



# IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM EM UM GABINETE DE ESTRUTURAS

**PEDRO DI LUCCIO GERALDES**

novembro de 2018

# **IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM EM UM GABINETE DE ESTRUTURAS**

PEDRO DI LUCCIO GERALDES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

**MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE INFRAESTRUTURAS**

Orientador: Professor José Carlos de Almeida Gouveia Lello

Supervisor: Engenheiro Rui Pedro Rodrigues Pinheiro Gavina

**OUTUBRO DE 2018**



# ÍNDICE GERAL

Índice Geral .....	iii
Resumo.....	v
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Texto .....	xi
Índice de Figuras.....	xv
Índice de Tabelas.....	xxiii
CAPÍTULO 1    Introdução.....	25
CAPÍTULO 2    Estado da arte .....	29
CAPÍTULO 3    Interoperabilidade <i>Revit-Robot</i> .....	39
CAPÍTULO 4    Interoperabilidade <i>Revit-IFC</i> .....	101
CAPÍTULO 5    Caso de estudo.....	127
CAPÍTULO 6    Conclusão e desenvolvimentos futuros.....	181
Referências Bibliográficas .....	185



## RESUMO

*Building Information Modeling* (BIM) é uma inovadora metodologia de trabalho colaborativo que vem proporcionar uma nova abordagem à gestão da informação na construção, baseada na elaboração de um modelo digital da informação. A metodologia BIM assenta na geração de um modelo digital centralizado de toda a informação relacionada com a construção, acessível a todos os intervenientes, permitindo reduzir significativamente a ocorrência de erros e conflitos e, por consequência, dos custos associadas às diferentes fases do ciclo de vida de uma obra.

A utilização de modelos computacionais para análise e dimensionamento de estruturas é já uma prática corrente entre os projetistas estruturais. Nesta dissertação é realizado um estudo sobre o estado do conhecimento relativo a metodologia BIM, com foco no processo corrente no desenvolvimento do projeto de estruturas. Assim é realizado o estudo utilizando plataformas e ferramentas BIM comuns a um gabinete de projeto de estruturas na elaboração do projeto de um edifício. São analisadas as capacidades destas ferramentas procurando estabelecer recomendações para a modelação e gestão do fluxo de informação, na perspectiva do engenheiro de estruturas. É verificado o nível de interoperabilidade entre os programas, por ligação direta e a partir de ficheiros em formato aberto, tendo atenção a análise da qualidade de informação transferida e na consistência do produto final. Durante o processo são identificadas limitações e são referidas as adaptações pertinentes a serem realizadas, de forma a otimizar a aplicação da metodologia BIM no projeto de estruturas.

**Palavras-chave:** BIM, Projeto de estruturas, Interoperabilidade, ligação direta, formato aberto.



## **ABSTRACT**

Building Information Modeling (BIM) is an innovative methodology for collaborative work that has to provide a new approach to information management in construction, based on the elaboration of a virtual information model. The methodology allows the creation of a digital model in which all information linked with the construction is accessible for all stakeholders. Existence of this open digital model significantly improves the detection and solution for errors or conflicts and therefore, reduces costs associated with different stages of the life cycle from the building.

The use of computer models for analysis and design of structures is already current practice among structural designers. In this thesis is studied the use of BIM methodology with focus on the common design process of structures. BIM platforms and tools are used in the design of a building structures and the capabilities of these tools are analyzed, applied to the design and an optimized work-flow is presented from the viewpoint of the structural engineer. The level of interoperability between the programs is checked by direct link and from open files, paying attention to the analysis of the quality of information transferred and the consistency of the final product. During the process, limitations are identified and the adjustments are referred in order to optimize the application of BIM methodology in the design of structures.

**Keywords:** BIM, Structural design, Interoperability, Direct Link, Open files.



## **AGRADECIMENTOS**

Na realização da presente dissertação conclui mais uma etapa acadêmica da minha vida. Qualquer realização humana, mesmo que individual, é sempre o resultado de um conjunto diversificado de contextos, de instituições e, especialmente de pessoas. A todos os que deram a sua contribuição para que esta tese fosse realizada, o meu profundo agradecimento.

Primeiramente um especial agradecimento ao meu orientador da empresa, Engenheiro Rui Pedro Rodrigues Pinheiro Gavina, pela forma prestável com que sempre me recebeu, pela experiência e conhecimentos transmitidos, pela ajuda no encaminhamento da minha dissertação e, principalmente, pela oportunidade de me apresentar a metodologia BIM e todas suas potencialidades.

Ao meu orientador do ISEP, Professor José Carlos de Almeida Gouveia Lello, pela forte contribuição para que esta oportunidade de realizar o estágio curricular em sua empresa se tornasse realidade. Quero também agradecer pela dedicação e qualidade como docente do ISEP, oferecendo aos alunos conhecimento.

A toda equipe da CCAD por me acolherem durante o período de estágio.

A minha Mãe e ao meu Pai, pelo exemplo, amor e apoio incondicional durante todos os projetos da minha vida, pelas palavras e pelos gestos que confortam nos momentos difíceis.



# ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução.....	25
1.1	Enquadramento .....	25
1.2	Objetivo e estrutura da dissertação .....	27
CAPÍTULO 2	Estado da arte .....	29
2.1	<i>Building Information Modeling</i> - BIM .....	29
2.2	Modelo paramétrico .....	30
2.3	Níveis de informação em modelos BIM.....	31
2.4	Interoperabilidade .....	32
2.4.1	<i>BuildingSmart</i> .....	34
2.4.2	<i>Industry Foundation Classes</i> – IFC .....	35
2.5	<i>Software</i> BIM para engenharia estrutural .....	35
2.5.1	<i>Autodesk Revit</i> .....	35
2.5.2	<i>Robot Structural Analysis</i> .....	37
2.5.3	<i>Tekla Structure</i> .....	37
2.5.4	Solibri Model View.....	37
CAPÍTULO 3	Interoperabilidade <i>Revit-Robot</i> .....	39
3.1	<i>Revit</i> – Funcionalidades em projeto de estruturas.....	39
3.1.1	Integração <i>Revit-Robot</i> .....	42
3.1.2	Casos de carga e Combinações.....	43
3.1.3	Elementos Analíticos .....	44
3.1.4	Interoperabilidade <i>Revit-Robot</i> .....	52

3.1.5	Ajuste analítico .....	57
3.1.6	Boas práticas de modelação .....	69
3.2	Mapeamento de secções <i>Revit-Robot</i> .....	83
3.2.1	Mapeamento <i>Revit</i> → <i>Robot</i> .....	84
3.2.2	Mapeamento <i>Robot</i> → <i>Revit</i> .....	92
3.3	Mapeamento de materiais.....	96
CAPÍTULO 4 Interoperabilidade <i>Revit-IFC</i> .....		101
4.1	Arquitetura IFC.....	101
4.1.1	Exemplo de definição de entidades IFC.....	104
4.2	Exportação e importação de ficheiros IFC .....	107
4.2.1	Conversão <i>Revit-IFC</i> .....	107
4.2.2	Conversão <i>IFC-Tekla Structure</i> .....	117
4.3	Limitações .....	124
4.3.1	Interpretação de elementos unidos no <i>Revit</i> . .....	124
4.3.2	Geometrias complexas .....	125
4.3.3	Falta de classes IFC .....	126
CAPÍTULO 5 Caso de estudo .....		127
5.1	Descrição.....	127
5.2	Arquitetura.....	127
5.3	Concepção estrutural.....	131
5.3.1	Materiais.....	131
5.3.2	Ações.....	132
5.4	Modelação <i>Revit</i> .....	135
5.4.1	Escolha do template .....	135
5.4.2	Plantas de arquitetura .....	136
5.4.3	Concepção do modelo estrutural .....	136
5.4.4	Ajuste analítico .....	143

5.4.5	Ajuste Analítico por projeção .....	145
5.4.6	Ajuste manual .....	146
5.4.7	Ações e combinações .....	154
5.4.8	Exportação <i>Revit-Robot</i> .....	154
5.5	Uso do modelo no <i>Robot</i> .....	156
5.5.1	Ações e combinações no <i>Robot</i> .....	159
5.5.2	Cálculo estrutural .....	162
5.5.3	Análise e resultado .....	163
5.5.4	Update <i>Revit-Robot</i> .....	168
5.6	Exportação e importação IFC.....	170
5.6.1	Exportação IFC.....	171
5.6.2	Verificação do modelo exportado .....	173
5.6.3	Importação IFC.....	175
CAPÍTULO 6	Conclusão e desenvolvimentos futuros .....	181
6.1	Conclusões Finais .....	181
6.2	Desenvolvimentos Futuros .....	183
	Referências Bibliográficas .....	185



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Crescimento da produtividade nos diferentes setores da industria. ( <i>Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology, WEF, 2016</i> ).....	25
Figura 1.2 – Comunicação método tradicional x metodologia BIM.....	27
Figura 2.1 – A metodolodgia BIM no ciclo de vida de um empreendimento (Dispenza, 2010).....	29
Figura 2.2 – Usos BIM (CBIC – Fundamentos BIM, 2016).....	32
Figura 2.3 – Falta de interoperabilidade entre <i>softwares</i> .....	33
Figura 2.4 – Comunicação por IFC.....	34
Figura 2.5- Elementos no Revit .....	36
Figura 3.1- Separador com ferramentas estruturais.....	40
Figura 3.2- Definição de <i>Model Behaviour</i> .....	40
Figura 3.3- Armadura modelada em elemento de betão.....	41
Figura 3.4- Definição de associação entre elemento geométrico e analítico. ....	41
Figura 3.5- Ferramentas de análise associadas aos elementos analíticos. ....	42
Figura 3.6- Opções de integração do modelo. ....	42
Figura 3.7- Opções adicionais de integração.....	43
Figura 3.8- Definições de casos de carga e combinações. ....	43
Figura 3.9- Tipos de carga. ....	44
Figura 3.10- Representação e propriedades analíticas de um pilar.....	45
Figura 3.11- Definição de grau de liberdade dos elementos analíticos .....	46
Figura 3.12 - Propriedades de alinhamento de colunas.....	46
Figura 3.13- Representação e propriedades analíticas de uma viga.....	47
Figura 3.14- Propriedades de alinhamento de vigas.....	47

Figura 3.15- Representação e propriedades analíticas de uma laje.....	48
Figura 3.16- Opções de posicionamento da representação analítica de uma laje no método de alinhamento por projeção.....	48
Figura 3.17 - Representação e propriedades analíticas de uma parede.....	49
Figura 3.18- Opções de posicionamento da representação analítica de uma parede no método de alinhamento por projeção.....	49
Figura 3.19 - Representação analíticas de elementos de suporte .....	49
Figura 3.20- Condições e apoio .....	50
Figura 3.21- Propriedades de suporte.....	51
Figura 3.22- Aplicação de uma ligação rígida.....	52
Figura 3.23 – Alinhamento por auto detecção.....	58
Figura 3.24- Tolerância para alinhamento por auto detecção.....	58
Figura 3.25- Funcionamento do método de alinhamento por auto detecção.....	59
Figura 3.26- Opções de posicionamento do elemento analítico.....	60
Figura 3.27- Opções de posicionamento do elemento analítico.....	61
Figura 3.28- Opções de posicionamento do elemento analítico.....	62
Figura 3.29- Opções de posicionamento do elemento analítico.....	63
Figura 3.30- Acesso a ferramenta de ajuste analítico manual .....	63
Figura 3.31- Modo de edição analítica. ....	64
Figura 3.32- Puxadores e mudança de coordenadas. ....	64
Figura 3.33- Manipulação de um nó analítico.....	65
Figura 3.34- Manipulação de um elemento analítico.....	65
Figura 3.35- Ferramenta para ajuste analítico de paredes. ....	66
Figura 3.36- Ferramenta para ajuste de aberturas em superfícies analíticas.....	67
Figura 3.37- Modelo geométrico preservado.....	67
Figura 3.38- Ferramentas de análise analítica.....	68
Figura 3.39- Configurações de verificação de suporte e consistência .....	68
Figura 3.40- Opções de ajustes gráficos .....	70

Figura 3.41- Conexão de nós identificada por filtro.....	71
Figura 3.42- Modelação de pilares .....	72
Figura 3.43- Modelação de vigas.....	72
Figura 3.44- Modelação de lajes .....	73
Figura 3.45- Modelação de fundações .....	74
Figura 3.46- Vigas e pilares alinhados por auto detecção.....	75
Figura 3.47- Elementos alinhados pelo método por projeção.....	76
Figura 3.48- Posicionamento analítico de um pilar.....	77
Figura 3.49- Posicionamento analítico de uma viga.....	77
Figura 3.50- Posicionamento analítico de uma parede.....	78
Figura 3.51 – Elementos analíticos desconectados.....	79
Figura 3.52- Vigas e pilar ajustados a partir da ferramenta de ajuste manual. ....	79
Figura 3.53- Paredes e pilar alinhados por projeção.....	80
Figura 3.54- Linha analítica.....	81
Figura 3.55- Parede alinhada utilizando a linha analítica como referencia .....	81
Figura 3.56 - Propriedades de coordenadas .....	82
Figura 3.57- Interface do <i>Dynamo</i> .....	83
Figura 3.58- Uso das propriedades de coordenadas para alinhamento de nós. ....	83
Figura 3.59 - Fluxograma de mapeamento de secção <i>Revit-Robot</i> .....	84
Figura 3.60- Bases de dados carregadas no <i>Robot</i> .....	85
Figura 3.61 – Perfil IPE100 modelado no <i>Revit</i> .....	86
Figura 3.62- Perfil IPE100 mapeado no <i>Robot</i> .....	86
Figura 3.63- Perfil HEA300 modelado no <i>Revit</i> . ....	87
Figura 3.64- Perfil HEA300 mapeado no <i>Robot</i> .....	88
Figura 3.65- Possíveis nomes associados ao perfil HEA 300 na base de dados europeia. ....	88
Figura 3.66- Associação do perfil HEA300 com uma secção presente na base de dados polonesa. ....	89

Figura 3.67- Ficheiro <i>FamilyMap</i> editado para mapear o <i>Type Name</i> HEA300 ao perfil HEA 300 na base de dados europeia.....	89
Figura 3.68- Associação do perfil HEA300 a base da dados europeia.....	90
Figura 3.69- Perfil HEA 300 modelado no <i>Revit</i> com <i>Type Name</i> “teste” .....	91
Figura 3.70- Associação com secção parametrica.....	91
Figura 3.71- Elemento sem associação de secção.....	92
Figura 3.72 - Fluxograma de mapeamento de secção <i>Robot-Revit</i> .....	93
Figura 3.73- Elemento inserido no <i>Robot</i> .....	93
Figura 3.74- Elementos carregados no <i>Revit</i> .....	94
Figura 3.75 – Perfil IPE 100 mapeado com família existente no <i>Revit</i> .....	94
Figura 3.76 – Perfil IPE 120 inserido no <i>Robot</i> .....	95
Figura 3.77 – Famílias para mapeamento .....	95
Figura 3.78 - Perfil IPE 120 mapeado com família de ficheiros partilhados.....	96
Figura 3.79- Propriedade de materiais no <i>Revit</i> .....	96
Figura 3.80- Propriedades físicas e mecânicas do material .....	97
Figura 3.81 – Fluxograma de mapeamento de materiais entre <i>Revit</i> e <i>Robot</i> .....	98
Figura 3.82 - Propriedades do concreto C12/15 .....	99
Figura 3.83 – Exportação do elemento e base de dados preservadas.....	100
Figura 4.1. Relação entre camadas do modelo IFC .....	102
Figura 4.2-Arquitetura IFC .....	104
Figura 4.3 – Entidades IFC .....	106
Figura 4.4- Mapeamento de famílias e classes IFC.....	108
Figura 4.5- Parâmetro <i>IfcExportAs</i> em um pilar .....	109
Figura 4.6- Menu de exportação IFC .....	109
Figura 4.7- <i>Project Base Point</i> como origem do modelo IFC .....	110
Figura 4.8- Incluir o deslocamento em Z do terreno, <i>IfcSite</i> . .....	110
Figura 4.9- Opções para mapeamento de parâmetros. ....	111

Figura 4.10- Instruções para personalizar a associação de propriedades dos elementos no <i>Revit</i> em modelos IFC.....	112
Figura 4.11- Portico de pilares e viga metalica .....	112
Figura 4.12- Propriedades de instância personalizadas.....	113
Figura 4.13- Mapeamento que associa propriedades personalizadas no <i>Revit</i> a entidade <i>IfcElement</i> ...	113
Figura 4.14- Viga exportada como <i>IfcColumn</i> .....	114
Figura 4.15- Parâmetros do <i>Revit</i> mapeados.....	114
Figura 4.16- Viga mapeada como pilar.....	115
Figura 4.17- Posição do pilar 2. ....	116
Figura 4.18- Inserir modelo de referência IFC no <i>Tekla</i> . ....	117
Figura 4.19- Menu de opções de conversão de objetos IFC. ....	118
Figura 4.20- Catálogo de secções.....	119
Figura 4.21- Mapeamento de secções .....	119
Figura 4.22- Catálogo de materiais. ....	120
Figura 4.23- Mapeamento de materiais.....	120
Figura 4.24- Acesso as propriedades IFC dos elementos. ....	121
Figura 4.25- Propriedades IFC personalizadas pelo usuário. ....	122
Figura 4.26- Arquivo para criar propriedades do usuário no <i>Tekla</i> . ....	123
Figura 4.27- Mapeamento de propriedades IFC com atributos definidos pelo usuário no <i>Tekla</i> . ....	123
Figura 4.28- Propriedades de um elemento nativo do <i>Tekla</i> mapeada com a propriedade IFC. ....	124
Figura 4.29- Limitação com viga unida a laje. ....	125
Figura 4.30- Limitação na conversão de geometrias complexas. ....	125
Figura 4.31- Conversão de pilar com cachorro em partes pelo <i>Tekla</i> .....	126
Figura 5.1- Planta de arquitetura do piso tipo .....	128
Figura 5.2- Cortes transversais do edifício. ....	129
Figura 5.3- Perspectiva tridimensional dos elementos do edifício. ....	131
Figura 5.4- Espectro de resposta.....	134

Figura 5.5- Interface inicial. ....	135
Figura 5.6- Planta do Piso 2 (Teto do Piso 1).....	136
Figura 5.7- Pilares inseridos no modelo. ....	137
Figura 5.8- Paredes inseridas no modelo. ....	137
Figura 5.9- Representação 3D .....	138
Figura 5.10- Elementos verticais inseridos no modelo.....	138
Figura 5.11 - Vigas inseridas no modelo.....	139
Figura 5.12- Modelo após a inserção de vigas. ....	140
Figura 5.13- Lajes inseridas no modelo. ....	140
Figura 5.14- Inserção de laje no pavimento separada da inserção das lajes das varandas .....	141
Figura 5.15- Modelo após a inserção de lajes. ....	142
Figura 5.16- Sapatas inseridas no modelo.....	142
Figura 5.17- Modelo após a inserção de sapatas. ....	143
Figura 5.18- Modelo analítico associado.....	144
Figura 5.19- Inconsistências analíticas .....	144
Figura 5.20- Definição de alinhamento analítico dos pilares. ....	145
Figura 5.21- Definição de alinhamento analítico das vigas. ....	145
Figura 5.22- Definição de alinhamento analítico das paredes .....	146
Figura 5.23- Definição de alinhamento analítico das lajes.....	146
Figura 5.24- Ajuste analítico entre paredes e pilar. ....	147
Figura 5.25- Ajuste analítico entre vigas e pilar. ....	147
Figura 5.26- Ajuste analítico entre vigas, laje e pilar.....	148
Figura 5.27- Desalinhamento de elementos analíticos. ....	149
Figura 5.28- Desalinhamento de nós.....	150
Figura 5.29- Posição de referência para ajuste .....	151
Figura 5.30- Posição dos nós da parede a ser ajustada.....	151
Figura 5.31- Alinhamento analítico de paredes. ....	152

Figura 5.33- Alinhamento vertical, em relação ao eixo z. ....	153
Figura 5.34- Alinhamento horizontal, em relação ao eixo y. ....	153
Figura 5.35- Alinhamento horizontal, em relação ao eixo x. ....	154
Figura 5.35- Ações a deletar.....	154
Figura 5.37- <i>Analytical Line</i> não visível. ....	155
Figura 5.38- Elementos selecionados em vista 3D.....	155
Figura 5.39 – Opções de envio <i>Revit-Robot</i> .....	156
Figura 5.39- Modelo numérico no <i>Robot</i> associado ao modelo exportado pelo <i>Revit</i> .....	156
Figura 5.41- Verificação do posicionamento de nós. ....	157
Figura 5.42- Verificação de secções e materiais em pilar. ....	157
Figura 5.42- Verificação de rotação dos elementos.....	158
Figura 5.44- Modelo com <i>claddings</i> representando paredes não estruturais.....	158
Figura 5.45- Modelo com elementos de suporte.....	159
Figura 5.46- Tipos de ações presentes no modelo.....	160
Figura 5.47- Combinações de ações inseridas no modelo. ....	160
Figura 5.48- Aplicação de cargas permanentes .....	161
Figura 5.49- Aplicação de cargas devido o movimento de terras. ....	161
Figura 5.50- Aplicação de cargas devido a ação do vento. ....	162
Figura 5.51- Modelo com malha de elementos finitos gerada. ....	163
Figura 5.52- Viga em análise .....	164
Figura 5.53- Resultado do modelo numérico do caso de estudo.....	164
Figura 5.54- Resultado do modelo numérico de ponto de controlo.....	165
Figura 5.54- Pilar em análise. ....	165
Figura 5.59- Resultado do modelo numérico do caso de estudo.....	166
Figura 5.56- Resultado do modelo numérico de ponto de controlo.....	166
Figura 5.61- Viga em análise. ....	167
Figura 5.62- Resultado do modelo numérico do caso de estudo.....	167

Figura 5.63- Resultado do modelo numérico de ponto de controlo.....	167
Figura 5.60- Secção de pilar alterada no <i>Robot</i> .....	168
Figura 5.65- Opções de atualização do modelo. ....	169
Figura 5.66- Atualização do modelo digital com alterações realizadas no <i>Robot</i> .....	169
Figura 5.67- Pilar redimensionado com posição ajustada no modelo digital .....	170
Figura 5.64- Definição do MDV e do <i>Project Base Point</i> como origem do modelo.....	171
Figura 5.69- Exportação de propriedades IFC comuns ao <i>Revit</i> e propriedades personalizadas. ....	171
Figura 5.70- Deslocamento em Z do terreno, <i>IfcSite</i> , incluído no modelo IFC.....	172
Figura 5.71- Mapeamento de parâmetros .....	172
Figura 5.68- Propriedades de pilar no modelo digital <i>Revit</i> . ....	173
Figura 5.73- Modelo IFC visualizado no <i>Tekla BimSight</i> .....	174
Figura 5.74- Propriedades de pilar no modelo IFC no <i>Tekla BimSight</i> . ....	174
Figura 5.75- Mapeamento de materiais. ....	175
Figura 5.76- Criação de atributos personalizados no <i>Tekla Structure</i> .....	176
Figura 5.77- Modelo IFC de referência .....	177
Figura 5.78- Propriedades IFC personalizadas.....	177
Figura 5.79- Mapeamento de propriedades .....	178
Figura 5.76- Modelo com elementos nativos <i>Tekla</i> .....	178
Figura 5.81- Secção e material do pilar .....	179
Figura 5.78- Propriedades do Pilar. ....	179

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Símbolos de transferência de informação.....	52
Tabela 3.2 – Matriz de interoperabilidade: Elementos de suporte .....	53
Tabela 3.3 - Matriz de interoperabilidade: Elementos estruturais .....	54
Tabela 3.4 - Matriz de interoperabilidade: Propriedades estruturais.....	55
Tabela 3.5- Matriz de interoperabilidade: Elementos de abertura.....	56
Tabela 3.6- Matriz de interoperabilidade: Elementos de carregamento.....	57
Tabela 3.7- Matriz de interoperabilidade: Elementos de apoio a modelação.....	57
Tabela 3.8- Opções de projeção para alinhamento de colunas analíticas .....	60
Tabela 3.9- Opções de projeção para alinhamento de vigas analíticas .....	61
Tabela 3.10- Opções de projeção para alinhamento de lajes analíticas .....	61
Tabela 3.11- Opções de projeção para alinhamento de paredes analíticas .....	62
Tabela 5.1- Quadro de materiais.....	132



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 ENQUADRAMENTO

O mundo está mudando mais rápido do que nunca, a população das áreas urbanas está aumentando em 200.000 pessoas por dia, e todas precisam de moradias a preços acessíveis, além de infraestrutura social, de transporte e de serviços públicos. Com receita anual total de quase US\$ 10 trilhões e valor agregado de US\$ 3,6 trilhões, o setor de construção responde por cerca de 6% do PIB global. Espera-se que a indústria cresça enormemente nos próximos anos, com receitas estimadas de US\$ 15 trilhões até 2025. Mais de 100 milhões de pessoas já estão empregadas hoje no setor de construções no mundo. A construção é uma indústria que tem uma interação considerável com vários outros setores, já que a criação de valor quase sempre ocorre dentro ou por meio de edifícios ou outros ativos construídos. Para mencionar alguns, a habitação residencial representa 38% do volume global de construção, infraestrutura de transporte, energia e água 32%, edifícios institucionais e comerciais 18%, e áreas industriais 13%. No entanto, apesar desses números, o setor da Arquitetura, Estrutura e Construção tem hesitado em abraçar as mais recentes oportunidades tecnológicas e sua produtividade de mão-de-obra estagnou comparado a maioria das outras indústrias (WEF, 2016). Na Figura 1.1 pode-se comparar o crescimento da indústria da construção com outros setores da indústria.

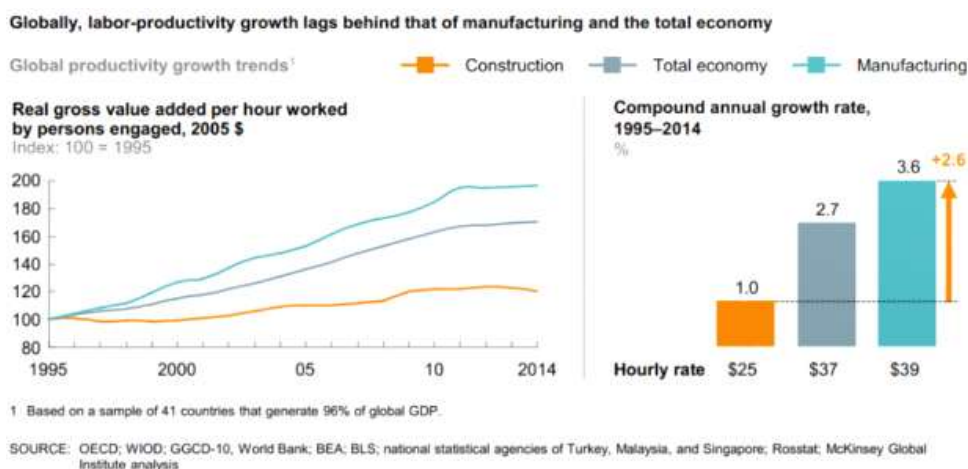


Figura 1.1 – Crescimento da produtividade nos diferentes setores da indústria. (*Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology*, WEF, 2016)

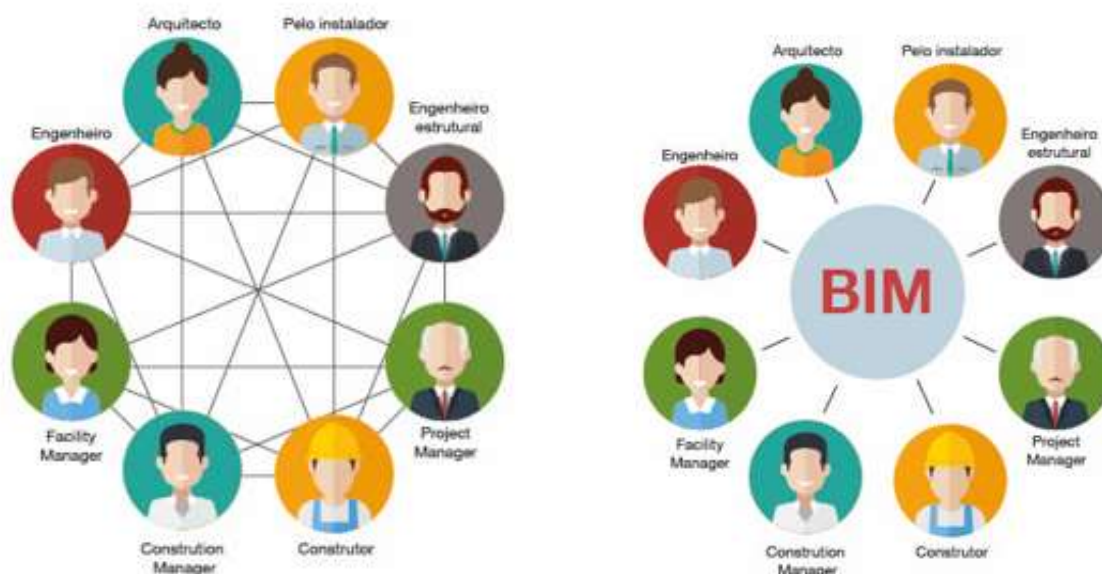
O histórico inexpressivo pode ser atribuído a vários desafios internos e externos: a fragmentação persistente do setor, a colaboração inadequada com fornecedores e contratados, as dificuldades de recrutar uma força de trabalho talentosa e a transferência insuficiente de conhecimento de projeto para projeto, para citar apenas alguns.

Desta forma, o setor da AEC está quase sob uma obrigação moral de se transformar. Sua mudança terá efeitos transformadores em outros lugares: na sociedade em geral, reduzindo os custos de construção, no ambiente, melhorando o uso de materiais escassos ou tornando os edifícios mais ecoeficientes ao longo do tempo, e na economia, estreitando a lacuna da infraestrutura global e impulsionando o desenvolvimento econômico em geral. A indústria tem vasto potencial para melhorar a produtividade e eficiência, graças à digitalização, tecnologias inovadoras e novas técnicas de construção.

Neste sentido, O *Building Information Modeling* (BIM), tem trazido importantes mudanças tecnológicas para a área da construção. Esse instrumento tem potencial para mudar a cultura dos agentes de toda a cadeia produtiva do setor, pois sua utilização requer novos métodos de trabalho e novas posturas de relacionamento entre arquitetos, projetistas, consultores, contratantes e construtores. O desafio para a adoção dessa plataforma tecnológica é promover condições de viabilidade para reunir um conjunto de informações multidisciplinares sobre o empreendimento, desde a concepção até as fases de uso e manutenção.

A integração das informações gera a possibilidade de diagnosticar rapidamente as necessidades de compatibilidade na construção – além dos dados sobre materiais, prazos e custos – de modo a garantir assertividade e melhores soluções para a obra, com aumento de produtividade.

Usualmente cada especialidade possui o seu próprio método de trabalho para desenvolver e trabalhar o projeto. Neste processo, o que acontece em geral é um desconhecimento da totalidade da informação proveniente de outros participantes do projeto. Como consequência, podem ser originadas algumas incompatibilidades entre especialidades, apenas detectadas em obra, gerando atrasos e um aumento do custo final da obra. A metodologia BIM propõe que haja alterações em relação ao desenvolvimento e representação do projeto e também da transferência de informação entre os seus diversos intervenientes. A Figura 1.2 ilustra a forma como o método tradicional de trabalho e a metodologia BIM compartilham a informação.



a) Comunicação método tradicional

b) Comunicação com a metodologia BIM

Figura 1.2 – Comunicação método tradicional x metodologia BIM. (Fonte: [http://biblus.accasoftware.com/ptb/ifc-o-que-e-e-para-que-serve-qual-e-a-ligacao-com-o-bim/grafico\\_ifc-pt-2/](http://biblus.accasoftware.com/ptb/ifc-o-que-e-e-para-que-serve-qual-e-a-ligacao-com-o-bim/grafico_ifc-pt-2/))

Na construção civil, mesmo sendo uma indústria notoriamente tradicionalista e conhecida por ser resistente às mudanças, o uso do BIM tem sido cada vez mais considerado na concepção dos projetos. A metodologia está em permanente desenvolvimento e é um processo que envolve as várias especialidades da construção. Os profissionais reconhecem no processo a facilidade de geração e adaptação da fase de concepção, assim como as avançadas capacidades de modelação e de visualização espacial. O desenvolvimento de um projeto em BIM é, essencialmente, um processo colaborativo. Desta maneira para considerar que um projeto está a ser trabalhado em BIM além da arquitetura as outras especialidades, como infraestruturas, estruturas, mecânica, planeamento e gestão da construção também devem usar ferramentas BIM que compartilhem a informação do projeto.

## 1.2 OBJETIVO E ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito de um protocolo de estágio curricular, entre o Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e a CCAD – Serviços de Engenharia, Lda.

Criada em 2005, a CCAD é uma empresa ligada ao ramo da engenharia de estruturas, onde presta diversos tipos de serviços como peritagens, pareceres técnicos e principalmente a realização de projetos de estabilidade. A empresa rege-se por valores como a inovação, competência, rigor e procura constante de

soluções mais económicas e vantajosas. Diante destes valores, a CCAD tem buscado implementar a metodologia BIM visto todas as potencialidades que esse novo método de trabalho e colaboração pode trazer para o setor da construção e também para se atualizar perante as atuais exigências da indústria.

O desenvolvimento e acompanhamento de projeto, com base na metodologia BIM, requer estudo, pesquisa e divulgação. Desta maneira, desenvolveu-se durante o estágio o estudo da metodologia BIM aplicada ao âmbito de estruturas com foco nas boas práticas de modelação e interoperabilidade entre os vários *softwares* uteis neste segmento.

Nesse sentido, é tema desta dissertação, a aprendizagem acerca do uso de ferramentas BIM, aplicadas a um projeto de estabilidade, identificando eventuais limitações ao seu pleno desenvolvimento e a demonstração da sua aplicabilidade em um projeto concreto.

O presente trabalho encontra-se organizado da seguinte forma:

No segundo capítulo é feita uma apresentação do estado de conhecimento relacionado a metodologia BIM dando ênfase aos conhecimentos necessários para o estudo aprofundado do tema aplicado em projetos de estruturas.

No terceiro capítulo é apresentado as funcionalidades do segmento estrutural do *software Revit* e recomendações de modelação para ser obter um modelo digital consistente para o cálculo estrutural. Neste capítulo também é abordado procedimentos para mapeamento de secção e material entre os *softwares Revit* e *Robot*. A integração entre os dois programas é feita por ligação direta.

No quarto capítulo é apresentada o formato IFC quanto agente de interoperabilidade. Neste capítulo é documentado procedimentos a serem realizados para exportação do modelo no *Revit* e importação pelo *Tekla Structures* e as limitações encontradas durante o estudo.

No quinto capítulo, com base no estudo realizado relativamente aos capítulos anteriores, são aplicados, num projeto concreto, os fluxos de trabalho desenvolvidos.

Finalmente, no sexto capítulo, são apontadas considerações finais do tema proposto e a sugestão de trabalhos futuros.

## CAPÍTULO 2

### ESTADO DA ARTE

#### 2.1 *BUILDING INFORMATION MODELING - BIM*

BIM é o acrónimo para *Building Information Modeling*, que em traços gerais se pode definir como uma representação digital das características físicas e funcionais de um edifício, servindo como um meio de centralização de informação partilhável e permitindo que todos os intervenientes num empreendimento, desde a fase de concepção até ao final de vida útil do mesmo obtenham dados importantes para tomadas de decisão (Smith e Edgar, 2008).

Segundo SUCCAR (2009), BIM é a interação de políticas, processos e tecnologias que conduzem ao estabelecimento de uma metodologia de geração, atualização e manutenção de toda a informação inerente ao ciclo de vida de uma obra. Além disso, é uma tecnologia em crescimento que requer uma mudança processual na indústria da Arquitetura, Engenharia Construção e Operação (AECO).

A Figura 2.1 ilustra como esse conceito desenvolve-se durante o ciclo de vida de um edifício.

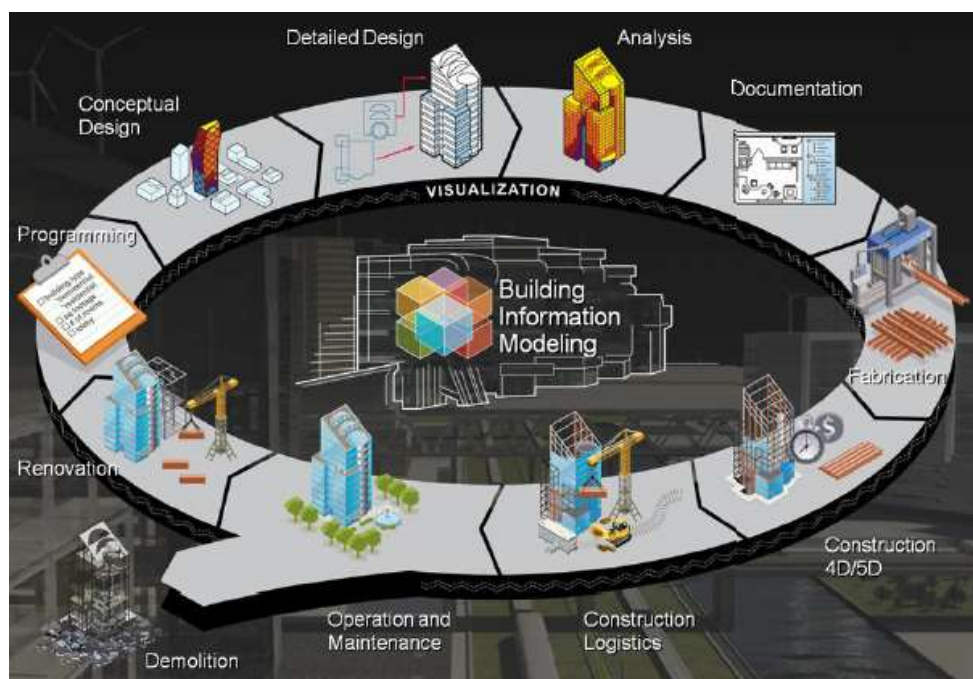


Figura 2.1 – A metodologia BIM no ciclo de vida de um empreendimento (Dispenza, 2010).

Esta nova metodologia vem mudar a ênfase da construção, tornando o modelo digital na principal referência de documentação. Isto é, com a elaboração de um modelo com uma base de dados única associada, na qual todos os participantes se baseiam durante as fases de projeto, consegue-se uma melhor gestão da edificação, eliminando a dispersão de informação que frequentemente cria dificuldades na comunicação entre os intervenientes.

O modelo digital contém, além da informação geométrica, as propriedades e atributos, referentes a propriedades físicas e mecânicas e, ainda, dados relativos a prazos, custos, etc. No modelo BIM, esta informação é organizada de um modo estruturado e padronizado. Deste modo, o BIM supera os métodos de execução de projeto, demasiadamente inconsistentes e excessivamente tradicionais, existentes na indústria AEC, que geram frequentemente a ocorrência de problemas de eficiência de projeto e de redução da qualidade da construção.

A geração de documentação a partir de elementos e relações parametrizadas permite que alteração num elemento modelado tenha repercussão automática nos locais onde este é referenciado, eliminando discrepâncias nas informações associadas a um mesmo projeto e rentabilizando o tempo despendido na garantia de coerência e uniformidade de dados entre todos os intervenientes. Desta maneira, a adoção do BIM possibilita aumentar a colaboração entre as equipes e a confiabilidade na informação acessada.

Eastman C. et al. (2011) fez uso explícito de alguns termos muito utilizados informalmente para designar a hierarquia existente nos aplicativos baseados em BIM e dividiu em três categorias: ferramenta BIM, plataforma BIM e ambiente BIM.

Como ferramenta, o BIM tem como objetivo realizar tarefas específicas como o desenho do modelo, detecção de conflitos, visualização, calendarização, estimativa de custos, análise estrutural, entre outras. Como plataforma é uma aplicação, normalmente de concepção, que gera informação para múltiplas utilizações onde os dados primários do modelo são armazenados e suportados por uma plataforma. O ambiente integra a ferramenta e a plataforma num conjunto de políticas e práticas de suporte à informação com vista à automatização de dados (Parreira, 2013).

## **2.2 MODELO PARAMÉTRICO**

O conceito dos objetos paramétricos é fundamental para a compreensão do BIM e da sua diferenciação em relação aos tradicionais objetos 3D (Eastman C. et al., 2011).

Na metodologia BIM um objeto contém muito mais do que a mera informação sobre a sua representação geométrica. Além dos seus parâmetros geométricos, um elemento ou objeto BIM pode acolher um vasto leque de informação, tais como, características técnicas (propriedades mecânicas, térmicas, acústicas,

massa, disposição de armaduras), informações sobre posicionamento e localização espacial, informações do fabricante, faseamento construtivo, custo, entre outros.

A modelação paramétrica orientada por objetos não apresenta objetos com geometria e propriedades fixas, mas sim objetos com regras e parâmetros que determinam a geometria, bem como algumas propriedades e características não geométricas. São estes parâmetros e regras que se relacionam entre objetos e permitem que se atualizem automaticamente, o que é chamado de comportamento. Esta parametrização dos objetos e a sua atualização automática permitem a modelação de formas mais complexas. Por exemplo, se num modelo de construção paramétrico a inclinação do telhado é alterada, as paredes de apoio a esse telhado poderão ser automaticamente corrigidas (Eastman C. et al., 2011). Os objetos podem ser definidos em vários níveis de agregação, isto para que seja possível definir uma parede e os seus componentes associados. Assim, estes elementos podem ser geridos em qualquer nível de hierarquização. Por exemplo, se se proceder à alteração do peso de um dos elementos que constituem uma parede, o peso dessa parede deverá também variar (Eastman C. et al., 2011).

### **2.3 NÍVEIS DE INFORMAÇÃO EM MODELOS BIM**

Na metodologia BIM, o modelo digital é desenvolvido através de informações gráficas e não gráficas associadas com precisão e claramente estruturadas.

Em projetos que exigem BIM, muitas vezes é solicitado que seja definido o nível de detalhe do modelo e dos elementos que o compõem. No entanto, observa-se que não há uma definição padronizada sobre estes níveis. Existem publicações de referência de vários países, e as classificações podem variar bastante. Na indústria existem diferentes acrónimos (por exemplo, LOD, LOI, LOG, LOC e muitos outros) que em algum momento têm significados diferentes, dependendo do país ou do documento em que são definidos.

Portanto, ao iniciar um projeto, é necessário que seja identificado os usos BIM os quais o projeto requer e com isto definir o nível de detalhe dos dados que irão alimentar o modelo.

O uso BIM pode ser definido como um método de definir a informação para atingir um ou mais objetivos específicos durante o ciclo de vida de uma edificação. O conhecimento dos usos BIM, por sua vez, permitirá a definição do que deve ou não ser modelado, de que forma e em que momento de amadurecimento do projeto essas informações serão extraídas. O guia da *Pennsylvania State University (BIM – Project Execution Planning Guide)* relaciona um conjunto de 25 possíveis usos BIM, ao longo das fases de projeto, construção e operação do empreendimento. Os usos BIM segundo esse guia são apresentados na Figura 2.2.

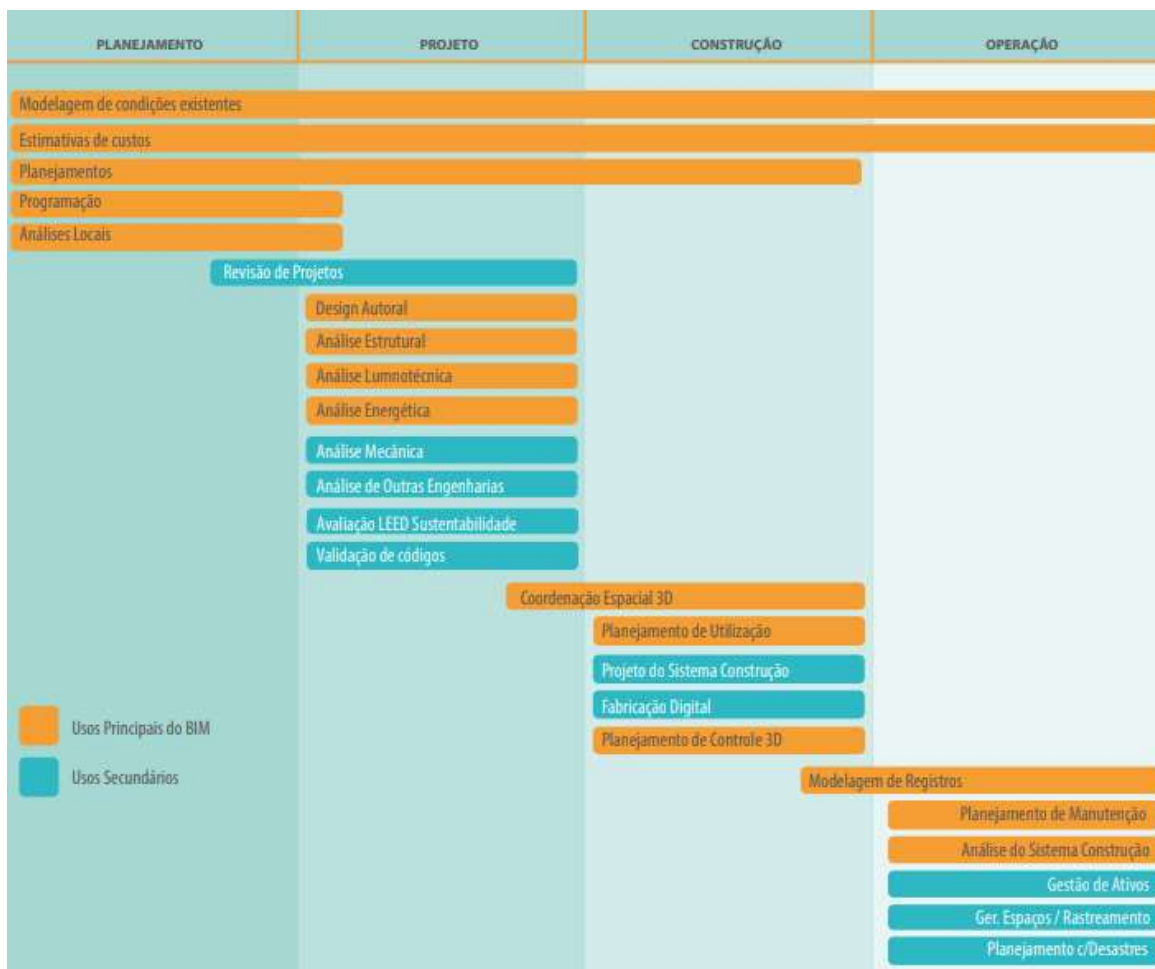


Figura 2.2 – Usos BIM (CBIC – Fundamentos BIM, 2016).

É muito importante que todos os envolvidos estejam cientes destas necessidades, pois estes usos é que definirão a informação necessária a ser entregue no produto final. É a partir destas informações que se obterá um projeto detalhado e bem resolvido entre todas as disciplinas, além do que estas informações serão utilizadas para análises do modelo até mesmo com relação a planejamento, orçamento e manutenção da construção.

Desta maneira é importante, acima de tudo, definir previamente a concepção do modelo a necessidade informação para cada interveniente do projeto. No âmbito do projeto de estruturas o modelo digital, geralmente, deve conter informações uteis para o cálculo estrutural, compatibilização com outras disciplinas e o fabrico de peças.

## 2.4 INTEROPERABILIDADE

A troca de dados ou de modelos entre diferentes plataformas de softwares continua sendo um dos maiores desafios da indústria no caminho do alcance da mais completa e integrada colaboração entre

equipes de projetos. Existem inúmeros esforços para o estabelecimento de padrões, protocolos e boas práticas em toda a indústria da construção civil.

Nesse sentido, interoperabilidade é a capacidade de dois ou mais modelos (sistemas, dispositivos, pessoas e organizações) trocarem dados entre si, produzindo em conjunto trabalho ou informação de uma forma eficiente. Em termos de *software*, o termo interoperabilidade é utilizado para descrever a capacidade de diferentes programas trocarem informação entre si. A falta de interoperabilidade é determinada pela diferença nos formatos, protocolos, rotinas e ainda linguagem de programação, conforme demonstrado na Figura 2.3.



Figura 2.3 – Falta de interoperabilidade entre *softwares* (CBIC – Colaboração e Integração BIM, 2016).

Na metodologia BIM, em que tem como princípios fundamentais, a colaboração, a coordenação e a comunicação entre as várias especialidades da indústria AEC, o intercâmbio de informação entre colaboradores depende da interoperabilidade dos seus sistemas. Neste caso interoperabilidade pode ser definida como a capacidade das ferramentas BIM, de diferentes desenvolvedores, trocarem e operarem informação da construção entre si.

Na metodologia BIM há três caminhos principais para o compartilhamento e transferência de dados entre plataformas BIM: link direto usando arquivo nativo, link direto usando API (*Application Programming Interface*) e link indireto.

O link direto usando o arquivo nativo refere-se à troca interna de dados usando arquivos que são nativos de um pacote de software, portanto, não precisa de tradutor durante a troca de arquivos. Esse tipo de transferência de dados pode trocar informações com um erro mínimo, e o processo de transferência geralmente é rápido e direto (Eastman C. et al., 2011).

O link direto usando a API, no entanto, permite o uso de uma troca de arquivos temporária a partir de ferramentas de diferentes pacotes através de um acordo de cooperação entre as empresas que desenvolveram as plataformas (Eastman C. et al., 2011).

O link indireto é a maneira mais flexível de trocar dados, porque esse método permite a transferência de modelos entre diferentes plataformas utilizando um padrão e formato de dados abertos, como um arquivo de texto. No entanto o uso do link indireto ainda enfrenta muitos problemas na troca de informação, como a perda de dados essenciais e a inconsistência entre a fonte de dados e o alvo (Eastman C. et al., 2011).

Desta forma, tem existido um esforço que vai no sentido de criar uma linguagem comum para a construção, que visa dar resposta a problemas concretos da construção, relacionados com as organizações, os regulamentos, e as práticas de trabalho atuais. É então que surge a *buildingSmart*, uma instituição não lucrativa, com participação de dezessete países e que tem como principal objetivo ou finalidade ajudar a tornar a indústria AEC mais eficiente, através do desenvolvimento de normas para dados com formato livre, o *Industry Foundation Classes* (IFC). Este formato público é capaz de intercambiar características de objetos e demais elementos do modelo, sua geometria, além dos relacionamentos entre estes elementos, todos estes dados tem uma grande importância para análises e gerenciamentos de construção civil (Eastman C. et al, 2014). A Figura 2.4 ilustra como o formato neutro pode ajudar a interpretação de dados entre dois *softwares* diferentes.



Figura 2.4 – Comunicação por IFC (CBIC – Colaboração e Integração BIM, 2016).

### 2.4.1 BuildingSmart

A *Autodesk*, em 1994, liderou um grupo de empresas que buscavam apoiar o desenvolvimento de um programa que pudesse resolver o problema de interoperabilidade. Foi uma iniciativa conjunta com outras doze empresas americanas e foi nomeada de *Alliance for Interoperability*. Esta aliança foi apoiada mais tarde por várias empresas internacionais, passando o seu nome a *International Alliance for Interoperability*, a organização não possuía fins lucrativos, e o único objetivo de desenvolver o formato IFC como um produto neutro na indústria. Em 2005 esta organização mais uma vez mudou de nome e passou a se chamar de *BuildingSmart*.

## **2.4.2 Industry Foundation Classes – IFC**

Segundo a *BuildingSMART* o IFC é uma estrutura de dados que possibilita a trocar informações entre diferentes plataformas BIM. O esquema IFC é extensível e compreende informações cobrindo as muitas disciplinas que contribuem para um edifício durante seu ciclo de vida: desde a concepção, o projeto, a construção até a reforma ou demolição.

O IFC foi desenvolvido para criar um grande conjunto de representações de dados consistentes de informações da construção para intercâmbio entre diferentes *softwares*. Em linhas gerais, o objetivo desse modelo de dados é padronizar informação na indústria da construção. É baseado em conceitos e na linguagem de programação EXPRESS ISO-STEP. O modelo estrutural é extensível e como tal o padrão IFC está em permanente atualização, pois o mesmo ainda apresenta muitas limitações e dificuldade de entendimento dos próprios desenvolvedores na associação da informação à estrutura IFC.

Desta maneira o intercâmbio de dados por IFC precisa ocorrer dentro de fluxos de trabalho com conteúdo definido, pois a flexibilidade e a amplitude que a extensão IFC apresenta pode dar lugar à existência de erros (Eastman, C. et. al, 2011).

A *buildingSMART* definiu um processo de certificação que busca assegurar a exatidão da importação e exportação dos dados IFC. Os *softwares* certificados IFC podem trocar informações com outros programas e o detalhamento da qualidade de exportação e importação desses programas é disponibilizado no site da organização para consulta dos usuários.

## **2.5 SOFTWARE BIM PARA ENGENHARIA ESTRUTURAL**

A metodologia BIM e o seu potencial estão diretamente ligados à qualidade, usabilidade e capacidades da plataforma informática utilizada para o efeito.

A necessidade de melhorar os processos de trabalho da indústria AEC e a competitividade existente entre as várias empresas informáticas aplicadas à indústria AEC levou ao desenvolvimento de várias plataformas BIM nos últimos anos.

A seguir apresenta-se as funcionalidades e capacidades das plataformas e ferramenta de cálculo utilizadas no processo de modelação, análise e detalhe construtivo desenvolvidos no presente trabalho.

### **2.5.1 Autodesk Revit**

O *Autodesk Revit* é um *software* de modelação BIM de apoio a projetos de engenharia no que concerne às fases de projeto, construção e manutenção. O programa apresenta recursos para projeto de arquitetura, engenharia de sistemas mecânicos, elétricos e hidráulicos, engenharia estrutural e

construção. Além disso, ele possui suporte a um processo de projeto multidisciplinar, para trabalhos colaborativos. O *Revit* permite a visualização do modelo digital em 3D e a parametrização de elementos no modelo no sentido de potencializar a melhoria da qualidade e eficiência do projeto.

No *Revit*, o modelo o consiste em um banco de dados único com informações para o projeto. Estas informações correspondem aos elementos usados, suas relações e propriedades. O *Revit* classifica os elementos por categorias, famílias e tipos, conforme ilustra a Figura 2.5.

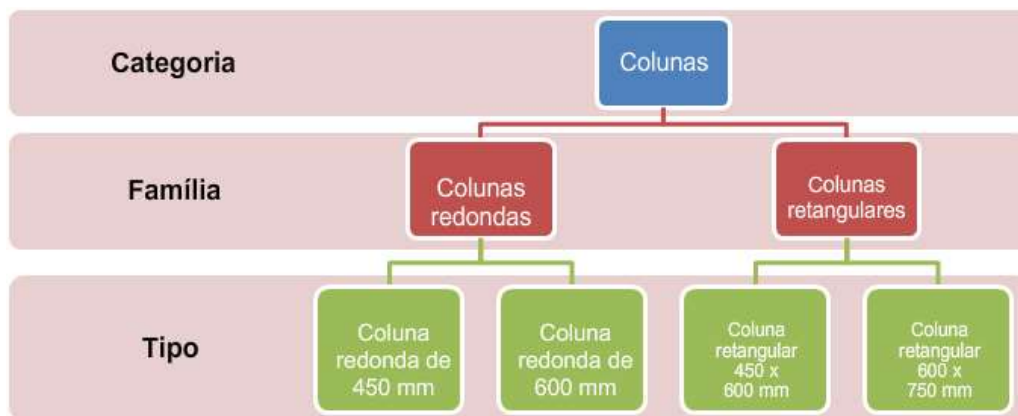


Figura 2.5- Elementos no *Revit*. (Autodesk)

Uma categoria é um grupo de elementos usado para modelar ou documentar um projeto de construção. As famílias são classes de elementos em uma categoria, que contêm um conjunto comum de parâmetros, de uso idêntico, e com uma representação gráfica similar, cada família pode apresentar vários tipos. Um tipo são elementos com propriedades iguais dentro uma família, pode ser um tamanho específico, como uma coluna 450x600 mm, por exemplo.

Cada elemento inserido em um modelo é uma instância de um tipo de família. Elementos têm dois conjuntos de propriedades que controlam sua aparência e comportamento: propriedades de tipo e propriedades de instância. O conjunto de propriedades de tipo é comum a todos os elementos em uma família, e cada propriedade tem o mesmo valor para todas as instâncias de um tipo de família particular. No *Revit*, cada elemento inserido em um modelo é uma instância de um tipo, cada elemento possui propriedades únicas, chamadas de parâmetros de instância.

Além disso, dispõe duma interligação direta com a ferramenta de cálculo *Robot Structural Analysis*, a qual facilita a transferência de dados entre arquitetos e engenheiros. Permite também a comunicação com outros pacotes de *software*, cujo formato de leitura é distinto entre si, possibilita assim, a interoperabilidade a partir da conversão de ficheiros em formato IFC.

### **2.5.2 Robot Structural Analysis**

Esta ferramenta tem como função o cálculo estrutural, permitindo ao utilizador análises avançadas (análises estáticas, lineares, não lineares e dinâmicas) de diversos tipos de estruturas. O *Robot Structural Analysis* dispõe também de módulos avançados de dimensionamento de estruturas metálicas, de betão armado e de madeira. Como referido anteriormente o *software*, disponibiliza uma ligação direta com o *Revit*, facilitando a implementação de uma metodologia BIM.

O *Robot* permite a conversão de ficheiros em formato IFC, no entanto, o programa ainda não possui certificação da *buildingSmart*, o que não dá garantias de consistência sobre as informações na troca de limita muito essa funcionalidade.

### **2.5.3 Tekla Structure**

O *Tekla Structure* é um *software* de grande utilização na indústria metalomecânica, onde apoia à produção de peças metálicas no setor da construção. Familiarizado com estruturas em betão armado, em estruturas metálicas, de madeira e de estruturas pré-fabricadas, estando também vocacionada para a modelação paramétrica de objetos.

