

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

GABRIEL ALMEIDA MARTINS

**INTEROPERABILIDADE DE SOFTWARES BIM NO CONTEXTO DE PROJETO  
DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2020

GABRIEL ALMEIDA MARTINS

**INTEROPERABILIDADE DE SOFTWARES BIM NO CONTEXTO DE PROJETO  
DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador:** Kléos M Lenz César JR

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2020

GABRIEL ALMEIDA MARTINS

**INTEROPERABILIDADE DE SOFTWARES BIM NO CONTEXTO DE PROJETO  
DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO**

Relatório final, apresentado a  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências para a obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil.

APROVADO: 17 de julho de 2020

---

Eng. Luís Felipe Fernandes Guim  
(UFV)

---

Dr. Diôgo Silva de Oliveira  
(UFV)

---

Ph.D. Kléos M Lenz César JR  
(Orientador)  
(UFV)

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2020

Aos meus pais, Lindalva e Último, pelo apoio, sacrifício e orações,  
À minha noiva, Luiza, por todo carinho, amor e compreensão, por  
enfrentar todas as batalhas ao meu lado.

Sem vocês eu não teria conseguido.

## Agradecimentos

À Universidade Federal de Viçosa e a todos os professores que contribuíram não apenas para minha formação profissional, mas também para meu crescimento e amadurecimento como ser humano.

Agradeço especialmente ao Kléos, que mais que orientador deste trabalho, me acolheu e aconselhou como amigo.

Ao Diôgo e Luís pelas contribuições para este trabalho

À equipe de suporte técnico da SCIA, pela prestatividade e pronto suporte.

Aos amigos que fiz por meio da *Big Black Boobs*, por dividirem não só a paixão pela música, como também os momentos de riso e sufoco como verdadeiros irmãos.

*“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu.”*

**Eclesiastes 3:1**

## Resumo

O setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) está passando por uma mudança rápida e irreversível de paradigma, em que não só o uso da tecnologia CAD vem sendo substituído, como toda a dinâmica de projeto, desde as etapas iniciais de concepção até a entrega do empreendimento aos clientes, está sendo reestruturada pelo advento e adoção do BIM. Vários países já tornaram mandatório o uso da tecnologia, e outros, como o Brasil por meio do Decreto BIM, estão em via de adotar os mesmos métodos. A implementação dessa tecnologia surge como peça fundamental para a solução de diversos problemas correntes dos projetos de estruturas de concreto armado, tal como, a ineficiência de alguns softwares em realizar detalhamentos precisos e como todas as informações necessárias, além de possibilitar a integração do modelo estrutural com outras disciplinas, e também gerar base de dados que possibilita o planejamento e orçamento da edificação de forma mais célere e eficaz. Este trabalho analisa e descreve o fluxo de trabalho de um projeto estrutural em concreto armado usando o software Revit para a modelagem da estrutura que posteriormente foi enviada ao SCIA Engineer para análise e dimensionamento baseado na ABNT NBR 6118:2014, e finalmente suas informações atualizadas no Revit juntamente com a armadura dimensionada. O nível de interoperabilidade atingido foi satisfatório apesar das divergências ocorridas, o que possibilitou alto nível de detalhamento e confiabilidade do modelo gerado. É esperado que com a evolução das ferramentas de projeto BIM os resultados sejam aperfeiçoados.

**Palavras-chave:** Concreto armado, BIM, Revit, SCIA Engineer, Modelagem estrutural, Análise estrutural, Dimensionamento, Interoperabilidade.

## **Abstract**

The Architecture, Engineering and Construction (AEC) sector is undergoing a rapid and irreversible paradigm shift, in which not only the use of CAD technology has been replaced, but the entire design dynamics, from the initial stages of design to the delivery of the project to customers, is being restructured by the advent and adoption of BIM. Several countries have already made the use of technology mandatory, and others, such as Brazil through the BIM Decree, are in the process of adopting the same methods. The implementation of this technology emerges as a fundamental part for the solution of several current problems in the design of reinforced concrete structures, such as the inefficiency of some software in carrying out accurate details and as all the necessary information, in addition to enabling the integration of the structural model with other disciplines, and also to generate a database that allows the planning and budget of the building in a faster and more efficient way. This work analyses and describes the workflow of a structural design in reinforced concrete using the Revit software for the modelling of the structure that was later sent to SCIA Engineer for analysis and design based on ABNT NBR 6118: 2014, and finally its updated information on Revit together with the reinforcement designed. The level of interoperability achieved was satisfactory despite the divergences that occurred, which enabled a high level of detail and reliability of the model generated. It is expected that with the evolution of the BIM design tools, the results will be improved.

**Keywords:** Reinforced concrete, BIM, Revit, SCIA Engineer, Structural Modelling, Structural Analysis, Design, Interoperability.

# Sumário

1. Introdução .....	11
1.1. Considerações iniciais.....	11
1.2. Justificativa.....	12
1.3. Objetivos .....	13
1.3.1. Objetivo geral.....	13
1.3.2. Objetivos específicos.....	13
1.4. Metodologia.....	13
1.4.1. Recursos Disponíveis .....	14
1.4.2. Fluxo de trabalho .....	15
1.4.3. Modelo arquitetônico de base.....	16
2. Fundamentação Teórica .....	17
2.1. BIM.....	17
2.1.1. BIM no Mundo .....	18
2.1.2. BIM no Brasil .....	19
2.2. Fundamentos do BIM.....	20
2.2.1. Modelo único .....	21
2.2.2. Modelagem paramétrica .....	23
2.2.3. Interoperabilidade .....	24
2.2.4. Outros conceitos.....	25
2.3. Aplicações do BIM no projeto estrutural.....	27
3. Estudo de Caso.....	29
3.1. Modelagem da estrutura .....	29
3.1.1. Materiais .....	30
3.1.2. Lançamento estrutural.....	30

3.1.3. Modelo analítico.....	31
3.2. Interoperabilidade Revit -> SCIA.....	33
3.2.1. Via API.....	33
3.2.2. Configurações SCIA .....	35
3.2.3. Análise estrutural .....	38
3.2.4. Dimensionamento .....	43
3.2.5. Geração da armadura 3D .....	45
3.3. Interoperabilidade SCIA -> Revit.....	49
3.3.1. Atualização de seções.....	49
3.3.2. Concreto .....	51
3.3.3. Armadura .....	51
4. Discussões.....	53
5. Conclusões .....	54
6. Referências Bibliográficas.....	56
APÊNDICE A — Plantas baixas do projeto arquitetônico .....	59
APÊNDICE B — Plantas de forma do lançamento estrutural.....	63

# 1. Introdução

## 1.1. Considerações iniciais

O planejamento e a construção de um edifício envolvem a interação de profissionais de áreas distintas ao longo das diversas fases de produção, com um objetivo em comum (COELHO et al., 2008), que é a produção do edifício de modo a garantir qualidade, segurança e conforto aos usuários, além do cumprimento de prazos e metas orçamentárias. Portanto, é essencial que haja um processo convergente de comunicação que possibilite a interação de todos os agentes no planejamento e construção daquele edifício.

*“O bom desempenho de uma edificação, como um conjunto, não existe como condição isolada, mas é resultado da boa integração e do trabalho em equipe nas diversas etapas da vida útil da edificação: planejamento, projeto, execução, utilização e manutenção”.* (CLÍMACO, 2008).

Os avanços tecnológicos passaram a permitir que várias ferramentas pudessem contribuir nesse sentido. A tecnologia denominada “*Building Information Modeling*” (BIM – Modelagem da Informação da Construção) surgiu no início da década de 1990 e vem ganhando espaço no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Ela proporciona uma plataforma digital que integra informações geométricas e não geométricas dos modelos digitais 3D de todos sistemas constituintes de um edifício, em arquivo único (TARRAFA, 2012).

O BIM, no contexto de projeto de estruturas, possibilita a eliminação da necessidade de replicação do modelo estrutural nos diversos softwares especializados utilizados ao longo do fluxo de trabalho, sejam estes de modelagem, dimensionamento ou detalhamento, permitindo o fluxo bidirecional de informação o que evita a incorrência de erros e aumenta expressivamente a produtividade (TARRAFA, 2012).

No entanto, segundo aquele autor, faz-se necessário o estudo e a análise da capacidade de interoperabilidade entre softwares BIM de diferentes empresas, visto

que no âmbito de um projeto de abrangência global e uma edificação tal processo exige eficiência e agilidade.

Este trabalho visa contribuir com essa lacuna ainda existente por meio do estudo de caso de um projeto estrutural em concreto armado, provindo de um modelo arquitetônico modelado no software Revit da empresa Autodesk, analisado e dimensionado no SCIA Engineer, do grupo Nemetschek, onde explorou-se o fluxo de informação entre os softwares por meio das ferramentas de interoperabilidade existentes entre eles.

## **1.2. Justificativa**

Seguindo a tendência global, em 17 de maio de 2018 o Presidente da República instituiu, por meio do decreto número 9.377, a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM no Brasil, que tem como principais objetivos a difusão da tecnologia, a criação de condições favoráveis para investimento público e privado, e o desenvolvimento de normas técnicas, guias e protocolos para a sua adoção. Em 2 de abril de 2020 foi publicado novo decreto, nº 10.306, que avança mais em relação à implementação do BIM na execução de obras e serviços por órgãos federais.

Torna-se, portanto, necessária a familiarização do engenheiro civil com tal ferramenta. Não só pela sua inevitável predominância no futuro no setor, como também pelos resultados positivos que seu uso pode gerar, como tornar o processo mais eficiente e com resultados de melhor qualidade técnica e visual.

Esse trabalho se justifica pela necessidade de haver referenciais e guias para engenheiros e projetistas adquirirem maior compreensão da interação e interoperabilidade entre softwares usados em projetos estruturais.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver, totalmente em ambiente BIM, o projeto estrutural em concreto armado de uma edificação, desde a modelagem geométrica tridimensional, passando pela exportação/importação do sistema estrutural a outro software para a análise e o dimensionamento.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Realizar o lançamento e a modelagem estrutural correspondente a um modelo arquitetônico existente;

Realizar e avaliar a troca de informações do modelo estrutural entre o software de modelagem e o software de análise e dimensionamento de forma bidirecional;

Analisar e dimensionar a estrutura proposta à luz da ABNT NBR 6118:2014;

Avaliar os resultados sob a ótica de desempenho, níveis de interoperabilidade, vantagens e barreiras encontradas.

## **1.4. Metodologia**

Realizou-se uma pesquisa bibliográfica com o fim de compreender como utilizar os dois softwares escolhidos para a realização deste trabalho, bem como a interrelação entre eles, adequando-os a realidade preconizada pela ABNT NBR 6118: 2014 . O software destinado a hospedagem de todos os sistemas da edificação foi chamado “hospedeiro”, e aquele utilizado para o dimensionamento estrutural, “de dimensionamento”.

Identificou-se o projeto arquitetônico de uma edificação de dois pavimentos modelados no software hospedeiro. A escolha baseou-se na completude da concepção arquitetônica, bem como a possibilidade da elaboração de uma estrutura simples, com o fim de demonstrar o potencial dos recursos.

Realizou-se o lançamento e a modelagem dos elementos estruturais no software hospedeiro, definindo suas dimensões iniciais, características mecânicas dos materiais e elementos de apoio.

O submodelo estrutural resultante foi exportado para o software de dimensionamento, onde foi realizada a análise e o dimensionamento da estrutura conforme a ABNT NBR 6118: 2014.

O modelo estrutural, com dimensões atualizadas decorrente da análise e do cálculo das armaduras necessárias foi transferido de volta ao software hospedeiro para recomposição do modelo completo do edifício. Foram verificadas as informações adicionais incluídas pelo software de dimensionamento para a documentação necessária.

#### **1.4.1. Recursos Disponíveis**

Uma vez que este trabalho trata da elaboração de um projeto estrutural em plataforma BIM, os únicos recursos utilizados foram softwares, a saber:

Autodesk Revit 2019: software hospedeiro do modelo global da edificação. A escolha deveu-se a sua popularidade, potência e disponibilidade de licença na UFV.

Apesar de ser um software generalista e abrangente, o Revit apresenta recursos voltados para projetos estruturais, tanto em aço quanto em concreto. É possível modelar armaduras de concreto com alto nível de informação e detalhe, e a partir daí extrair toda documentação necessária para o projeto. O software apresenta ainda uma ferramenta simplificada de análise estrutural (AUTODESK, [s.d.]

SCIA Engineer 19.1: software de dimensionamento estrutural. A escolha deveu-se ao potencial para soluções complexas de engenharia estrutural em concreto armado, e para soluções compatíveis com as prescrições da NBR 6118:2014, e à disponibilidade de licença estudantil.

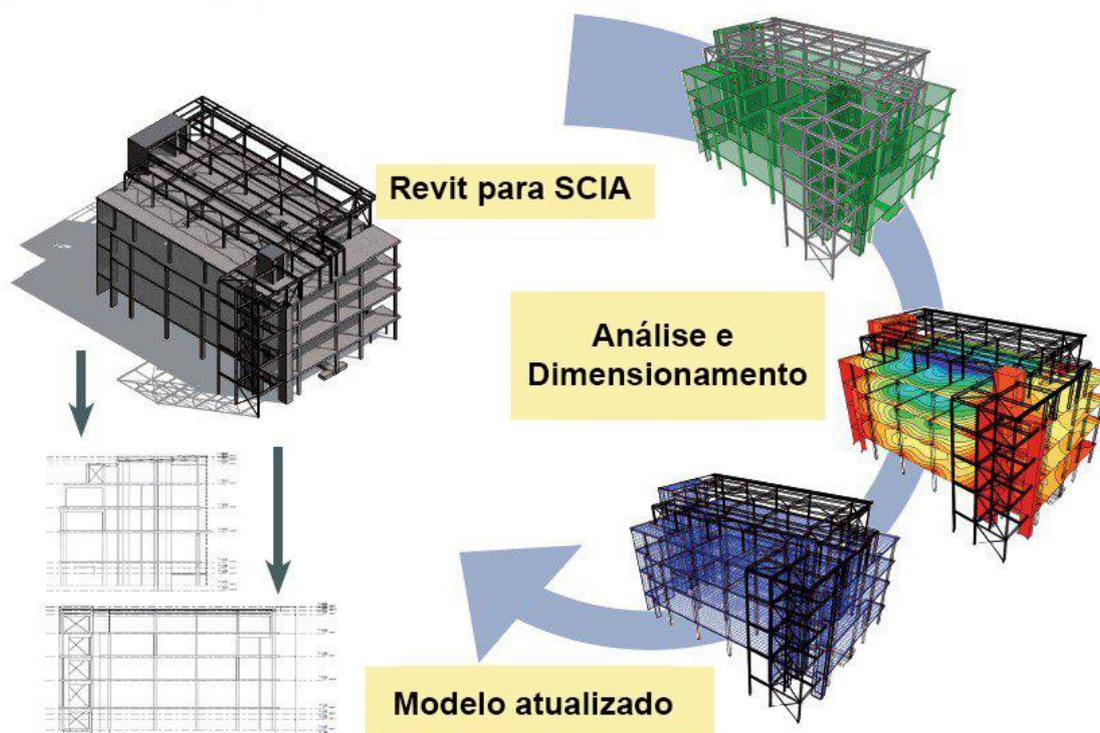
O software possui ambiente de modelagem 3D para aço, concreto, alumínio, madeira e materiais mistos, que realiza análise pelo Método dos elementos finitos, possibilitando também dimensionamento pelas normas americana, europeia (com anexos nacionais) e brasileira. Contém ferramentas que permitem projetar objetos complexos como vigas curvas, cascas e espessuras variáveis juntamente com

modelagem paramétrica de estruturas O software também gera memoriais de cálculo personalizados , com tabelas imagens e textos além de permitir o fluxo de trabalho entre softwares BIM (SCIA, [s.d.]).

### 1.4.2. Fluxo de trabalho

No contexto desse projeto, o fluxo de trabalho se deu como é mostrado na Figura 1.

Figura 1- Fluxo de trabalho Revit e SCIA



Fonte: Adaptação de (SCIA, [s.d.])

Primeiramente, baseado no modelo arquitetônico, realizou-se o lançamento e a modelagem dos elementos estruturais no Revit, que por sua vez foi enviada para o SCIA Engineer para análise e dimensionamento. Posteriormente, o modelo dimensionado, contendo possíveis reajustes geométricos e armadura, foi enviado novamente para o Revit, de onde futuramente poderão ser obtidos os quantitativos, detalhamentos e realizar a compatibilização com demais disciplinas de projeto.

#### 1.4.2.1. API

Como definido por Eastman et al. (2014) , *Application Programming Interface* permite a ligação direta entre ferramentas para troca de informações e compartilhamento de dados.

O SCIA Engineer dispõe de um Plug-in (API) desenvolvido pela própria empresa que permite a integração com o Revit, intercambiando informações por meio do analítico gerado na modelagem estrutural, independente de qual software tenha sido feita.

Essa ferramenta foi escolhida para realizar o primeiro passo do fluxo de trabalho (envio do modelo do Revit para o SCIA) e para a atualização das seções e informações analíticas no segundo passo por ser capaz de realizar troca de informações mais completas.

#### 1.4.2.2. IFC

Para realizar a transferência da armadura dimensionada pelo SCIA, no segundo passo do fluxo de trabalho, entretanto, a opção foi realizar diretamente por troca de arquivos IFC (ver item 2.2.3), que embora não carreguem informações analíticas, permite a transferência de tais elementos.

### 1.4.3. Modelo arquitetônico de base

O modelo arquitetônico utilizado para o projeto estrutural foi disponibilizado pelo orientador deste trabalho oriundo de seu acervo pessoal. Na Figura 2 é ilustrado um aspecto da fachada desse modelo.

Trata-se de um projeto arquitetônico contendo basicamente a geometria da superfície topográfica, parede e pisos e elementos de esquadria. Apresenta alguns problemas de concepção que não serão discutidos por não serem objeto de estudo desse trabalho. Contudo, foi escolhido por possibilitar o lançamento estrutural e o desafio do surgimento de itens de análise mais minuciosa, como balanços e vigas de transição. No Apêndice A são apresentadas as plantas baixas dos pavimentos da edificação.

