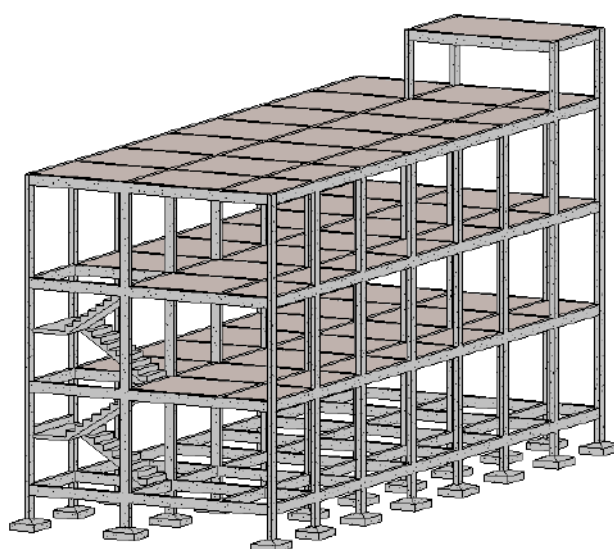
Figura 14 – Vista 3D do Projeto Arquitetônico no Revit



Fonte: Autor, 2021

A partir do projeto arquitetônico foi realizada a concepção do projeto estrutural no Revit, sendo concebido pelo autor (ver Figura 14). A estrutura foi integralmente concebida em concreto armado e seguindo os parâmetros estabelecidos na NBR 6118 (ABNT, 2014), sendo os carregamentos transmitidos ao solo através de sapatas. Os pilares e vigas foram lançados normalmente com seções retangulares.

Figura 15 – Vista 3D do projeto Estrutural no Revit



Fonte: Autor, 2021

Tem-se representado no Anexo A, uma parte do projeto arquitetônico do edifício. Encontra-se disponível também as plantas baixas de todos os pavimentos.

3.4 Desenvolvimento da Pesquisa

Inicialmente foi realizada a modelagem arquitetônica dentro do Revit, esta teve início a partir da disponibilização de um template de projeto arquitetônico por parte de um curso online. Com a modelagem arquitetônica finalizada, utiliza-se as plantas baixas do pavimento tipo para a locação inicial da estrutura (pré-lançamento) e idealiza-se o modelo estrutural antes de iniciar de fato o desenvolvimento da estrutura.

A modelagem estrutural teve início a partir da adaptação do template estrutural nativo do Revit, partindo disso inicia-se um novo projeto. Utilizou-se das famílias nativas do Revit, tendo sido carregadas alguns elementos quando necessário, e foram configurados tipos e instâncias compatíveis lançamento inicial da estrutura. Em seguida foi feita a criação dos níveis do projeto de acordo com o projeto arquitetônico.

Com os níveis devidamente criados, cria-se um vínculo com o projeto arquitetônico já concebido, com isso faz-se início a modelagem estrutural, começando pelos pilares, em seguida coloca-se as vigas baldrame e as vigas de topo. Com as vigas devidamente modeladas coloca-se as lajes, em seguida insere-se as fundações. Por fim, insere-se as cargas nos elementos estruturais para verificar a transmissão das mesmas para o TQS.

Posteriormente, validou-se o modelo estrutural no TQS a partir da importação do modelo concebido no Revit e da criação de um novo edifício dentro do TQS. Primeiro analisou-se a transmissão da modelagem e dos esforços inseridos dentro do Revit, em seguida realizou-se os ajustes necessários dentro do TQS na versão V22 para Estudante e da eliminação de erros obtidos a partir do processamento global. Como o TQS tem conformidade com as normas técnicas nacionais, em especial a NBR 6118 (ABNT, 2014), utilizou-se então os seus critérios.

Com a validação estrutural finalizada e todos os erros eliminados, inicia-se o processo de retorno do modelo ao Revit e faz-se a análise da qualidade de transferência dos dados entre os *softwares*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

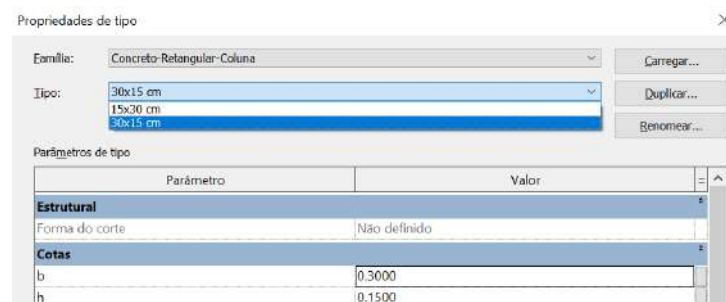
Este capítulo tem como objetivo discretizar os resultados obtidos na pesquisa, onde realiza-se a descrição dos processos realizados na modelagem, dos elementos usados (famílias, tipos e instâncias), dos parâmetros definidos para a modelagem dentro do Revit, de como é feita a análise dentro do TQS para validação da estrutura, dos processos realizados na exportação e importação do modelo em cada *software*, bem como o fluxo de interação entre as ferramentas analisadas.

4.1 Modelagem Estrutural no Revit

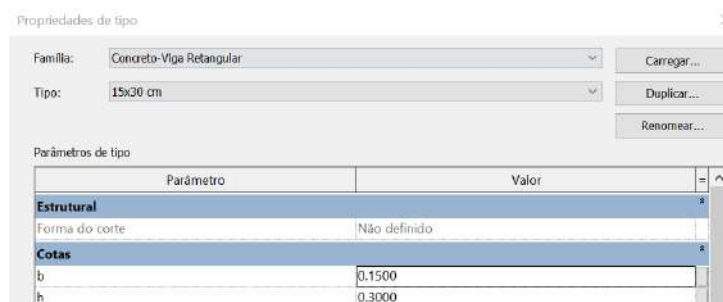
A partir da utilização de um template estrutural nativo ao Revit, dá-se início a um novo projeto. Primeiramente, faz-se a configuração das unidades do projeto, e, em seguida define-se os níveis do projeto. Após a criação dos níveis, faz-se a vinculação com o projeto arquitetônico e insere-se o mesmo dentro do arquivo do projeto estrutural. Com o projeto vinculado inicia-se a inserção dos elementos estruturais de acordo com as definições de lançamento inicial da estrutura.

Para a modelagem, usou-se as famílias nativas ao template estrutural, tendo sido feitas as modificações necessárias dos elementos. Alguns modelos, como as sapatas de fundação, não estavam presentes no template nativo, carregou-se então famílias do pacote brasileiro fornecido pela Autodesk. Na Figura 16 pode-se visualizar os tipos de pilares e na Figura 17 os tipos de viga que foram utilizados.

Figura 16 – Parâmetros dos tipos de pilar

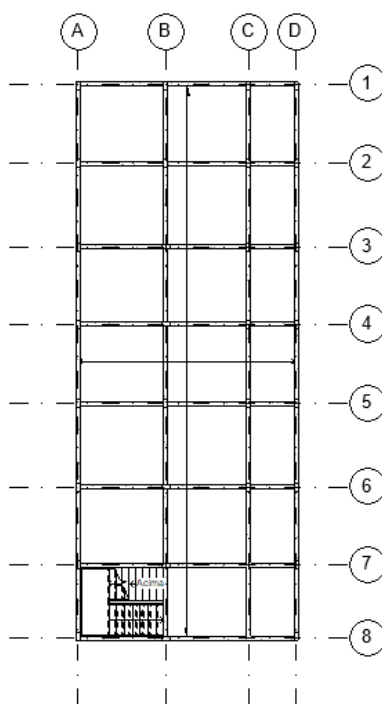


Fonte: Autor, 2021

Figura 17 – Parâmetros dos tipos de viga

Fonte: Autor, 2021

Na inserção dos pilares dentro do modelo, usou-se as linhas de eixo do Revit, onde insere-se eixos nas paredes e encontra-se as intersecções entre as mesmas, com isso insere-se os pilares de maneira automática em todas as intersecções (ver Figura 18). No entanto, não é possível colocar pilar em todas essas intersecções, estão fazendo-se necessário ajustes para a adequação da estrutura.

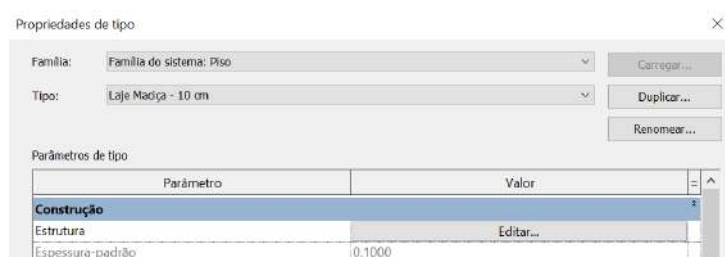
Figura 18 – Planta de eixos do térreo

Fonte: Autor, 2021

Para a modelagem das lajes foi feita a modificação de um piso estrutural para se adequar ao lançamento inicial. Na linguagem utilizada pelo Revit os pisos são representados por pisos arquitetônicos e as lajes como pisos estruturais. A configuração dos dois é praticamente a mesma, diferindo no método de inserção a partir de módulos distintos.

A descrição do tipo de laje é observada na Figura 19, tendo sido modificado um modelo genérico nativo ao template.

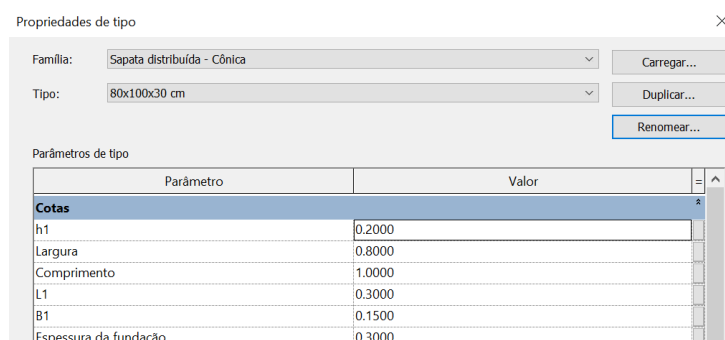
Figura 19 – Parâmetros do tipo de laje



Fonte: Autor, 2021

Para a modelagem das fundações fez-se o carregamento de uma família padrão da biblioteca brasileira da Autodesk. É possível observar na Figura 20 os tipos de sapata aplicados. Para as sapatas foi estimulado um valor fixo para todas, pois quando exportarmos para o TQS, as mesmas vão ser dimensionadas de acordo com a análise dentro do TQS.