O *Tekla* é usado na indústria da construção para detalhamento de aço e concreto, pré-moldado e fundido *in-situ*. O *software* permite que os usuários criem e gerenciem modelos estruturais 3D os gerenciem, desde o projeto até a fabricação. Além disso, o *Tekla* como *software* certificado pela *buildingSmart*, oferece opções de importação e exportação de ficheiro IFC.

### **2.5.4 Solibri Model View**

O *Solibri* é um visualizador de modelo que usa o IFC como formato nativo. Esse visualizador possibilita analisar o resultado da conversão IFC verificando quais dados foram traduzidos. Apesar de não fazer grande uso de visualizadores BIM, este estudo analisou algumas conversões para IFC, objetivando rastrear perdas de informação e a viabilidade do IFC.



## CAPÍTULO 3

### INTEROPERABILIDADE *REVIT-ROBOT*

Na metodologia BIM, a concepção estrutural e respectivo dimensionamento, são analisados sobre o modelo de arquitetura. Este processo assente numa base digital e tridimensional permite que o engenheiro avalie, de um modo claro, os condicionantes arquitetónicos que deve respeitar, evitando incompatibilidades entre as especialidades.

Em contexto BIM, todas as especialidades são integradas no projeto, partilhando informação associada a um modelo 3D. Assim, todas as fases de projeto e análises a realizar, podem ser agregadas e coordenadas num ambiente comum, e que por ser digital facilita extração de informação e atualização em conformidade as análises realizadas.

Ao se iniciar a concepção de um projeto em BIM, deve-se identificar os usos BIM, e em particular no âmbito de um projeto de estruturas, é necessário considerar os critérios de dimensionamento a adotar, a regulamentação a seguir, os materiais a utilizar e as condicionantes e restrições a impor, de forma a obter um modelo que além de integrado com outras especialidades possa ser usado para análise em um *software* de análise estrutural.

Neste capítulo pretende-se descrever a interoperabilidade por ligação direta entre os *softwares Revit e Robot*. No fluxo de trabalho entre os programas é importante que o usuário tenha conhecimento das funcionalidades estruturais existentes no *Revit* e como usa-las para obter um modelo analítico consistente que possa ser integrado com o programa de cálculo estrutural. No *Robot* é possível verificar a segurança aos estados limites regulamentares e avaliada a necessidade de redimensionamento de elementos estruturais ou alteração da concepção estrutural.

#### **3.1 REVIT – FUNCIONALIDADES EM PROJETO DE ESTRUTURAS**

O *Revit* é uma plataforma BIM com ferramentas direcionadas para a modelação e gestão de informação relativa a arquitetura, estrutura, instalações mecânicas, elétricas e hidráulicas. O modelo representa

geometricamente uma dada estrutura, com vasta informação associada, a qual é necessária à elaboração de projetos de execução, orçamentação, preparação de obra, entre outros.

O modelo geométrico de estruturas representa assim os elementos estruturais de uma edificação, sendo deste dependente a obtenção de documentação para apoio à obra, a quantificação dos materiais, entre outros dados possíveis de extrair do referido modelo. É deste modo de extrema importância que o processo de modelação seja preciso e completo, pois a qualidade de toda a informação referente ao próprio projeto é consequência da qualidade da modelação realizada.

O *Revit*, portanto, dispõe de categorias de elementos e ferramentas específicas para projetos de estruturas, com características distintas das outras categorias de elementos, encontrando-se agrupados em um separador próprio, tal como apresentado na Figura 3.1.

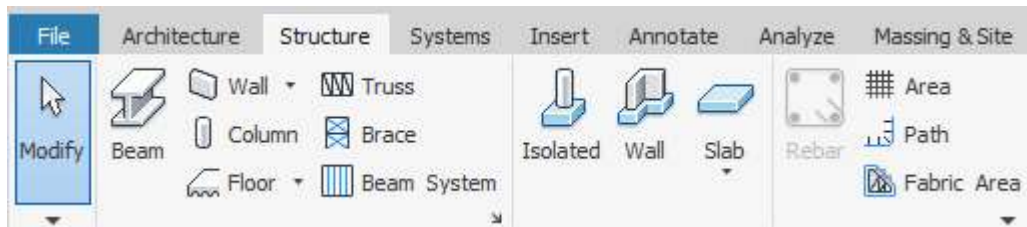


Figura 3.1- Separador com ferramentas estruturais.

Os elementos da categoria estrutural possuem quatro recursos que os diferenciam dos demais: o parâmetro *Material for Model Behavior*, a possibilidade de modelar armaduras nos elementos definidos com comportamento estrutural de betão, associação entre elementos geométricos e analíticos e a integração destes elementos com programas de cálculo estrutural.

A propriedade *Material for Model Behavior* define comportamentos específicos do elemento em função do material que o constitui. A Figura 3.2 ilustra a definição de comportamento em função do material.

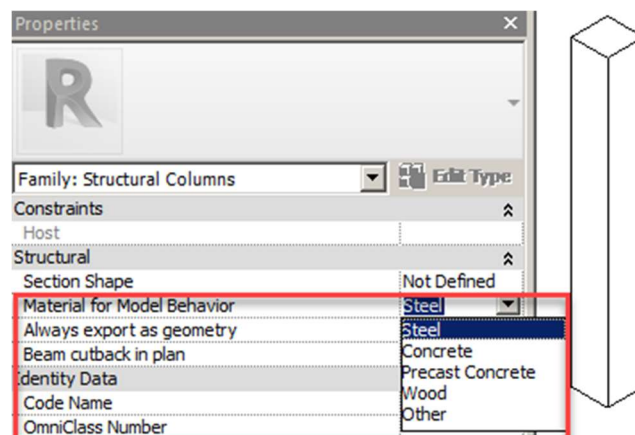


Figura 3.2- Definição de *Model Behaviour*.

A definição deste parâmetro com os materiais *Concrete* e *Precast Concrete* permite que os elementos possam hospedar armadura de reforço, como ilustrado na Figura 3.3.

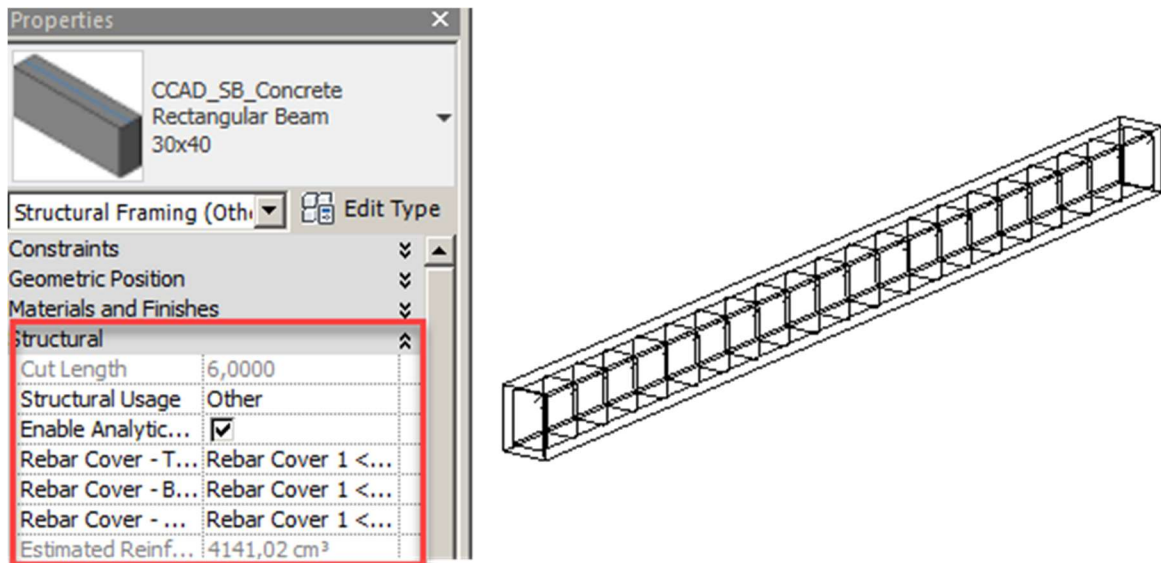


Figura 3.3- Armadura modelada em elemento de betão.

A funcionalidade estrutural do *Revit* associa automaticamente os elementos geométricos a elementos analíticos sempre que esta definição estiver ativada na barra de propriedades dos elementos estruturais, como na Figura 3.4.

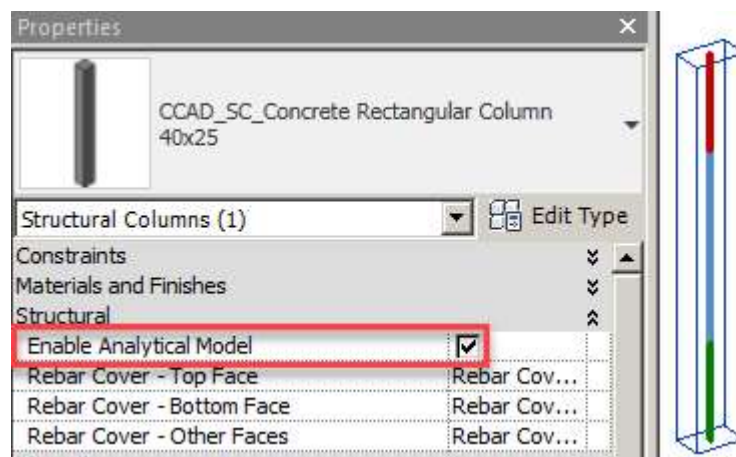


Figura 3.4- Definição de associação entre elemento geométrico e analítico.

O modelo analítico, por sua vez, é uma representação da engenharia estrutural de um modelo geométrico, que agrega um conjunto de informações relevantes para o cálculo e dimensionamento estrutural, tais como, suas geometrias, propriedades do material, graus de liberdade existentes nas ligações entre elementos e nos apoios da estrutura, cargas e combinações.

O modelo analítico é criado automaticamente ao elaborar o modelo geométrico, mas a este podem ser posteriormente alteradas algumas características tais como, por exemplo, a localização do elemento analítico ou os graus de liberdade nas ligações dos elementos.

A componente estrutural do *Revit* possui um separador com as ferramentas específicas a esses elementos, onde permite-se definir condições de apoio, ações e combinações, verificações de consistência e suporte, e ainda possui opções de ligação direta com o programa de cálculo, *Robot*. A Figura 3.5 ilustra o separador com as ferramentas citadas.

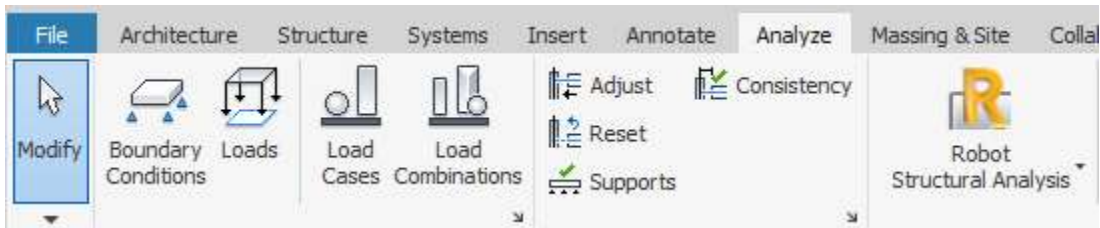


Figura 3.5- Ferramentas de análise associadas aos elementos analíticos.

### 3.1.1 Integração *Revit-Robot*

Os *softwares* da Autodesk, *Revit* e *Robot Structural Analysis*, possuem ligação direta e por isso suportam bidirecionalidade no fluxo de trabalho. A ferramenta de integração entre os programas permite enviar e atualizar o modelo (com ou sem os resultados obtidos no programa de cálculo), além de escolher o tipo de integração direta ou através da criação de um arquivo intermediário *.smxx*. A Figura 3.6 ilustra as opções de integração

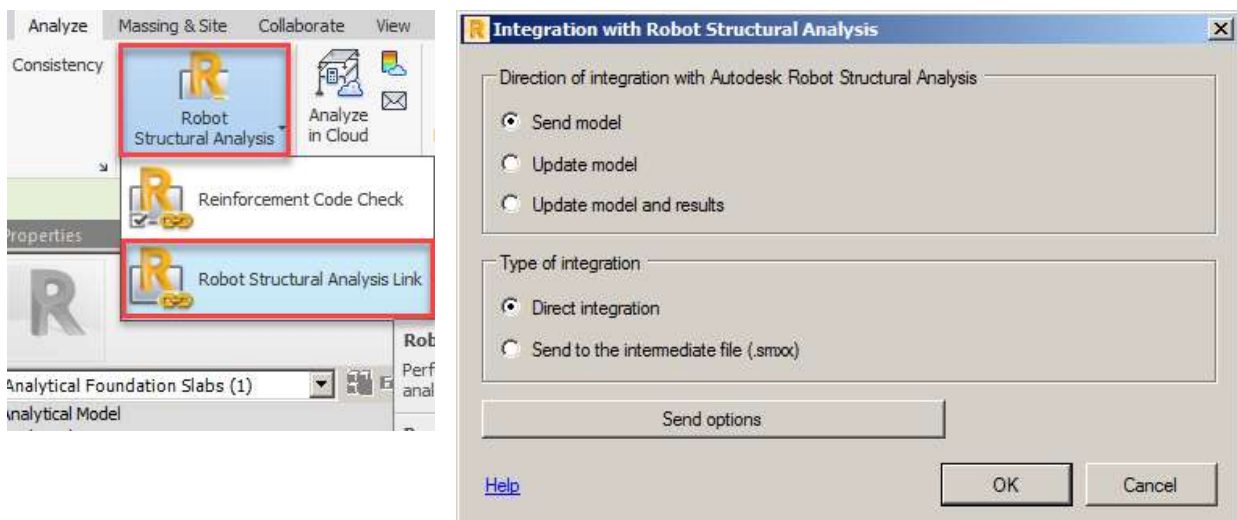


Figura 3.6- Opções de integração do modelo.

Além dessas definições básicas é possível definir opções adicionais para uma melhor integração entre os programas. Desta forma, é possível escolher opções como exportar e importar todo o modelo ou apenas

uma parte, transferir opcionalmente vistas em planta, armaduras de reforço e conexões de peças metálicas. No sentido *Revit-Robot* ainda é possível escolher qual o tipo de carga, *Load case*, que contabilizará o peso próprio, ou então ignorá-lo e defini-lo posteriormente no *Robot*. A Figura 3.7 apresenta o menu com as definições complementares.

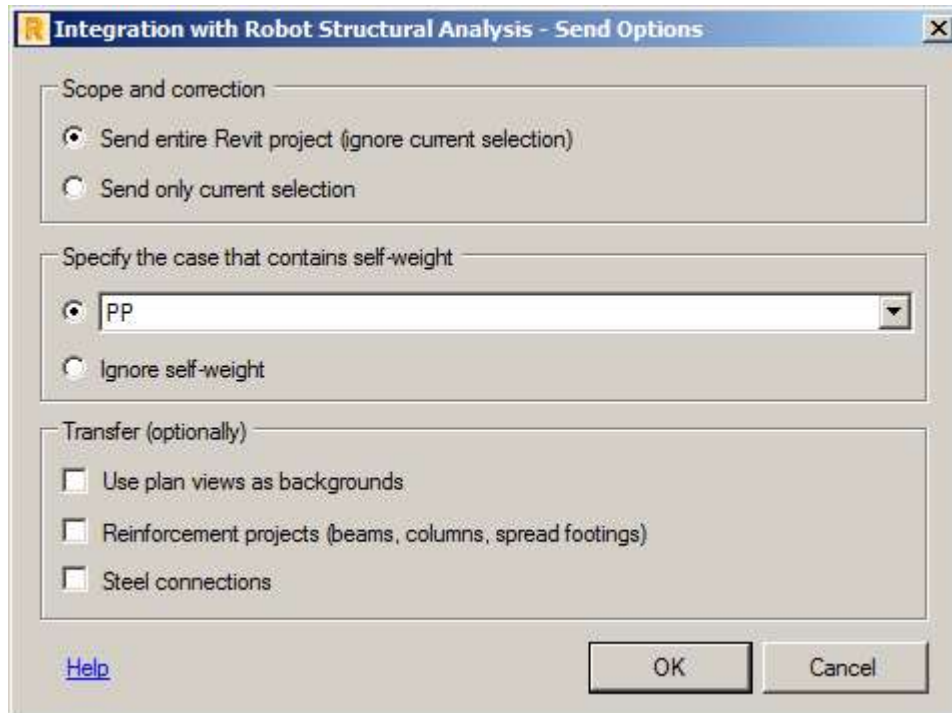


Figura 3.7- Opções adicionais de integração.

### 3.1.2 Casos de carga e Combinações.

A componente estrutural do *Revit* permite inserir ações, naturezas e combinações para as cargas aplicadas ao modelo analítico, conforme ilustra a Figura 3.8.

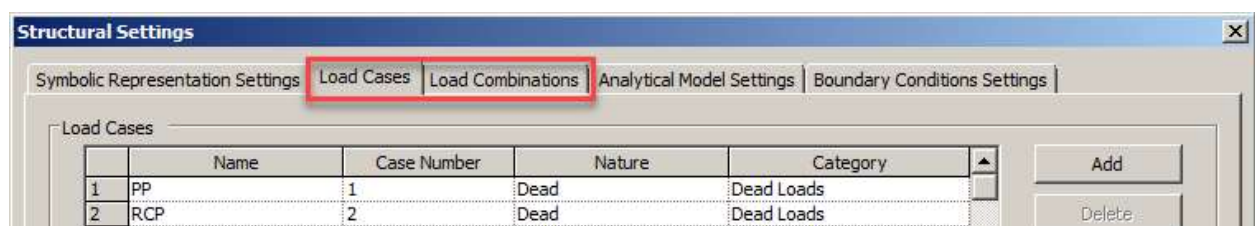


Figura 3.8- Definições de casos de carga e combinações.

Podem ser aplicadas cargas concentradas, lineares e de área no modelo analítico, conforme ilustra a Figura 3.9.

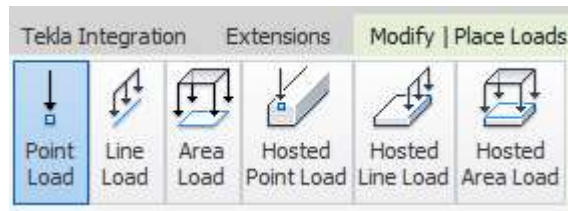


Figura 3.9- Tipos de carga.

Apesar de haver tal funcionalidade, esta não se mostra eficiente e completa quando comparada a de *softwares* destinados à análise, pois no *Revit* não é possível inserir ações dinâmicas, além de não possuir ferramentas consistentes para distribuição de cargas. Devido a essas limitações a aplicação de cargas no *Revit* não foi explorada com profundidade no presente trabalho.

### 3.1.3 Elementos Analíticos

Cada elemento estrutural do *Revit* contém um elemento analítico correspondente com conectividade de nó adequada. Existem também elementos analíticos que não são associados a nenhum elemento.

#### 3.1.3.1 Colunas

Colunas são representadas por barras, a Figura 3.10 ilustra a representação analítica de um pilar associado ao seu elemento geométrico e as propriedades analíticas correspondentes.

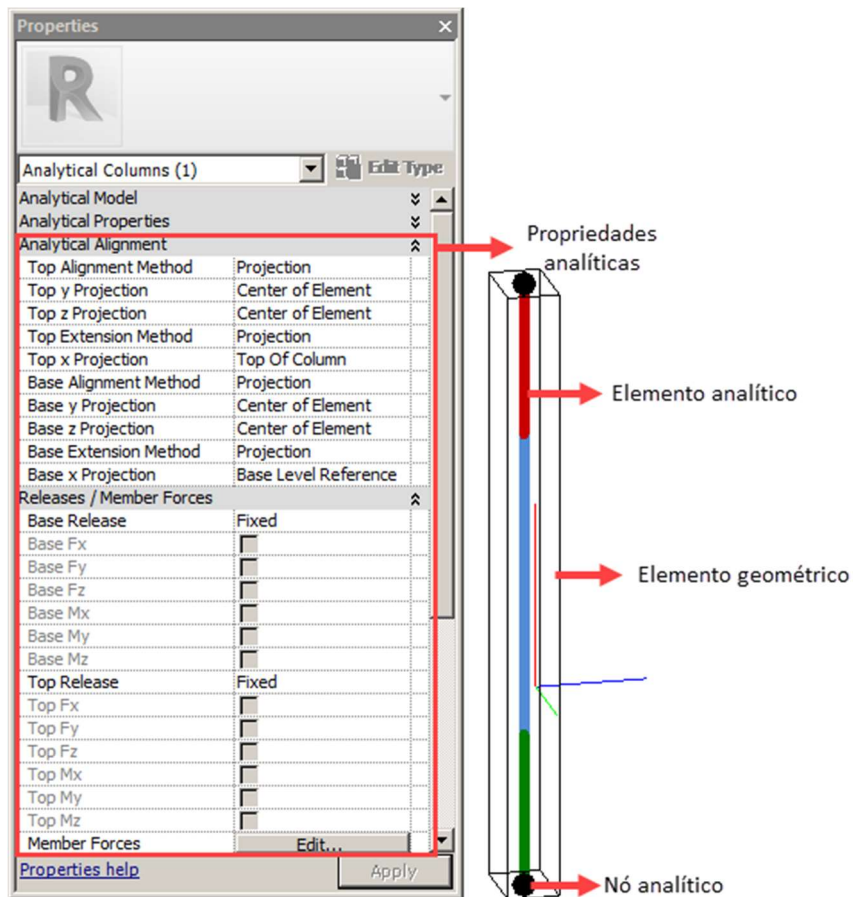


Figura 3.10- Representação e propriedades analíticas de um pilar.

A representação analítica da coluna presente na Figura 3.10 destaca o início, em verde, e o fim do segmento, em vermelho, de acordo com o sentido do eixo axial do sistema de eixos local. Os eixos X, Y e Z são exibidos ao longo dos elementos analíticos e são representados pelas cores vermelho, verde e azul respectivamente, sendo o eixo Z o que representa a face de maior inercia do elemento.

As propriedades analíticas permitem definir o grau de liberdade das extremidades das barras que representam os pilares, conforme a Figura 3.11.

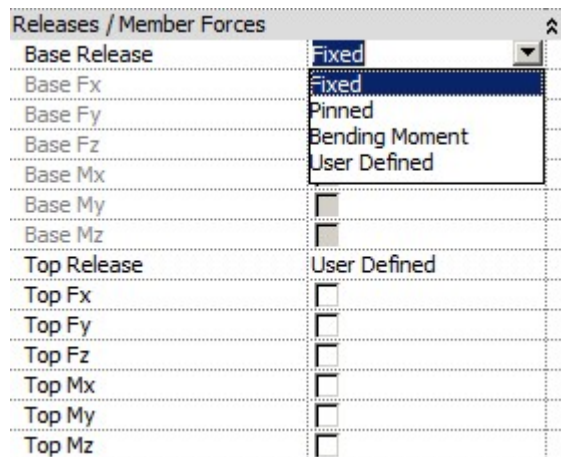


Figura 3.11- Definição de grau de liberdade dos elementos analíticos.

Os elementos analíticos em geral possuem por defeito nós com grau de liberdade igual a 6. No entanto é possível restringir ou liberar os graus de liberdade a partir de definições personalizadas ou usar opções predefinidas pelo programa.

Outra propriedade possível de configurar é a definição do método de alinhamento analítico que o elemento irá seguir, autodetecção ou por projeção. O método de autodetecção alinha e conecta automaticamente os elementos, já o método por projeção posiciona o elemento analítico em relação a projeções e faces do elemento geométrico associado. A Figura 3.12 ilustra as propriedades de alinhamento.

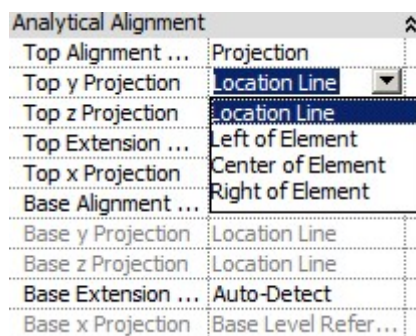


Figura 3.12 - Propriedades de alinhamento de colunas.

### 3.1.3.2 Vigas

Assim como as colunas, as vigas são representadas por barras, a Figura 3.13 ilustra a representação analítica de uma viga associada ao seu elemento geométrico e as propriedades analíticas correspondentes.

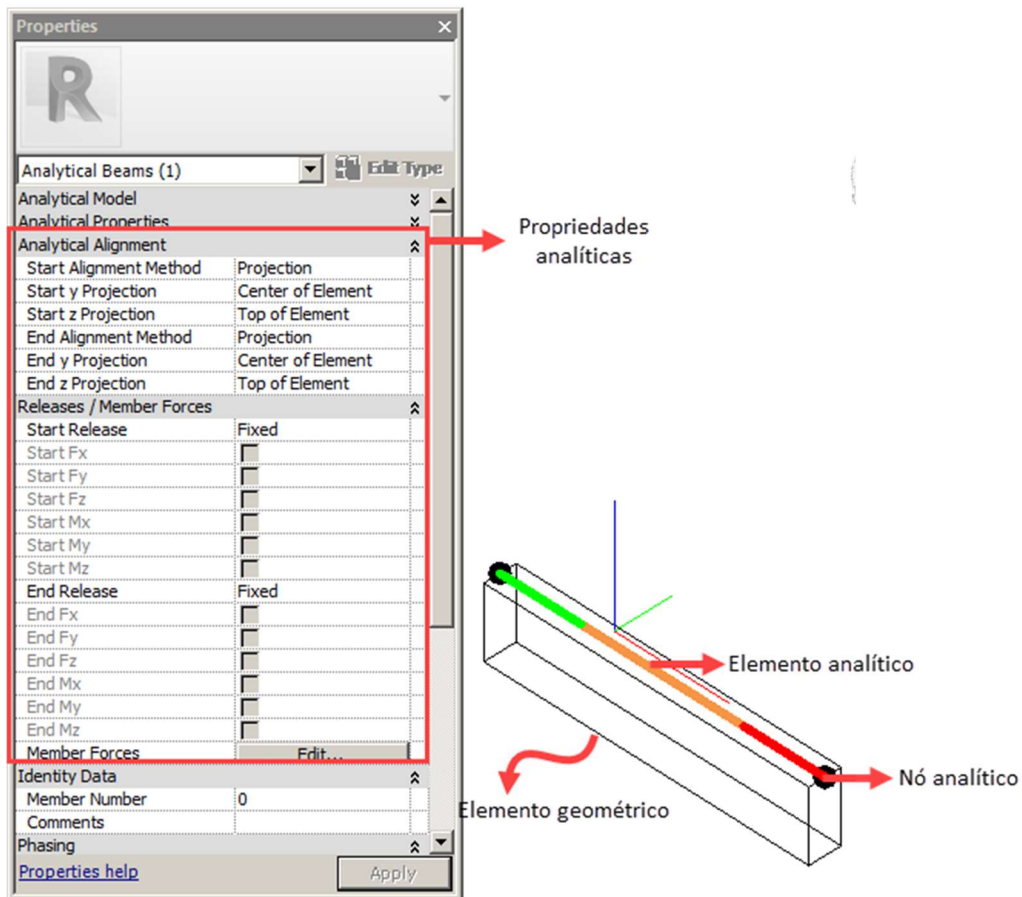


Figura 3.13- Representação e propriedades analíticas de uma viga.

A definição dos parâmetros relacionados ao grau de liberdade dos elementos ocorre de forma igual a das colunas. As vigas, em geral, possuem por defeito grau de liberdade igual a 6 com exceção de treliças e contraventamentos que se comportam de maneira particular.

As definições do alinhamento em vigas assim como as colunas pode ser automática ou por projeção. A Figura 3.14 ilustra as propriedades de alinhamento de uma viga.

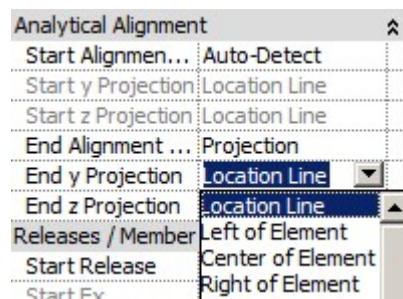


Figura 3.14- Propriedades de alinhamento de vigas.

### 3.1.3.3 Lajes

As lajes são representadas por superfícies, a Figura 3.15 ilustra a representação analítica de uma laje associada ao seu elemento geométrico e as propriedades analíticas correspondentes.

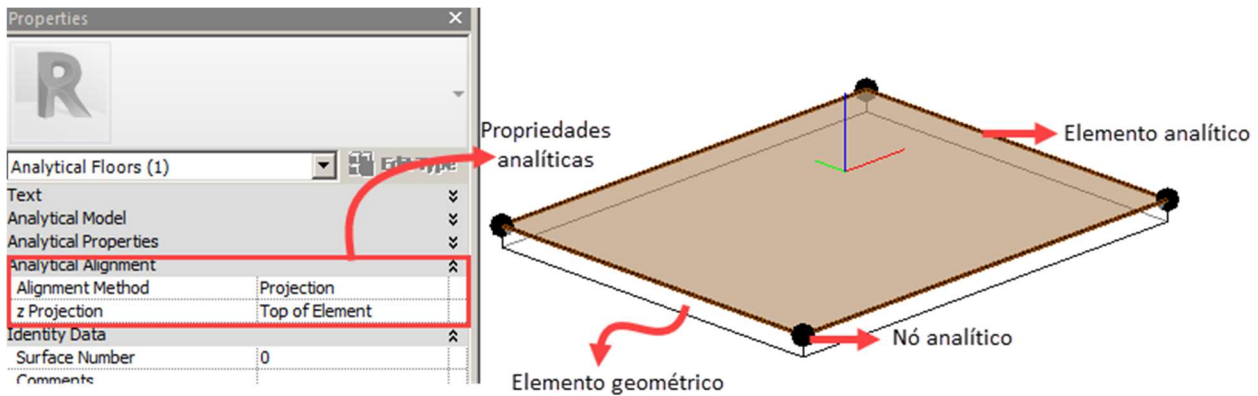


Figura 3.15- Representação e propriedades analíticas de uma laje.

Nesses elementos, como no caso de colunas e vigas, é possível determinar o método de alinhamento analítico automático ou por projeção. A Figura 3.16 ilustra as opções de definição do método de alinhamento por projeção.



Figura 3.16- Opções de posicionamento da representação analítica de uma laje no método de alinhamento por projeção.

### 3.1.3.4 Paredes

As paredes, assim como as lajes, são representadas por superfícies, a Figura 3.17 ilustra a representação analítica de uma parede associada ao seu elemento geométrico e as propriedades analíticas correspondentes.

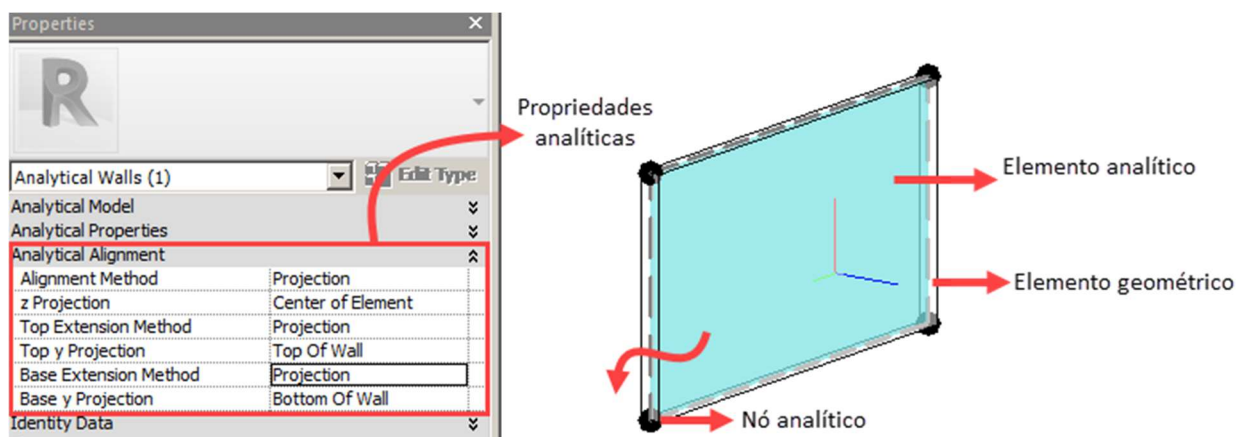


Figura 3.17 - Representação e propriedades analíticas de uma parede.

O alinhamento analítico de paredes pode ser determinado por autodetecção ou por projeção como os outros elementos já apresentados. A Figura 3.18 ilustra as opções de alinhamento de uma parede analítica.

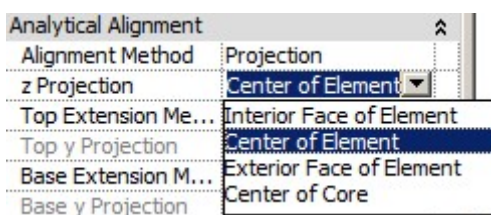


Figura 3.18- Opções de posicionamento da representação analítica de uma parede no método de alinhamento por projeção.

### 3.1.3.5 Fundações

Os elementos de fundação são divididos em categorias: *Isolated Foundation*, *Wall Foundation* e *Slabs*. Os elementos analíticos associados são nó, linha e superfície respectivamente. A Figura 3.19 ilustra a representação analítica associada a geometria desses elementos.

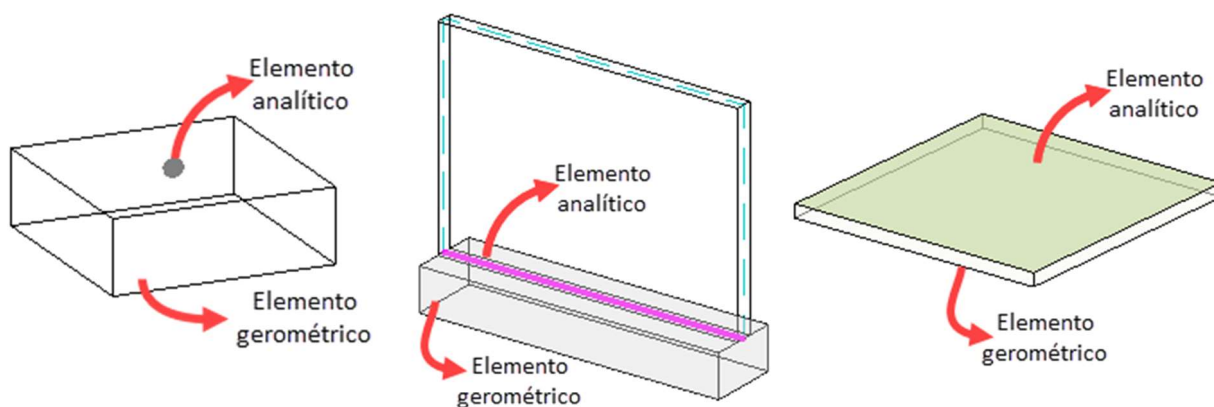


Figura 3.19 - Representações analíticas de elementos de suporte.

Os elementos analíticos das fundações não possuem propriedades de alinhamento e também não permitem ter o posicionamento alterado.

### 3.1.3.6 Elementos de apoio

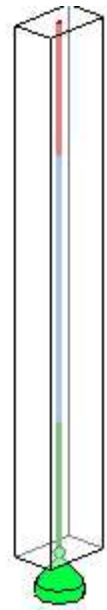
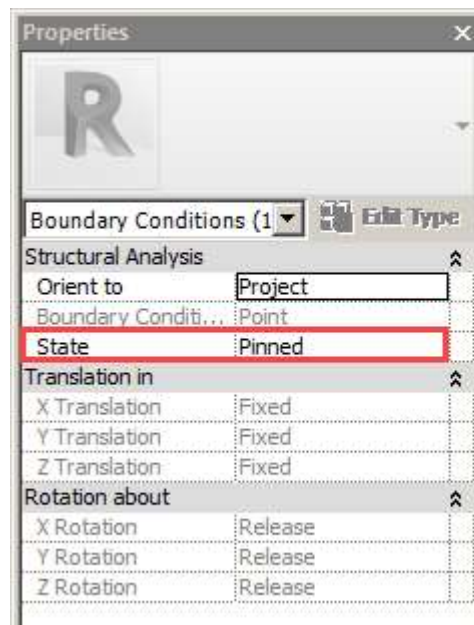
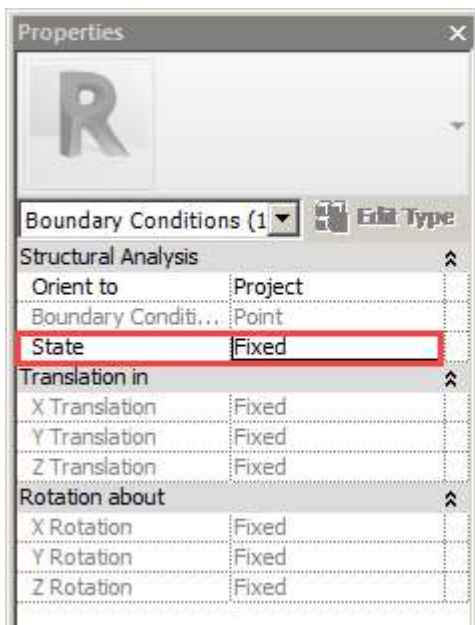
Os apoios são elementos analíticos que não possuem representação geométrica e que aparecem apenas no modelo analítico do *Revit*.

Os apoios no *Revit* podem ser pontuais, lineares ou de superfície, desta maneira é possível inserir as informações de suporte para os diversos elementos do modelo (vigas, pilares, paredes e lajes). A barra de ferramentas com as opções possíveis é apresentada na Figura 3.20.



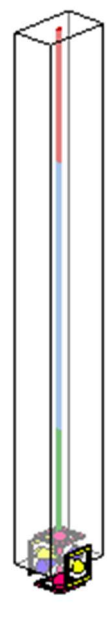
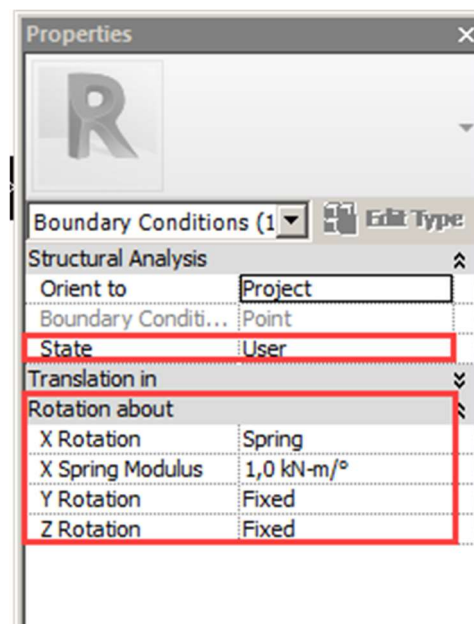
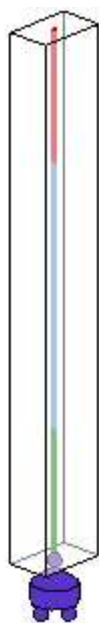
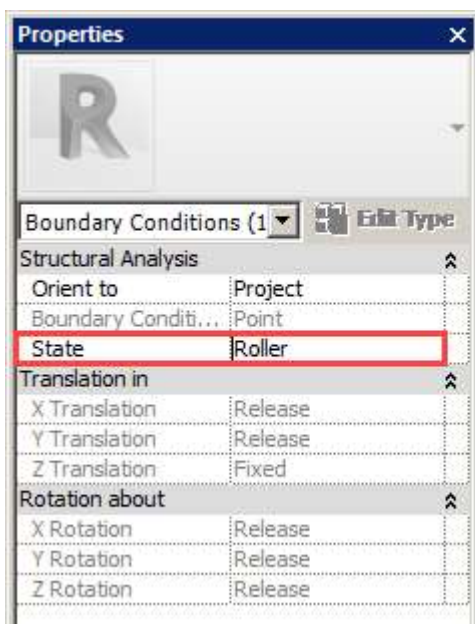
Figura 3.20- Condições e apoio.

As condições de apoio podem ser escolhidas entre apoios encastrados ou apoios simples de 1º e 2º grau, ou ainda ser personalizada conforme as necessidades do projeto. É possível inserir nesses elementos coeficientes de mola, quando se quer considerar a deformabilidade de um apoio, por exemplo. A Figura 3.21 ilustra as propriedades desses elementos.



a) Apoio triplo.

b) Apoio duplo.



c) Apoio simples.

d) Apoio com coeficiente elástico.

Figura 3.21- Propriedades de suporte.

### 3.1.3.7 Ligações Rígidas

As ligações rígidas, assim como os elementos de apoios, são elementos exclusivamente analíticos e sem qualquer associação geométrica. Esse elemento permite conectar dois elementos analíticos próximos, mas não conectados geometricamente, como por exemplo a situação retratada na Figura 3.22.

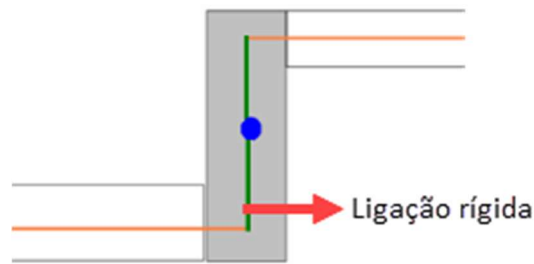


Figura 3.22- Aplicação de uma ligação rígida.

Na Figura o troço rígido conecta o pilar analítico a duas vigas analíticas que se encontram desfasadas. Esse elemento de ligação é considerado infinitamente rígido e sem peso, que permite a transmissão de esforços e não permite o movimento relativo entre elementos. Deve-se ter atenção, pois esses elementos, podem causar excentricidade nas cargas, a qual, em alguns casos, não é de interesse para o cálculo estrutural.

### 3.1.4 Interoperabilidade *Revit-Robot*

A secção a seguir descreve como os elementos do modelo no *software Revit* e no *Robot* são transferidos entre os aplicativos. As tabelas usam os símbolos da tabela 3.1 para descrever a transferência:

Tabela 3.1 – Símbolos de transferência de informação.

Símbolo	Descrição
«»	elementos são transferidos em ambas as direções
« ou »	elementos são transferidos apenas nessa direção
NA	elementos não são transferidos

#### 3.1.4.1 Elementos de fundação e condições de apoio

Os elementos de suporte e condições de apoio modelados no *Revit*, *Isolated Foundations* e *Point Boundary Conditions* respectivamente, são transferidos para o *Robot* como *Nodal Supports*. Os elementos *Wall Foundations* e *Line Boundary Conditions* são transferidos para o *Robot* como *Linear Supports*. Os elementos *Foundation Slabs* são interpretados pelo *Robot* como *Floors*. A tabela 3.2 resume a matriz de interoperabilidade relativa a esses elementos.

Tabela 3.2 – Matriz de interoperabilidade: Elementos de suporte.

Revit		RSA
<i>Isolated Foudation</i>	»	<i>Nodal Suport</i> <sup>1</sup>
<i>Point Boudary Conditions</i>	«»	<i>Nodal Suport</i>
<i>Wall Foudation</i>	»	<i>Linear Support</i> <sup>2</sup>
<i>Linear Boudary Conditions</i>	«»	<i>Linear Support</i> <sup>2</sup>
<i>Foundation Slab</i>	»	<i>Floor</i> <sup>3</sup>
<i>Floor</i>	«	

As notas a seguir complementam a informação presente na tabela 3.2:

1. No *Robot*, as fundações isoladas do *Revit* são transferidas como apoios encastrados. Caso o apoio tenha comportamento diferente, recomenda-se inserir no modelo analítico a condição de apoio antes de enviar para o *Robot*.
2. É usual a prática de usar os nós gerados pela malha de elementos finitos no programa de cálculo para inserir elementos de suporte que juntos representam um apoio linear. No entanto, quando há integração com o *Revit*, essa prática não é adequada, pois os elementos criados nos nós são atualizados de maneira errada no modelo geométrico e é gerada uma fundação isolada em cada nó quando o modelo é exportado para o *Revit*.
3. *Foundation Slabs* são exportados para o *Robot* como *Floors*, e apesar de terem suas características analíticas e geométricas preservadas retornam para o *Revit* na família *Structural Floors*.

Além dessas informações é relevante destacar que no caso de se exportar para o *Robot* apenas uma parte do modelo será necessário criar novas condições de fronteira. Posteriormente, quando a mesma componente do modelo é reinserida no *Revit*, é necessário eliminar os novos *Nodal Supports* criados, caso contrário estes serão transferidos.

### 3.1.4.2 Elementos estruturais

Os objetos *Structural Columns* (pilares) e *Structural Beams* (vigas) são transferidos para o *Robot* como elementos finitos de barra, já no fluxo do *Robot* para o *Revit* elementos de barra são reconhecidos como pilares ou vigas dependendo de sua orientação, vertical ou horizontal. Os elementos *Structural Floors* e *Structural Walls* são exportados para o *Robot* como *Floors* e *Walls* respectivamente e retornam da mesma maneira ao *Revit*. A tabela 3.3 resume a matriz de interoperabilidade relativa a esses elementos.

Tabela 3.3 - Matriz de interoperabilidade: Elementos estruturais.

<i>Revit</i>		<i>RSA</i>
<i>Column</i>	«»	Elemento finito de barra ( <i>Structure object = Column</i> )
<i>Beam</i>	«»	Elemento finito de barra ( <i>Structure object = Beam</i> )
<i>Curved Beam</i>	»	Conjunto discretizado de elementos finito de barra <sup>1</sup>
<i>Structural Floor</i>	«»	<i>Floor</i>
<i>Structural Wall</i>	«»	<i>Wall</i>
<i>Truss</i>	NA	- <sup>2</sup>
<i>Beam System</i>	NA	- <sup>2</sup>
<i>Brace</i>	NA	- <sup>2</sup>

As notas a seguir complementam a informação presente na tabela 3.3:

1. As vigas curvas modeladas no *Revit* são transferidas para *Robot* como um conjunto de vigas lineares fragmentadas por uma discretização definida pelo parâmetro *Approximate Curve* do elemento no *Revit*. Como a interoperabilidade entre os sistemas funciona por associação de id de elementos, quando os vários elementos são gerados no *Robot* em substituição a um único existente no *Revit*, eles perdem conexão e, portanto, o *Robot* não transfere os segmentos discretos de volta para o *Revit*. Efetivamente, a transferência de uma viga curva funciona em uma direção só de ida do *Revit* para o *Robot*.
2. *Truss*, *Beam System* e *Brace* no *Revit* são um conjunto de vigas delimitadas por um contorno que agrupa os elementos. No *Robot* não existe essa propriedade de contorno e elementos finitos de barra são transferidos de forma independente.

### 3.1.4.3 Propriedades de elementos estruturais

As propriedades dos elementos do *Revit* são transferidas para o *Robot*, no entanto, algumas das propriedades existem apenas no *Robot*, desta maneira, apesar de serem preservadas no modelo do *software* de análise estrutural, as propriedades não são transferidas para o *Revit*. A tabela 3.4 resume a matriz de interoperabilidade relativa as propriedades.

Tabela 3.4 - Matriz de interoperabilidade: Propriedades estruturais.

Revit		RSA
<i>Analytical Link</i>	»	<i>Rigid Link</i> <sup>1</sup>
<i>Cross Section Rotation</i>	«»	<i>Gama Angle</i>
<i>Model Behavior</i>	»	<i>Member Type</i> <sup>2</sup>
-	NA	<i>Cable</i> <sup>3</sup>
-	NA	<i>Elastic Ground</i> <sup>3</sup>
-	NA	<i>Geometric Imperfection</i> <sup>3</sup>
-	NA	<i>Non-linear Hinge</i> <sup>3</sup>
-	NA	<i>Inactive Status</i> <sup>3</sup>
-	NA	<i>Axial Forces Only</i> <sup>3</sup>
-	NA	<i>Shear force respect in deformation</i> <sup>3</sup>
-	NA	<i>Tension/Compression Member</i> <sup>3</sup>
<i>Release</i>	«»	<i>Release</i> <sup>4,5</sup>

As notas a seguir complementam a informação presente na tabela 3.4:

1. As ligações rígidas do *Revit* são transferidas para o *Robot* como *links* rígidos e são preservados em iterações posteriores. No entanto, *links* rígidos inseridos no *Robot* não são transferidos ao *Revit*.
2. A escolha do tipo de material na propriedade *Material of Model Behavior* no *Revit* tem influência sobre a propriedade *Member Type* no *Robot*. No entanto a alteração da propriedade *Member Type* no *Robot* não altera o *Model Behaviour* definido no *Revit*.
3. Parâmetros particulares do *Robot* não são transferidos para o *Revit* por não haver correspondência, desta maneira não são acessíveis nem visualizados no *Revit*.
4. Os *Releases* se comportam de forma particular e devem ser analisados com cuidado. A definição dos *Releases*, por defeito *fixed-fixed* no *Revit*, que representam um apoio fixo em cada extremidade do elemento, não resulta em nenhuma alteração no *Robot*. Qualquer outra definição para os *Realese* no *Revit* irá criar uma correspondência no *Robot* atribuindo-se um nome a essa configuração de grau de liberdade. No sentido oposto a definição *N/A* no *Robot*, que representam um apoio fixo em cada extremidade do elemento, não impõe nenhuma alteração na definição do *Realese* no *Revit*. Para evitar esta limitação recomenda-se sempre trabalhar com as opções personalizadas do usuário e não usar as opções predefinidas nos programas.

- No *Revit* não é possível definir características especiais aos *Realeses*, como rigidez elástica, da mesma forma que se pode fazer no *Robot*. As opções de definição são mais simplificadas e correntes. Essas definições de detalhe devem ser efetuadas no *Robot*.

#### 3.1.4.4 Aberturas

As aberturas modeladas no *Revit* (janelas, portas e aberturas verticais) são transferidas para o *Robot* como *Openings*. No entanto, o contrário não acontece, e, portanto, modificações em aberturas existentes ou a criação de novas no *Robot* não são atualizadas posteriormente no *Revit*. A interpretação do fluxo de informação, referente as aberturas entre programas, é apresentado na tabela 3.5.

Tabela 3.5- Matriz de interoperabilidade: Elementos de abertura.

Revit		RSA
<i>Window</i>	»	<i>Opening</i> <sup>1</sup>
<i>Door</i>	»	<i>Opening</i> <sup>1</sup>
<i>Openings (Wall, Shaft, Vertical...)</i>	»	<i>Opening</i> <sup>1</sup>

A nota a seguir complementa as informações da tabela 3.5:

- As aberturas alteradas ou introduzidas no *Robot* não são transferidas para o modelo geométrico no *Revit*, mas são preservadas no modelo do *Robot* em futuras iterações. Portanto, recomenda-se que qualquer alteração referente a abertura seja realizada em ambiente *Revit*.

#### 3.1.4.5 Casos de carga e combinações

Cargas, naturezas de carga, casos de carga e combinações de carga são transferidos entre o *Revit* e o *Robot* em um fluxo bidirecional. As cargas criadas no *Revit* podem ser acessadas e editadas no *Robot*, e vice-versa. Já os resultados existem somente na direção *Robot-Revit*, pois a análise só pode ser feita no programa de cálculo. A tabela 3.6 resume a interpretação desses elementos na exportação e importação entre os programas.

Tabela 3.6- Matriz de interoperabilidade: Elementos de carregamento.

<i>Revit</i>		<i>RSA</i>
<i>Load Nature</i>	«»	<i>Load Nature</i>
<i>Load Case</i>	«»	<i>Load Case</i>
<i>Load Combination</i>	«»	<i>Load Combination</i>
<i>Point Load</i>	«»	<i>Nodal Load</i>
<i>Linear Load</i>	«»	<i>Line Load</i>
<i>Area Load</i>	«»	<i>Planar Load</i>
<i>Results</i>	«	<i>Results</i> <sup>1</sup>

A nota a seguir complementa as informações da tabela 3.6:

1. Apenas quando há análises estáticas os resultados são transferidos do *Robot* para o *Revit*. Os resultados referentes a análise de cargas dinâmicas feitas no *Robot* não possuem correspondência e, portanto, quando existem na análise nenhum resultado é transferido.

#### 3.1.4.6 Elementos de apoio a modelação.

*Grids* e *Levels* presentes no modelo no *Revit* são exportados como *Structural Axes* e *Stories* no *Robot*. Esses elementos de apoio são vitais em um modelo de estrutura. A sua utilização permite a seleção rápida de elementos de um determinado nível e o posicionamento de elementos nos eixos da estrutura. Os níveis e grelhas são importantes como referências para modelação, têm ligação com modelo analítico e apoiam também a modelação paramétrica.

A transferência bidirecional desses elementos é limitada. Portanto, é recomendável que o usuário crie e ajuste esses elementos no *Revit*. Essas correspondências são apresentadas na tabela 3.7.

Tabela 3.7- Matriz de interoperabilidade: Elementos de apoio a modelação.

<i>Revit</i>		<i>RSA</i>
<i>Grid</i>	»	<i>Structural Axes</i>
<i>Level</i>	»	<i>Story</i> <sup>1</sup>

A nota a seguir complementa a informação presente na tabela 3.7:

1. Só são transferidos do *Revit* para o *Robot* os *Levels* que estiverem com a opção *Building Story* ativada.

#### 3.1.5 Ajuste analítico

A modelação estrutural no *Revit* geralmente cria modelos analíticos associados que podem parecer ilógicos e inconsistentes quando comparados ao modelo geométrico, já que as decisões do engenheiro

são geralmente subjetivas e baseadas na experiência. Desta forma, o *Revit* inclui funcionalidades para editar mais facilmente o modelo analítico.

O alinhamento analítico engloba várias opções diferentes para posicionar o modelo analítico em relação a ele mesmo e a outros elementos analíticos. Existem dois métodos de alinhamento analítico: detecção automática e projeção. Há também ferramentas de ajuste manual quando é necessário ajustes mais precisos.

### 3.1.5.1 Ajuste analítico por autodetecção

O ajuste automático é o método de alinhamento por defeito para todos os elementos estruturais analíticos, este alinhamento é realizado em um elemento estrutural em relação a um elemento vizinho. Para a detecção automática ocorrer, as propriedades de ajuste analítico do elemento devem estar definidas como detecção automática, como ilustrado na Figura 3.23.

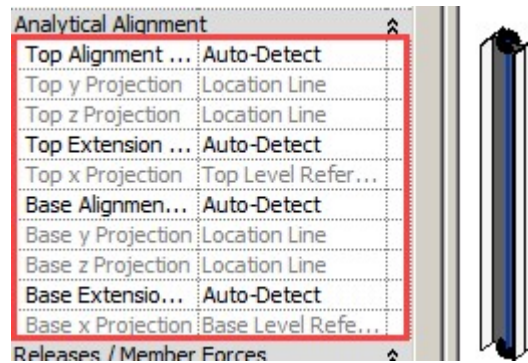


Figura 3.23 – Alinhamento por autodetecção.

O *Revit* ajusta automaticamente o modelo analítico baseado nas configurações de tolerância ilustrada na Figura 3.24.

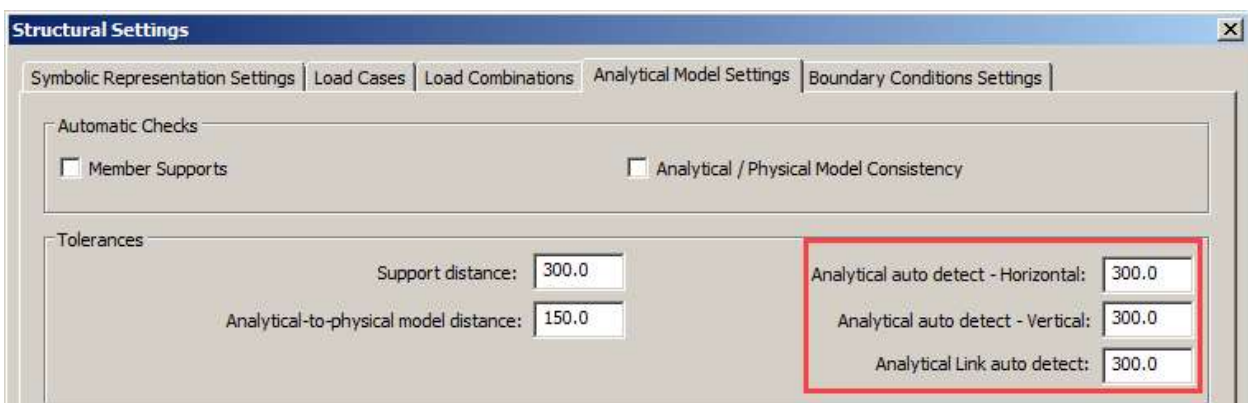


Figura 3.24- Tolerância para alinhamento por autodetecção.

O ajuste de detecção automática é realizado de acordo com as tolerâncias definidas nas configurações do modelo analítico. Essas tolerâncias são:

- Detecção automática horizontal: é a distância horizontal máxima entre o modelo analítico e o físico que será usado quando o método de detecção automática for escolhido.
- Detecção automática vertical: é a distância vertical máxima entre o modelo analítico e físico que será usado quando o método de detecção automática for escolhido.

O ajuste automático é então executado, desde que a distância entre dois elementos analíticos esteja dentro da tolerância. A Figura 3.25 ilustra o funcionamento do alinhamento automático a partir das tolerâncias apresentadas na Figura 3.24.