Figura 2- Perspectiva da residência



Fonte: O Autor

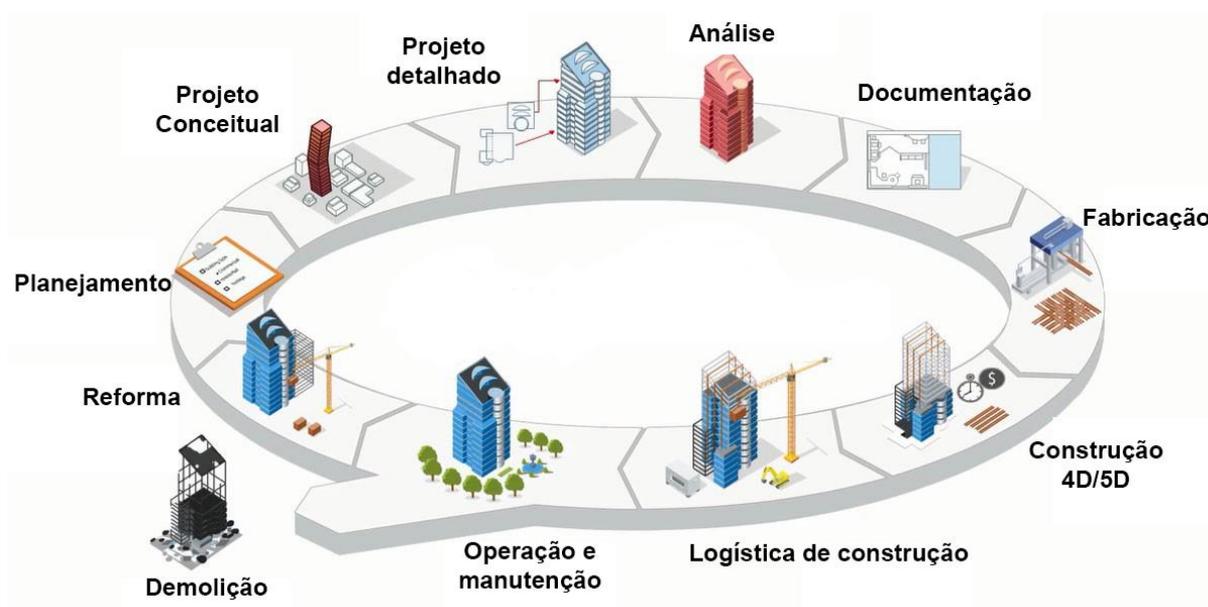
## 2. Fundamentação Teórica

### 2.1. BIM

Segundo Succar (2009), BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que dão origem a uma metodologia para o gerenciamento de dados de uma construção no formato digital por todo o seu ciclo de vida, desde sua concepção à sua eventual demolição .

Por possibilitar a representação visual e descritiva de todas as propriedades e parâmetros de um edifício virtual, antes mesmo de sua construção, a técnica, segundo LIU et al. (2015) é chamada de *Building Information Model*. Um modelo BIM possui informações suficientes para a geração de documentação, compatibilização de projetos, desenhos, dados de pré-fabricação, planejamento executivo e orçamentação (EASTMAN et al., 2014) e também para operação e manutenção do edifício (AZHAR, 2011), abrangendo todo ciclo de vida do empreendimento, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3- Ciclo de vida da construção



Fonte: Adaptação de (MEANA; BELLO; GARCÍA, 2019)

### 2.1.1. BIM no Mundo

Buscando compensar o atraso histórico do setor da Arquitetura Engenharia e Construção (AEC) em relação aos outros setores econômicos quanto a adoção de tecnologias mais avançadas e eficientes, tem-se notado o esforço (principalmente governamental) e a iniciativa de diversos países para fomentar e instituir a plena adoção do BIM.

O relatório *BICP Global BIM Study-Lessons for Ireland's BIM Programme* (HORE; MCAULEY; WEST, 2017) argumenta que muitos países europeus têm implementado planos e estratégias nacionais de adoção do BIM, e que em 2016 deu-se um passo à frente em busca da elaboração de normas e procedimentos. Três normas internacionais são citadas neste documento:

1. EN ISO 16739:2016 - Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries.
2. EN ISO 29481-2:2016 - Building information models – Information delivery manual – Part 2: Interaction framework.
3. EN ISO 12006-3: 2016 - Building construction – Organization of information about construction works – Part 3: Framework for object-oriented information.

Concomitantemente, programas nacionais têm evoluído mais rapidamente em busca do mesmo objetivo, como os da Finlândia, Noruega, Dinamarca, Holanda, Reino Unido, França, Alemanha e Espanha (HORE; MCAULEY; WEST, 2017) .

Buscando quantificar e qualificar o avanço da implementação do BIM mundialmente, Kassem e Succar (2017), desenvolveram o *Macro Maturity Components Model*, que consiste na avaliação de 8 indicadores predefinidos que visam quantificar o nível de maturidade BIM dos países. Vinte e um países foram avaliados, inclusive o Brasil. A nota final da avaliação foi dada pela soma da pontuação de cada categoria definida, que pontua de 0 a 4, sendo a nota máxima possível 32. O Reino Unido obteve a maior nota, 17.7 em 32, seguido por China, Coreia do Sul, Finlândia, Holanda, Espanha e Estados Unidos. Esse resultado mostra que os países ainda se encontram em um nível baixo de maturidade em relação ao BIM, o que torna de suma importância todas as medidas que vem sendo estabelecidas.

Segundo Hore, McAuley e West, (2017), mais de 50% dos países analisados apresentaram exigências regulamentares sobre BIM(estão estudando ou em vias de implementar nos próximos anos). Ainda, mais de 60% deles já possuem algum guia regional para estimular sua implementação.

O relatório *Shaping the Future of Construction* do *World Economic Forum* (PHILIPP GERBERT, 2016) classificou o BIM como a tecnologia mais proeminente na matriz Probabilidade versus Impacto. A análise levou em conta outras tecnologias como componentes pré-fabricados, monitoramento sem fio, realidade aumentada e materiais auto reparadores.

Espera-se que o mercado de BIM alcance a marca de 8 bilhões de dólares em 2020, num crescimento médio anual de 13% entre 2015 e 2020 (HORE; MCAULEY; WEST, 2017).

### **2.1.2. BIM no Brasil**

O decreto presidencial 9.377 (BRASIL, 2018a) estabelece os seguintes prazos para a adoção do BIM como metodologia de projeto, execução e gerenciamento de obras públicas:

\_2021: projetos arquitetônicos, estruturais, hidrossanitários, elétricos, de aquecimento, ventilação e ar condicionado, bem como a detecção de interferências, a extração de quantitativos e documentação gráfica

\_2024: planejamento de execução de obra, orçamentação e atualização dos modelos e das suas informações *as built*.

\_2028: o pós-obra deverá ser englobado, implicando o uso em reformas, ampliações e reabilitações, além do gerenciamento e manutenção da edificação.

O decreto 10.306, de abril de 2020, (BRASIL, 2020) vincula o Ministério da Defesa ao plano de disseminação BIM; e o Ministério da Infraestrutura (Secretaria Nacional de Aviação Civil e Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) ao uso da tecnologia nas atividades descritas para a primeira fase do plano. Também foram estabelecidas regras mínimas a serem seguidas na contratação de serviços BIM, bem como as responsabilidades de contratantes e contratados.

Segundo dados de pesquisa da Fundação Getúlio Vargas (BRASIL, 2018b), no ano de 2018 apenas 9,2% das empresas do setor da construção civil haviam implantado o BIM nas suas rotinas de projeto, as quais representam 5% do PIB do setor. Baseado nos indicadores dessa pesquisa, a Estratégia BIM visa aumentar em 10% a produtividade dos trabalhadores, reduzir em 9,7% os custos das empresas, aumentar em 10 vezes a adoção do BIM, e no período de 2018 a 2028, promover o crescimento de 28,9% do PIB do setor da construção.

## **2.2. Fundamentos do BIM**

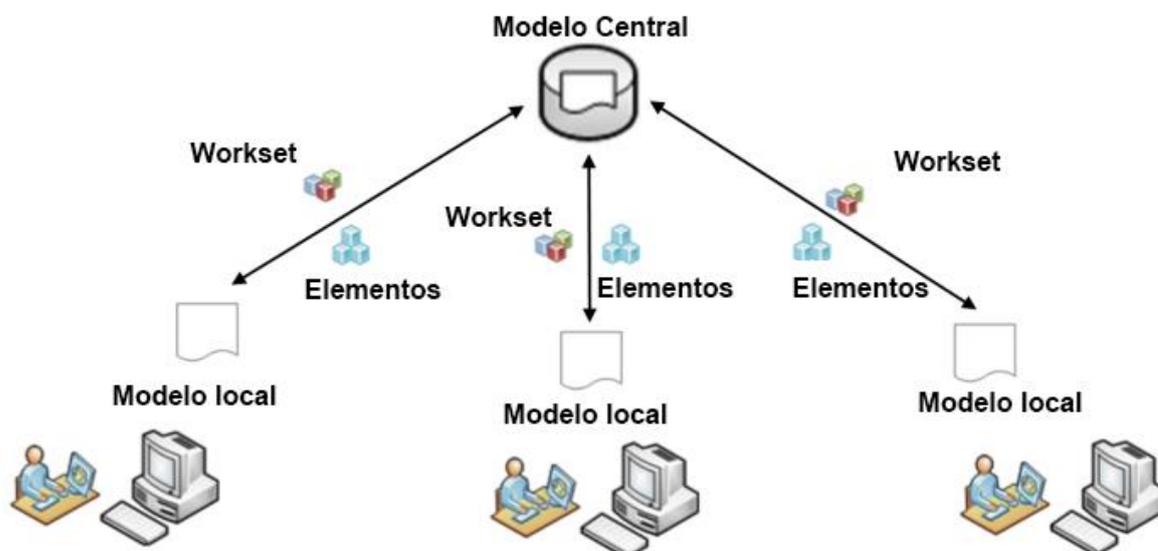
Para melhor compreensão do que é BIM faz-se necessário primeiramente entender alguns dos princípios básicos que norteiam o processo modelagem e elaboração de projetos pela tecnologia. Os itens seguintes trazem conceitos sobre três dos principais fundamentos do BIM.

### 2.2.1. Modelo único

Diferentemente do processo tradicional de elaboração de projetos de engenharia, onde para cada fase e cada disciplina é produzido um conjunto de desenhos representativos, em BIM os submodelos que compõe a edificação são agrupados em apenas um modelo de arquivo único, onde todas as disciplinas são modeladas em completa integração entre si (EASTMAN et al., 2014).

Há duas formas distintas de modelar uma edificação utilizando o Revit, adotando modelagem em arquivo único. A primeira delas é através do chamado modelo integrado, ou centralizado, que permite que vários projetistas ou equipes de projeto trabalhem no mesmo modelo ao mesmo tempo (AUTODESK, 2019a). Nessa metodologia, o modelo Revit é subdividido em *worksets*. Cada um contém elementos específicos do modelo. Por exemplo, os elementos estruturais são administrados e manipulados por seu responsável, que tem total acesso a esses elementos. Todas as alterações são salvas periodicamente no modelo central (AUTODESK, 2019b), e todos os demais agentes tem condições de visualizá-las. Na Figura 4 é demonstrado esse fluxo de trabalho.

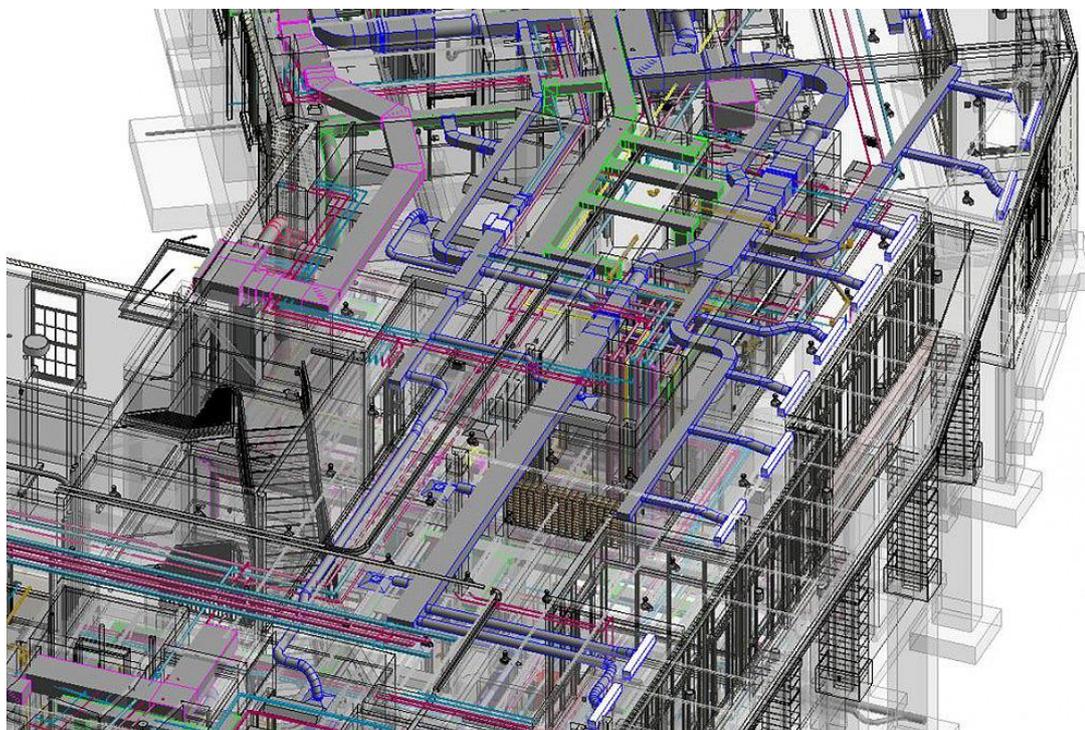
Figura 4- Fluxo de trabalho através de modelo central



Fonte : Adaptação de (AUTODESK, 2019a)

Esse tipo de trabalho exige grande esforço computacional, dado a grande quantidade de dados armazenada em um único arquivo comum (GONÇALVES JR., [s.d.]). Na Figura 5 é ilustrado um modelo integrado com todas as disciplinas de projeto.

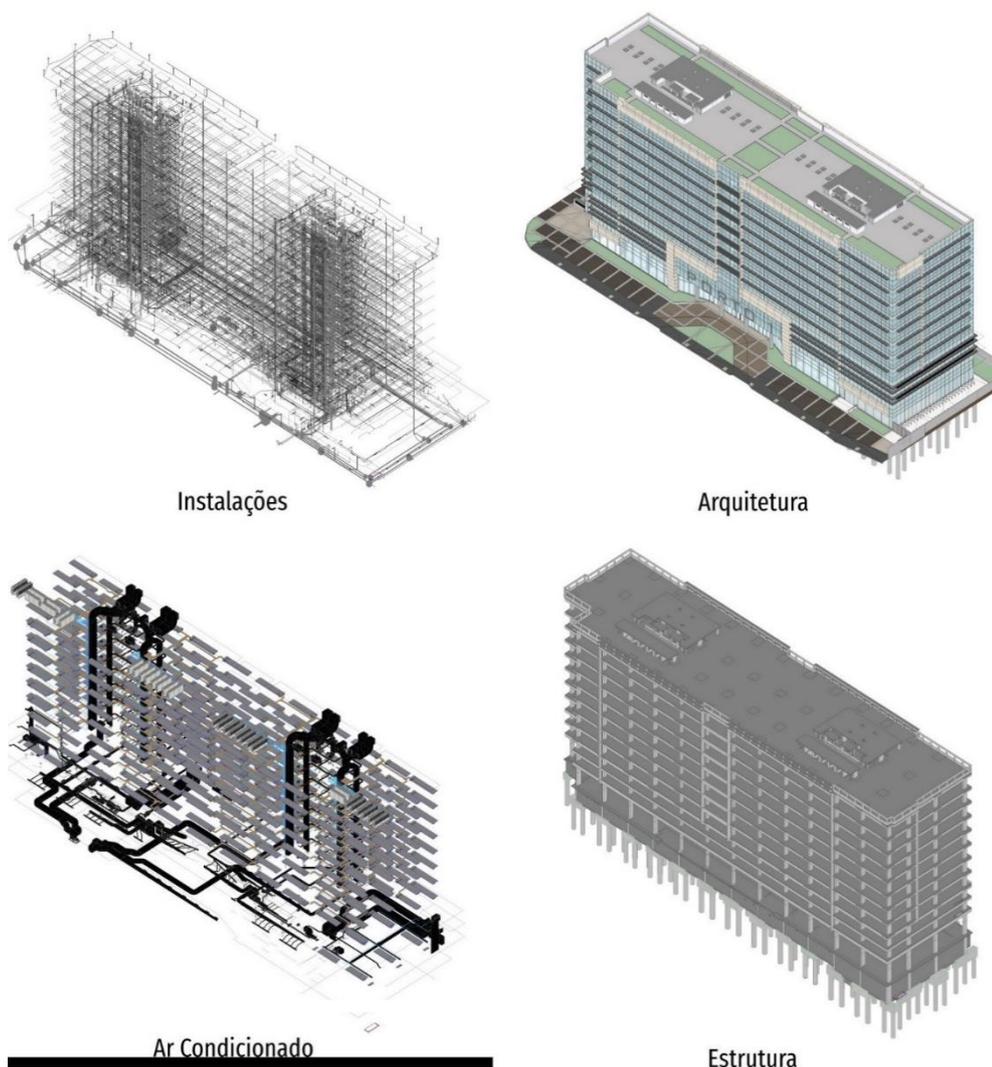
Figura 5- Modelo de um edifício. Em destaque, sistema de AC, elétrico, hidráulico e estrutural



Fonte:(SANTOS, 2014)

A outra forma é chamada modelagem federada, onde cada disciplina é desenvolvida separadamente e ligadas entre si pelo Revit link, onde uma disciplina serve de base para o projeto de outra. A primeira, portanto, é usada apenas como referência (AUTODESK, 2019c). Por exemplo, para um projeto estrutural, deve-se referenciar a arquitetura, possibilitando a modelagem estrutural. Dessa forma, o modelo arquitetônico será visto no estrutural, no entanto, não será editável neste arquivo. Essa forma de trabalho exige menos esforço computacional, devido a necessidade de lidar apenas com os dados da disciplina em modelagem. Na Figura 6 são mostradas diferentes disciplinas que fazem parte de um modelo federado.

