

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**DANIELLE CRISTINA SOEIRA GARCIA**

**THIAGO MACHADO DA SILVA**

**ANÁLISE DE *SOFTWARES* ESTRUTURAIS E SUAS  
INTEROPERABILIDADES COM O BIM**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CURITIBA**

**2021**

**DANIELLE CRISTINA SOEIRA GARCIA**

**THIAGO MACHADO DA SILVA**

**ANÁLISE DE *SOFTWARES* ESTRUTURAIS E SUAS  
INTEROPERABILIDADES COM O BIM**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. M. Eng. Amacin Rodrigues Moreira

**CURITIBA**

**2021**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**  
**ANÁLISE DE *SOFTWARES* ESTRUTURAIS E SUAS**  
**INTEROPERABILIDADES COM O BIM**

Por

DANIELLE CRISTINA SOEIRA GARCIA

THIAGO MACHADO DA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado no segundo semestre de 2020, pela seguinte banca de avaliação presente:

---

Orientador – Prof. M. Eng. Amacin Rodrigues Moreira

---

Prof. M. Eng. Mauro Edson Alberti

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Daniela Gutstein

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

## RESUMO

GARCIA, D.C.S.; SILVA, T. M. **Análise de softwares estruturais e suas interoperabilidades com o BIM**. 2021. 32 p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

O setor da construção civil brasileira está sendo modernizado gradativamente com a implementação do BIM no âmbito público e no privado como iniciativa de otimizar os processos de projeto e, conseqüentemente reduzir os custos e conduzir boas práticas. O presente trabalho visa a importância da integração entre *softwares* com a tecnologia BIM com enfoque em projeto estrutural, avaliando qualitativamente e quantitativamente de método isolado (sem realizar a integração) e coletivo. Esse último é avaliado através de estudo de interoperabilidade entre os *softwares* por meio da tecnologia IFC (presente em todos *softwares* BIM) e o *plugin* da TQS em parceria com o REVIT. São os objetos de estudo os *softwares* REVIT, TQS e CYPECAD. A abordagem metodológica conta com o desenvolvimento de um pré-dimensionamento manual na especialidade de estrutural. Os resultados da análise qualitativa (nível de eficácia) sobre o emprego da interoperabilidade foram promissores para a tecnologia (*plugin*) elaborada pela empresa TQS em parceria com o REVIT, em vez da tecnologia IFC.

**Palavras-chave:** BIM. CYPECAD. TQS. Interoperabilidade. REVIT.

## ABSTRACT

GARCIA, D.C.S.; SILVA, T. M. **Structural analysis software and its interoperability with BIM**. 2021. 32 p. Bachelor Degree in Civil Engineering - Academic Department of Civil Construction, Federal Technological University of Paraná. Curitiba, 2021.

The Brazilian civil construction sector is being gradually modernized with the implementation of BIM in the public and private spheres as an initiative to optimize design processes and, consequently, reduce costs and conduct good practices. This work aims at the importance of integrating software with BIM technology with a focus on structural design, evaluating qualitatively and quantitatively the isolated method (without integration) and the collective method (with integration). The latter is evaluated through an interoperability study between the software using IFC technology (present in all BIM software) and the TQS plugin in partnership with REVIT. The objects of study are the software REVIT, TQS and CYPECAD. The methodological approach relies on the development of a manual pre-dimensioning in the structural specialty. The results of the qualitative analysis (level of effectiveness) on the use of interoperability were promising for the technology (plugin) developed by the company TQS in partnership with REVIT, instead of the IFC technology.

**Keywords:** BIM. CYPECAD. TQS. *Interoperability*. REVIT.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - BIM e o ciclo de vida do edifício.....	14
Figura 2 - A natureza variável do Processo de Projeto .....	16
Figura 3 - Diagrama Elementos para o Revit .....	22
Figura 4 - Fluxograma geral da elaboração de um projeto estrutural .....	23
Figura 5- Fluxograma geral da elaboração de um projeto estrutural .....	24
Figura 6 - Planta baixa do pavimento térreo.....	27
Figura 7 - Planta baixa do pavimento superior .....	28
Figura 8 – Exportação IFC do modelo físico .....	30
Figura 9 – Importação IFC do modelo físico.....	31
Figura 10 – Reconhecimento do modelo físico .....	31
Figura 11 – <i>Plugin</i> Revit 2021 .....	32
Figura 12 – Exportação do arquivo RTQ.....	33
Figura 13 - Cargas de paredes TQS .....	33
Figura 14 – Modelo físico-estrutural simples .....	34
Figura 15 – Modelo analítico correspondente ao modelo físico .....	35
Figura 16 – Inconsistência dos elementos .....	35
Figura 17 – Inconsistência dos elementos .....	36
Figura 18 – Importação de pilares.....	36
Figura 19 – Lançamento de uma parede no modelo físico-estrutural .....	37
Figura 20 – Definição das cargas de alvenaria no modelo.....	37
Figura 21 – Lançamento de lajes e vigas.....	38
Figura 22 – Modelo 3D do Cypecad – Estrutural do sobrado.....	39
Figura 23 - Sincronização de pavimentos TQS .....	39

Figura 24 - Modelo 3D TQS .....	40
Figura 25 - Planta pavimento superior.....	41
Figura 26 - Planta pavimento cobertura .....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis de Desenvolvimento do Modelo BIM.....	17
Tabela 2 - Percentual de elementos em conformidade para atribuição de conceitos	42
Tabela 3 - Critérios adotados para avaliação de interoperabilidade utilizando o IFC	43
Tabela 4 – Comparativo.....	44



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	10
1.1 OBJETIVOS .....	11
1.2 JUSTIFICATIVA .....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1 BIM - BUILDING INFORMATION MODELLING .....	13
2.2 MODELAGEM PARAMÉTRICA .....	14
2.3 MODELAGEM, COORDENAÇÃO E NÍVEL DE DESENVOLVIMENTO DO MODELO (LOD) .....	16
2.4 INTEROPERABILIDADE E O CONCEITO DE IFC .....	19
2.5 REVIT – <i>SOFTWARE</i> DE MODELAGEM .....	20
2.6 RELACIONAMENTOS DA MODELAGEM PARAMÉTRICAS COM O REVIT .	21
2.7 COMPORTAMENTO DE ELEMENTOS NO REVIT .....	21
2.8 TQS – <i>SOFTWARE</i> ESTRUTURAL .....	23
2.9 CYPECAD - <i>SOFTWARE</i> DE ENGENHARIA DE MÚLTIPLAS ESPECIALIDADES .....	24
2.10 NORMALIZAÇÃO .....	25
2.10.1 BIM .....	25
2.10.2 ESTRUTURAS .....	26
3 METODOLOGIA .....	27
3.1 CONCEPÇÃO E MODELAGEM ARQUITETÔNICA .....	27
3.2 CONCEPÇÃO E MODELAGEM ESTRUTURAL .....	28
3.2.1 PILARES .....	28
3.2.2 VIGAS .....	29
3.2.3 LAJES .....	29
3.3 CÁLCULO E ANÁLISE ESTRUTURAL .....	29
3.4 CYPECAD .....	30
3.5 TQS .....	32
4 RESULTADOS .....	34

4.1 AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE ENTRE O SOFTWARE REVIT E CYPECAD .....	35
4.2 AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE ENTRE O SOFTWARE REVIT E TQS 39	
4.3 COMPARATIVO .....	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	46
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

O BIM (Building Information Modelling) é uma série de processos modernos compactados, conceitualmente com características inovadoras no mercado empresarial da construção e da indústria. Trata-se de uma modelagem das informações de um empreendimento, abrangendo todo seu ciclo de construção, criando um modelo digital e integrando parcial ou totalmente as especialidades da engenharia. A tecnologia de modelagem é fundamentalmente composta com geometrias paramétricas, assim como, a interoperabilidade, que relacionado ao processo de coparticipação entre especialidades abrange as principais características deste conceito.

A complexidade de um projeto, é determinada tanto pelo número de tecnologias aplicadas em uma mesma construção (GRAY, 2006 apud FLORIO, 2007, p.2), quanto pelo conjunto de habilidades de interpretar as informações e, satisfazer as necessidades exigidas para a execução do projeto, preservando as comunicações síncronas entre o coordenador da tecnologia, seus colaboradores e clientes.

Os projetos da construção civil, principalmente os mais complexos, são exigidos por parte da contratante, pelo qual, a equipe de projetistas junto com a equipe executora, sejam capazes de coparticipar de todo o processo do projeto, com prazos menores, redução de custos, e maior qualidade. Estas vantagens são proporcionadas por um correto planejamento, este facilitado com o uso do BIM.

Para CAMPESTRINI *et al.* (2015, p. 28), “Um modelo computacional tem como objetivo ser uma base de dados sólida, em cima da qual são modeladas (geradas) informações para alimentar a equipe colaborativa.” Caso haja falha computacional no processo de troca de informações entre os *softwares*, associado a uma atenção reduzida dos profissionais devido a facilidade desta tecnologia, pode gerar falta de precisão das informações ao decorrer dos processos.

As limitações dos *softwares* e dos profissionais no manuseio, são os principais desafios da tecnologia BIM, porém, no mercado da construção civil, ela é considerada a melhor opção para reduzir o surgimento de possíveis problemas, antecipando uma série de tomadas de decisões, antes mesmo do empreendimento acontecer. Tudo isso, deve-se ao fato de vários colaboradores poderem participar, de

modo simultâneo, durante todo seu ciclo de vida da edificação de forma transparente. Conseqüentemente, sua utilização eleva o nível de confiabilidade dos projetos e processos de planejamento, como também apoia significativamente no controle de obras.

A implantação da tecnologia BIM tem como objetivo: resultar em diminuição de custos e, aprimorar a avaliação de riscos relacionados a construções de edificações e infraestruturas, ou seja, otimizar o processo convencional para uma interação dinâmica, tanto com apoio da ciência computacional, que tendem avançar na modelagem com realce nas áreas das engenharias, quanto a métodos otimizados de cálculos e produtividade.

A presente dissertação visa avaliar os impactos da tecnologia BIM, através dos critérios de avaliação do nível de confiabilidade do processo de interoperabilidade entre os *softwares* REVIT, TQS e CYPECAD, como também a flexibilidade que tecnologia permite a remodelagem para otimização dos recursos, conseqüentemente a redução de custos. Por isso é necessário acompanhar a evolução da ciência computacional em prol a comunidade de engenheiros, observando se realmente os parâmetros avaliados neste trabalho, houve avanços sólidos e significativos com base em estudos similares anteriores a este.

## 1.1 OBJETIVOS

### Objetivo Geral:

Desenvolver o processo de modelagem da estrutura em concreto armado de uma residência unifamiliar a partir da aplicação Autodesk REVIT e analisar suas interoperabilidades com os *softwares* TQS e CYPECAD.

### Objetivos Específicos:

- Detalhar a metodologia de trabalho dos *softwares* REVIT 2021 e TQS (v22), interligados através da plataforma BIM, com ênfase no *plugin* e nas novas versões lançadas conjuntamente pelas duas empresas, abordando as melhorias com base de experiências passadas por outros usuários;

- Detalhar a metodologia de trabalho dos *softwares* REVIT 2021 e CYPECAD (v2019.a), interligados através da plataforma BIM, contando apenas com a tecnologia IFC empregadas em ambas as plataformas dos *softwares*.

- Efetuar a modelagem de elementos básicos da arquitetura e estruturais (paredes, pisos, lajes, vigas, fundação) de uma residência no *software* REVIT, contando com pré-dimensionamento manual dos elementos, antes de realizar as análises nos *softwares* estruturais.

- Avaliar a interoperabilidade dos *softwares* estudados, analisando a eficiência do processo das novas versões e seus benefícios com base em comparações entre o CYPECAD e a TQS.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Com a ascensão do BIM, diversas ferramentas e *softwares* vêm surgindo e adaptando-se para integrarem com esse novo modelo de trabalho. Dentre tantas opções disponíveis no mercado, torna-se difícil escolher qual *software* se especializar e trabalhar.

Um aspecto importante para a escolha do programa certo, inclui o suporte para vários formatos de dados, não podendo apenas considerar a visualização ou a referência do modelo de dados, pois isto pode somente contribuir para as verificações visuais. De acordo com RUSTLER (2017), se o *software* puder importar vários modelos e transferi-los para o modelo de objeto de dados adequado, isto pode aumentar significativamente a flexibilidade e as possibilidades de uma troca de dados bem-sucedida e eficaz.

A finalidade deste trabalho, é analisar a interoperabilidade de dois programas estruturais com um projeto de modelagem no *software* REVIT. Este será executado pelos autores deste trabalho, identificando seus benefícios e falhas, propondo possíveis melhorias a serem desenvolvidas e avaliando os possíveis impactos que podem causar em outras especialidades.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BIM - Building Information Modelling

EASTMAN et al. (2008), apresenta o BIM como uma tecnologia de modelagem e uma associação de processos, comunicação e análise do modelo de construção. A tecnologia BIM tem como principal objetivo realizar a integralização do projeto com os participantes da indústria de arquitetura, engenharia e construção (AEC), empregando seu empenho para a construção de uma modelagem única.

Segundo ANDRADE e RUSCHEL (2009, p.603), o emprego do BIM pode ter um papel decisivo na melhoria das fases do projeto, auxiliando na geração de propostas coerentes com as solicitações dos clientes, na integração dos projetos entre si e na redução de tempo e custo na construção.

As principais “tecnologias” presentes no BIM que distinguem dos sistemas “não inteligentes” como o CAD, são elas: Modelagem paramétrica e interoperabilidade (EASTMAN et al.,2008).

Suas tecnologias e a capacidade de atualização, também são avaliadas positivamente em virtude de permitirem elevado grau de confiabilidade ao modelo que, controla grande contingente de informações e possibilita tornar compatível às referências que não estão associadas (vinculadas) de primeiro instante.

A tecnologia BIM tem suporte de incorporar diversas funções necessárias para realizar a modelagem de todo o ciclo de uma edificação, proporcionando uma melhora sólida na capacidade construtiva (EASTMAN et al.,2008).

A Figura 1, ilustra o ciclo de vida de uma edificação, abordando todas as suas fases construtivas. Eastman e colaboradores (2008) categoriza o ciclo em quatro fases distintas, estabelecendo seus usos e seus benefícios, atribuindo a ordem cronológica de serviços (MANZIONE, 2013 apud EASTMAN 2008 et al., p.39).