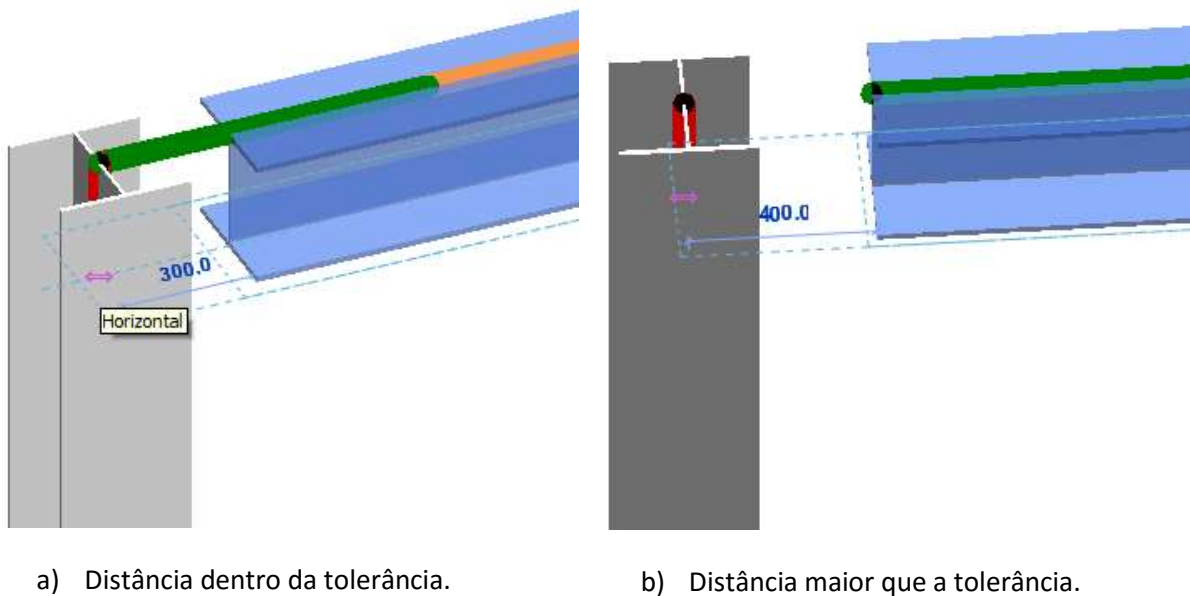


Figura 3.25- Funcionamento do método de alinhamento por autodetecção.

### 3.1.5.2 Ajuste analítico por projeção

O usuário pode utilizar o método de alinhamento por projeção ao alterar as propriedades do elemento analítico. No método de alinhamento por projeção os elementos analíticos do membro estrutural têm opções de posicionamento relativas às projeções do elemento geométrico em si.

#### 3.1.5.2.1 Colunas

Nas colunas é possível posicionar o elemento analítico em relação às referências apresentadas na tabela 3.8. As referências são tomadas a partir do eixo local dos elementos.

Tabela 3.8- Opções de projeção para alinhamento de colunas analíticas.

Referência horizontal (X)	Referência vertical (Y)
Esquerda do elemento	Topo do elemento
Centro do elemento	Centro do elemento
Direita do elemento	Parte inferior do elemento
Eixos	Eixos
Planos de referência	Planos de referência
Extensões verticais (Z)	
Top	Base
Nível de referência superior	Referência de nível base
Parte superior da coluna	Parte inferior da coluna
Níveis	Níveis
Planos de referência	Planos de referência

A Figura 3.26 ilustra um pilar com as propriedades de alinhamento configuradas com as opções da tabela 3.8

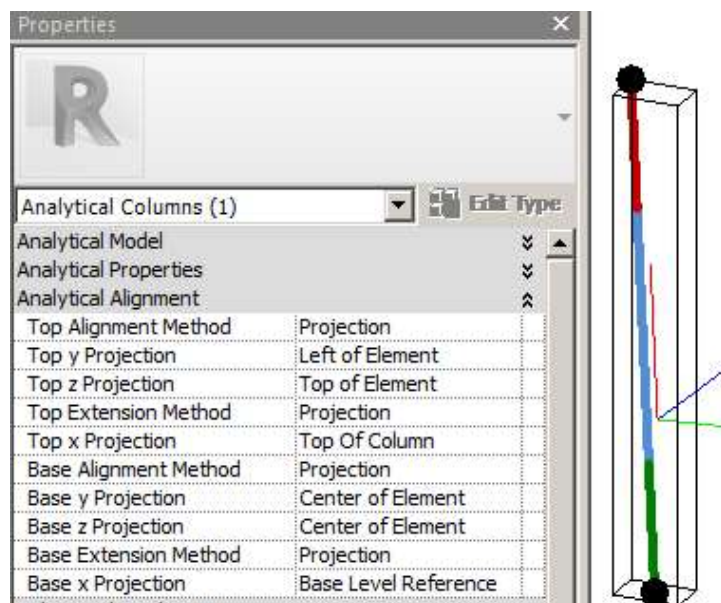


Figura 3.26- Opções de posicionamento do elemento analítico.

### 3.1.5.2.2 Vigas

Nas vigas é possível posicionar o elemento analítico em relação as referências apresentadas na tabela 3.9. As referências são tomadas a partir do eixo local dos elementos.

Tabela 3.9- Opções de projeção para alinhamento de vigas analíticas

Referência horizontal (Y)	Referência vertical (Z)
Linha de localização	Linha de localização
Esquerda do elemento.	Topo do elemento
Centro do elemento	Centro do elemento
Direita do elemento.	Parte inferior do elemento.
Eixos	Níveis
Planos de referência	Níveis de referência

A Figura 3.27 ilustra uma viga com as propriedades de alinhamento configuradas com as opções da tabela 3.9.

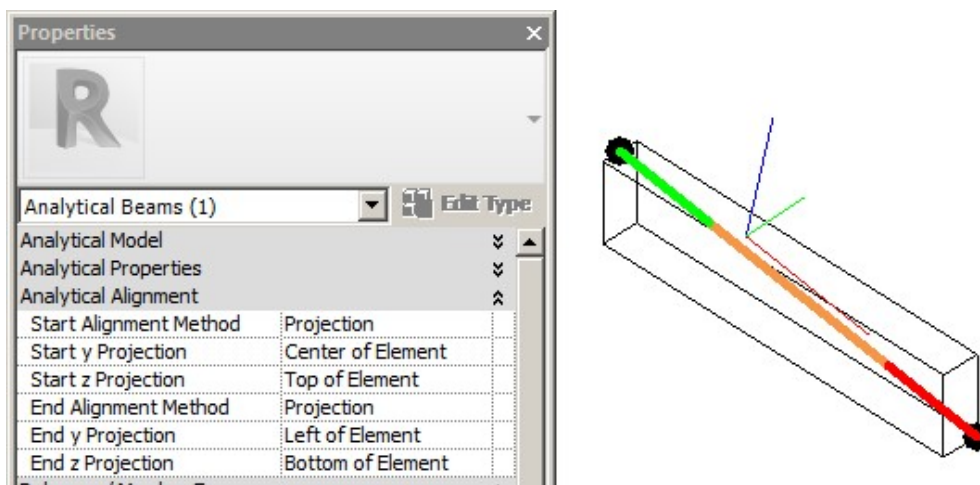


Figura 3.27- Opções de posicionamento do elemento analítico.

### 3.1.5.2.3 Lajes

Para o caso de lajes as referências são as faces, inferior e superior, e o centro do elemento geométrico, na direção perpendicular ao plano, e o próprio contorno da laje na direção paralela ao plano do elemento, as projeções são apresentadas na tabela 3.10. As referências são tomadas a partir do eixo local dos elementos.

Tabela 3.10- Opções de projeção para alinhamento de lajes analíticas

Referência horizontal/plana (X e Y)	Referência vertical (Z)
Contorno do elemento	Topo do elemento
Eixos de referências	Centro do elemento
-	Parte inferior do elemento.
-	Nível
-	Planos de referência

A Figura 3.28 ilustra uma laje com as propriedades de alinhamento configuradas com as opções da tabela 3.10.

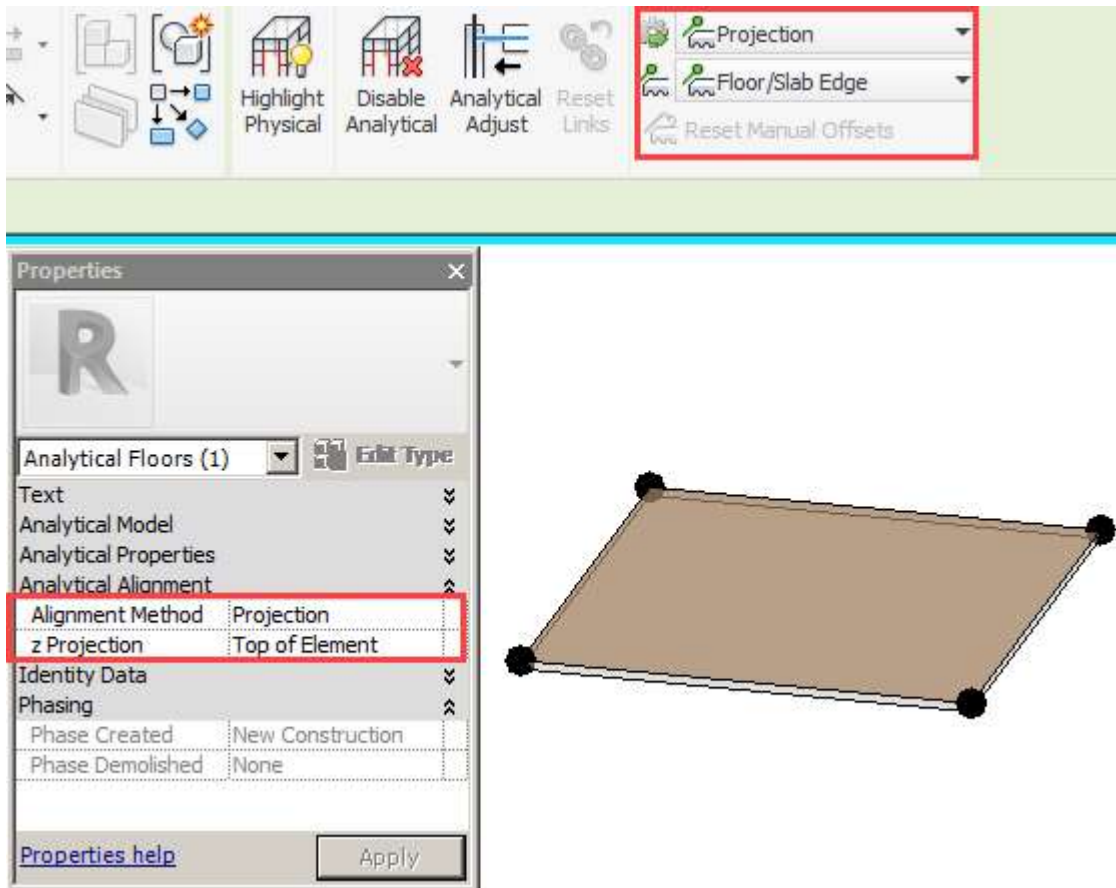


Figura 3.28- Opções de posicionamento do elemento analítico.

#### 3.1.5.2.4 Paredes

As definições de projeção em paredes permitem posicionar o elemento analítico em relação as faces do elemento geométrico, ou ao centro (considerando as várias camadas ou apenas o núcleo estrutural). As projeções são apresentadas na tabela 3.11. As referências são tomadas a partir do eixo local dos elementos.

Tabela 3.11- Opções de projeção para alinhamento de paredes analíticas

Referência horizontal (Y)	
Face interna do elemento	
Centro do elemento	
Face externa do elemento	
Centro do núcleo	
Planos de referência	
Extensões verticais (Z)	
Top	Base
Parte superior da parede	Parte inferior da parede
Níveis	Níveis

A Figura 3.29 ilustra uma parede com as propriedades de alinhamento configuradas com as opções da tabela 3.11.

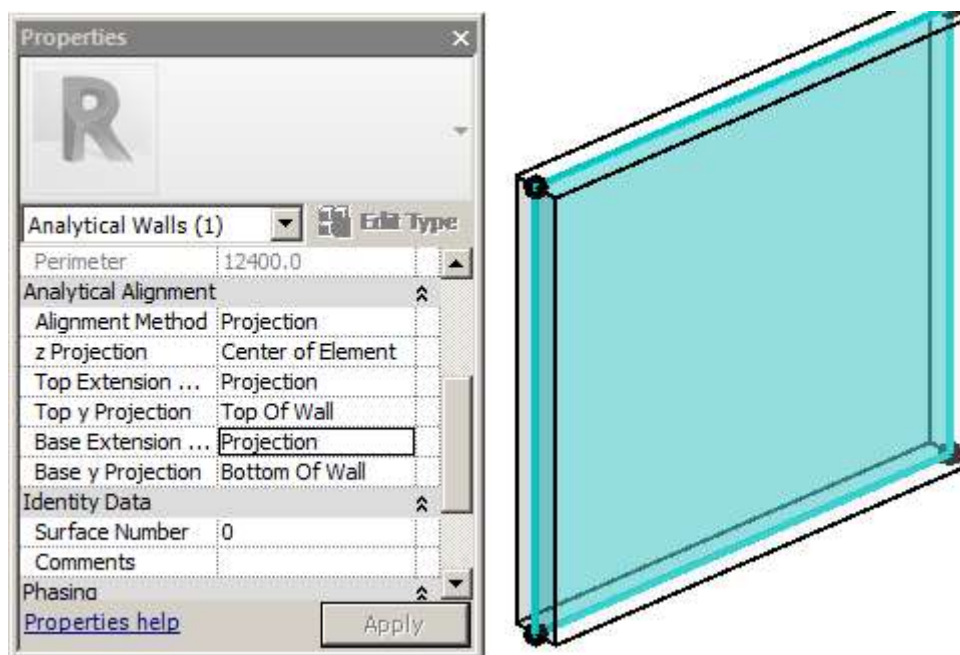


Figura 3.29- Opções de posicionamento do elemento analítico.

### 3.1.5.3 Ferramenta de ajuste manual

O *software Revit* inclui um modo de edição analítica especial que permite a manipulação direta do modelo analítico, proporcionando maior controle. Neste modo de edição, o usuário pode modificar diretamente os elementos do modelo analítico. O modo de edição analítica é ativado no separador *Analyze* na opção *Adjust Analytical Model*, como ilustrado na Figura 3.30.

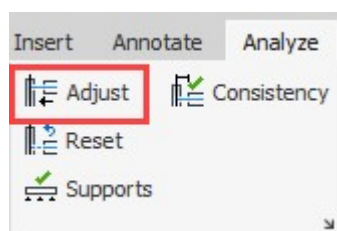
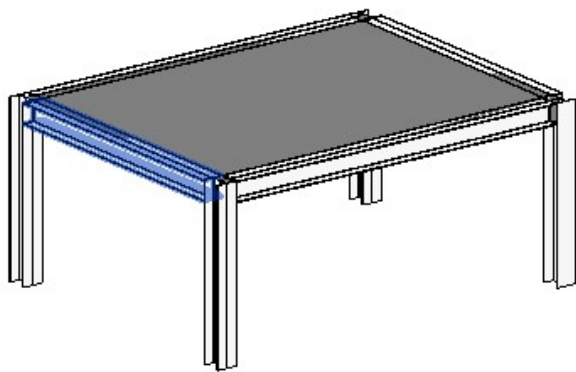
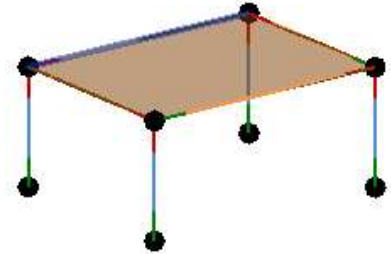


Figura 3.30- Acesso a ferramenta de ajuste analítico manual.

Quando o modo de edição é ativado, os elementos do nó aparecem nas extremidades de todos os elementos analíticos. Além disso, pisos analíticos, lajes de fundação e paredes têm nós analíticos em cada canto. A Figura 3.31 ilustra um modelo com o modo de edição ativado.



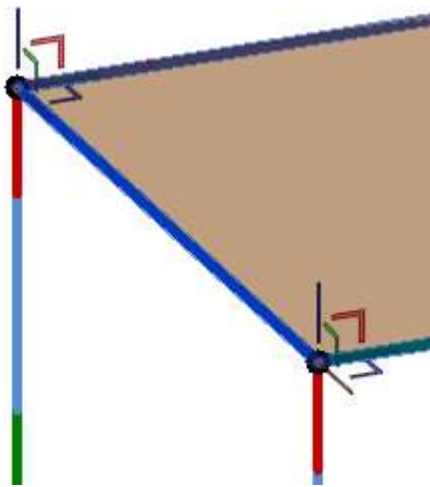
a) Representação geométrica.



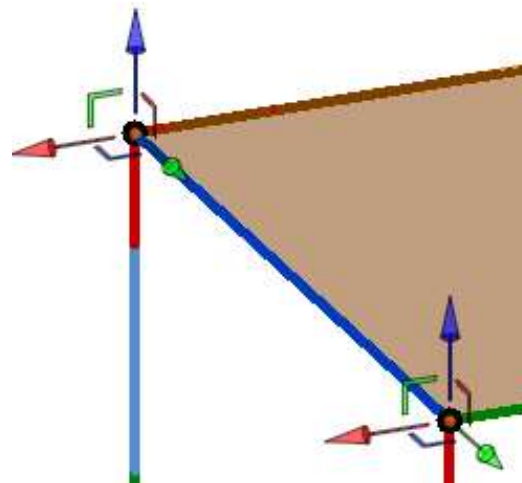
b) Representação analítica.

Figura 3.31- Modo de edição analítica.

Quando o elemento analítico linear é selecionado, são exibidos puxadores nas extremidades do elemento com seu sistema de coordenadas locais. É possível alternar entre o sistema de coordenadas global e local simplesmente pressionando a barra de espaço. A Figura 3.32 ilustra a mudança de coordenada dos puxadores.



a) Puxador com coordenada local.



b) Puxador com coordenada global.

Figura 3.32- Puxadores e mudança de coordenadas.

É possível selecionar o próprio nó analítico, resultando na exibição de um puxador para o nó. Mover o nó moverá as extremidades de todos os elementos que se unem ao nó, conforme ilustra a Figura 3.33.

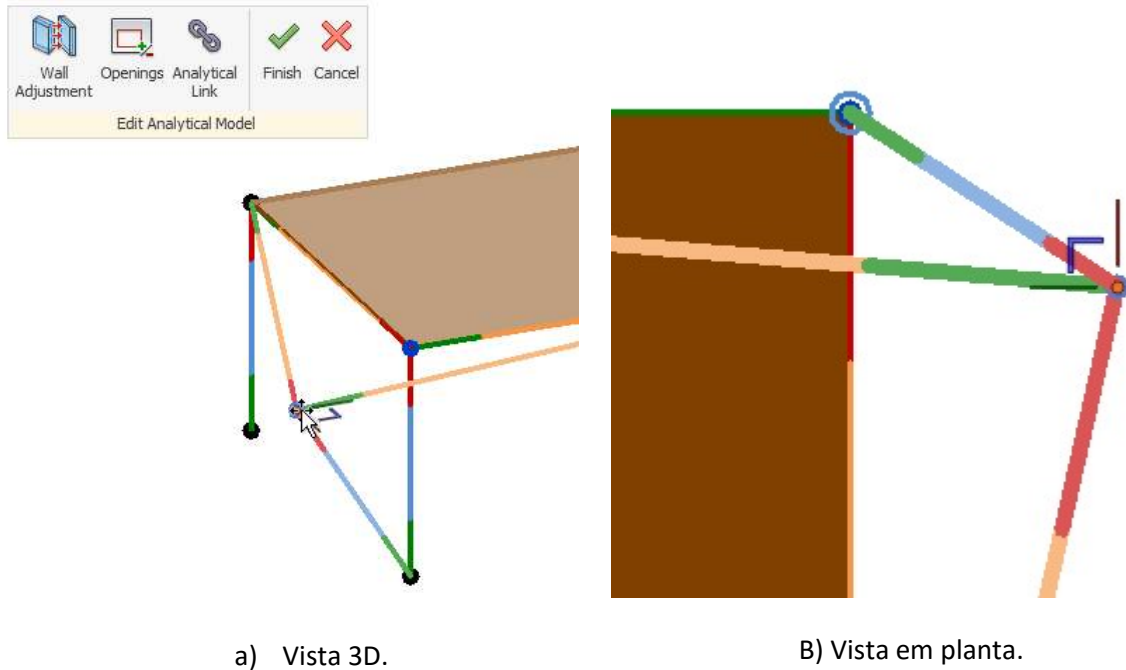


Figura 3.33- Manipulação de um nó analítico.

Para mover um elemento inteiro deve-se seleccionar primeiro o elemento e depois movimenta-lo a partir de seu puxador. A Figura 3.34 ilustra a manipulação de um pilar.

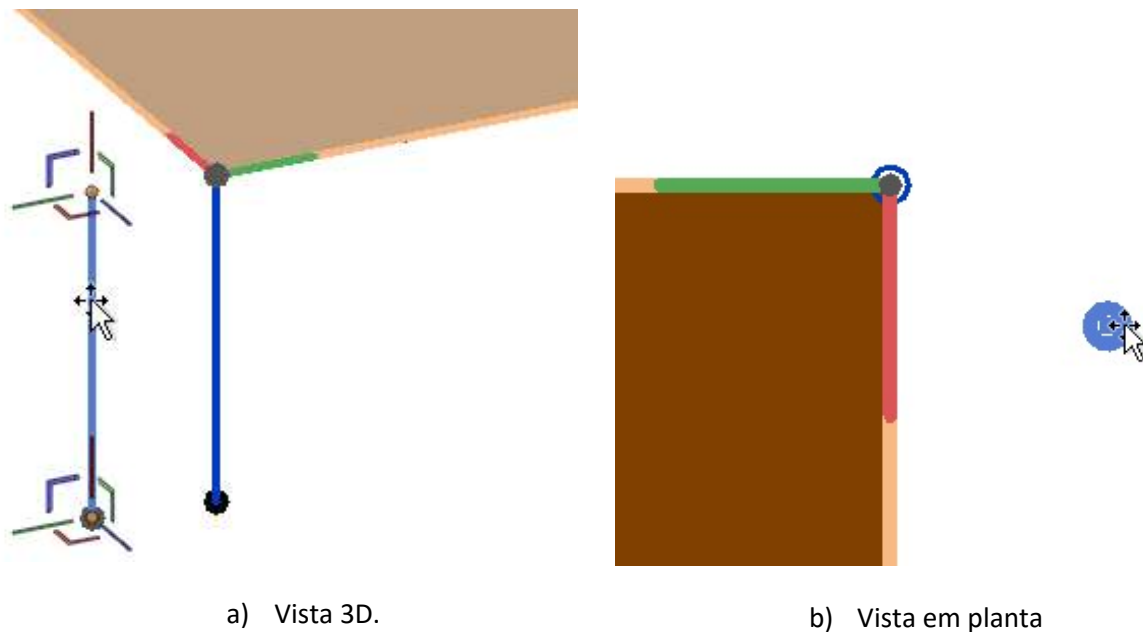


Figura 3.34- Manipulação de um elemento analítico.

As paredes analíticas possuem propriedades específicas de ajuste analítico. A ferramenta de ajuste analítico de parede permite a seleção de nós associados a outros elementos analíticos como a posição final do ajuste de parede. A Figura 3.35 ilustra o alinhamento de uma parede a partir das ferramentas de ajuste.

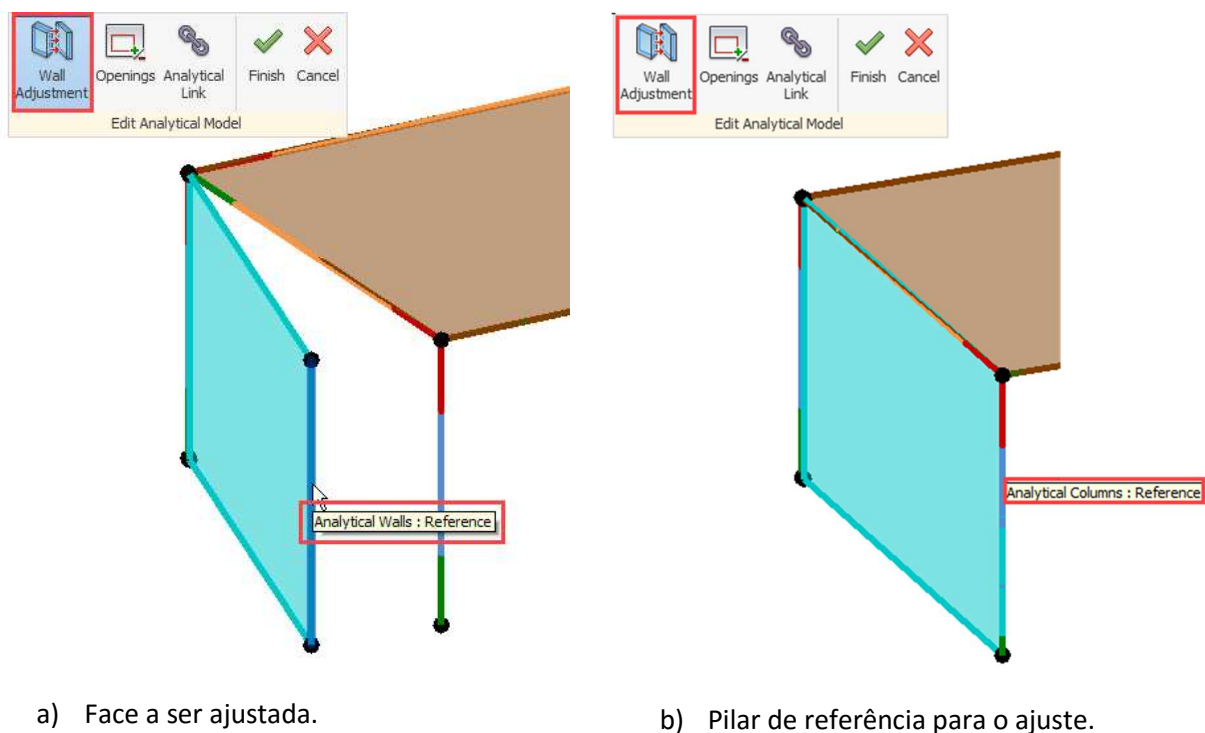


Figura 3.35- Ferramenta para ajuste analítico de paredes.

A presença de aberturas em um elemento analítico de superfície pode torná-lo excessivamente complicado para análise. Os engenheiros podem simplificar o modelo analítico especificando quais aberturas não devem ser incluídas no modelo. A ferramenta de ajuste permite gerenciar e identificar aberturas que serão ignoradas em pisos, lajes de fundação e paredes analíticas, conforme ilustrado na Figura 3.36.

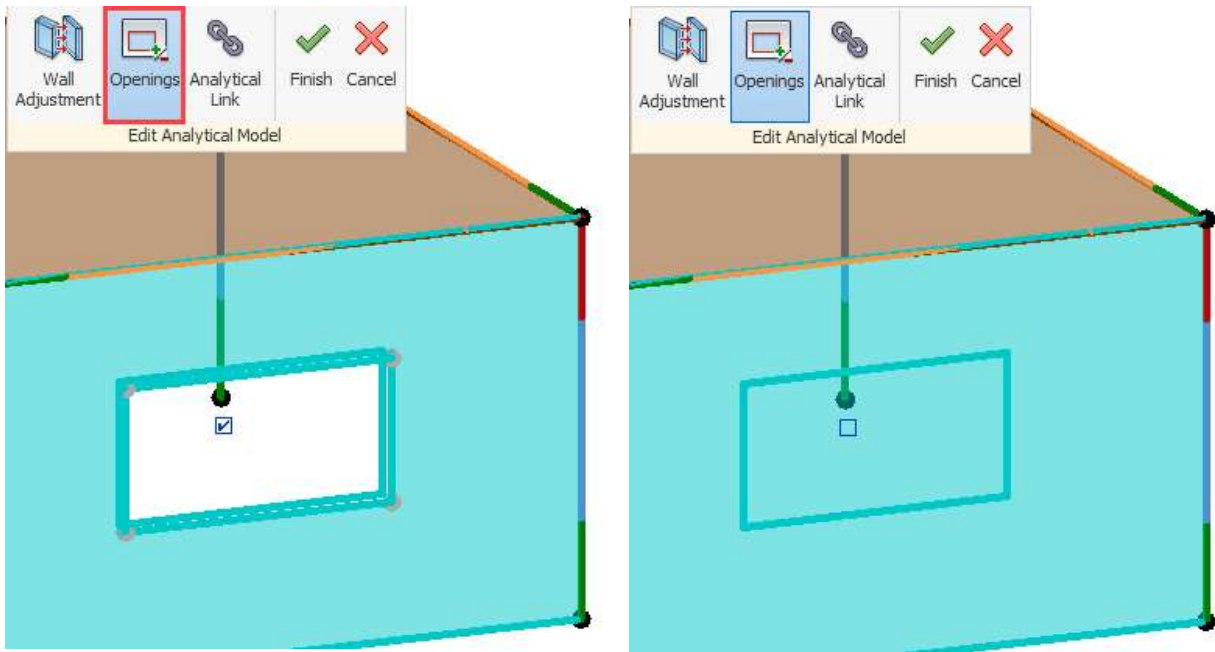


Figura 3.36- Ferramenta para ajuste de aberturas em superfícies analíticas.

Para ignorar a abertura durante a análise, basta desmarcar a caixa de seleção e a abertura será removida do modelo analítico, mas permanecerá no modelo físico, como o apresentado na Figura 3.37.

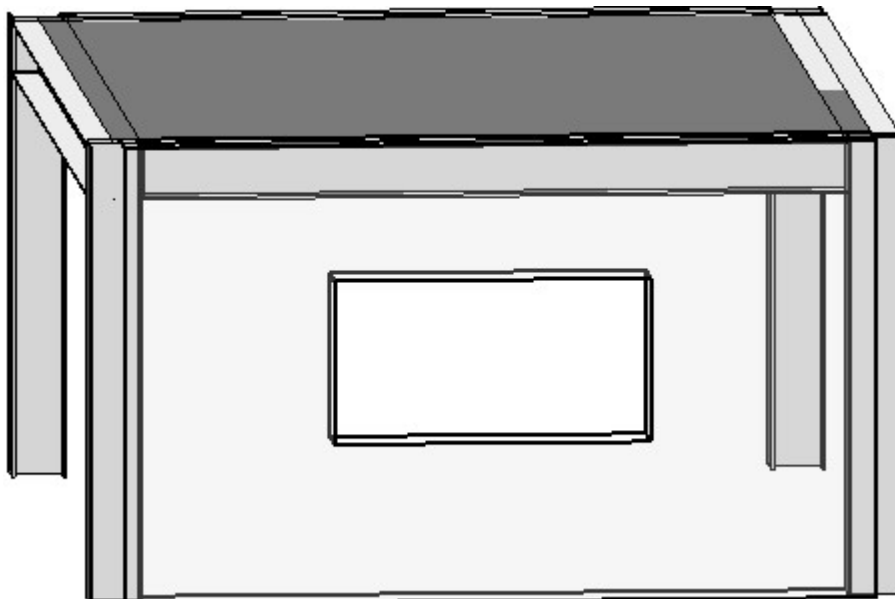


Figura 3.37- Modelo geométrico preservado.

#### 3.1.5.4 Verificação de suporte e consistência

A componente estrutural do *Revit* permite ao usuário verificar os suportes dos membros e executar verificações de consistência do modelo analítico, designadas de *Consistency Checks* e *Check Member Supports*, esta função fornece avisos sobre a estabilidade da estrutura. Isso dá aos engenheiros melhores ideias para seus projetos antes de enviá-los para uma análise completa.

Estas verificaciones são realizadas a partir do separador *Analyze*, ao seleccionar *Consistency* e *Supports*. A Figura 3.38 apresenta o separador com as opções.

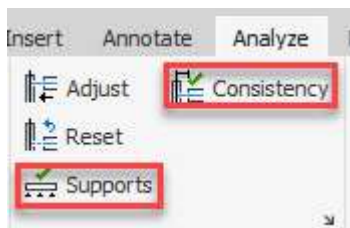


Figura 3.38- Ferramentas de análise analítica.

As verificações realizadas são baseadas nas configurações de verificação, conforme a caixa ilustrada na Figura 3.39.

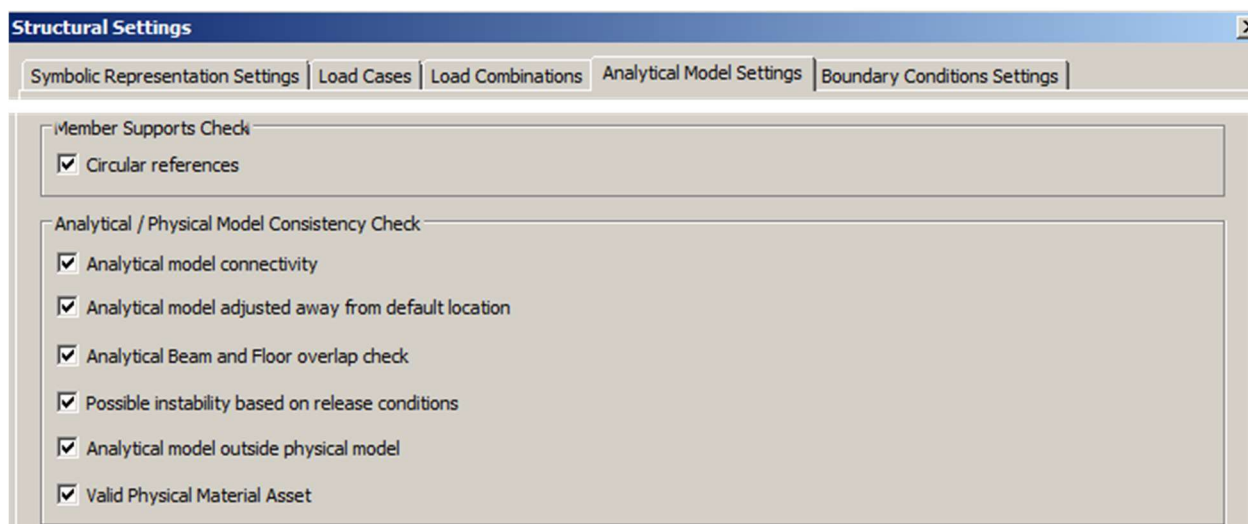


Figura 3.39- Configurações de verificação de suporte e consistência.

Durante uma verificação de suporte de membro, o *software* inspecionará cada elemento estrutural para ajudar a verificar se ele está corretamente suportado. Para cada elemento identificado como não suportado, o *software* gerará uma mensagem de aviso. Esta verificação de suporte a membros também ajudará a identificar condições circulares de suporte.

As condições e regras de modelação para um elemento ser identificado com suporte são:

- Uma coluna deve ter ao menos um suporte de ponto. Os suportes válidos incluem: outra coluna, fundações isoladas ou contínuas, vigas, paredes, pisos ou rampas.
- Uma parede deve ter ao menos dois suportes de ponto ou um suporte de linha. Os suportes válidos incluem: colunas, fundações contínuas ou isoladas, vigas, pisos ou rampas.

- A viga deve ter ao menos dois suportes de ponto ou um suporte de ponto localizado em uma extremidade que deve ter sua condição de liberação definida como fixa ou uma superfície de suporte. Os suportes válidos incluem: colunas, fundações contínuas ou isoladas, vigas ou paredes.
- Um piso deve ter um dos seguintes suportes: ao menos três suportes de ponto, um suporte de linha e um suporte de ponto não localizados na linha, dois suportes de linha que não sejam colineares ou um suporte de superfície. Os suportes válidos incluem: colunas, fundações contínuas ou isoladas, vigas ou paredes.

As verificações de consistência do modelo analítico/físico inspecionam a relação entre a localização física de um elemento e sua linha analítica.

Essa verificação de consistência é particularmente importante para elementos que substituíram projeções horizontais ou verticais. Durante o processo de alinhamento e ajuste, um elemento pode ser movido ou ajustado de forma significativa.

Uma verificação de consistência do modelo analítico/físico pode inspecionar:

- Se os elementos do modelo físico estão conectados, mas no modelo analítico não.
- Se o modelo analítico está ajustado para fora da localização padrão. Um modelo analítico tem uma localização padrão com base no elemento físico. Isso verifica se o modelo analítico do elemento é ajustado para fora dele.
- Se há sobreposição entre viga analítica e piso. Se os modelos físicos de uma viga e laje se sobrepõem, esta verifica se seus modelos analíticos também se sobrepõem.
- A possível instabilidade com base nas condições de liberação verifica se as condições de liberação de 2 elementos analíticos conectados estão corretas.
- Se modelo analítico está fora do modelo físico.
- Se os recursos de material físico verificam e se a propriedade do recurso de material físico está atribuída para elementos analíticos. Esta propriedade se refere ao material do elemento físico.

### **3.1.6 Boas práticas de modelação**

As regras de modelação apresentadas nesta secção são baseadas no trabalho de pesquisa e investigação do autor para ir de encontro às necessidades e requisitos de documentação e trocas de informação em um projeto de estruturas. A experiência prática em um gabinete ofereceu as informações que são necessárias e como são os processos no âmbito dos projetos de estruturas, levando em consideração a modelação geométrica para documentação 2D e 3D, colaboração com outras especialidades e concepção de um modelo analítico consistente apto para análise e dimensionamento estrutural.

### 3.1.6.1 Origem do projeto

Existem 3 pontos de origem diferentes em um projeto do Revit: o *Project Base Point*, o *Survey Base Point* e uma origem interna do *software* a qual não é acessível.

O *Survey Base Point* representa um ponto conhecido no mundo físico, como um levantamento topográfico, por exemplo. O *Survey Base Point* é utilizado para orientar corretamente a geometria da construção em outro sistema de coordenadas e colaboração sendo um ponto comum a todas especialidades.

O *Project Base Point* define a origem do sistema de coordenadas do projeto. Ele também pode ser utilizado para posicionar a construção no terreno e para localizar os elementos de desenho de um edifício durante a construção. No fluxo de informação com o *Robot* é a origem mais importante, pois é a partir deste ponto que o modelo é exportado e atualizado.

### 3.1.6.2 Opções de visualização

Os modelos geométrico e analítico, apesar de correlacionados, possuem diferentes usos e representações diferentes, desta forma recomenda-se editar as opções para controle da sua visualização, em separado ou em conjunto, conforme a necessidade do usuário. A Figura 3.40 ilustra o menu com as opções de visualização.

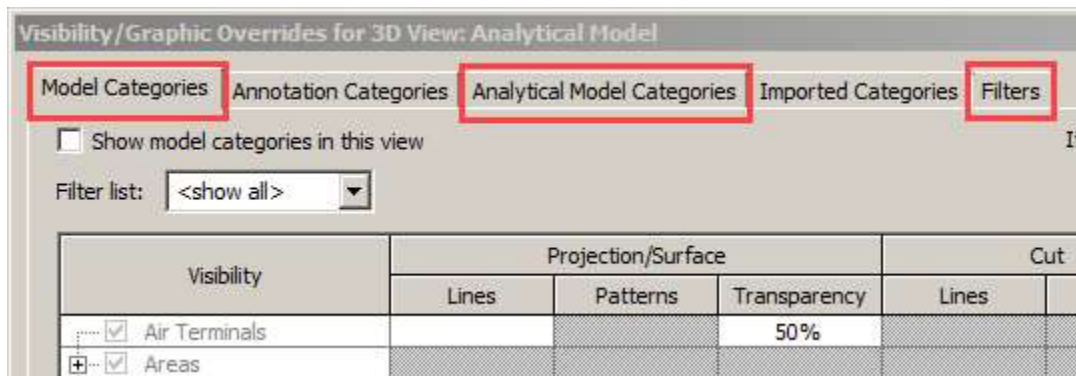


Figura 3.40- Opções de ajustes gráficos.

A capacidade de criar filtros com base em parâmetros de *status* de conexão, permite maior controle sobre o modelo analítico. Desta forma essa definição auxilia diferenciar no modelo nós analíticos desconectados exibidos em uma cor diferente dos nós conectados. A Figura 3.41 ilustra o modelo analítico com o filtro aplicado, os nós verdes representam os elementos conectados e os vermelhos os desconectados.

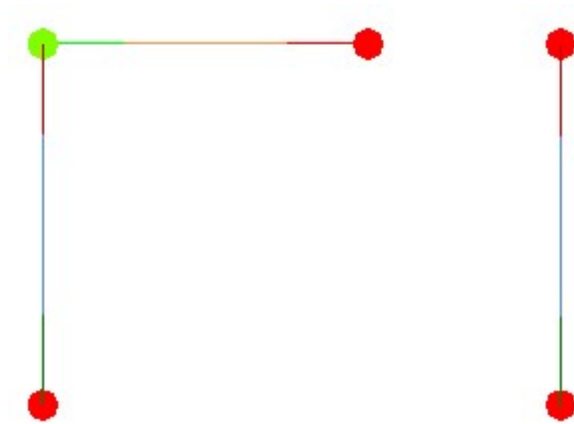


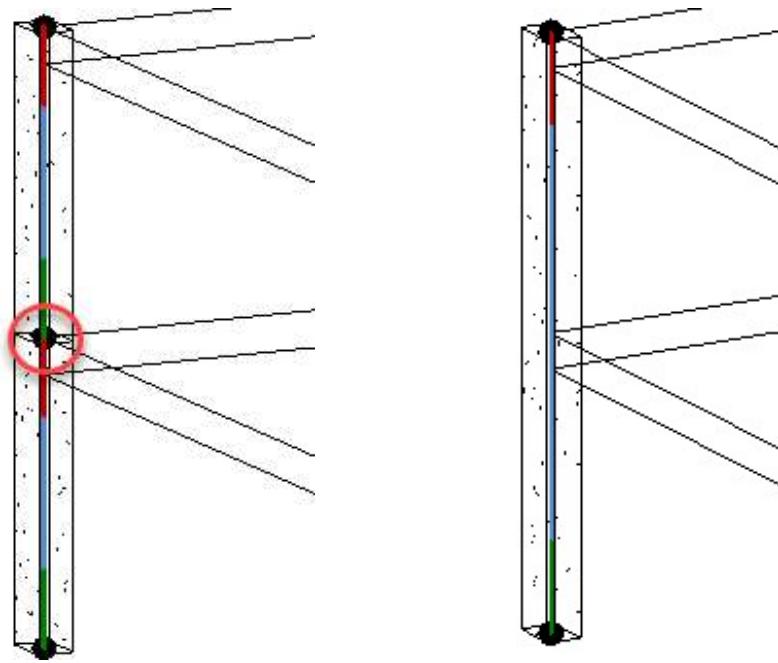
Figura 3.41- Conexão de nós identificada por filtro.

### 3.1.6.3 Inserção de elementos estruturais

Como os elementos estruturais estão automaticamente associados a elementos analíticos, é recomendado que o processo de modelação geométrica seja feito a pensar também no modelo analítico e no modelo numérico a ser usado para a análise e cálculo.

#### 3.1.6.3.1 Inserção de colunas

É indicado que os pilares sejam modelados por cada nível, de modo a satisfazer o critério de índice de esbeltez e comprimento de encurvadura no modelo computacional. Essa recomendação também é importante, pois quando o objeto é modelado de forma contínua no *Revit*, da fundação a cobertura, e discretizado no *Robot* em troços menores, para análise, são criados elementos novos e perdem correspondência em interações posteriores com a coluna modelada no *Revit*. A Figura 3.42 ilustra recomendação apresentada acima.

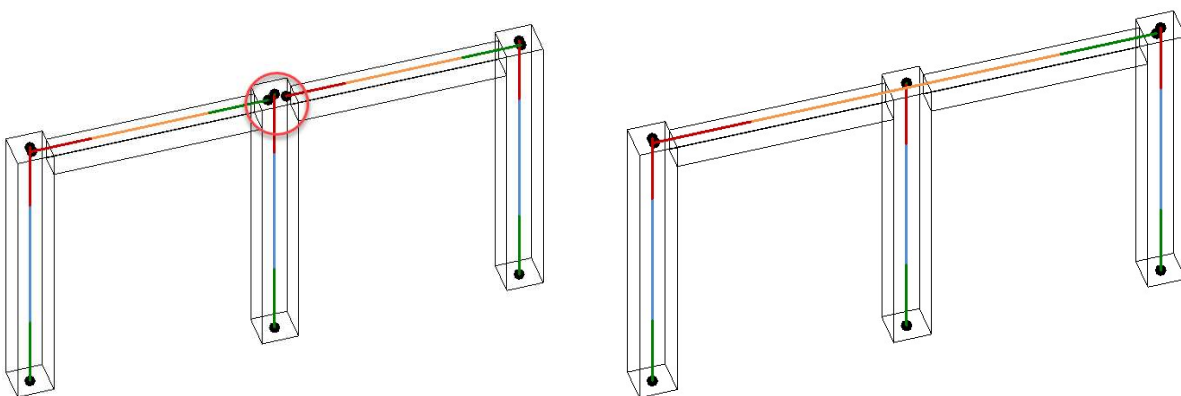


a) Pilar modelado nível a nível      b) Pilar modelado de forma continua

Figura 3.42- Modelação de pilares.

### 3.1.6.3.2 Inserção de vigas

O critério de modelação das vigas é muito semelhante à modelação dos pilares. As vigas devem ser modeladas vão a vão, de forma a satisfazer o critério de comprimento de encurvadura dos elementos finitos. Além disto, caso o elemento seja repartido no *Robot*, o mesmo conflito causado quando as colunas são partidas acontece. A Figura 3.43 ilustra a forma como é realizada a modelação deste tipo de elementos.



a) Viga modelada vão a vão.      b) Viga modelada de forma continua.

Figura 3.43- Modelação de vigas.

### 3.1.6.3.3 Inserção de lajes

É recomendado que as diversas lajes de um mesmo pavimento, mesmo que sejam de tipos iguais, sejam modeladas separadamente, de maneira que cada uma seja um objeto diferente dentro do modelo. Essa regra tem ligação com a discretização executada pela exportação do modelo para o programa de cálculo.

A ferramenta de modelação de lajes do *Revit* permite que sejam modelados diversos contornos, ainda que desligados entre si, desta forma um elemento único é gerado. No entanto, na exportação para o *Robot* para cada contorno do elemento único é criada uma laje diferente e desta forma os elementos perdem conexão de id. A Figura 3.44 ilustra como sugere-se que seja realizada a modelação das lajes.

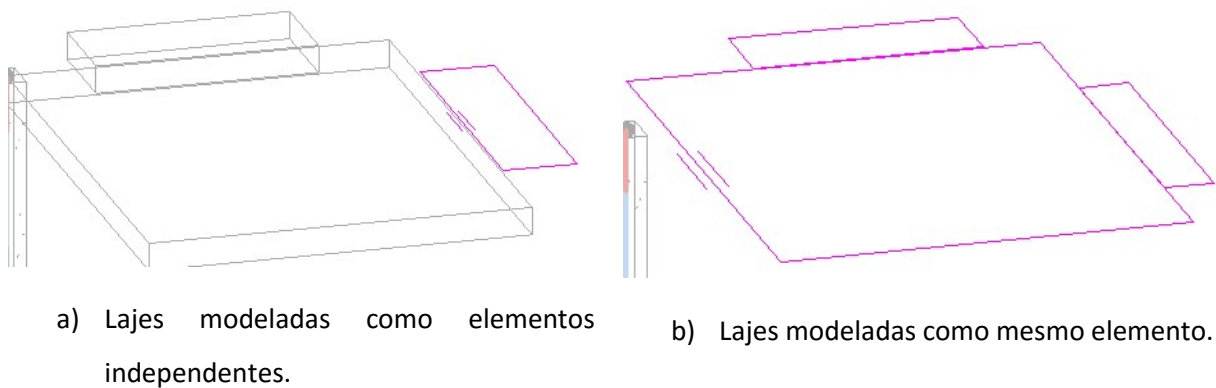


Figura 3.44- Modelação de lajes.

### 3.1.6.3.4 Inserção de elementos de fundação

Os elementos analíticos associados aos elementos de fundação, como mencionado anteriormente, não podem ajustados. Desta forma, é possível que estes gerem nós desconectados após ao ajuste de outros elementos do modelo.

Portanto, recomenda-se que os elementos de fundação tenham sua associação analítica desligada, conforme a Figura 3.45, e que as condições de suporte sejam inseridas diretamente no *Robot*.

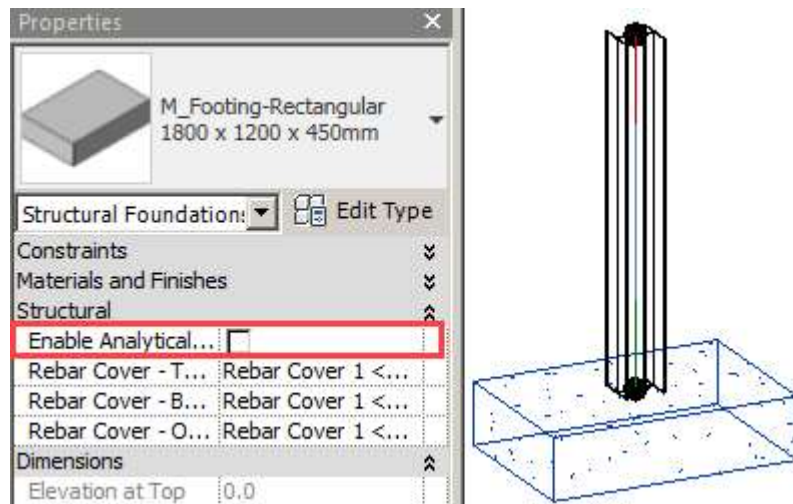


Figura 3.45- Modelação de fundações.

### 3.1.6.4 Ajuste do modelo analítico

O projetista, logo após a inserção dos elementos geométricos na estrutura deverá analisar o modelo analítico associado, examinando as correções e simplificações a serem adotadas no *Revit*. O ajuste analítico é essencial para a concepção de um modelo consistente a ser usado para cálculo.

O modelo analítico do *Revit* deve ser tratado quanto ao posicionamento e geometria dos seus elementos planares e de barras como se tratando do modelo de elementos finitos do *Robot*, nomeadamente no que diz respeito à ligação entre elementos e seu posicionamento. Desta maneira, o ajuste analítico pode ser dividido em duas fases, a primeira mais genérica utilizando as propriedades de alinhamento feito por projeção e uma segunda fase de ajustes mais precisos e detalhados onde os elementos são posicionados pelo usuário sob o auxílio da ferramenta de ajuste manual.

#### 3.1.6.4.1 Alinhamento analítico

O método de alinhamento por autodetecção, não gera, na maior parte das vezes, modelos consistentes quando o objetivo é a exportação para um *software* de cálculo, por esse motivo recomenda-se que este não seja usado. A Figura 3.46 ilustra um caso onde o alinhamento automático não é a melhor representação analítica do modelo geométrico associado.

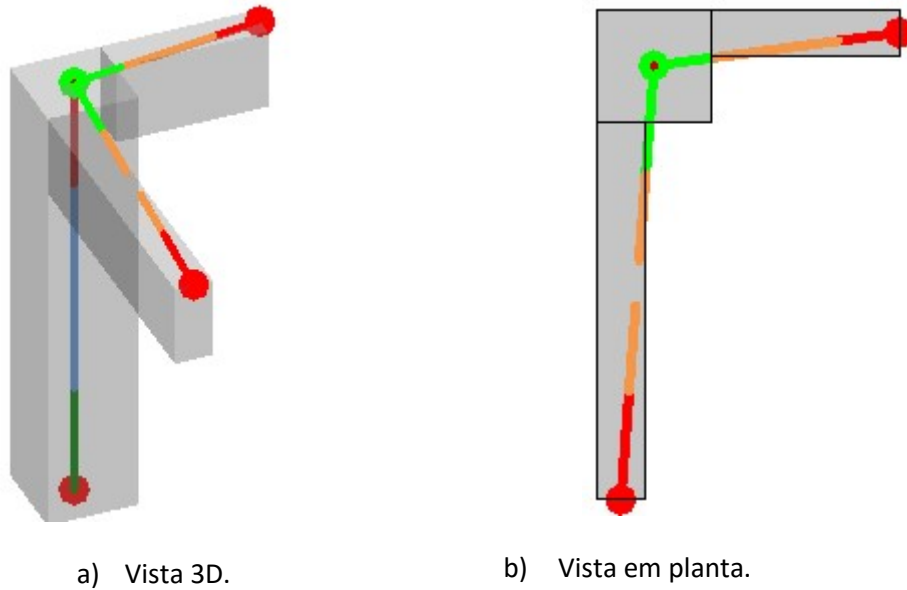
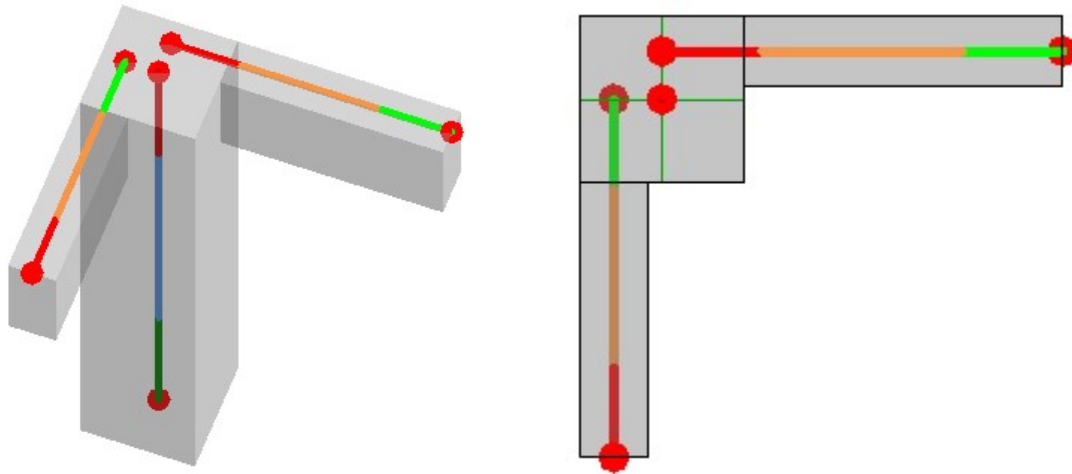


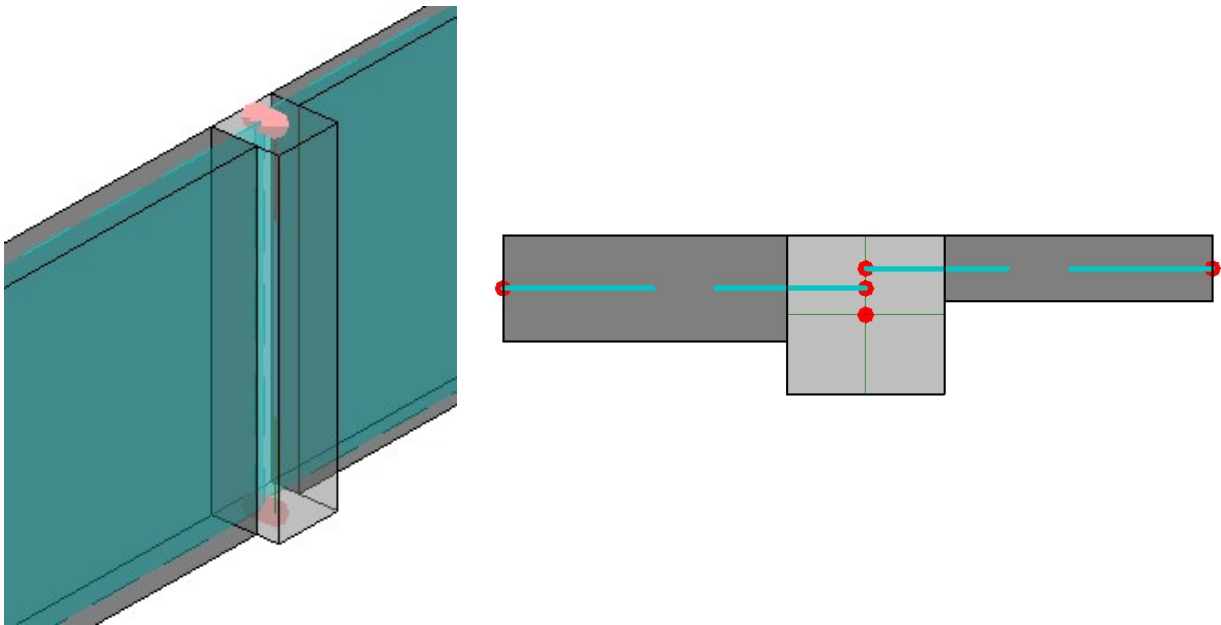
Figura 3.46- Vigas e pilares alinhados por autodetecção.

No âmbito de estruturas existem uma grande variedade de soluções estruturais, as quais cada uma tem uma lógica diferente. Diante desta abordagem, nesta dissertação, será apresentada as definições relativas aos casos e soluções mais comuns.

É indicado, portanto, que seja definido o ajuste por projeção aos elementos analíticos, este método de alinhamento garante mais consistência ao modelo analítico, que deve se aproximar do modelo numérico a ser utilizado para o cálculo. Em regra, recomenda-se que quaisquer elementos horizontais conectados a um elemento vertical estejam conectados ou alinhados ao eixo da linha central do perfil do elemento vertical, como ilustrado na Figura 3.47.



a) Alinhamento entre vigas e pilar.



b) Alinhamento entre paredes e pilar.

Figura 3.47- Elementos alinhados pelo método por projeção.

Colunas analíticas devem ser posicionadas no centro do elemento geométrico nas direções Y e Z, e estender-se, na direção X, em relação ao nível de referência da base e do topo. A Figura 3.48 ilustra o posicionamento analítico do pilar e a definição das propriedades de alinhamento como citado acima.

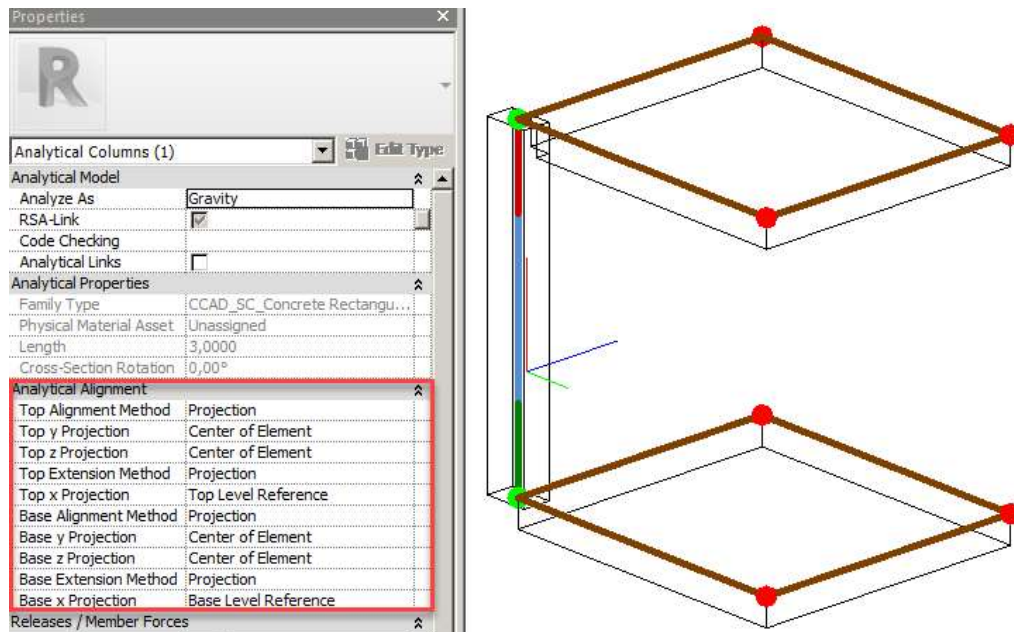


Figura 3.48- Posicionamento analítico de um pilar.