Figura 6- Disciplinas que compõe um modelo federado

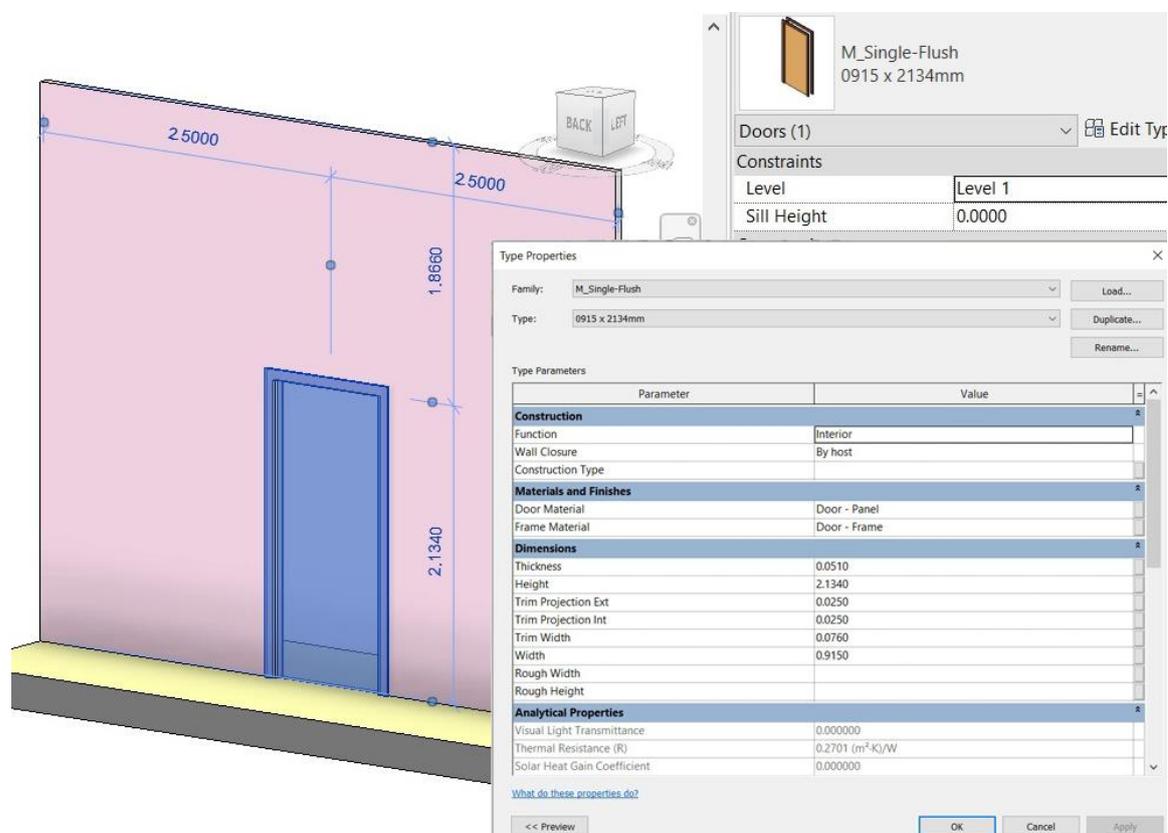


Fonte: (BRASIL, 2018c)

### 2.2.2. Modelagem paramétrica

Segundo Eastman et al.(2014), a modelagem paramétrica desempenha papel central para o entendimento do BIM e sua diferenciação de objetos 2D tradicionais. Os objetos paramétricos são definidos como um conjunto de propriedades geométricas, atributos qualitativos e regras associadas de componentes tangíveis de uma construção ou outros objetos abstratos. As regras paramétricas permitem a alteração automática das geometrias associadas. Na Figura 7 é ilustrada a edição dos parâmetros que definem a instância de uma porta. Uma vez alteradas suas propriedades geométricas (por exemplo), tem-se o reflexo nas suas dimensões no modelo.

Figura 7- Porta paramétrica



Fonte: O Autor

Isso se aplica também ao chamado nível de agregação. Como exemplificado por Eastman et al.(2014) ,pode-se definir uma parede e seus respectivos componentes. Caso a espessura de um subcomponente da parede seja modificado, a espessura de toda a parede se altera por consequência. Ademais, as regras estabelecidas para os objetos podem identificar quando uma determinada alteração interfere no posicionamento do objeto, ou seja, quando há alguma inconsistência em relação as suas dimensões e/ou outras características. Outra característica dos objetos paramétricos é a capacidade de receber e exportar conjuntos de atributos, sejam dados estruturais, acústicos, de energia para outras aplicações e modelos.

### 2.2.3. Interoperabilidade

De modo a permitir a integração de vários softwares de disciplinas diferentes realizando o intercâmbio de dados relativos a um mesmo edifício, pode-se fazer uso

de dois diferentes métodos de interoperabilidade. O primeiro, segundo Eastman et al. (2014), dá-se pela utilização de softwares de um único fornecedor que estabelecem um protocolo de comunicação entre si. O segundo método corresponde à troca de informações em um formato padronizado e neutro de arquivo.

Em um esforço para buscar maior interoperabilidade entre softwares, em 1994 a Autodesk tomou a iniciativa de, juntamente com outras 11 empresas do ramo, criar uma aliança com fim de estabelecer um padrão de arquivo para troca de informações. No mesmo ano, foi estabelecida a *International Alliance for Interoperability* (IAI), a qual contava com representantes em diversos países para buscar o desenvolvimento de um padrão internacional e neutro de arquivo para troca de informações (BAZJANAC, CRAWLEY, 1997).

Chegou-se à conclusão de que interoperabilidade era viável e tinha grande potencial prático e comercial, desde que fossem neutros e internacionais (não vinculados a empresas e/ou países). Em 2008, a IAI tornou-se a buildingSMART (EASTMAN et al., 2014), organização sem fins lucrativos, e que além da indústria da construção passou a atender a indústria de infraestrutura, sendo a responsável pelo desenvolvimento do primeiro formato padronizado, aberto e unificado de arquivo de interoperabilidade BIM, o *Industry Foundation Classes* (IFC). Em 2018 o IFC ganhou status de padrão internacional com o ISO 16739-1:2018 (BUILDINGSMART, 2018).

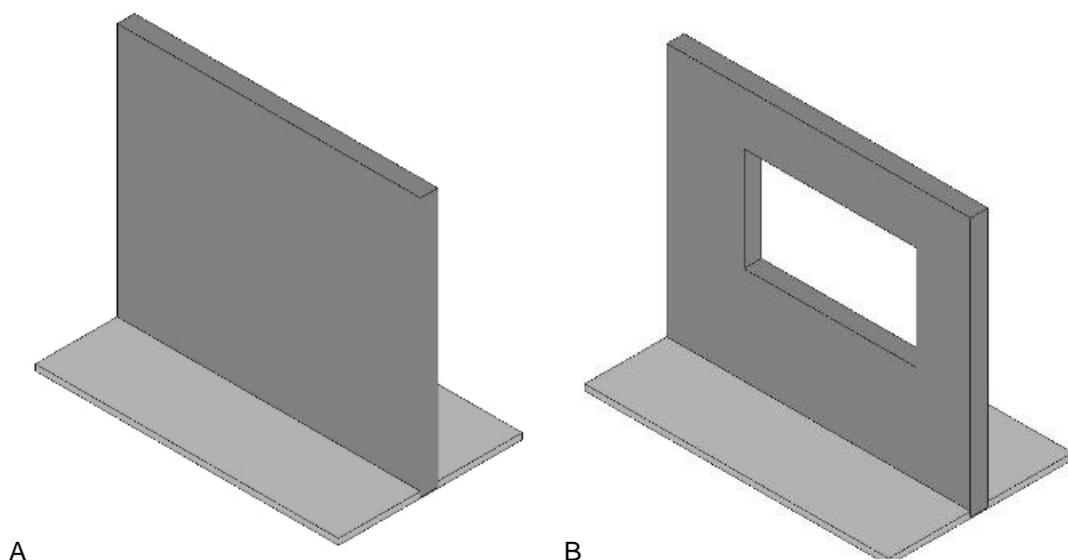
#### **2.2.4. Outros conceitos**

##### *2.2.4.1. LOD*

Visando classificar e diferenciar o nível de informação contido nos modelos BIM, o *American Institute of Architects* criou o conceito de LOD, *level of development* que representa o grau de confiabilidade, ou o nível de detalhes do modelo (BRASIL, 2018c). Tal classificação vai do nível LOD 100 ao LOD 500 que são assim definidos:

LOD 100: Representação gráfica genérica do modelo através de simbologia ou forma simples. Informações sobre o elemento podem ser obtidas de outros elementos de projeto (Figura 8A).

Figura 8- Parede LOD 100

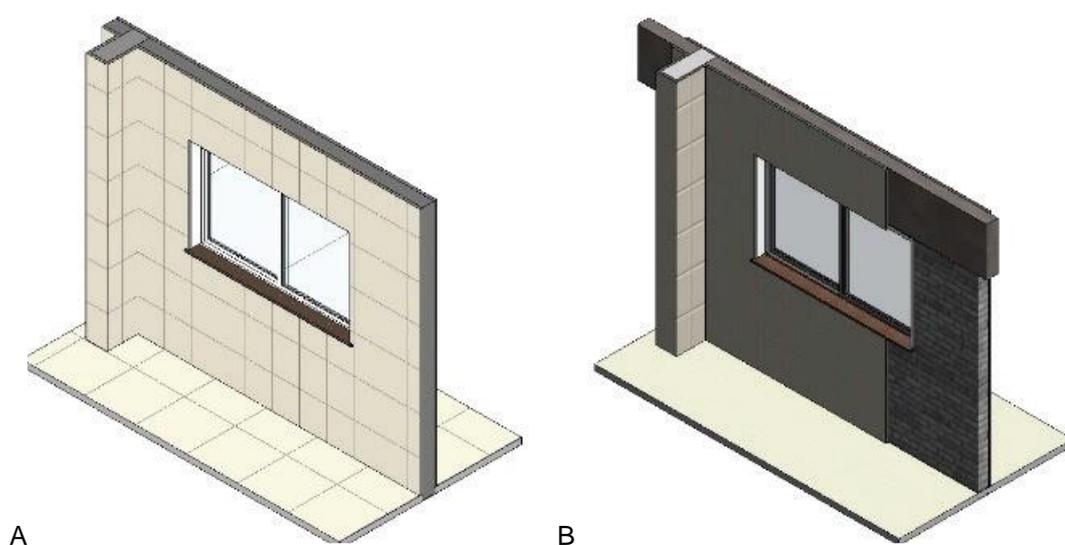


Fonte : (BRASIL, 2018c)

LOD 200: O elemento apresenta tamanho, forma, localização e orientação e quantidades aproximadas. Traz também informações não gráficas (Figura 8B).

LOD 300: O elemento é representado como um sistema ou conjunto de informações de quantidade tamanho forma e localização. Informações não gráficas anexadas (Figura 9A).

Figura 9 - Parede LOD 300

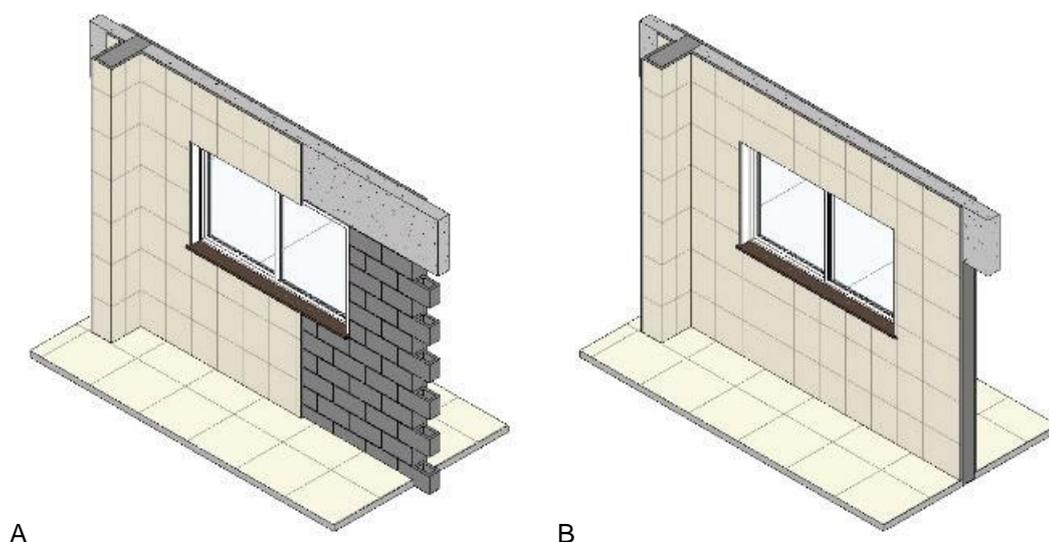


Fonte : (BRASIL, 2018c)

LOD 350: Como uma extensão do nível 300, no LOD 350 há também a interação com outros sistemas da construção (Figura 9B).

LOD 400: Além das informações dos níveis anteriores agrega-se orientação com detalhes, fabricação montagem, e informações de instalação (Figura 10).

Figura 10 - Parede LOD 400



Fonte : (BRASIL, 2018c)

LOD 500: Diferentemente dos outros níveis, o nível 500 se trata de uma representação gráfica que pode ter informações anexadas do modelo verificado em campo, conhecido também como as *built* (Figura 10B).

### 2.3. Aplicações do BIM no projeto estrutural

O projeto de construção e reforma do estádio de futebol em Dunajská Streda, Eslováquia, exemplifica o nível de evolução tecnológica e interoperabilidade de projetos estruturais em BIM (SCIA, 2017a).

O estádio foi inaugurado em 1953 e desde então passou por inúmeras reformas, sendo esta iniciada em 2016, visando atender os requisitos de infraestrutura dos estádios UEFA .Na Figura 11 é mostrada uma imagem digital do empreendimento.

Figura 11- Projeto do estádio em Dunajská Streda

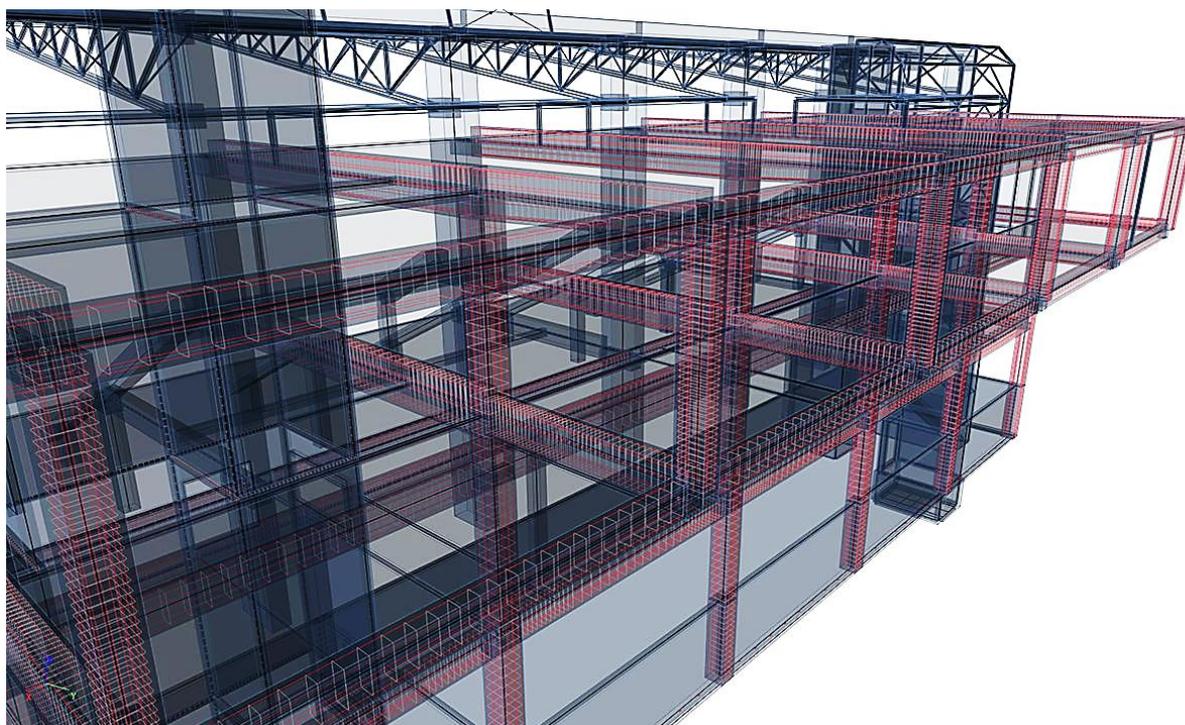


Fonte: (SCIA, 2017a)

O SCIA Engineer foi usado no projeto para a criação do modelo global estático onde foram realizados parte da análise, carregamentos, efeitos dinâmicos, resistência ao fogo e o comportamento geral da estrutura. Também foi realizado o dimensionamento dos elementos de concreto armado e de aço (SCIA, 2017a).

A confecção dos desenhos correlatos foi possível graças a interoperabilidade do SCIA com os softwares Nemetschek Allplan e Tekla Structures. Outros softwares foram usados no projeto, como Peikko Designer e Hilti (SCIA, 2017a). Na Figura 12 é mostrado um trecho do modelo com a armadura de concreto armado e os elementos de aço, já dimensionados.

Figura 12- Modelo contendo armadura de concreto armado e elementos de aço



Fonte: (SCIA, 2017a)

O Projeto foi desenvolvido pela empresa *HESCON Architectural and Engineering Office* e foi o vencedor do concurso *SCIA User Contest 2017* na categoria de melhor projeto BIM (SCIA, 2017a).

### **3. Estudo de Caso**

#### **3.1. Modelagem da estrutura**

Os elementos estruturais da edificação, pilares, vigas e lajes, foram modelados com a vantagem da visualização dos objetos em 3D. Apesar de modeladas no projeto, optou-se por não dimensionar as fundações da edificação por envolver diretamente a interação da estrutura com o solo, o que não está no escopo do trabalho. Ademais, desconsiderou-se a escada pois seria um item que exigiria maior minúcia em relação a inserção das armaduras.

O processo de lançamento e modelagem inicial da estrutura em Revit requer a configuração de alguns parâmetros, descritos nos itens seguir.

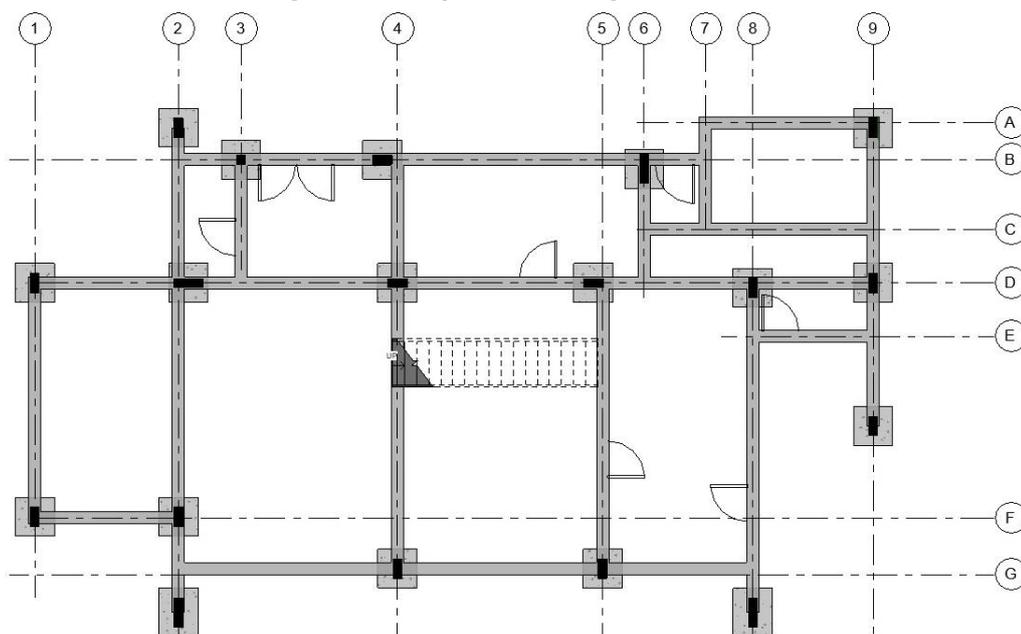
### **3.1.1. Materiais**

Optou-se pelo concreto classe C25/30, existente na Eurocode 2 (EN 1992-1-1 : 2004) e disponível na biblioteca de materiais disponibilizados pelo Revit. O motivo de tal escolha será justificado no item sobre mapeamento. Nessa etapa, não foi necessário fazer qualquer escolha em relação ao aço.