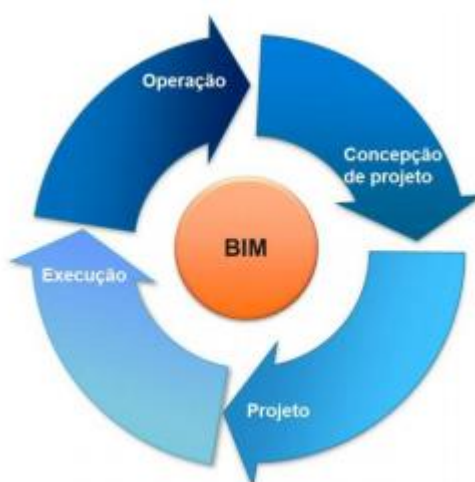
Fase de concepção: estudos preliminares de conceitos e viabilidade do projeto.

Fase de Projeto: visualização aprimorada dos estágios mais recentes do projeto, geração automática de desenhos 2D em qualquer estágio, facilidade de colaboração multidisciplinar, extração automática de quantitativos durante o processo do projeto, entre outras.

Fase de execução: sincronização do planejamento da obra com os objetos do modelo, omissões antes da execução da obra ou descoberta de interferências físicas entre elementos do edifício, possibilidade de implementar melhor a metodologia da construção enxuta, sincronização das fases de aquisição, projeto e construção.

Fase de operação: melhor gerenciamento da operação dos sistemas e ativos do edifício.

**Figura 1 - BIM e o ciclo de vida do edifício**



**Fonte: Manzione (2018)**

## 2.2 Modelagem Paramétrica

No âmbito da construção civil, a utilização de parâmetros para definição das geometrias dos elementos construtivos, tem demonstrado sua eficácia no processo de um projeto. Assim, a modelagem paramétrica, é considerada uma ferramenta digital poderosa para explorar diferentes configurações geométricas em projetos para os integrantes da AEC (FLORIO et al.,2009).

A capacidade do modelo atual, com o apoio do avanço da ciência da computação, está na sua aplicabilidade de processar informações mais complexas. No âmbito de projetos, esta opção permite visualizar geometrias mais robustas, permitindo o poder de criar e manipular novas famílias de formas e de superfície de curvas. Com o auxílio das ferramentas computacionais em ambientes paramétricos,

pode-se definir as dependências entre os componentes, por meio da programação e uso de variáveis, denominados de parâmetros. Estes, portanto, possibilitam moldar suas regras, traçar relações e, definir o relacionamento e a dependência entre os elementos, inclusive, o geométrico.

Um objeto pode variar conforme sua instância e contexto, dependendo de sua relação, inclusive, retornando informações de saídas para os usuários, evidenciando incompatibilidades encontradas no modelo.

A capacidade de atualização, diferencia modeladores paramétricos do CAD 3D tradicional (EASTMAN et al., 2014). Embora, até *softwares* recentes (como aqueles que permitem gerir configurações globais e de referências externas, melhor que os tradicionais para o mercado da construção civil), eles não permitem a compatibilidade de saídas com vínculos a outros *softwares* externos, portanto, sua capacidade de automação é reduzida.

Na metodologia BIM, os projetistas devem ter a capacidade de desenvolver a sua própria biblioteca de objetos personalizados, com propriedade de acordo com suas necessidades, ou seja, desenvolver as regras para seus projetos e os seus próprios padrões, a fim de estabelecer boas práticas (EASTMAN et al., 2010 apud PAPADOPOULOS, 2014).

Os atributos de um objeto, são necessários para integração com as ferramentas de análise como, por exemplo, estimativa de custos, porém é necessário que esses atributos sejam bem definidos pelos projetistas, pois garante a melhor produtividade (LEE et al., 2006 apud PAPADOPOULOS, 2014).

Outro fator de grande importância, é a implementação correta das vinculações que, em conjunto com a coerência, podem atribuir valor ao modelo. Logo, com a definição das conexões nos elementos como a parede, por exemplo, os espaços são bem mais representados e o modelo torna-se aplicável a outras análises, tais como eficiência energética e acústica (EASTMAN et al., 2014).

Contudo, no que expõe EASTMAN et al. (2014), é necessário observar que nem todo o tipo dependência de conexões, será efetuada de maneira explícita em um modelo. Ligações como o prego, por exemplo, para caixarias de formas de moldagem para uma concretagem, não tem sua representação direta no modelo, nem como estrutura de vinculação entre os elementos. Um dos principais motivos é a pouca confiabilidade empregada no modelo em razão da natureza do serviço empregado que oscila substancialmente no fator humano.

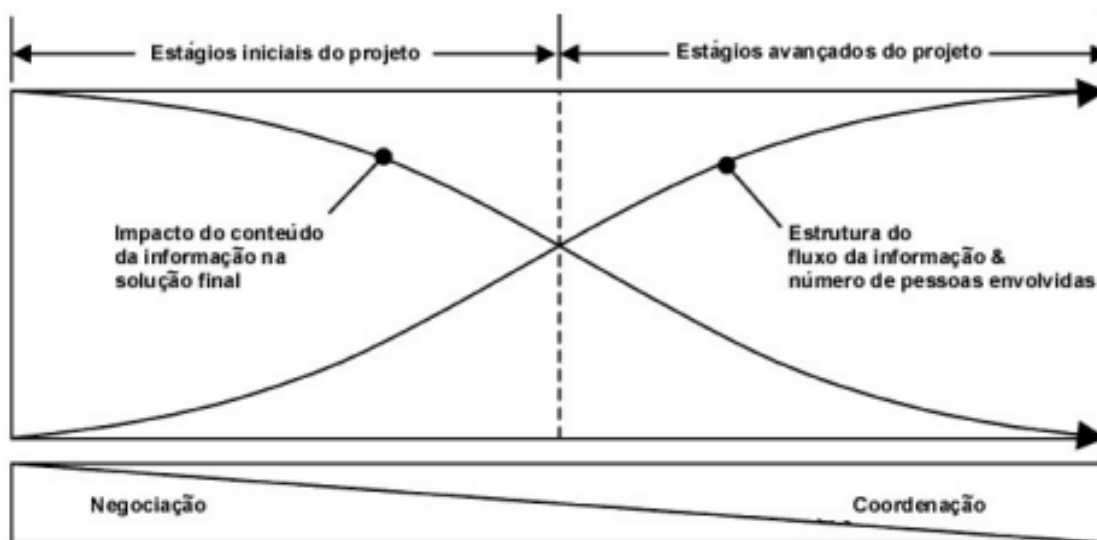


De acordo com KRETSCHMER (2018), trata o serviço empregado como o nível de detalhamento (diferente do nível de desenvolvimento - ND). Conseqüentemente, essas informações, devem ser abordadas de forma implícita pelo projetista com alguma prescrição de orientação ou simbologia/detalhes, ou seja, não está correlacionado aos parâmetros da geometria direta (ND, ver item 2.1.2).

### 2.3 Modelagem, Coordenação e Nível de Desenvolvimento do Modelo (LOD)

As fases dos processos de um projeto possuem uma natureza variável. Na fase inicial de desenvolvimento, o conteúdo das informações agrega consideravelmente para uma decisão mais eficaz e, à medida que o processo caminha para os estágios mais avançados, esse impacto diminui, correspondendo à passagem de um estado menos estruturado com grau de maiores incertezas, no qual preponderam as negociações para um estágio mais amadurecido, onde se possui um fluxo de informações otimizadas e estruturadas conforme cresce o número de agentes engajados no projeto, conforme Figura 2 (MANZIONE, 2013).

**Figura 2 - A natureza variável do Processo de Projeto**



Fonte: Adaptado de Austin et al. (2002)

Segundo MANZIONE (2013), com a criação de vistas para uma estrutura conceitual, é possível nortear de maneira coordenada o processo de desenvolvimento do projeto e a evolução do detalhamento das suas informações, cujo precede o conceito de nível de desenvolvimento.

O nível de desenvolvimento retrata o grau de qualidade para qual um elemento é desenvolvido, fazendo com que os membros da equipe entendam o nível de detalhe e visualizem decisões que estão ou não finalizadas, aprimorando os quesitos faltantes e desenvolvendo melhor produtividade.

Os níveis de detalhamento que ocorrem progressivamente ao longo do processo de desenvolvimento do projeto, são descritos em uma variação de cinco graus, que são elas: ND100 (fase conceitual), ND200 (geometria aproximada), ND300 (geometria precisa), ND400 (execução ou fabricação) e ND500 (obra concluída).

O Integrated Project Delivery: A Guide (AIA) representa os níveis de desenvolvimento na forma de diretrizes, em razão do uso do BIM, de tal forma, que os outros processos como planejamento, custo e cronograma, por exemplo, possam incorporar ao projeto. Com isso com a precisão geométrica e as informações se associam diretamente aos LOD. A tabela 1 apresenta essas diretrizes.

**Tabela 1 - Níveis de Desenvolvimento do Modelo BIM**

Níveis de Desenvolvimento --- Especificação e Usos do BIM					
Níveis >	100	200	300	400	500
Conteúdo do Modelo	Conceitual	Geometria aproximada	Geometria precisa	Execução --- fabricação	As-built
Projeto e Coordenação	Estudos de massa, volumes, zonas, modelados em 3 dimensões ou representados por outros dados	Os elementos são modelados de forma genérica e aproximadas de suas dimensões, peso, quantidades, orientação e localização. Informações não geométricas podem ser anexadas ao modelo	Os elementos são modelados de forma precisa e exata de suas dimensões, peso, quantidades, orientação e localização. Informações não geométricas podem ser anexadas ao modelo	Os elementos são modelados com o objetivo de montagem, de forma precisa e exata de suas dimensões, peso, quantidades, orientação e localização contendo o detalhamento de fabricação e montagem. Informações não geométricas podem ser anexadas ao modelo.	Os elementos são modelados conforme construídos com informações precisas e exatas das dimensões, peso, quantidades, orientação e localização. Informações não geométricas podem ser anexadas ao modelo.
					CONTINUA

					CONTINUAÇÃO
Usos recomendados					
Planejamento	Duração global da obra  Macro---planejamento Fases e maiores elementos	Escala de tempo, apresentação ordenada dos elementos principais	Apresentação ordenada pelo tempo das atividades principais e de conjuntos detalhadas	Fabricação e detalhes de montagem, incluindo meios e métodos de construção (gruas, elevadores, escoramentos, etc.)	
Estimativa de Custos	Custos estimados: exemplo R\$/m2 de área de construção, R\$/ leitos hospitalares, R\$/quarto de hotel	Custo estimado baseado em dimensões de elementos genéricos como paredes, lajes, etc.	Custos baseados em dimensões e especificações completas e detalhadas	Preços confirmados em propostas de fornecedores	Custos realizados
Cumprimento de programa de necessidades	Áreas brutas dos diversos setores	Requisitos específicos de cada um dos ambientes	Casos específicos, instalações e conexões		
Materiais sustentáveis	Estratégias para atendimento dos requisitos LEED	Quantidades aproximadas de materiais organizados pelas categorias LEED	Quantidades precisas de materiais com a porcentagem de materiais reciclados	Seleção dos fornecedores específicos	Documentação das compras e especificações
Análises e simulações de iluminação, uso de energia, fluxos de ar.	Estratégia e critérios de desempenho baseado em áreas e volumes.	Projeto conceitual baseado na geometria aproximada e em pré---definições de sistemas.	Simulação aproximada baseada em sistemas projetados.	Simulação precisa baseada nas especificações do fabricante e em detalhes dos componentes dos sistemas.	Comissionamento e registro dos resultados obtidos.
Outros usos que podem ser desenvolvidos					
Circulação, rotas de fuga, acessibilidade					
Atendimento de requisitos de normas					

Fonte: Adaptado de Exhibit (2008)

É válido ressaltar a distinção entre o nível de detalhe e nível de desenvolvimento, na qual, o primeiro, trata-se do grau do fluxo de informação inserida no modelo e, o segundo, caracteriza-se pela utilidade da informação, sendo classificado conforme o nível de detalhe é incorporado no elemento do modelo, o que é relevante em termos de sua aplicação para construção da edificação (BIMFORUM, 2017).

## 2.4 Interoperabilidade e o Conceito de IFC

De acordo com MANZIONE (2013), a interoperabilidade no contexto cultural, é definida como a habilidade em implementar e gerenciar as relações colaborativas entre os membros de diversas especialidades que possibilitam o desenvolvimento de projetos de edifícios, de tal maneira, que o gerenciamento do modelo seja integrado através de diferentes tipos de sistemas computacionais por diferentes tipos de redes locais ou remotas.

O intercâmbio de informações da interoperabilidade, no contexto técnico, passa por quatro níveis, sendo elas: Nível de arquivos (troca de informações bem sucedidas em seus arquivos), Nível de sintaxe (habilidade do *software* analisar os modelos trocados sem ocorrência de erros), Nível de visualização (nível geométrico fiel do modelo que está sendo trocado) e por fim o Nível de semântica (habilidade do *software* possuir entendimento comum nos significados entre os modelos trocados). Esta última também trata da capacidade de sistemas de *software* em interpretar a informação automaticamente para produzir resultados úteis finais se ambos sistemas (JIM STEEL, DROGEMULLER e TOTH, 2012 apud MANZIONE, 2013).

Segundo RUSCHEL (2009), na existência de uma boa interoperabilidade, elimina-se a necessidade de retrabalho na entrada de dados que já tenham sido incorporados no modelo e, facilita-se o fluxo de trabalho entre os *softwares* durante o processo de projeto.

Ainda no que expõe RUSCHEL (2009), para que haja uma boa interoperabilidade, é necessária a implementação de um protocolo internacional de troca de dados entre os *softwares* e processos do projeto. O protocolo adotado atualmente é o Industry Foundation Classes (IFC).

Segundo MANZIONE (2013), a tecnologia IFC surge neste contexto como um modelo de dados de tradução em formato “não proprietário”, pois as aplicações, em formato individual, possuem estruturas internas em formato “proprietário”. Por isso, a existência do IFC, que também pode ser considerada como um protocolo de integração das aplicações, não compromete seus códigos fontes de desenvolvimento individuais.

Entretanto, o IFC não padroniza todas tarefas, restringindo apenas a padronização das informações compartilhadas, definidas pelo protocolo de objetos contida no seu código de tradução.