Existem casos em que pilares estendem-se para além dos níveis de referência aos quais estão relacionados, como é no caso das fundações, por exemplo. Para esses casos particulares deve-se analisar como definições recomendadas afetarão o modelo numérico de cálculo e adaptá-las se necessário.

As barras que representam as vigas são posicionadas no centro do elemento na direção Y, e no topo do elemento na direção Z, como ilustrado. Dessa forma, garante-se que os elementos analíticos das vigas ficarão no mesmo plano dos elementos analíticos dos pilares e da laje. A Figura 3.49 ilustra o posicionamento analítico da viga e a definição das propriedades de alinhamento como citado acima.

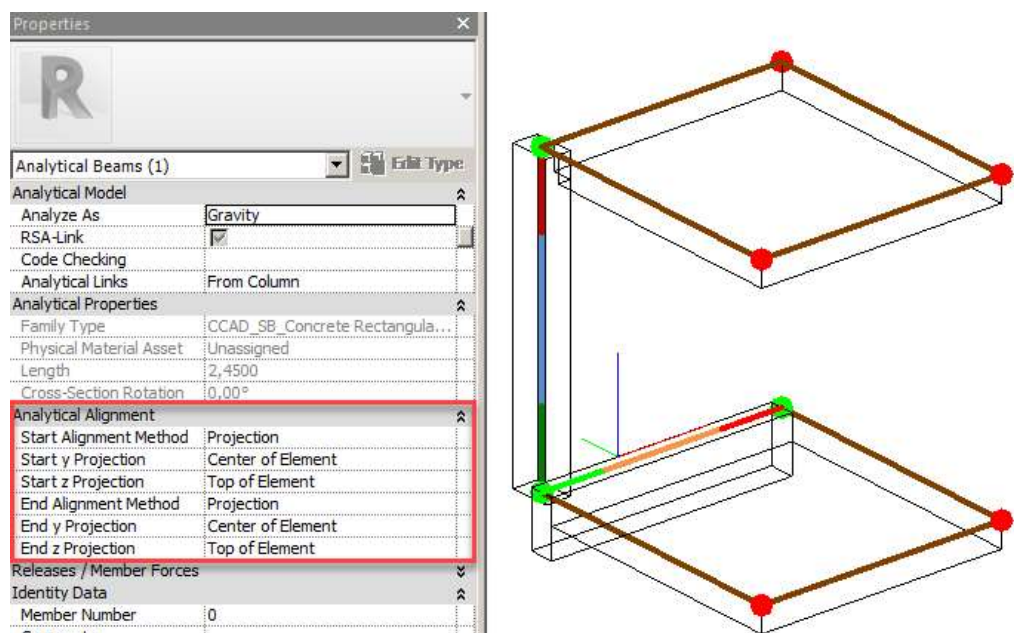


Figura 3.49- Posicionamento analítico de uma viga.

É preciso ter em atenção que esta será a situação mais comum, no entanto há casos em que as definições não devem ser feitas desta forma, como em vigas invertidas, por exemplo, as quais a face coincidente com os elementos do nível de referência, que se quer obter alinhamento, é a inferior.

As definições de alinhamento para as paredes analíticas devem garantir que o elemento se posicione no centro do elemento geométrico na direção Z e na direção Y. Como as paredes nem sempre acompanham os níveis da base até o topo, recomenda-se que o alinhamento seja justificado, na direção X, base ao topo do elemento geométrico. A Figura 3.50 ilustra o posicionamento analítico das paredes e a definição das propriedades de alinhamento como citado acima.

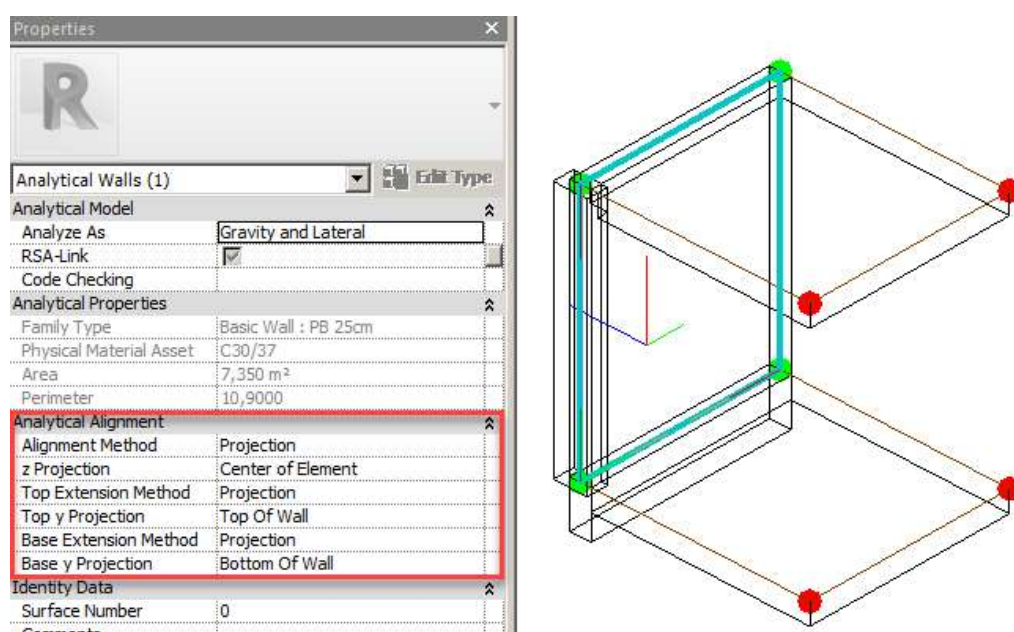
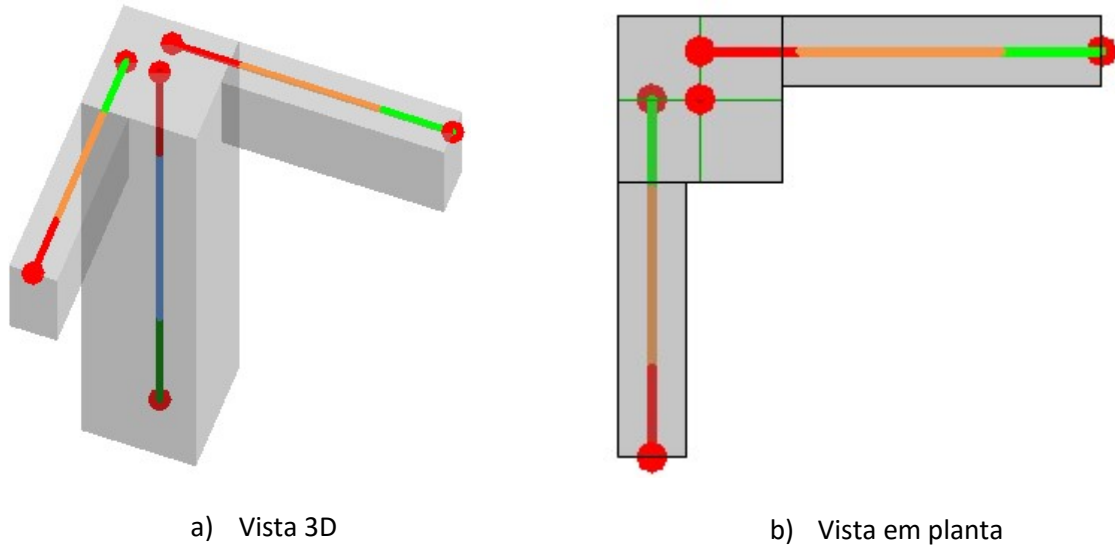


Figura 3.50- Posicionamento analítico de uma parede.

#### 3.1.6.4.2 Ferramenta de ajuste manual

Após os elementos serem alinhados, a partir das definições apresentadas na secção anterior, é possível que existam casos em que os elementos estarão alinhados ao próprio eixo, mas desconectados de outros elementos. Como ilustra o caso da Figura 3.51.

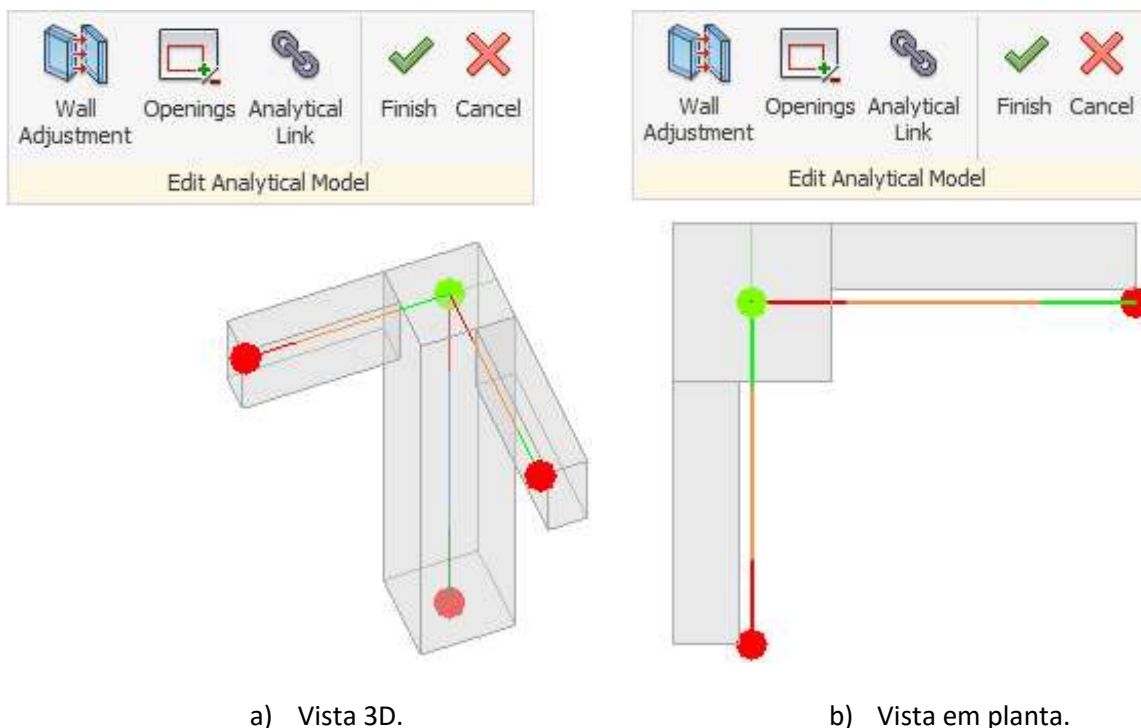


a) Vista 3D

b) Vista em planta

Figura 3.51 – Elementos analíticos desconectados

Desta maneira é preciso executar ajustes mais detalhados, realizados a partir da ferramenta de ajuste manual. A manipulação dos elementos analíticos utilizando essa ferramenta é imprescindível, pois ela garante que o reposicionamento não interfira no modelo geométrico. A Figura 3.52 ilustra o caso representado acima ajustado de forma manual pelo usuário.



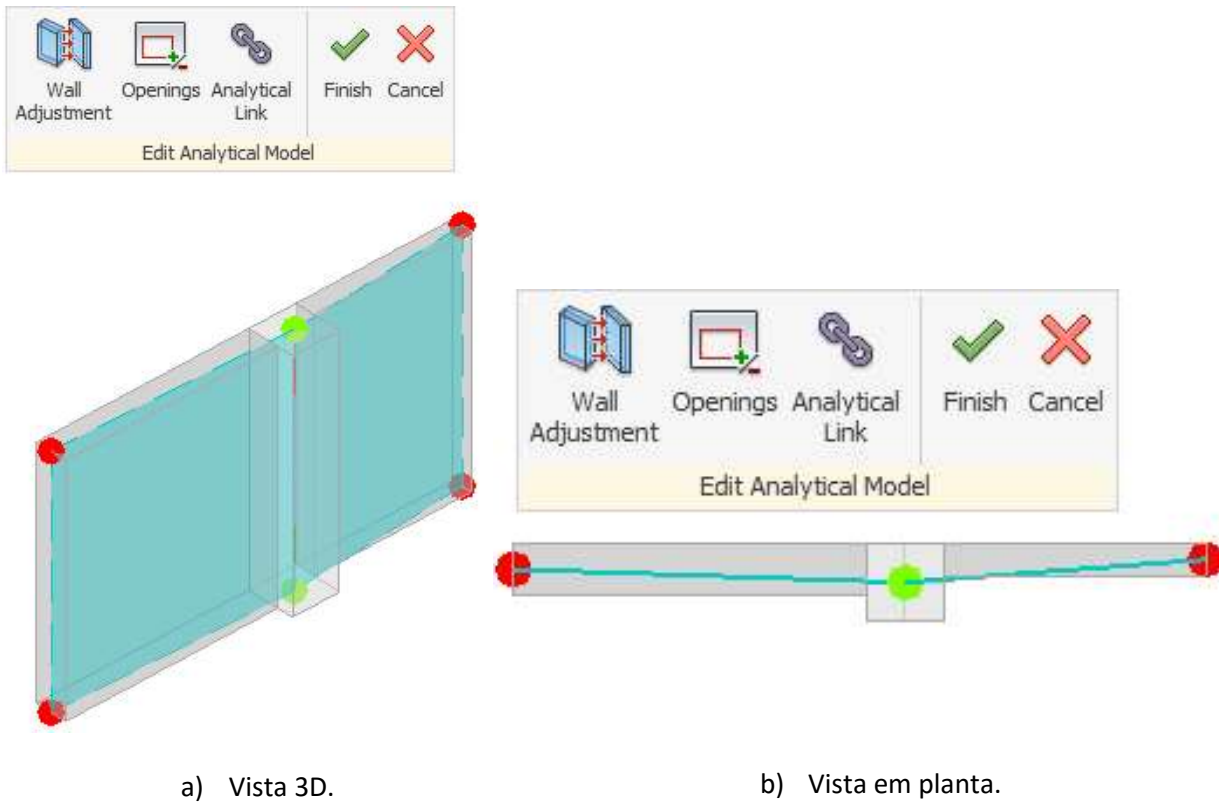
a) Vista 3D.

b) Vista em planta.

Figura 3.52- Vigas e pilar ajustados a partir da ferramenta de ajuste manual.

No caso das paredes, devido a particularidade desses elementos, o ajuste analítico é um pouco mais complexo. As paredes precisam de elementos analíticos de referência que às hospedem. Essa

propriedade, em alguns casos, interfere na linearidade do elemento como é o pretendido em um modelo analítico estrutural. A Figura 3.53 ilustra o caso da Figura 3.47 acima, ajustado a partir da ferramenta de ajuste manual específico para paredes.

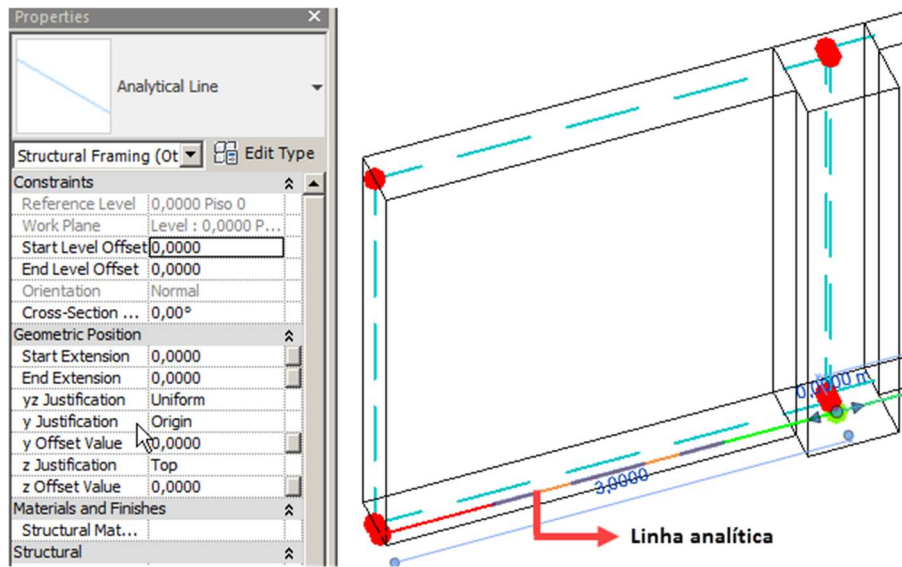


a) Vista 3D.

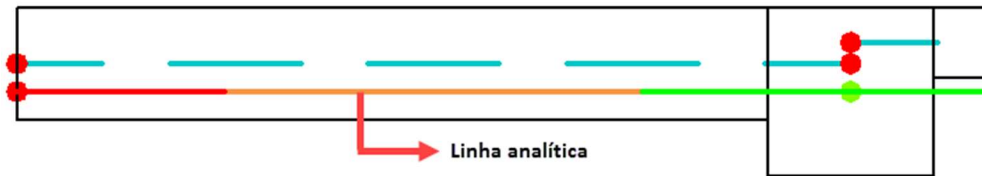
b) Vista em planta.

Figura 3.53- Paredes e pilar alinhados por projeção.

Para contornar essa situação recomenda-se criar uma família de vigas estruturais com dimensões geométricas iguais de uma linha. Como um elemento estrutural qualquer esta viga possui um elemento analítico associado, que pode ser utilizado como um eixo de referência para o ajuste de paredes analíticas. No entanto, deve-se destacar que esses elementos não fazem parte do modelo a ser exportado para análise e cálculo, portanto, devem ser escondidos na vista usada para integração com o *Robot*. A Figura 3.54 ilustra a inserção da linha analítica.



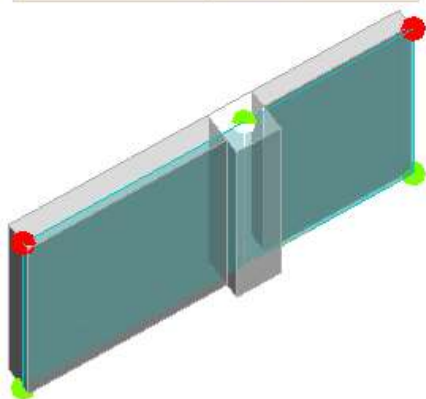
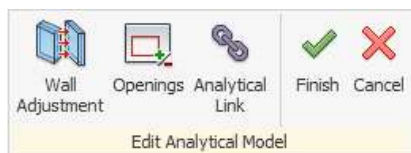
a) Vista 3D.



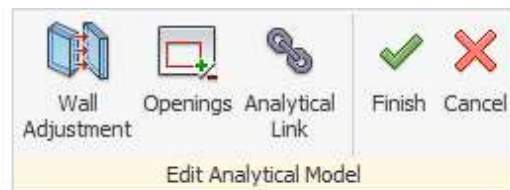
b) Vista em planta.

Figura 3.54- Linha analítica.

O ajuste realizado utilizando a linha analítica inserida é representado na Figura 3.55.



a) Vista 3D.



b) Vista em planta.

Figura 3.55- Parede alinhada utilizando a linha analítica como referencia.

Além de garantir o alinhamento e a conectividade do modelo analítico ao ajustar os elementos deve-se tratar a posição dos nós como em um *software* elementos finitos, os quais são posicionados por coordenadas. Desta maneira sugere-se criar propriedades de instância nos nós analíticos, que representem a posição X,Y e Z do nó em relação ao *Project Base Point*, como ilustrado na Figura 3.56.

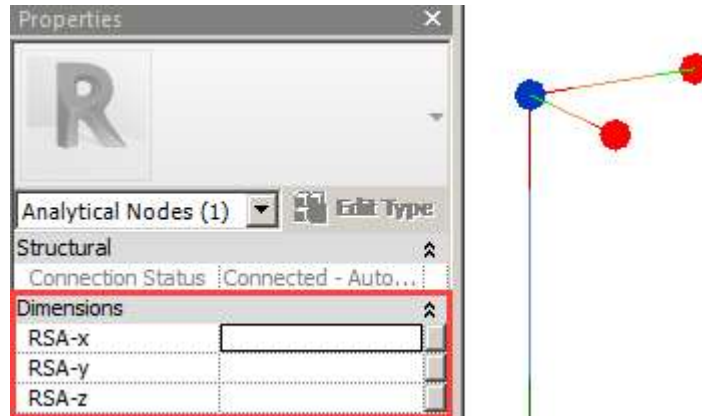


Figura 3.56 - Propriedades de coordenadas.

A identificação e o preenchimento dessas propriedades podem demandar muito tempo ao usuário, portanto é indicado automatizar o processo através do *Dynamo*. O *Dynamo* é uma ferramenta de programação presente no *Revit*, que usa uma estrutura chamada de “programação visual”. Com a programação visual, é possível desenvolver aplicações de uma forma intuitiva, mesmo sem possuir conhecimento em linguagens de programação. Com isso, o *Dynamo* pode ser utilizado em diversas aplicações, sejam em interações com o modelo do *Revit*, para criação de modelos a partir de regras complexas e de dados externos ou para automatização de tarefas repetitivas, como no caso deste estudo. A Figura 3.57 ilustra a interface de programação do *Dynamo*.

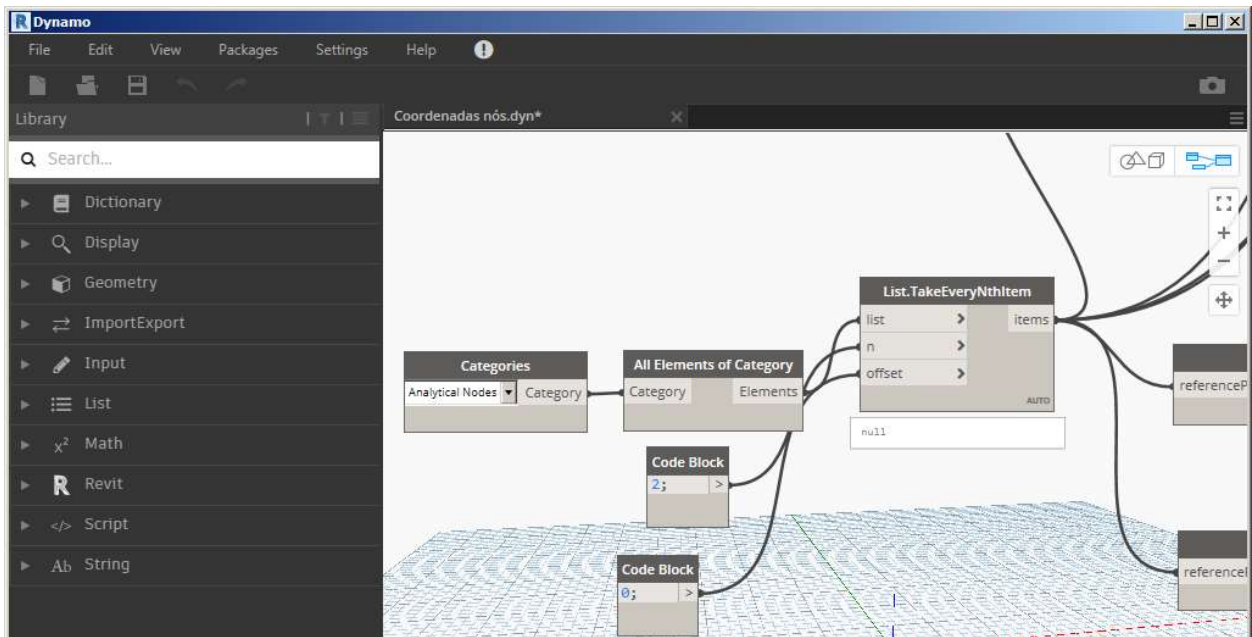
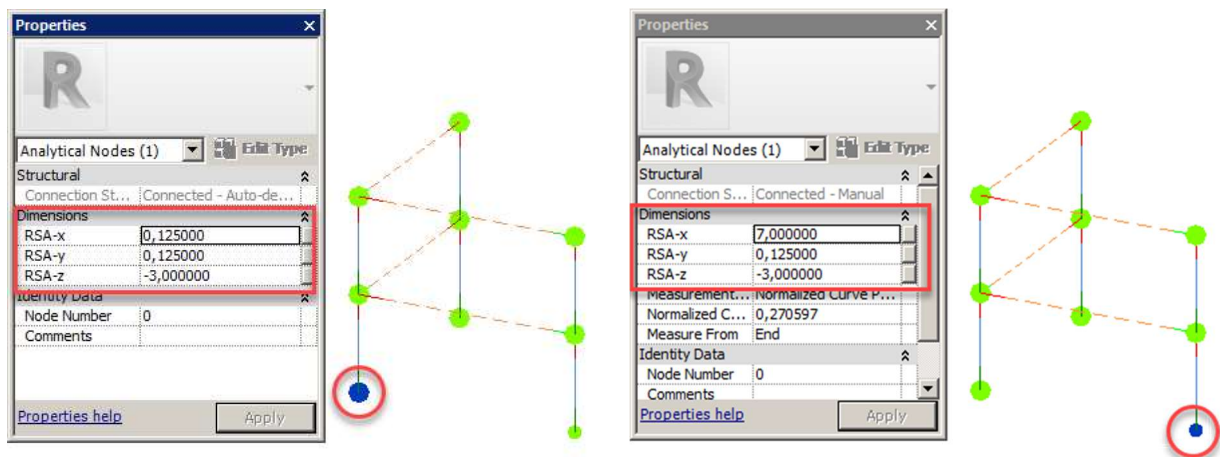


Figura 3.57- Interface do *Dynamo*.

As propriedades que informam as coordenadas dos nós analíticos permitem o posicionamento e alinhamento dos elementos com mais precisão. Desta maneira é possível obter-se um modelo analítico consistente para exportação e análise. A Figura 3.58 ilustra o alinhamento de nós sob orientação das propriedades de coordenadas.



a) Posição nó 1

b) Posição nó 2

Figura 3.58- Uso das propriedades de coordenadas para alinhamento de nós.

### 3.2 MAPEAMENTO DE SECÇÕES *REVIT-ROBOT*

A validade do uso BIM desses programas na concepção de um projeto estrutural depende da consistência das informações inseridas em um programa e identificada de maneira correta pelo outro. Portanto, além do comportamento dos elementos já apresentados é imprescindível a correta associação da secção de

elementos modelados no *Revit* com os elementos usados para cálculo pelo *Robot*. Por todas as óbvias implicações que a geometria tem no cálculo estrutural e na representação da solução do projeto.

### 3.2.1 Mapeamento *Revit*→*Robot*

O mapeamento de secções é um dos principais fatores a ter em conta na comunicação entre as plataformas e um dos menos documentados e de maior complexidade de interpretação. Por esse motivo foi estudada a lógica e o procedimento o qual o *Robot* realiza para mapear a identificar secções modeladas no *Revit*.

Verificou-se nesse estudo que o reconhecimento de secções, no fluxo de trabalho do *Revit* para o *Robot*, é feito através de um cruzamento de informações entre o *Type Name* do elemento no *Revit* e as bases de dados existentes no *Robot*. O processo de associação entre os *softwares* é realizado conforme o fluxograma da Figura 3.59.

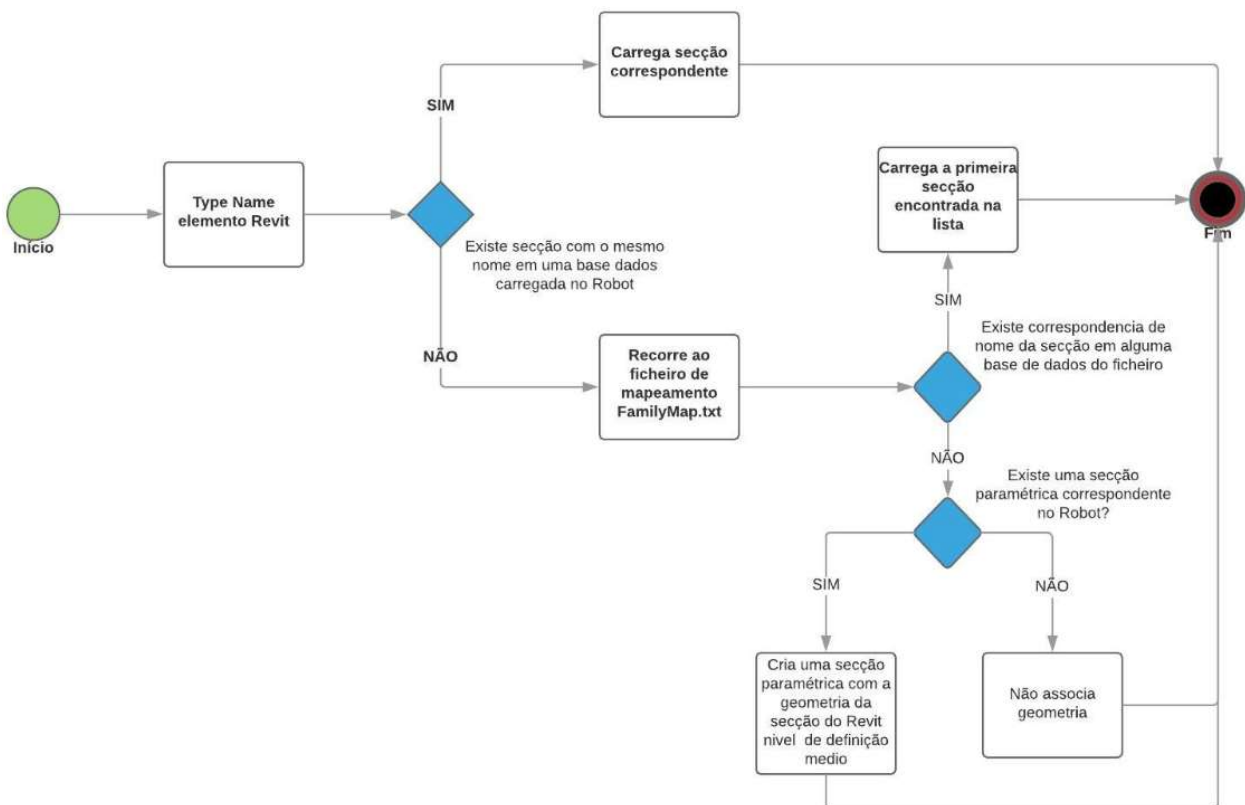


Figura 3.59 - Fluxograma de mapeamento de secção *Revit*-*Robot*.

Como exemplo da relevância da compreensão de como se processa esta identificação entre plataformas, apresenta-se nas secções a seguir situações que poderão ilustrar um caso corrente.

### 3.2.1.1 Mapeamento com secção de uma base de dados carregada

Para que ocorra a correspondência da secção do elemento modelado no *Revit* com uma secção de uma base de dados carregada no *Robot*, o *Type Name* do elemento no *Revit* e o nome da secção devem ser exatamente iguais, respeitando inclusive os espaços.

As bases de dados carregadas no *Robot* nesse estudo eram as europeias, como ilustrado na Figura 3.60.

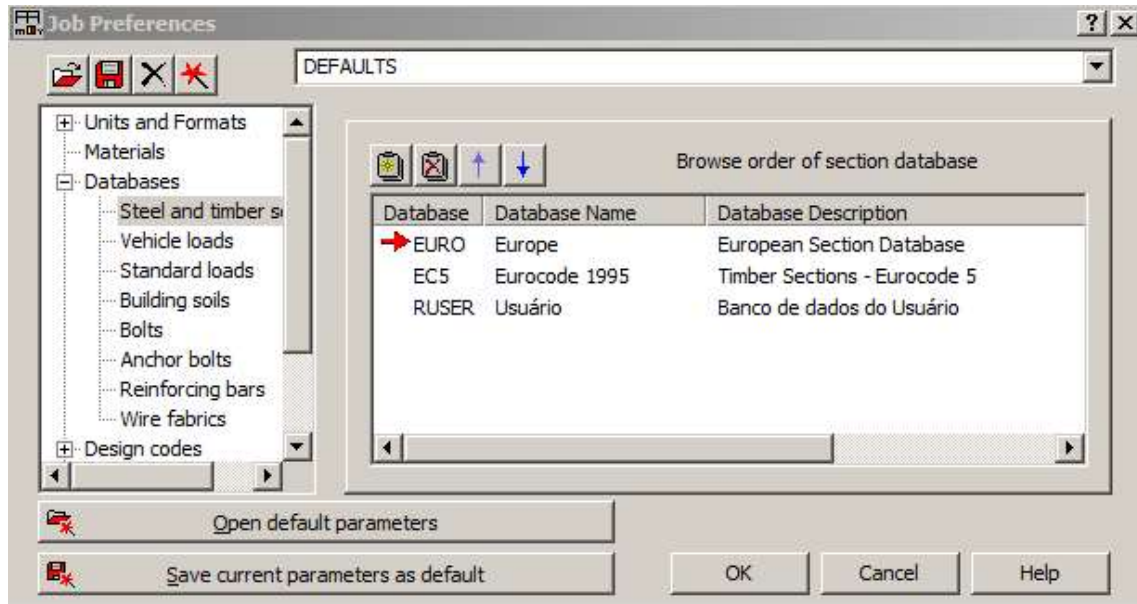


Figura 3.60- Bases de dados carregadas no *Robot*.

Foi observado o comportamento de um perfil metálico comercialmente conhecido como IPE 100 modelado no *Revit* e nomeado IPE100, conforme ilustrado na Figura 3.61.

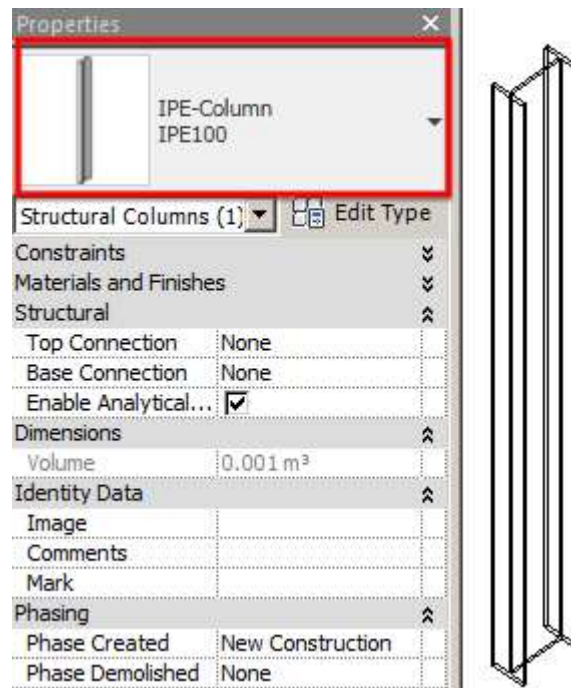


Figura 3.61 – Perfil IPE100 modelado no Revit.

Esse elemento ao ser exportado para o Robot foi mapeado através de seu nome e associado ao perfil IPE100 existente no catálogo europeu, como ilustrado na Figura 3.62.

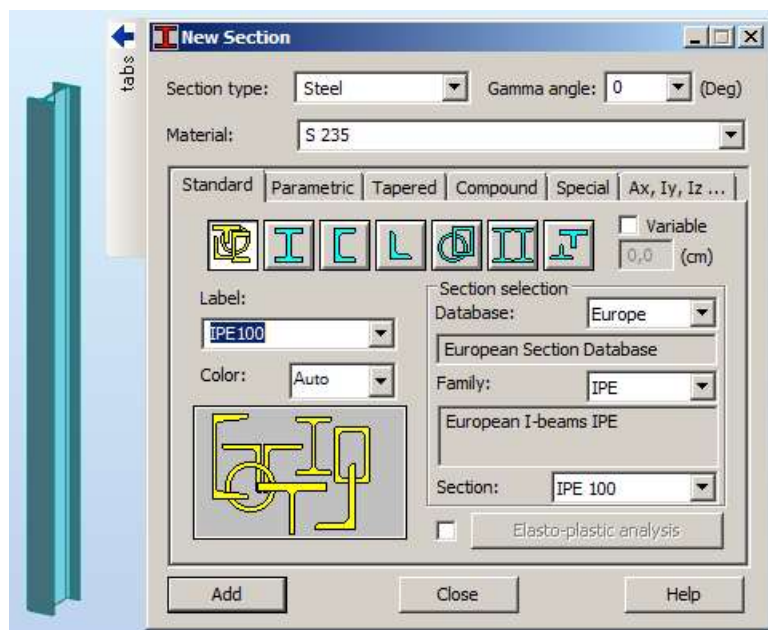


Figura 3.62- Perfil IPE100 mapeado no Robot.

### 3.2.1.2 Mapeamento através do ficheiro FamilyMap

O ficheiro *FamilyMap.xml*, que se encontra na pasta *Autodesk Share*, serve de apoio ao mapeamento de secções quando não há associação entre *Type Name* do perfil modelado no Revit e uma base de dados

carregada no *Robot*. O ficheiro associa o *Type Name* do elemento ao nome das secções existentes nas diversas bases de dado do programa. Desta forma, quando existe correspondência, a base de dados é carregada e a secção associada.

Para compreender o mapeamento através do ficheiro foram carregadas as mesmas bases de dados europeias e modelado o perfil comercialmente conhecido como HEA 300 e nomeado no *Revit* de HEA300, conforme ilustra a Figura 3.63.

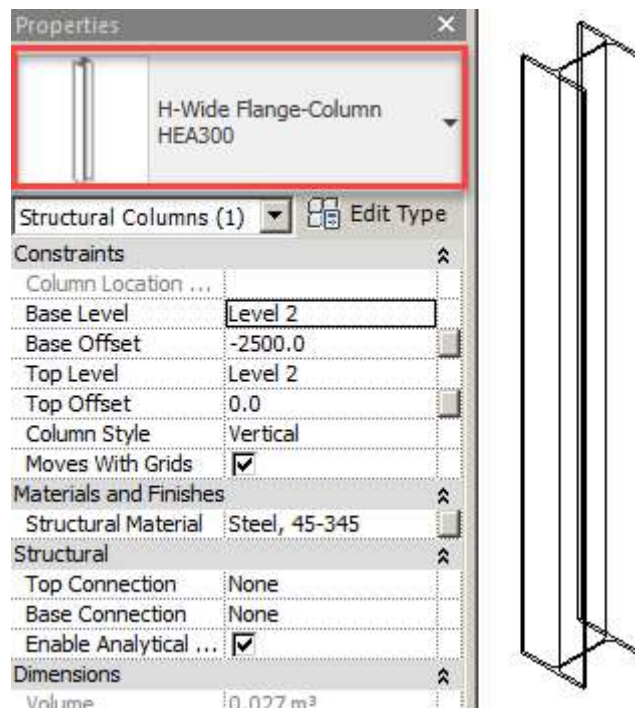


Figura 3.63- Perfil HEA300 modelado no *Revit*.

Esse elemento ao ser exportado para o *Robot* foi mapeado através de seu nome e associado a um perfil existente em um catálogo polaco com características diferentes do perfil modelado no *Revit*, como ilustrado na Figura 3.64.

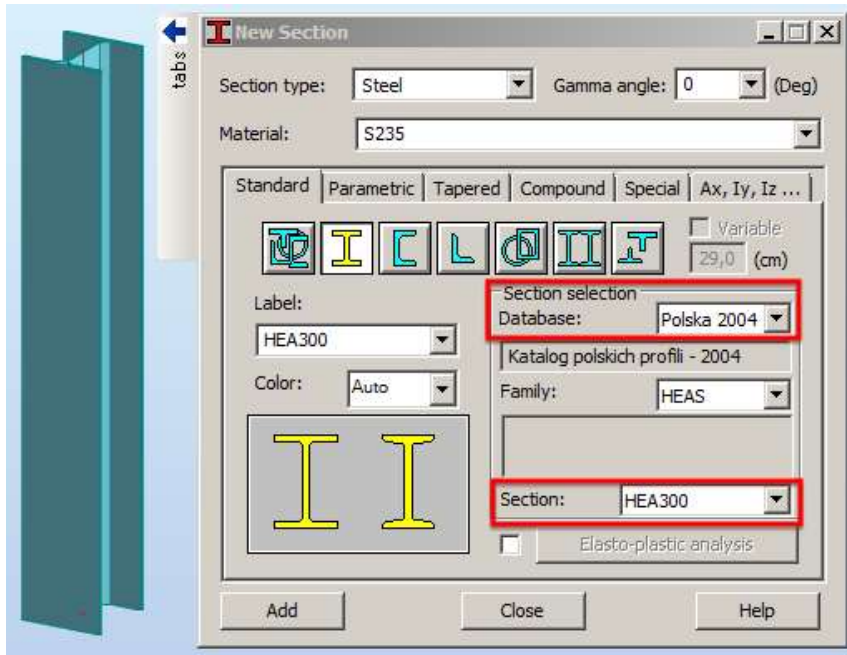


Figura 3.64- Perfil HEA300 mapeado no Robot.

O mapeamento não ocorreu com a base de dados europeia carregada pois nessa base dados não existe perfil HEA 300 com nome exatamente igual ao nomeado no Revit. A Figura 3.65 ilustra os possíveis nomes a serem associados nesta base de dados ao perfil HEA 300.

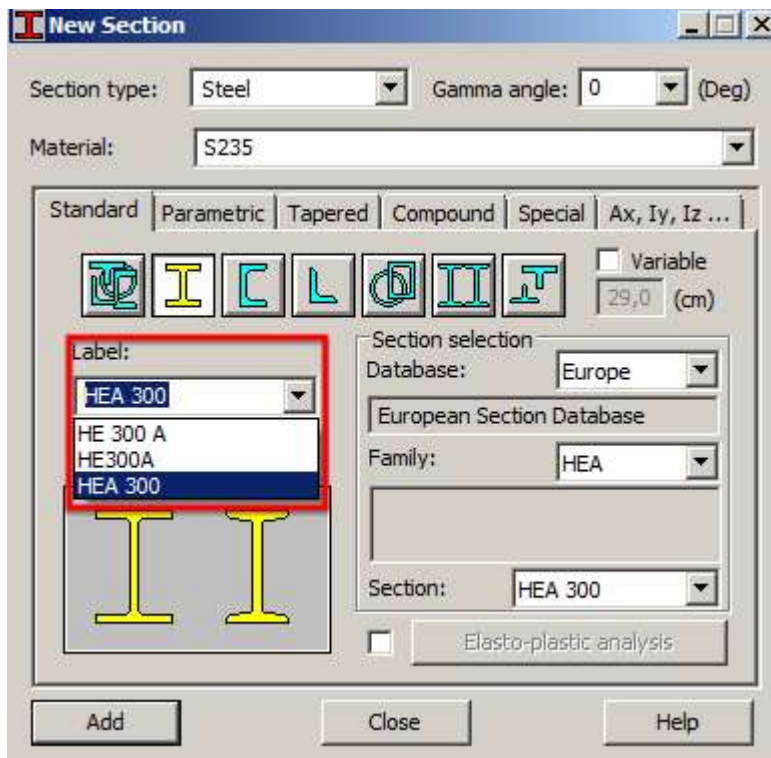
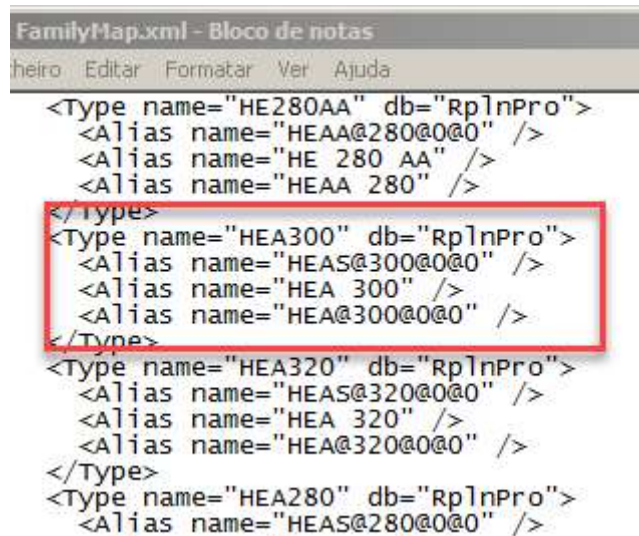


Figura 3.65- Possíveis nomes associados ao perfil HEA 300 na base de dados europeia.

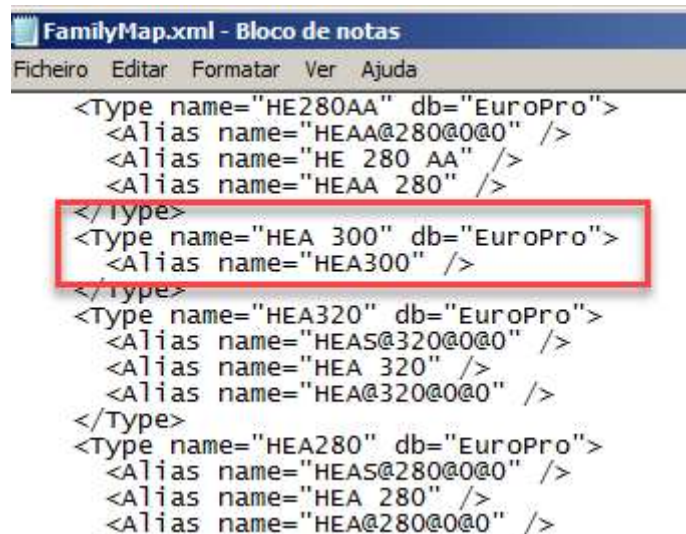
Ao não encontrar uma secção com o mesmo nome dado ao elemento no *Revit* em uma base dados carregada, a integração entre os programas recorre ao ficheiro de apoio *FamilyMap.xml*. O mapeamento nesse ficheiro acontece de cima pra baixo até ser encontrada alguma correspondência do nome inserido no *Revit* à alguma base de dados existente no *Robot*. A Figura 3.66 destaca a associação do nome HEA300 à base de dados *RplnPro*, sigla usada pelo ficheiro para fazer referência a base de dados polaca, o que justifica o mapeamento que ocorreu entre o perfil modelado no *Revit* e o associado no *Robot*.



```
FamilyMap.xml - Bloco de notas
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
<Type name="HE280AA" db="RplnPro">
  <Alias name="HEAA@280@0@0" />
  <Alias name="HE 280 AA" />
  <Alias name="HEAA 280" />
</Type>
<Type name="HEA300" db="RplnPro">
  <Alias name="HEAS@300@0@0" />
  <Alias name="HEA 300" />
  <Alias name="HEA@300@0@0" />
</Type>
<Type name="HEA320" db="RplnPro">
  <Alias name="HEAS@320@0@0" />
  <Alias name="HEA 320" />
  <Alias name="HEA@320@0@0" />
</Type>
<Type name="HEA280" db="RplnPro">
  <Alias name="HEAS@280@0@0" />
```

Figura 3.66- Associação do perfil HEA300 com uma secção presente na base de dados polonesa.

A solução encontrada para garantir o correto de mapeamento da secção HEA 300, foi excluir do ficheiro qualquer associação à outra base de dados que não fosse a europeia, além de editar o mapeamento para que o nome HEA300 fosse associado ao perfil HEA 300 na base de dados em questão. As linhas inseridas no ficheiro são ilustradas na Figura 3.67.



```
FamilyMap.xml - Bloco de notas
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
<Type name="HE280AA" db="EuroPro">
  <Alias name="HEAA@280@0@0" />
  <Alias name="HE 280 AA" />
  <Alias name="HEAA 280" />
</Type>
<Type name="HEA 300" db="EuroPro">
  <Alias name="HEA300" />
</Type>
<Type name="HEA320" db="EuroPro">
  <Alias name="HEAS@320@0@0" />
  <Alias name="HEA 320" />
  <Alias name="HEA@320@0@0" />
</Type>
<Type name="HEA280" db="EuroPro">
  <Alias name="HEAS@280@0@0" />
  <Alias name="HEA 280" />
  <Alias name="HEA@280@0@0" />
```

Figura 3.67- Ficheiro *FamilyMap* editado para mapear o *Type Name* HEA300 ao perfil HEA 300 na base de dados europeia.

Desta maneira o mesmo perfil modelado no *Revit* nomeado de HEA300 foi identificado ao perfil HEA 300 da base de dados europeia no *Robot*, como pretendido. A Figura 3.68 ilustra a correta associação.

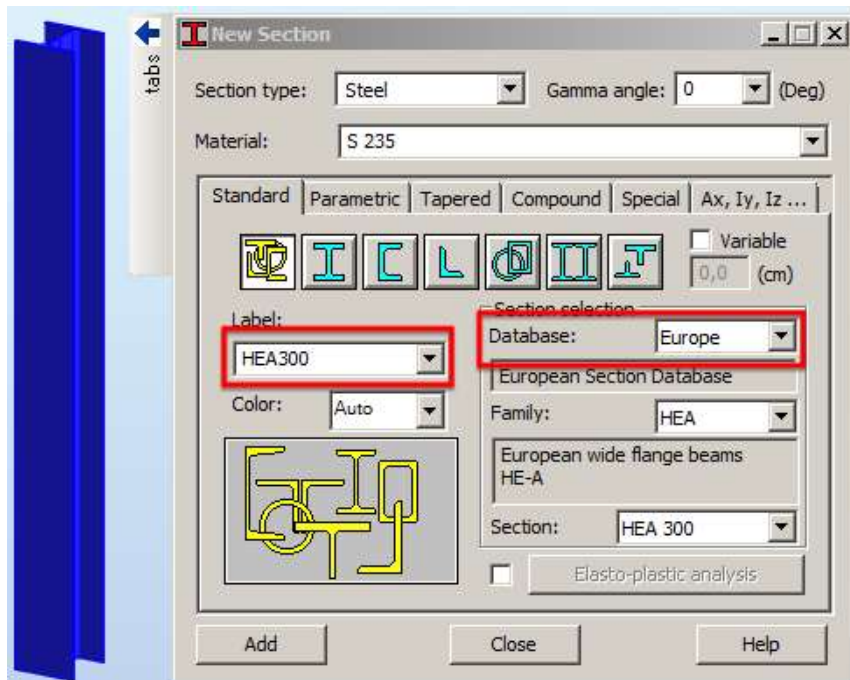


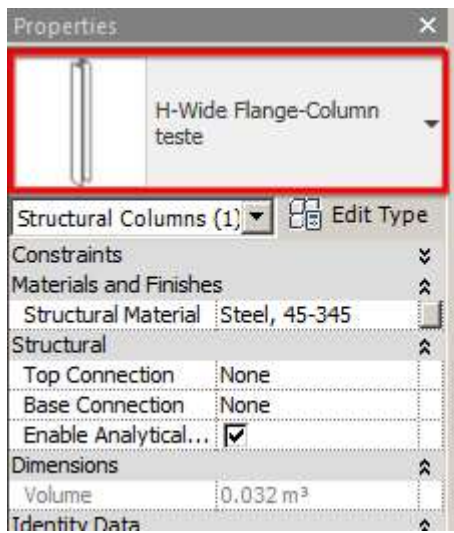
Figura 3.68- Associação do perfil HEA300 a base da dados europeia.

Apesar do perfil HEA 300 ter sido o objeto de estudo para os exemplos dados, esse é o procedimento padrão para entendimento da lógica de mapeamento realizada pelo *Robot* e para edição do arquivo de mapeamento que garante o correto mapeamento de perfis modelados no *Revit* e exportados para o *Robot*.

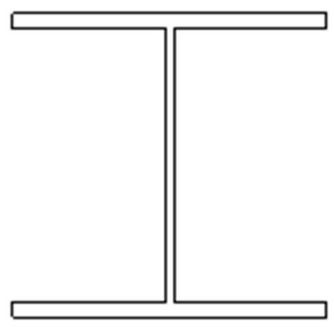
### 3.2.1.3 Mapeamento com secção paramétrica

Caso não haja associação do *Type Name* do elemento modelado no *Revit* com nenhuma base de dados existente no *Robot*, carregadas e não carregadas, é identificada a geometria segundo o nível de definição médio do elemento no *Revit* e criada uma secção paramétrica correspondente, se essa existir no *Robot*.

Para compreender esse mapeamento o perfil modelado HEA 300 teve seu nome alterado para “teste”, conforme ilustra a Figura 3.69, de forma a garantir que o *Type Name* não tenha associação com nenhuma base de dados.



a) HEA 300 com *Type Name* “teste”



b) Secção do perfil no nível de definição médio

Figura 3.69- Perfil HEA 300 modelado no *Revit* com *Type Name* “teste”.

Desta maneira, o perfil HEA 300 modelado no *Revit* nomeado de “teste” foi associado à uma secção paramétrica conforme ilustrado na Figura 3.70.

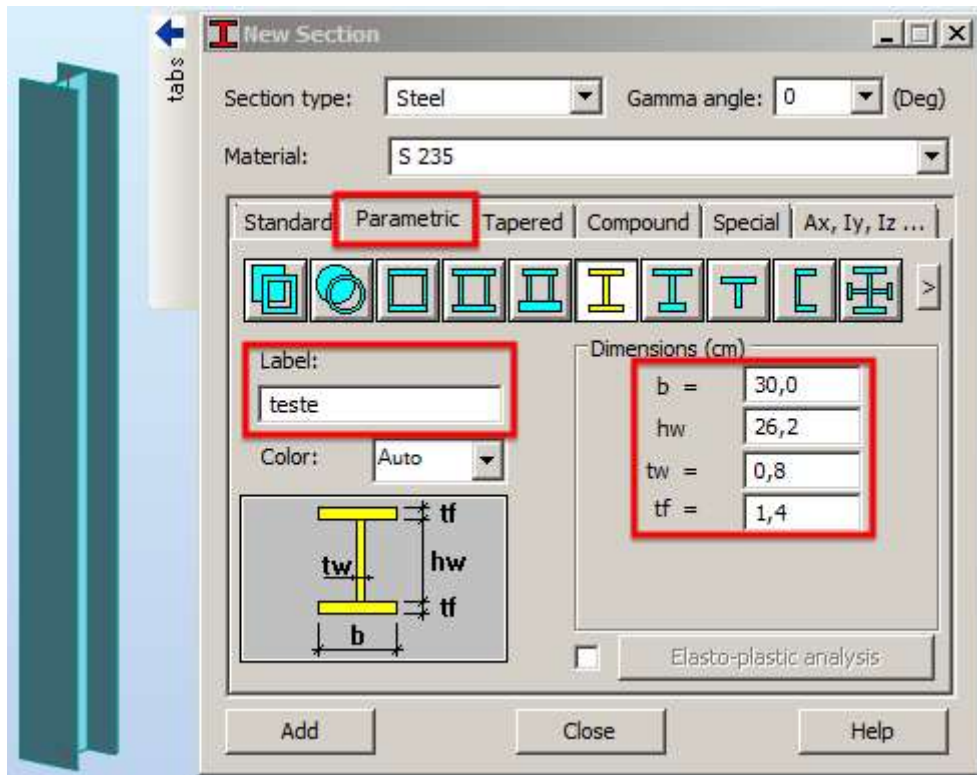
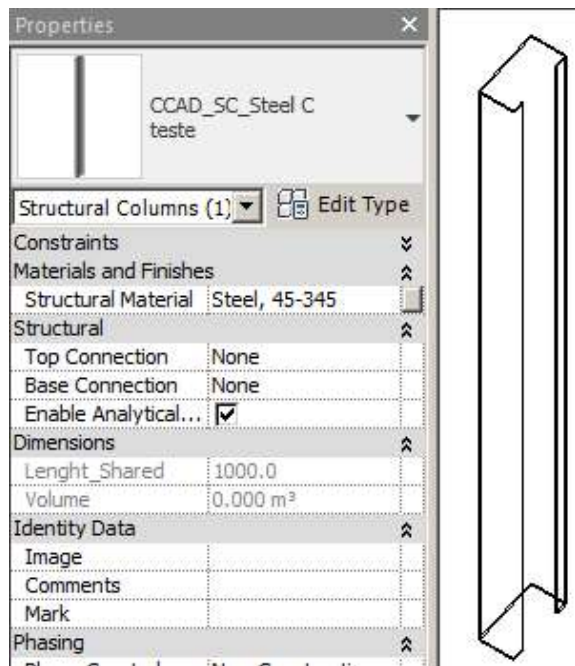
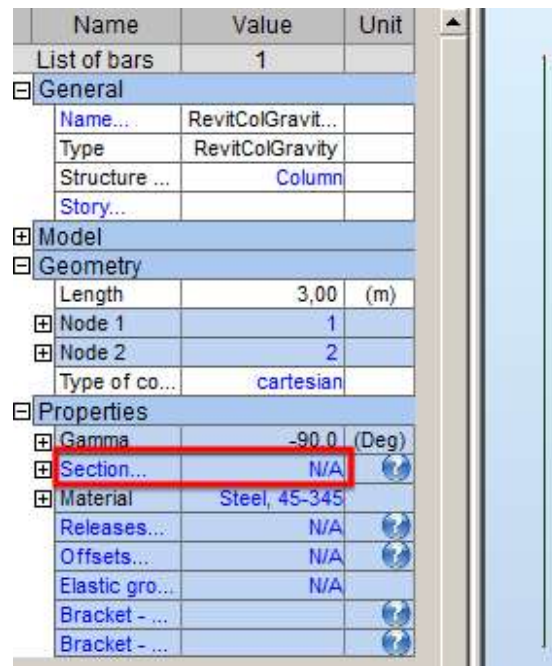


Figura 3.70- Associação com secção paramétrica.