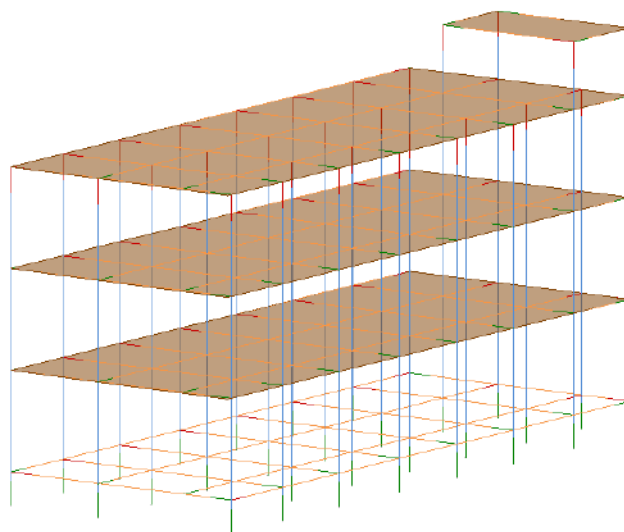
Figura 20 – Parâmetros para os tipos de fundação



Fonte: Autor, 2021

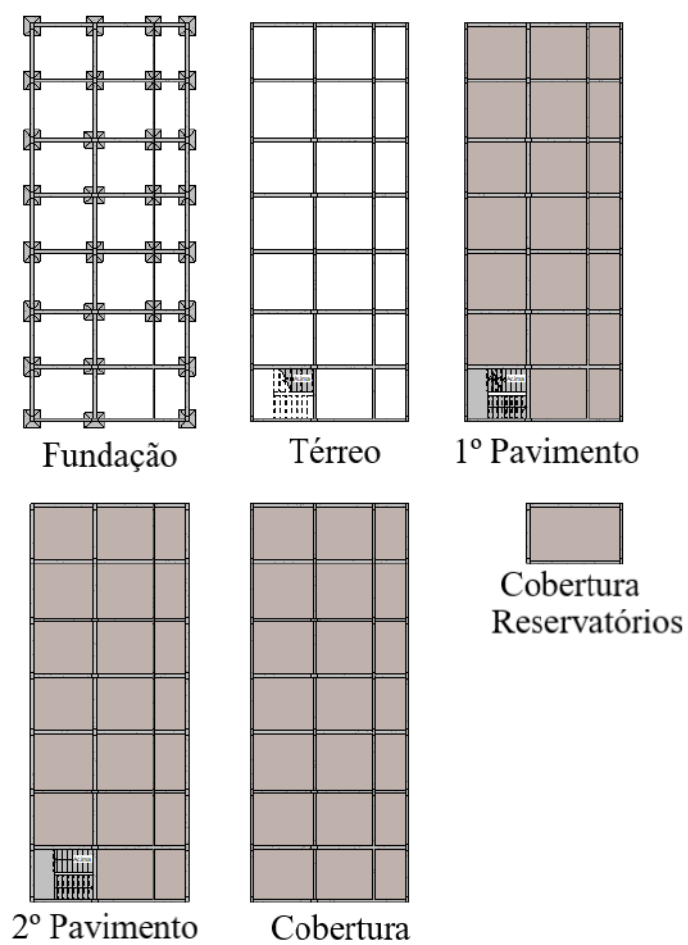
Após a modelagem dos elementos, definiu-se os alguns parâmetros dentro do Revit antes de realizar a exportação. Um desses parâmetros é a resistência do concreto de cada elemento, tendo sido aplicado concreto de 25 MPa para todos os elementos. Em seguida atribuiu-se cargas aos elementos de acordo com os esforços aplicados nos mesmos. Esses atributos poderiam ter sido atrelados somente no TQS, mas como forma de avaliar minuciosamente a interação entre os sistemas foram atribuídos tais parâmetros. Com a modelagem finalizada a criação do modelo analítico é feita de maneira automática a partir da modelagem estrutural 3D (ver Figura 22). Na Figura 21 pode-se observar as plantas de piso referente a cada nível do modelo.

Figura 21 – Modelo analítico 3D do Revit



Fonte: Autor, 2021

Figura 22 – Plantas de piso do modelo estrutural no Revit

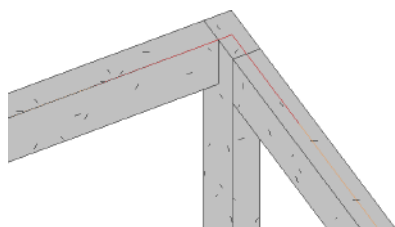


Fonte: Autor, 2021

4.2 Exportação Revit para TQS

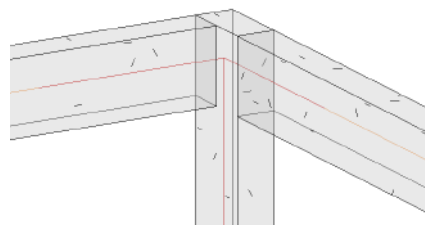
Antes de realizar a exportação para o TQS, verifica-se a o modelo analítico para corrigir inconsistências se necessário. Foram encontradas inconsistências no modelo, como as barras do modelo analítico estarem posicionadas na face do elemento e não no eixo central (ver Figura ??). Além disso, na Figura ?? é possível também que as barras do modelo analítico estão dispostas no topo da viga e não centralizadas no elemento. Fez-se a correção do modelo analítico para entrar em conformidade com o modelo estrutural ainda dentro do Revit (ver Figura ??). Essa correção é necessária para minimizar os erros quando exportar o arquivo para o TQS.

Figura 23 – Dados da família de pilar criada



Fonte: Autor, 2021

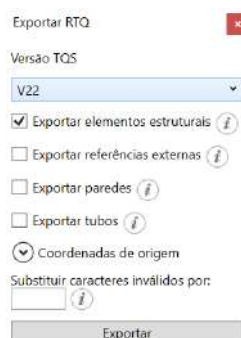
Figura 24 – Dados da família de viga criada



Fonte: Autor, 2021

Após as devidas correções no modelo analítico, inicia-se o processo de exportação do modelo para o TQS. Para tal tarefa, é necessário a instalação do plugin fornecido gratuitamente pela TQS Informática Ltda, o arquivo gerado tem como formato RTQ, que é o padrão de exportação entre o Revit e o TQS. Para exportar, deve-se selecionar a versão do TQS utilizada, no caso a V22, e selecionar a opção de exportar elementos estruturais (ver Figura 25).

Figura 25 – Janela de Exportação do arquivo RTQ

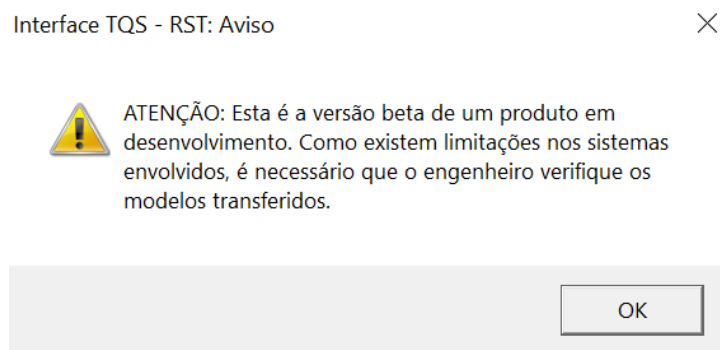


Fonte: Autor, 2021

Devido ao fato do plugin se encontrar em uma versão beta, existem limitações na

interação entre os *softwares*, então ao importar o modelo do Revit no TQS surge uma mensagem de aviso para verificar a integridade do modelo transferido (ver Figura 26).

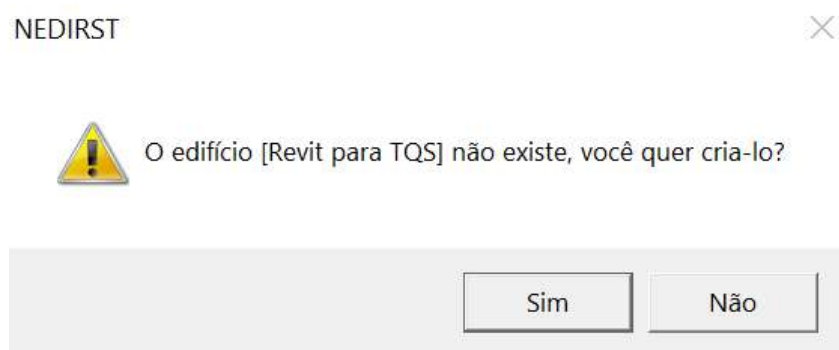
Figura 26 – Mensagem de aviso do plugin TQS



Fonte: Autor, 2021

Como realizou-se a importação sem antes criar um novo edifício no TQS, aparece uma mensagem para fazer essa criação, não é possível importar e fazer as análises sem criar um novo edifício (ver Figura 27). Em seguida tem-se uma janela com os pavimentos que serão criados no TQS a partir dos níveis atribuídos no Revit, nessa janela é possível escolher quais pavimentos serão criados, na aba “Criar” da janela pode-se selecionar os pavimentos que serão criados (ver Figura 28).

Figura 27 – Janela para criar novo edifício

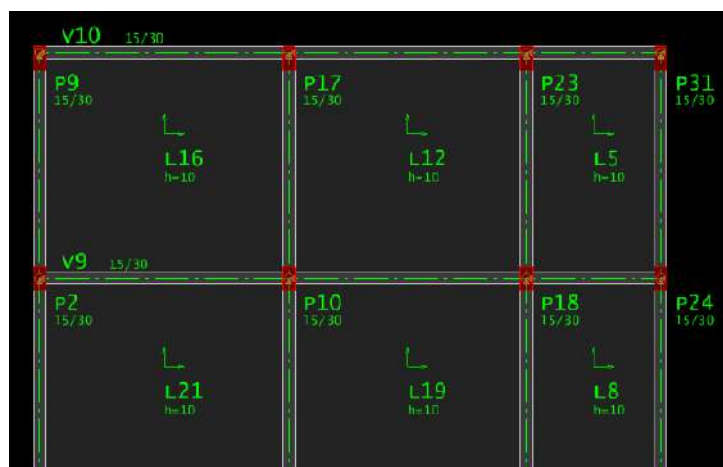


Fonte: Autor, 2021

Figura 28 – Janela de criação de pavimentos do TQSt

Fonte: Autor, 2021

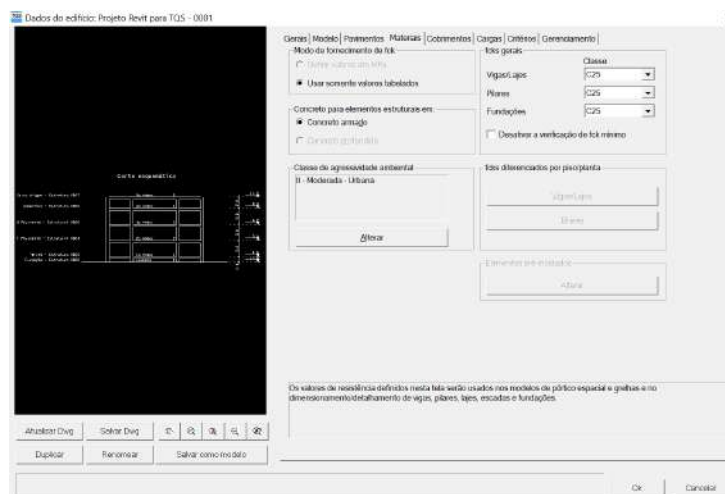
Com a importação finalizada pode-se observar que a criação dos níveis foi feita de forma correta, mas imediatamente já foi possível notar algumas inconsistências, como a identificação de pilares, vigas e lajes que foi feita de forma aleatória pelo TQS (ver Figura 29). Então é feita a renumeração de todos os elementos estruturais para adequação do modelo.

Figura 29 – Identificação aleatória dos elementos estruturais pelo TQS

Fonte: Autor, 2021

Os parâmetros definidos no Revit, como as propriedades mecânicas dos materiais empregados não foram transmitidos, o TQS atribui esses valores de maneira arbitrária na criação do edifício. Dentre os parâmetros não transferidos, pode-se citar: a resistência característica do concreto, cobrimento do aço e módulo de elasticidade do concreto. Logo, é necessário a configuração correta desses parâmetros, sendo possível atribuir esses valores na janela de edição de edifício, onde também define-se outros itens importantes, como: classe agressividade ambiental, velocidade e cargas impostas pelo vento, materiais, entre outros (ver Figura 30).