No Brasil, o cenário que a AEC impõe sobre o mercado da construção, o sistema de integração ainda não é considerado como algo importante para a maioria das indústrias, dificultando o aprimoramento da tecnologia IFC. Porém, por determinação do governo federal brasileiro, através do decreto Nº 9.377, sancionado em 2018; prevê que o setor da indústria que almeja ingressar no gerenciamento de obras públicas a partir de 2021, devem implementar na elaboração, os de modelos para a arquitetura e na engenharia as disciplinas de estrutura, hidráulica, AVAC e elétrica na detecção de interferências, na extração de quantitativos e na geração de documentação gráfica a partir desses modelos.

Este cenário trará desenvolvimento por parte da AEC no aprimoramento constante da ferramenta BIM e, conseqüentemente, da tecnologia de tradução que podem ser além do protocolo IFC, como a parceria entre o REVIT e a TQS.

## 2.5 REVIT – *Software* de Modelagem

O REVIT é um *software* desenvolvido pela empresa Autodesk que integra o conceito BIM, que possibilita a modelagem 3D e a precisão do que está sendo projetado, independente da complexidade da edificação e seu enfoque pertence a indústria AEC, principalmente na construção civil. Como saída de dados, oferece informações sobre projeto, o escopo, as quantidades e as fases do projeto quando forem necessárias (AUTODESK, 2018a).

## 2.6 Relacionamentos da Modelagem Paramétricas com o REVIT

O REVIT permite a coordenação e o gerenciamento de alterações, uma vez que essas relações são criadas tanto automaticamente pelo *software* quanto pelo usuário enquanto faz o manuseio (AUTODESK, 2018b).

Como os tipos de relações se baseiam em CAD matemáticos e mecânicos, números ou características, logo trata-se de parâmetros. Portanto, a operação do *software* é paramétrica. Esta capacidade, oferece a coordenação fundamental e os benefícios de produtividade do REVIT (AUTODESK, 2018b).

A AUTODESK (2018b) expõe alguns exemplos de demonstrações destas relações entre elementos:

- Uma porta é uma cota fixa a partir de uma parede divisória adjacente. Se você mover a parede, a porta retém essa relação com a parede.
- Caso altere o tipo de porta, a parede tende a se ajustar de tal maneira que a divisória se mantém vedada.
- A borda de um piso ou de um telhado está relacionada com a parede externa, de tal maneira que, quando a parede externa for movida, o piso ou telhado permanecerá unido a ela. Neste caso, o parâmetro é de associação ou conexão.
- O vergalhão é igualmente espaçado em uma determinada elevação. Se o comprimento da elevação for alterado, a relação de igualdade de espaçamento será mantida. Neste caso, o parâmetro não é um número, mas sim uma característica proporcional.

A característica fundamental do REVIT é sua capacidade de modelar coordenando as alterações e mantendo a consistência em todo o ciclo do modelo (AUTODESK, 2018b).

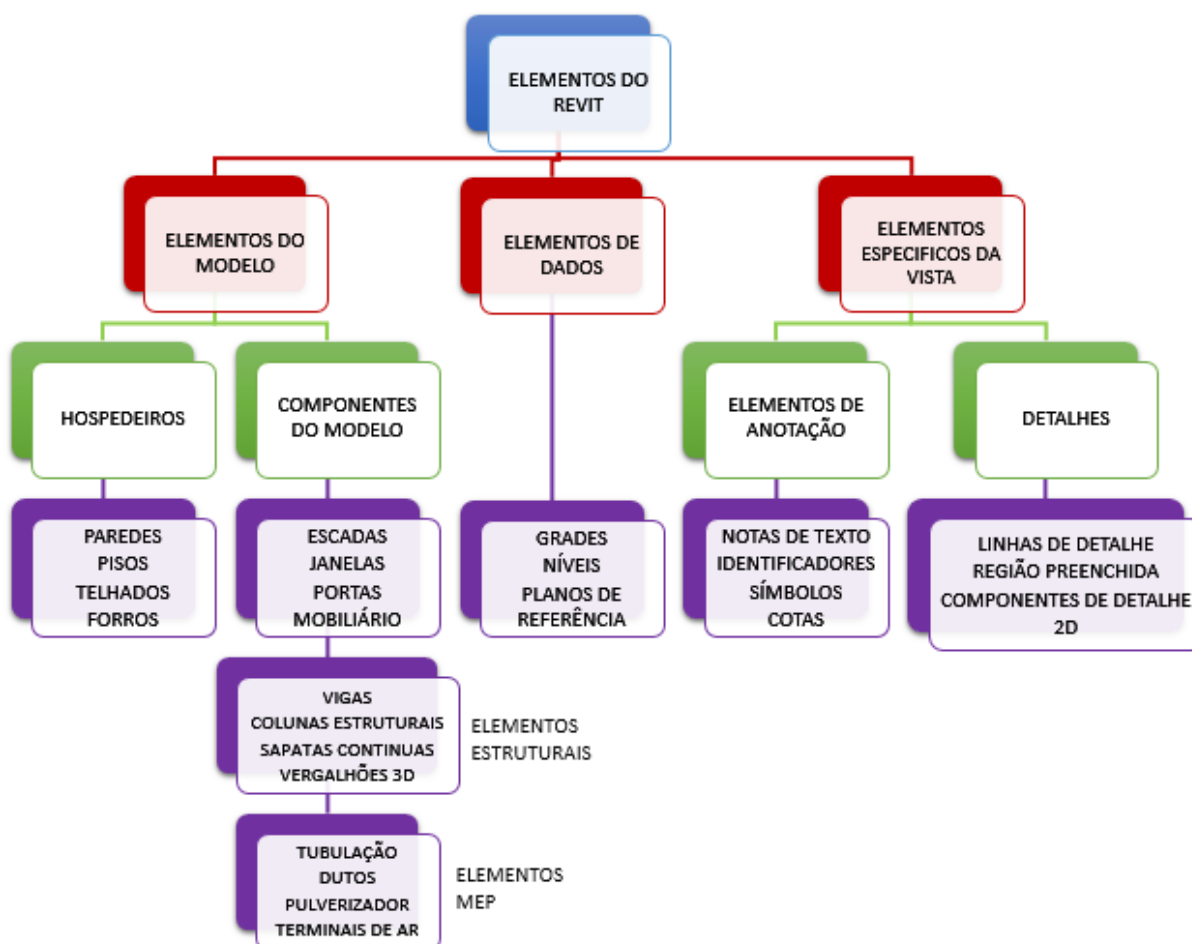
## 2.7 Comportamento de Elementos no REVIT

O *software* REVIT utiliza três tipos de elementos em projetos: elementos do modelo, elemento de dados e elementos específicos da vista que de acordo com a AUTODESK (2018c), são elas:

1. Elementos do modelo que representam a geometria real 3D de uma construção. Eles são exibidos em vistas relevantes do modelo.

- Exemplos: Paredes, janelas, portas e telhados
  - Paredes estruturais, lajes e rampas
  - Pias, caldeiras, dutos, sprinklers e painéis elétricos.
2. Elementos de dados ajudam a definir o contexto do projeto. Por exemplo, níveis, eixos e planos de referência são elementos de dados.
  3. Elementos específicos da vista somente são exibidos em vistas nas quais são colocados. Eles ajudam a descrever e documentar o modelo. Por exemplo, cotas são elementos específicos da vista.

**Figura 3 - Diagrama Elementos para o REVIT**



Fonte: Adaptado do AUTODESK (2018c).

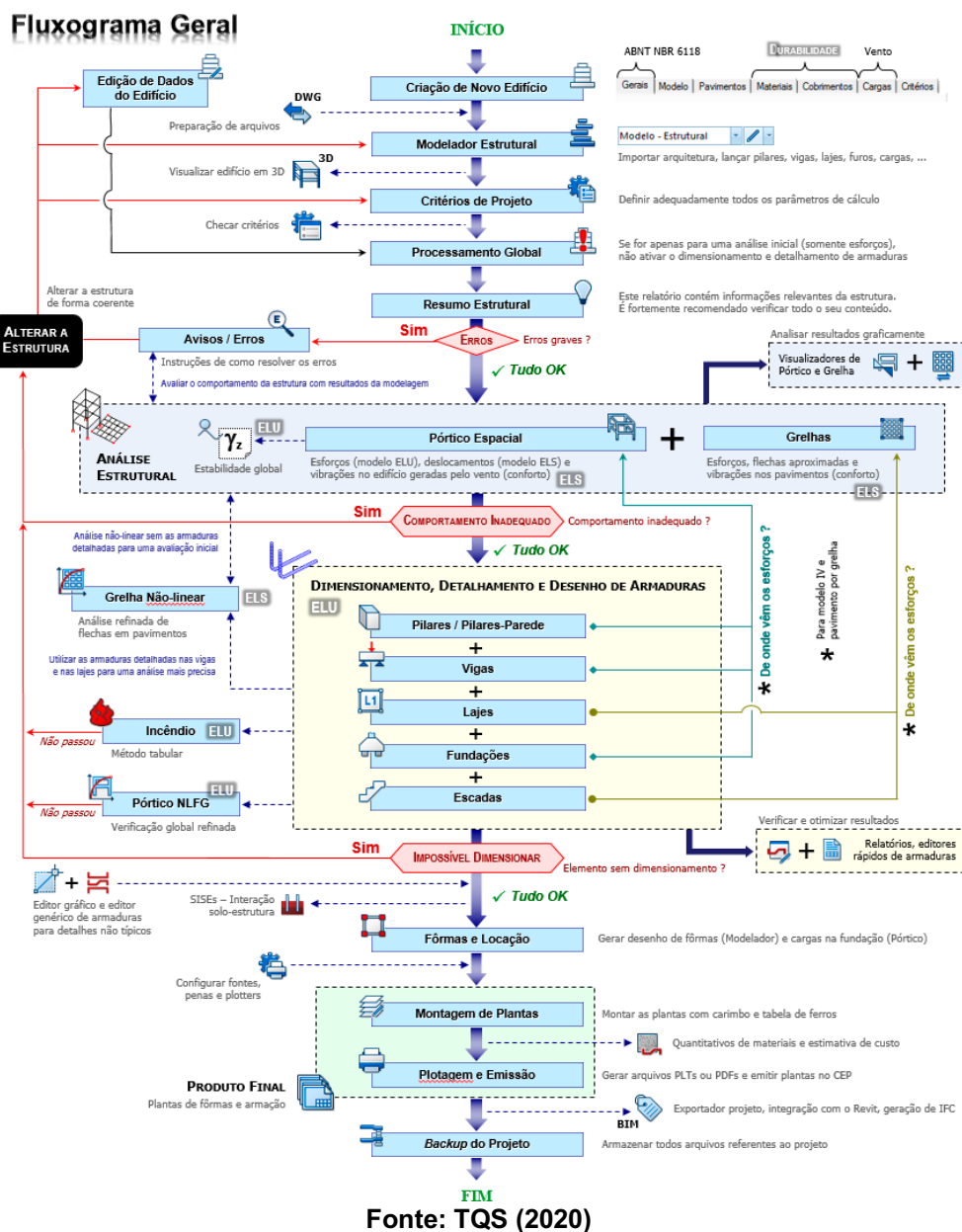
Existem dois tipos de elementos de modelo, que são os hospedeiros que geralmente são constituídos no local de terreno da construção como paredes, telhados e forro. Por sua vez, o componente do modelo são todos os outros tipos elementos no modelo de construção (AUTODESK, 2018c).

## 2.8 TQS – Software estrutural

O *software* brasileiro TQS, bastante difundido para a elaboração de projetos estruturais de edificações de concreto armado, é composto por um conjunto de sistema que possibilita realizar o dimensionamento e detalhamento de armaduras, geração de desenhos, concepções estruturais e análises estruturais (TQS, 2020a).

Na Figura 4, encontra-se o fluxograma geral elaborado pela empresa, que representa, de forma resumida, as principais etapas necessárias para elaboração de um projeto estrutural padrão no sistema TQS.

**Figura 4 - Fluxograma geral da elaboração de um projeto estrutural**





Cabe salientar que, a empresa está na versão V22 e possui parceria com a Autodesk em um tradutor próprio desenvolvida pela própria TQS, ou seja, abrange outros tipos de protocolos distinto do IFC universalizado. Entretanto, vale ressaltar que o IFC também se encontra presente na versão.

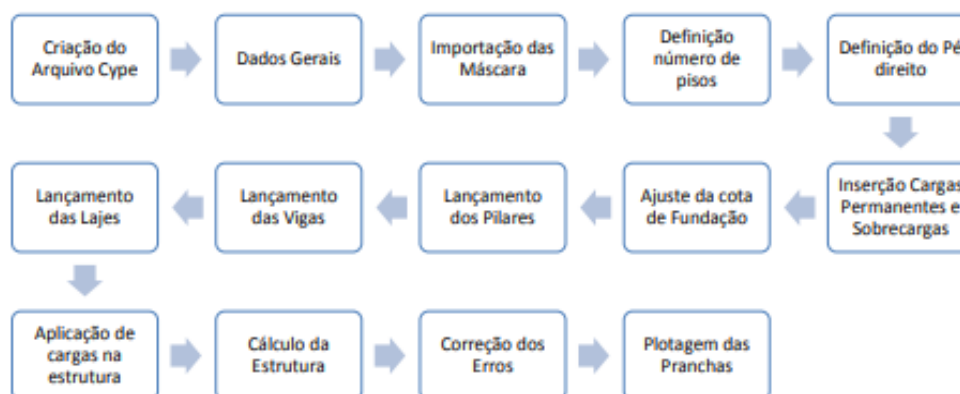
## 2.9 CYPECAD - *Software* de engenharia de múltiplas especialidades

O *software* CYPECAD é advindo de Portugal como país desenvolvedor e, atualmente, é administrado pela filial CYPEBRASIL, responsável por traduzir o modelo para normas vigentes brasileiras, assim, abrangendo uma grande gama do mercado que, também tem como objetivo, a elaboração de projetos estruturais de edificações de concreto armado, composto por um conjunto de sistemas que possibilitam realizar o dimensionamento, detalhamento de armaduras, geração de desenhos, concepções estruturais e análises estruturais. Entretanto, a CYPECAD abrange outras especialidades, como a parte hidráulica, abastecimento de água, análise de ventos e climatização.