No entanto, no caso de não existir secção paramétrica correspondente o Robot não associa nenhuma geometria ao elemento, como o exemplo do perfil modelado na Figura 3.71.



a) Elemento modelado no Revit



b) Elemento sem geometria associada no Robot

Figura 3.71- Elemento sem associação de secção

### 3.2.2 Mapeamento Robot→Revit

O estudo da integração entre os *softwares* no fluxo de trabalho do *Robot* para o *Revit*, constatou que o mapeamento neste sentido só ocorre se houver um elemento carregado no *Revit* com o *Type Name* igual ao nome da secção existente no *Robot*. Caso contrário é identificado o tipo de secção exportada e cria-se um elemento dentro de uma família existente nas pastas de arquivos compartilhado entre os dois programas. O processo de associação entre os *softwares* é realizado conforme o fluxograma da Figura 3.72.

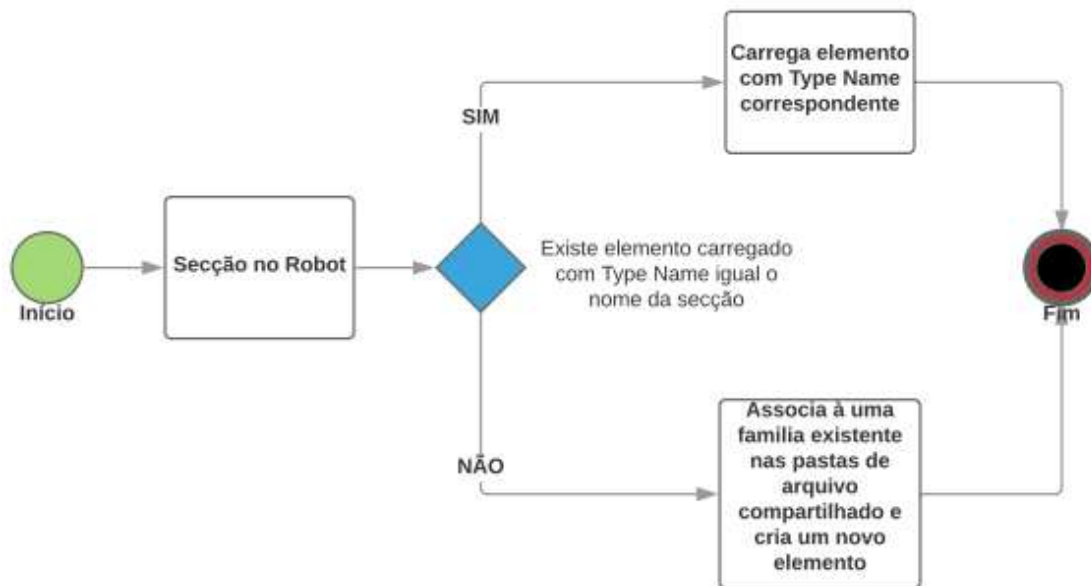


Figura 3.72 - Fluxograma de mapeamento de secção *Robot-Revit*.

O exemplo da Figura 3.73 a seguir ilustra a exportação de um perfil IPE 100.



Figura 3.73- Elemento inserido no *Robot*.

Previamente ao envio foi carregado no *Revit* a família IPE-Column e o respectivo tipo IPE 100, conforme apresenta a Figura 3.74.

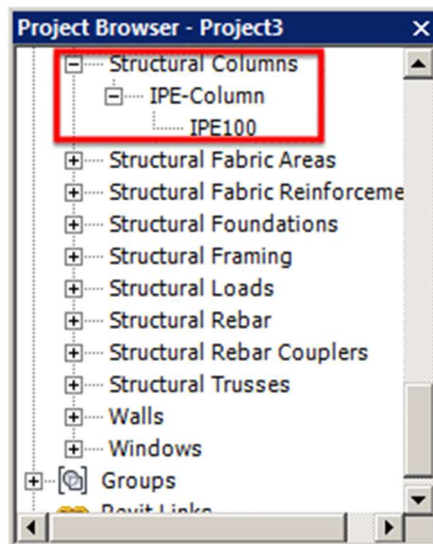


Figura 3.74- Elementos carregados no *Revit*.

Ao exportar o elemento do *Robot* para o *Revit* o mapeamento associou a secção ao elemento de mesmo *Type Name* da família carregada, conforme apresentado na Figura 3.75.

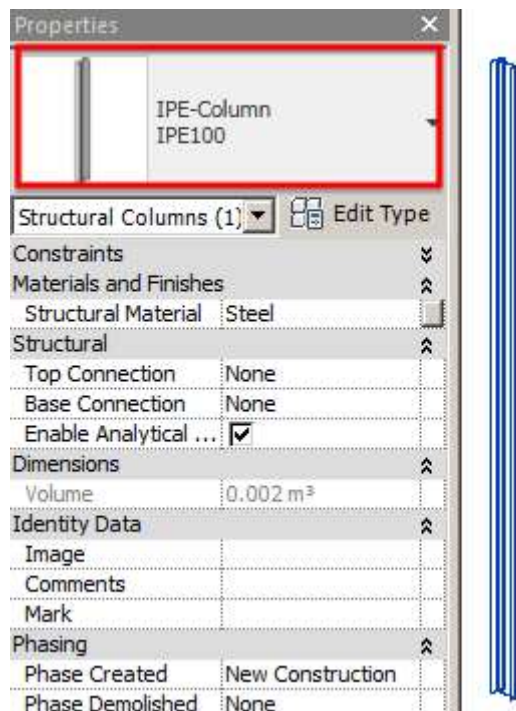


Figura 3.75 – Perfil IPE 100 mapeado com família existente no *Revit*.

O exemplo a seguir ilustra a exportação de um perfil IPE 120. Não foram carregados previamente no *Revit* nenhum elemento com *Type Name* igual a IPE 120. A Figura 3.76 ilustra o perfil a ser exportado pelo *Robot*.



Figura 3.76 – Perfil IPE 120 inserido no *Robot*.

Como não há correspondência com nenhum elemento carregado no *Revit* a integração recorre a famílias existentes no compartilhamento de informação dos dois *softwares*. Essas famílias são agrupadas em paramétricas e de base de dados e são associadas conforme o tipo de secção do elemento. A Figura 3.77 ilustra essas famílias.

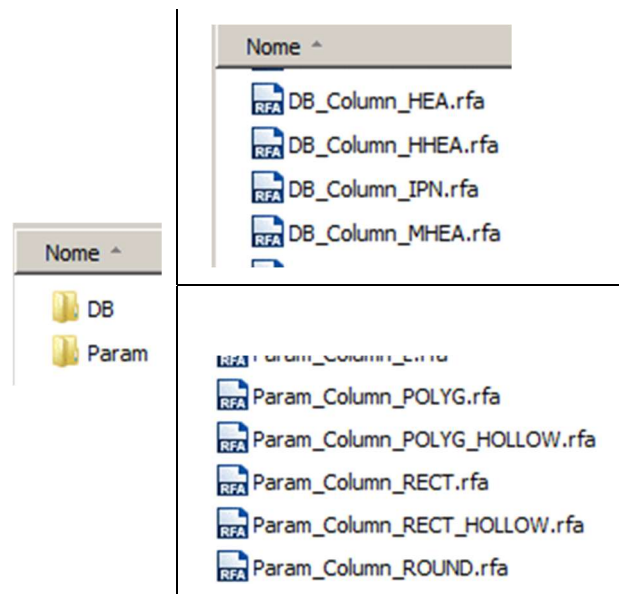


Figura 3.77 – Famílias para mapeamento.

O elemento carregado no *Revit* é ilustrado na Figura 3.78.

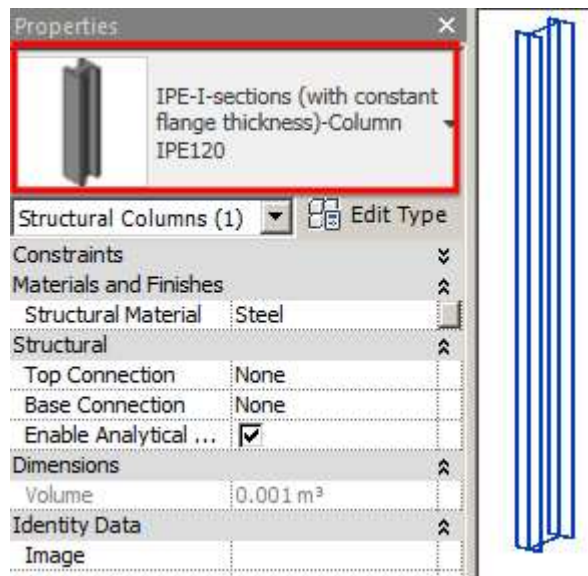


Figura 3.78 - Perfil IPE 120 mapeado com família de ficheiros compartilhados.

### 3.3 MAPEAMENTO DE MATERIAIS

Um modelo de cálculo é baseado em propriedades analíticas, geométricas e mecânicas. Portanto o mapeamento dos materiais e respectivas propriedades mecânicas, são informação necessária para o cálculo estrutural e que dão sequência ao estudo de interoperabilidade entre os sistemas *Revit* e *Robot*.

Ao desenvolver o modelo geométrico no *Revit* é possível determinar o material que constitui os elementos estruturais. Os materiais no *Revit* contém uma série de recursos, como por exemplo, as suas propriedades físicas e térmicas. A Figura 3.79 ilustra os grupos de propriedade relacionados aos materiais.

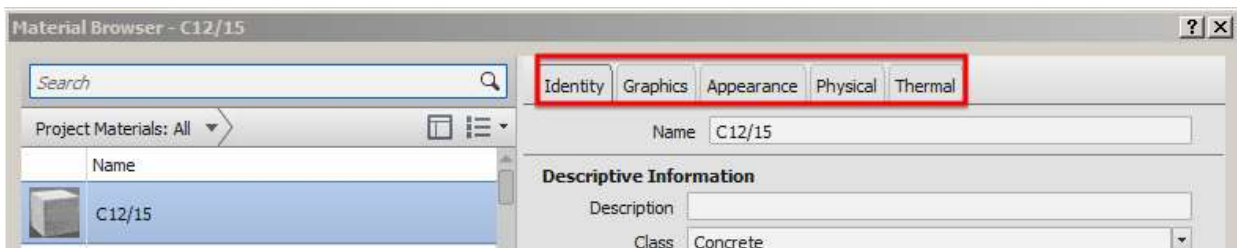


Figura 3.79 - Propriedade de materiais no *Revit*.

As informações de identidade reúnem um conjunto de propriedades que descrevem o material. Neste recurso é inserido o nome, a classe, custo, comentários e outras informações que complementam o material. As propriedades gráficas controlam a visualização do material em vistas não renderizadas enquanto as propriedades de aparência controlam a visualização em vistas realistas.

O recurso de informações físicas do material agrupam as propriedades mecânicas importantes para a análise estrutural. A Figura 3.80 ilustra o menu de propriedades físicas do material.

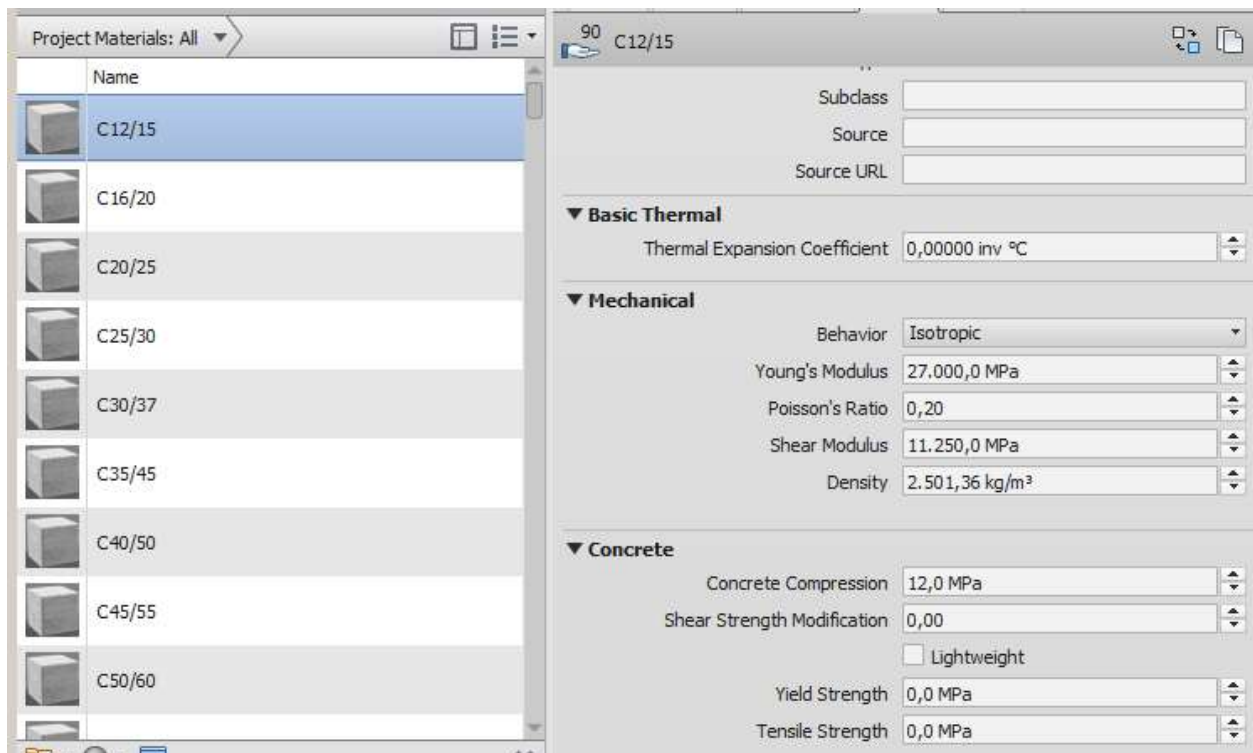
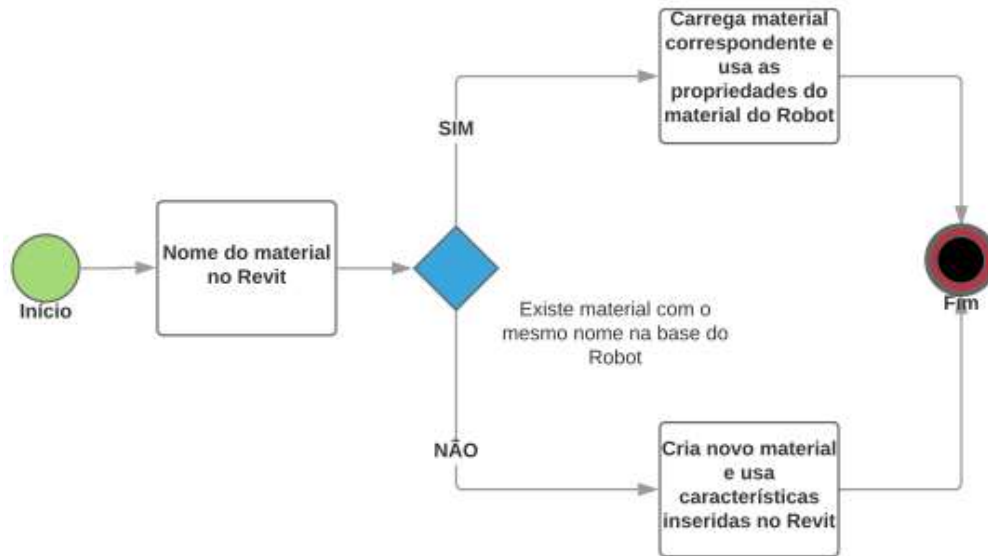
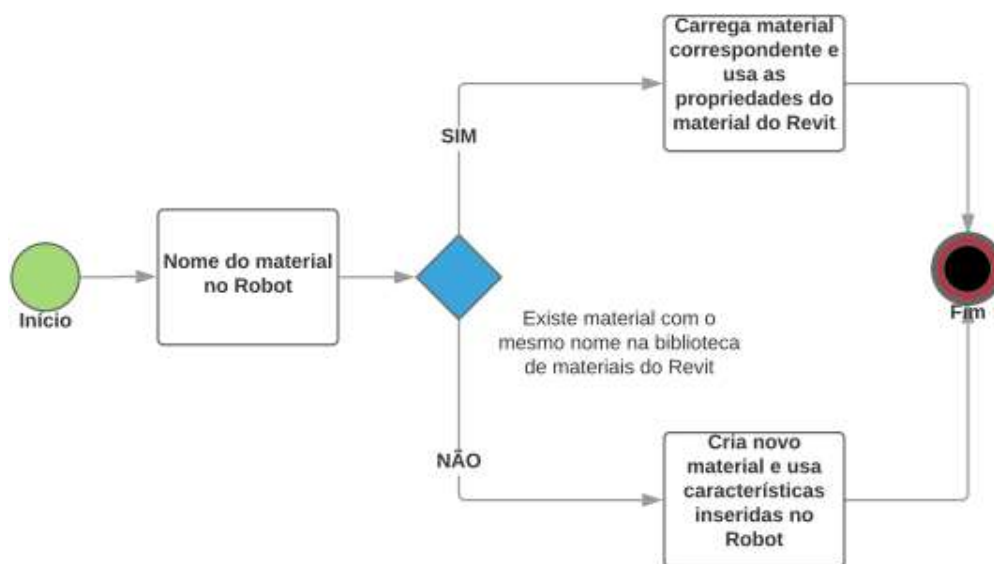


Figura 3.80- Propriedades físicas e mecânicas do material.

No estudo do mapeamento de materiais entre o *Revit* e o *Robot* verificou-se que os *softwares* mapeiam os materiais na integração do modelo através de seu nome. Ou seja para que haja a correta associação na troca de informação entre os programas, é preciso que o material tenha exatamente o mesmo nome na biblioteca de materiais do *Revit* e na base dados do *Robot*. Outra informação relevante nessa troca de dados é que as informações físicas e mecânicas dos materiais presentes na base de dados do *Robot* e na biblioteca do *Revit* é sempre preservada. O processo de associação entre os *softwares* é realizado conforme os fluxogramas da Figura 3.81.



a) Mapeamento *Revit*→*Robot*.

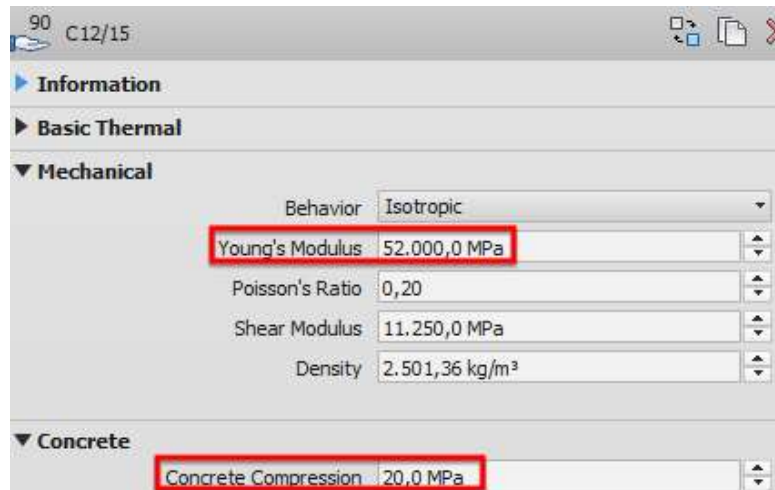


b) Mapeamento *Robot*→*Revit*.

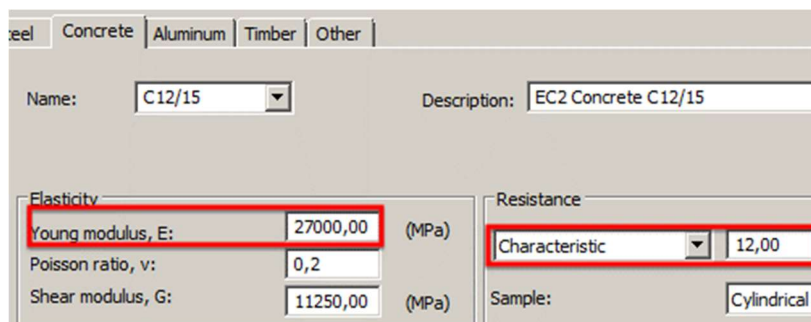
Figura 3.81 – Fluxograma de mapeamento de materiais entre *Revit* e *Robot*.

Desta maneira, garante-se, que ao nomear corretamente os materiais no *Revit* e exportar o modelo para o *Robot*, os elementos no programa de cálculo terão as propriedades necessárias para a correta análise da estrutura.

A Figura 3.82 demonstra o betão de classe de resistência C12/15 definido no *Revit* com algumas propriedades mecânicas propositalmente alteradas e as propriedades do mesmo betão na base de dados do *Robot*, respectivamente.



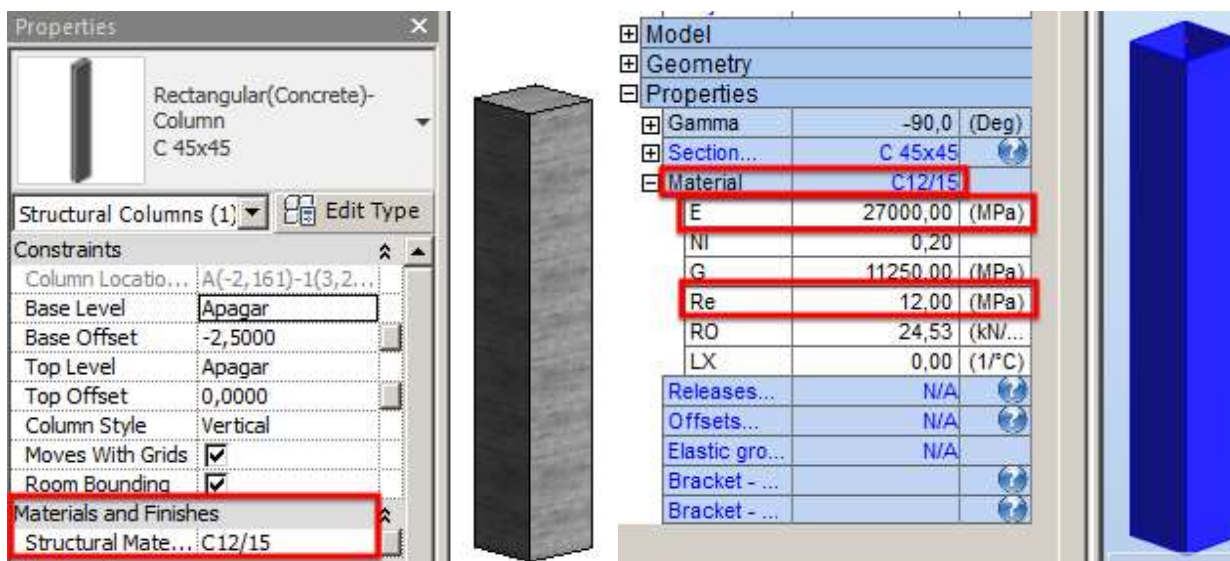
a) Betão C12/15 com propriedades alteradas na biblioteca do *Revit*.



b) Propriedades na base de dados do *Robot*.

Figura 3.82 - Propriedades do concreto C12/15.

Como exemplo para ilustrar esse mapeamento foi definido a um pilar no *Revit* o betão C 12/15 com as propriedades acima apresentadas, e exportado para o *Robot*. A Figura 3.83 demonstra que o elemento teve o material mapeado através do nome e as propriedades do *Robot* mantidas.



a) Pilar com betão C12/15.

b) Material mapeado e propriedades do *Robot* preservadas.

Figura 3.83 – Exportação do elemento e base de dados preservadas.

Na concepção de um projeto estrutural, as informações de um material vão muito além do que apenas a classe do betão, o tipo de aço, ou a espécie de uma madeira por exemplo. Muitas outras informações são necessárias para correta identificação do material. O caso do betão, por exemplo, é recomendado a indicação da classe de exposição, dimensão máxima do agregado e outros atributos complementares. No entanto, sugere-se que essas informações não sejam incluídas no nome do material, pois isso limitará o mapeamento.

Essas propriedades adicionais e que podem variar para a mesma classe de resistência devem ser inseridas em parâmetros adicionais de instância customizados, podendo ser o seu preenchimento automatizado por recurso a uma rotina de *Dynamo* ou a aplicativos gratuitos como o *Classification Manager*.

## CAPÍTULO 4

### INTEROPERABILIDADE *REVIT-IFC*

Durante o processo de concepção de um projeto, muitos profissionais devem trabalhar juntos de forma colaborativa. A visualização de modelos 3D com informação associada proporciona aos engenheiros uma maior capacidade de interpretação do próprio modelo, para além de contribuir também para a deteção antecipada de incompatibilidades e prevenir situações indesejadas que poderiam surgir na fase de construção da edificação.

Para projetos de construção integrados, os dados BIM podem ser trocados por formatos proprietários, desde que todos os membros de projeto possuam *software* dos mesmos desenvolvedores ou compatíveis e que troquem informação a partir de *links* diretos. Essas trocas de dados também podem ser realizadas com um formato neutro padronizado, e que acontece através de *links* indiretos, o que permite que cada equipe utilize o *software* mais adequado às suas necessidades.

Neste capítulo pretende-se apresentar informações relevantes ao uso dos ficheiros em formato aberto IFC no âmbito de um projeto de estruturas. Portanto, será apresentado o estudo do processo de conversão *Revit-IFC* e *IFC-Tekla*, particularizando o caso de estruturas metálicas, por ser o mais comum e de maior interesse para um empreiteiro devido sua aplicabilidade direta no trabalho de preparação.

#### 4.1 ARQUITETURA IFC

A constituição de um dado esquema IFC é feita por camadas e segue uma estrutura que está identificada na Figura 4.1. As camadas de Recursos e do Núcleo dispõem de entidades que possibilitam a definição de modelos especificados nas camadas de Elementos Partilhados e Domínios. Essa arquitetura opera com base num princípio de escada, possibilitando que uma classe refira uma outra na mesma camada ou numa camada inferior, mas nunca numa camada superior.

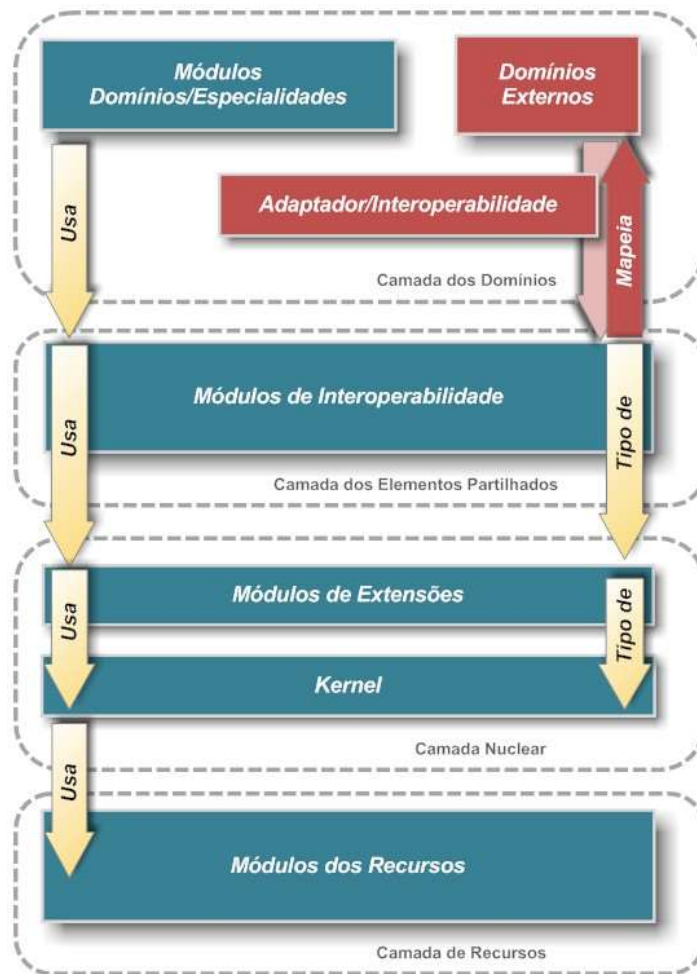


Figura 4.1. Relação entre camadas do modelo IFC.

Os principais objetivos do desenvolvimento do esquema IFC segundo a arquitetura da Figura 4.1 são fornecer uma estrutura para o funcionamento do modelo, promover um ambiente de partilha e troca de informações entre as vertentes distintas da indústria da construção, facilitar a manutenção da especificação, possibilitar a reutilização de um modelo, permitir a reutilização de componentes de modelação por parte de distribuidores de *software* e facilitar a compatibilidade entre diferentes sistemas.

A camada de Domínios é a camada mais geral que identifica o âmbito de uma especificação IFC. Divide a indústria AEC por grupos de especialidades, dando total independência às entidades pertencentes a esta camada que não pode ser referenciada por uma outra.

A camada de Elementos Partilhados é a seção que diz respeito às questões ligadas com a interoperabilidade entre sistemas. Este nível compreende as entidades que podem ser mencionadas em múltiplos módulos da camada de Domínios. O conceito de módulos comuns permite estabelecer ligações de interoperabilidade entre diferentes domínios e aplicações de modelos. (IAI 1999).

O Núcleo é a camada mais geral dentro de um esquema IFC. Comporta as funções de sustentação do modelo IFC e proporciona a sua estrutura básica, bem como relações fundamentais e conceitos comuns

para especialização em modelos específicos. O *IfcKernel* define a parte central do esquema, capturando a construção em geral e especificando os atributos e relações básicas, como são exemplo a localização de produtos no espaço, a sequência de processos e o agrupamento geral de mecanismos. Todas as entidades fora da camada de Recursos, definidas quer na camada de Núcleo ou acima desta, derivam da classe *IfcRoot*. O *IfcRoot* é a classe mais abstrata e raiz de todas as definições de entidades, ou seja, é o supertipo comum a todas as entidades IFC além das definidas na camada de Recursos. Todas as entidades subtipo do *IfcRoot* podem ser usadas de forma independente enquanto as entidades do esquema de Recursos não são definidas de forma independente.

Por último tem-se a camada de Recursos que é a camada onde se encontram as disposições de entidades que suportam as estruturas de dados do modelo. É a camada mais baixa na arquitetura da especificação IFC. Aqui são definidas todas as entidades genéricas que permitem a formulação de um conjunto de dados e informações que possibilitam a construção de modelos, sendo referenciadas pelas entidades raiz de um determinado modelo. Os recursos podem ser caracterizados como sendo um conjunto de entidades que completam todas as outras classes.

A Figura 4.2 ilustra numa perspectiva mais detalhada das várias camadas e módulos conceituais, a aparência da estrutura da base de dados do modelo IFC.

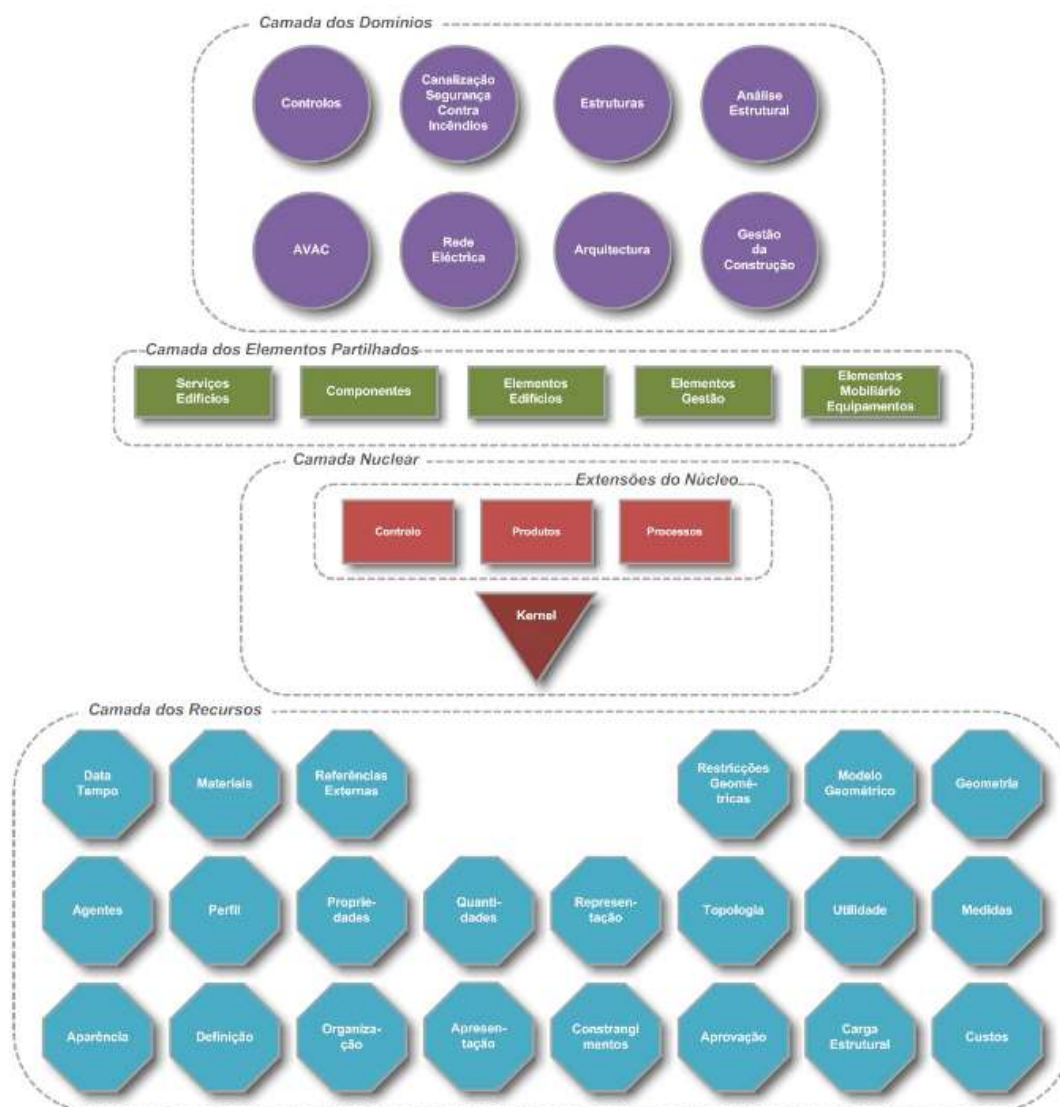


Figura 4.2-Arquitetura IFC.

#### 4.1.1 Exemplo de definição de entidades IFC

Entidades são todos os elementos que aparecem no ficheiro IFC, são elas as responsáveis pelo armazenamento dos dados de um modelo, ou seja, elas se encarregam de intercambiar informações de um projeto, que é o foco do padrão IFC. Em qualquer ícone das quatro camadas existem entidades, elas podem ser desde uma barra de reforço de um elemento do projeto estrutural (*IfcReinforcingBar* – camada de domínio), ou uma viga (*IfcBeam* – camada de elementos partilhados), ou um relacionamento entre dois elementos (*IfcRelAssigns* – camada do núcleo) ou até mesmo uma direção, que é determinada através de vetores, (*IfcDirection* – camada de recursos).

Dentro da estrutura hierárquica IFC todas as entidades contêm no seu esquema o prefixo *Ifc*. Em um projeto de construção, por exemplo, *IfcBuildingElements* é a classe mais elevada que compõe os elementos estruturais. Abaixo desta classe são representadas outras subclasses dos múltiplos elementos

estruturais que vêm descrever as várias entidades de construção existentes. Isto é, as múltiplas entidades estruturais que compõem um edifício, tais como, lajes, vigas, pilares e paredes, são definidos neste esquema como, *IfcSlab*, *IfcBeam*, *IfcColumn* e *IfcWall*, permitindo assim, definir as próprias e específicas características de cada elemento e de acordo com a normatização determinada pela *BuildingSMART*.

O modelo IFC segue uma hierarquia típica em modelos orientados por objetos no qual as classes de níveis inferiores herdam as propriedades das classes de nível superior na hierarquia. Portanto, as entidades físicas, como lajes, vigas, pilares, paredes e todos os outros elementos estruturais, são definidas por uma hierarquia de entidades.

Para o melhor entendimento desse conceito na prática, será transcrito um exemplo apresentado em um artigo de Khemlani (2004). Nesse exemplo serão utilizadas duas entidades básicas, uma parede, *IfcWall*, e um espaço, *IfcSpace*, e será visto como cada uma delas é representada individualmente e como a relação entre ambas é representada.

A entidade Parede (*IfcWall*) é definida como um subtipo da entidade elemento de construção (*IfcBuildingElement*), que por sua vez é subtipo da entidade elemento (*IfcElement*), que é subtipo da entidade produto (*IfcProduct*), que é subtipo da entidade objeto (*IfcObject*), que é subtipo da entidade raiz (*IfcRoot*). Os atributos estão associados a cada tipo de entidade, de forma que a entidade parede herde todos os atributos das entidades superiores. Todos os supertipos são entidades abstratas, de forma que não pode ser criada uma instância desse tipo de entidade. Já a parede (*Ifcwall*) não é abstrata e está instanciada para criar um único objeto parede localizada no modelo do edifício. A maioria dos atributos de uma parede (tipo, forma, localização, quantidade, conexões, aberturas, etc.) é primeiramente definida pelo seu supertipo Elemento.

Passando para a definição da entidade espaço, definida como um subtipo de elemento de estrutura espacial, *IfcSpatialStructureElement*, esta, por sua vez, é um subtipo da entidade produto, *IfcProduct*, que também existe na hierarquia da entidade parede.

No caso da entidade espaço, todas as suas entidades supertipos são abstratas, e a entidade espaço herda todas as propriedades dos seus supertipos. Entretanto, da mesma forma que a entidade parede a entidade espaço não é abstrata e pode ser instanciada para criar os diferentes espaços do edifício.

Diferentes tipos de relações podem ser associados às entidades usadas nesse exemplo. Uma relação de agregação pode ser aplicada para as instâncias da entidade espaço, para agrupá-las em um pavimento do edifício, e uma relação de encapsulamento pode ser aplicada para uma entidade parede, para localizá-la dentro de um determinado espaço.

Se a entidade parede precisar ser associada à entidade espaço, uma relação de encapsulamento *IfcRelContainedInSpatialStructure*, será aplicada. Como mostrado na Figura 4.3, o relacionamento ocorre

nos níveis de *ifcElement* e *ifcSpatialStructureElement*, o que significa que qualquer outro elemento (parede, viga, coluna, porta) pode ser associado a uma estrutura espacial (um terreno, um edifício, um pavimento, um espaço).

Nas definições dos elementos IFC também existe uma entidade chamada *PropertySets* que foi especificamente projetada para aumentar a flexibilidade e a extensibilidade dos elementos. Os IFC *PropertySets* têm a capacidade de acrescentar propriedades específicas que são variáveis, como códigos de edificação, classificações, características, a uma entidade. Mesmo uma entidade que tenha uma propriedade universal e inequívoca, como uma parede, pode exigir a definição de uma série de outras propriedades que atendam as necessidades de empresas ou de uma localidade.

A Figura 4.3 ilustra o exemplo documentado acima.

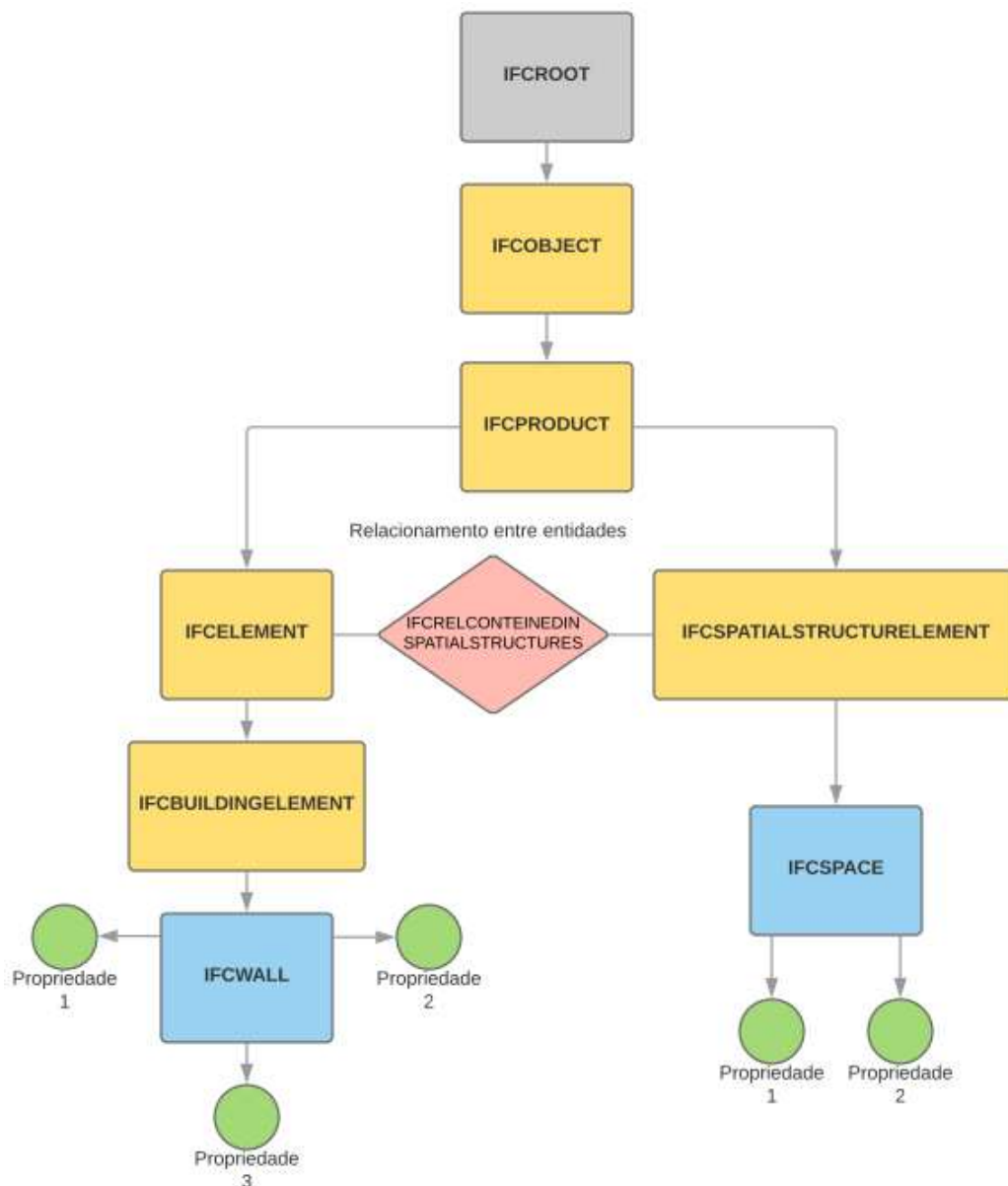


Figura 4.3 – Entidades IFC.

## 4.2 EXPORTAÇÃO E IMPORTAÇÃO DE FICHEIROS IFC

Quando se exporta um modelo de construção do *Revit* para o formato IFC, as informações podem ser usadas diretamente por arquitetos e engenheiros de outras especialidades no apoio a concepção do projeto. Em alguns casos existirão processos com duas conversões. Primeiro do modelo BIM para o formato IFC e depois de IFC para um formato de arquivo legível por outra plataforma. No entanto, o processo de conversão é um ponto fraco na troca de informações entre diferentes tipos de *software*, dessa maneira é preciso ter cuidados de modelação e inserir definições de exportação específicas no programa o qual se está a utilizar e a pensar no programa para o qual o modelo será enviado. Neste processo é recomendado o uso de um *software* visualizador como ponto de controlo, onde é possível verificar o modelo BIM convertido para IFC. A visualização de modelos 3D proporciona ao utilizador uma maior capacidade de interpretação do próprio modelo, para além de contribuir também na detecção de possíveis falhas durante as conversões do arquivo IFC.

### 4.2.1 Conversão *Revit*-IFC

Para realizar a exportação do modelo no *Revit* a pensar na importação pelo Tekla existem algumas configurações a serem ajustadas, as quais dão mais consistência ao modelo IFC gerado e utilizado em outro *software*. Essa preparação inclui o mapeamento de propriedades específicas inseridas no *Revit* e o mapeamento de famílias com classes IFC, de forma a garantir, fora do *Revit*, a correta leitura dos elementos criados e suas propriedades.

O *Revit* possui um mapeamento de famílias padrão que pode ser acessado a partir das opções IFC do programa. Nesta opção é exibida uma caixa de diálogo com uma tabela onde é possível associar as famílias existentes no *Revit* à classes IFC. Existe uma configuração padrão do *Revit*, conforme ilustrado na Figura 4.4, mas que pode ser alterada e editada conforme a necessidade do usuário.

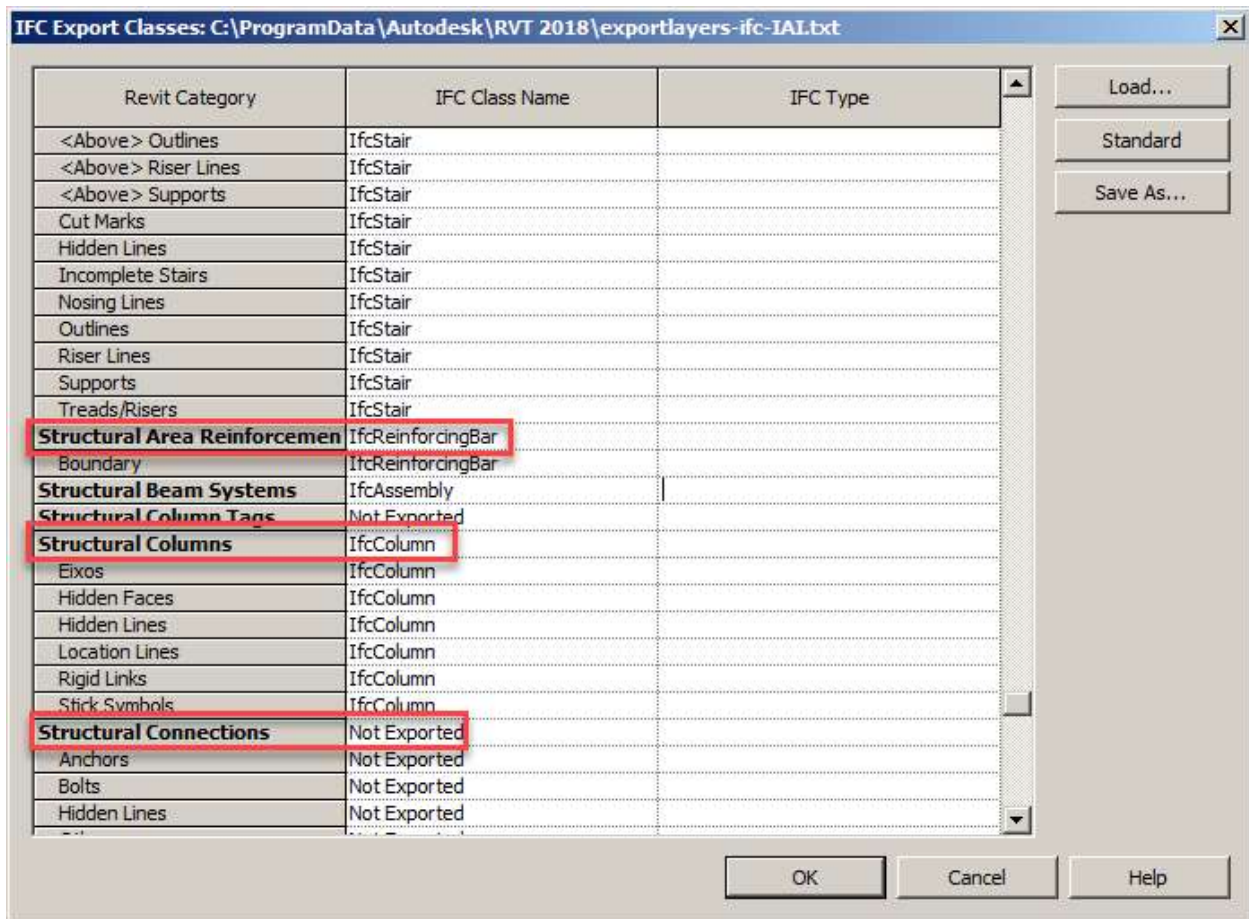


Figura 4.4- Mapeamento de famílias e classes IFC.

Cada linha na caixa de diálogo representa uma categoria ou subcategoria de elemento. Para cada categoria dessas um nome de classe é atribuído na coluna *IFC Class Name*. Para elementos de construção que não têm mapeamento automático, o valor exibido na coluna *IFC Class Name* é *Not Export*.

Na Figura 4.4, é possível ver que os pilares estruturais, *Structural Column* e as armaduras de reforço, *Structural Area Reinforcement*, são associados às classes *IfcColumn* e *IfcReinforcingBar* respectivamente, e que as famílias das conexões, *Structural Connections*, por padrão, não são associadas a nenhuma classe e, portanto, não são exportadas.

Algumas vezes, em um projeto, é de interesse enviar um elemento ou uma família com uma classe diferente daquela definida para a categoria nas opções de mapeamento das classes IFC mencionada acima.

Se o projetista quiser substituir essas configurações gerais para um elemento específico do *Revit*, é possível usar o parâmetro *IfcExportAs*. Adicionado como um parâmetro Instância, do grupo *IFC parameter*, pode-se usar esse parâmetro de maneiras diferentes para definir como deseja que algum objeto específico seja exportado. A definição desse parâmetro sobrepõe a classe definida nas opções de mapeamento. Para não exportar o elemento deve-se preencher o parâmetro com *DontExport*.

A Figura 4.5 ilustra a barra de propriedades de um pilar com esse parâmetro adicionado.

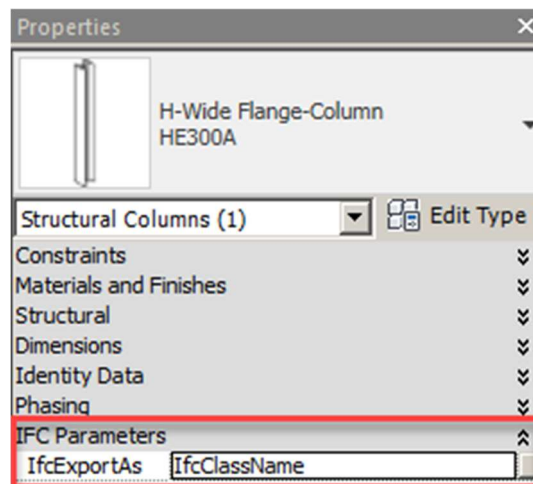


Figura 4.5- Parâmetro *IfcExportAs* em um pilar

Complementando o mapeamento de classes, o *Revit* possui um menu de opções de exportação onde é possível configurar e personalizar algumas diretrizes para a conversão do modelo. As definições de exportação podem ser personalizadas a partir da opção *Modify Setup*, ilustrada na Figura 4.6.

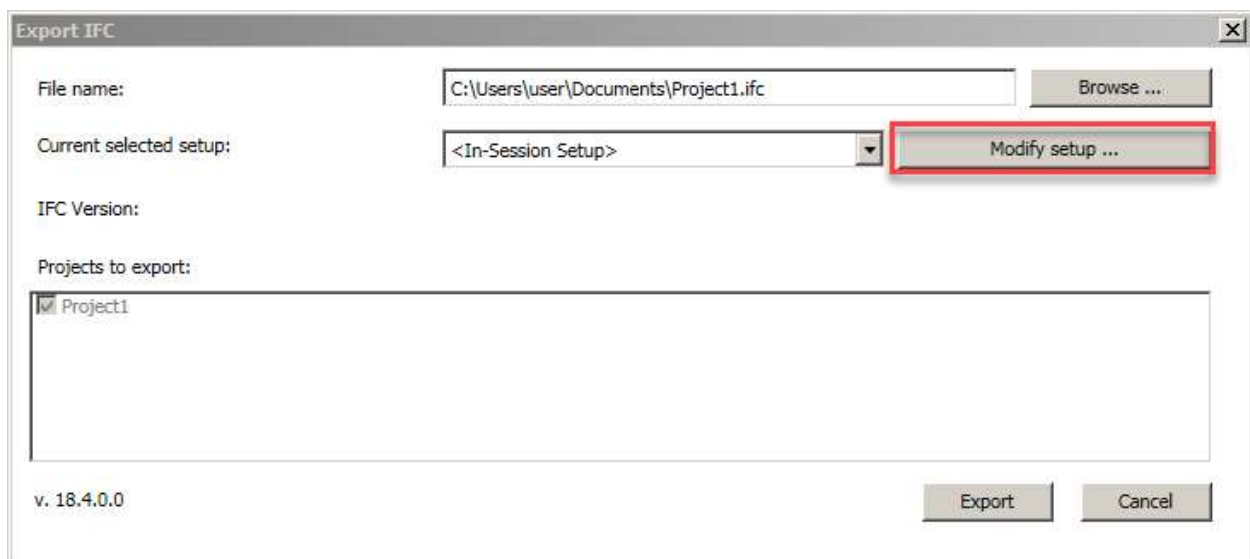


Figura 4.6- Menu de exportação IFC

O menu de exportação oferece ao usuário a possibilidade de refinar a conversão do modelo com as informações necessárias ao projeto. Nesse menu é possível escolher a versão IFC que deseja usar para converter o arquivo, definir a origem a ser utilizada como referência para a conversão, definir quais os parâmetros que serão associados aos elementos no modelo IFC gerado e outras definições relevantes.

A origem do modelo IFC é extremamente importante na colaboração com outras especialidades, os modelos devem ser referenciados à mesma origem e estarem corretamente posicionados em relação a esse ponto para que todos possam trocar informações de forma segura.

A experiência no gabinete pode mostrar que a utilização do *Project Base Point* como origem do projeto e da opção para incluir o deslocamento Z do terreno, *IfcSite*, são boas práticas que devem ser seguidas para referenciar da melhor maneira o modelo IFC.

As Figuras 4.7 e 4.8 apresenta o menu com as opções comentadas.

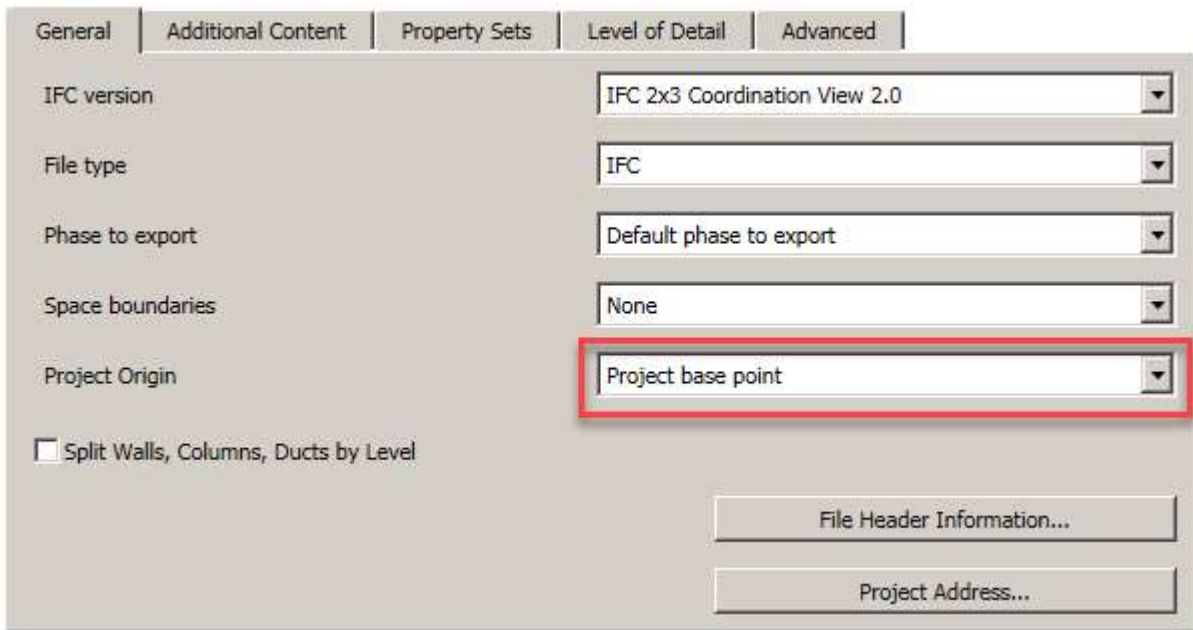


Figura 4.7- *Project Base Point* como origem do modelo IFC

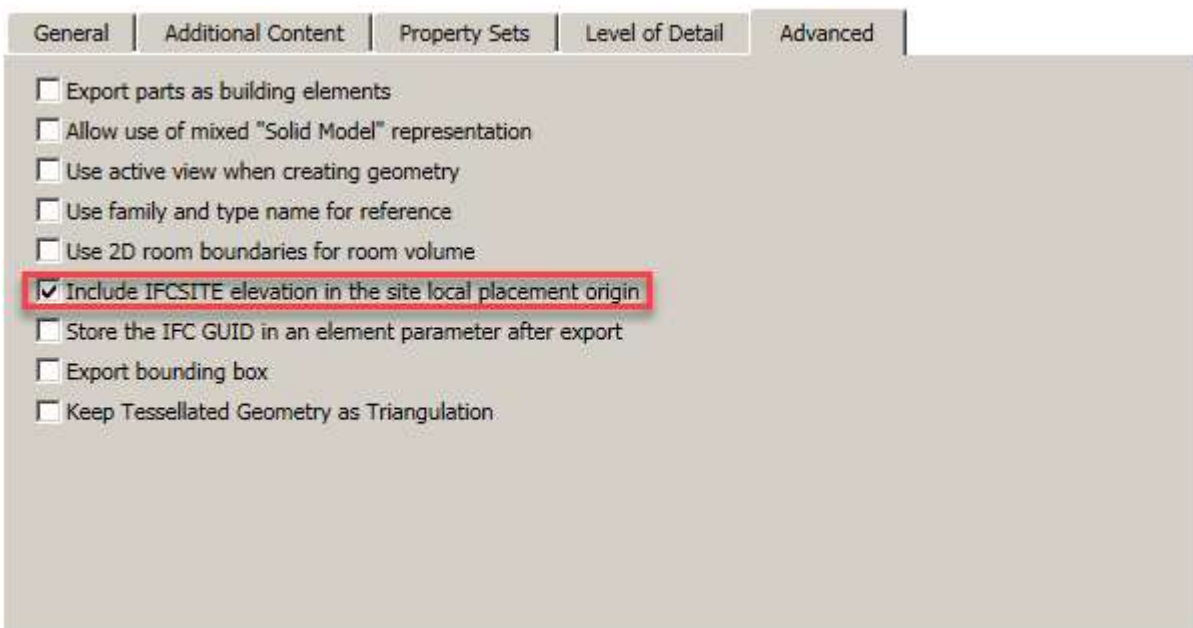


Figura 4.8- Incluir o deslocamento em Z do terreno, *IfcSite*.