### **3.1.2. Lançamento estrutural**

O lançamento dos elementos estruturais baseou-se em algumas diretrizes que visaram a melhor junção entre o projeto arquitetônico e o estrutural de forma que esse não interferisse na harmonia estética do primeiro, além de possibilitar uma melhor distribuição de cargas até a fundação. Para tanto, optou-se por pilares de 18 cm de espessura, posicionados de forma a permanecerem embutidos nas paredes. Para o lançamento das vigas, observou-se a existência de portas e janelas com altura próxima a laje, o que geraria interferência no projeto arquitetônico. As seções transversais iniciais das vigas e pilares foram determinadas com base em valores usuais de projeto (pré-dimensionamento), sendo para pilares,  $18 \times 40 \text{ cm}^2$ ,  $18 \times 20 \text{ cm}^2$  e  $18 \times 60 \text{ cm}^2$ , de forma a não haver interferência na arquitetura. Para as vigas, determinou-se o valor de  $15 \times 40 \text{ cm}^2$  e  $25 \times 50 \text{ cm}^2$  para vigas baldrame. A espessura de laje escolhida foi de 10 cm. O valor consideravelmente grande, dadas as dimensões da casa, para o pilar de  $18 \times 60 \text{ cm}^2$ , tanto quanto a escolha do valor único, independentemente do tamanho do vão, para as viga deu-se com o objetivo de avaliar a forma com que o software de dimensionamento trataria tais seções, se indicaria necessidade de aumento ou redução dessas. Na Figura 13 é ilustrado o lançamento estrutural no nível das vigas baldrames.

Figura 13- Lançamento de vigas baldrame



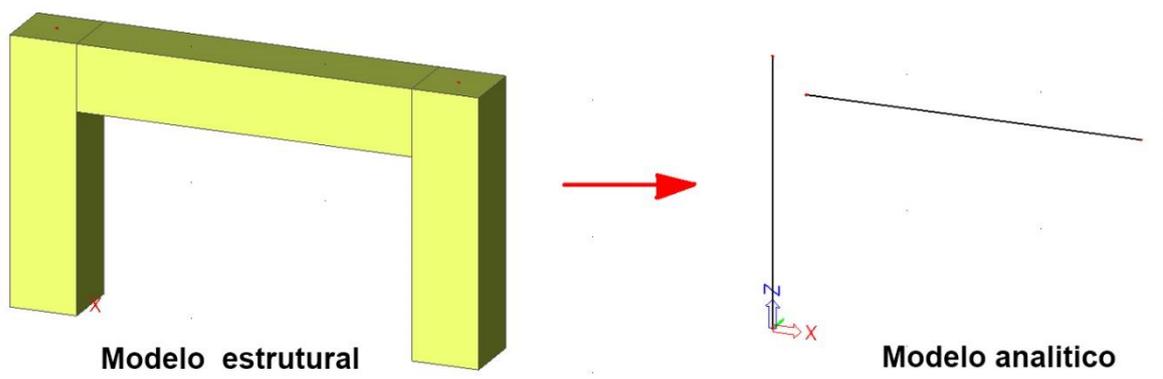
Fonte: O Autor

As plantas de formas do lançamento realizado se encontram no Apêndice B.

### 3.1.3. Modelo analítico

O modelo analítico é composto por linhas (representando a direção longitudinal dos elementos prismáticos) e nós (representando as conexões entre os componentes), os quais portam as informações necessárias a análise e ao cálculo estrutural. Há a necessidade de dispender certo esforço para ajustar o modelo analítico, visto que a concordância do modelo estrutural não necessariamente reflete na conformidade do modelo analítico, conforme é mostrado na Figura 14.

Figura 14- Diferença entre Modelo estrutural e Modelo analítico

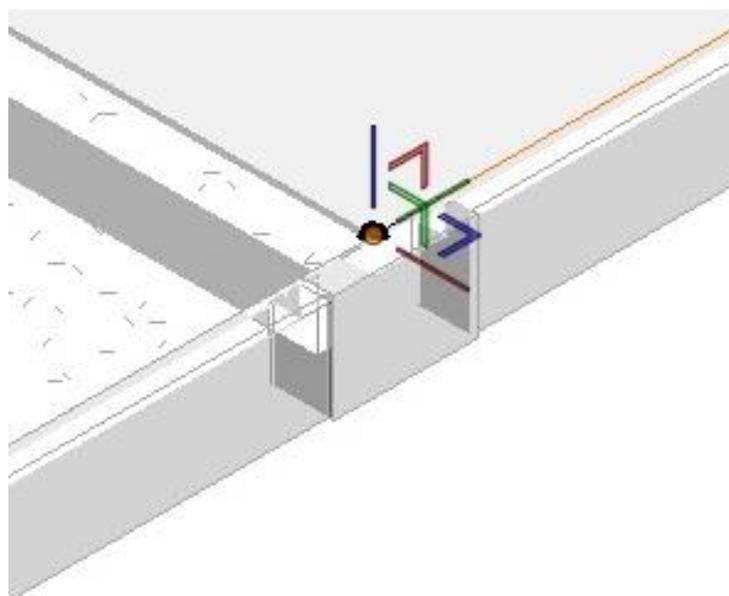


Fonte: Adaptação de SCIA, (2015)

O Revit possui ferramentas para ajustes do modelo analítico, permitindo o alinhamento dos elementos em relação ao equivalente estrutural. Deve-se configurar os parâmetros de ajustes automáticos, que estabelecem o alinhamento por autodetecção ou projeção e se haverá links analíticos, elementos infinitamente rígidos que permitem a transmissão de esforços entre os objetos ligados sem permitir movimento relativo entre eles (TARRAFA, 2012).

Ainda pode ser necessária a utilização de outra ferramenta para realizar o ajuste manual do modelo analítico. Habilitada essa ferramenta, é possível, através das setas mostradas na Figura 15, ajustar nós e linhas em quaisquer direções.

Figura 15- Ajuste manual de nó analítico

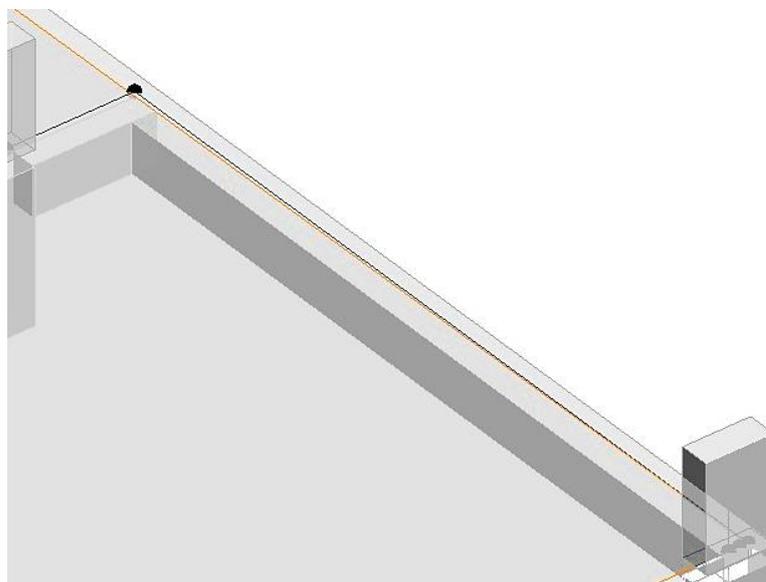


Fonte: O Autor

A modelagem das lajes painel por painel favoreceu enormemente o ajuste automático do modelo analítico. A modelagem de painéis únicos no pavimento (por exemplo), pode causar imprecisões no modelo analítico. Na

Figura 16 é possível ver que a laje analítica (em laranja) não se alinha perfeitamente a viga analítica (em preto).

Figura 16- Imprecisão do ajuste analítico de laje



Fonte: O Autor

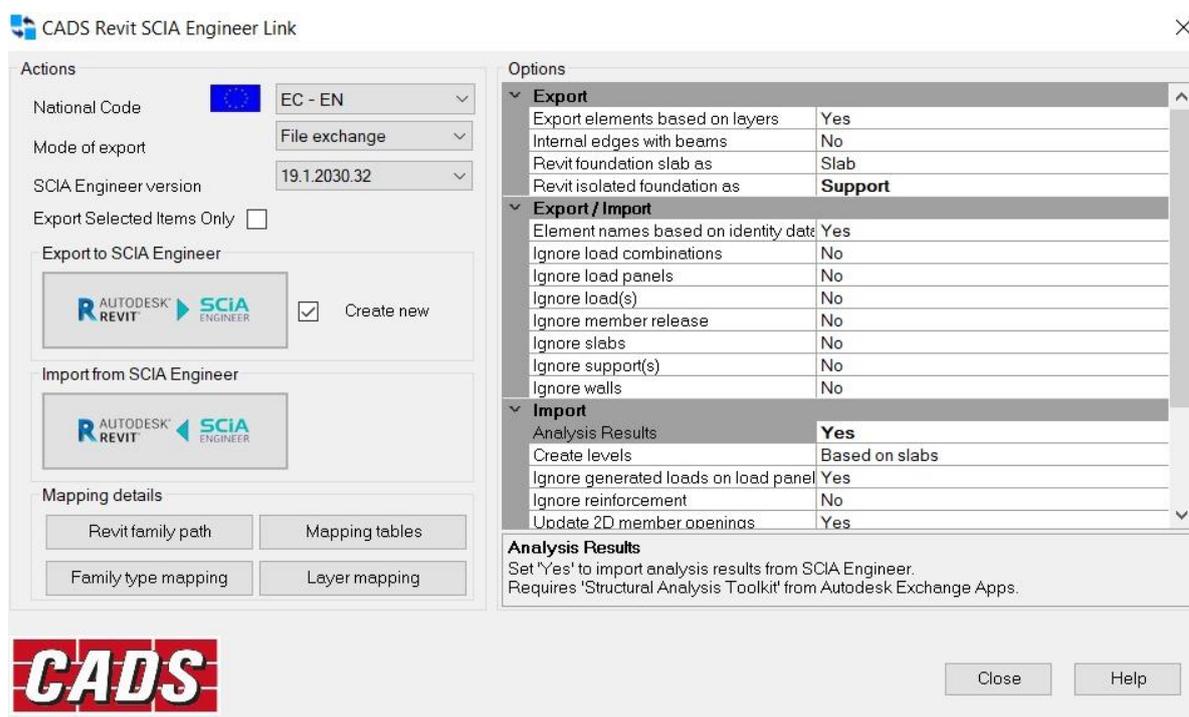
## 3.2. Interoperabilidade Revit -> SCIA

### 3.2.1. Via API

Uma vez que o software repositório do modelo arquitetônico não efetua análise e dimensionamento estrutural, optou-se por efetuar essas operações no SCIA Engineer, cuja transferência de modelo é feita por meio do plugin CADs Link, capaz de preservar as informações agregadas no modelo analítico. Através do plug-in, ocorre integração direta entre os softwares por meio de um arquivo intermediário de extensão *.r2s*.

Para a transferência de modelos entre Revit e SCIA é necessário configurar parâmetros como a escolha de um código de projeto. No entanto, não há disponível códigos relativos à normas brasileiras, apesar do SCIA realizar o dimensionamento por ela (Figura 17).

Figura 17- Janela de configurações do CADS



Fonte: O Autor

Para haver paridade entre código de projeto e família de elementos estruturais, como recomenda o guia de boas práticas do CADS (CADS, 2018), possibilitando assim o sucesso da transferência do Revit para o SCIA, foi escolhida a EUROCODE e as famílias da biblioteca do Reino Unido. Em tentativas prévias, a utilização de famílias da biblioteca brasileira se mostrou falha.

Outro passo fundamental para o sucesso da transferência pelo CADS link é o mapeamento das famílias e materiais utilizados no Revit. O mapeamento consiste no reconhecimento de equivalência das informações do Revit em relação as informações relativas a seções e materiais nativas do SCIA. Esse mapeamento permite a tradução das informações disponíveis no Revit para sua própria "linguagem", podendo, assim, processá-las. Caso alguma informação não tenha sido mapeada, a janela de mapeamento aparecerá automaticamente para que o mapeamento seja feito. Na Figura 18 é ilustrada a janela de *Mapping tables*.

Figura 18 - Mapping tables

Mapping tables

Mapping database: User Table

Document mapping: EC - EN

Material | Cross section | Profile Sheet | Parameter | Rebar

Revit material name	Material category	National Code	SCIA Engineer material name
Concrete, Cast-in-Place gray	concrete	IBC-Metric	C10000
Default Floor	Concrete	IBC-Metric	C10000
Structural Columns (Concrete)	Concrete	IBC-Metric	C10000
Concreto - Moldado in loco - Cinza	Concrete	EC - EN	C20/25(EN1992-2)
Material pré-definido de piso	Masonry	EC - EN	Masonry
Concreto - Moldado in loco - Cinza	Concrete	EC - EN	C20
Vergalhão - CA-50	Reinforcement steel	EC - EN	CA-50
Concrete - Cast-in-Place Concrete - 25 MPa	Concrete	EC - EN	C20/25(EN1992-2)
Concrete - Cast-in-Place Concrete - 25 MPa	Concrete	EC - ENV	C20/25
Default Floor	Concrete	EC - EN	C20/25
Concrete - Cast-in-Place Concrete - 25 MPa	Concrete	EC - EN	C25
Concreto, Moldado no local - Cinza	Concrete	EC - EN	C25/30(EN1992-2)

Delete

Fonte: O Autor

### 3.2.2. Configurações SCIA

O SCIA permite atribuições da NBR 6118:2014 para dimensionamento de estruturas de concreto armado (Figura 19).

Figura 19 - Dados de projeto

Dados do projeto

Dados básicos | Funcionalidade | Carregamentos | Configurações | Definição de unidade | Proteção

Dados

Nome: -

Parte: -

Descrição: -

Autor: -

Data: 20.07.05

Material

Concreto

Material C25

Material da ar... CA-50

Aço

Material A36

Alvenaria

Material Masonry

Outro

Material

Norma

Norma Nacional:  ABNT NBR

Estrutura: [Ambiente de pós-processamento](#)

Geral XYZ padrão

Modelo: Um

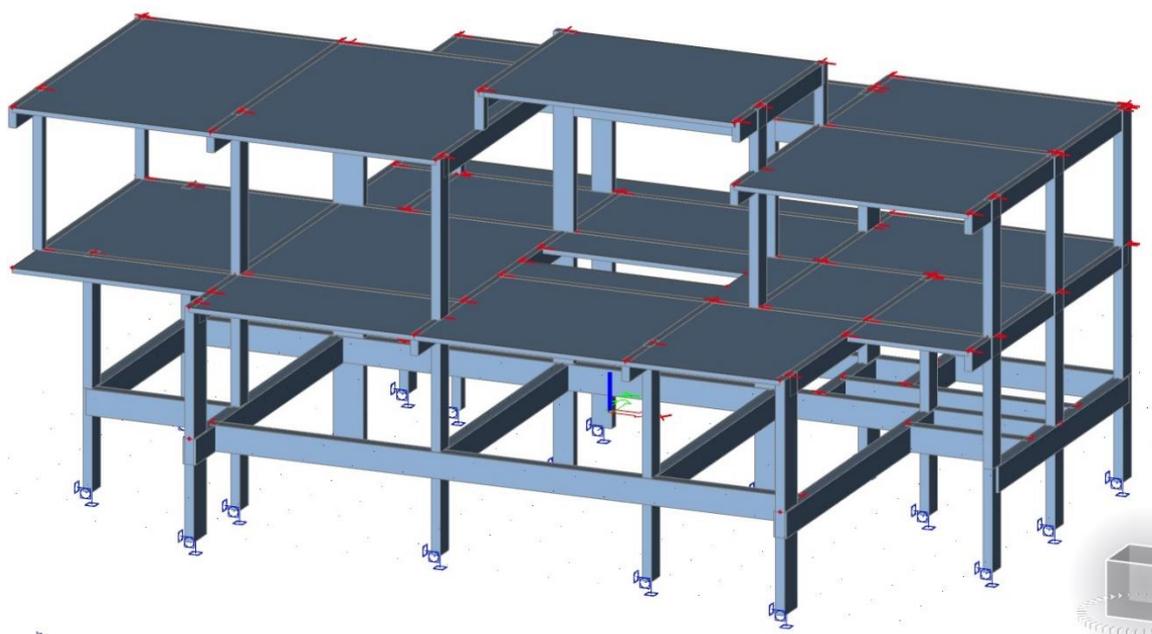
Fonte: O Autor

Também é possível ativar combinações automáticas de cargas, conforme a NBR 6118:2014.

Visto que os links analíticos gerados pelo Revit não são reconhecidos pelo SCIA, foi necessário ainda realizar novos ajustes. Acessando a caixa de ferramentas BIM pela árvore principal foi possível alinhar e conectar os membros do modelo. Mesmo com o ajuste automatizado do modelo analítico, em alguns pontos foi preciso realizar ajuste manual para conectar elementos.

Após a inserção de apoios de 3º gênero nos nós inferiores dos pilares e a verificação da estrutura pelo software obteve-se o modelo como vê-se na Figura 20.