A empresa mostra-se promissora no mercado da AEC no BIM, devido a sua integração em possuir seus protocolos internos “próprio”, caso a equipe de colaboradores utilize boa gama dos módulos da mesma aplicação para o projeto. Por outro lado, a CYPECAD conta com apenas com a tecnologia IFC para integrar com outras aplicações.

De aspecto geral para o lançamento da estrutura no *software*, segue resumida as etapas de desenvolvimento do modelo estrutural, conforme o fluxograma a seguir:

**Figura 5- Fluxograma geral da elaboração de um projeto estrutural**



Fonte: MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS. CYPECAD (2016)

## 2.10 NORMALIZAÇÃO

### 2.10.1 BIM

A normalização do BIM no Brasil é representada pela CEE-114 e gerenciada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Segundo Catelani e Santos (2016), a associação de norma técnica criou uma comissão por iniciativa do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC) em 2009, onde também foi criada a comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção, ABNT/CEE-134, designada a desenvolver normas técnicas sobre BIM. Três atividades foram definidas como temas iniciais de trabalho de comissão, que são elas:

- Tradução da norma ISO 12006-2;
- Desenvolvimento de um sistema de classificação para construção;
- Desenvolvimento de diretrizes para criação de componentes BIM.

Ainda no que expõe os autores Catelani e Santos (2016), no ano de 2010 foi publicada a norma ABNT NBR ISO 12006-2:2010 Construção de Edificação - Organização de Informação - Parte 2: Estrutura para Classificação de Informação, que define estrutura para classificação de informação, formando diretrizes e uma estruturação para a concepção de sistemas de classificação das informações da Construção, permitindo o desenvolvimento de sistemas de classificação compatíveis internacionalmente.

Em segunda ocasião, tendo como base na ABNT NBR ISO 12006-2:2010, foi apresentado o sistema de classificação das informações da construção, que aborda a questão mais crítica à construção civil e a padronização das informações utilizadas, que podem contribuir para visualização do trabalho colaborativo (CATELANI E SANTOS, 2016).

Por seguinte em julho de 2012, o comitê organizador do grupo de trabalho da ABNT/CEE-134 para desenvolver a terceira atividade planejada: o Grupo de trabalho de componentes BIM (CATELANI E SANTOS, 2016).

A ABNT NBR 15965-1:2011 é a primeira norma técnica elaborada pelo comitê que possibilita a padronização para todo país da nomenclatura utilizada em seus processos.

## 2.10.2 Estruturas

Como o presente trabalho aborda o lançamento de laje treliçada no modelo físico-estrutural, a norma vigente que rege o dimensionamento é a ABNT NBR 14859-1:2016, que define as vigotas treliçadas, podendo ter a previsão de armadura complementar na execução ou de fábrica.

O lançamento da laje treliçada também deve seguir as diretrizes da norma da ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto. A norma prevê os principais parâmetros de qualidade, que devem ser considerados a durabilidade da estrutura durante a elaboração do projeto, estabelecendo o cobrimento da armadura com relação a classe de agressividade do ambiente e à classe de resistência mecânica.

Vale ressaltar que a ABNT NBR 6123:2013 - Forças devido ao vento em edificações, em status de revisão, estabelece metodologias para avaliação das cargas de vento.

### 3 METODOLOGIA

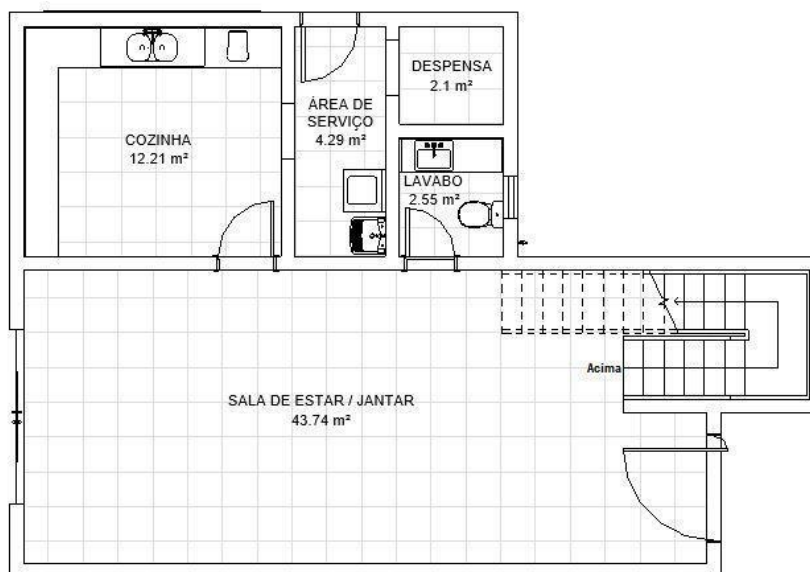
Para a execução deste trabalho, utilizou-se como base um projeto arquitetônico de uma residência unifamiliar de dois pavimentos, desenvolvido pelos autores deste trabalho.

#### 3.1 CONCEPÇÃO E MODELAGEM ARQUITETÔNICA

A elaboração do projeto arquitetônico foi realizado no *software* REVIT, versão estudante 2021, com a utilização de um *template* de arquitetura. Para a concepção dos cômodos da residência, levou-se em conta o agrupamento das áreas molhadas, para um melhor aproveitamento hidráulico, a circulação entre as áreas e a futura integração entre os projetos hidráulico, estrutural e elétrico.

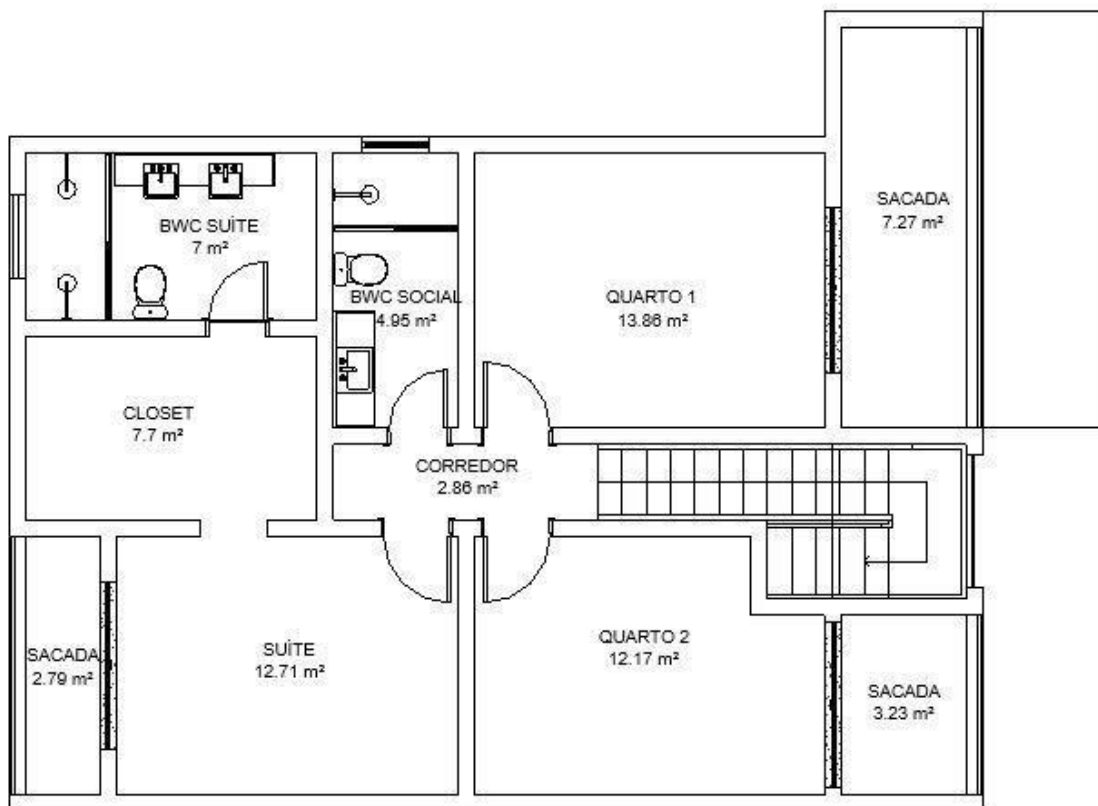
O pavimento térreo possui cozinha, sala de estar e jantar, área de serviço, despensa e lavabo, que totaliza uma área de 75,89 m<sup>2</sup>. No pavimento superior há uma suíte com closet e sacada, dois dormitórios, ambos com sacada, banheiro social e circulação, que completa uma área de 97,62 m<sup>2</sup>. A disposição arquitetônica, representada nas Figuras 6 e 7, buscou atender a ABNT NBR 15575-1:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais, a qual estabelece as dimensões mínimas para ambiente residencial.

**Figura 6 - Planta baixa do pavimento térreo**



**Fonte: Os autores (2020)**

Figura 7 - Planta baixa do pavimento superior



Fonte: Os autores (2020)

### 3.2 CONCEPÇÃO E MODELAGEM ESTRUTURAL

Para a modelagem dos elementos estruturais, criou-se um arquivo no REVIT com *template* estrutural e adicionou-se um vínculo para o arquivo arquitetônico da edificação, realizado anteriormente.

Vale ressaltar que os elementos estruturais foram pré-dimensionados de acordo com os itens a seguir.

#### 3.2.1 Pilares

Iniciou-se com a locação dos pilares, onde buscou-se o alinhamento destes para melhor distribuição das vigas e um aproveitamento da inércia para proporcionar uma maior estabilização da estrutura. Com seções transversais de 14x30 e outros com 14x36.

### 3.2.2 Vigas

As vigas, inicialmente, foram inseridas de forma a contornar a edificação, primeiramente ligando os pilares externos e depois os pilares internos. Buscou-se alocar as vigas, de tal maneira que, evitasse o uso de laje em balanço e que a carga de alvenaria fosse bem distribuída. Para o dimensionamento dos elementos da seção transversal adotou-se como largura 14 cm e a altura variando de 30 a 50 cm, conforme a regra da continuidade e a regra do 1/12 do vão (um doze avos), onde a altura da viga é calculada dividindo o comprimento do vão por 12.

### 3.2.3 Lajes

As lajes serão do tipo pré-fabricadas treliçadas com preenchimento por lajotas eps.

## 3.3 CÁLCULO E ANÁLISE ESTRUTURAL

A ABNT NBR 6118:2014 define os critérios gerais para projetos de estruturas de concreto, sendo estes apresentados a seguir:

- Classe de agressividade

De acordo com o ambiente que a edificação está inserida, atuam diferentes ações físicas e químicas na estrutura, para isso há a classificação de classe de agressividade na Tabela 6.1 (ABNT NBR 6118:2014). Para o projeto de estudo, considerou-se o ambiente urbano, sendo este identificado como Classe II, agressividade moderada, com pequeno risco de deterioração da estrutura

- Resistência do concreto

Na tabela 7.1, da mesma norma, é retratado a máxima relação água e cimento (a/c) e a resistência mínima característica (fck) do concreto para cada classe de agressividade. Seguindo esses parâmetros, a edificação utilizará concreto C30 (fck) e uma relação a/c máxima de 0,60.

- Cobrimento nominal

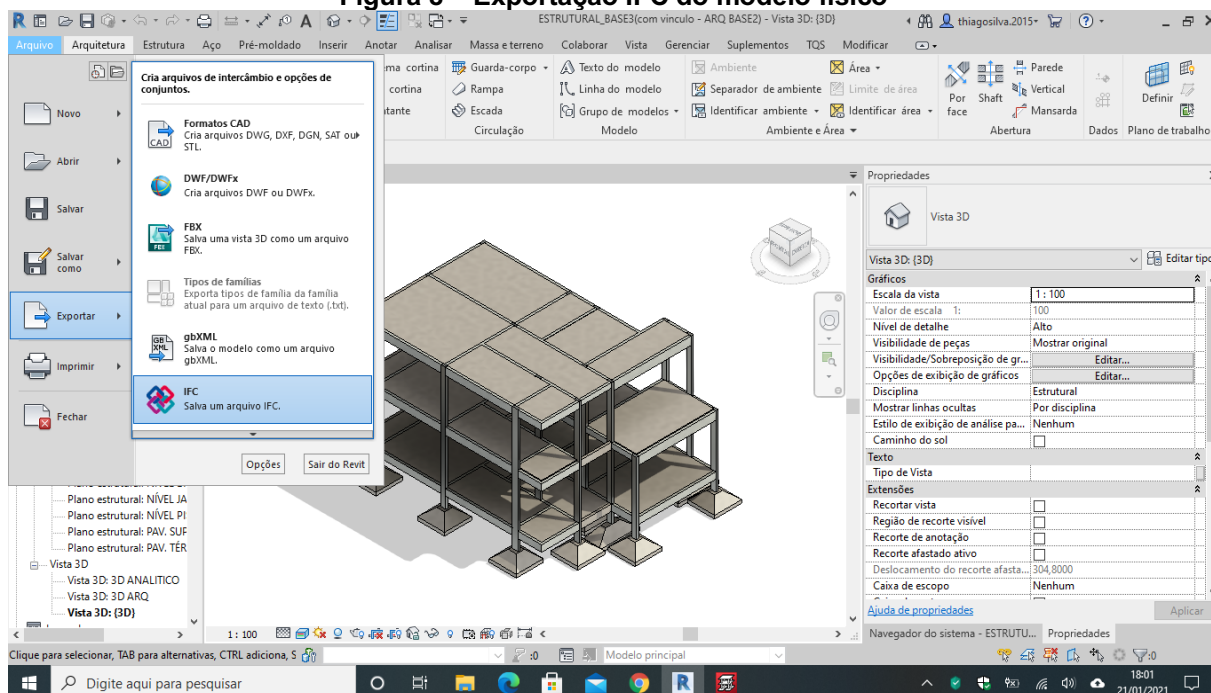
Na tabela seguinte da norma, Tabela 7.2, estão representados os cobrimentos nominais mínimos para cada estrutura. Adotou-se cobertura nominal de 30 mm para vigas, pilares e elementos de fundação e 25 mm para as lajes.

Para a realização da análise estrutural, exportou-se o modelo físico-estrutural em formato IFC para os *softwares*, assim como o emprego do *plugin*, elaborada pela TQS em parceria com o REVIT, consequentemente, dimensionou-se a estrutura em cada e os resultados obtidos foram extraídos para a comparação posteriormente, esses procedimentos estão descritos nos itens seguintes.