A associação dos parâmetros a serem exportados também pode ser manipulada através desse menu. Ao prepararmos o mapeamento de parâmetros de um modelo IFC, é importante levarmos em consideração a finalidade do seu uso, pois no *Revit* podem haver muitos parâmetros associados aos elementos e nem todos são necessários para os diversos fins.

A definição de parâmetros possui a opção de transferir apenas parâmetros comuns as classes IFC e aos elementos no *Revit*, esta é a opção padrão, a qual não exporta, caso haja, parâmetros personalizados pelo usuário no projeto. Há também a opção de exportar todo o conjunto de propriedades do *Revit*, a qual vai exportar todos os parâmetros existentes no modelo, mas não é recomendada por gerar um IFC inconsistente e pouco eficiente devido à grande quantidade de informações desnecessárias no modelo IFC.

Recomenda-se, portanto, exportar propriedades comuns, a partir da opção *Export IFC common property sets*, e realizar também um mapeamento de parâmetros personalizados, a partir da opção *Export user defined property sets*, como mostra a Figura 4.9.



Figura 4.9- Opções para mapeamento de parâmetros.

Esse método de mapeamento de parâmetros personalizados é feito através de um arquivo .txt, criado pelo usuário, onde é possível criar um conjunto de propriedades IFC e associa-las com parâmetros do *Revit*. Neste arquivo, ilustrado na Figura 4.10, uma primeira linha descreve um grupo de propriedades personalizadas, se ele é associado a instâncias ou tipos e a lista de entidades IFC para os quais deseja criar as propriedades. As linhas seguintes associam as propriedades do modelo IFC e as propriedades do *Revit* que as correspondem.

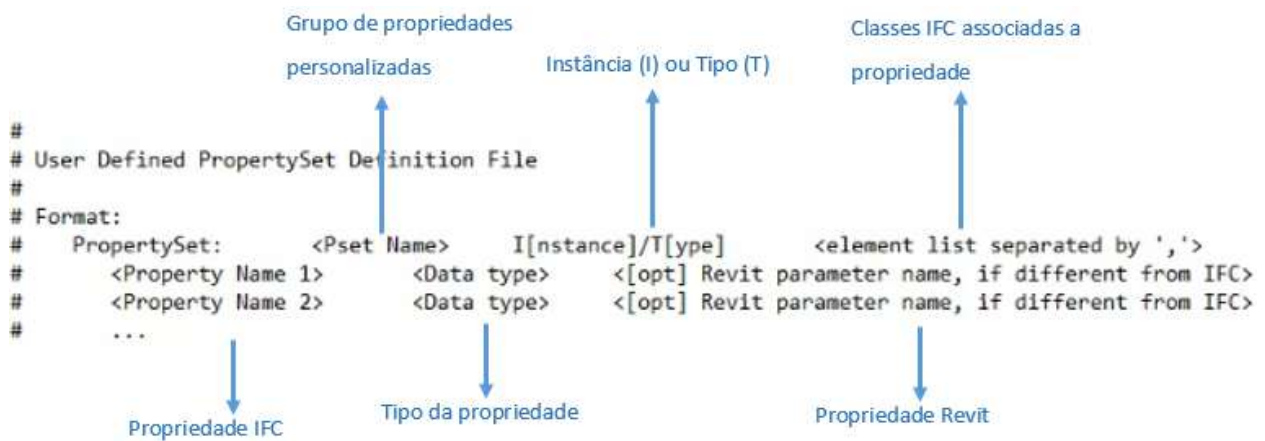


Figura 4.10- Instruções para personalizar a associação de propriedades dos elementos no *Revit* em modelos IFC.

A seguir será desenvolvido um exemplo simples de mapeamento de classes e parâmetros e conversão do modelo no *Revit* para IFC. O resultado será observado em um visualizador IFC, que como dito antes, serve de ponto de controle de projeto ao mostrar toda informação exportada na conversão.

O pórtico da Figura 4.11 é composto por dois pilares metálicos de perfil HEA 300 e uma viga metálica de perfil HEA 240. A distância entre pilares é de 4 metros, a altura de cada pilar é 2,5 metros.

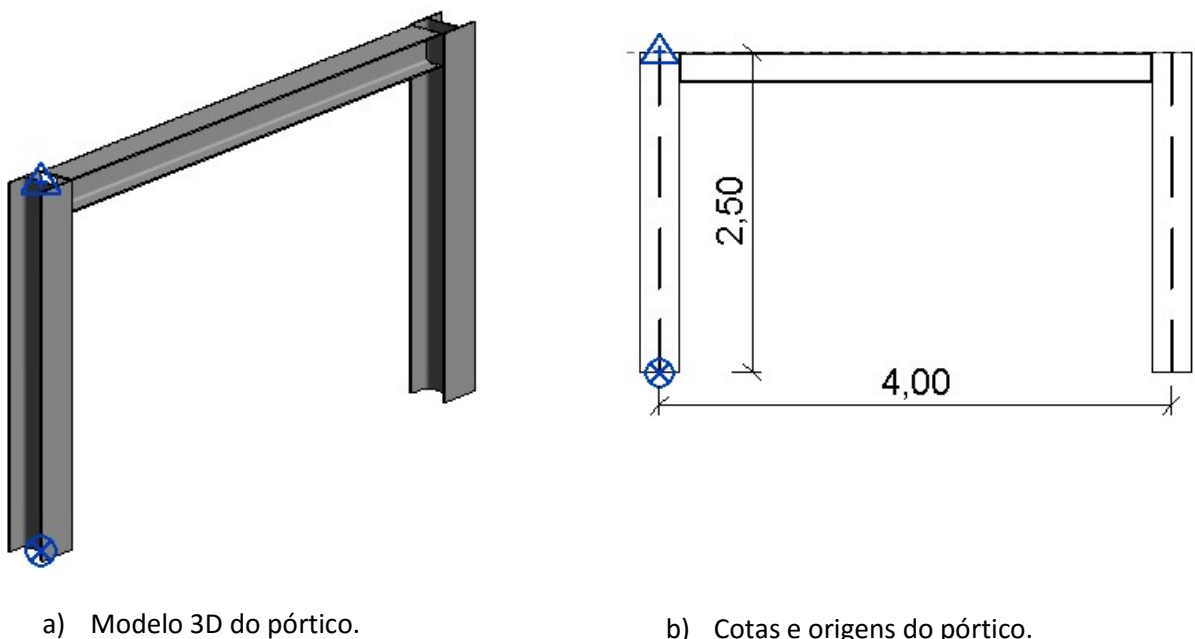


Figura 4.11- Pórtico de pilares e viga metálica

Como pode ser observado na Figura 4.11 o *Project Base Point* foi posicionado na base de um dos pilares, enquanto o *Survey Base Point* foi definido no topo do mesmo pilar. Todos os elementos possuem as propriedades de instância: Referência, Fase de Obra e Localização, conforme a Figura 4.12. Essas

propriedades foram inseridas pelo projetista e, portanto, precisam ser mapeadas para que possam ser visualizadas em um modelo IFC.

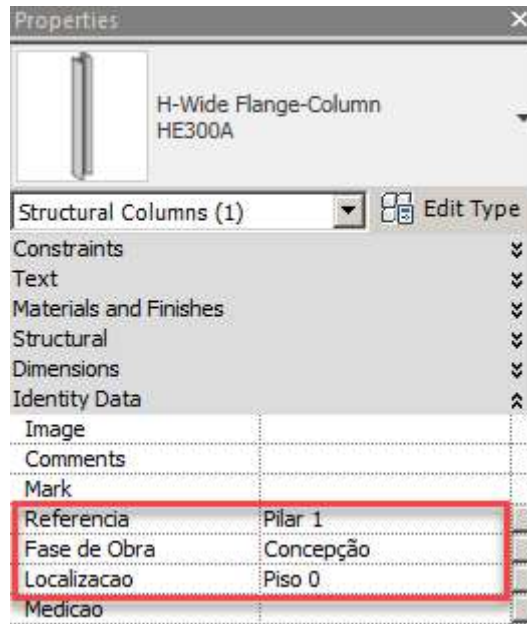


Figura 4.12- Propriedades de instância personalizadas.

O arquivo .txt da Figura 4.13 associa essas propriedades do *Revit* a todos os elementos do modelo IFC, a partir da classe *IfcElement*, que é entidade pai de todos os elementos estruturais, portanto será possível ter acesso a esses parâmetros em todos os elementos que tenham essas propriedades no *Revit*.

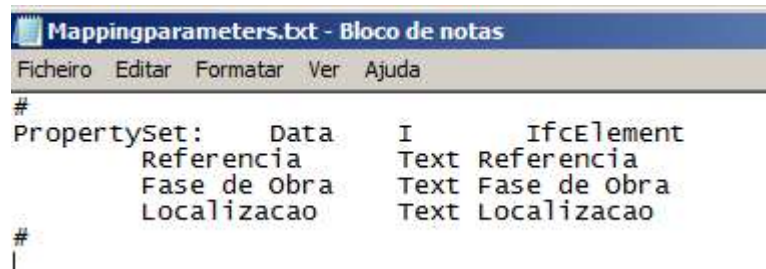


Figura 4.13- Mapeamento que associa propriedades personalizadas no *Revit* a entidade *IfcElement*.

A viga teve a sua classe IFC alterada para a classe *IfcColumn* a partir do parâmetro *IfcExportAs*, como ilustra a Figura 4.14.

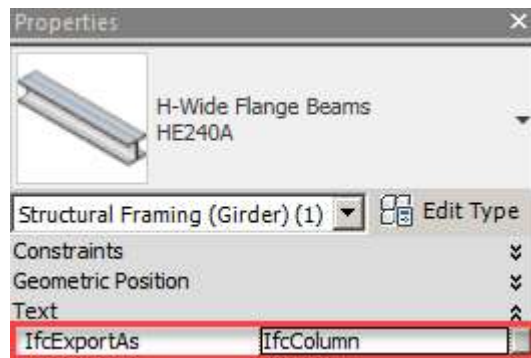


Figura 4.14- Viga exportada como *IfcColumn*

A exportação do modelo segue as instruções presentes nesta secção, e o modelo exportado foi aberto no visualizador IFC, *Solibri*.

Como pretendido os parâmetros personalizados inseridos no *Revit* foram mapeados e exportados junto ao modelo IFC, como ilustrado na Figura 4.15.

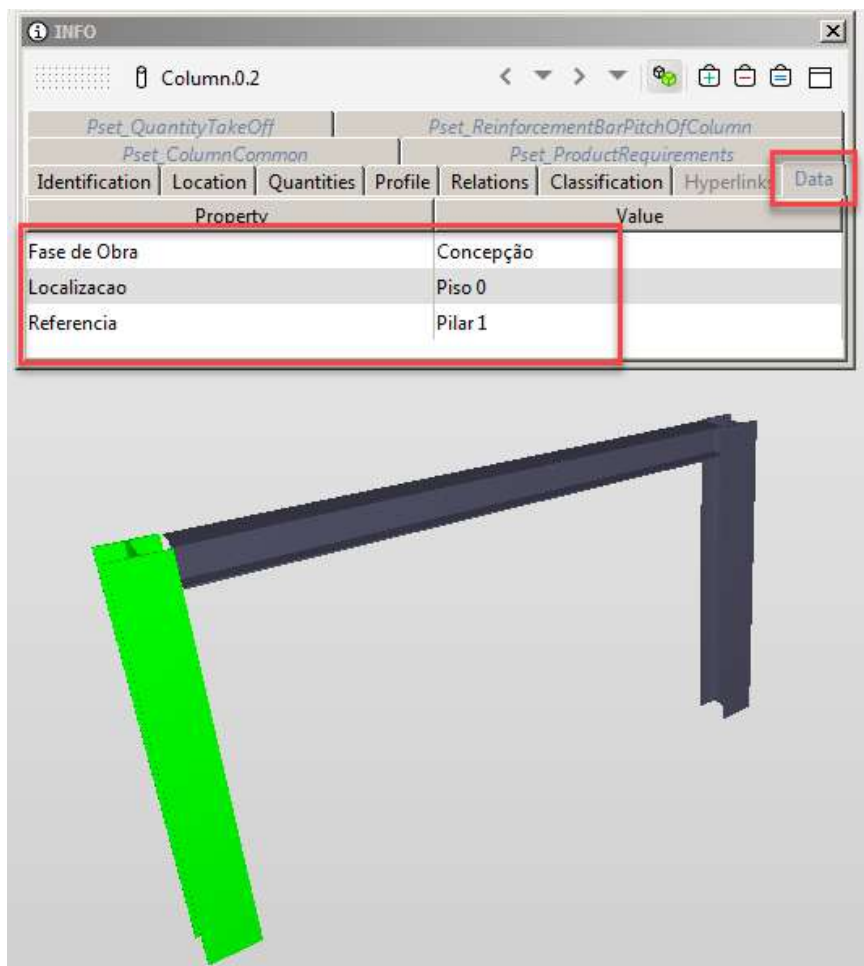


Figura 4.15- Parâmetros do *Revit* mapeados.

A viga com classe IFC alterada foi mapeada como uma coluna na conversão para o modelo, como ilustra a Figura 4.16.

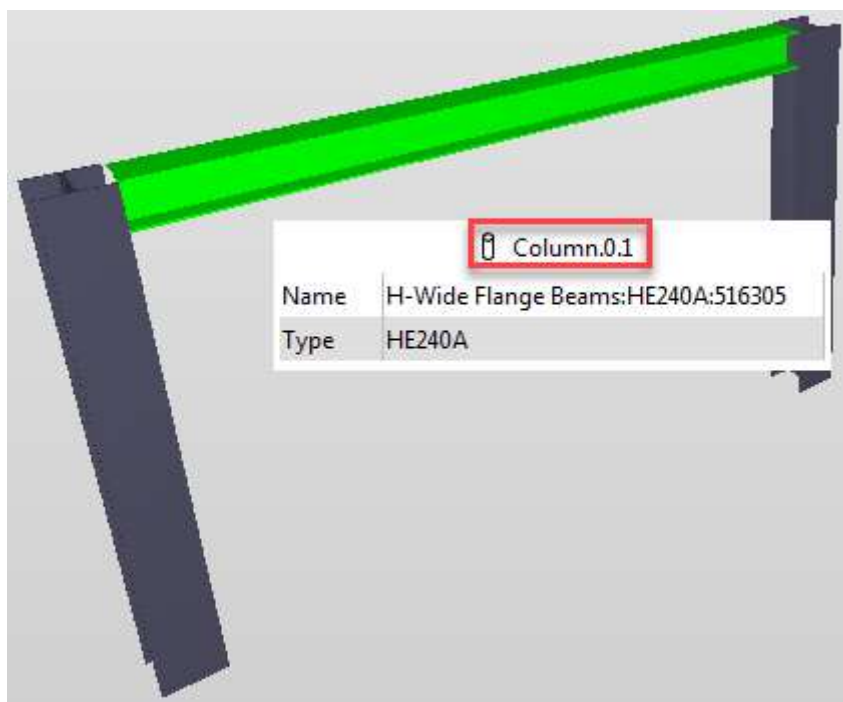


Figura 4.16- Viga mapeada como pilar

A origem do modelo se encontra na base do pilar, onde o *Project Base Point* foi posicionado no *Revit*. A certificação do correto posicionamento pode ser feita observando a posição do segundo pilar, que tem o topo na direção Z a 2,5 metros da origem e na direção X onde está deslocado a 4 metros. Na direção Y não há deslocamento em relação a origem. A Figura 4.17 ilustra a posição do pilar 2.

INFO Column.0.3

*Pset\_QuantityTakeOff* | *Pset\_ReinforcementBarPitchOfColumn*  
*Pset\_ColumnCommon* | *Pset\_ProductRequirements*

Identification | Location | Quantities | Profile | Relations | Classification | Hyperlinks

Property	Value
Site	Default
Building	
Floor	Apagar
Federated Floor	Apagar
Top Elevation	0 mm
Bottom Elevation	-2.50 m
Distance to Next Floor	2.50 m
Global Top Elevation	2.50 m
Global Bottom Elevation	0 mm
Global X	4.00 m
Global Y	0 mm

Figura 4.17- Posição do pilar 2.

## 4.2.2 Conversão IFC-Tekla Structure

Assim como na exportação do modelo a partir do *Revit*, a importação do ficheiro IFC também precisa de uma preparação para que se aproveite o maior número de informações possíveis e da maneira correta. Desta forma, é importante que haja o correto mapeamento de materiais e secções no *Tekla* para manipulação e fabrico dos elementos.

O procedimento no *Tekla* inicia-se com a importação de um modelo de referência, um contorno com as informações IFC exportadas do qual converte-se elementos IFC em elementos nativos do programa, que contém propriedades e podem ser manipulados pelo usuário. A introdução deste modelo de referência é acessada no separador direito, a partir da opção *Reference Models*, como ilustrado na Figura 4.18.

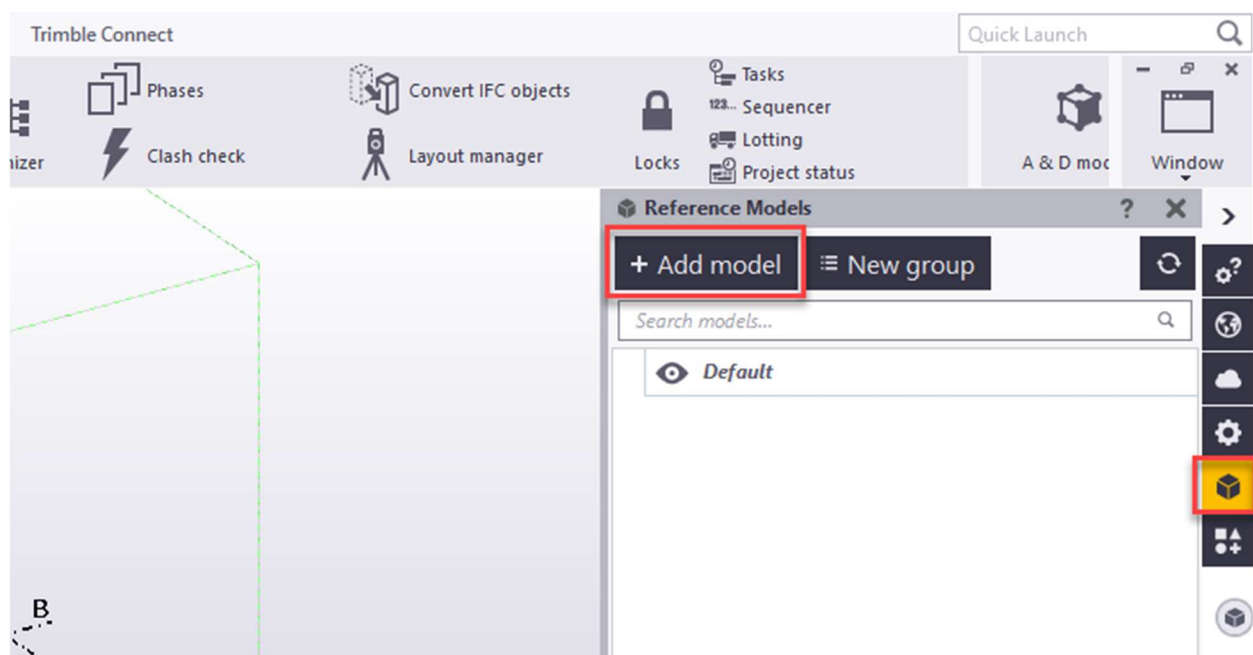


Figura 4.18- Inserir modelo de referência IFC no *Tekla*.

Após inserir o modelo de referência é preciso realizar o processo de conversão dos elementos IFC para elementos nativos. O *Tekla* deve ser preparado para a conversão ajustando o mapeamento de secções, materiais e propriedades.

### 4.2.2.1 Mapeamento de secções

O mapeamento de secções paramétricas, como é o caso dos perfis metálicos, é feito por certa lógica de programação do *software* que não é acessível e não pode ser alterada. Ao converter um objeto paramétrico o programa primeiro identifica a secção através de sua geometria e a associa a uma secção da sua base de dados. Se não houver uma secção igual em sua base dados o *Tekla* recorre a associação por um elemento do mesmo nome em seu catálogo de perfis. Em último caso é possível mapear os

elementos manualmente, através de arquivos .txt que podem ser acessados no menu de definições de conversão, conforme ilustra a Figura 4.19.

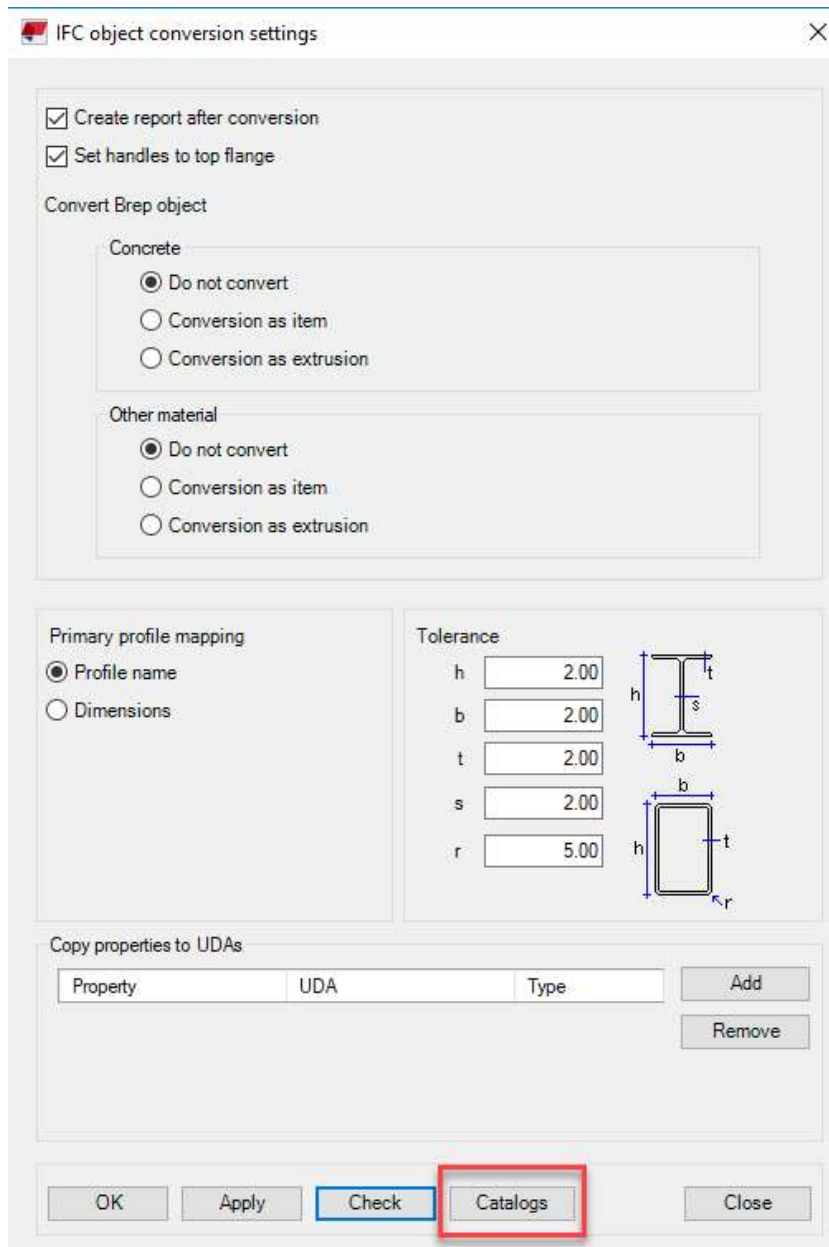


Figura 4.19- Menu de opções de conversão de objetos IFC.

As Figuras 4.20 e 4.21 ilustram os arquivos que representam o catálogo de seções e o mapeamento. O arquivo referente ao mapeamento deve ser editado conforme orientado na primeira linha, colocando o nome da seção como aparece no *Revit* seguido de ";" e o nome a ser associado no catálogo do *Tekla*.

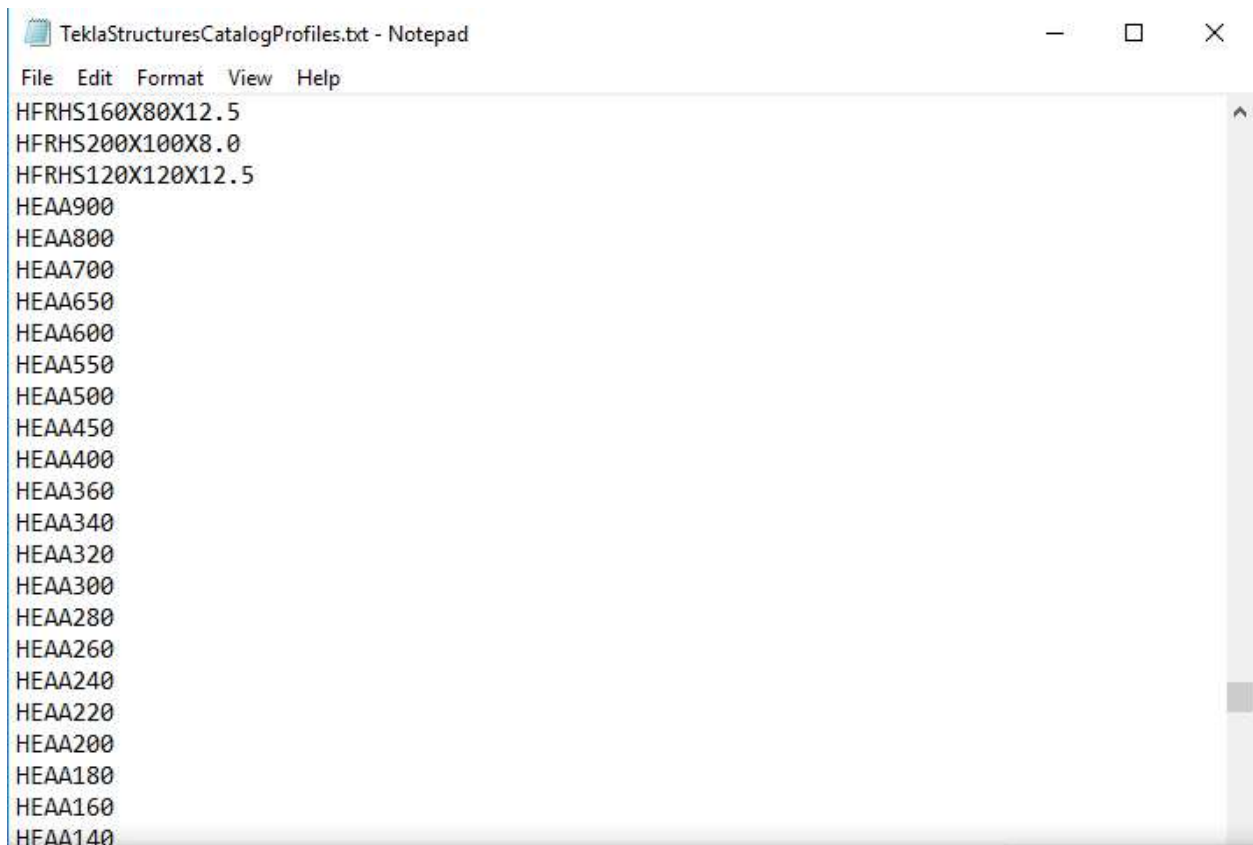


Figura 4.20- Catálogo de secções

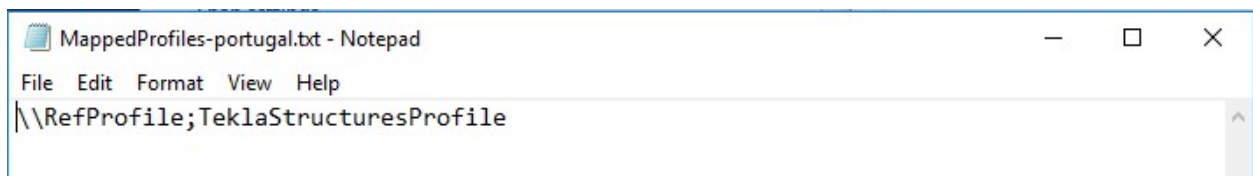


Figura 4.21- Mapeamento de secções

#### 4.2.2.2 Mapeamento de materiais

A correta associação de materiais na conversão do modelo só ocorre se o nome do material definido no *Revit* for exatamente igual aos materiais existentes na base de dados do *Tekla*. É possível, porém, mapear os materiais com nomes não coincidentes através do mesmo menu em que é mapeado as secções, conforme a Figura 4.19.

As Figuras 4.22 e 4.23 apresentam os arquivos que representam o catálogo de materiais e o mapeamento, que se comporta da mesma maneira que o mapeamento de secções, coloca-se o nome do material como aparece no *Revit* seguido de “;” e o nome do material a ser associado no catálogo do *Tekla*.

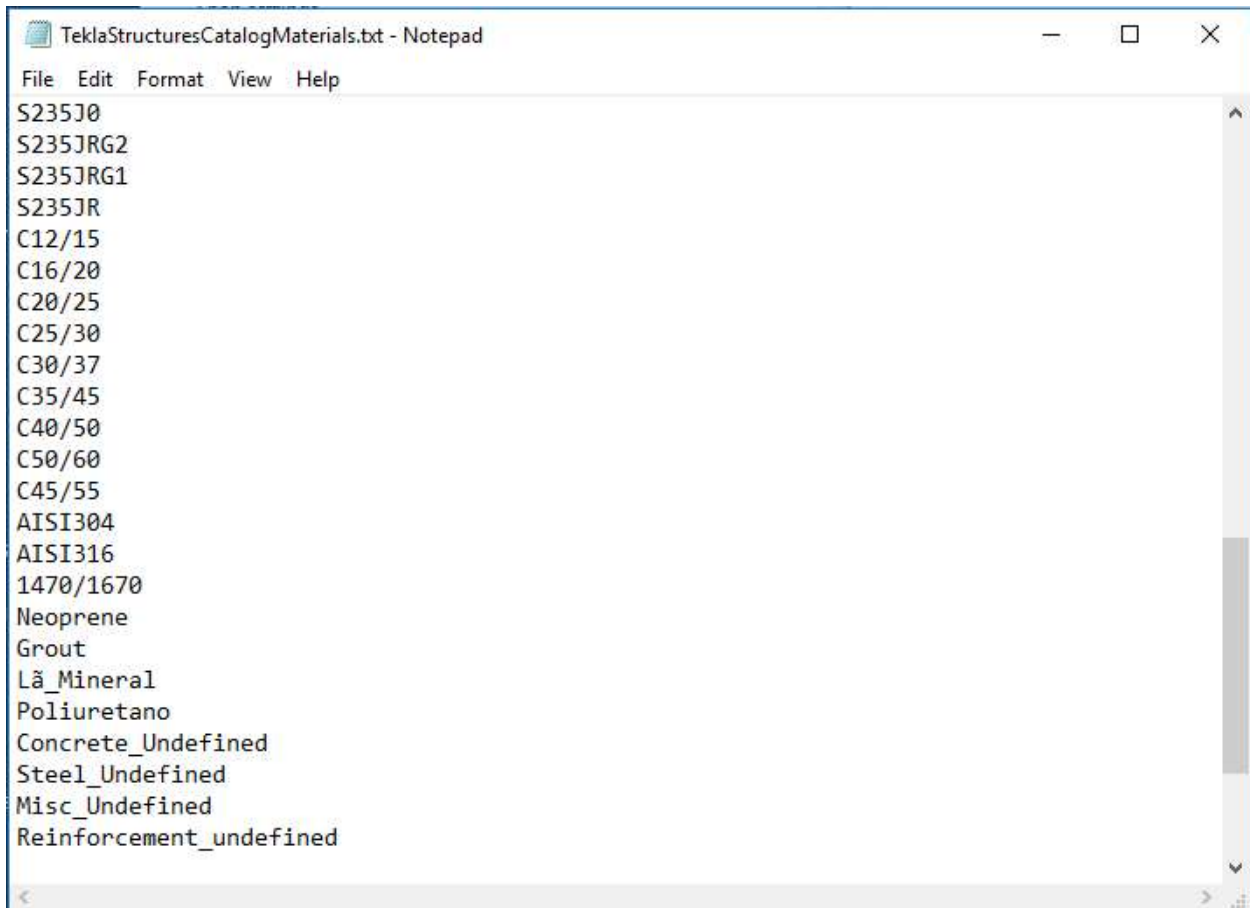


Figura 4.22- Catálogo de materiais.

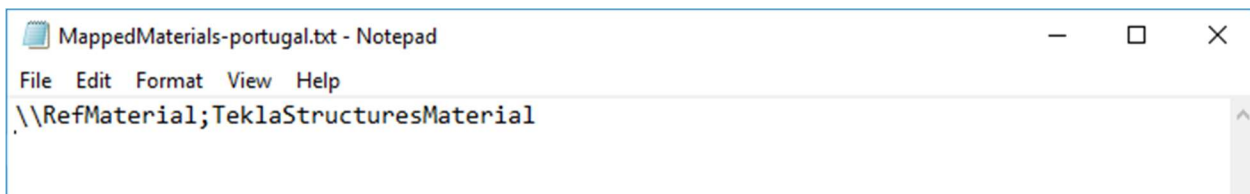


Figura 4.23- Mapeamento de materiais.

### 4.2.2.3 Mapeamento de propriedades

As propriedades personalizadas no *Revit*, apresentadas na secção anterior apesar de serem exportadas junto do modelo IFC, precisam também ser mapeadas no *Tekla* através de edição de arquivos que associam a propriedade IFC a uma propriedade definida pelo usuário do *Tekla*. O primeiro passo neste processo é descobrir as propriedades IFC que foram personalizadas no *Revit* e estão presentes no modelo IFC. Essas propriedades podem ser encontradas selecionando com o botão direito do *mouse* os objetos IFC antes de serem convertidos e selecionando a opção *inquire*, como ilustrado na Figura 4.24.

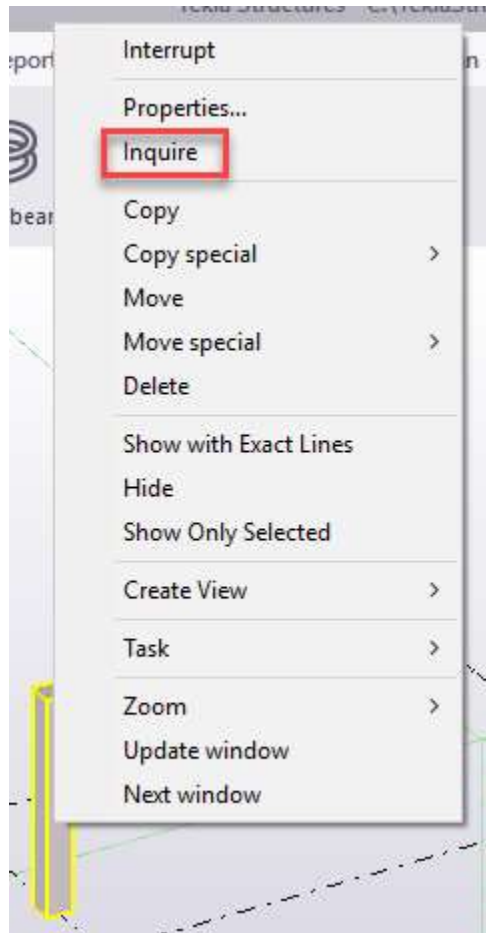


Figura 4.24- Acesso as propriedades IFC dos elementos.

A partir dessa opção se tem acesso ao conjunto de propriedades do elemento, com uma secção destinada apenas às propriedades personalizadas, como mostra a Figura 4.25. Estas são a propriedades as quais deve-se associar os atributos personalizados no *Tekla*.

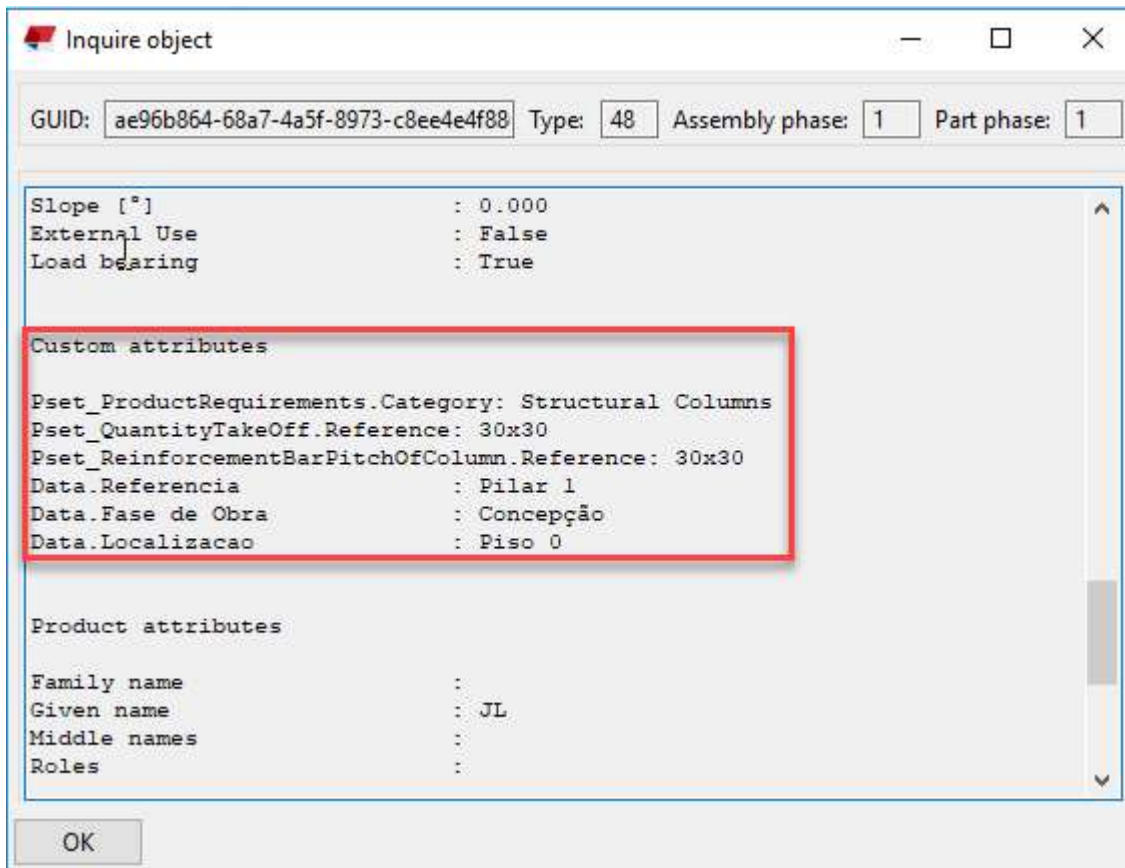


Figura 4.25- Propriedades IFC personalizadas pelo usuário.

Os atributos definidos pelo usuário no modelo são criados e extraídos do arquivo *objects.inp* que deve ser inserido na pasta *Model*, dentro das pastas do programa no disco rígido do computador. O arquivo *objects.inp* pode ser editado através de um leitor .txt. A Figura 4.26 ilustra o arquivo editável e faz referência aos campos personalizáveis.

```

objects.inp - Notepad
File Edit Format View Help

/*****
/* Part attributes */
*****/
part(0,"Part")
{
  /* User defined tab page */
  tab_page("Revit Information")
  {
    /* User defined attribute */
    attribute("REF", "Referencia", string,"%s", no, none, "0,0", "0,0")
    {
      value("", 0)
    }

    /* User defined attribute */
    attribute("FASE", "Fase de Obra", string,"%s", no, none, "0,0", "0,0")
    {
      value("", 0)
    }
  }
  tab_page("Revit Information", "Revit Information", 19)
  modify (1)
}

/*****
/* Column attributes */
*****/
column(0,"j_column")
{
  /* Reference to the user defined tab page that is defined above in */
  /* the part() section: */
  tab_page("Revit Information", "Revit Information", 19)
  modify (1)
}

```

Figura 4.26- Arquivo para criar propriedades do usuário no Tekla.

Ao ter conhecimento das propriedades IFC personalizadas e ter criado os atributos é preciso associar essas propriedades através de um mapeamento disponível no mesmo menu da Figura 4.19. A Figura 4.27 ilustra o procedimento a ser realizado. Na coluna UDA coloca-se a abreviação referida na Figura 4.26, na coluna *Property* coloca-se a propriedade IFC como mostrada na Figura 4.25.

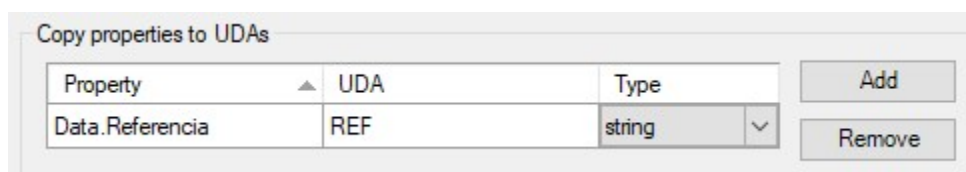


Figura 4.27- Mapeamento de propriedades IFC com atributos definidos pelo usuário no Tekla.

Ao executar, a partir desse momento, o processo de conversão dos elementos IFC, eles terão em sua barra de propriedades os atributos criados com as informações das propriedades IFC a que estão associados. A Figura 4.28 ilustra o menu de propriedades de um elemento.

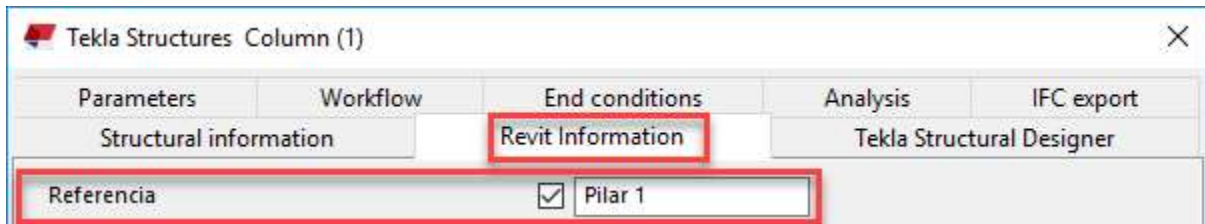


Figura 4.28- Propriedades de um elemento nativo do *Tekla* mapeada com a propriedade IFC.

### 4.3 LIMITAÇÕES

Uma importante atenção no uso de ficheiros IFC como ferramenta de integração entre os vários participantes de um projeto é a identificação dos principais problemas de interoperabilidade e limitações que o formato IFC apresenta na troca de informações pela realização de testes de interoperabilidade, aqui com especial ênfase para a vertente dos elementos estruturais. As conclusões extraídas servirão principalmente como alerta para as dificuldades na realização de trocas entre a modelação no *Revit* e o fabrico no *Tekla*.

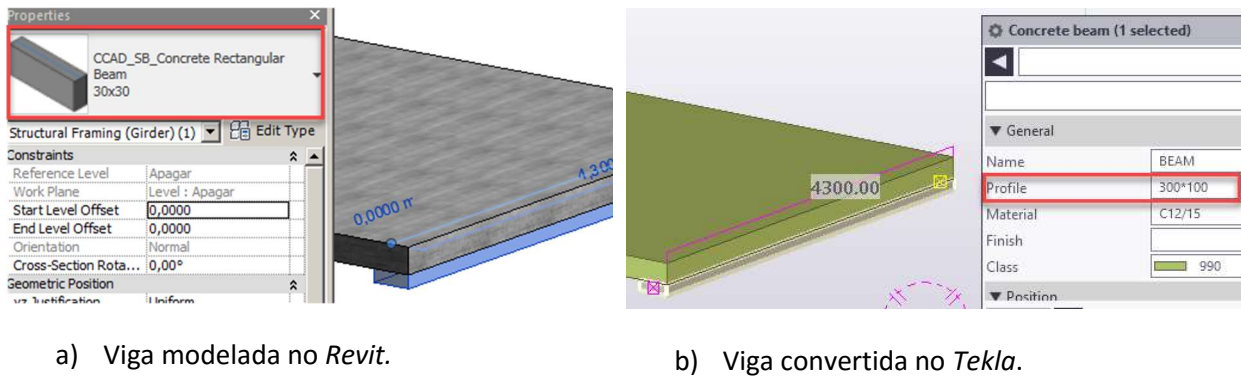
Esses testes de interoperabilidade usando ficheiros IFC mostram que existe uma dificuldade dos próprios desenvolvedores de *software* em compreender a arquitetura do esquema IFC, além da falta de guias para usuários iniciantes expondo em casos práticos o passo a passo para realizar uma conversão IFC eficiente.

Portanto, o objetivo desta secção foi a documentação de limitações encontradas em casos práticos na conversão dos arquivos IFC do *Revit* para o *Tekla*.

#### 4.3.1 Interpretação de elementos unidos no *Revit*.

Elementos que forem unidos no *Revit* através da ferramenta *Join* serão interpretados de forma errada pelo *Tekla*.

No exemplo da Figura 4.29 onde mostra a relação entre uma laje e uma viga de betão 30x30 no *Revit* é interpretada com erros pelo *Tekla*. Como a laje ganha a viga no modelo inicial, a viga perde as dimensões da parte que está em zona de intersecção com a laje.



a) Viga modelada no Revit.

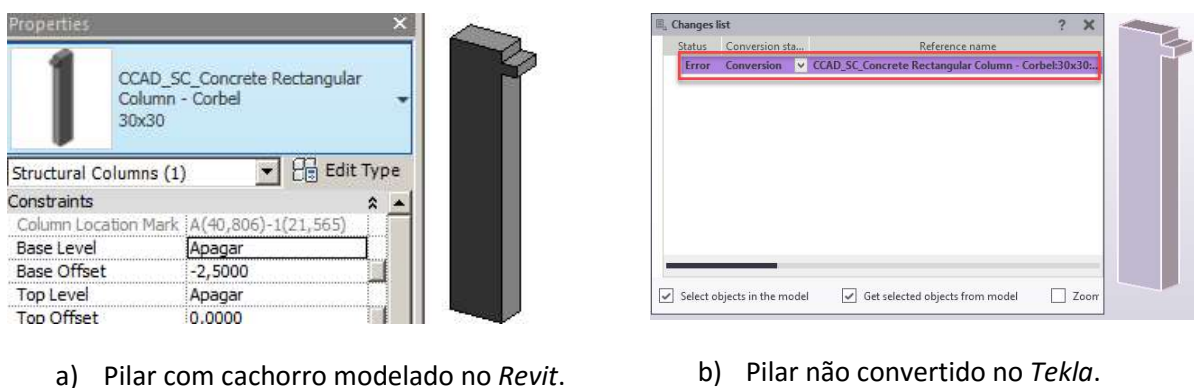
b) Viga convertida no Tekla.

Figura 4.29- Limitação com viga unida a laje.

### 4.3.2 Geometrias complexas

As geometrias de baixa complexidade são um dos poucos tipos de dados que geralmente são transferidos sem que se relate qualquer tipo de problemas de interoperabilidade. Para o caso dos restantes tipos de informações como relações entre objetos, propriedades e até mesmo geometrias mais complexas são necessários determinados cuidados pois é provável que ocorram problemas na conversão desse tipo de informações ditas mais complexas.

A Figura 4.30 ilustra um pilar com consola modelado no Revit que não consegue ser convertido no Tekla. Essa limitação é proveniente do entendimento do Tekla sobre a geometria de um pilar. O Tekla compreende que os elementos estruturais possuem secções constantes ao longo do eixo axial do elemento. No caso do pilar com a consola a secção é irregular ao longo do eixo axial do pilar e por isso gera a confusão no software.

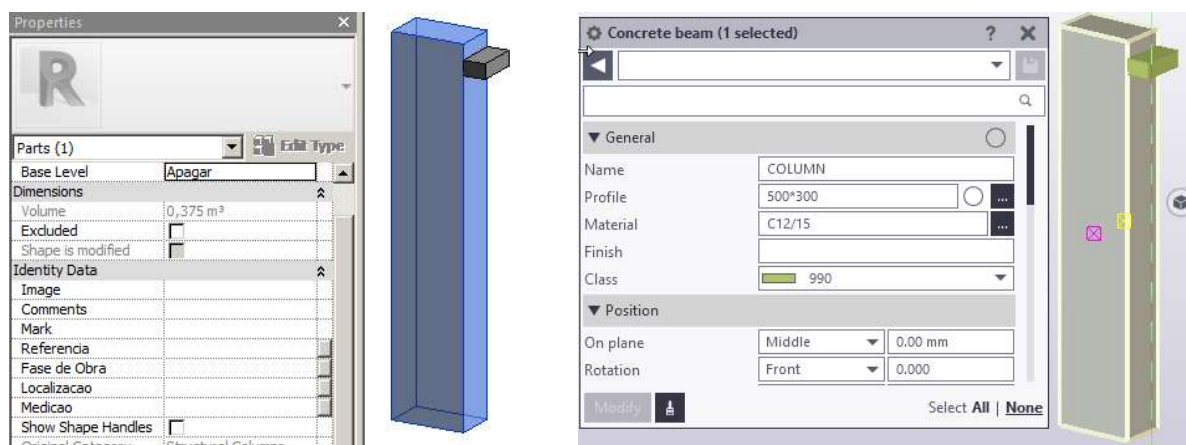


a) Pilar com cachorro modelado no Revit.

b) Pilar não convertido no Tekla.

Figura 4.30- Limitação na conversão de geometrias complexas.

Para a modelação desses elementos com geometria mais complexa sugere-se dividir o objeto em partes regulares antes de exportar, isso pode ajudar na criação de objetos prontos para produção real. A Figura 4.31 ilustra o pilar com consola dividido em partes no Revit e a conversão do objeto importado pelo Tekla.



a) Pilar dividido em partes para exportação,      b) Pilar convertido em partes no *Tekla*.

Figura 4.31- Conversão de pilar com cachorro em partes pelo *Tekla*.

### 4.3.3 Falta de classes IFC

O IFC é um formato de troca, não é um formato comum como os formatos proprietários do *Revit* e do *Tekla*. O IFC é projetado para ser um formato que troca apenas dados entre outros formatos. O que acontece na prática quando se importa o IFC em um *software* é que o programa associa as linhas de código do ficheiro IFC à elementos e propriedades nativas.

A conversão de um modelo a partir de um *software* para um ficheiro IFC faz-se pela identificação dos elementos que constituem esse modelo (dados geométricos, propriedades e relações). Depois pela discriminação de categorias numa tabela interna do programa, este faz a correspondência entre as suas categorias que suporta e a classe IFC respectiva que reproduz o mesmo tipo de informação. Devido à limitação que existe na quantidade de categorias da tabela de correspondência, muita informação é perdida ao longo de uma transferência de informação pôr o formato IFC.

Como já referido a complexidade da estrutura de esquema IFC ainda dificulta e limita a interoperabilidade entre sistemas, pois cada *software* organiza elementos e informações de maneiras diferentes ao alocar informações em entidades IFC de diferentes domínios o que resulta no não reconhecimento desses elementos em outro *software* com outra organização. Essa falta de uniformidade resulta, muitas vezes, na perda de informações de um modelo.

No caso prático entre o *Revit* e *Tekla*, foi possível constatar que apesar de ambos os programas terem alguns elementos estruturais, como conexões metálicas e armadura de reforço, esses objetos não são reconhecidos na importação do *Tekla*.

## CAPÍTULO 5

### CASO DE ESTUDO

Com o intuito de colocar em prática a utilização de algumas ferramentas BIM e de experimentar e aferir os conceitos e práticas recomendados nesta dissertação, optou-se pela aplicação de um caso de estudo, procurando retratar a forma como pode ser aplicada a interoperabilidade na concepção de um projeto estrutural. Para o caso de estudo foram usados os programas *Revit*, para concepção do modelo digital, *Robot* para análise estrutural e redimensionamento dos elementos estruturais, e o *Tekla Structure* para conversão de modelo IFC e preparação dos elementos para o fabrico.

Neste capítulo será descrito um projeto real, já desenvolvido no gabinete da CCAD pelos métodos tradicionais, e que para essa dissertação foi desenvolvido pelas ferramentas BIM mencionadas. Os resultados existentes serviram de comparação para validação do modelo deste estudo de caso. O projeto consiste em um edifício de 5 pavimentos composto por elementos em betão armado.

A metodologia de modelação apresentada no capítulo 3 e 4 foi aplicada no estudo de caso e serviram de base para concepção do modelo estrutural.

#### 5.1 DESCRIÇÃO

O caso selecionado é de um edifício constituído por 4 pisos elevados e por uma cave destinada a estacionamento, cuja elaboração do estudo prévio foi da responsabilidade da CCAD.

A solução estrutural adotada consiste em pilares, vigas e paredes de betão armado que suportam lajes maciças fungiformes. No que diz respeito às fundações preconizou-se uma solução de sapatas isoladas e contínuas betonadas diretamente contra o terreno.

#### 5.2 ARQUITETURA

Na Figura 5.1 e Figura 5.2 é apresentada a planta de arquitetura do piso tipo e um corte transversal do edifício, respectivamente, que serviram de base para a concepção estrutural.

O edifício a construir é constituído por 5 pisos. Na zona mais baixa do edifício (Nascente), este desenvolve-se em 3 pisos elevados. Como se pode observar pelos elementos arquitetónicos, a geometria em planta não possui formas complexas. O edifício apresenta área de implantação de 1310 m<sup>2</sup> e uma altura de 14,75 m. O pé direito entre pisos é de 3 m.

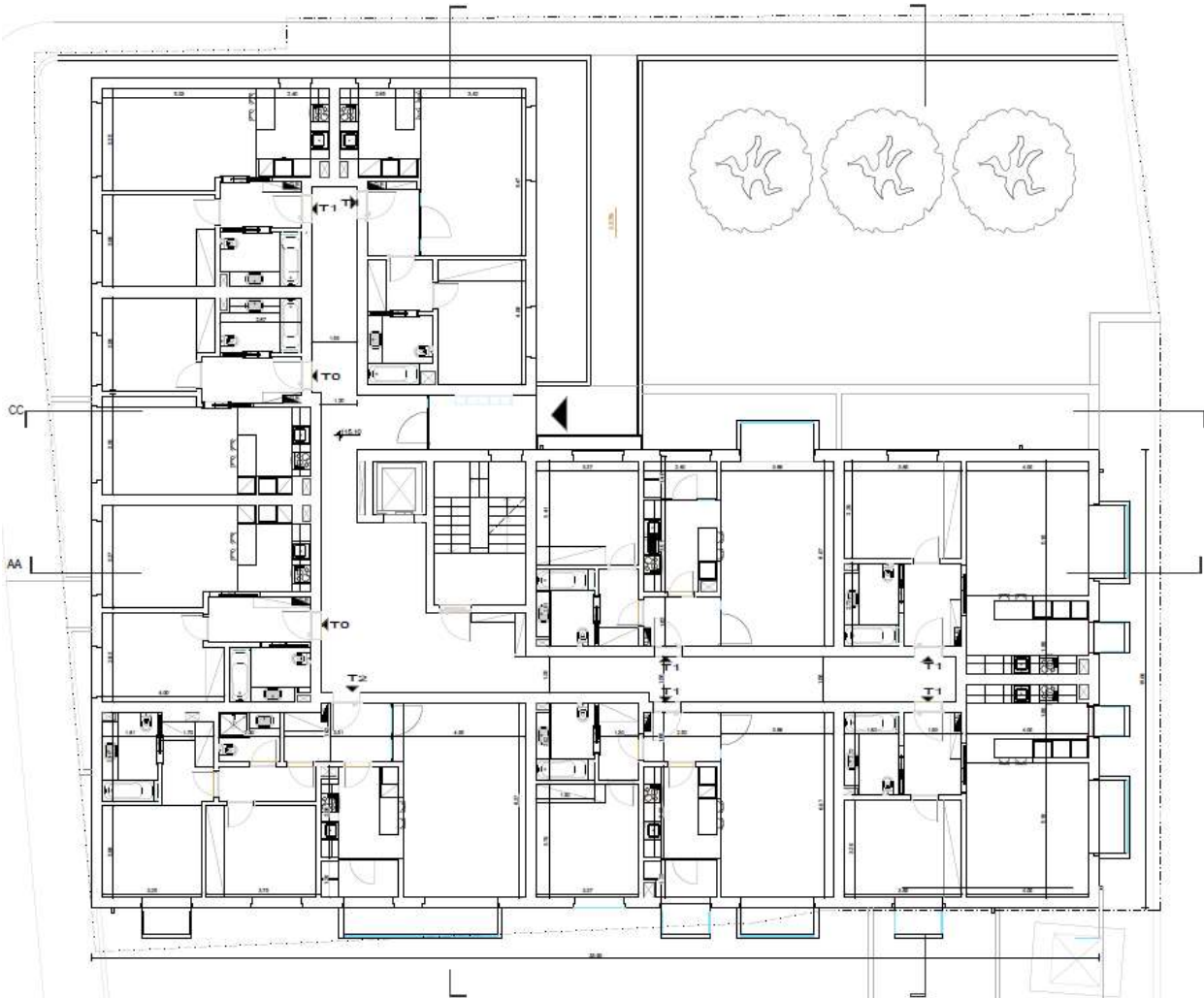


Figura 5.1- Planta de arquitetura do piso tipo

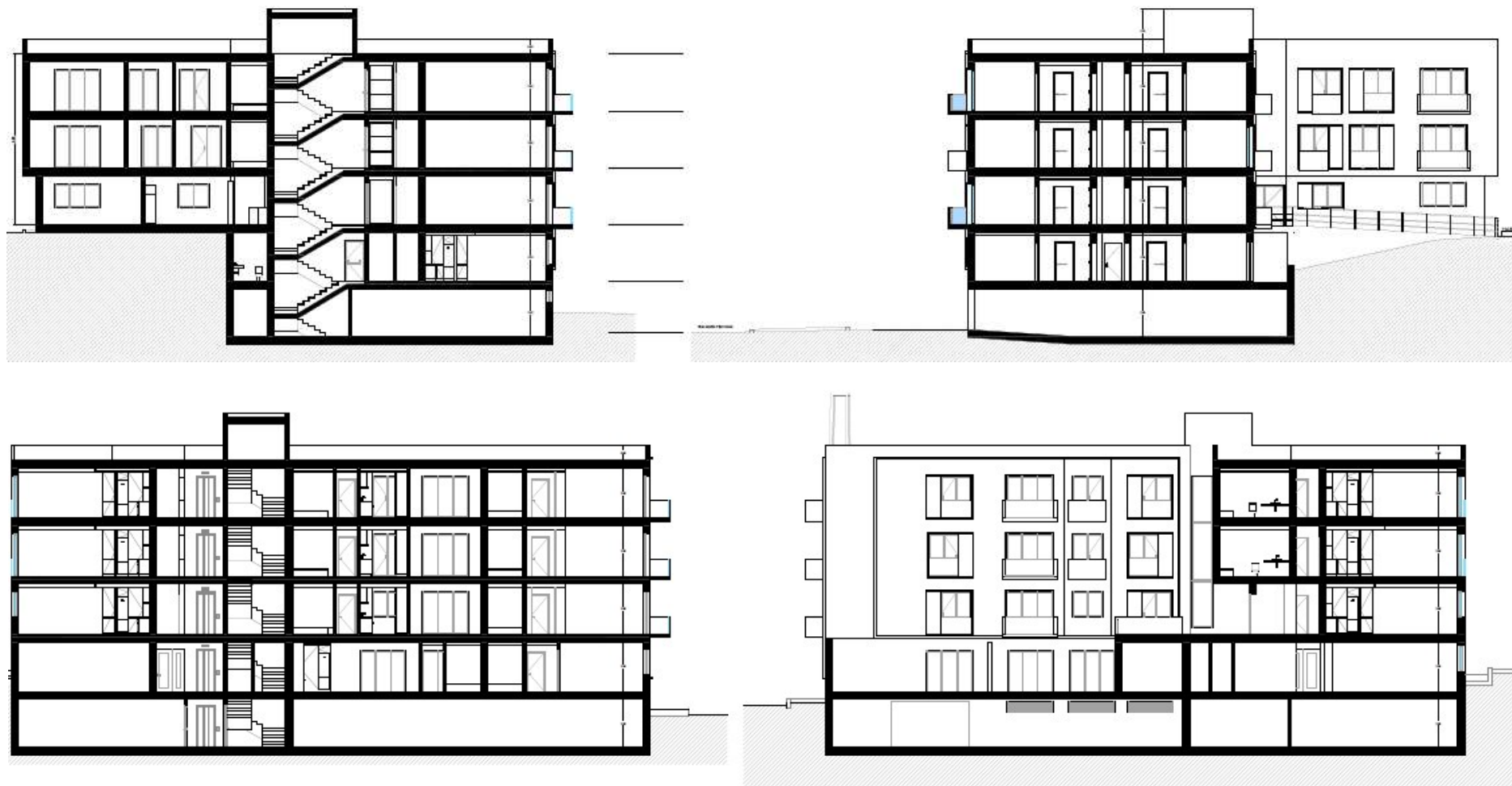


Figura 5.2- Cortes transversais do edifício.