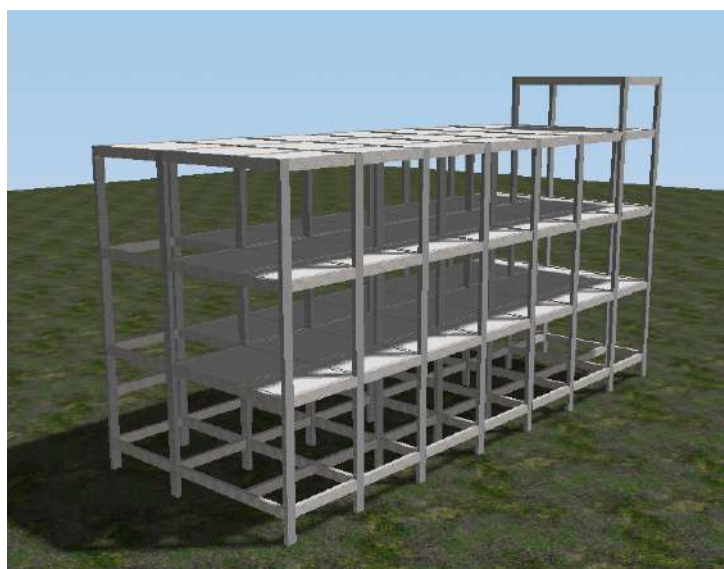
Figura 30 – Janela de edição de edifício



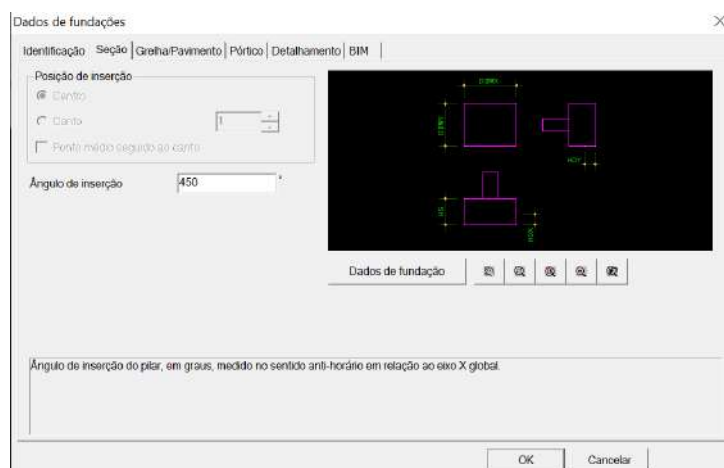
Fonte: Autor, 2021

Os elementos estruturais foram transferidos de maneira íntegra, com exceção das sapatas de fundação (ver Figura 31), para as sapatas foram adicionados aleatoriamente esboços de blocos de fundação mas sem dimensões definidas (ver Figura 31), por esse motivo os elementos 3D das sapatas não foram criados, é necessário atribuir manualmente as fundações, com as mesmas dimensões atribuídas no Revit. O Revit não possui a opção de construir escadas estruturais no módulo Structure, foi então modelado uma escada de concreto no módulo arquitetônico, mas não houve transferência da mesma por não ser um elemento de uma família estrutural do Revit.

Figura 31 – 3D do modelo estrutural no TQS

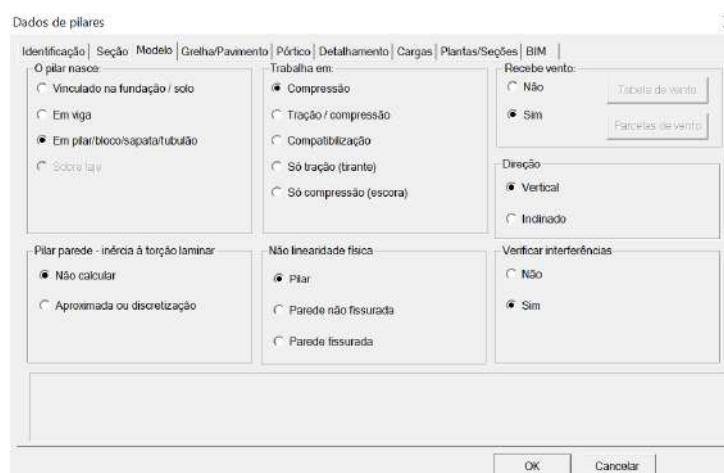


Fonte: Autor, 2021

Figura 32 – Atribuição aleatória de blocos de fundação pelo TQS

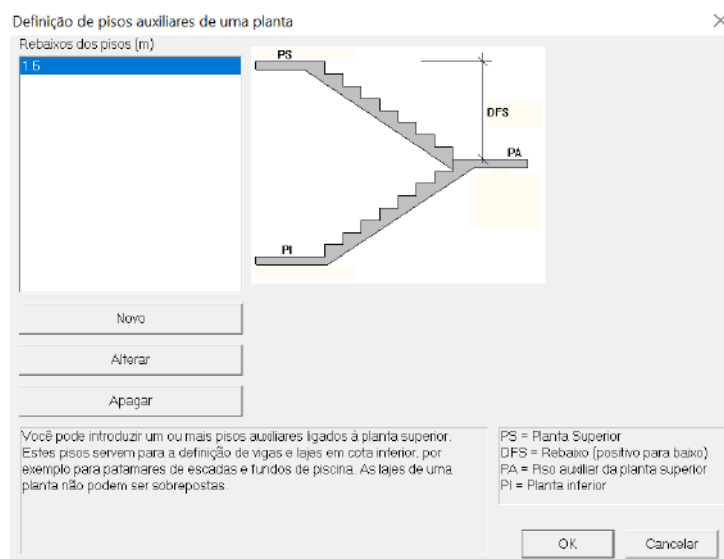
Fonte: Autor, 2021

No TQS é possível definir onde ocorre a vinculação dos pilares que nascem, essa opção está disponível na janela de edição dos pilares. Apesar das sapatas não terem sido transferidas, o TQS atribuiu que os pilares nascem em pilar/bloco/sapata/tubulão (ver Figura 33). Caso as dimensões das fundações não sejam atribuídas, deve-se mudar essa configuração e os pilares devem nascer na fundação/solo, mas é possível realizar o processamento da estrutura sem inserir as fundações, a partir dos resultados obtidos o TQS pré-dimensiona as fundações de maneira automática.

Figura 33 – Janela de edição dos pilares

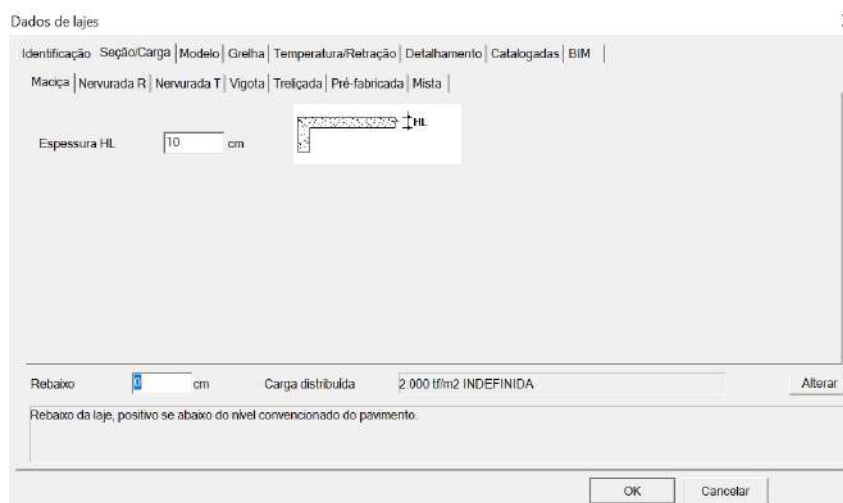
Fonte: Autor, 2021

Para finalizar os elementos estruturais modelou-se a escada dentro do TQS, usando os mesmos dados do Revit. Para a modelagem da escada no TQS é necessária a criação de um piso auxiliar na janela de edição de edifício, este piso deve representar a metade do pavimento e será o local de inserção do patamar da escada (ver figura 34). Após a criação dos pisos auxiliares faz-se a modelagem da escada.

Figura 34 – Janela de piso auxiliar no TQS

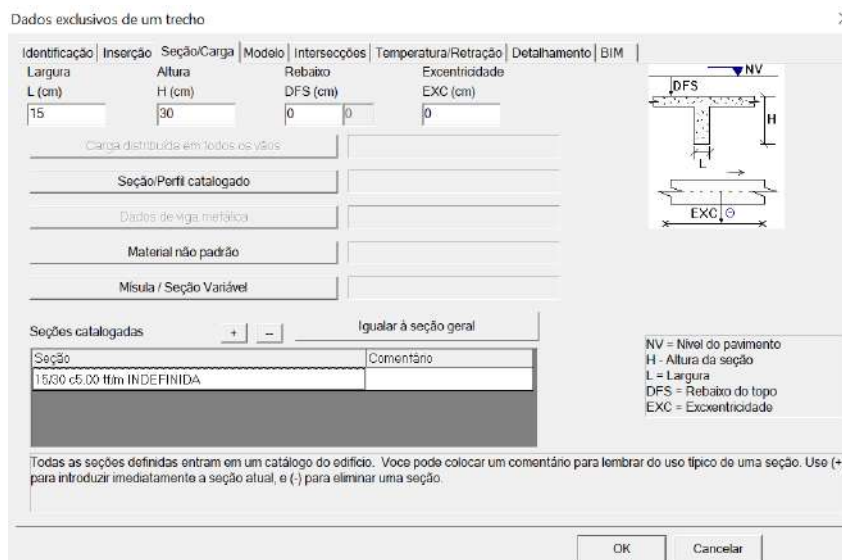
Fonte: Autor, 2021

Ao exportar o modelo do Revit para o TQS, os elementos estruturais como vigas e lajes estavam sem as cargas atribuídas no Revit e, o TQS adotou valores fixos automaticamente, com carga distribuída de 2 tf/m² (ver Figura 35), e, para os elementos lineares de vigas, carga linearmente distribuída de 5 tf/m (ver Figura 36). Logo, para o caso dos carregamentos é necessário ajustes e inserção das cargas de forma manual.