Figura 20- Modelo ajustado no SCIA



Fonte: O Autor

Configurou-se ainda outras opções de projeto, como:

- Classe de agressividade ambiental CA II
- Cobrimento de lajes 2,5 cm e demais elementos 3 cm

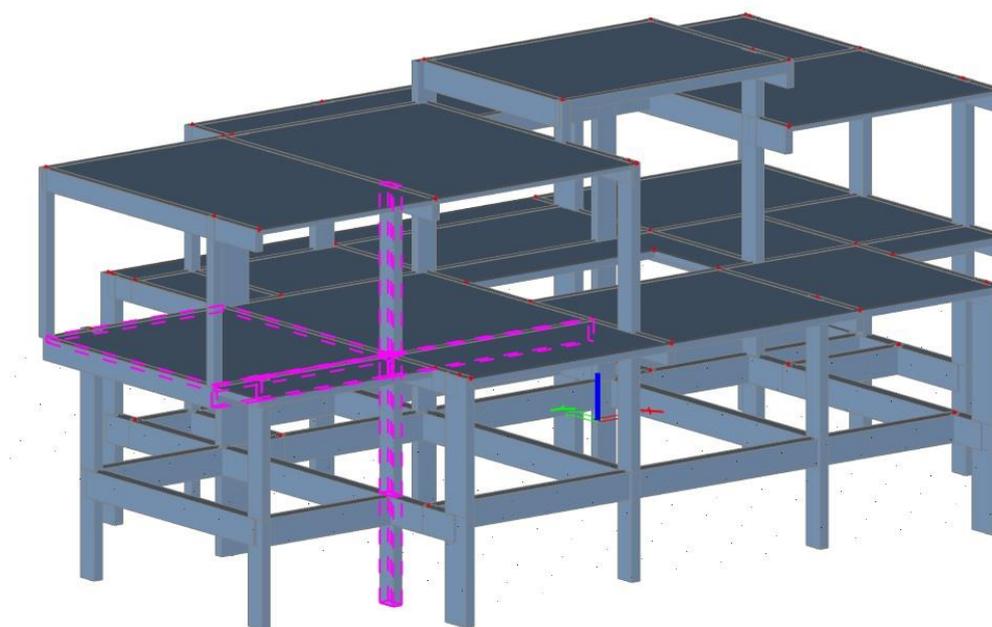
Como mostrado anteriormente na Figura 19, a classe de concreto escolhida foi C25 e aço CA-50



### 3.2.3. Análise estrutural

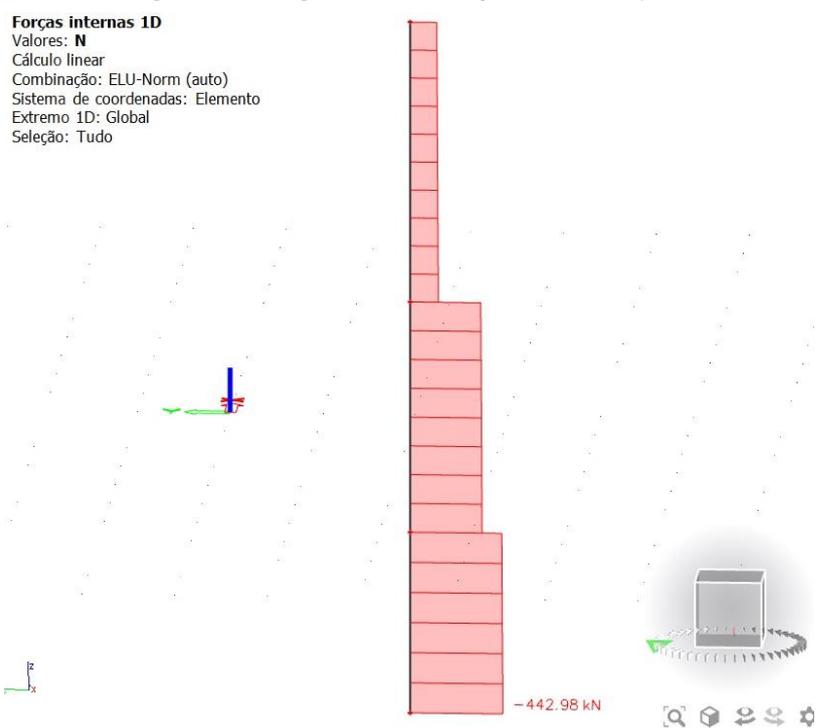
Após as etapas mostradas anteriormente e a geração da malha de elementos finitos, que foi refinada com o peso próprio da estrutura e erro de alvo de 10%, realizou-se a análise da estrutura por meio das funcionalidades do SCIA Engineer, que dispõe de ferramentas gráficas, tabelas e relatórios que facilitam a visualização da estrutura e a tomada de decisões em relação a alterações que possam ser necessárias ao lançamento estrutural. Para exemplificar como pode ser feita a análise no software escolheu-se três elementos distintos, que podem ser vistos destacados na Figura 22. Nas figuras 23, 24, 25 e 26 são mostrados alguns diagramas de esforços do pilar e da viga calculados para o Estado Limite Último conforme ABNT NBR 6118:2014.

Figura 22- Elementos estruturais de demonstração



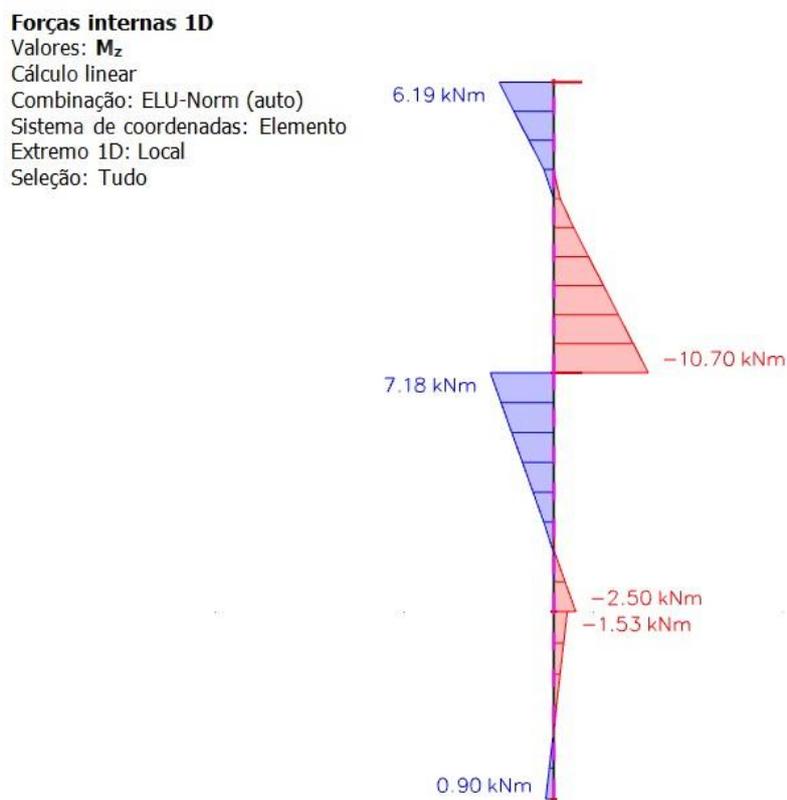
Fonte: O Autor

Figura 23- Diagrama de esforço normal do pilar



Fonte: O Autor

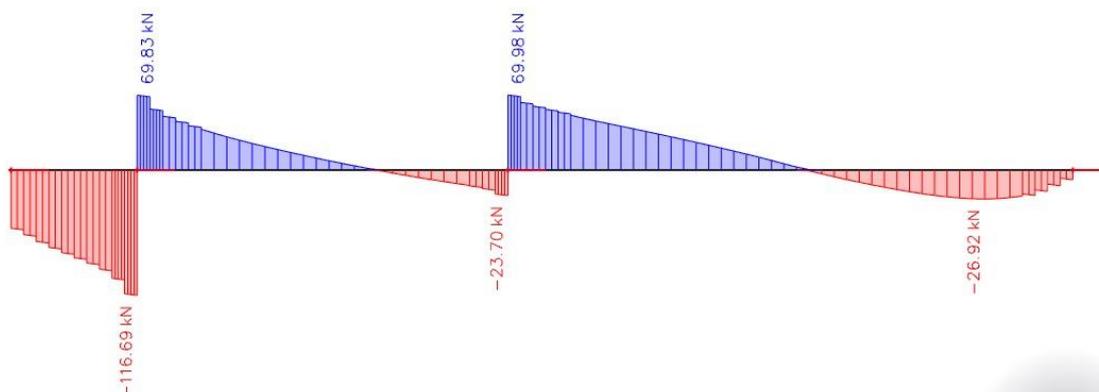
Figura 24- Momentos fletores no pilar



Fonte: O Autor

Figura 25 - Diagrama de força cortante na viga

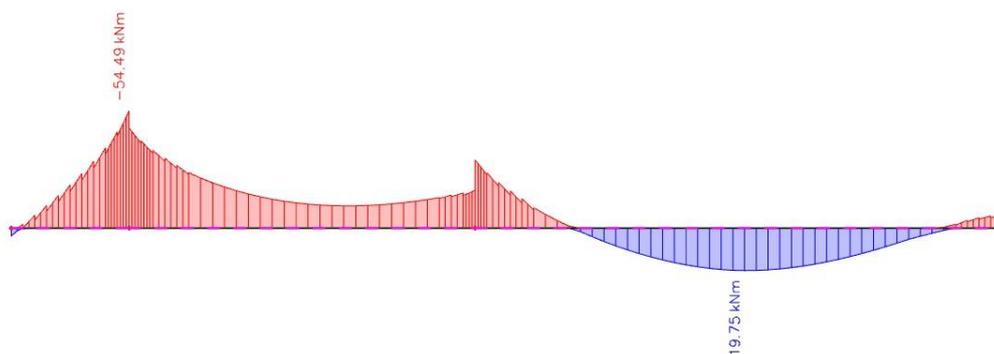
ELU - NBR-6118:2014 - Forças Internas - Cálculo  
 Valores:  $V_z$   
 Cálculo linear  
 Combinação: ELU-Norm (auto)  
 Sistema de coordenadas: Principal  
 Extremo 1D: Elemento  
 Seleção: Tudo



Fonte: O Autor

Figura 26 - Diagrama de momento fletor da viga

Forças internas 1D  
 Valores:  $M_y$   
 Cálculo linear  
 Combinação: ELU-Norm (auto)  
 Sistema de coordenadas: Elemento  
 Extremo 1D: Global  
 Seleção: Tudo



Fonte: O Autor

Conforme relatado tutorial de placas de concreto (SCIA, 2018) análise pelo método dos elementos finitos gera valores de pico em locais como borda de lajes e nós de suportes, o que reflete também nos valores do dimensionamento. Na Figura 27 é mostrada essa situação, onde apesar de maior parte do diagrama da laje estar

representado com valores mais baixos, os valores de pico que aparecem nos nós ainda aparecem na escala cromática e afetam a distribuição das cores nas imagens.

Figura 27- Momentos na direção x na laje

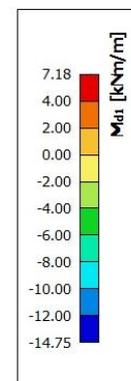
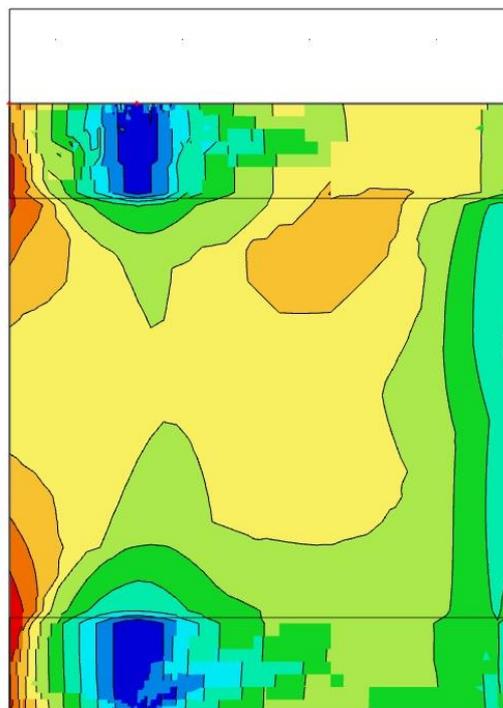


Fonte: O Autor

Para solucionar a interferência destes valores o SCIA dispõe da ferramenta de faixa de média, que cria regiões em torno dos nós ou linhas selecionadas onde os valores obtidos são ponderados de forma a obter-se valores mais plausíveis. Após a utilização desse recurso na laje de exemplo obteve-se os resultados vistos na Figura 28. Observa-se que as regiões em azul sinalizam picos de momento negativo causado por apoio nas vigas e pilares adjacentes.

Figura 28- Momentos ponderados na direção x

**NBR:6118-2014 - 2D - Forças internas**  
Valores:  $M_{d1}$   
Cálculo linear  
Combinação: ELU-Norm (auto)  
Extremo: Global  
Seleção: Tudo  
Localização: Em nós med. em macro.  
Sistema: LCS do elemento de malha

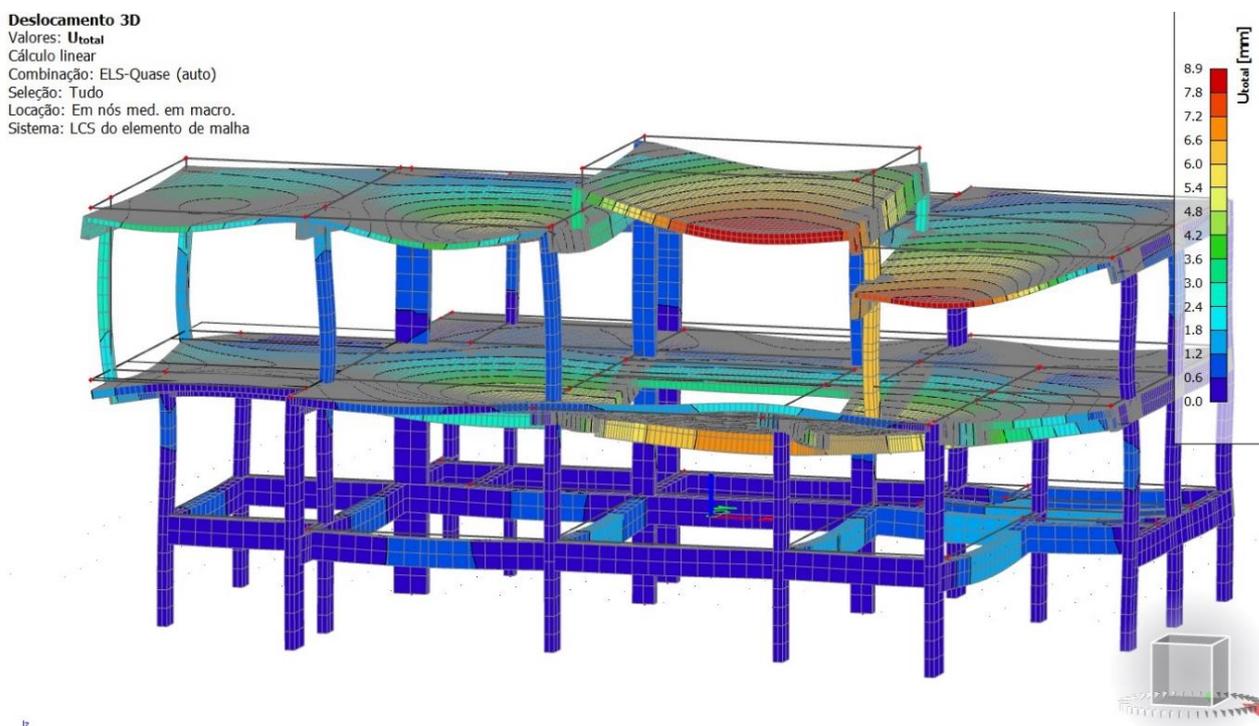


Fonte: O Autor

### 3.2.3.1. Outras ferramentas de análise

O SCIA Engineer possui diversas outras funcionalidades que auxiliam o processo de análise estrutural como o modelo deformado de deslocamento para o Estado Limite de Serviço (ELS) que ajuda visualizar melhor o comportamento da estrutura. Ver Figura 29.

Figura 29- Deslocamento global 3D da edificação



Fonte: O Autor

As demais ferramentas de resultado e análise não serão discutidas nesse trabalho.

### 3.2.4. Dimensionamento

De posse das informações de análise estrutural dimensionou-se seus elementos. Fez-se uso das funcionalidades que, para cada elemento são exibidas em diagramas e tabelas tanto a área de aço, a quantidade de barras necessárias baseadas na bitola padrão, e o espaçamento no caso dos estribos.

O dimensionamento será demonstrado com os mesmos elementos usados na seção de análise estrutural.

As tabelas das figuras 30, 31 e 32, produzidas pelo SCIA, discriminam cada tipo de armadura e seu respectivo valor para um exemplo de dimensionamento de pilar, viga e laje, respectivamente. O parágrafo seguinte resume o significado das variáveis que encabeçam cada coluna.

Figura 30- Tabela de armaduras para o pilar

**ELU - NBR-6118:2014**

Cálculo linear

Combinação: ELU-Norm (auto)

Sistema de coordenadas: Principal

Extremo 1D: Global

Seleção: Tudo

**Cálculo longitudinal**

Nome	dx [m]	Caso	A <sub>s_req</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>s_req+</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>s_req-</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>st_req</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>sc_req</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>s,min</sub> [mm <sup>2</sup> ]	nBars	φ <sub>l</sub> [mm]	A <sub>s,pele</sub> [mm <sup>2</sup> ]
Member#319403	0.000	ELU-Norm (auto)/1	<b>410</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>205</b>	<b>205</b>	<b>288</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>0</b>

**Cálculo do cisalhamento e torção**

Nome	dx [m]	Caso	A <sub>sw/s</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	φ <sub>ω</sub> [mm]	s [m]	A <sub>90/s</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>slt</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>s,t</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>wt/s</sub> [mm <sup>2</sup> /m]
Member#319403	0.310	ELU-Norm (auto)/1	0	0	<b>0.000</b>	0	0	0	0
Member#319403	0.000	ELU-Norm (auto)/1	<b>471</b>	<b>6</b>	0.135	<b>185</b>	<b>70</b>	<b>480</b>	<b>420</b>

Nome	Chave de combinação
ELU-Norm (auto)/1	1.40*Peso Próprio + 1.40*Ocupação + 1.40*Paredes

Fonte: O Autor

Figura 31- Tabela de armadura para a viga

**ELU - NBR-6118:2014**

Cálculo linear

Combinação: ELU-Norm (auto)

Sistema de coordenadas: Principal

Extremo 1D: Global

Seleção: Tudo

**Cálculo longitudinal**

Nome	dx [m]	Caso	A <sub>s_req</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>s_req+</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>s_req-</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>st_req</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>sc_req</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>s,min</sub> [mm <sup>2</sup> ]	nBars	φ <sub>l</sub> [mm]	A <sub>s,pele</sub> [mm <sup>2</sup> ]
Member#321679	1.001	ELU-Norm (auto)/1	<b>148</b>	<b>148</b>	0	<b>148</b>	<b>0</b>	<b>90</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>0</b>
Member#368430	2.389-	ELU-Norm (auto)/1	<b>316</b>	56	<b>260</b>	<b>316</b>	0	90	<b>8</b>	8	0

**Cálculo do cisalhamento e torção**

Nome	dx [m]	Caso	A <sub>sw/s</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	φ <sub>ω</sub> [mm]	s [m]	A <sub>90/s</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>slt</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>s,t</sub> [mm <sup>2</sup> ]	A <sub>wt/s</sub> [mm <sup>2</sup> /m]
Member#321679	0.050-	ELU-Norm (auto)/2	0	0	<b>0.000</b>	0	0	0	0
Member#368430	2.389-	ELU-Norm (auto)/1	262	<b>6</b>	0.218	128	65	<b>382</b>	259
Member#321679	0.100-	ELU-Norm (auto)/1	<b>857</b>	6	0.094	<b>176</b>	<b>137</b>	227	<b>604</b>

Nome	Chave de combinação
ELU-Norm (auto)/1	1.40*Peso Próprio + 1.40*Ocupação + 1.40*Paredes
ELU-Norm (auto)/2	Peso Próprio + Paredes