### 5.3 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL

Inicialmente é necessário estabelecer uma solução estrutural e definir os materiais e as ações a aplicar. A estrutura admitida é constituída por uma laje fungiforme maciça em betão armado, com 0,25 m de espessura.

As vigas possuem secção retangular com 0,25x0,55 m e contornam o perímetro nos pisos 0, 1, 2 e cobertura. O piso -1 contém paredes de contenção com 0,25 m de espessura no seu perímetro e suportam terras, com alturas variáveis. As caixas de escadas e de elevadores são compostas por paredes com 0,25m e 0,20m de espessura e servem como contraventamento às ações horizontais.

Para os elementos verticais de suporte das lajes, optou-se por uma solução que consiste em pilares de 0,25x0,40 m. Para a fundação foram definidas sapatas de 3,0x3,0x0,8 m.

Na Figura 5.3 é apresentada a disposição estrutural tridimensional dos elementos do edifício.

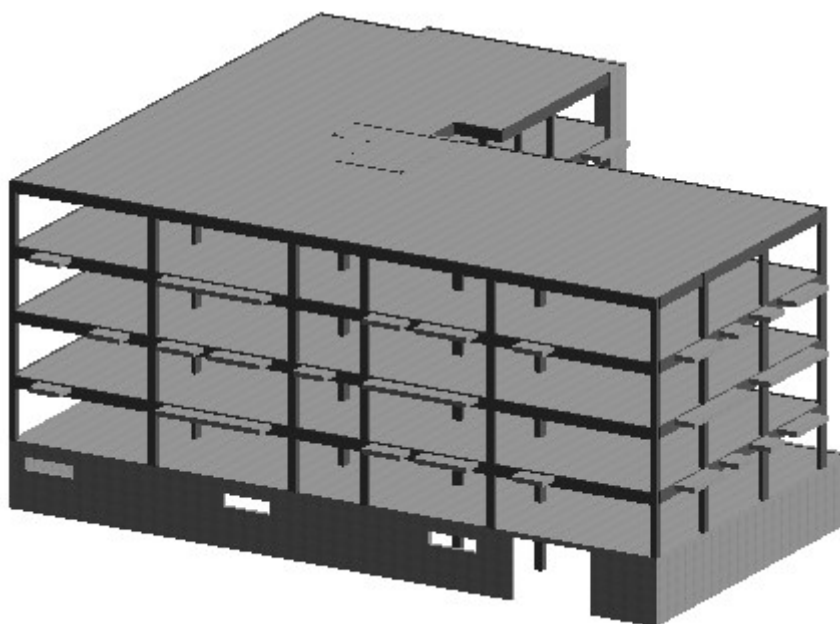


Figura 5.3- Perspectiva tridimensional dos elementos do edifício.

#### 5.3.1 Materiais

Todos os materiais obedecem à regulamentação correspondente em vigor. Assim, as especificações relativas ao betão, nomeadamente as classes de resistência, composição do mesmo e recobrimentos respeitam a Especificação LNEC E464-2007 – Betões – Metodologia prescritiva para uma vida útil de projeto de 50 e de 100 anos face às ações ambientais, sendo as classes de exposição definidas de acordo

com a norma NP EN 206-1 de 2007. O betão a aplicar em todos os elementos estruturais será da classe C30/37.

Apresenta-se na tabela 5.1 os materiais com todas as especificações adotadas para os diversos elementos estruturais.

Tabela 5.1- Quadro de materiais

QUADRO DE MATERIAIS							
Tempo de vida útil da estrutura				Categoria 4, 50 anos (EN 1990)			
Requisitos de inspeção				Classe de Inspeção 2 (NP EN 13670:2011)			
Classe de execução de estruturas metálicas				EXC2 (EN 1090)			
BETÃO							
Em conformidade com o estipulado na NP EN 206-1:2007							
Elemento	Classe	Recobrimento [mm]		Exposição ambiental	Cloretos	D <sub>máx</sub> [mm]	Consistência
		Armadura passiva	Armadura de pré-esforço				
Pavimento Térreo	C30/37	40	-	XC4(P)	CL0,40	22	S3
Lajes	C30/37	30	-	XC1(P)	CL0,40	22	S3
Vigas e Pilares	C30/37	35	-	XC1(P)	CL0,40	22	S3
Paredes	C30/37	30	-	XC1(P)	CL0,40	22	S3
Sapatas e Lintéis	C30/37	50	-	XC2(P)	CL0,20	22	S3
Paredes de Contenção	C30/37	40	-	XC4(P)	CL0,20	22	S3
Regularização	C12/15	-	-	X0(P)	CL1,0	-	S3
Enchimento	LC16/18	-	-	X0(P)	CL1,0	Classe da massa volúmica D 1,0 (800 kg/m <sup>3</sup> )	
AÇO							
Elemento		Classe		Norma			
Armadura Ordinária		A500NR		EN 10080			
Rede electrossoldada		A500EL		EN 10080			

## 5.3.2 Ações

A quantificação e combinação de ações, no que diz respeito aos pesos próprios, sobrecargas, vento, foram feitas de acordo com o Regulamento de Segurança e Ações em Estruturas de Edifícios e Pontes (R.S.A.). O sismo foi quantificado através do Eurocódigo 8 e respectivos anexos nacionais. As cargas permanentes resultantes dos elementos construtivos instalados foram definidas com base no peso próprio dos materiais e suas características.

### 5.3.2.1 Ações Permanentes

#### 5.3.2.1.1 Peso Próprio da Estrutura

Elementos estruturais de betão armado ..... $\gamma = 25,0 \text{ kN/m}^3$

Elementos estruturais de aço..... $\gamma = 77,0 \text{ kN/m}^3$

#### 5.3.2.1.2 Restantes Cargas Permanentes

Habituação .....	3,75 kN/m <sup>2</sup>
Varandas .....	1,5 kN/m <sup>2</sup>
Cobertura .....	3,75 kN/m <sup>2</sup>
Impulsos Terras .....	20,0 kN/m <sup>3</sup>

#### 5.3.2.2 Acções variáveis

##### 5.3.2.2.1 Sobrecargas de Utilização

Habituação .....	2,00 kN/m <sup>2</sup> ( $\psi_0=0,4$ / $\psi_1=0,3$ / $\psi_2=0,2$ )
Varandas .....	5,00 kN/m <sup>2</sup> ( $\psi_0=0,4$ / $\psi_1=0,3$ / $\psi_2=0,2$ )
Cobertura .....	1,00 kN/m <sup>2</sup> ( $\psi_0=\psi_1=\psi_2=0$ )
Tardoz das paredes de contenção .....	10,00 kN/m <sup>2</sup> ( $\psi_0=0,6$ / $\psi_1=0,4$ / $\psi_2=0,2$ )

#### 5.3.2.3 Vento

A ação do vento foi quantificada admitindo que a construção se insere na Zona A, com um coeficiente de rugosidade aerodinâmica do solo do Tipo II, conforme definido no Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas de Edifícios e Pontes (R.S.A.). Foram adotados os coeficientes de pressão definidos no anexo I do R.S.A.

#### 5.3.2.4 Sismo

A ação sísmica foi quantificada através de espectros de resposta, de acordo com o Eurocódigo 8 (EC8) e os respectivos anexos nacionais. Considerou-se que o edifício se situa na zona sísmica 1.6, para o sismo do tipo 1, com uma aceleração de referência de 0,35 m/s<sup>2</sup>; para o sismo do tipo 2, o edifício pertence à zona 2.5, com uma aceleração de referência de 0,8 m/s<sup>2</sup>. Admitiu-se a classe II para a estrutura, o que implica um coeficiente de importância de 1,0 para a ação sísmica tipo I e ação sísmica tipo II. Para o tipo de terreno de fundação considerou-se um terreno do tipo C. O coeficiente de amortecimento adotado foi de 5%.

Relativamente ao coeficiente de comportamento, considerou-se um valor de 3,12. O efeito da ação sísmica é considerado no estudo da estrutura através de uma análise espectral, quantificando a sobreposição modal através do método da raiz quadrada da soma dos quadrados. As combinações direcionais para as duas componentes ortogonais da ação sísmica, Ex e Ey, foram definidas conjugando o

efeito numa direção com 30% da outra componente. A massa considerada na análise corresponde à combinação quase-permanente de ações.

Na Figura 5.4 são apresentados os espectros de resposta de cálculo utilizados na determinação dos efeitos provocados pela ação sísmica.

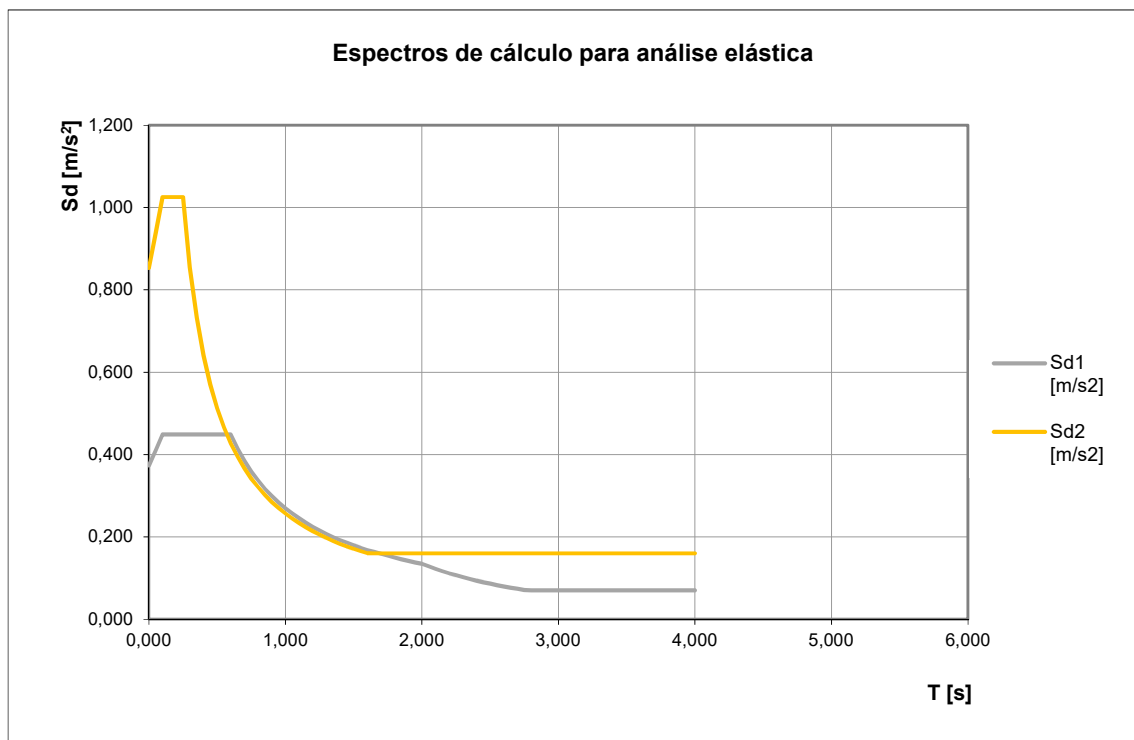


Figura 5.4- Espectro de resposta

### 5.3.2.5 Combinação de ações

As combinações das ações estáticas usadas neste estudo de caso foram definidas de acordo com o R.S.A., considerando-se a possibilidade de combinações fundamentais e combinações acidentais. Para a ação dinâmica do sismo considerou-se a combinação preconizada no EC8. Os critérios de combinação adotados foram os seguintes:

- a) Combinações fundamentais:

$$S_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} S_{Gik} + \gamma_q \left[ S_{q1k} + \sum_{j=2}^n \psi_{oj} S_{Qjk} \right]$$

- b) Combinação sísmica:

$$S_d = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + S_{Ed} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} S_{Qjk}$$

em que:

- $S_{Gik}$  - esforço resultante de uma acção permanente, tomada com o seu valor característico;
- $S_{Qik}$  - esforço resultante de uma acção variável considerada como acção de base da combinação, tomada com o seu valor característico;
- $S_{Qjk}$  - esforço resultante de uma acção variável distinta da acção base, tomada com o seu valor característico;
- $S_{Ed}$  - esforço resultante da acção sísmica de projeto;
- $\gamma_{gi}$  - coeficiente de segurança relativo às acções permanentes;  $\gamma_{gi} = 1,35$ ;
- $\gamma_{qj}$  - coeficiente de segurança relativo às acções variáveis;  $\gamma_{qj} = 1,50$ ;
- $\psi_{0j}, \psi_{1j}, \psi_{2j}$  - coeficientes  $\psi$  correspondentes à acção variável de ordem  $j$ .

## 5.4 MODELAÇÃO REVIT

### 5.4.1 Escolha do template

O *template* próprio da CCAD foi utilizado para a concepção do modelo digital, desta maneira o projeto tem a sua base de dados preparada para as necessidades do gabinete, incluindo famílias de elementos próprios e definições gráficas personalizadas, como ilustrado na Figura 5.5.

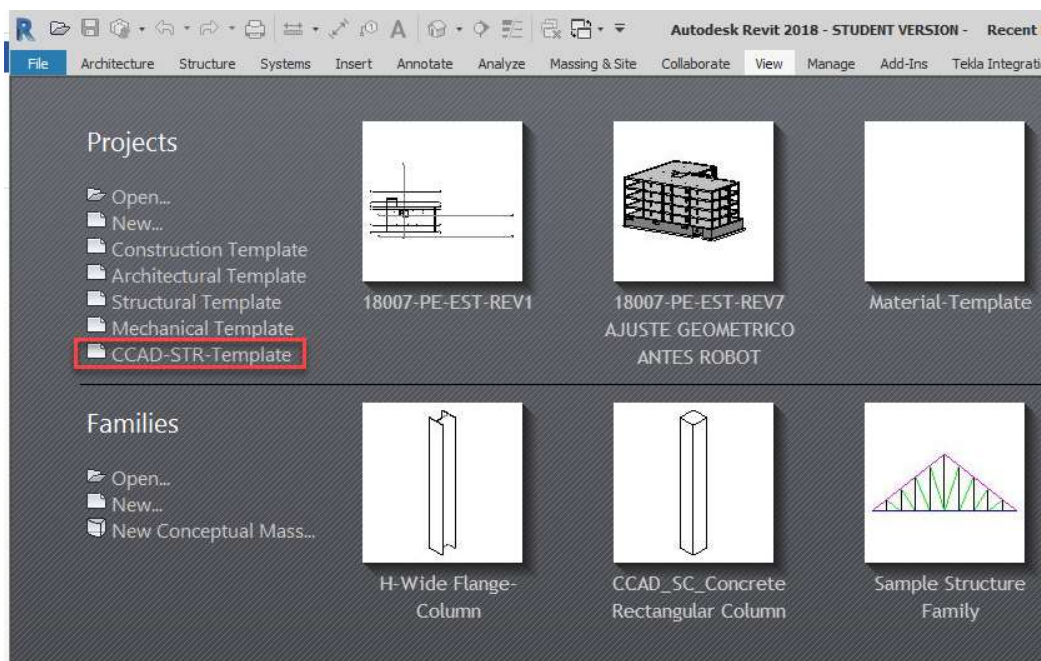


Figura 5.5- Interface inicial.

### 5.4.2 Plantas de arquitetura

As plantas CAD de arquitetura do edifício foram inseridas no *Revit* e serviram de referência para a concepção do modelo estrutural. O *Project Base Point* foi definido a partir de um ponto comum a todas as plantas, desta forma garante-se que os elementos estruturais serão corretamente posicionados. A Figura 5.6 ilustra a planta inserida e *Project Base Point* definido.

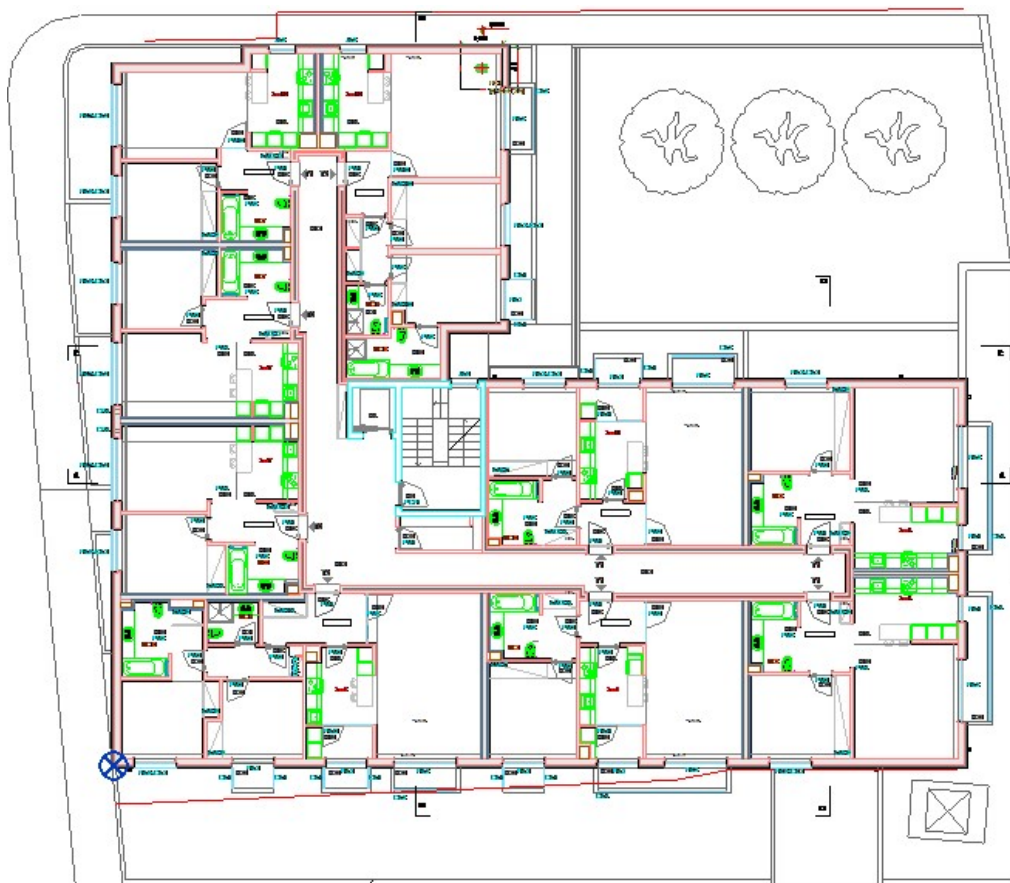


Figura 5.6- Planta do Piso 2 (Teto do Piso 1)

### 5.4.3 Concepção do modelo estrutural

Estabelecidas as bases da modelação, procede-se à concepção do modelo BIM de estruturas. Este foi iniciado pela inserção de pilares, seguido da colocação de paredes estruturais, vigas, lajes, e finalizando com os elementos de fundação. A modelação dos elementos estruturais foi feita com base na arquitetura e posterior ajuste do modelo analítico associado.

A inserção de pilares foi efetuada sobre a planta. Como referido, a estrutura é composta por pilares de betão, com secções retangulares de dimensões 40x25 cm<sup>2</sup>. Os pilares inseridos pertencem a família da CCAD, como ilustra a Figura 5.7.

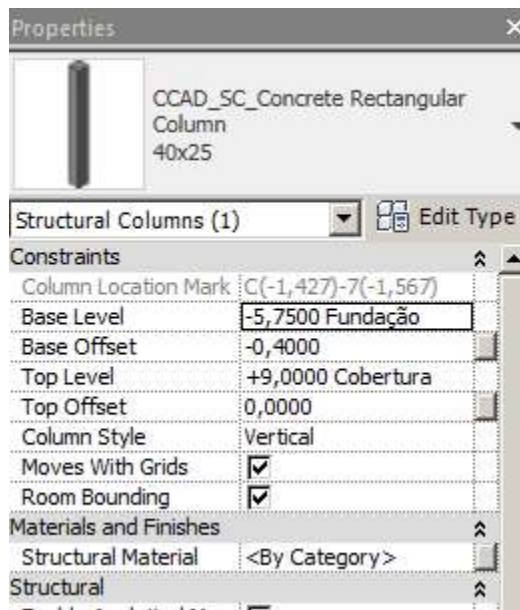
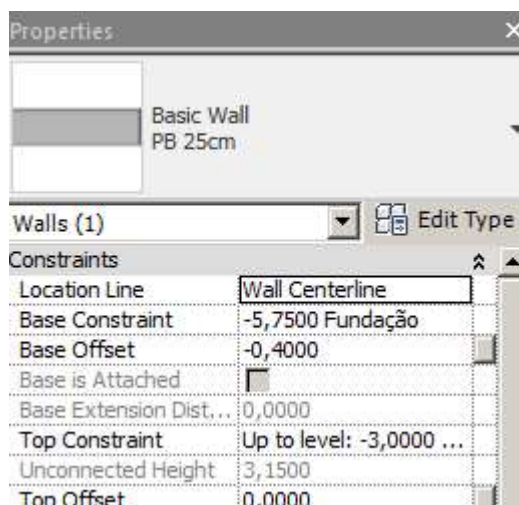
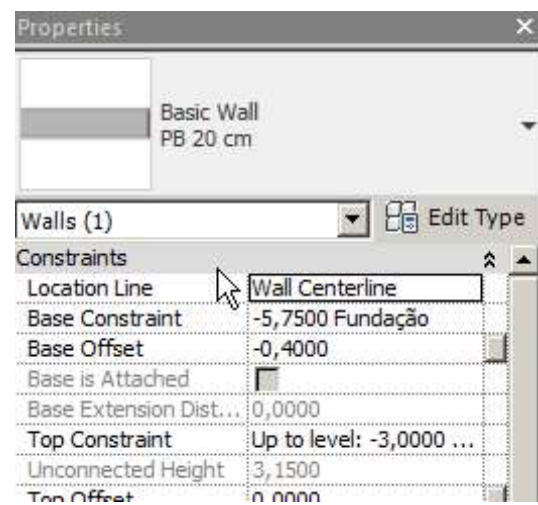


Figura 5.7- Pilares inseridos no modelo.

De igual forma, foram modeladas as paredes estruturais de contenção, consideradas com uma espessura igual a 25 cm, e o núcleo rígido composto por paredes de 25 cm e 20 cm. As paredes seleccionadas são apresentadas na Figura 5.8.



a) Paredes de 25 cm



b) Paredes de 20 cm

Figura 5.8- Paredes inseridas no modelo.

Os pilares e as paredes foram inseridos por cada nível, de modo a satisfazer o critério de modelação mencionado na secção 3.1.6 desta dissertação. A Figura 5.9 ilustra a inserção dos elementos no pavimento mais inferior da estrutura.

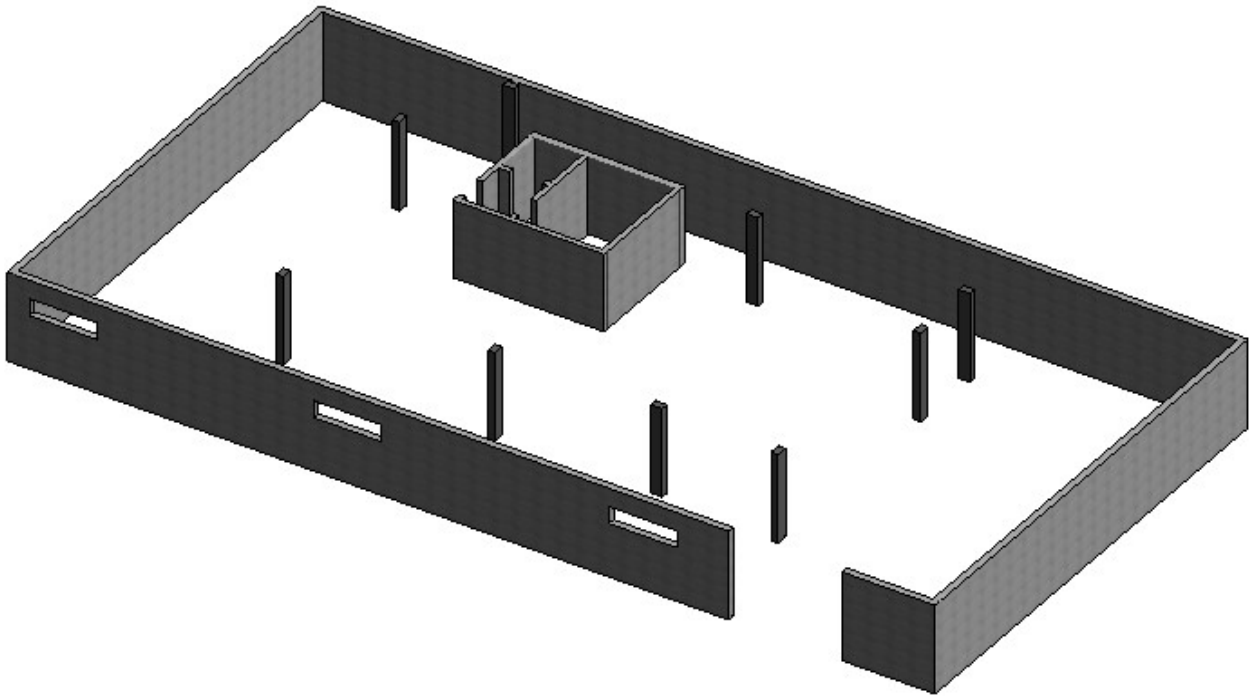


Figura 5.9- Representação 3D

Para cada piso foi repetido o mesmo procedimento. O modelo após a inserção de todos os pilares e paredes é ilustrado na Figura 5.10.

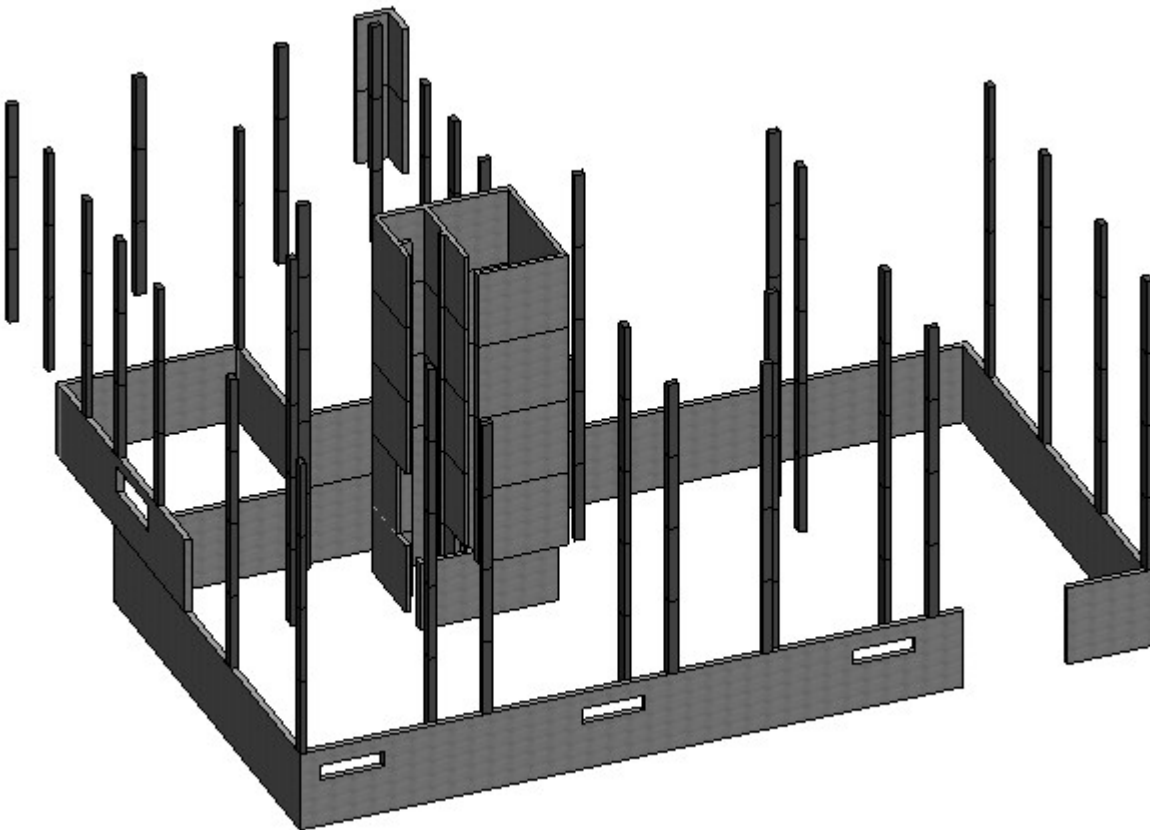


Figura 5.10- Elementos verticais inseridos no modelo

A modelação das vigas é muito semelhante à modelação dos pilares. A modelação destes elementos foi efetuada sobre a planta, nível correspondente à face superior da viga. As vigas da estrutura, como já mencionado, são de betão e possuem secção 20x55 cm<sup>2</sup>. As vigas utilizadas pertencem a família de vigas da CCAD, conforme ilustra a Figura 5.11.

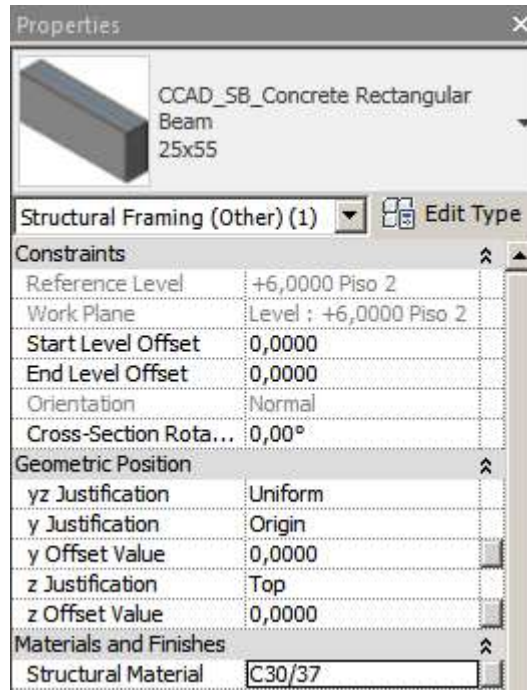


Figura 5.11 - Vigas inseridas no modelo.

As vigas foram modeladas vão a vão, de forma satisfazer o critério mencionado na secção 3.1.6. A Figura 5.12 apresenta o modelo 3D após a inserção das vigas no modelo.

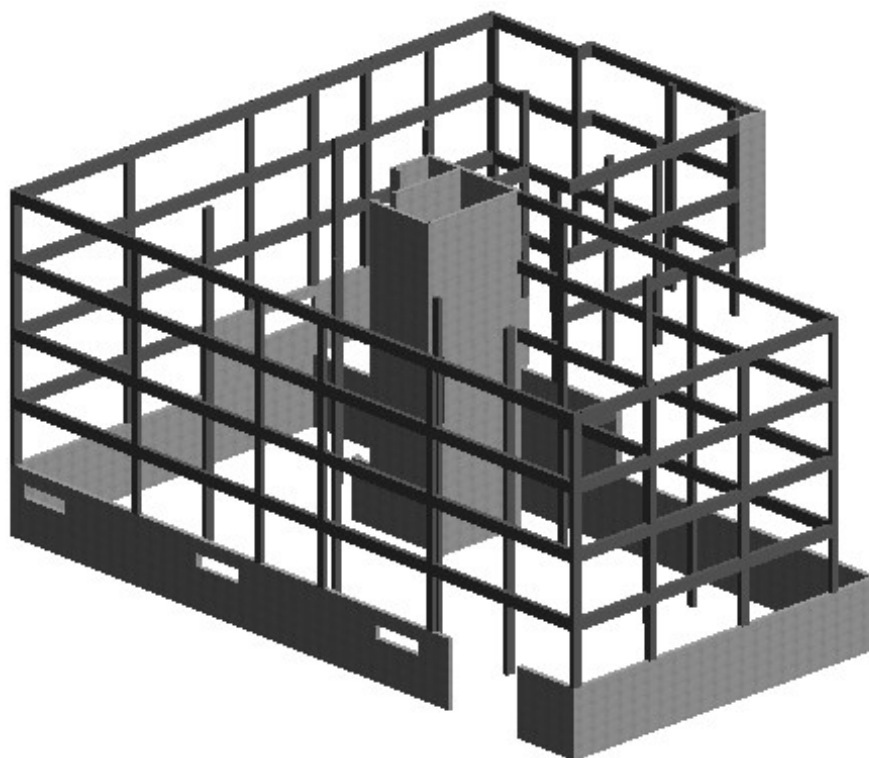


Figura 5.12- Modelo após a inserção de vigas.

A laje de betão modelada tem uma espessura de 25 cm e é limitada pelo perímetro exterior da estrutura e pelo perímetro da abertura do núcleo rígido. A Figura 5.13 apresenta a laje de betão considerada no modelo.

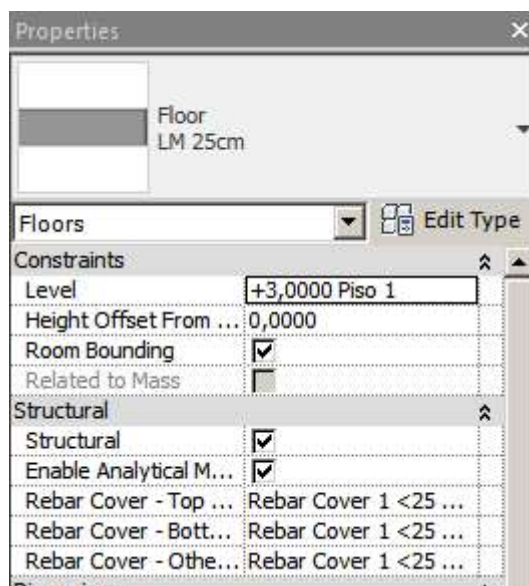
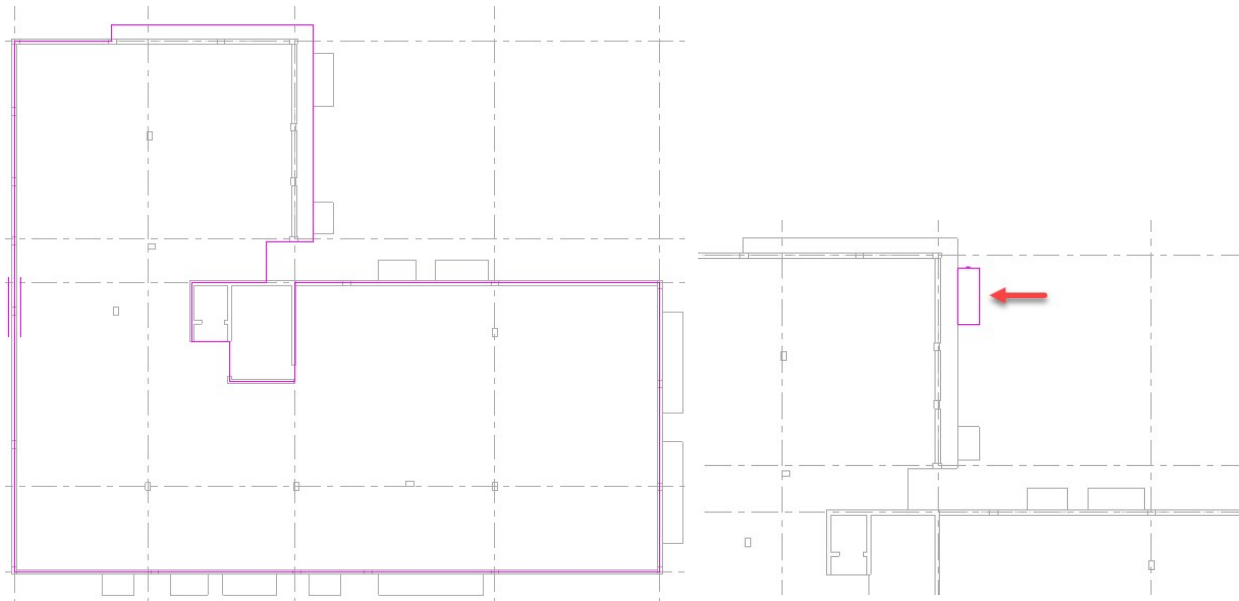


Figura 5.13- Lajes inseridas no modelo.

As lajes seguiram os critérios de modelação mencionados na secção 3.1.6. A laje de cada piso e cada varanda foram modeladas separadamente. A Figura 5.14 ilustra, como exemplo, a inserção da laje em um pavimento tipo.



a) Inserção de lajes no pavimento

b) Inserção de laje de varanda

Figura 5.14- Inserção de laje no pavimento separada da inserção das lajes das varandas

Para cada piso foi repetido o mesmo procedimento. O modelo após a inserção de todas as lajes é ilustrado na Figura 5.15.

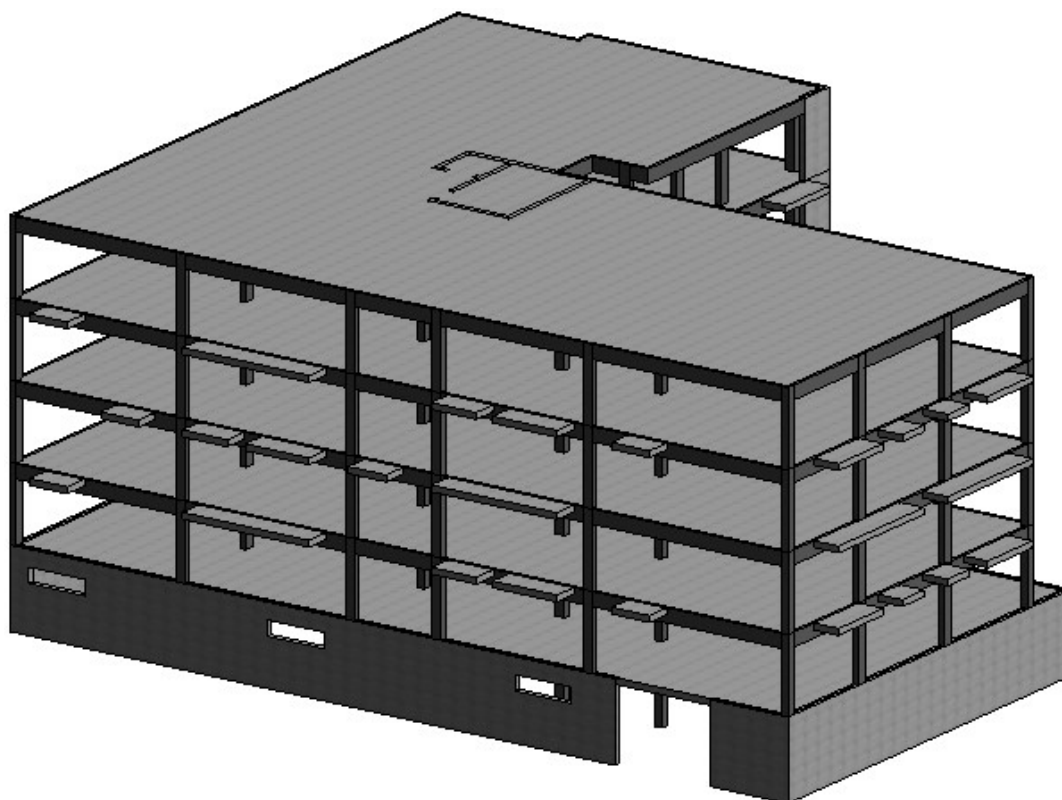


Figura 5.15- Modelo após a inserção de lajes.

Os elementos de fundação modelados são sapatas com dimensões iguais a 3,00x3,00x0,70 m para suportar os pilares. As sapatas utilizadas pertencem a família de sapatas da CCAD, conforme ilustra a Figura 5.16.

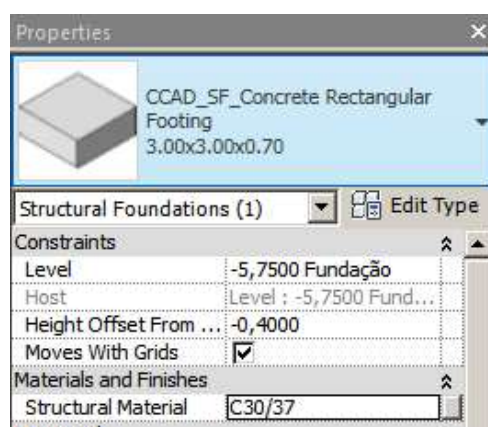


Figura 5.16- Sapatas inseridas no modelo.

O posicionamento do elemento analítico dos elementos de fundação não é ajustável, por esse motivo eles perdem, muitas vezes, a conectividade com os elementos que suportam. Desta maneira, optou-se por desligar a correspondência analítica desses elementos, a fim de não criar nós soltos no modelo. A Figura 5.17 ilustra o modelo após a inserção das sapatas.

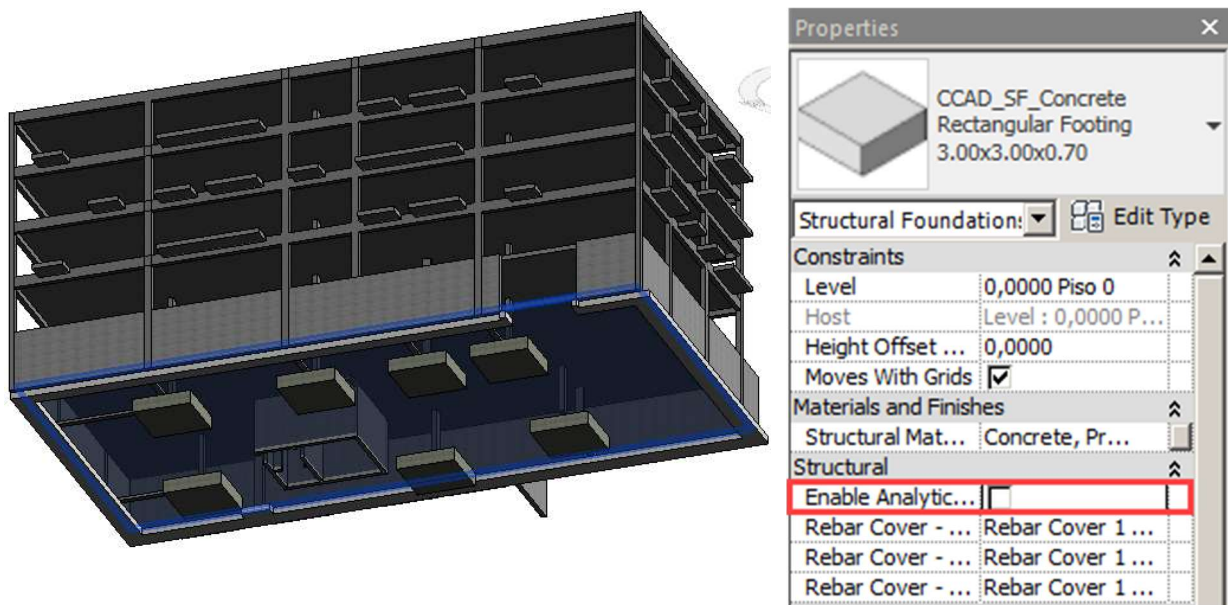


Figura 5.17- Modelo após a inserção de sapatas.

#### 5.4.4 Ajuste analítico

O modelo analítico associado, na maior parte das vezes, não representa o melhor modelo a ser enviado para o programa de cálculo estrutural, desta maneira foi preciso realizar o ajuste antes de realizar a exportação. O modelo analítico desse caso de estudo, por exemplo, apresentou nós desconectados e desalinhados. A Figura 5.18 ilustra de forma geral o modelo analítico associado ao modelo geométrico apresentado anteriormente.

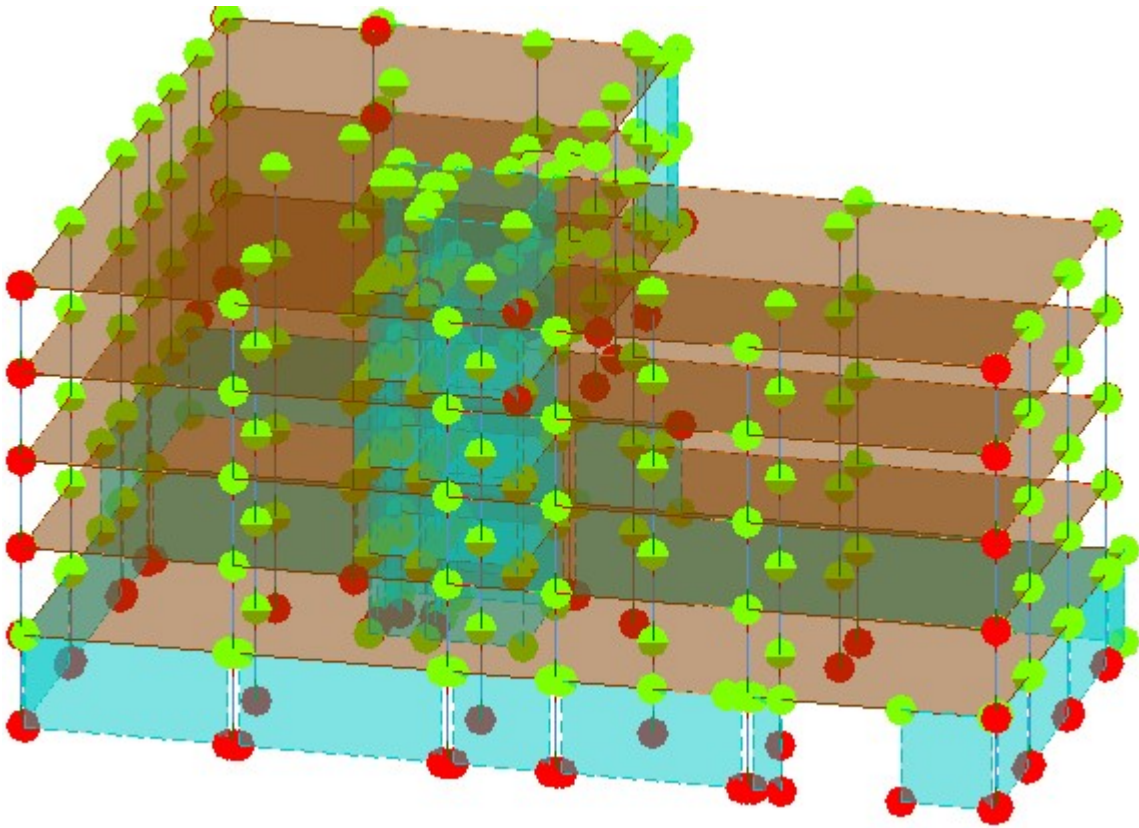
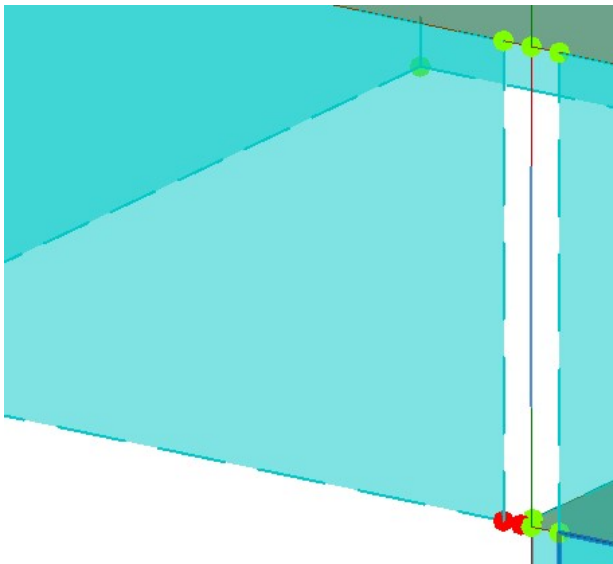
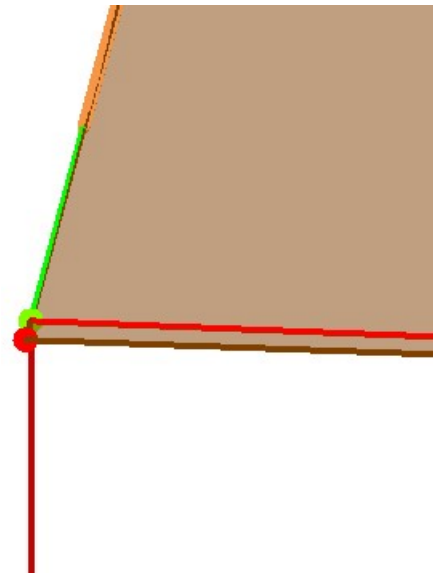


Figura 5.18- Modelo analítico associado

A Figura 5.19 ilustra com mais detalhes alguns casos de inconsistência encontrados nesse modelo.



a) Nós desconectados



b) Viga e laje analíticas desalinhadas.

Figura 5.19- Inconsistências analíticas

### 5.4.5 Ajuste Analítico por projeção

O ajuste analítico por projeção foi determinado a partir das definições de alinhamento mencionadas na secção 3.1.6 desta dissertação.

Todos os pilares do modelo foram ajustados conforme as propriedades ilustradas na Figura 5.20.

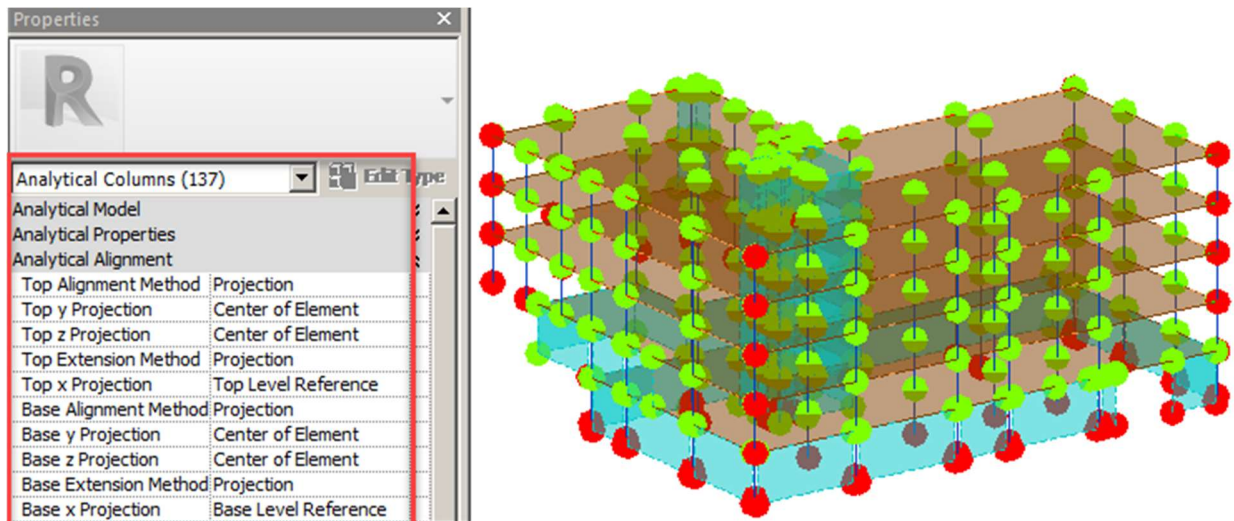


Figura 5.20- Definição de alinhamento analítico dos pilares.

Todas as vigas do modelo foram ajustadas conforme as propriedades ilustradas a Figura 5.21.

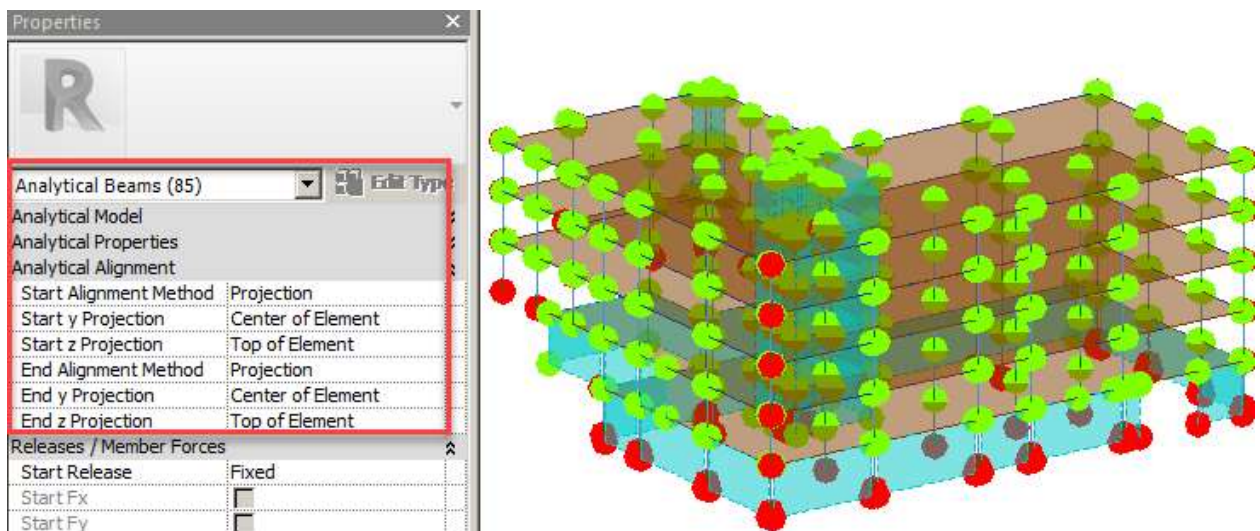


Figura 5.21- Definição de alinhamento analítico das vigas.

Todas as paredes do modelo foram ajustadas conforme as propriedades ilustradas a Figura 5.22.

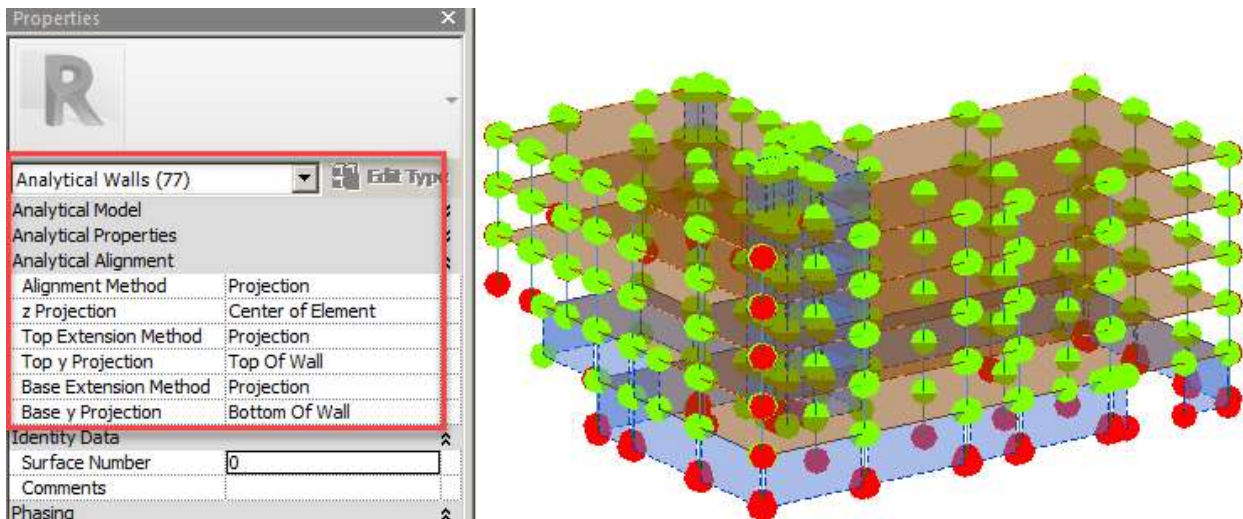


Figura 5.22- Definição de alinhamento analítico das paredes

Todas as lajes do modelo foram ajustadas conforme as propriedades ilustradas a Figura 5.23.