Figura 35 – Janela de edição de lajes no TQS

Fonte: Autor, 2021

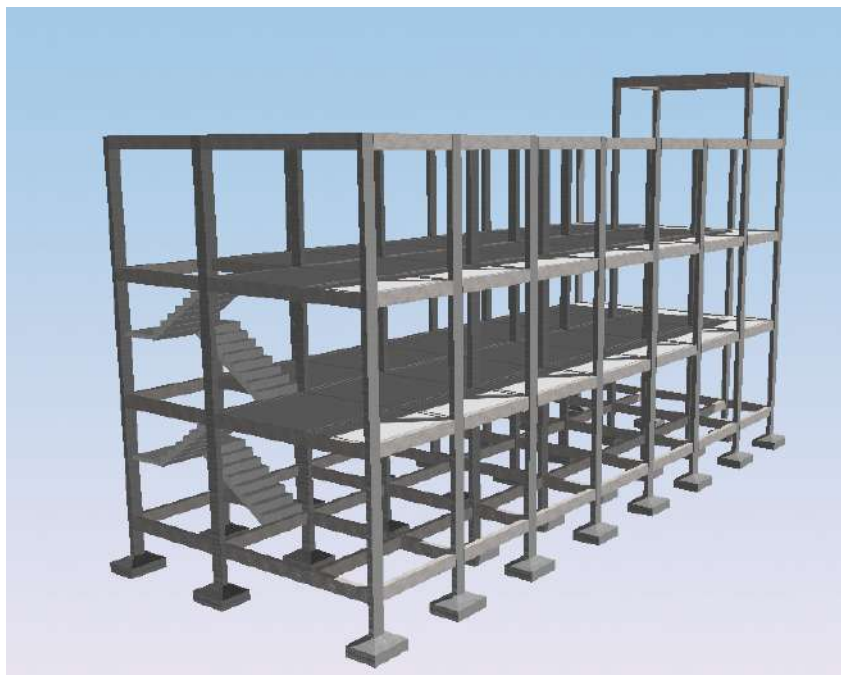
Figura 36 – Janela de edição de vigas



Fonte: Autor, 2021

Na verificação dos elementos estruturais que foram transferidos (pilares, vigas e lajes), não se observou incoerências na geometria e na disposição dos apoios. Está exposto na Figura 37 o modelo estrutural com os ajustes finalizados, em seguida realiza-se a validação da estrutura.

Figura 37 – 3D do modelo estrutural corrigido no TQS



Fonte: Autor, 2021

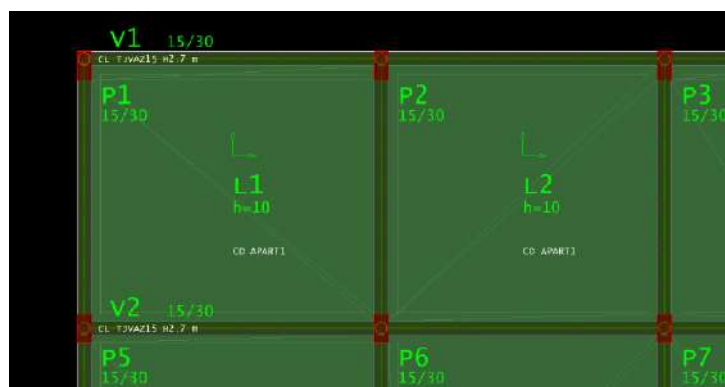
4.3 Análise e validação do sistema estrutural

Inicialmente para validação da estrutura, remove-se as cargas indefinidas que o TQS atribuiu aos elementos estruturais, essas cargas provocam erros no processamento global da estrutura justamente por serem cargas indefinidas. Com isso, as cargas aos elementos de viga e laje, onde para as vigas foram adotadas as cargas de parede para bloco cerâmico de 15 cm de largura por uma altura de 2,70 m de parede, cada pavimento tem 3,0 m, mas deve-se descontar os 30 cm da altura da viga de topo, para as vigas que recebem a platibanda adotou-se carga referente a 1,20 m de altura de parede, em conformidade com a altura da platibanda.

No caso das lajes cargas de apartamento residencial para os pavimentos tipo, na cobertura foram adotadas cargas de cobertura, nas lajes onde se encontram os reservatórios foi adicionado carga de barrilete e para a laje da escada atribuiu-se carga de escada.

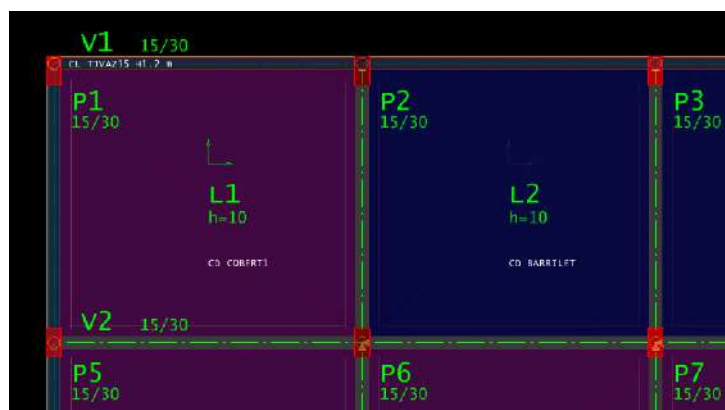
Nas Figuras 38 e 39 é possível observar as cargas aplicadas no modelador estrutural do TQS, as cargas de alvenaria e as cargas de laje.

Figura 38 – Cargas em vigas e lajes do pavimento tipo



Fonte: Autor, 2021

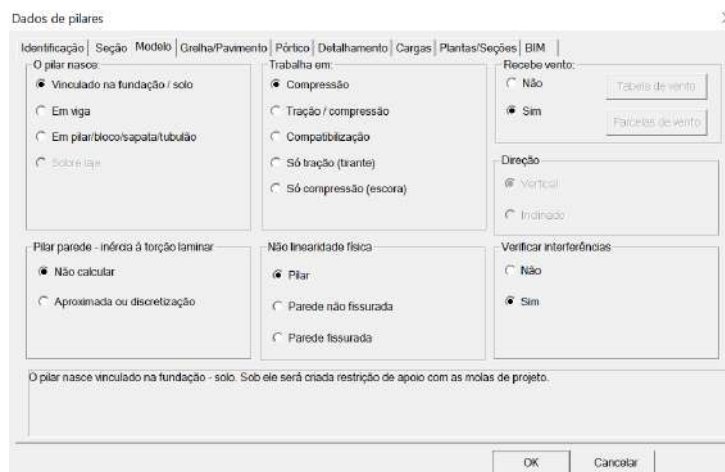
Figura 39 – Cargas em vigas e lajes no pavimento cobertura



Fonte: Autor, 2021

Com as cargas devidamente atribuídas as vigas e lajes, atribui-se que os pilares nascem na “fundação/solo” (ver Figura 40), e também será feito o processamento global, somente dos esforços. Com isso é possível obter as cargas impostas ao solo e pré-dimensionar as sapatas de maneira automática.

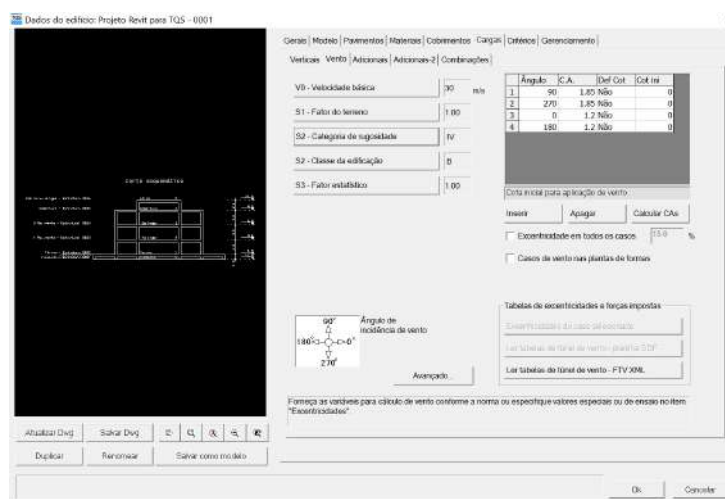
Figura 40 – Janela de edição de pilares



Fonte: Autor, 2021

Antes de realizar o processamento global atribui-se as cargas impostas pelo vento na janela de edição de edifício. Foi atribuído que a velocidade básica é de 30 m/s e que o edifício se encontra em uma categoria de rugosidade IV (terrenos com obstáculos numerosos e pouco espaçados, área urbanizada densa). Como o edifício já se encontra completamente modelado, o TQS calcula de maneira automática os coeficientes de arrasto. Observa-se na Figura 41 os parâmetros de carga de vento:

Figura 41 – Cargas de vento na janela de edição de edifício



Fonte: Autor, 2021

Após definido todos os critérios e cargas aplicadas, pode-se dar início ao processamento global dos esforços, onde é feita toda a análise esforços do sistema estrutural e sua aplicação na fundação/solo. Ao finalizar o processamento global surge uma janela indicando os erros obtidos na análise, são três tipos de erro: leves, médios e graves (ver Figura 42). Dar-se, aqui, uma atenção maior apenas aos erros graves pois estes informam um real comprometimento do sistema estrutural, fazendo com que seja necessário mudanças no modelo.

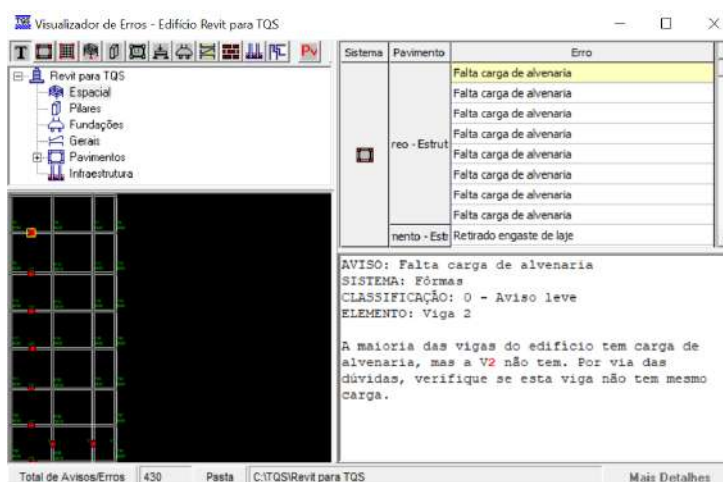
Figura 42 – Janela de erros do processamento global



Fonte: Autor, 2021

Já os erros leves e médios estão relacionados a pequenas incoerências, por exemplo: se existe uma viga que não está recebendo alvenaria e consequentemente não está inserida a carga de alvenaria, o TQS aponta um erro leve afirmando que muitas vigas estão recebendo carga de alvenaria e essa não está. Ambos os avisos apontam o local e o erro específico apontado (ver Figura 43).

Figura 43 – Visualizador de erros do TQS



Fonte: Autor, 2021

Em seguida, realiza-se o pré-dimensionamento das sapatas a partir do processamento

global dos esforços, onde atribuiu-se uma resistência admissível para o solo de 2,0 kgf/m² (ver Figura 44). Com o pré-dimensionamento das sapatas finalizado, atribui-se aos pilares o tipo de fundação em que nascem, escolhendo a opção “ pilar/bloco/sapata/tubulão”, para que o processamento global seja feito considerando que os esforços sejam aplicados nas sapatas de fundação. Feito isso, realiza-se o processamento global dos esforços e armaduras do edifício.