Fonte: O Autor

Figura 32- Tabela com armaduras necessárias para a laje

**NBR:6118-2014 - 2D - ELU**

Cálculo: linear  
 Combinação: ELU-Norm (auto)  
 Extremo: Elemento  
 Seleção: Tudo  
 Locação: Em nós med.. Sistema: LCS do elemento de malha

Nome	Malha	Posição [m]	Caso	A <sub>s_req_1-</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>s_req_2-</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>s_req_1+</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>s_req_2+</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>sw,x</sub> [mm <sup>2</sup> /m]	A <sub>sw,y</sub> [mm <sup>2</sup> /m]
Member2d#372211	Nó: 9936	-10.360 -1.324 2.550	ELU-Norm (auto)/1	226	92	0	0	0	0
Member2d#372211	Nó: 12182	-8.541 0.986 2.550	ELU-Norm (auto)/1	17	197	11	0	0	0
Member2d#372211	Nó: 10067	-9.332 2.445 2.550	ELU-Norm (auto)/1	0	0	650	308	0	0
Member2d#372211	Nó: 6358	-9.459 -2.329 2.550	ELU-Norm (auto)/1	0	0	545	439	0	0
Member2d#372211	Nó: 9994	-6.419 1.488 2.550	ELU-Norm (auto)/1	0	60	283	0	0	1315

Nome	Chave de combinação
ELU-Norm (auto)/1	1.40*Peso Próprio + 1.40*Ocupação + 1.40*Paredes

Fonte: O Autor

A legenda para as siglas da tabela conforme SCIA (2017b) segue a baixo:

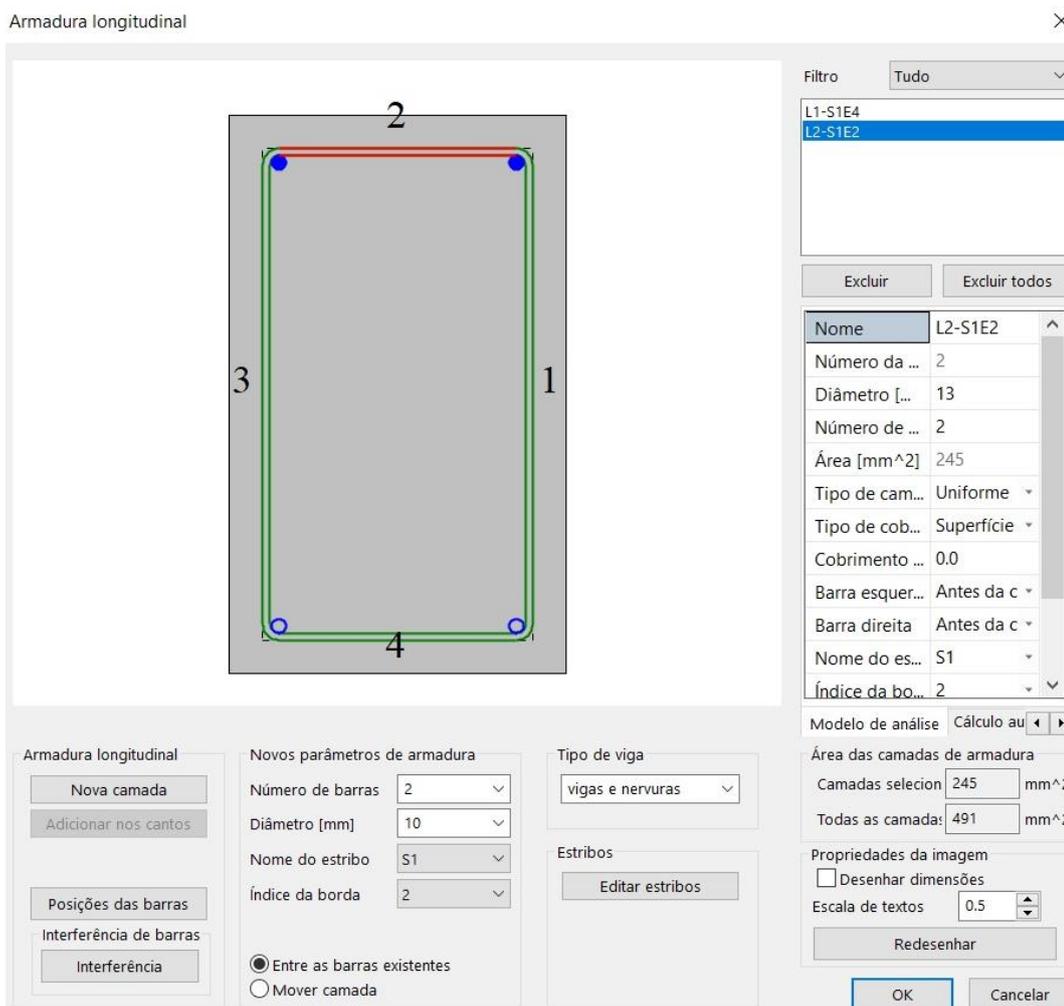
A<sub>s\_req</sub> = armadura longitudinal necessária para a seção  
 A<sub>s\_req+</sub> = armadura longitudinal necessária na fase superior do elemento (+z do eixo local)  
 A<sub>s\_req-</sub> = armadura longitudinal necessária na fase inferior do elemento (-z do eixo local)  
 A<sub>st\_req</sub> = Armadura longitudinal necessária de tração na seção  
 A<sub>sc\_req</sub> = Armadura longitudinal necessária de compressão na seção  
 A<sub>s, min</sub> = Armadura longitudinal mínima necessária  
 nBars = número de barras de acordo com a bitola padrão imposta ao elemento  
 □<sub>l</sub> = exibe a bitola padrão longitudinal definida para o elemento  
 A<sub>sw/s</sub> = armadura necessária para o cisalhamento  
 □<sub>□</sub> = exibe a bitola padrão transversal definida para o elemento  
 s = exibe o espaçamento necessário entre os estribos  
 A<sub>90/s</sub> = armadura transversal necessária devido à torção  
 A<sub>slt</sub> = Armadura longitudinal necessária devido à torção  
 A<sub>s,t</sub> = Armadura longitudinal total incluindo a torção  
 A<sub>wt/s</sub> = Armadura transversal total incluindo a torção

### 3.2.5. Geração da armadura 3D

De posse dos valores necessários para as armaduras, essas foram inseridas manualmente, sendo o processo para vigas e pilares o mesmo:

Através da ferramenta de inserção de armadura 1D pode-se criar, editar ou escolher um modelo pré-definido de armadura para a seção como visto na Figura 33.

Figura 33- Menu de edição de armadura de elemento 1D



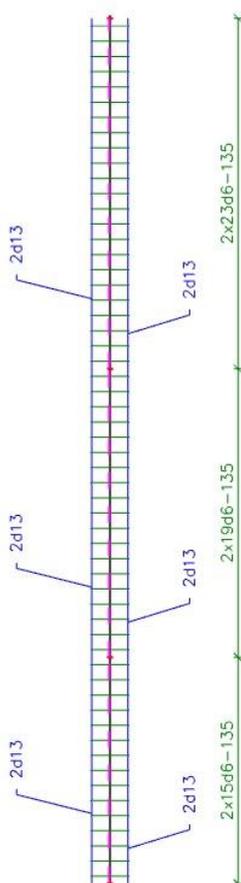
Fonte: O Autor

Após definido inserido o modelo de armadura para a seção, esse foi copiado para os demais trechos do elemento 1D, seja viga ou pilar.

Note-se que esse processo simplificado considerando apenas uma configuração de armadura longitudinal e transversal ao longo de todo elemento, especialmente no caso das vigas, ocasionou o “super dimensionamento” dos elementos, porque visou-se a agilidade para a realização do dimensionamento, não sua otimização. Seguindo o mesmo raciocínio também não se levou em conta o dimensionamento das ancoragens de armaduras apesar do SCIA dispor de recurso para essa tarefa.

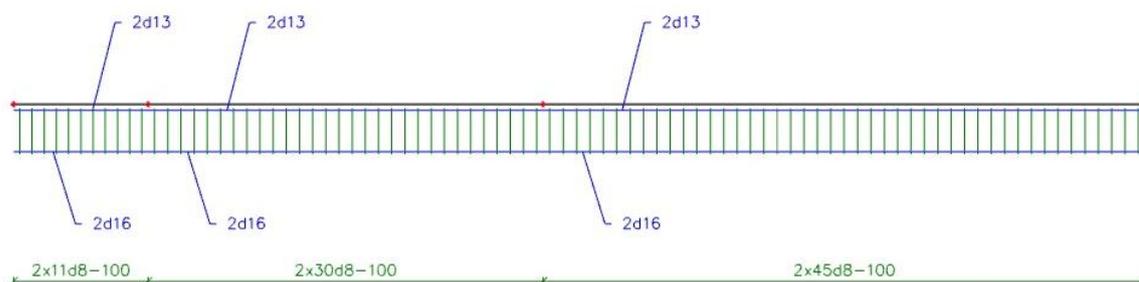
Ao final da inserção da armadura o pilar e a viga de exemplo foram exibidas na interface do software como mostrado nas figuras Figura 34 e Figura 35.

Figura 34-Pilar armado



Fonte: O Autor

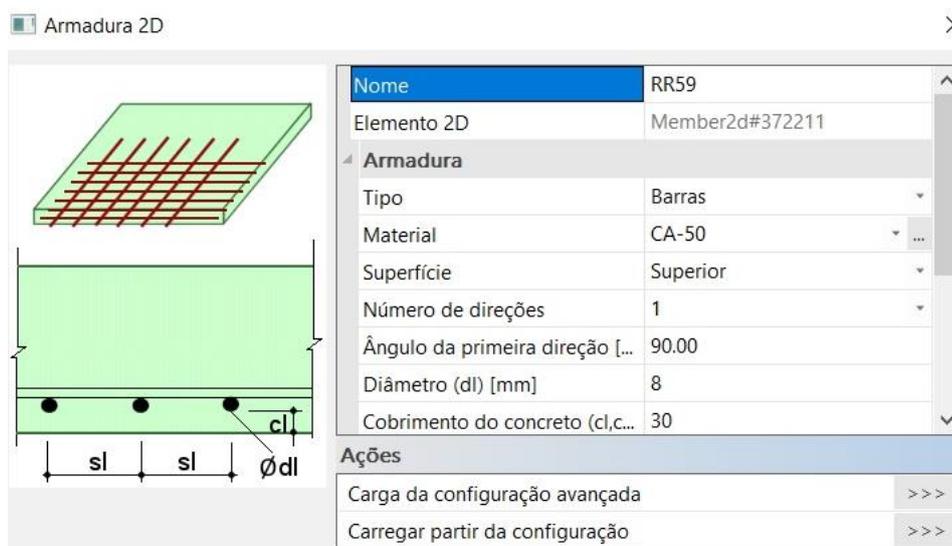
Figura 35- Viga armada



Fonte: O Autor

A ferramenta para geração de armadura de lajes difere-se da anterior. Como mostra a Figura 36, pode-se inserir as barras por polígono ou linha, sendo necessário escolher qual nível da camada, a bitola, espaçamento e o ângulo dessas.

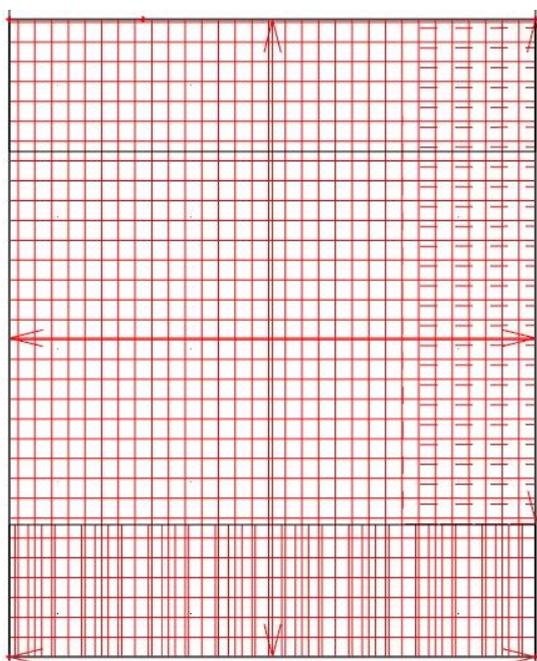
Figura 36 - Menu de inserção de armadura 2D



Fonte: O Autor

Após a inserção das armaduras da camada inferior em toda a área da laje, e armaduras nas camadas superiores na interseção com as lajes vizinhas obteve-se o resultado mostrado na Figura 37, onde as barras estão representadas em suas respectivas posições.

Figura 37- Laje armada



Fonte: O Autor

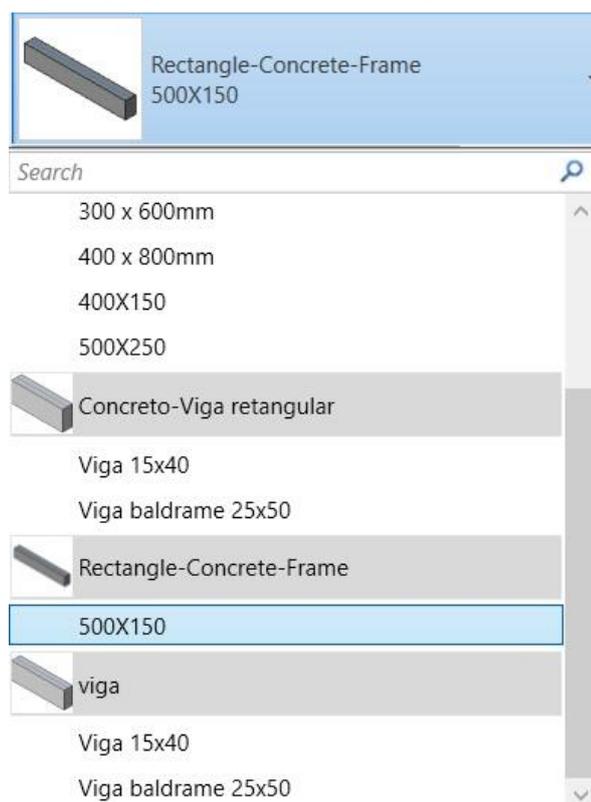
### 3.3. Interoperabilidade SCIA -> Revit

Após a inserção das armaduras dimensionadas em todos os elementos prosseguiu-se para a segunda etapa do fluxo de trabalho descrita no início do trabalho.

#### 3.3.1. Atualização de seções

Para a atualização das seções e informações analíticas do modelo fez-se uso do arquivo .r2s exportado do SCIA e aberto no Revit. As seções criadas internamente no SCIA durante o dimensionamento, que não existiam previamente no Revit, foram criadas pelo arquivo de interoperabilidade com base em famílias diferentes das que já existiam no arquivo, como mostrado na Figura 38, onde a seção de 15x50 cm<sup>2</sup> criada no SCIA foi criada no Revit com base na família *Rectangle-Concrete-Frame*.

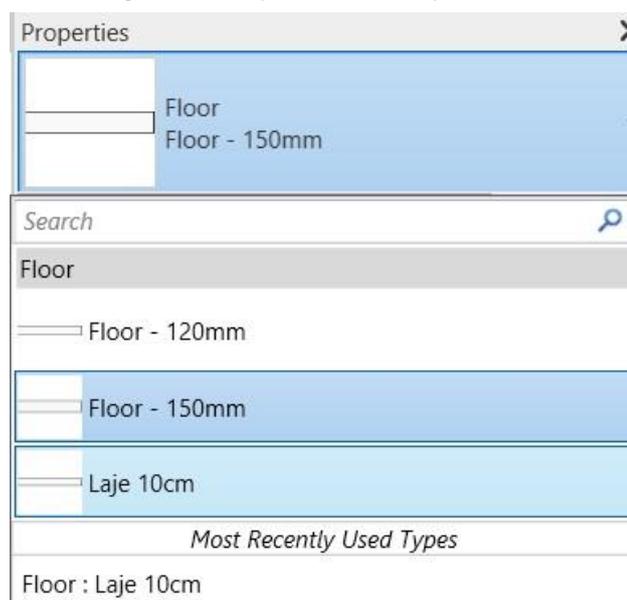
Figura 38- Nova família de viga criada



Fonte: O Autor

As diferentes espessuras de laje criadas no SCIA (12 e 15 cm) também foram criadas no Revit. Ver Figura 39.

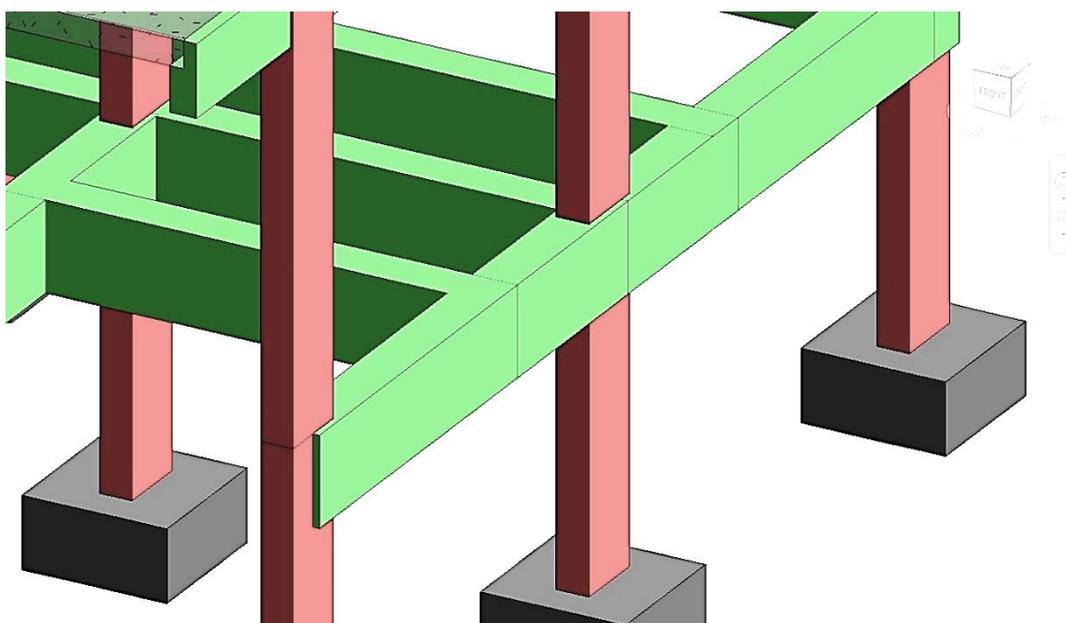
Figura 39- Espessuras de laje criadas



Fonte: O Autor

Outra alteração decorrente do processo de a atualização do modelo foi o seccionamento de todas as vigas nas interseções tal qual se deu no SCIA e pode ser visto na Figura 40.