### 3.4 CYPECAD

Utilizando a ferramenta de exportação dentro do *software* REVIT (Figura 8), se exportou o projeto para o formato IFC que serviu de base para o projeto estrutural elaborado no *software* CYPECAD.

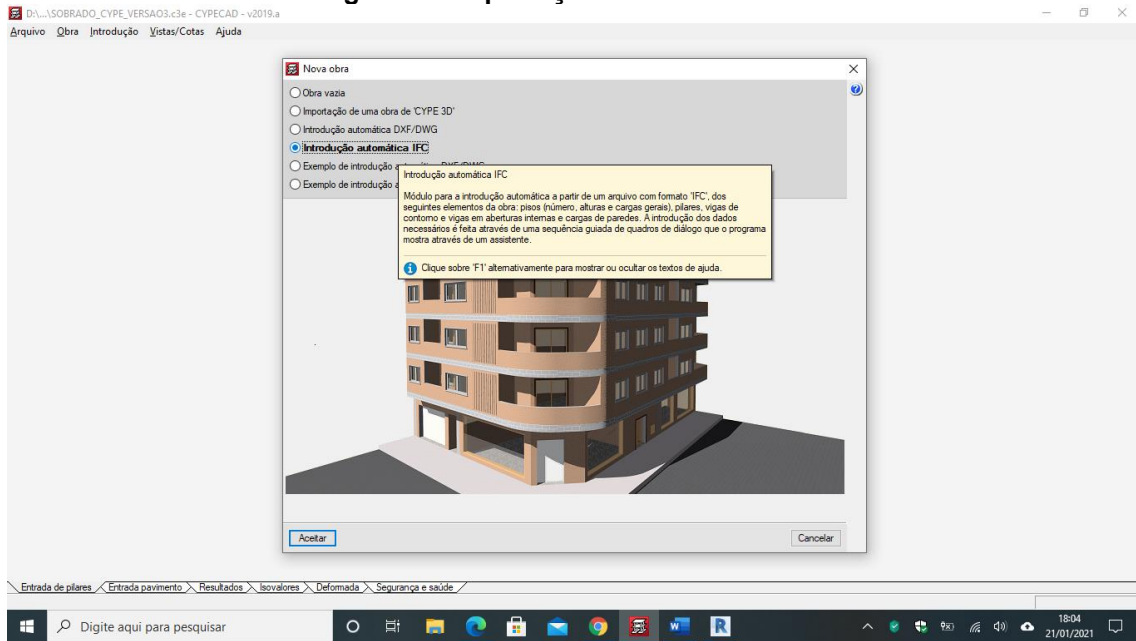
**Figura 8 – Exportação IFC do modelo físico**



Fonte: Os autores (2021)

O *software* CYPECAD possui em sua introdução, de maneira automática a opção do usuário importar o arquivo IFC, conforme a figura a seguir:

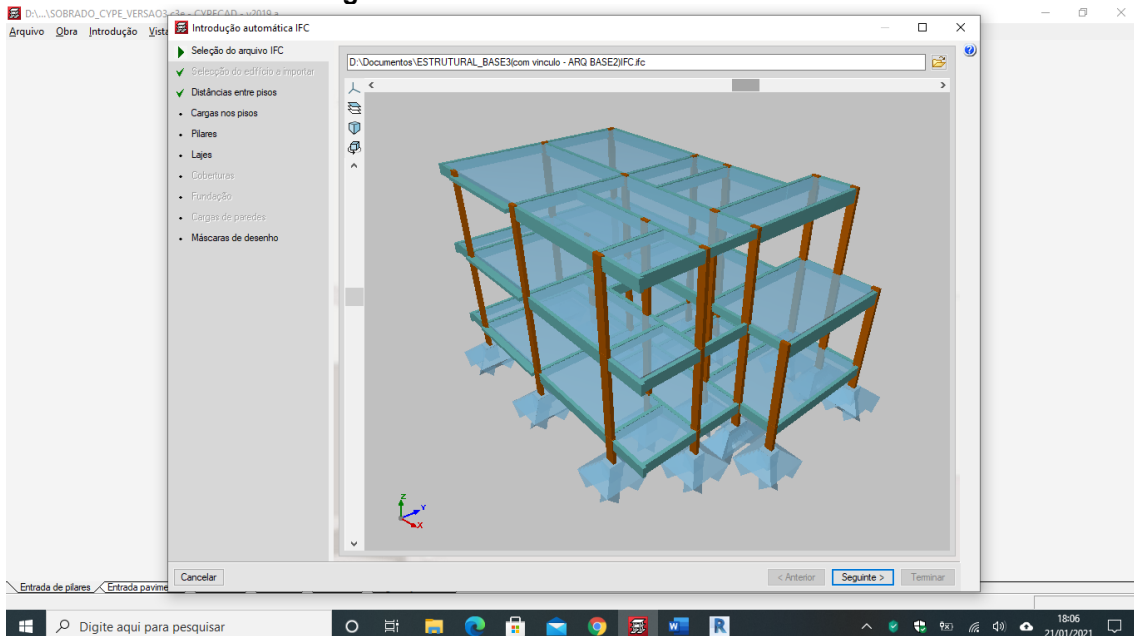
**Figura 9 – Importação IFC do modelo físico**



Fonte: Os autores (2021)

Com esta opção, o arquivo IFC do REVIT é importado para o *software*, que a primeiro instante reconhece o modelo físico estrutural (Figura 10).

**Figura 10 – Reconhecimento do modelo físico**

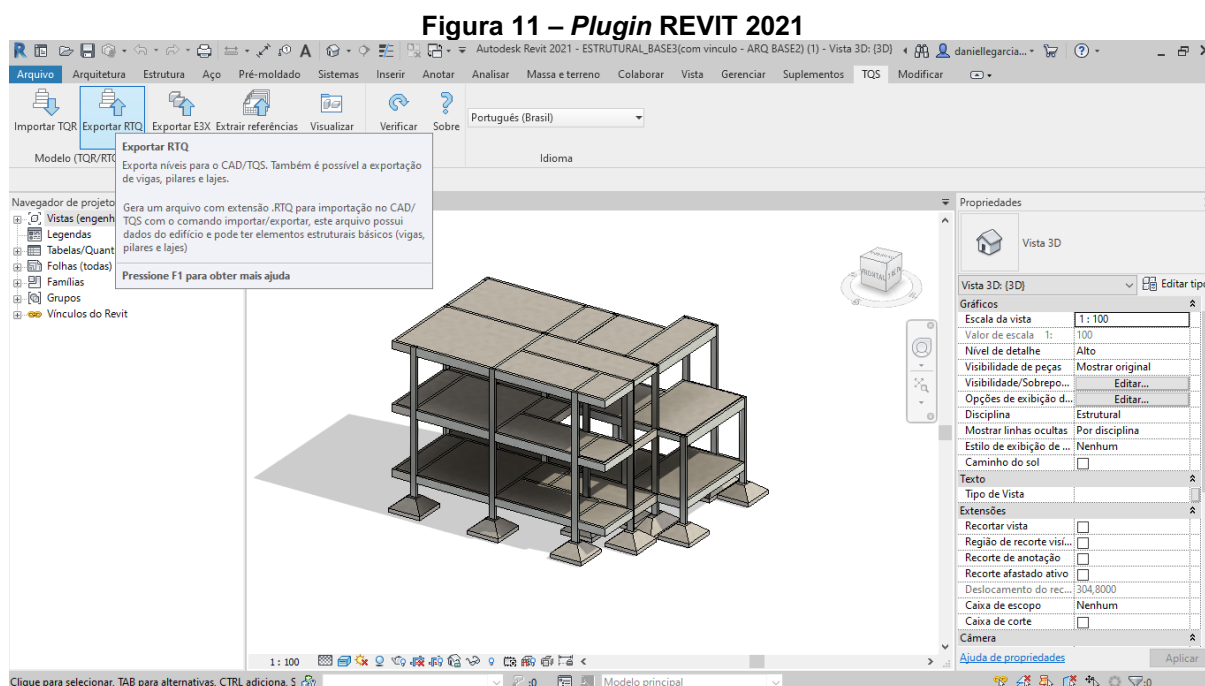


Fonte: Os autores (2021)



### 3.5 TQS

A exportação do modelo para o *software* TQS, foi através do *plugin* REVIT 2021. O *plugin* encontra-se disponível no site do TQS e possui várias versões, a partir do REVIT 2014. Ao integrá-lo no REVIT, surge uma nova aba “TQS”, a qual possibilita importar e exportar o modelo entre os *softwares* (Figura 11).



Fonte: Os autores (2021)

Ao selecionar a opção “Exportar RTQ”, é possível escolher a versão do TQS e os elementos que serão enviados (Figura 12). Como a modelagem estrutural foi realizada através de um vínculo do modelo arquitetônico, o processo foi executado em duas etapas. No modelo estrutural foi exportado os elementos estruturais do projeto e referências externas, e no modelo arquitetônico as paredes do edifício.

**Figura 12 – Exportação do arquivo RTQ**

Exportar RTQ

Versão TQS

V22

Exportar elementos estruturais

Exportar referências externas

Exportar paredes

Exportar tubos

Coordenadas de origem

Substituir caracteres inválidos por:

Exportar

Fonte: Os autores (2021)

Ao importar no *software* TQS, o usuário é advertido que trata-se de uma versão beta de um produto em desenvolvimento e por isso é necessário que se faça verificações do modelo transferido. É solicitado a criação de um novo projeto e em seguida ocorre a sincronização dos pavimentos.

Na aba "Instalações" do modelador estrutural é possível carregar o arquivo RTQS dos dados das paredes, para então o *software* reconhecer as cargas. Observe-se na figura 13, que o *software* identifica os tipos de paredes inseridos no modelo e solicita o valor de carga de cada por m<sup>2</sup>.

**Figura 13 - Cargas de paredes TQS**

Cargas de paredes

Tipo de parede	Carga de parede tf/m2	Desativar
CC_ND 200_EXT_BC 09_15 cm	0.000	<input type="checkbox"/>
CC_ND 200_EXT_BCE 14_19 cm 2	0.000	<input type="checkbox"/>
CC_ND 200_EXT_BCE 14_20 cm	0.000	<input type="checkbox"/>
CC_ND 200_EXT_BCE 19_25 cm	0.000	<input type="checkbox"/>
n x 2.10	0.000	<input type="checkbox"/>

Marque para evitar que esta classe de parede seja considerada no Modelador

Arquivo C:\TQS\Projeto\_Sobrado\TABCARPAR.DAT

As paredes serão geradas com as cargas distribuídas definidas aqui. Se não definidas, serão inicialmente inválidas, e terão que ser alteradas depois uma a uma.

OK Cancelar

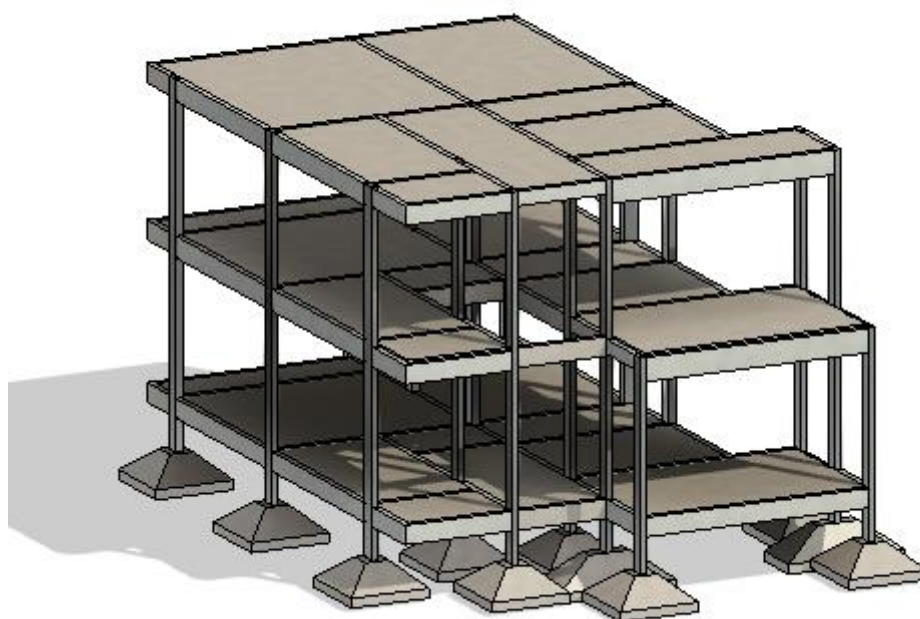
Fonte: Os autores (2021)

## 4 RESULTADOS

Para realização da avaliação de interoperabilidade através do formato IFC, utilizando os diversos tipos de *softwares* relacionados principalmente à modelagem arquitetônica / estrutural e análise estrutural, conforme mencionados na metodologia.

Utilizando o IFC como troca de informação, num contexto que demonstre explicitamente como o formato neutro e sua implementação lidam com diferentes representações envolvidas, foi criado um modelo físico-estrutural simples contendo os elementos citados na metodologia com base no pré-dimensionamento manual.

**Figura 14 – Modelo físico-estrutural simples**

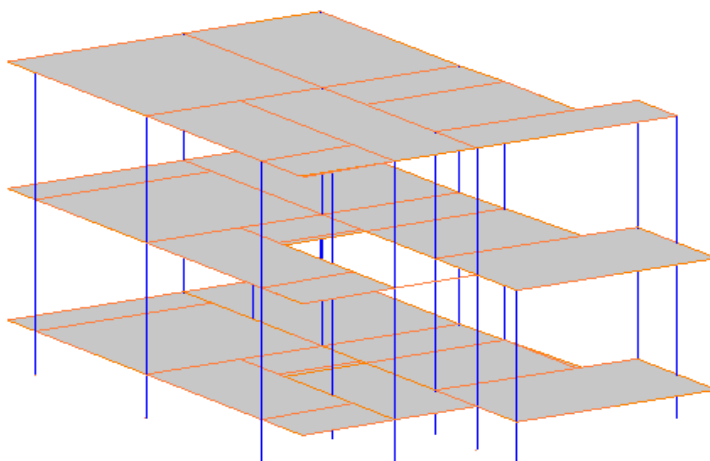


**Fonte: Os autores (2021)**

O modelo foi assim validado, após uma série de testes internos de consistência no *software* REVIT, pode seguir para a avaliação de interoperabilidade utilizando o formato IFC entre *softwares* que podem participar de um processo BIM.