Figura 44 – Janela de pré-dimensionamento de sapatas

Pré Dimensionamento Fundação

PRÉ DIMENSIONAMENTO FUNDAÇÃO

Tipo de Fundação Sapata Bloco

Entrada Manual

Tensão Admissível do Solo kgf/cm²

Arquivo de Critérios

Tensão Admissível do Solo kgf/cm²

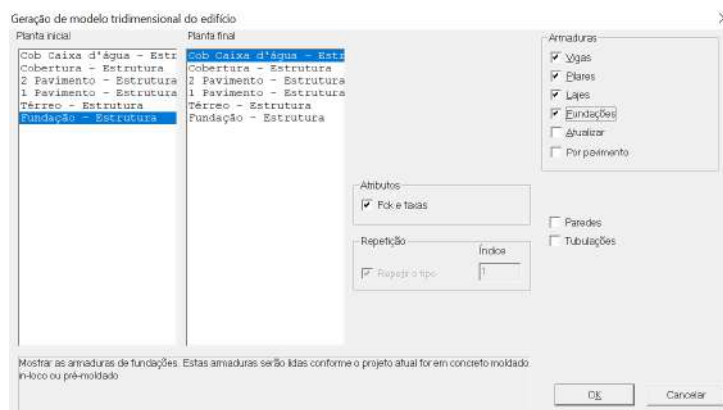
Pré-Dimensionar

Fonte: Autor, 2021

Com o processamento global de esforços e armaduras finalizados não foi apontado erros graves pelo TQS, foram observados os erros leves e médios e não se verificou aspectos comprometedores ao sistema estrutural. Logo, pode-se iniciar o processo de exportação do modelo do TQS para o Revit.

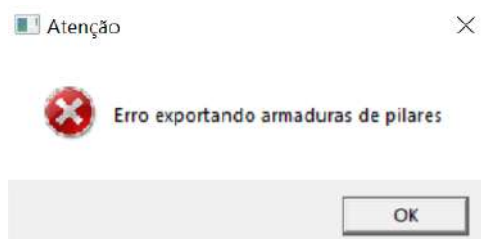
4.4 Exportação do TQS para o Revit

Com o processamento global finalizado e a inexistência de erros graves confirmada, inicia-se o processo de exportação do TQS para o Revit. A janela de exportação mostra as opções que serão exportadas para o Revit, onde seleciona-se as opções correspondentes a exportação dos elementos estruturais, de armaduras 3D, resistência característica do concreto e taxa de aço, bem como escolhem-se os níveis que serão criados (ver Figura 45).

Figura 45 – Janela de exportação do TQS para o Revit

Fonte: Autor, 2021

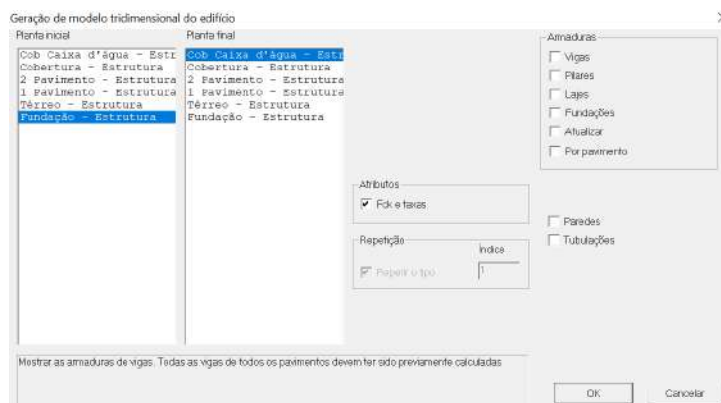
Com as opções acima selecionadas, inicia-se a exportação do modelo para o Revit, onde nota-se a falha na exportação logo de cara, aparecendo uma mensagem de aviso apontando erro na exportação da armadura dos pilares (ver Figura 46).

Figura 46 – Mensagem de erro na exportação de armadura dos pilares

Fonte: Autor, 2021

Diante disso, foram analisadas as armaduras dos pilares dentro do TQS, no entanto não foram encontradas inconsistências na disposição das armaduras. Sendo assim, a exportação acontecerá novamente, mas não serão marcadas as opções de armaduras, apenas de elementos estruturais, níveis, resistência característica do concreto e taxa de armadura (ver Figura 47).

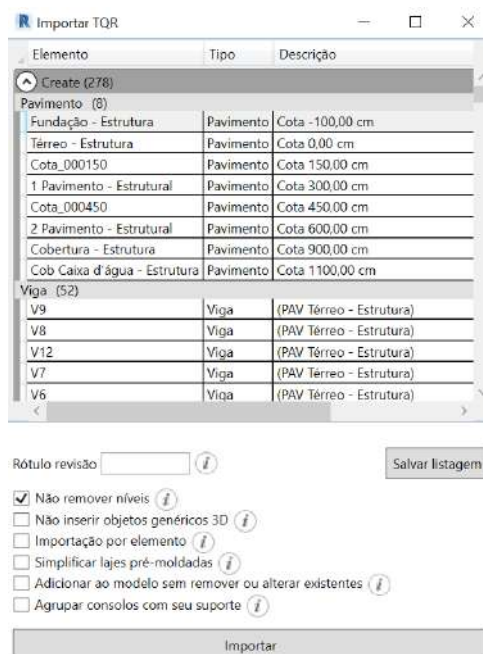
Figura 47 – Janela de exportação do TQS para o Revit



Fonte: Autor, 2021

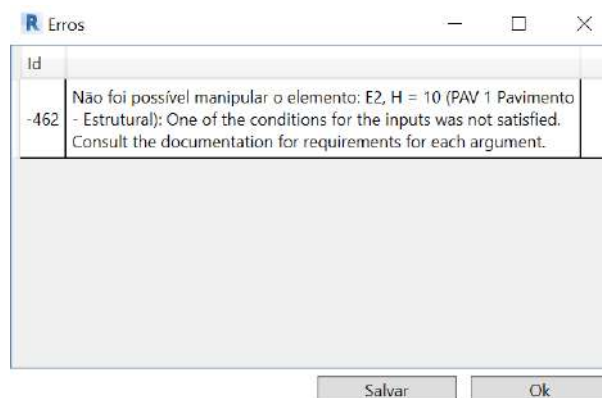
Com os novos parâmetros estabelecidos, a exportação foi bem-sucedida e o arquivo TQR foi gerado. Partindo disso, cria-se um novo projeto no Revit com o mesmo template estrutural nativo e atribuindo as mesmas configurações iniciais do projeto estrutural inicialmente modelado no Revit. Quando abre-se a janela de importação do plugin no Revit surgem os elementos estruturais presentes no TQS e que serão transferidos para o Revit (ver Figura 48).

Figura 48 – Janela de importação no Revit

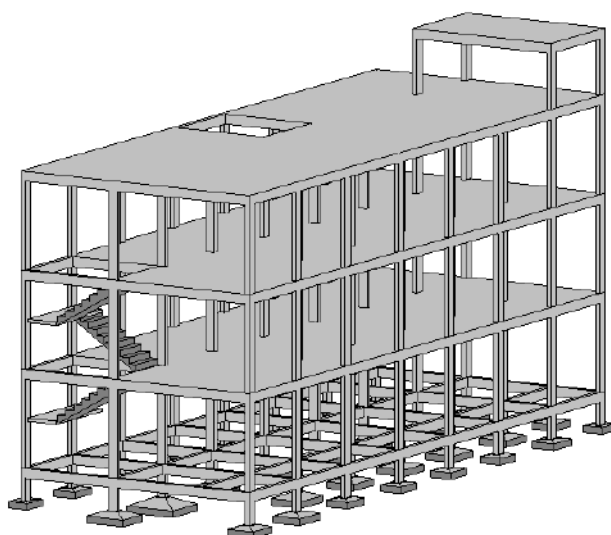


Fonte: Autor, 2021

Finalizada a importação dentro do Revit surge um aviso de erro na criação de um dos lances da escada (ver Figura 49), e nota-se de imediato a falta de uma das lajes no pavimento cobertura (ver Figura 50).

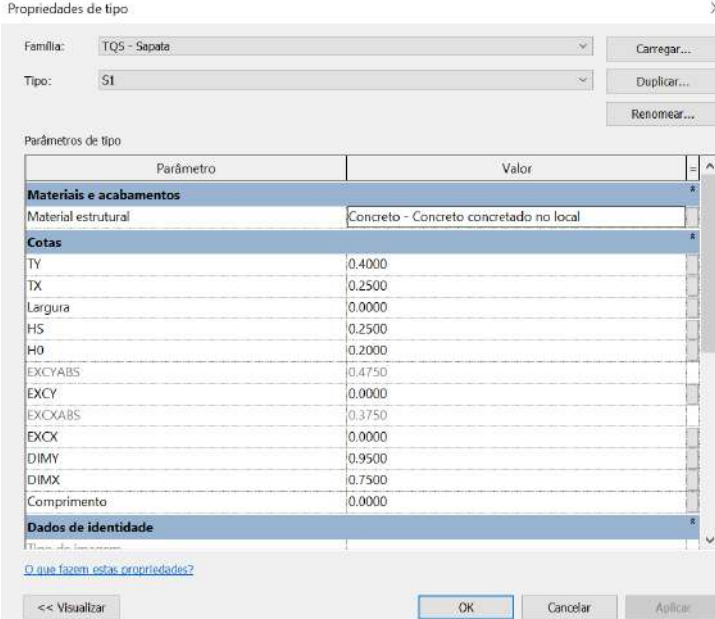
Figura 49 – Mensagem de erro na importação

Fonte: Autor, 2021

Figura 50 – 3D da importação no Revit

Fonte: Autor, 2021

Com exceção da laje do pavimento cobertura e do primeiro lance de escada mencionados, todos os elementos estruturais foram transferidos com suas respectivas dimensões e características, foram criadas famílias de cunho estrutural pelo Revit para representar os elementos do TQS, sendo estes modelos com certo nível de parametricidade, observou-se também que em alguns casos foi atribuída a nomenclatura de dimensões igual a do TQS (ver Figura 51).

Figura 51 – Família de sapata criada

Propriedades de tipo

Família: TQS - Sapata Carregar...

Tipo: S1 Duplicar... Renomear...

Parâmetros de tipo

Parâmetro	Valor
Materiais e acabamentos	
Material estrutural	Concreto - Concreto concretado no local
Cotas	
TY	0.4000
TX	0.2500
Largura	0.0000
HS	0.2500
HO	0.2000
EXCYABS	0.4750
EXCY	0.0000
EXCYABS	0.3750
EXCX	0.0000
DIMY	0.9500
DIMX	0.7500
Comprimento	0.0000
Dados de identidade	

[O que fazem estas propriedades?](#)

<< Visualizar OK Cancelar Aplicar

Fonte: Autor, 2021

O material empregado nos modelos foi transferido de maneira integral, bem como a resistência característica do concreto e a taxa de armadura dos elementos estruturais, além de outras características como: área, peso, volume, entre outras (ver Figuras 52 e 53).

A característica atribuída às famílias criadas seguiram fielmente os elementos no caso dos pilares, vigas e lajes que foram nas suas respectivas categorias correspondentes (pilar estrutural, quadro estrutural e piso estrutural), já no caso das fundações e lances de escada foram atribuídos a característica de conexão estrutural e não de fundação estrutural e escada respectivamente como deveria ser.

4.5 Modelagem no TQS e exportação para o Revit

Devido aos erros que ocorreram no retorno do arquivo do TQS para o Revit juntamente com as armaduras, foi feita a modelagem e validação estrutural inteiramente no TQS e em seguida exportou-se o arquivo para o Revit, com o intuito de sanar a dúvida sobre a exportação de armaduras.