Figura 40- Viga seccionada

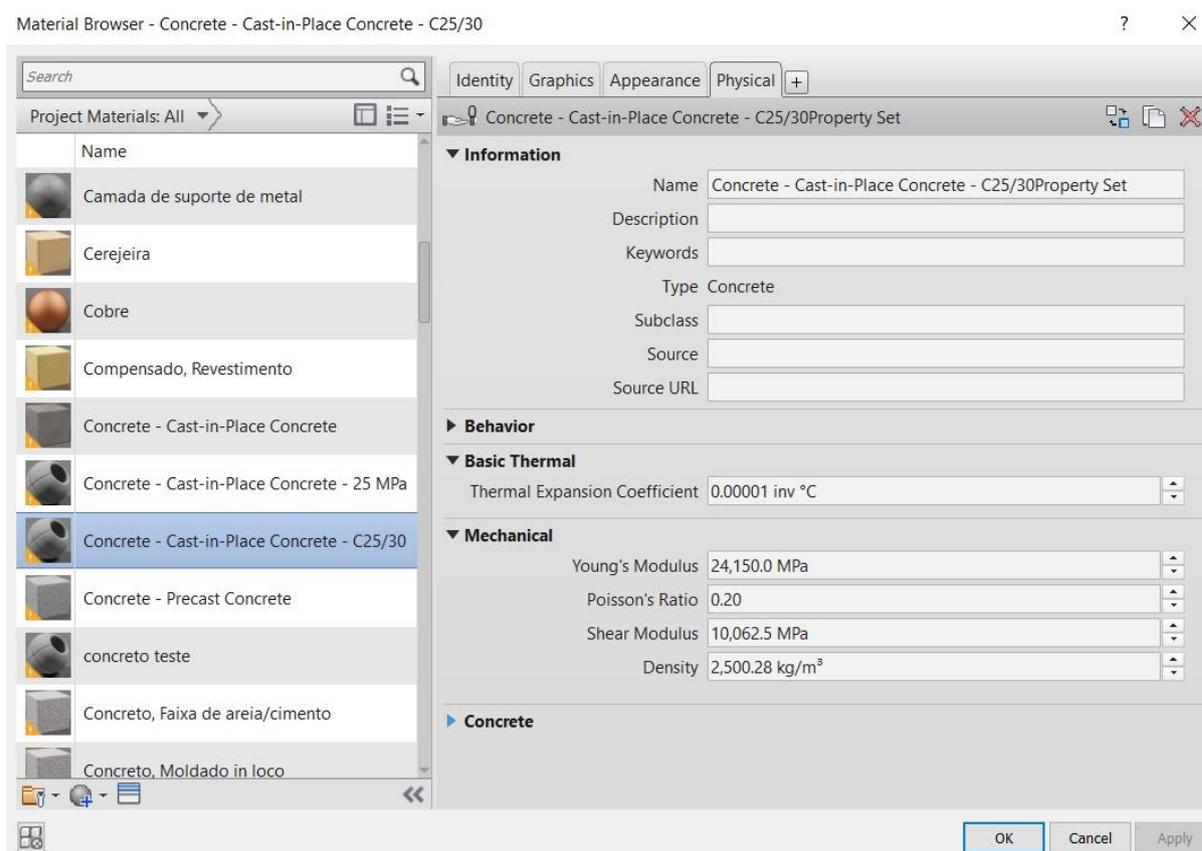


Fonte: O Autor

### 3.3.2. Concreto

O material concreto de todos elementos foi substituído por outro, nomeado *Concrete-Cast in Place Concrete- C25/30*, como visto na Figura 41, no entanto com propriedades mecânicas diferentes.

Figura 41- Concreto C25/30 criado após a transferência



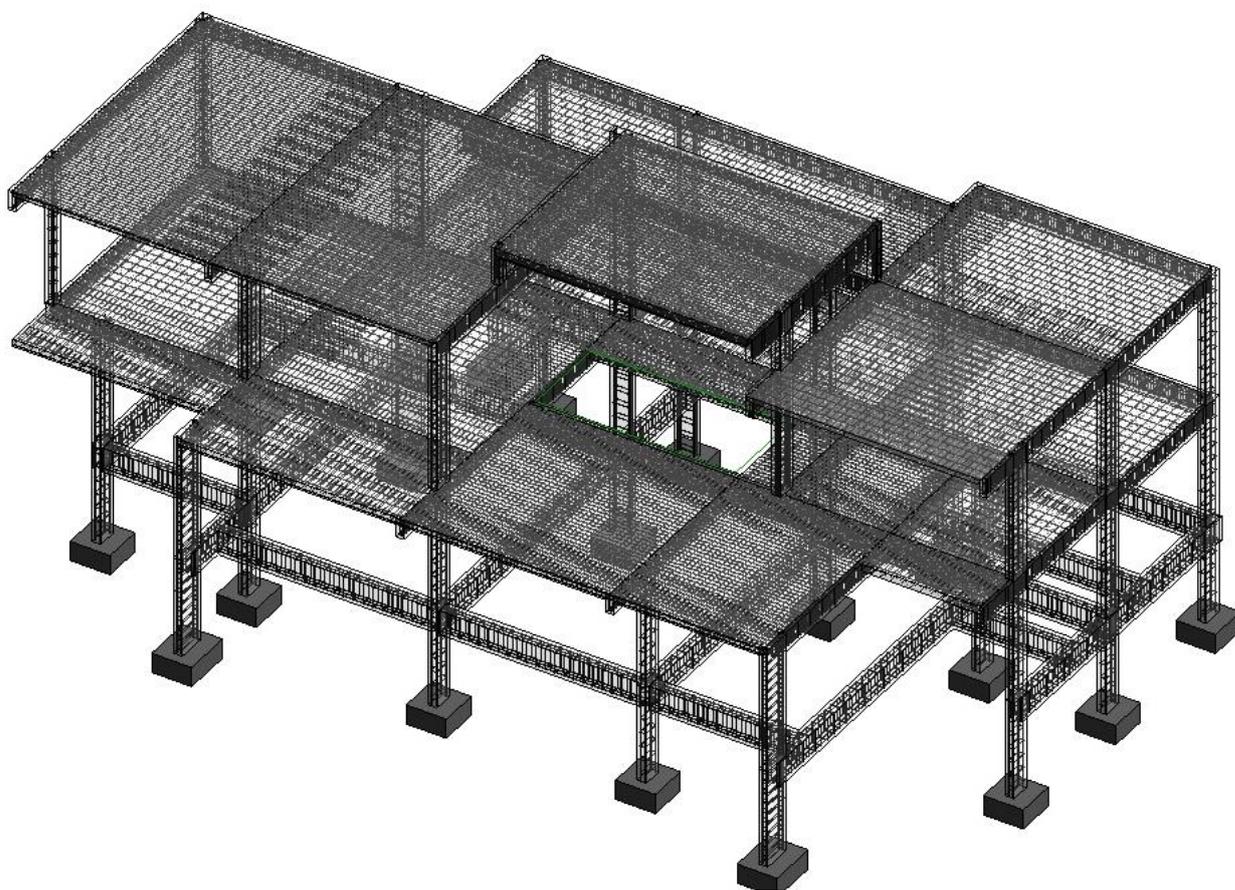
Fonte: O Autor

Deve-se notar que a substituição do material das seções por um outro não significa que foi esse o material utilizado para o cálculo estrutural e ele pode ser atualizado facilmente no Revit pelo material anterior.

### 3.3.3. Armadura

A armadura gerada no SCIA foi transferida para o Revit por meio de um arquivo IFC e foi vinculado ao arquivo principal do Revit por meio do chamado Revit link. Após alguns ajustes de visualização pôde-se obter o modelo estrutural da edificação com as armaduras visto na Figura 42.

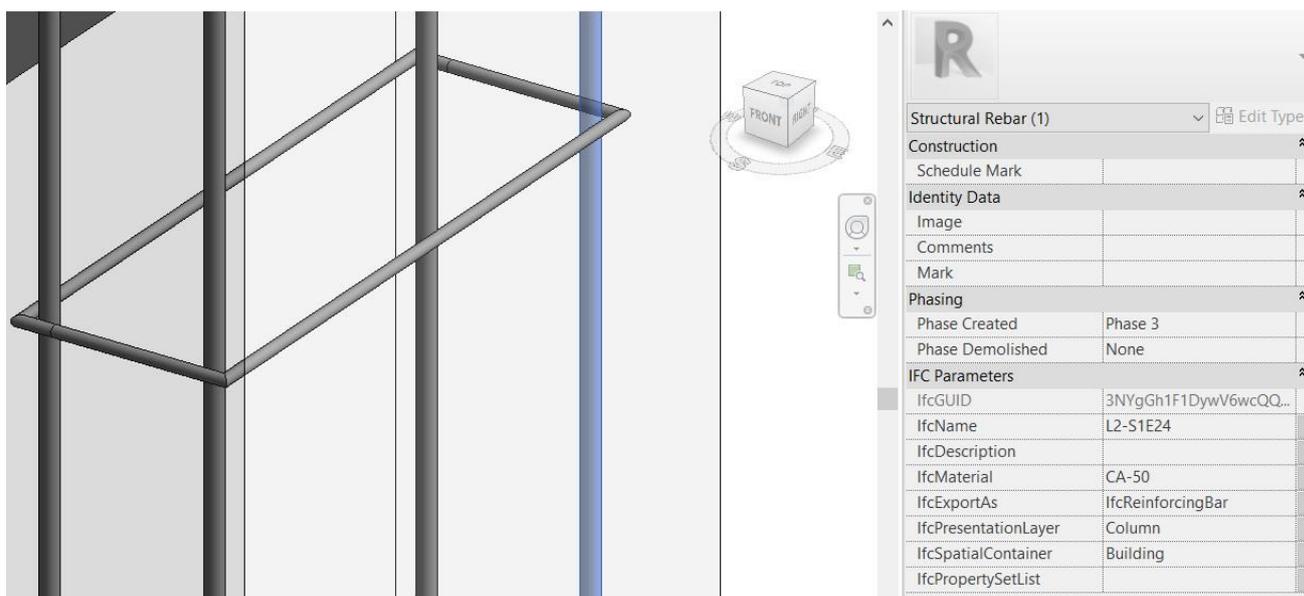
Figura 42-Modelo estrutural com as armaduras



Fonte: O Autor

Apesar do alto nível de detalhe da armadura da estrutura que a classificaria como LOD 400 (BIM FORUM, 2019), que possibilita perfeita visualização de sua geometria e a interação com os demais elementos da edificação, a transferência da forma que foi realizada não agrega o mesmo nível de informação que se obteria ao modelar os vergalhões diretamente pelo Revit, o que possibilitaria a extração de quantitativos detalhados. A Figura 43 mostra as informações que o objeto IFC de armadura porta.

Figura 43- Propriedades IFC do vergalhão



Fonte: O Autor

## 4. Discussões

Observou-se que o SCIA, relativo às seções adotadas, não apresenta mecanismo de interferência quanto ao dimensionamento dos elementos, no sentido que não exibe de imediato mensagens dizendo se a seção está subdimensionada ou superdimensionada. Existe uma ferramenta de verificação de resposta ao Estado Limite Último, que realiza a conferência se o elemento selecionado contém a armadura necessária para as solicitações as quais está submetido. Caso a armadura inserida seja suficiente, apresenta-se um diagrama em cor verde e o valor (de 0 a 1) que o elemento foi solicitado em relação a sua capacidade máxima, caso contrário, o diagrama será vermelho e com o valor 999, e o relatório completo da checagem apresenta possíveis soluções para o problema, como alteração das dimensões da seção, quantidade de armadura ou qualidade do concreto. Essa funcionalidade do software permite que o projetista possa buscar a otimização do dimensionamento da estrutura, no entanto há perda de celeridade nesse processo.

Como citado anteriormente, o processo de atualização da estrutura dimensionada de volta ao Revit não respeitou o material exato que havia sido configurado, apesar de ambos serem classificados na mesma categoria, o que poderia justificar o engano no

mapeamento pelo CADS Link. Porém, em uma situação onde o concreto entrasse em um relatório de composição de materiais, de qualquer forma teria que se realizar a substituição pelo material adequado a ABNT NBR 6118:2014, nesse caso concreto classe C25. Far-se-ia necessária também a união dos trechos de vigas seccionados pelo SCIA para a confecção dos desenhos executivos, uma vez que seriam aparentes as linhas separando os elementos e sistema automático de *tags* do Revit identificaria todos os trechos.

Em relação a armadura dimensionada, obteve-se alto nível de detalhe dada a completude da geometria oferecida pelo arquivo IFC, entretanto, nesse mesmo aspecto foi possível verificar a deficiência do Revit em acessar os dados desse arquivo para obtenção de quantitativos e para edição do elementos que compõe armadura(barras e estribos) que só é possível no SCIA. Dessa forma pequenos ajustes que possam ser necessários requerem a utilização do SCIA e o retrabalho de atualização no Revit.

## **5. Conclusões**

Ao fim desse trabalho pôde-se tirar algumas lições da posição de modelador/projetista:

Todo cuidado e atenção na modelagem, fazendo uso de ferramentas auxiliares como níveis e grids para o alinhamento dos elementos, recompensa todo o tempo que seria gasto na adequação do modelo analítico, seja no software de modelagem ou no de cálculo, visto que os procedimentos de modelagem impactam diretamente o modelo analítico, que por consequência reflete na confiabilidade e qualidade dos resultados de análise e dimensionamento

Obteve-se nível de domínio suficiente dos softwares e suas respectivas ferramentas para a realização deste trabalho, o que também influencia na qualidade do projeto. Portanto, salienta-se atenção as recomendações e instruções dos manuais e guias.

O objetivo central do trabalho (realizar a modelagem de um edifício no Revit, analisá-lo e dimensioná-lo no SCIA, e por fim atualizar os modelos e informações no Revit) foi atingido. O Revit serviu de repositório dos dados do projeto estrutural com eficiência.

A interoperabilidade entre os softwares foi satisfatória, mesmo com as divergências resultantes.

Acredita-se que maior desenvolvimento das ferramentas API, como o CADS link e o aprimoramento dos conhecimentos sobre o formato IFC possam favorecer a interoperabilidade entre os softwares, tornando os projetos estruturais em BIM mais ágeis e mais ricos de informação.

## 6. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações**, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014 Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**, 2014.

AUTODESK. **Visão geral**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/revit/overview>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

AUTODESK. **About Worksharing**. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-Collaborate/files/GUID-0FC44807-DF06-4516-905A-4100281AC486-htm.html>>. Acesso em: 10 jul. 2020a.

AUTODESK. **Worksharing Terminology**. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-Collaborate/files/GUID-6ED32B4D-4BDE-4AB0-83A8-C2D284AD0950-htm.html>>. Acesso em: 10 jul. 2020b.

AUTODESK. **Linked Models**. Disponível em: <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Revit-Collaborate/files/GUID-0FBC74D9-C739-4ED3-962E-20DC4526A678-htm.html>>. Acesso em: 10 jul. 2020c.

AZHAR, S. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. **Leadership and Management in Engineering**, v. 11, n. 3, p. 241–252, 2011.

BAZJANAC, V.; CRAWLEY, D. B. The Implementation of Industry Foundation Classes in Simulation Tools for the Building Industry. **Proceedings of Building Simulation '97**, n. jul. 1994, p. 203–210, 1997.

BIM FORUM. Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary. **Bim-Bep**, n. April, p. 254, 2019.

BRASIL. **Decreto Nº 9.377, De 17 De Maio De 2018**, 2018a.

BRASIL. **BIM BR, Construção Inteligente** Ministério da Industria Comércio Exterior e Serviços, , 2018b.

BRASIL. **Processo de projeto BIM**. [s.l.] Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial; Ministério da Industria Comércio Exterior e Serviços, 2018c.

BRASIL. **Decreto Nº 10.306, de 2 de Abril de 2020**, 2020.

BUILDINGSMART. **Industry Foundation Classes**. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>>. Acesso em: 9 jul. 2020.

CADS. CADS Revit Scia Engineer Link. p. 26, 2018.

CLÍMACO, J. C. T. DE S. **Estruturas de Concreto Armado**. 2ª ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2008.

EASTMAN, C. et al. **BIM HANDBOOK - MANUAL BIM - ED.1 - PT-BR CHUCK EASTMAN - LQ.pdf**, 2014.

EN 1992-1-1 2004. **Eurocode 2: Design of concrete structures- Part 1-1: General rules and rules for buidings** Brussels, 2004.

GONÇALVES JR., F. DE A. A. **Workflow de projetos de instalações BIM x CAD**. Disponível em: <<http://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/workflow-de-projetos-de-instalacoes-bim-x-cad>>. Acesso em: 30 jun. 2020.

HORE, A.; MCAULEY, B.; WEST, R. BICP Global BIM Study: Lessons for Ireland's BIM Programme. **Construction IT Alliance (CitA) Limited**, p. 56, 2017.

KASSEM, M.; SUCCAR, B. Macro BIM adoption: Comparative market analysis. **Automation in Construction**, v. 81, p. 286–299, 2017.

LIU, S. et al. Critical Barriers to BIM Implementation in the AEC Industry. **International Journal of Marketing Studies**, v. 7, n. 6, p. 162, 2015.

MEANA, V.; BELLO, A.; GARCÍA, R. Analysis of the implementation of the BIM methodology in the spanish industrial engineering degrees under the competential perspective. **Revista ingeniería de construcción**, v. 34, 2019.

PHILIPP GERBERT, S. C. C. R. AND A. R. Shaping the Future of Construction A Breakthrough in Mindset and Technology. **World Economic Forum (WEF)**, n. May, p.

1–64, 2016.

SANTOS, A. **No Title**. Disponível em: <<https://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/bim-usado-no-brasil/>>. Acesso em: 8 jul. 2020.

SCIA. **Technical Specifications**. Disponível em: <<https://www.scia.net/pt/software/scia-engineer/technical-specifications>>. Acesso em: 30 jun. 2020a.

SCIA. **SCIA Engineer Structural Analysis and Open BIM Autodesk Revit**. Disponível em: <<https://www.scia.net/en/scia-engineer-structural-analysis-and-open-bim-autodesk-revit>>. Acesso em: 30 jun. 2020b.

SCIA. Advanced training Revit Structure Interface. p. 48, 2015.

SCIA. **ESTÁDIO DE FUTEBOL - DUNAJSKÁ STREDA, ESLOVÁQUIA**. Disponível em: <<https://www.scia.net/pt/company/references/projects/estadio-futebol-dunajskastreda-eslovaquia>>. Acesso em: 30 jun. 2020a.

SCIA. Treinamento Básico – SCIA Engineer 17. p. 88, 2017b.

SCIA. **Tutorial Concrete Plate**, 2018.