Vale ressaltar que foi criado um modelo analítico no *template* estrutural do REVIT como forma de validação do modelo físico estrutural.

**Figura 15 – Modelo analítico correspondente ao modelo físico**



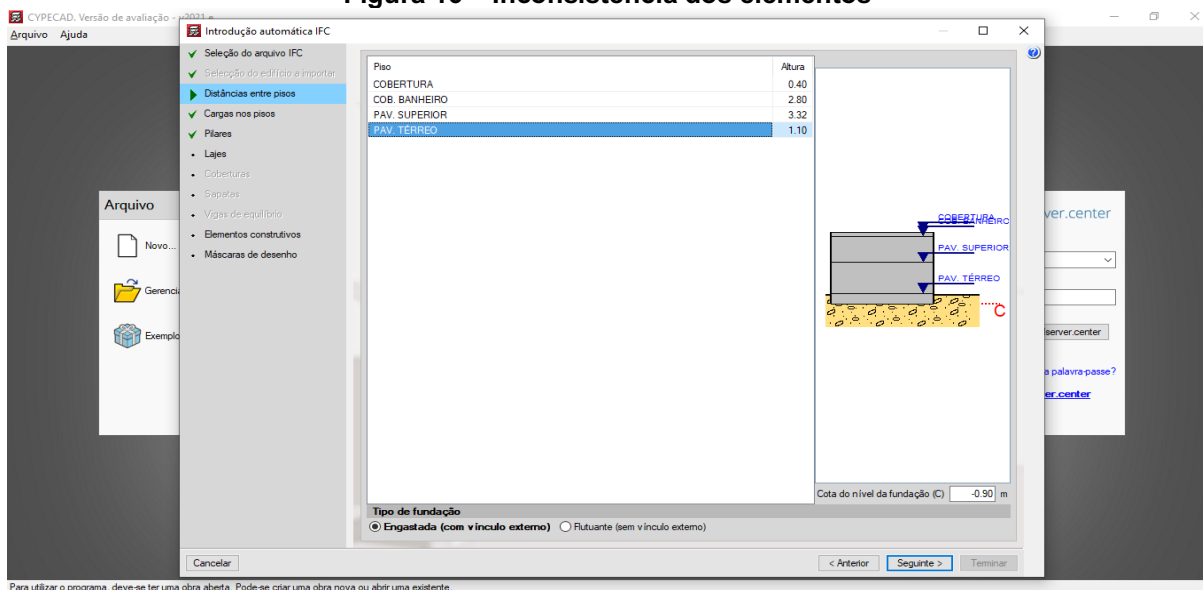
Fonte: Os autores (2021)

Após validado, o modelo IFC gerado a partir de um modelo físico-estrutural criado no Autodesk REVIT 2021 foi importado por cada uma das ferramentas BIM citadas no objeto de estudo na metodologia para avaliação da interoperabilidade.

#### 4.1 AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE ENTRE O SOFTWARE REVIT E CYPECAD

A distância entre pisos foi reconhecida com sucesso conforme a modelagem arquitetônica, conforme ilustra a figura 16.

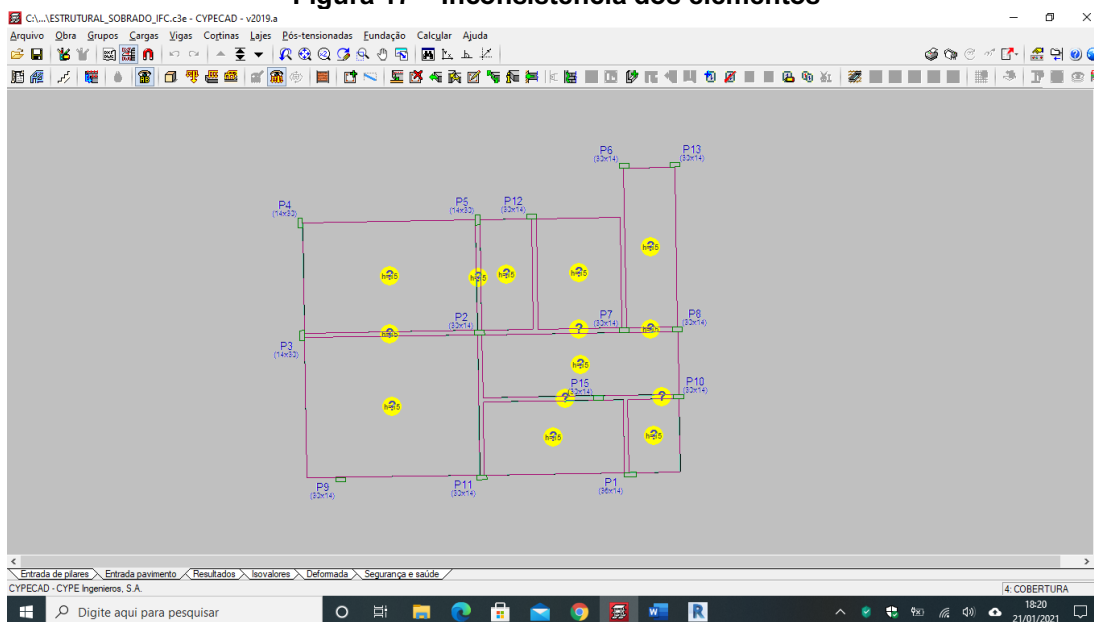
**Figura 16 – Inconsistência dos elementos**



Fonte: Os autores (2021)

Alguns elementos do modelo gerado a partir da importação do arquivo IFC apresentaram inconsistência quanto à orientação dos mesmos em relação ao eixo longitudinal, estando assim rotacionados incorretamente, conforme ilustra a Figura 17.

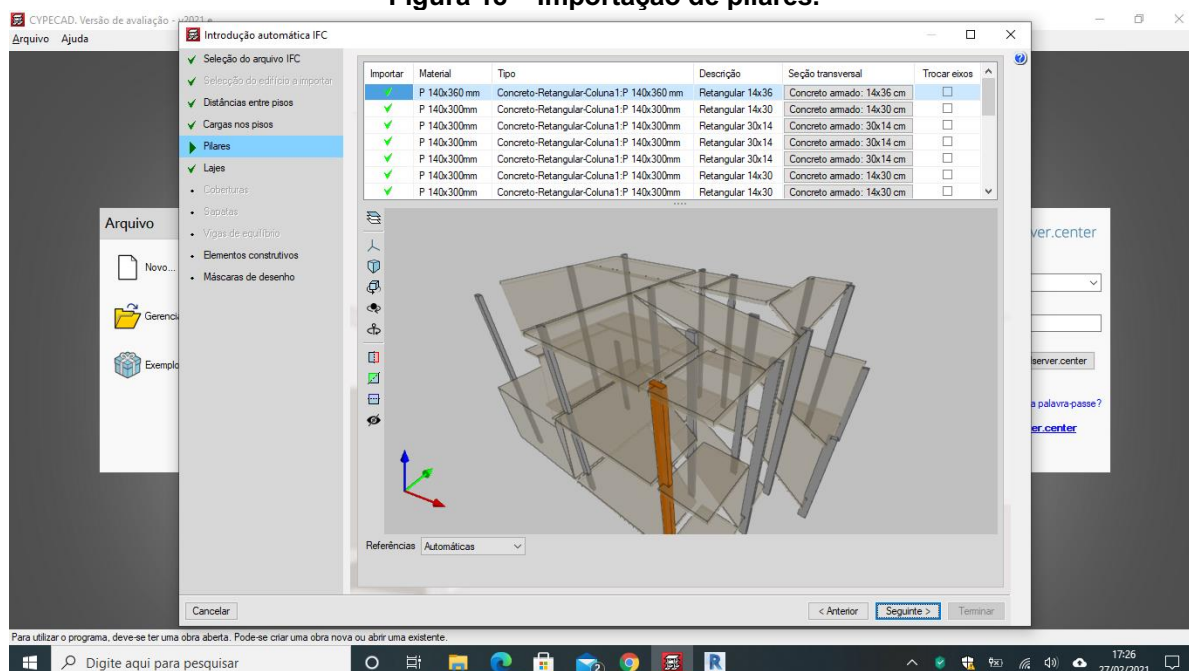
**Figura 17 – Inconsistência dos elementos**



Fonte: Os autores (2021)

No módulo de pilares, o programa reconhece os elementos assim como o seu dimensionamento do modelo físico estrutural, conforme ilustra a figura a seguir:

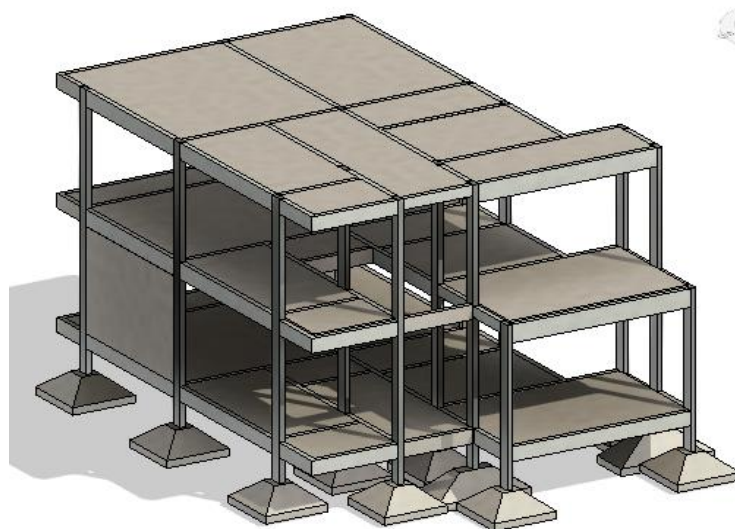
**Figura 18 – Importação de pilares.**



Fonte: Os autores (2021)

Para a verificação da carga lançada, a parede estrutural foi lançada no modelo físico-estrutural, na fachada esquerda, uma parede no pavimento térreo com propósito de avaliar o lançamento da carga do *software* sobre a viga, conforme ilustra a figura a seguir:

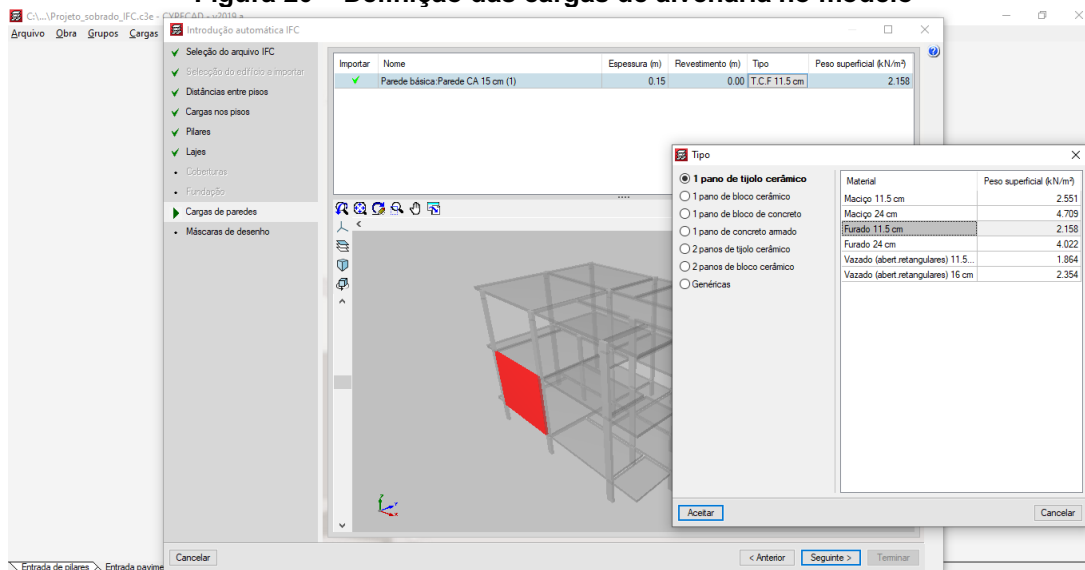
**Figura 19 – Lançamento de uma parede no modelo físico-estrutural**



Fonte: Os autores (2021)

O lançamento da carga estrutural da alvenaria é necessário informar ao CYPECAD o tipo de alvenaria a ser considerada, neste caso, foi considerado como parede de tijolo cerâmico furado de 11.5 cm de largura com carga superficial de 2.158 kN/m<sup>2</sup> (valor definido pelo *software*) segundo a norma ABNT NBR 6120:2019, conforme a figura 20.

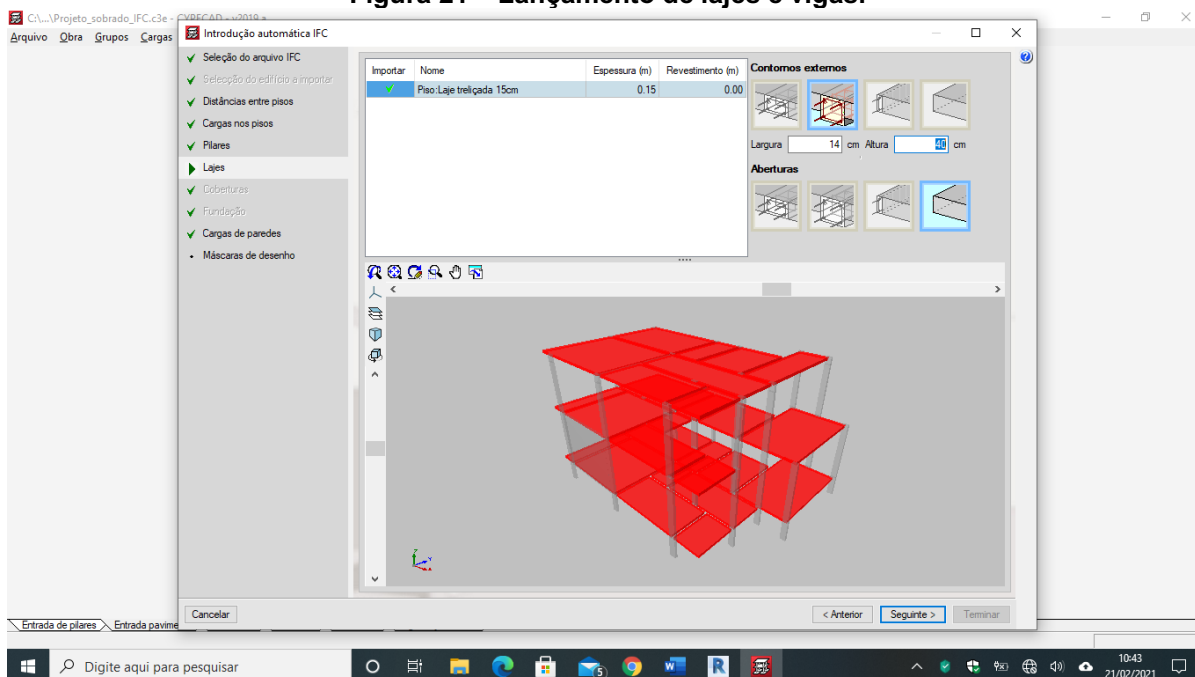
**Figura 20 – Definição das cargas de alvenaria no modelo**



Fonte: Os autores (2021)

A desvantagem do *software* de não possuir um módulo de lançamento de viga através dos elementos de pré-lançamento, diferentemente do TQS, por exemplo. A alternativa que o *software* faz o lançamento das vigas é através dos contornos externos e aberturas das lajes, ou seja, nenhuma informação das vigas é importada para o CYPECAD, assim como suas geometrias introduzidas no *software* REVIT, conforme ilustra a figura 21.