4.5.1 Modelagem

Para a modelagem no TQS utilizou-se os mesmos parâmetros do projeto estrutural no Revit. Inicialmente cria-se um novo edifício e define-se os níveis de projeto, atribuímos

Figura 52 – Dados da família de pilar criada

Dados	
fck (MPa)	25.000000
Taxa_Armadura	85.257 kg
Volume_Concr...	0.135 m ³
Area_Formas	2.700 m ²
Peso_Ø5.00	3.119 kg
Cobrimento	0.0300
fck	Concreto C25
Peso_Ø10.00	8.391 kg
Peso_Ø12.50	
Peso_Ø6.30	
Altura (cm)	300.000000
Taxa_Compres...	7.505 kgf/cm ²
Secao	R
Dimensao_b1	0.1500
Dimensao_h1	0.3000
Perimetro	0.9000

Fonte: Autor, 2021

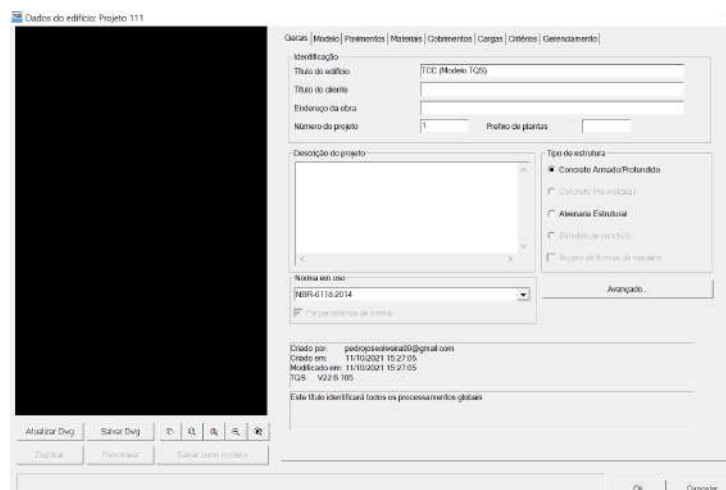
Figura 53 – Dados da família de viga criada

Dados	
fck (MPa)	25.000000
Taxa_Armadura	108.753 kg
Volume_Concr...	0.835 m ³
Area_Formas	10.216 m ²
Peso_Ø5.00	13.597 kg
Peso_Ø8.00	6.636 kg
Cobrimento	0.0300
Largura	0.1500
Altura	0.3000
Excentricidade	0.0000
Rebaixo	0.0000
fck	Concreto C25
Peso_Ø10.00	50.471 kg
Peso_Ø12.50	19.934 kg
Peso_Ø6.30	0.198 kg
Peso_Ø16.00	

Fonte: Autor, 2021

alguns critérios como o seguimento a NBR 6118 (ABNT, 2014), o nome do edifício e o tipo de estrutura (ver Figura 54).

Figura 54 – Janela de criação de edifício

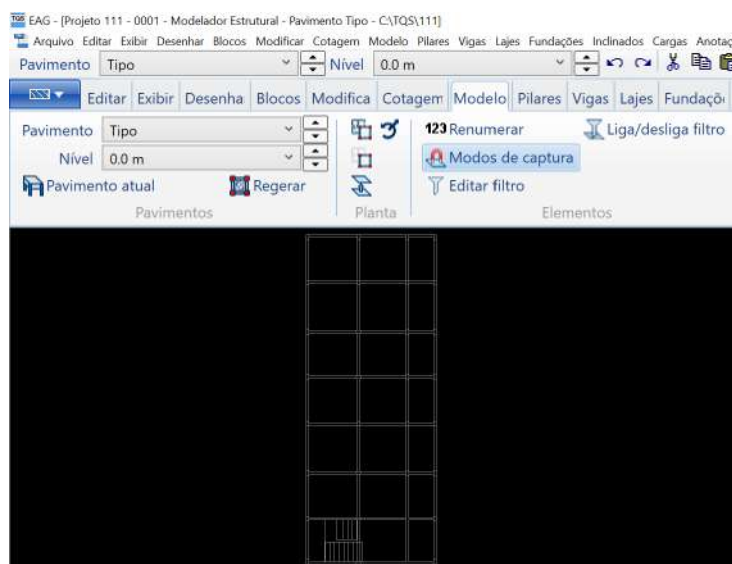


Fonte: Autor, 2021

Em seguida insere-se algumas propriedades, como: resistência característica do concreto em cada elemento estrutural, cobrimentos, cargas, entre outros. De início não se insere nenhuma carga pois a estrutura não está concebida. Para auxiliar na modelagem

utilizou-se de um arquivo DWG contendo as plantas baixas do projeto estrutural no Revit, para isso fez-se a exportação do arquivo RVT para DWG e inseriu-se no TQS (ver Figura 55). Antes de inserir o arquivo DWG no TQS é necessário converter o arquivo no próprio TQS para um arquivo compatível (ver Figura 56), o TQS não importa DWG de maneira direta.

Figura 55 – Arquivo DWG inserido no TQS



Fonte: Autor, 2021

Figura 56 – Opção para converter DWG



Fonte: Autor, 2021

Inicia-se então a modelagem dos elementos estruturais, começando pelos pilares, mas antes de modelar define-se os parâmetros dos pilares, como seção e ponto de aplicação, então faz-se a inserção dos pilares em suas devidas posições. Em seguida modelam-se as vigas começando pela definição de seus critérios, aqui pode-se definir de imediato a carga das mesmas assim como feito nos módulos anteriores, com carga de alvenaria de bloco de 15 cm dependendo da altura da parede.

Em seguida insere-se as lajes seguindo o mesmo raciocínio, atribuímos cargas de acordo com sua utilização e seguindo os mesmos parâmetros dos módulos anteriores. Com as

lajes colocadas faz-se a inserção da escada que segue os mesmos passos descritos quando se exportou o modelo do Revit para o TQS.

Para as fundações realiza-se como no primeiro procedimento, atribui-se que os pilares nascem na fundação/solo e faz-se o processamento global somente dos esforços, em seguida faz-se o pré-dimensionamento das sapatas e somente depois faz-se o processamento global dos esforços e armaduras. Na Figura 57 pode-se observar a modelagem da estrutura com os pilares nascendo no solo.

Figura 57 – 3D do modelo estrutural



Fonte: Autor, 2021

4.5.2 Processamento global e inserção das sapatas

Nessa etapa, antes de fazer o processamento global dos esforços, insere-se as cargas de vento como feito anteriormente. Só depois das cargas de vento serem inseridas faz-se o processamento global dos esforços e verifica-se se existem erros graves que comprometam a estrutura. Sendo verificado a inexistência de erros graves, dá-se início ao processo de pré-dimensionamento de sapatas, onde vincula-se, antes de tudo, os pilares a “pilar/bloco/sapata/tubulão”. A partir disso faz-se o pré-dimensionamento das sapatas e tem-se a criação automática.

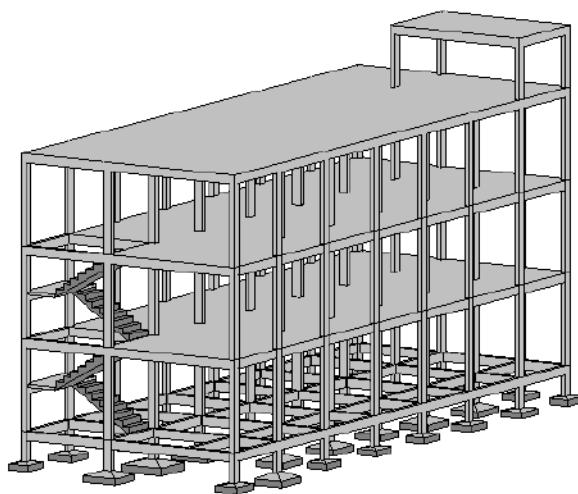
Por fim, faz-se o processamento global dos esforços e armaduras de todo o modelo, com a verificação da inexistência de erros graves, as armaduras são conferidas e em seguida feita a exportação para o arquivo TQR.

4.5.3 Exportação da modelagem no TQS para o Revit

Confirmada a inexistência de erros comprometedores é feita a exportação do modelo, onde são selecionadas para a transferência os elementos estruturais e também suas arma-

duras, como feito inicialmente no módulo 4.4.. Diferentemente do ocorreu anteriormente, a exportação foi bem-sucedida juntamente com as armaduras e não surgiu aviso de erro. A importação dentro do Revit aconteceu da mesma forma que no módulo 4.4., não houve também qualquer erro e todos os elementos foram transferidos de maneira integral, sem exceção, na importação o Revit uniu todos os elementos estruturais, não sendo possível visualizar cada laje, mas os elementos foram criados em separado como na modelagem no TQS, a junção no Revit é apenas visualmente (ver Figura 58).

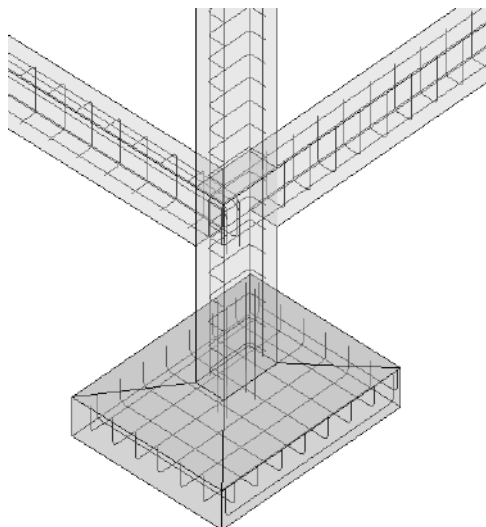
Figura 58 – 3D do modelo importado no Revit



Fonte: Autor, 2021

As características que foram transferidas no módulo 4.4., como resistência característica do concreto, taxa de armadura e volume, também foram transferidos nesse caso. Nessa circunstância, as armaduras dos elementos foram transferidas de maneira integral e não surgiram incoerências com o elemento construído no TQS (ver Figura 59). Os elementos estruturais foram transformados em famílias com alguns aspectos paramétricos como no módulo 4.4.

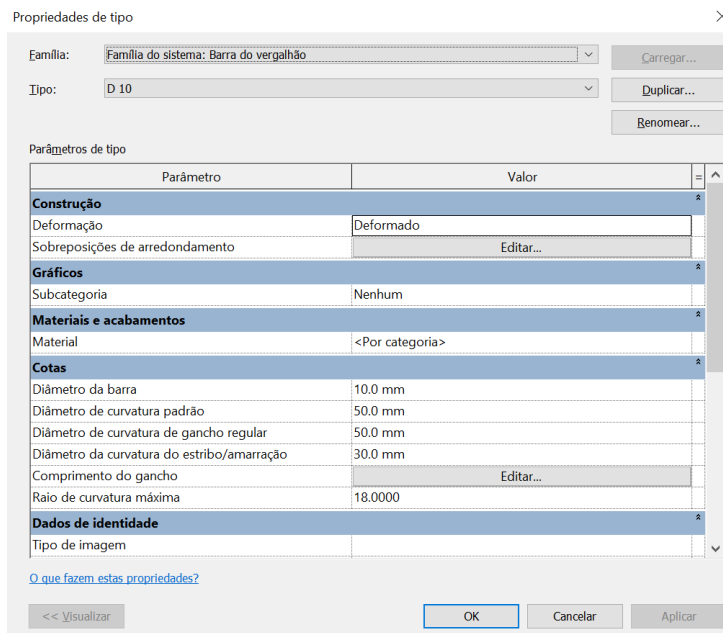
Figura 59 – Perspectiva mostrando as armaduras nos elementos 3D



Fonte: Autor, 2021

No caso das armaduras, foram também criadas famílias paramétricas correspondentes e que foram inseridas na categoria correspondente às armaduras no Revit (vergalhão estrutural), mas não foi atribuído o tipo de material do vergalhão. Observa-se na Figura 60 a família criada:

Figura 60 – Família de vergalhão criada no Revit



Fonte: Autor, 2021

5 CONCLUSÃO

Observa-se que no caso da interoperabilidade de uma estrutura em concreto armado a partir de uma ligação específica (intermediária entre proprietária e aberta, no caso TQR e RTQ) possibilita sim o intercâmbio de informações, mas de maneira limitada. O plugin usado na exportação e importação é capaz de assimilar e transferir dados nos dois sentidos, no entanto quando ocorreu o processo de retorno de um modelo já exportado para o TQS de volta ao Revit, não foi possível a transferência de informações e alguns elementos importantes.