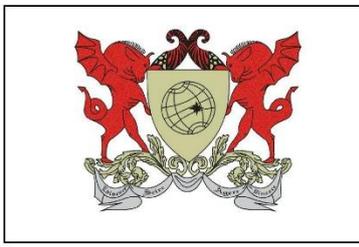
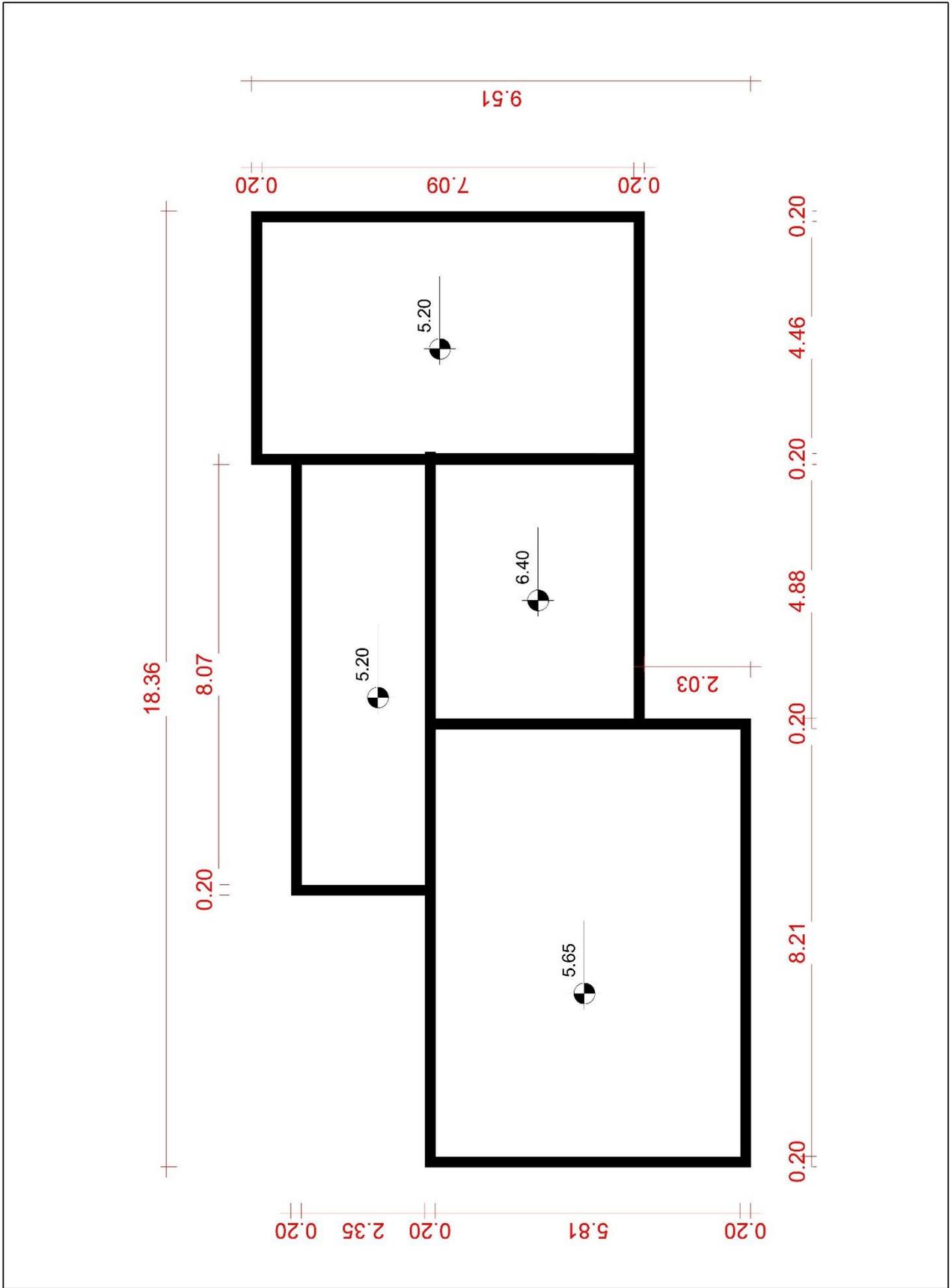
SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009.

TARRAFA, D. G. P. Aplicabilidade prática do conceito BIM em projeto de estruturas. p. 60, 2012.

## APÊNDICE A — Plantas baixas do projeto arquitetônico





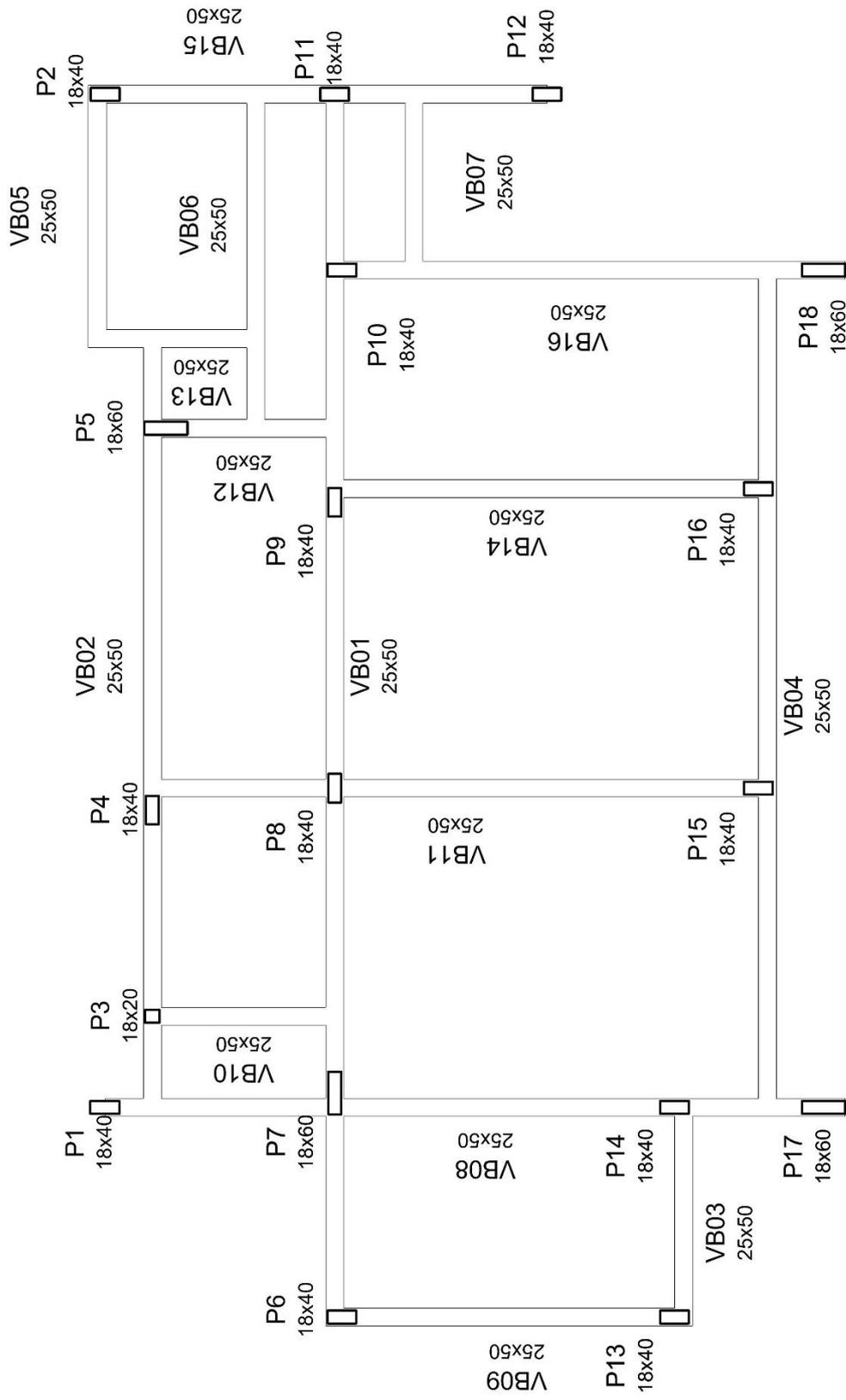


**UFV**

**Estudo de caso**

<b>Cobertura</b>		<b>A3</b>
Número do projeto	1	
Data	19/07/2020	Escala 1 : 100
Desenhadas por	Gabriel M	
Verificado por		

## APÊNDICE B — Plantas de forma do lançamento estrutural

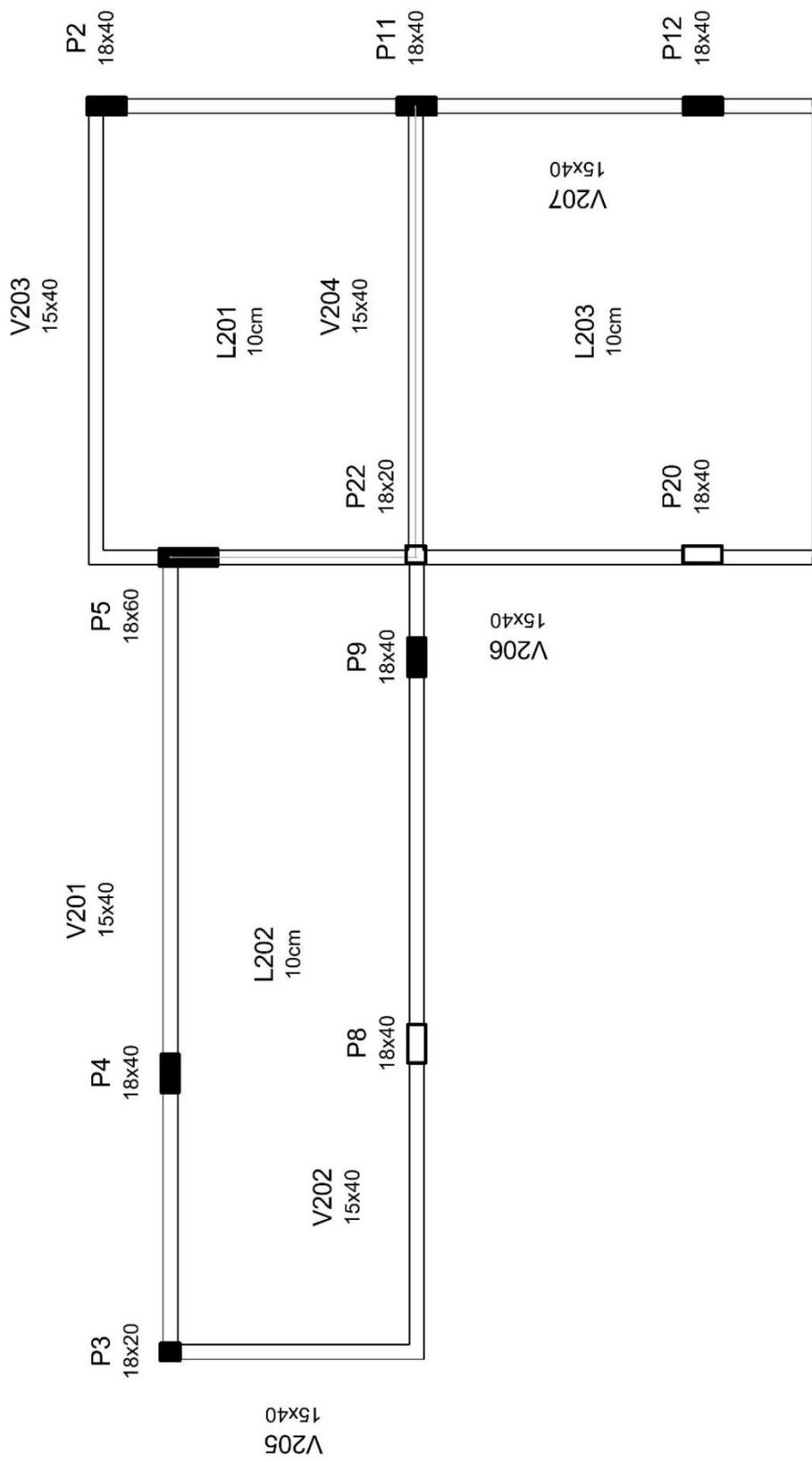


1

# 01-Planta baldrame

1 : 100

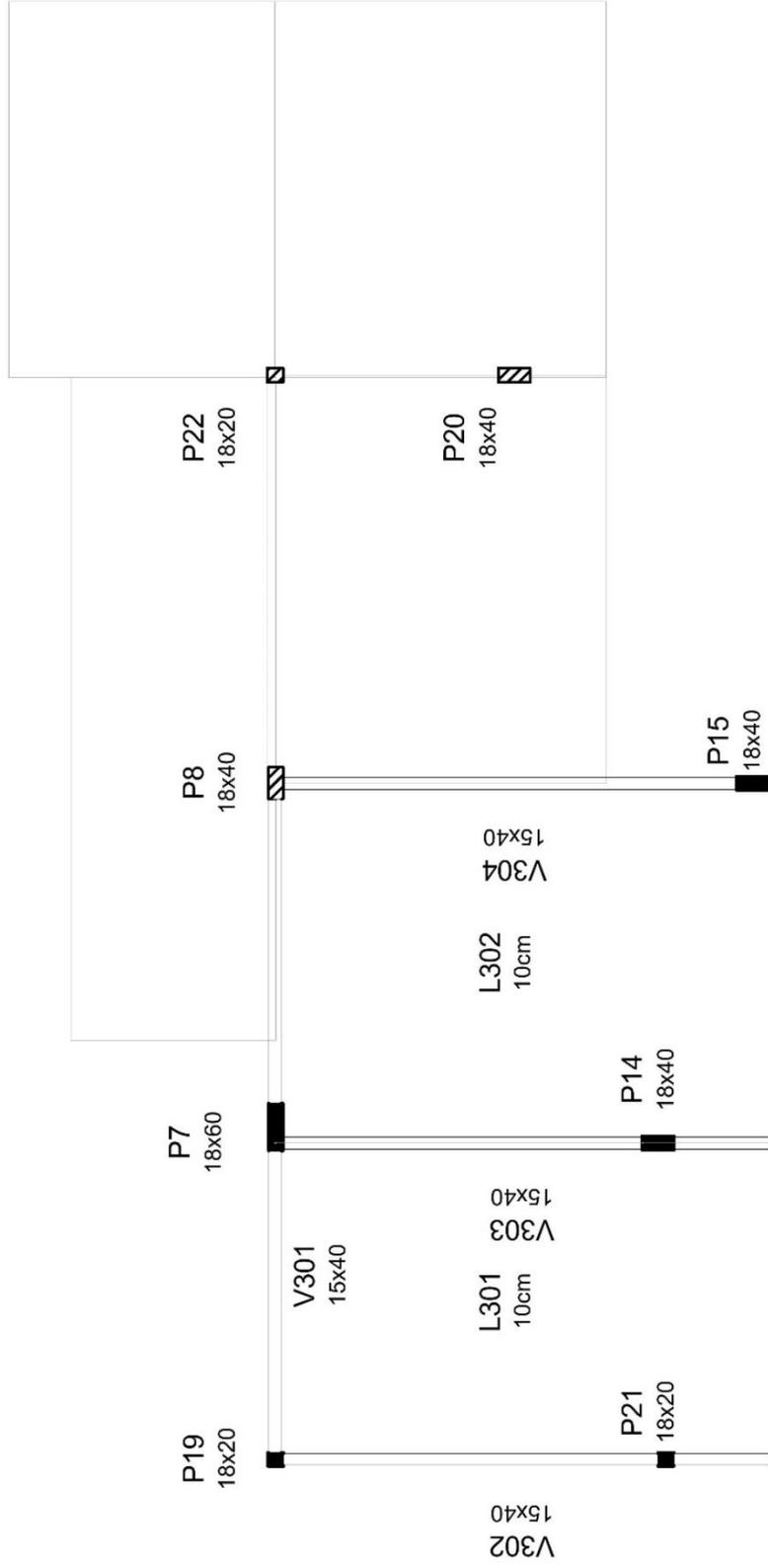




# 03-Nível 2

1

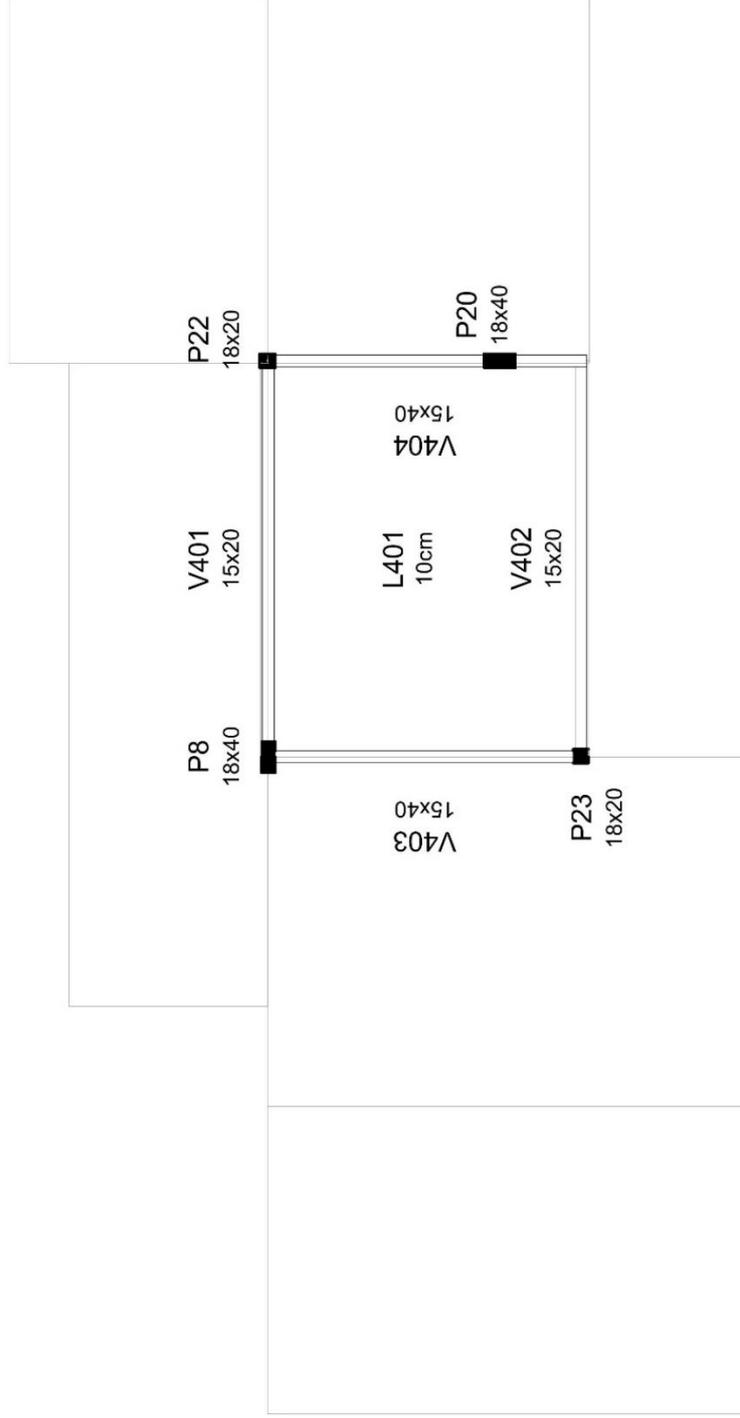
1 : 75



# 04-Nível 3

1

1 : 100



## 05-Nível 4

1

1 : 100