**Figura 21 – Lançamento de lajes e vigas.**



**Fonte: Os autores (2021)**

A carga gerada através da alvenaria sobre a viga não está coerente com a especificação de projeto e da carga atribuída pelo próprio *software*, gerando uma carga de 7 kN/m distribuída uniformemente sobre a viga, este fato ocorre pois o *software* calcula através da altura entre os desníveis de pisos, desconsiderado a altura da viga do pavimento superior. Ou seja, o *software* superdimensiona os valores da carga da parede de alvenaria.

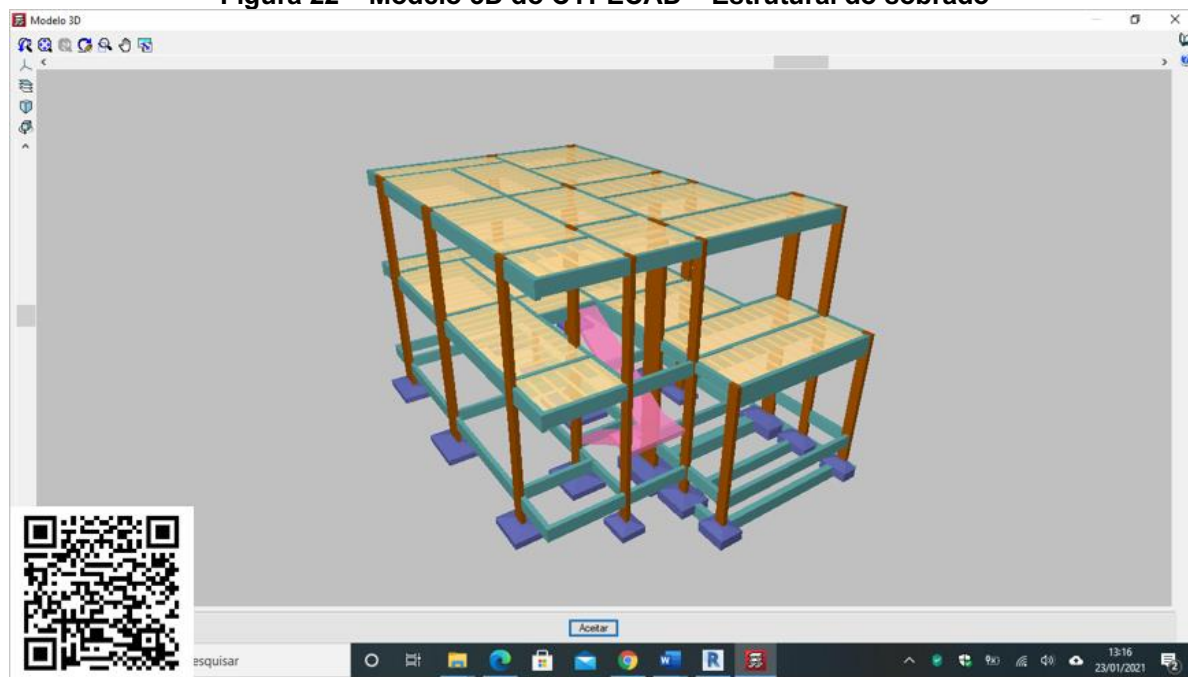
As aberturas da laje como na região da escada foram reconhecidas com sucesso pelo *software*.

As espessuras dos elementos planos, como de lajes e da alvenaria construtiva foram importadas com sucesso.



Foi necessário realizar diversas operações manuais para ajustar a integração de informação de *software* para outro, além de realizar o lançamento individual de vigas e elementos de fundação para obter o modelo final, conforme a figura seguinte:

**Figura 22 – Modelo 3D do CYPECAD – Estrutural do sobrado**

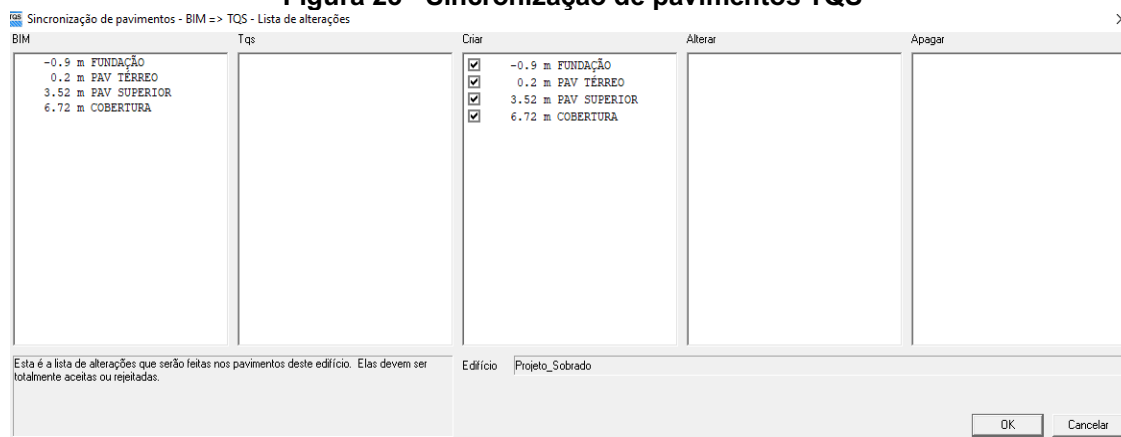


Fonte: Os autores (2021)

#### 4.2 AVALIAÇÃO DA INTEROPERABILIDADE ENTRE O SOFTWARE REVIT E TQS

Ao exportar o modelo do REVIT para o TQS, o *software* sincronizou todos os pavimentos com êxito e forneceu a opção de selecionar os níveis que serão criados no projeto, conforme mostra a figura 23. De acordo com o estudo realizado por Silva (2019), essa opção ainda não estava disponível na versão TQS 20.

**Figura 23 - Sincronização de pavimentos TQS**

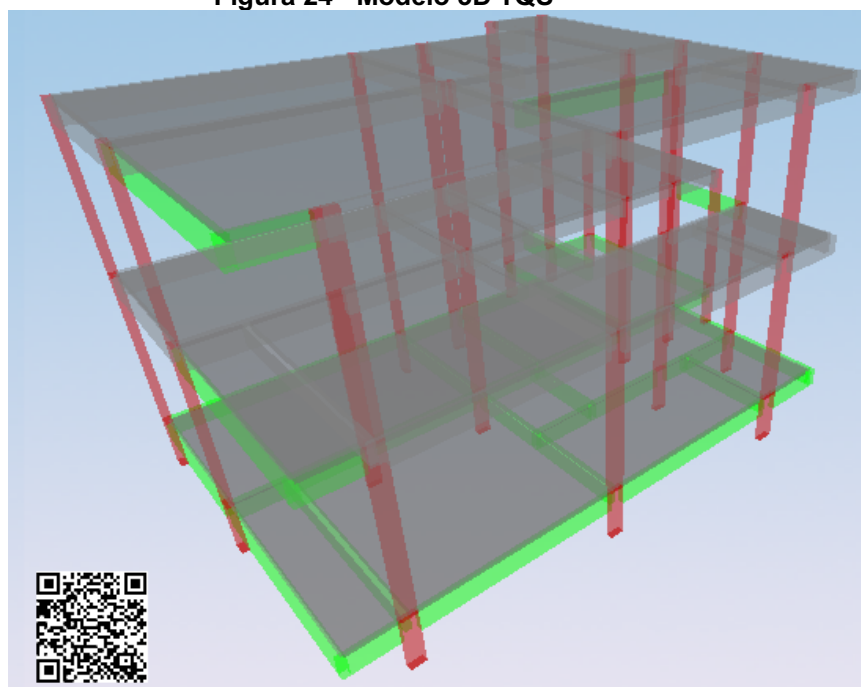


Fonte: Os autores (2021)



Os pilares foram inseridos com suas dimensões, posições e alturas corretas, entretanto, com relação às vigas, o *software* não identificou a maioria destas. O maior reconhecimento ocorreu no nível térreo, das 14 vigas existentes, apenas uma foi inserida de forma incompleta. Nos demais pavimentos grandes, parte das vigas não foram identificadas, totalizou-se somente 4 vigas no pavimento superior e 3 no pavimento cobertura, essas 7 vigas foram inseridas de forma incompleta (Figura 24).

**Figura 24 - Modelo 3D TQS**



**Fonte: Os autores (2021)**

As lajes do pavimento superior e da cobertura foram identificadas por completo, contudo, em três locais ocorreu um erro de inserção de uma laje a mais no ponto, conforme é possível observar nas figuras 25 e 26, (sendo estas identificadas em vermelho). As lajes receberam uma carga distribuída de 2tf/m.



Os elementos estruturais sincronizados receberam a nomeação de forma aleatória, como pode ser observado nas figuras acima.

As cargas de paredes foram identificadas por completo, não apresentou nenhum erro ou variação.

#### 4.3 COMPARATIVO

Após as avaliações de interoperabilidade entre os *softwares*, foi realizado uma análise comparativa, para isso os dados e informações coletados foram estabelecidos, ordenados e classificados em categorias.

Para efeito de estudo e comparação, utilizou-se os critérios de análise estabelecidos pelos autores Freire, Martha e Sotelino (2015), onde empregou-se os conceitos qualitativos.

Os conceitos definidos pelos autores Freire, Martha e Sotelino (2015) para as categorias foram **E** - Excelente; **S** - Satisfatório; **R** - Razoável; **I** - Informação insuficiente, conforme o percentual de elementos em conformidade com o modelo original, de acordo com a Tabela 2, foram atribuídos os conceitos como forma de padronizar e reduzir a subjetividade da análise.

O percentual dos critérios foi calculado a partir dos resultados validados dos elementos importados sobre o total do modelo físico-estrutural modelado no REVIT.

**Tabela 2 - Percentual de elementos em conformidade para atribuição de conceitos**

<b>CONCEITO</b>	<b>ELEMENTOS EM CONFORMIDADE(%)</b>
Excelente	$\geq 90 \%$
Satisfatório	$70 \% \leq S < 90 \%$
Razoável	$50 \% \leq R < 70 \%$
Informação insuficiente	$0 \% < R < 50 \%$
Ausente ou inconsistente	0%

Fonte: Freire, Martha e Sotelino (2015)

Foram analisadas vigas, pilares, lajes, paredes estruturais e fundação, sendo que cada item foi avaliado sob critérios específicos e subjetivamente considerados relevantes para cada caso.

Os critérios básicos considerados relevantes para a avaliação dos elementos estão discriminados e detalhados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Critérios adotados para avaliação de interoperabilidade utilizando o IFC**

<b>Critério</b>	<b>Definição</b>
Existência	Avalia quantos elementos foram representados do total originalmente modelado.
Geometria	Avalia se foram mantidas as seções transversais de cada elemento e suas propriedades físicas.
Material	Avalia se o material atribuído ao elemento em análise foi devidamente mantido.
Posicionamento	Avalia se o elemento em análise está devidamente posicionado de acordo com o modelo original.
Rotação (orientação)	Avalia a orientação do elemento em relação ao seu eixo longitudinal, verificando se o mesmo está devidamente rotacionado.
Contornos	Avalia os contornos de elementos planos como lajes e paredes estruturais se estão de acordo com o que foi originalmente modelado.
Aberturas	Avalia se as aberturas da laje, existentes no modelo original, foram mantidas.
Espessura	Avalia se a espessura de elementos planos como lajes e paredes estruturais foram devidamente importadas.

Fonte: Freire, Martha e Sotelino (2015)

A tabela 4 apresenta os resultados da eficácia da interoperabilidade dos *softwares* estudados.

**Tabela 4 - Comparativo**

<b>Critério</b>		<b>Experimento REVIT-TQS</b>	<b>Experimento REVIT-CYPECAD</b>
Existência	Pilares	100%	100%
	Vigas	42,10%	0%
	Lajes	100%	100%
	Fundações	100%	0%
Geometria	Pilares	100%	100%
	Vigas	100%	0%
	Lajes	82,35%	100%
	Fundações	100%	0%
Níveis dos pavimentos		100%	100%
Material		100%	100%
Posicionamento		100%	0%
Rotação (orientação)		100%	100%
Contornos		100%	100%
Aberturas em Laje		100%	100%
Espessura		100%	100%
Cargas de Alvenaria		100%	100%

**Fonte: Os autores (2021)**

Na categoria de existência de vigas o TQS e CYPECAD apresentaram erros, recebendo como conceito Informação Insuficiente e Ausente/Inconsistente, respectivamente, conforme critérios estabelecidos na Tabela 2.

Outro ponto de contraste foi nas categorias de existência de fundação, posicionamento dos elementos e geometria de vigas e fundações, as quais foram reconhecidas com sucesso pelo TQS, sendo atribuído o conceito de Excelente, em contrapartida, o CYPECAD com o conceito de Ausente/Inconsistente.