Quando se importou o modelo no TQS, ajustes foram necessários por conta nas diferenças de interpretação dos *softwares*. o Revit é um modelador paramétrico com muita flexibilidade enquanto o TQS é um software específico de cálculo estrutural, com restrições impostas em função da coerência da estrutura a ser analisada. Nota-se também que não há conformidade na interpretação dos softwares com respeito as cargas aplicadas, em um dos sentidos de exportação (TQS para Revit) foi atribuída uma carga indefinida e no outro nenhuma carga foi transferida.

Apesar da transferência de informações conseguir transmitir a maior parte das características estruturais, a presença de um projetista para adequar o modelo e conseguir realizar a análise estrutural é imprescindível para as tomadas de decisão e de ajuste dos parâmetros, no detalhamento e no produto final gerado no processo.

É evidente a necessidade de se avançar nos recursos interoperabilidade entre os softwares, mas cabe lembrar que o plugin não está em sua versão final, como foi apontado anteriormente, e é esperado seu avanço para o melhoramento na transferência de dados entre o TQS e o Revit.

Referências Bibliográficas

- ACCA, s. **IFC e BIM: IFC, o que é e para que serve? Qual é a ligação com o BIM?** 2017. Acesso em: 2 de outubro 2021. Disponível em: <<http://biblus.accasoftware.com/ptb/ifc-o-que-e-e-para-que-serve-qual-e-a-ligacao-com-o-bim//>>. Citado na página 32.
- ALVES, A. **IINTEROPERABILIDADE ENTRE OS SOFTWARES TQS E O REVIT UTILIZANDO A METODOLOGIA BIM.** [S.l.]: Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 33.
- ANDRADE, M. de; RUSCHEL, R. C. **BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências.** [S.l.: s.n.], 2009. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 33.
- AUTODESK. **Navisworks Forum.** 2014. Acesso em: 30 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://goo.gl/71Ym2o>>. Citado 3 vezes nas páginas 27, 28 e 29.
- AUTODESK. **BIM Interoperability Dreams Can Come True: Creating a Unified Model for Documentation and Design.** 2015. Acesso em: 29 de agosto 2021. Disponível em: <<https://goo.gl/EgnYEj>>. Citado na página 23.
- AUTODESK. **Knowlegde Network: Entendendo os termos do Revit.** 2018. Acesso em: 30 de setembro de 2021. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/PTB-/Revit/files/GUID-2480CA33-C0B9-46FD-9BDD-FDE75B513727-htm.html>>. Citado na página 27.
- AUTODESK. **Knowlegde Network: Sobre o modelo analítico estrutural.** 2018. Acesso em: 30 de setembro de 2021. Disponível em: <<http://help.autodesk.com/view/RVT/2019/PTB/?guid=GUID-05CA5628-12C6-456C-B0B9-D922D22B67D0>>. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- BAIA, D. V. S. **Uso de ferramentas BIM para o planejamento de obras da construção civil.** [S.l.: s.n.], 2015. Citado na página 18.
- BIMFORUM. **Level of Development Specification.** 2019. Acesso em: 30 de setembro de 2021. Disponível em: <www.bimforum.org/lod>. Citado na página 20.
- CHECCUCCI, E.; PEREIRA, A.; AMORIM, A. Colaboração e interoperabilidade no contexto da modelagem da informação da construção (bim). In: **XV CONGRESSO SIGRADI. Santa Fé, Argentina.** [S.l.: s.n.], 2011. Citado na página 32.
- CIVIL, A. R. M.-E. **A influência do processo BIM no domínio de estruturas de concreto.** [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 17.
- DURANTE, F. K. **O uso da metodologia BIM (Building Information Modeling) para gerenciamento de projetos.** [S.l.: s.n.], 2013. Citado na página 16.
- EPE. **Escritório de Projetos Integrados de Engenharia.** 2019. Acesso em: 30 de agosto de 2021. Disponível em: <<https://epe.ufc.br/index.php/blog/19-lod-trabalhando-bim-em-alto-nivel>>. Citado na página 22.

- FROESE, T. **Future directions for IFC-based interoperability**. [S.l.]: Citeseer, 2003. 231–246 p. Citado na página 32.
- GONÇALVES, I. F. d. V. **Aplicação do BIM ao projeto de estruturas: abordagem de programação ao processo de pormenorização de vigas de betão armado**. Dissertação (Mestrado), 2015. Citado na página 20.
- GONZÁLEZ, C. L.; MANZANARES, F. V.; RODRÍGUEZ, A. M. R. **A KNOWLEDGE MANAGEMENT METHOD FOR PROJECTS DEVELOPED UNDER BIM ENVIRONMENTS**. [S.l.]: AEIPRO, 2020. Citado na página 19.
- HARDIN, B.; MCCOOL, D. **BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 22.
- HELM, J. **BIM: vantagens e características**. 2012. Acesso em: 30 de setembro de 2021. Disponível em: <www.archdaily.com.br/br/01-49221/bim-vantagens-e-caracteristicas-eron-costin>. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- JUSTI, A. R. **Implantação da plataforma Revit nos escritórios brasileiros**. [S.l.: s.n.], 2008. 140–152 p. Citado na página 24.
- MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. [S.l.: s.n.], 2013. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- MATOS, A. et al. **APLICABILIDADE DO SOFTWARE REVIT EM PROJETOS DE ENGENHARIA E ARQUITETURA**. [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 24.
- MATTEI, P. L. d. R. **BIM e a Informação no Subsetor de Edificações da Indústria da Construção Civil**. [S.l.: s.n.], 2008. Citado na página 16.
- MENEGARO, B. F. **Aplicação da metodologia BIM (Building Information Modeling) no processo de projeto, com foco em compatibilização**. [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 20.
- NETO, N.; SILVA, R. da et al. **O projeto da produção de formas para estrutura de concreto armado incorporando bim**. [sn], 2014. Citado na página 22.
- PONTES, T. C. **USO DA PLATAFORMA BIM EM PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**. [S.l.: s.n.], 2019. Citado na página 31.
- RODRÍGUEZ, M. A. A. et al. **Coordenação técnica de projetos: caracterização e subsídios para sua aplicação na gestão do processo de projeto de edificações**. [S.l.]: Florianópolis, SC, 2005. Citado na página 18.
- SACKS, R. et al. **Manual de BIM-: Um Guia de Modelagem da Informação da Construção para Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores**. [S.l.]: Bookman Editora, 2021. Citado 7 vezes nas páginas 14, 17, 18, 19, 31, 32 e 33.

SANTOS, A. **Compatibilizar projetos reduz custo da obra em até 10%**. [S.l.: s.n.], 2013. Citado na página 19.

SIENGE. **SIENGE PLATAFORMA**. 2019. Acesso em: 30 de agosto de 2021. Disponível em: <<https://www.sienge.com.br/blog/dimensoes-do-bim/>>. Citado na página 24.

SILVA, D. R. S. D.; CRUZ, J. **ESTUDO COMPARATIVO DE DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO ENTRE DOIS SOFTWARES**. [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 30.

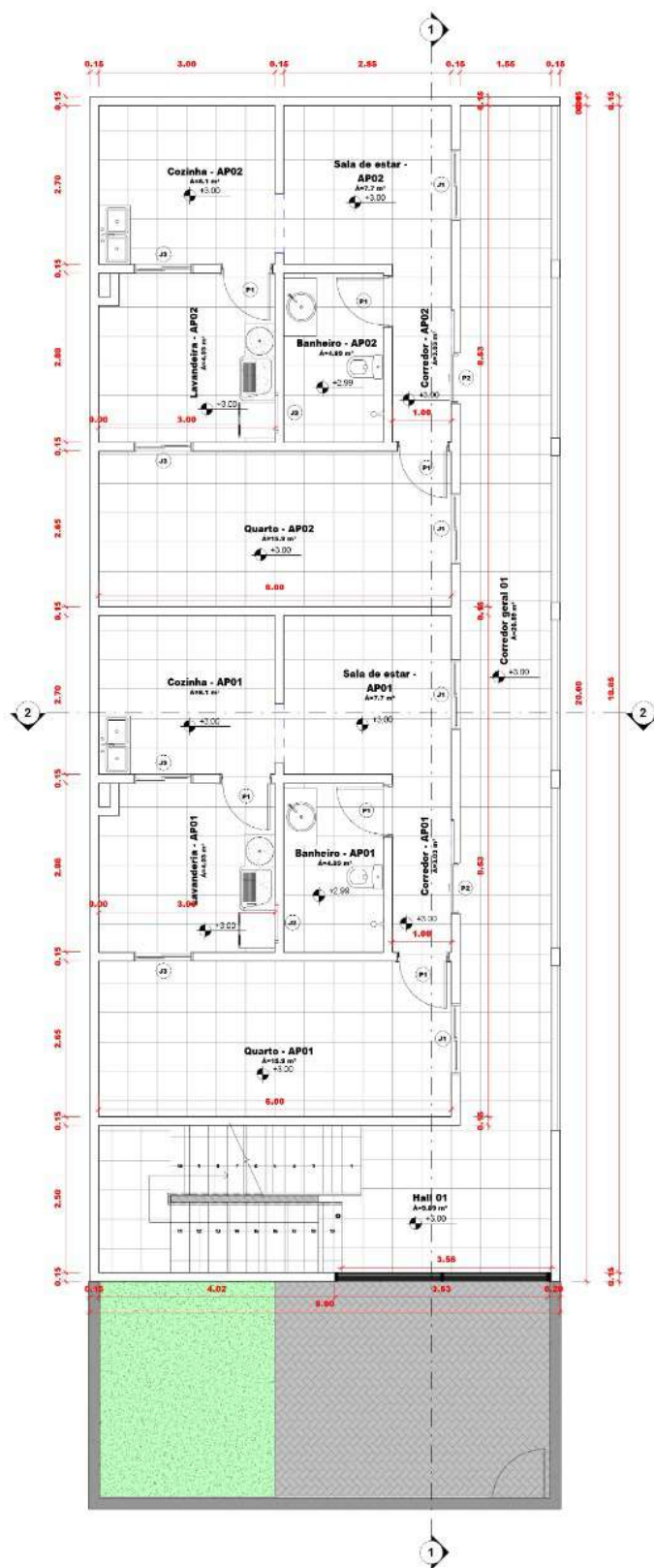
SILVA, K. R. d. **Interoperabilidade entre software de projeto estrutural com a plataforma BIM**. [S.l.: s.n.], 2019. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 32.

TARRAFA, D. G. P. **Aplicabilidade prática do conceito BIM em projeto de estruturas**. [S.l.: s.n.], 2012. Citado na página 19.

TEIXEIRA, J. D. et al. **Compatibilização de projetos através da modelagem 3D com uso de software em plataforma BIM**. [S.l.]: Florianópolis, SC, 2016. Citado na página 23.

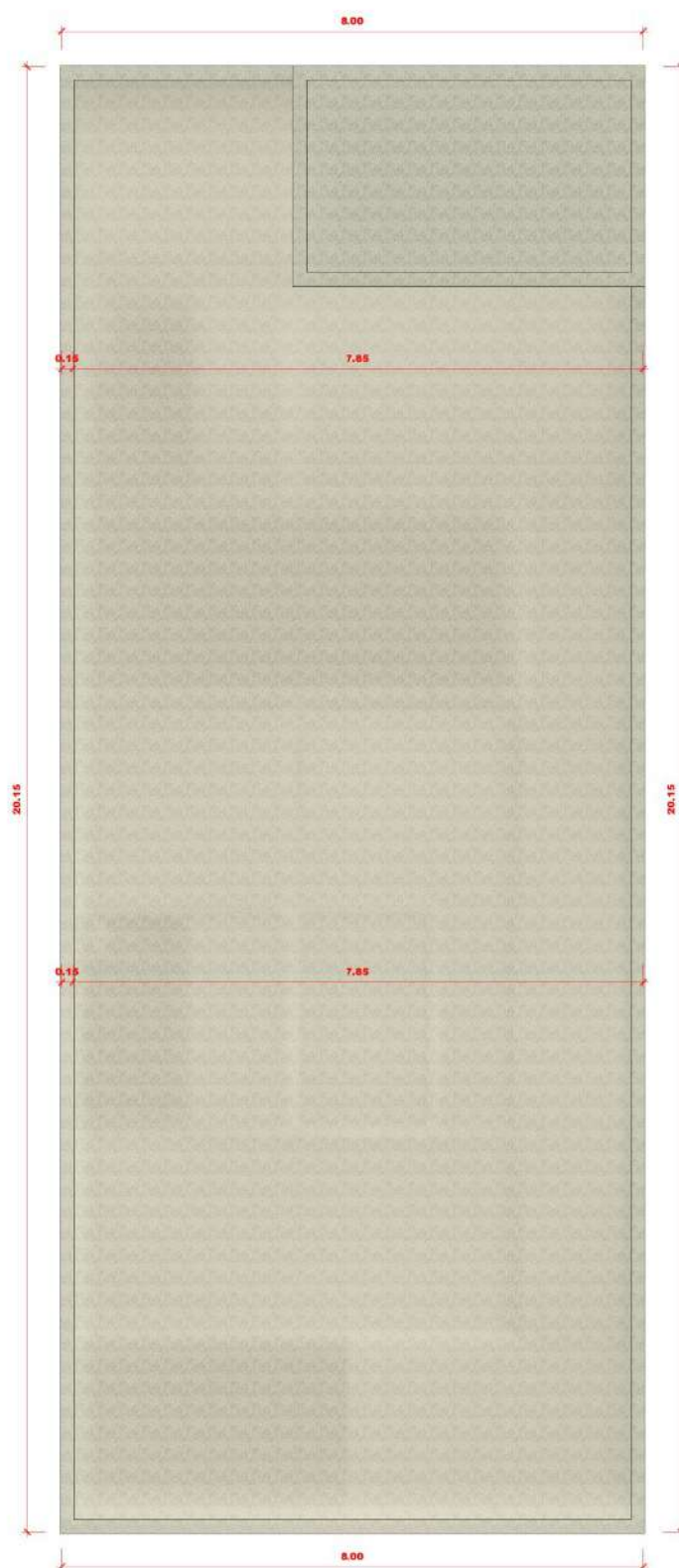
TQS. **O TQS e o BIM. 201?** 2021. Acesso em: 30 de setembro de 2021. Disponível em: <http://www.tqs.com.br/Produtos/BIM/TQS_>. Citado na página 30.

Apêndices



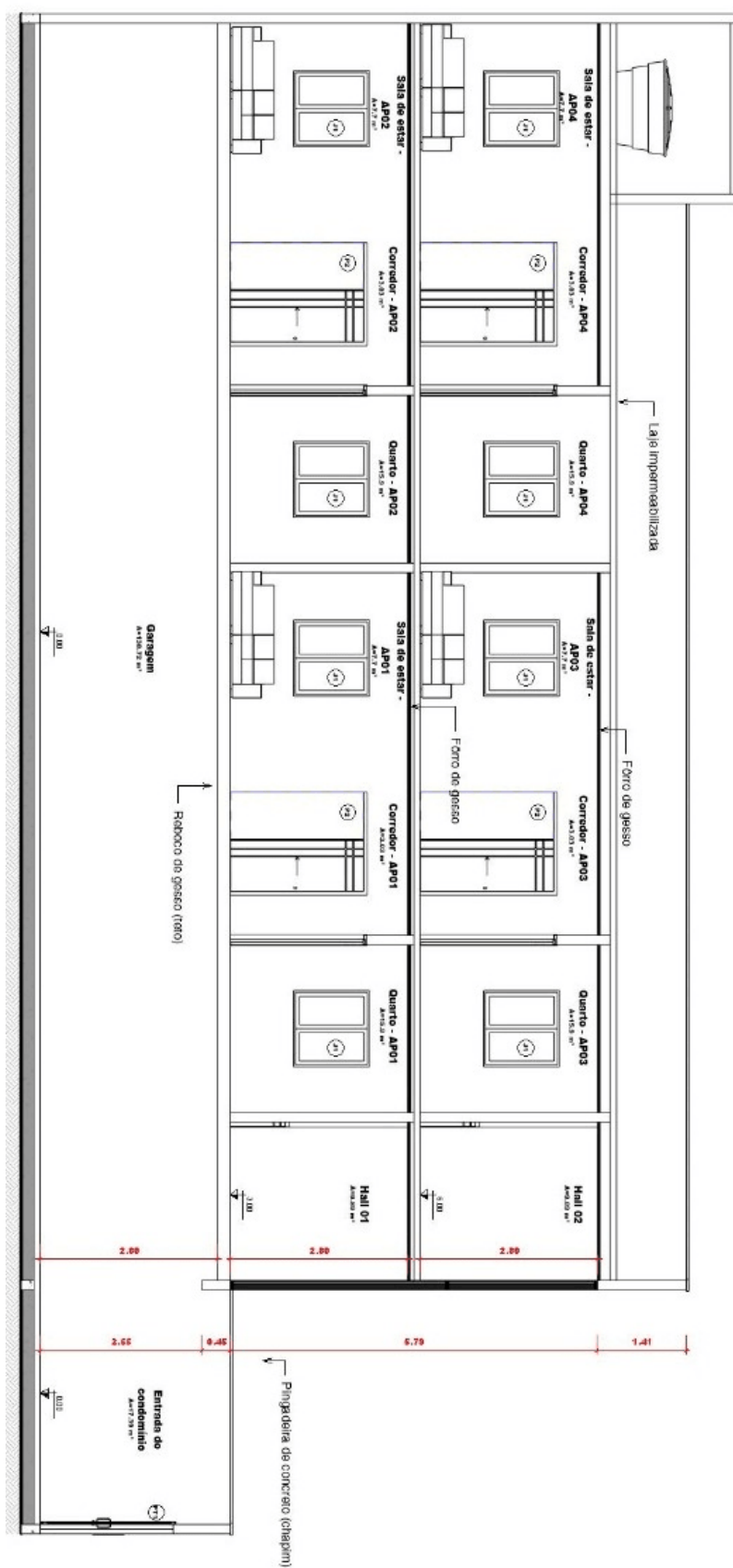
Planta baixa pavimento tipo

Fonte: Autor, 2021



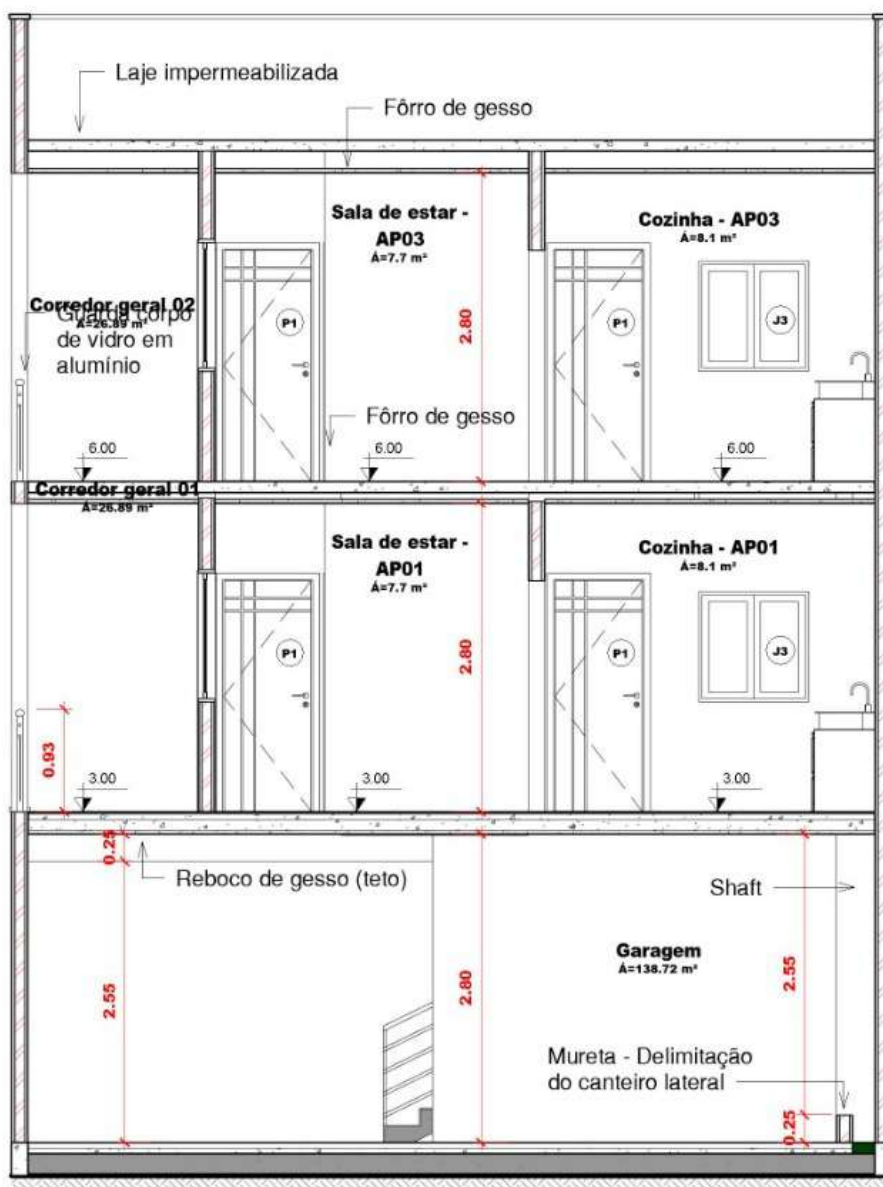
Planta baixa cobertura

Fonte: Autor, 2021



Planta de Corte 01

Fonte: Autor, 2021



Planta de Corte 02

Fonte: Autor, 2021