Com base nos valores da tabela 4, o software CYPECAD atingiu uma média geral de 68,75%, este valor representa a eficácia da tecnologia IFC, sendo atribuído o conceito Razoável. Por sua vez, o TQS obteve uma média de 95,28% se classificando no conceito Excelente.

Nessa análise de interoperabilidade o TQS teve um melhor desempenho comparado ao CYPECAD, entretanto, ambos necessitam aprimorar a tecnologia empregada nos softwares, como o IFC e o plugin.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A interoperabilidade entre os *softwares* no ambiente BIM e seu constante aperfeiçoamento é de extrema importância para o avanço da indústria da AEC. O emprego do formato IFC que tem características por ser neutro, universal e de código aberto possibilita a evolução deste processo e tem sido cada vez mais pesquisado, aprimorado e implementado.

Com este trabalho, buscou-se avaliar e comparar a eficiência da interoperabilidade entre o REVIT e TQS, assim como REVIT e CYPECAD, demonstrando em ambos a capacidade do intercâmbio de informações entre os *softwares* através do formato IFC e o *plugin* da TQS. Constatando seus pontos favoráveis e desfavoráveis que limitam a implementação da interoperabilidade em escritórios que utilizam o ambiente BIM.

O processo de intercâmbio de informações ideal é quando o projetista responsável seja capaz de realizar o dimensionamento e o detalhamento dos elementos sem a necessidade de retrabalho.

Como apresentado nos resultados na avaliação da interoperabilidade entre o *software* REVIT e CYPECAD, o modelo analítico importado pelo CYPECAD a partir da estrutura modelada no REVIT não permite a realização do projeto estrutural sem que ajustes sejam realizados, uma vez que foram constatados a não importação de elementos de fundações, alvenaria estrutural e alterações da geometria original dos elementos, por exemplo.

O CYPECAD não conseguiu reconhecer automaticamente a geometria dos elementos já dimensionados no modelo analítico, pedindo informações ao usuário durante o processo de importação como o tamanho inicial para todas vigas a serem introduzidas. Assim como também não reconheceu a altura correta da alvenaria lançada e posicionamento correto dos elementos, justificando o conceito atribuído de razoável.

O *software* TQS apresentou alguns erros na importação dos dados do REVIT, sendo estes ocorrendo nas vigas, onde a maioria não foi reconhecida, e nas lajes, onde ocorreu inserção a mais destas. Um ponto favorável no TQS, foi a importação das informações das paredes dos edifícios, reconhecendo-as como carga, evitando assim o retrabalho de inserir manualmente no *software*.

Em ambos os *softwares* as estruturas foram introduzidas com nomes fora da sequência, o qual dificulta a leitura do projeto, sendo necessário renomear cada elemento.

Como o modelo físico-estrutural foi validado no *software* REVIT e com o mesmo modelo gerou resultados distintos da interoperabilidade REVIT-TQS e REVIT-CYPECAD, pode-se concluir que eventuais erros de modelagem no REVIT não foram constatados.

Não recomenda-se a utilização do *software* REVIT para dimensionamento manual de cada elemento como vigas e cargas de alvenaria, se o *software* de análise a ser utilizado for o CYPECAD na versão utilizada neste trabalho, o qual exige outras configurações manuais e retrabalho no dimensionamento do modelo físico-estrutural no ambiente do *software*.

A interoperabilidade de dados entre os *softwares* estudados ainda exige cuidado e atenção durante o processo, pois o envio das informações não ocorre de forma totalmente correta, sendo o principal erro a não identificação de dados básicos e fundamentais, como o reconhecimento de elementos e suas dimensões. Embora os *softwares* utilizados tenham sido capazes de importar informações do modelo físico-estrutural, ambos apresentam algumas dificuldades na implementação do BIM pelos escritórios de projetos. O TQS por sua vez, constata-se um menor retrabalho do que o CYPECAD em seu ambiente, além disso, observou-se que o desempenho do *plugin* entre as empresas AUTODESK E TQS obteve um desempenho superior que o modelo importado através da tecnologia IFC.

Como sugestão para trabalhos futuros, com a ascensão do BIM e a crescente necessidade de implementação da tecnologia IFC para intercâmbio de informações para o mercado da AEC, seria relevante que metodologias similares a este possam ser realizadas tomando como base os próprios *softwares* utilizados neste trabalho em suas versões mais atualizadas. Recomenda-se também a utilização de outros *softwares* de modelagem BIM, como o Archicad e o Tekla, por exemplo. Além disso, para fins de estudo na especialidade estrutural o emprego do *software* Eberick da AltoQi, o qual é um dos *softwares* mais utilizado no Brasil, junto com o CYPECAD e o TQS.



Sugere-se também, explorar os estudos em aspecto quantitativo, maneiras de otimizar as análises estruturais com as diferentes configurações que os *softwares* estruturais permitem, podendo ampliar em forma de uma análise comparativa quantitativa entre cálculo manual e os *softwares* estruturais, como a quantidade de aço, formas e concreto. Além disso, é possível comparar possíveis conflitos geométricos com outras especialidades em um único modelo.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – procedimento**. Rio de Janeiro, 2014. 238 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1: Lajes pré-fabricadas de concreto**. Rio de Janeiro, 2016. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Ações para cálculo de estruturas de edificações**. Rio de Janeiro, 2019. 66 p.

AIA, AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Integrated Project Delivery: A Guide**. 2007, 62 p. Disponível em: <[http://info.aia.org/siteobjects/files/ipd\\_guide\\_2007.pdf](http://info.aia.org/siteobjects/files/ipd_guide_2007.pdf) >

\_\_\_\_\_. BIM\_Protocol\_Exhibit: E202: BIM Protocol Exhibit. 2008. 9 p.

AUSTIN, S., *ET AL*. **Modelling and managing project complexity**. *International Journal of Project Management*, v.20, n.3, p.191-198, 2002. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786301000680> >

AUTODESK. **Autodesk Knowledge Network: Sobre o REVIT**. 2018. Disponível em:<<https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/REVIT-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/REVIT-GetStarted/files/GUID-D8835F8E-1330-4DBC-8A55-AF5941056C58-htm.html> >. Acesso em: 26 set. 2020.

\_\_\_\_\_. **Autodesk Knowledge Network: Sobre os relacionamentos da modelagem paramétrica**. 2018. Disponível em: < <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/REVIT-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/REVIT-GetStarted/files/GUID-71F2C8EE-2A90-4076-A6C7-702082566DDF-htm.html> > .Acesso em: 26 set. 2020.

\_\_\_\_\_. **Autodesk Knowledge Network: Sobre o comportamento de elementos no REVIT**. 2018. Disponível em: < <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/REVIT-products/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/PTB/REVIT-GetStarted/files/GUID-5BFA499A-5ACA-4069-852C-9B60C9DE6708-htm.html> > .Acesso em: 26 set. 2020.

BIMFORUM. **Level of Development Specification**. 2017. Disponível em: < <https://bim-international.com/wp-content/uploads/2016/03/LOD-Specification-2015.pdf> > . Acesso em: 25 set. 2020.

CAMPESTRINI, T. *et al*. **Entendendo BIM**. 1. ed. Curitiba, 2015. p. 28. Disponível em:<[http://www.gpsustentavel.ufba.br/documentos/livro\\_entendendo\\_bim.pdf](http://www.gpsustentavel.ufba.br/documentos/livro_entendendo_bim.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2020.

CATELANI, W. S.; SANTOS, E. T. **Normas brasileiras sobre BIM. Concreto e Construções**, IBRACON, v. 84, p. 54–59, 2016. ISSN 1809-7197. Disponível em:<

[http://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/ebook/edicao84/files/assets/basic-html/index.html#1](http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/ebook/edicao84/files/assets/basic-html/index.html#1) >. Acesso em: 27 nov. 2020.

CYPECAD. **Software para cálculo estrutural e projeto estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto de concreto-aço.** Disponível em: < <https://multiplus.com/software/cypecad/versao-atual.html> > .Acesso em: 27 set. 2020.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.** New Jersey:John Wiley & Sons, 2008.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors.** 2 ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010.

FREIRE, Gustavo H.A.; MARTHA, Luiz F.; SOTELINO, Elisa D. **INTEROPERABILIDADE ENTRE PLATAFORMA BIM E FERRAMENTA DE ANÁLISE ESTRUTURAL UTILIZANDO INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)** .Rio de janeiro, 2015. Disponível em: < [http://www.swge.inf.br/PDF/CILAMCE2015-0075\\_025590.PDF](http://www.swge.inf.br/PDF/CILAMCE2015-0075_025590.PDF) >. Acesso em: 20 fev. 2021.

FLORIO, W. Modelagem Paramétrica no Processo de Projeto de Arquitetura. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, SBPQ 2020, São Carlos. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Regina\\_Ruschel/publication/269149277\\_BIM\\_Conceitos\\_Cenario\\_das\\_Pesquisas\\_Publicadas\\_no\\_Brasil\\_e\\_Tendencias/links/560e88ed08ae0fc513ed43df/BIM-Conceitos-Cenario-das-Pesquisas-Publicadas-no-Brasil-e-Tendencias.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Regina_Ruschel/publication/269149277_BIM_Conceitos_Cenario_das_Pesquisas_Publicadas_no_Brasil_e_Tendencias/links/560e88ed08ae0fc513ed43df/BIM-Conceitos-Cenario-das-Pesquisas-Publicadas-no-Brasil-e-Tendencias.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2020.

In: FLORIO, W. Contribuições do Building Information Modeling no processo de projeto em arquitetura. Porto Alegre: Ed.Mackenzie, 2007. p. 2. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Wilson\\_Florio/publication/268377365\\_CONTRIBUICOES\\_DO\\_BUILDING\\_INFORMATION\\_MODELING\\_NO\\_PROCESSO\\_DE\\_PROJETO\\_EM\\_ARQUITETURA/links/559346f808ae5af2b0eb741c/CONTRIBUICOES-DO-BUILDING-INFORMATION-MODELING-NO-PROCESSO-DE-PROJETO-EM-ARQUITETURA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Wilson_Florio/publication/268377365_CONTRIBUICOES_DO_BUILDING_INFORMATION_MODELING_NO_PROCESSO_DE_PROJETO_EM_ARQUITETURA/links/559346f808ae5af2b0eb741c/CONTRIBUICOES-DO-BUILDING-INFORMATION-MODELING-NO-PROCESSO-DE-PROJETO-EM-ARQUITETURA.pdf)>.

GRAY, C. **Design Management – Experiences and Current Practices.** Anais NUTAU 2006: inovações tecnológicas e sustentabilidade, cd-rom, 2006. Acesso em: 18 ago. 2020.

KRETSCHMER, L. C. **Avaliação da interoperabilidade dos softwares dos softwares REVIT e TQS em projeto estrutural: Estudo de caso de uma residência unifamiliar em concreto armado.** Pato Branco, 2020. Disponível em: < [https://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11863/1/PB\\_COECI\\_2018\\_2\\_59.pdf](https://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/11863/1/PB_COECI_2018_2_59.pdf) >. Acesso em: 21 set. 2020.

LEE, G.; SACKS, R.; EASTMAN, C. M., Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. **Automation in Construction**, Vol. 15, No. 6, p. 758-776, 2006.

MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013. Disponível em: < [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-08072014-124306/publico/TESE\\_LEONARDO\\_MANZIONE.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-08072014-124306/publico/TESE_LEONARDO_MANZIONE.pdf) >.

MULTIPLUS SOFTWARES TÉCNICOS. CYPECAD – **Manual do Usuário**. São Paulo, 2016.

PAPADOPOULOS, N. **Avaliação da metodologia BIM através da modelagem paramétrica 3D de um projeto convencional**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: < [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/23675/23675\\_1.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/23675/23675_1.PDF) >. Acesso em: 22 set. 2020.

RUSTLER, W. **Building Information Modeling and Structural Analysis Software: Scenarios and Success Factors for Data Exchange**. 2017. Disponível em: <<https://www.dlubal.com/en/support-and-learning/support/knowledge-base/001432>>. Acesso em: 23 ago. 2020.

RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. **BIM: Conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências**. São Carlos, São Paulo - 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Regina\\_Ruschel/publication/269149277\\_BIM\\_Conceitos\\_Cenario\\_das\\_Pesquisas\\_Publicadas\\_no\\_Brasil\\_e\\_Tendencias/links/560e88ed08ae0fc513ed43df/BIM-Conceitos-Cenario-das-Pesquisas-Publicadas-no-Brasil-e-Tendencias.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Regina_Ruschel/publication/269149277_BIM_Conceitos_Cenario_das_Pesquisas_Publicadas_no_Brasil_e_Tendencias/links/560e88ed08ae0fc513ed43df/BIM-Conceitos-Cenario-das-Pesquisas-Publicadas-no-Brasil-e-Tendencias.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2020.

RUSCHEL, R. C.; ANDRADE, M. L. **INTEROPERABILIDADE DE APLICATIVOS BIM USADOS EM ARQUITETURA POR MEIO DO FORMATO IFC**. São Carlos, São Paulo - 2009. Disponível em: < <http://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50960> >. Acesso em: 26 set. 2020.

SILVA, K. R. **INTEROPERABILIDADE ENTRE SOFTWARE DE PROJETO ESTRUTURAL COM A PLATAFORMA BIM**. Brasília, Distrito Federal - 2019. Disponível em: < [https://bdm.unb.br/bitstream/10483/24301/1/2019\\_KaioRicardoDaSilva\\_tcc.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/24301/1/2019_KaioRicardoDaSilva_tcc.pdf) >. Acesso em: 02 fev. 2021.

TQS. **Software para cálculo estrutural e projeto estrutural em concreto armado, pré-moldado, protendido e misto**. Disponível em: < <http://docs.tqs.com.br/Docs/Details?id=3124&language=pt-BR> > .Acesso em: 27 set. 2020.

UNDERWOOD, J.; ISIKDAG, U. **Preface: being lost or becoming lost. Handbook of research on building information modeling and construction informatics : concepts and technologies**. 2010, Capítulo Preface, xxxi-xxxvii . Disponível em: < [https://www.academia.edu/2603025/Preface\\_Handbook\\_of\\_Research\\_on\\_Building\\_Information\\_Modeling\\_and\\_Construction\\_Informatics](https://www.academia.edu/2603025/Preface_Handbook_of_Research_on_Building_Information_Modeling_and_Construction_Informatics) > Acesso em: 25 set. 2020.