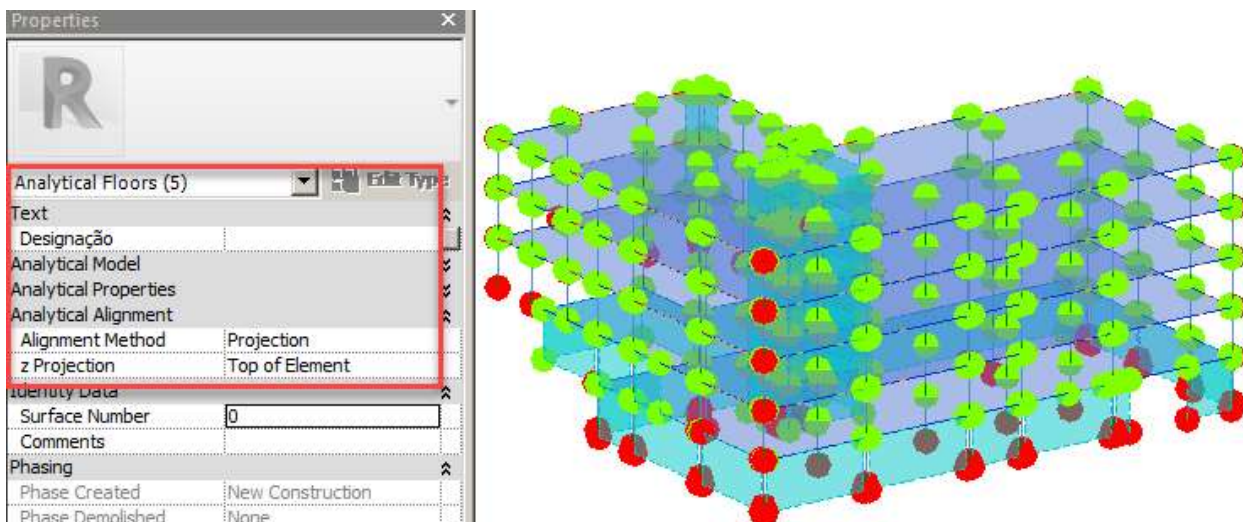
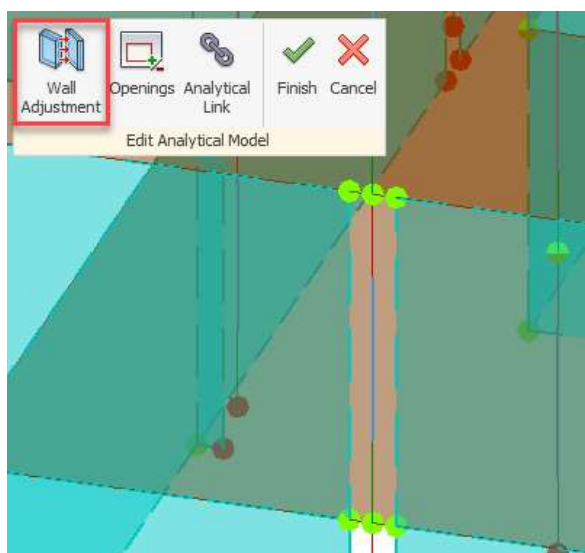


Figura 5.23- Definição de alinhamento analítico das lajes.

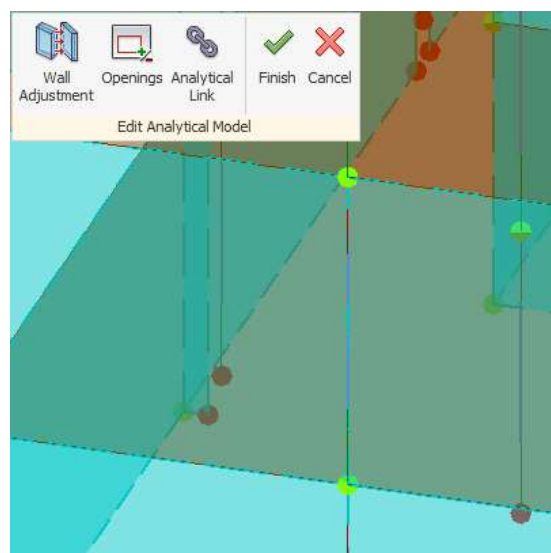
#### 5.4.6 Ajuste manual

As definições ilustradas nas Figuras 5.20, 5.21, 5.22 e 5.23, fornecem mais consistência e melhor alinhamento dos elementos analíticos. No entanto, o modelo ainda apresenta casos os quais é necessário o ajuste detalhado através da manipulação manual dos elementos.

O modelo deste caso de estudo apresentou alguns casos, como o ilustrado na Figura 5.24, em que as paredes analíticas estavam desconectadas do pilar e foram ajustadas através da opção *Wall Adjustment* usando o pilar analítico como referência para o ajuste.



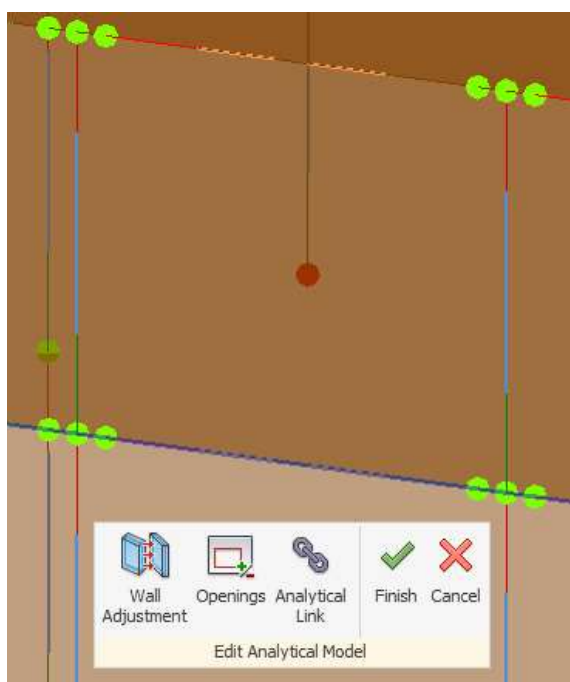
a) Nós analíticos desconectados



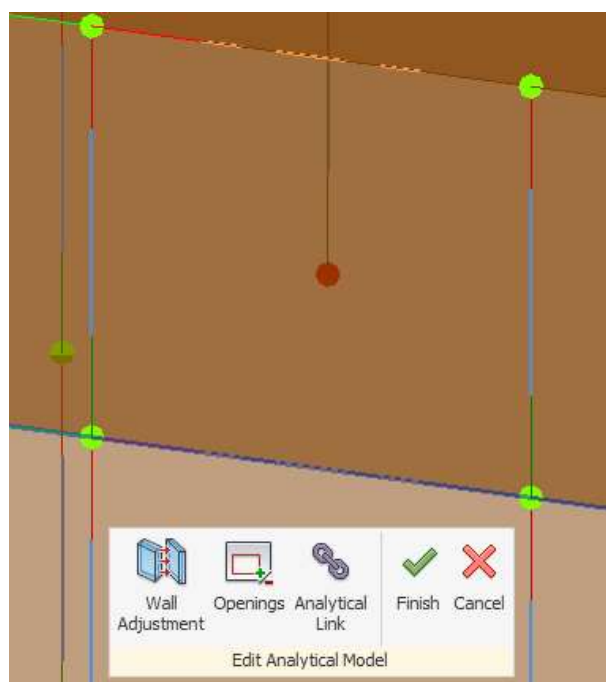
b) Paredes e pilares analíticos conectados

Figura 5.24- Ajuste analítico entre paredes e pilar.

No caso da Figura 5.25 os nós das vigas foram conectados ao pilar utilizando a ferramenta de ajuste manual.



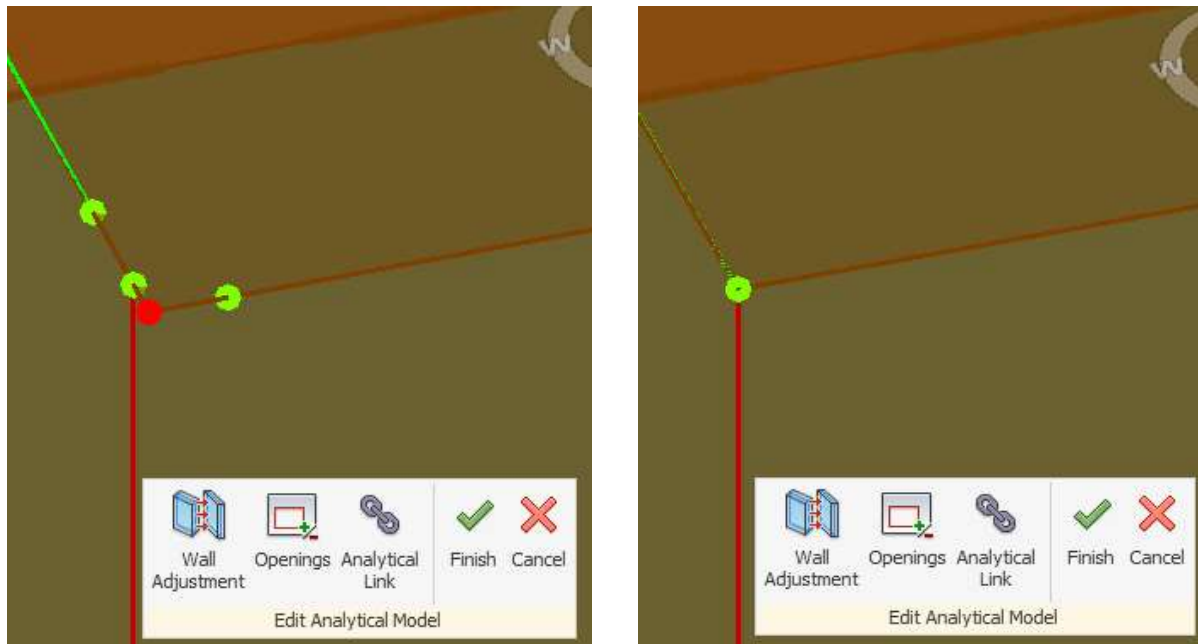
a) Nós analíticos desconectados



b) Vigas e pilares analíticos conectados

Figura 5.25- Ajuste analítico entre vigas e pilar.

Na Figura 5.26 pilar, vigas e laje encontravam-se desconetados e desalinhados. Neste caso o pilar foi utilizado como referência para o alinhamento dos elementos e conexão dos nós.



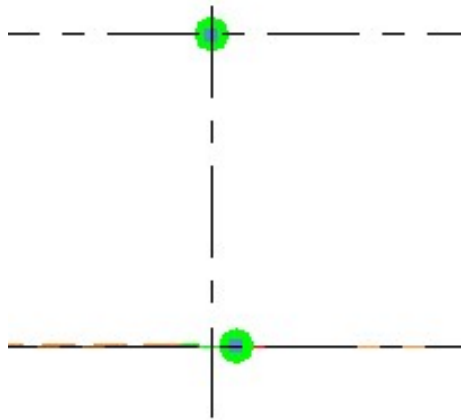
a) Nós desconetados

b) Vigas, lajes e pilar analíticos conectados

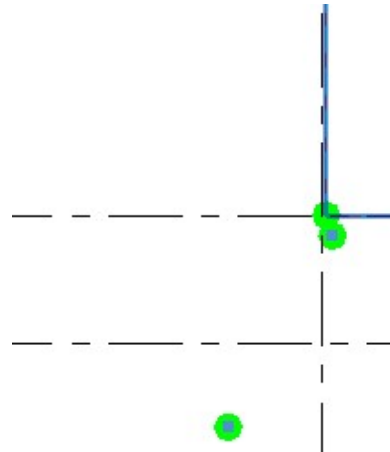
Figura 5.26- Ajuste analítico entre vigas, laje e pilar.

O processo de ajuste analítico foi realizado em todos os casos em que o modelo apresentava descontinuidade, de maneira a garantir que todos os nós estavam devidamente conectados.

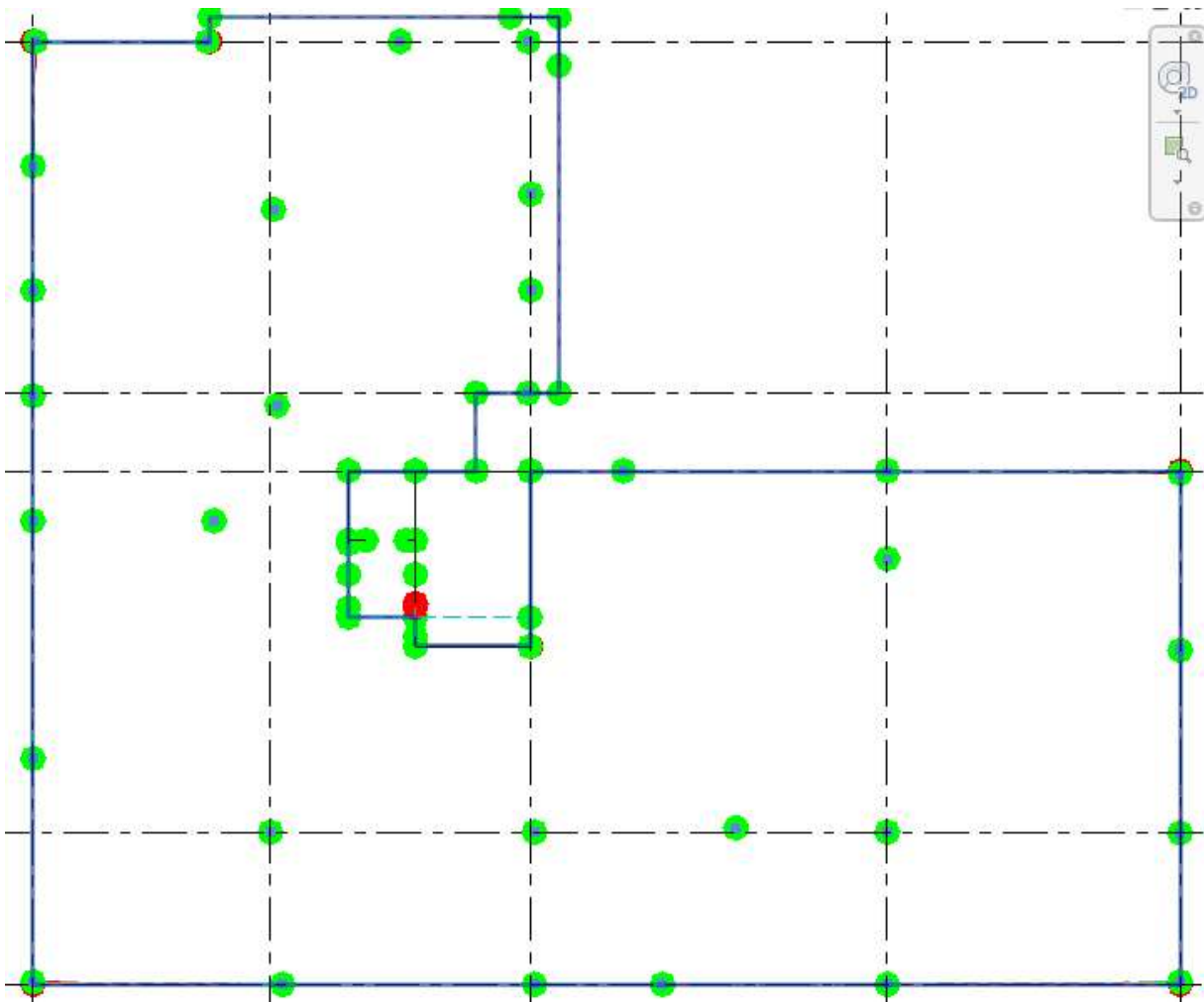
O programa de cálculo utiliza uma malha de elementos finitos para análise, e quanto mais regular for esta malha mais simples e confiável são os resultados, desta maneira foi ajustado o posicionamento dos elementos e dos nós, para aproximar o modelo analítico do modelo numérico pretendido no *Robot*. Portanto, casos como os da Figura 5.27 são indesejáveis ao modelo e precisam ser solucionados.



a) Pilares em planta desalinhados



b) Pilares e laje em planta desalinhados



c) Vista analítica em planta do Piso 1

Figura 5.27- Desalinhamento de elementos analíticos.

Para realizar o posicionamento com mais precisão recorreu-se as propriedades de instância criadas nos nós analíticos, as propriedades nomeadas de RSA-x, RSA-y e RSA-z, referem-se as coordenadas x, y e z do nó e consideram o *Project Base Point* como origem. As propriedades foram alimentadas pela rotina elaborada no *Dynamo* mencionada na secção 3.1.6 desta dissertação.

A Figura 5.28 ilustra o desalinhamento de nós do modelo observado a partir das coordenadas geradas.

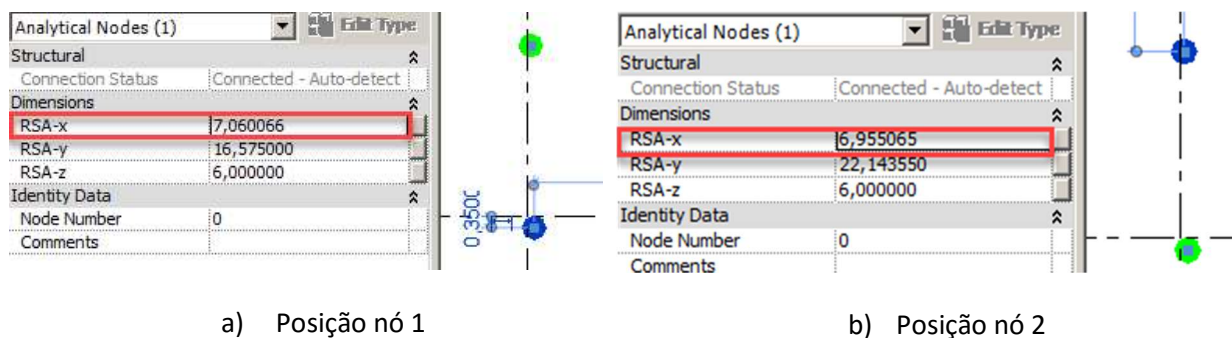


Figura 5.28- Desalinhamento de nós.

Outra ferramenta utilizada nesse estudo para complementar o posicionamento dos elementos foi a utilização de uma “linha analítica” para o ajuste das paredes em específico. Como mencionado na secção 3.1.6 desta dissertação, as paredes necessitam de elementos de referência para serem ajustadas. O elemento chamado de *Analytical line* consiste em uma viga com dimensões iguais de uma linha, de forma que não interferem no modelo geométrico, mas que como qualquer outro elemento estrutural possuem associação analítica. A seguir é ilustrado um exemplo onde foi necessário o uso deste elemento como ferramenta para ajuste de uma parede.

A Figura 5.29 ilustra a coordenada X do nó ao qual deseja alinhar a parede.

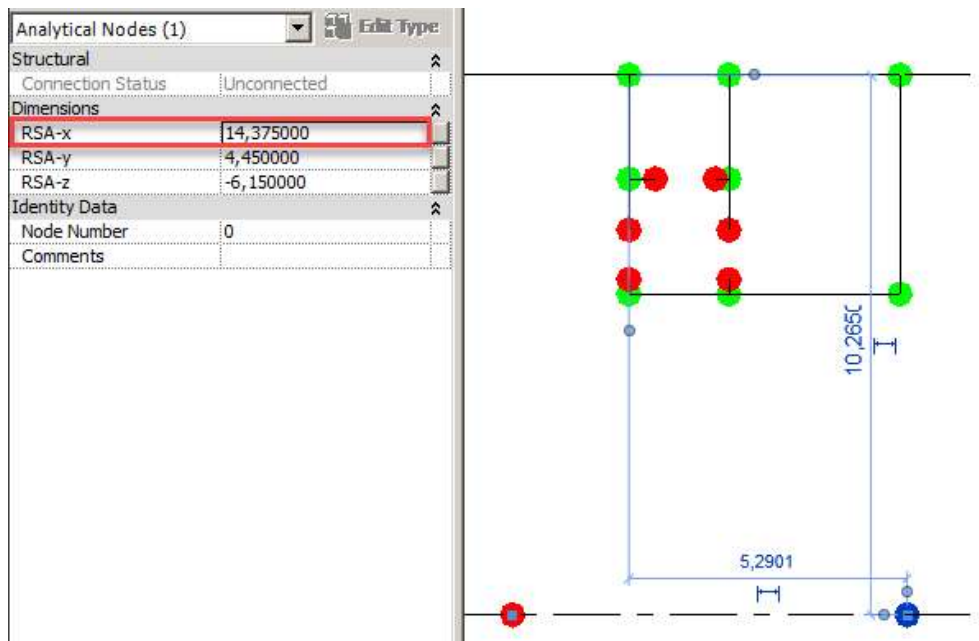


Figura 5.29- Posição de referência para ajuste

A Figura 5.30 ilustra a coordenada x dos nós da parede antes do ajuste.

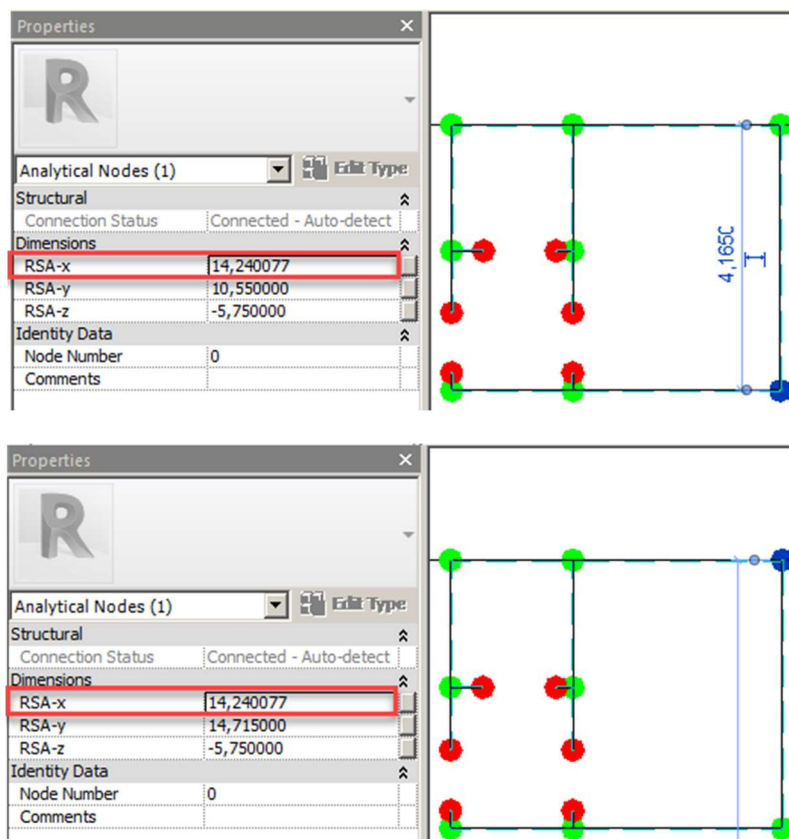
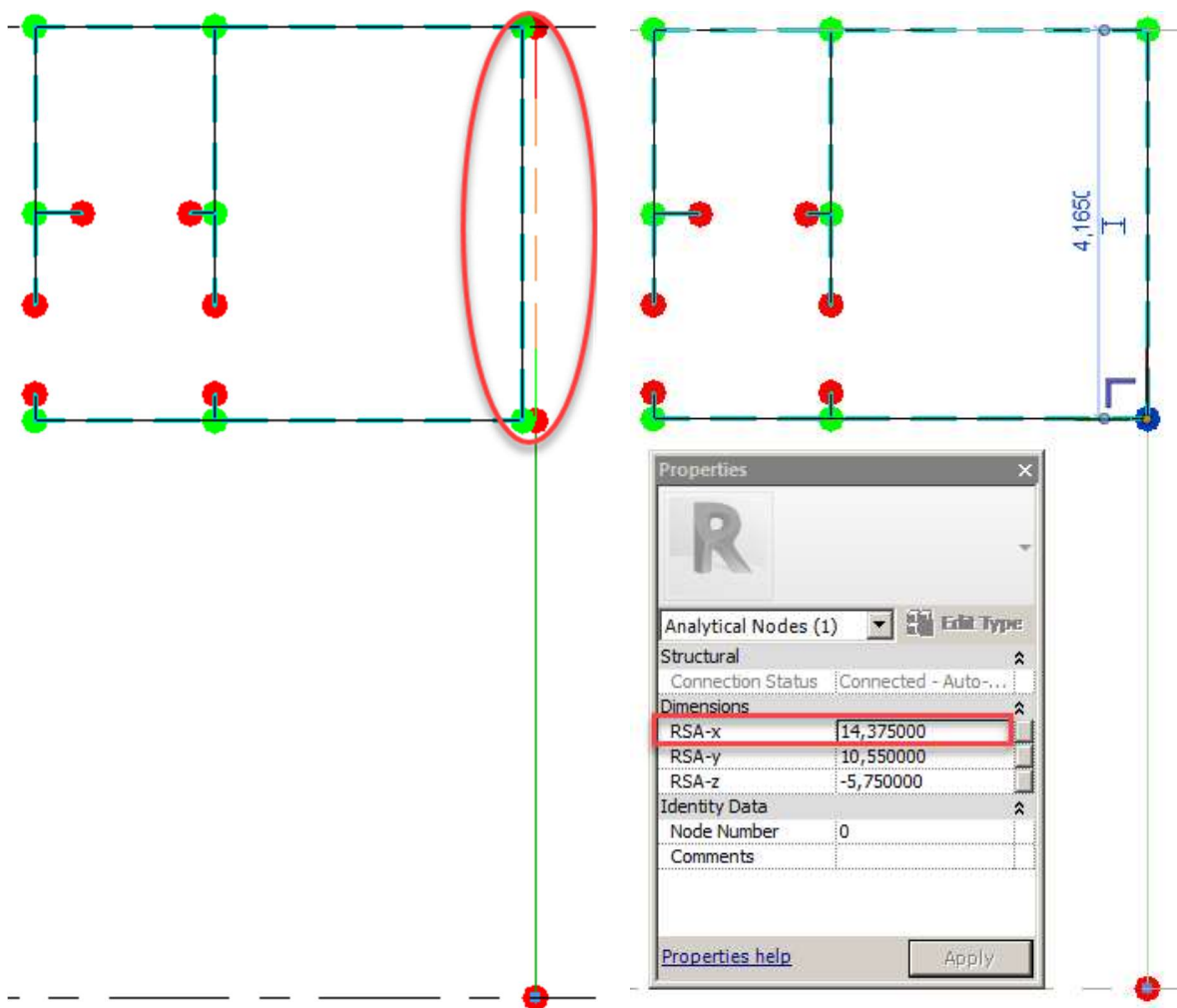


Figura 5.30- Posição dos nós da parede a ser ajustada

A Figura 5.31 ilustra o elemento *Analytical line* inserido para ajuste da parede.



a) Elemento para auxiliar alinhamento.

b) Nós da parede alinhados com nó do pilar

Figura 5.31- Alinhamento analítico de paredes.

O uso dessas ferramentas foi essencial para o ajuste detalhado dos nós analíticos. Portanto, após ajustar e verificar o alinhamento de todos os nós, o modelo analítico apresentou consistência para exportação ao *Robot*. As Figuras 5.32, 5.33 e 5.34 demonstram o aspecto final do modelo.

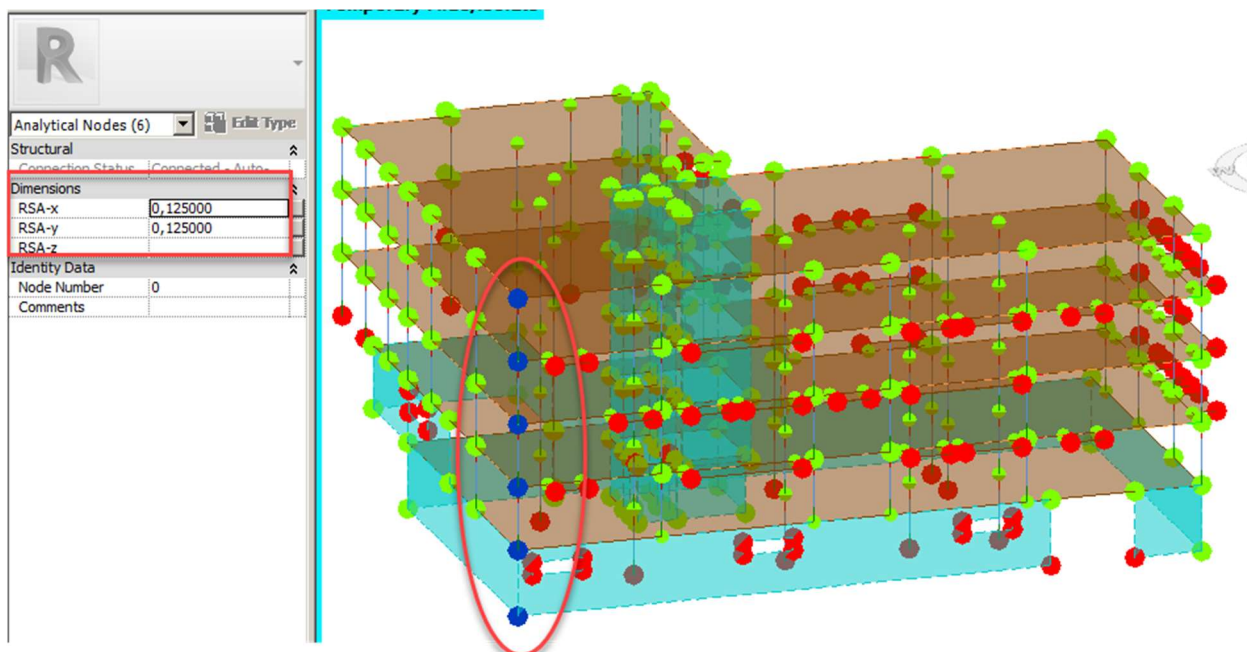


Figura 5.32- Alinhamento vertical, em relação ao eixo z.

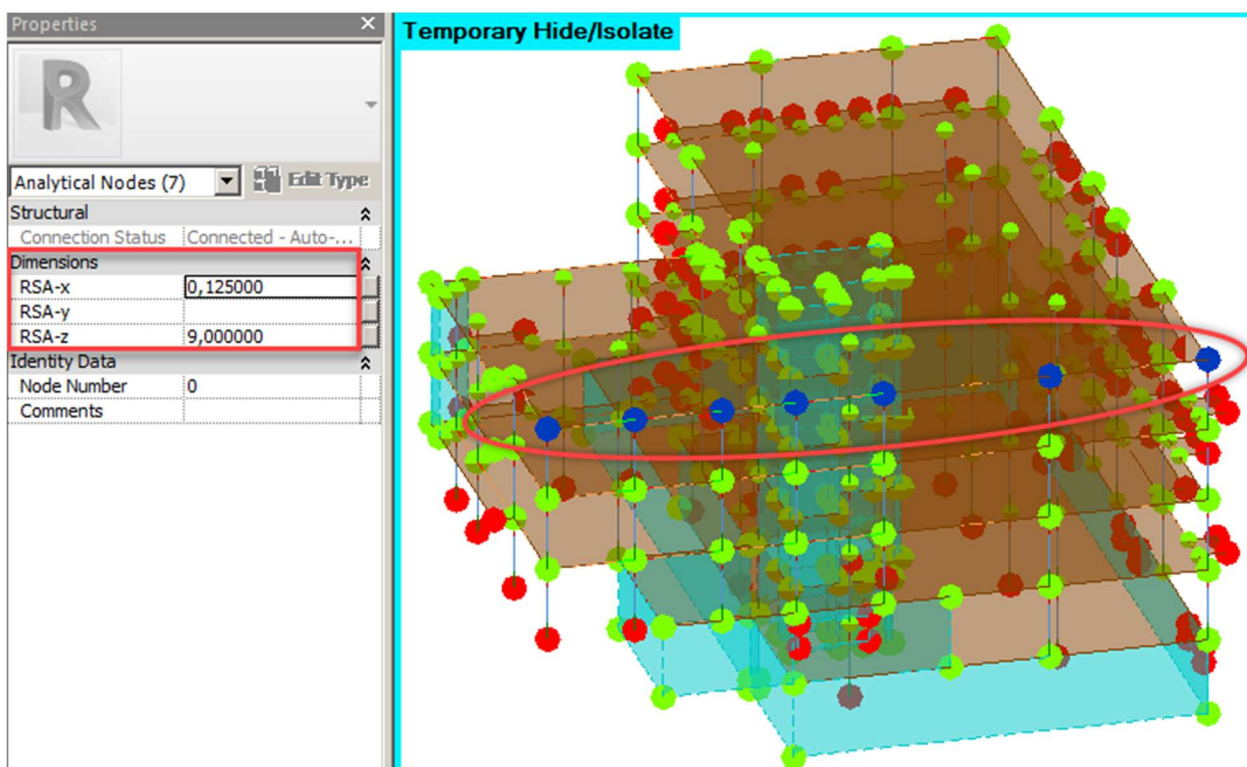


Figura 5.33- Alinhamento horizontal, em relação ao eixo y.

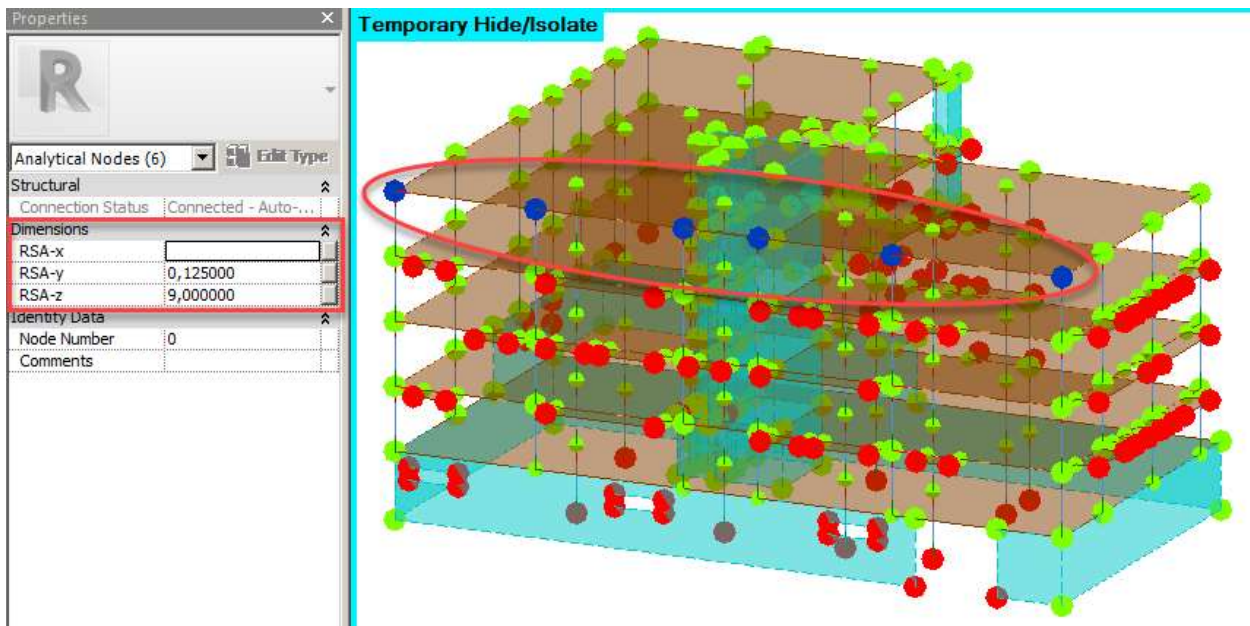


Figura 5.34- Alinhamento horizontal, em relação ao eixo x.

#### 5.4.7 Ações e combinações

Foi verificado no fluxo de informação *Revit-Robot* que as ações e suas combinações funcionam melhor quando criadas no *Robot*. Desta maneira, se excluiu os casos de carga existentes por padrão no projeto do *Revit*. Conforme a Figura 5.35.

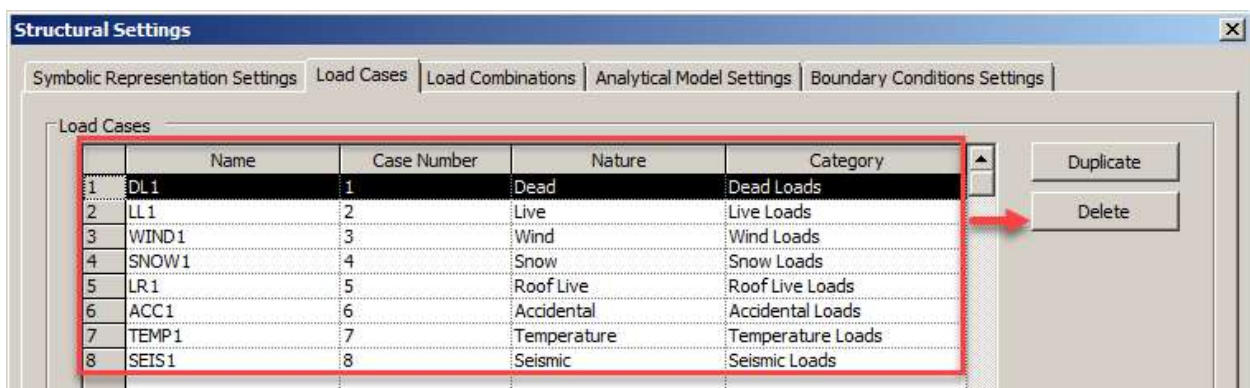


Figura 5.35- Ações a deletar.

#### 5.4.8 Exportação *Revit-Robot*

Na vista utilizada para a exportação foi inserido um filtro com a finalidade de esconder os elementos da família *Analytical Line*, visto que a proposta é apenas ser uma ferramenta de auxílio para o ajuste. A Figura 5.36 ilustra o filtro que esconde as linhas de referência.

Visibility/Graphic Overrides for 3D View: {3D}									
Model Categories		Annotation Categories		Analytical Model Categories		Imported Categories		Filters	
Name	Visibility	Projection/Surface				Li			
		Lines	Patterns	Transparency					
Analytical line	<input type="checkbox"/>								
G-Check_Unconnected Analy...	<input checked="" type="checkbox"/>								
G-Check_Connected Analytic...	<input checked="" type="checkbox"/>								

Figura 5.36- Analytical Line não visível.

Desta maneira, selecionou-se todos os elementos presentes na vista como mostra a Figura 5.37.

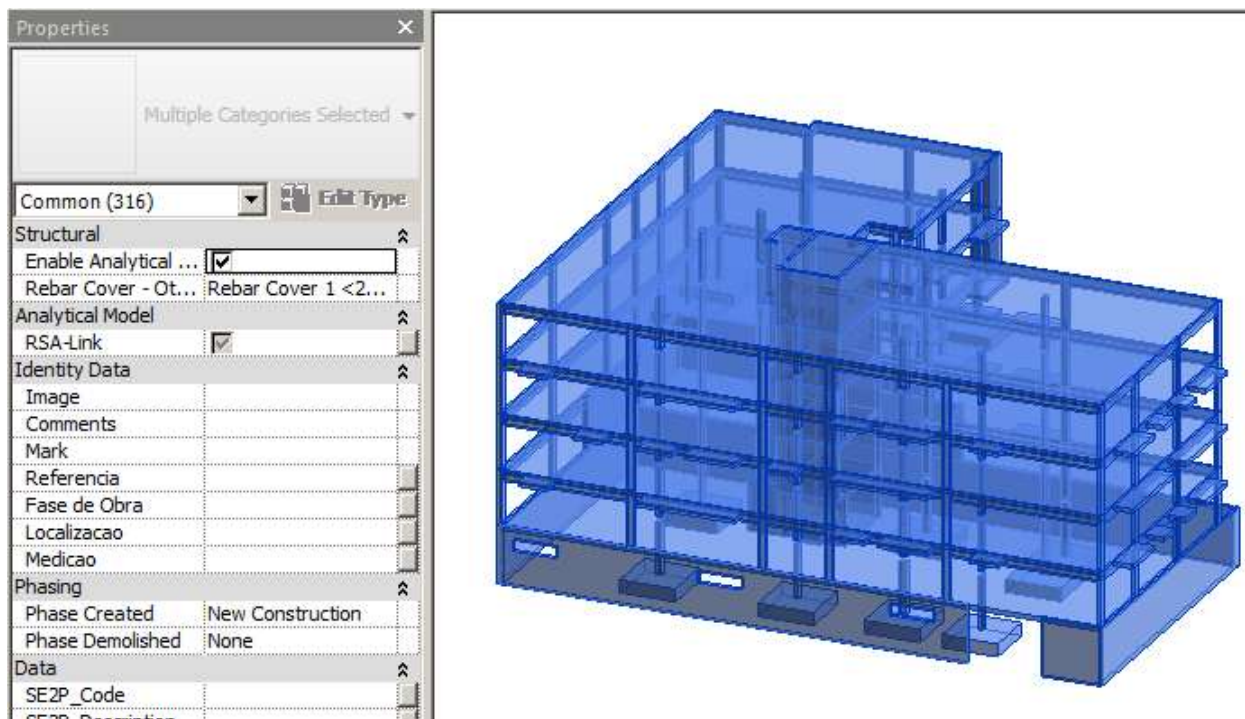


Figura 5.37- Elementos selecionados em vista 3D.

A exportação foi realizada utilizando a ferramenta de integração com o *Robot*, a partir do separador *Analyze*. A opção *Send* foi escolhida e nas definições adicionais foi selecionada a opção *Send only current selection*, que garante que apenas os elementos selecionados serão enviados. Como não há ações no modelo, não há cargas a se associar ao peso próprio. A Figura 5.38 ilustra as opções selecionadas no menu de exportação.

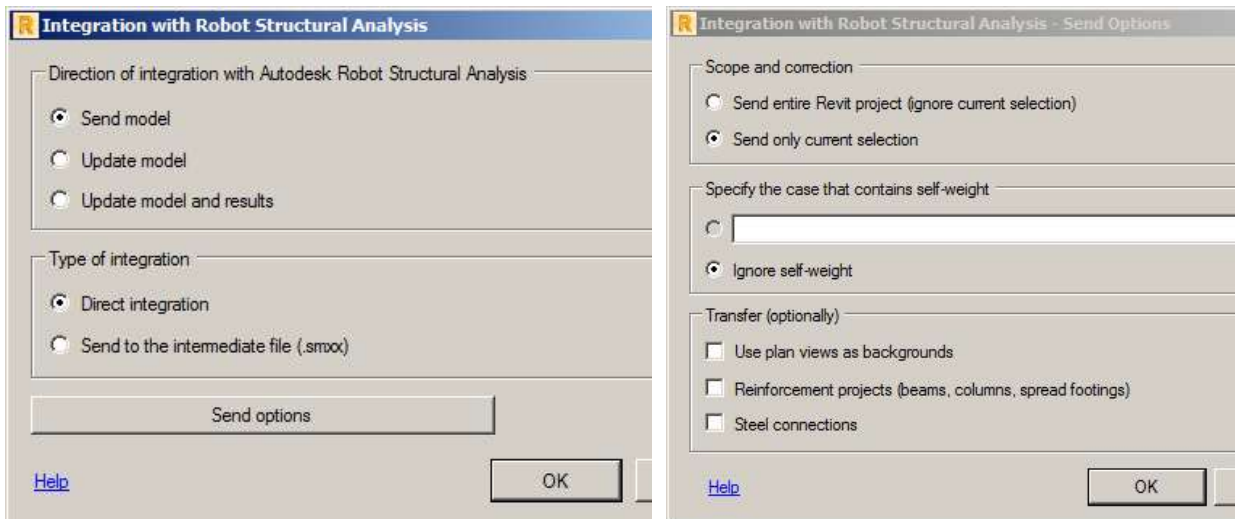


Figura 5.38 – Opções de envio *Revit-Robot*

## 5.5 USO DO MODELO NO *ROBOT*.

O modelo carregado no *Robot* é ilustrado na Figura 5.39.

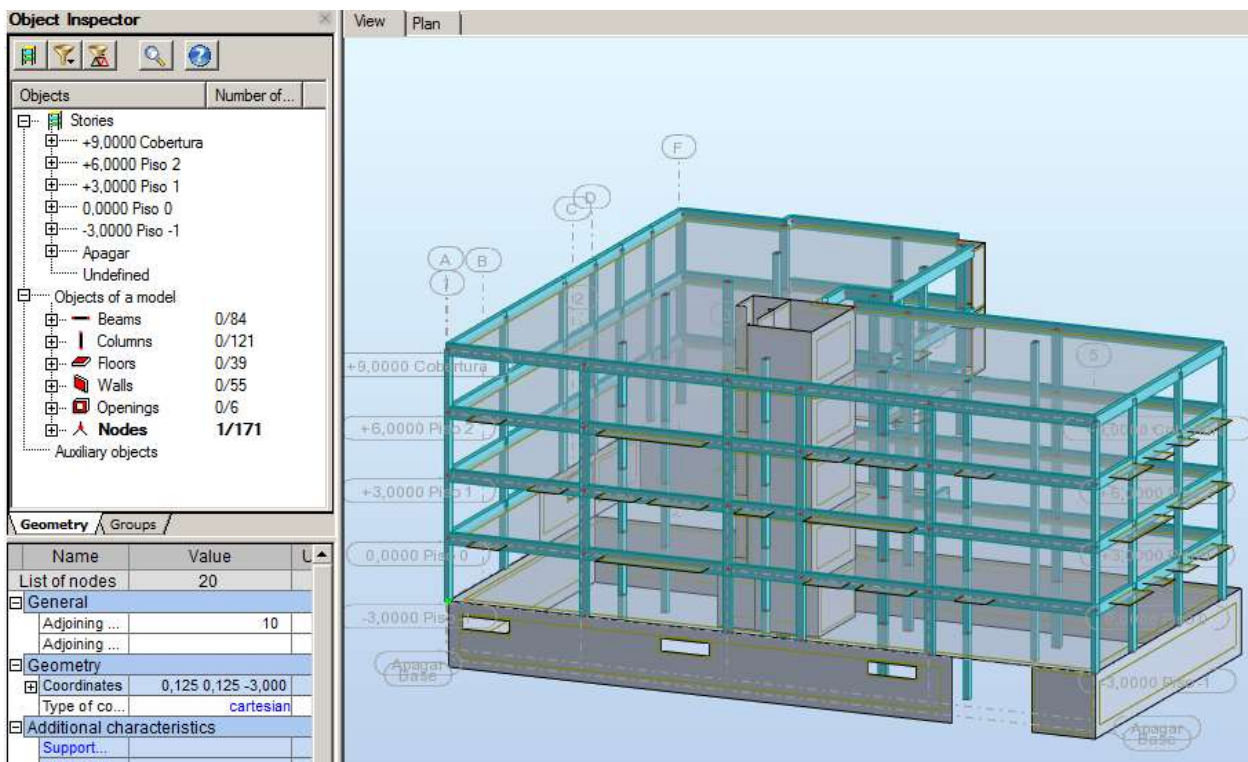
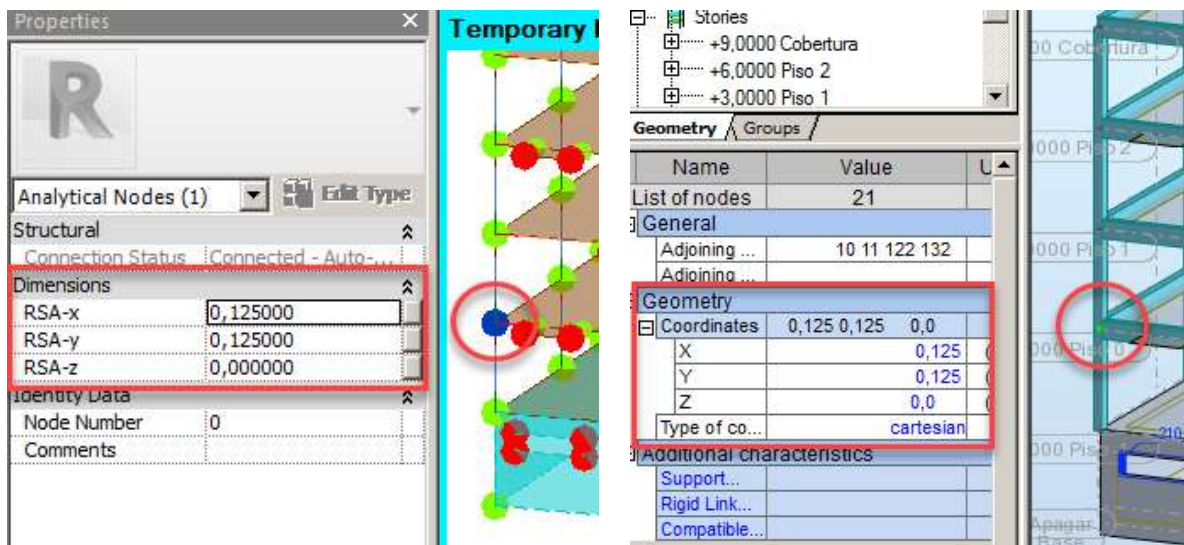


Figura 5.39- Modelo numérico no *Robot* associado ao modelo exportado pelo *Revit*.

Como o principal objetivo desse estudo de caso é verificar a eficiência da interoperabilidade entre plataformas BIM no âmbito estrutural, é necessário que o modelo gerado na exportação do *Revit* para o *Robot* não só contenha as informações úteis para análise como é necessário, também, que elas tenham

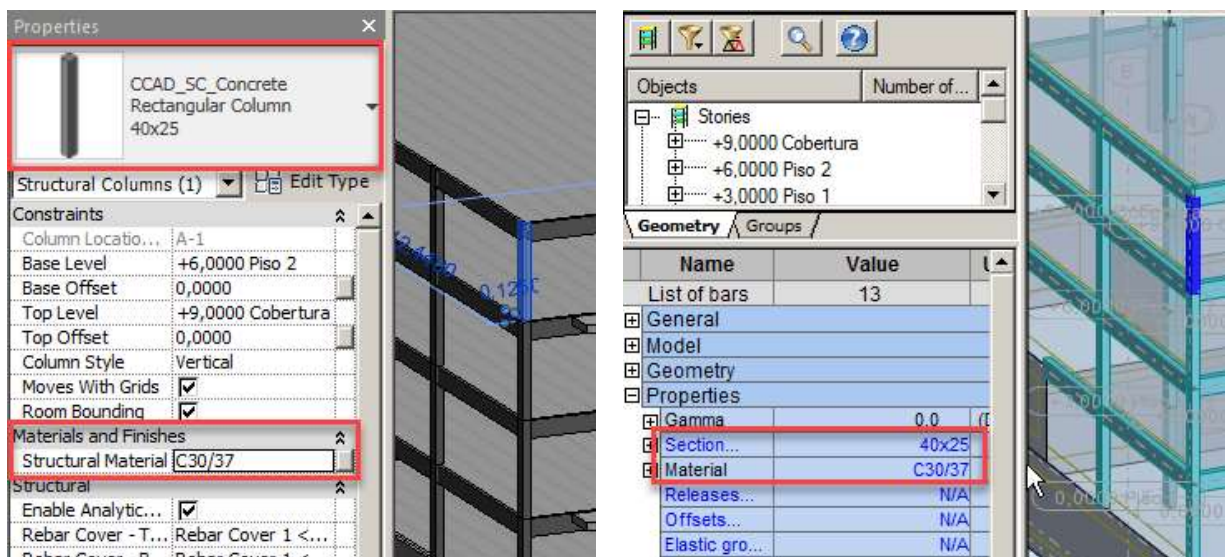
sendo enviadas da maneira correta. Portanto, foi verificado no modelo as propriedades analíticas, geométricas e físicas comparando-as com as informações contidas no modelo do *Revit*. As Figuras 5.40, 5.41 e 5.42 são exemplos dessas verificações.



a) Posição do nó no *Revit*.

b) Posição do nó no *Robot*.

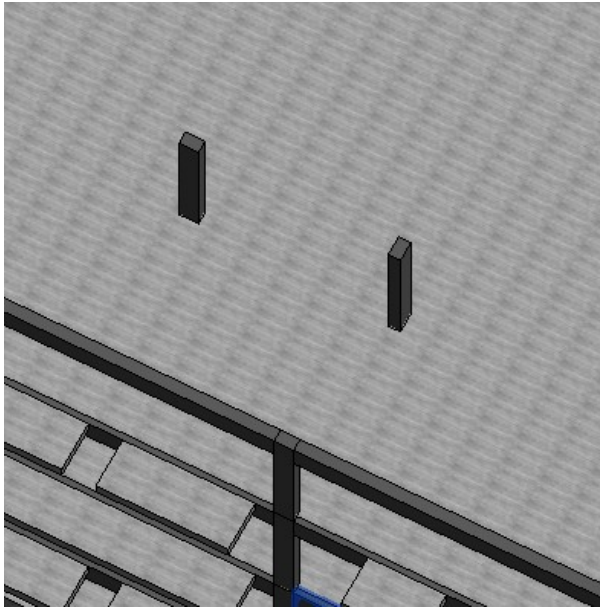
Figura 5.40- Verificação do posicionamento de nós.



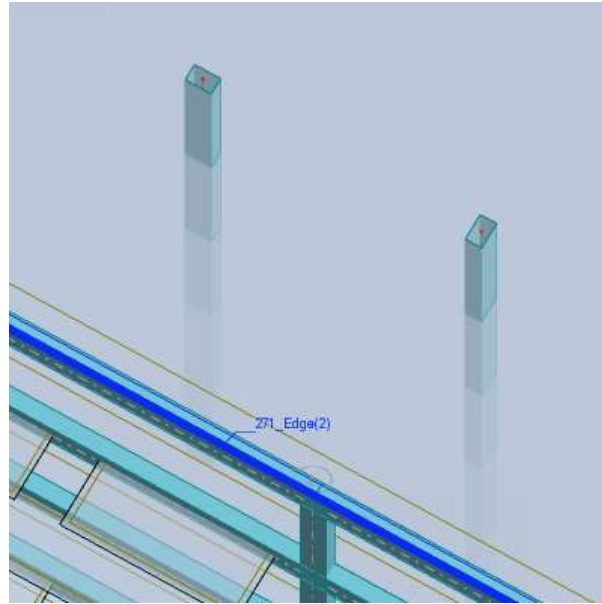
a) Secção e material de pilar no *Revit*.

b) Secção e material de pilar no *Robot*.

Figura 5.41- Verificação de secções e materiais em pilar.



a) Rotação das secções no *Revit*.



b) Rotação de secções no *Robot*.

Figura 5.42- Verificação de rotação dos elementos.

Para realizar a análise estrutural foi preciso preparar o modelo de cálculo. O primeiro procedimento realizado no *Robot* foi inserir contornos uteis na distribuição de carga sobre a edificação. Estas superfícies foram inseridas a partir da ferramenta chamada *Claddings*. O modelo após ter as superfícies inseridas apresentou o aspecto da Figura 5.43.

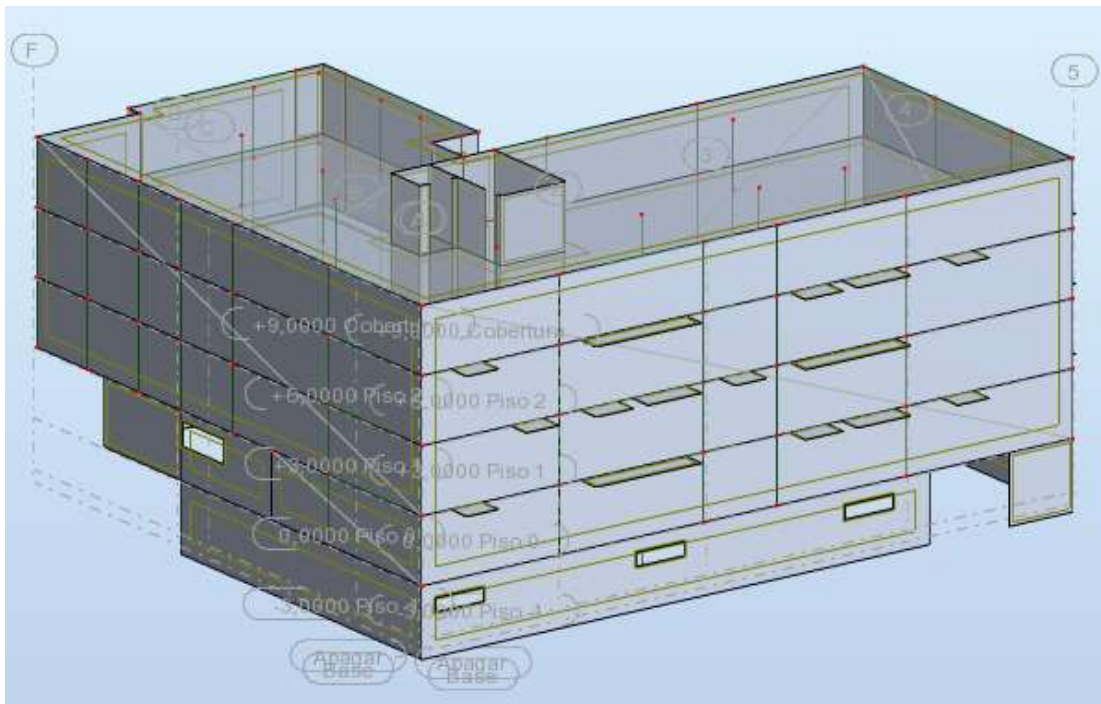


Figura 5.43- Modelo com *claddings* representando paredes não estruturais.

Seguindo com a preparação do modelo, foi necessário determinar o apoio dos elementos soltos. Como mencionado nesse caso de estudo os elementos de fundação inseridos no *Revit* tiveram sua correspondência analítica desligada, e as propriedades de apoio deveriam ser definidas no *Robot*. Desta maneira foram inseridos suportes representando o apoio dos elementos de fundação. O modelo com os suportes inseridos apresentou o aspecto da Figura 5.44.

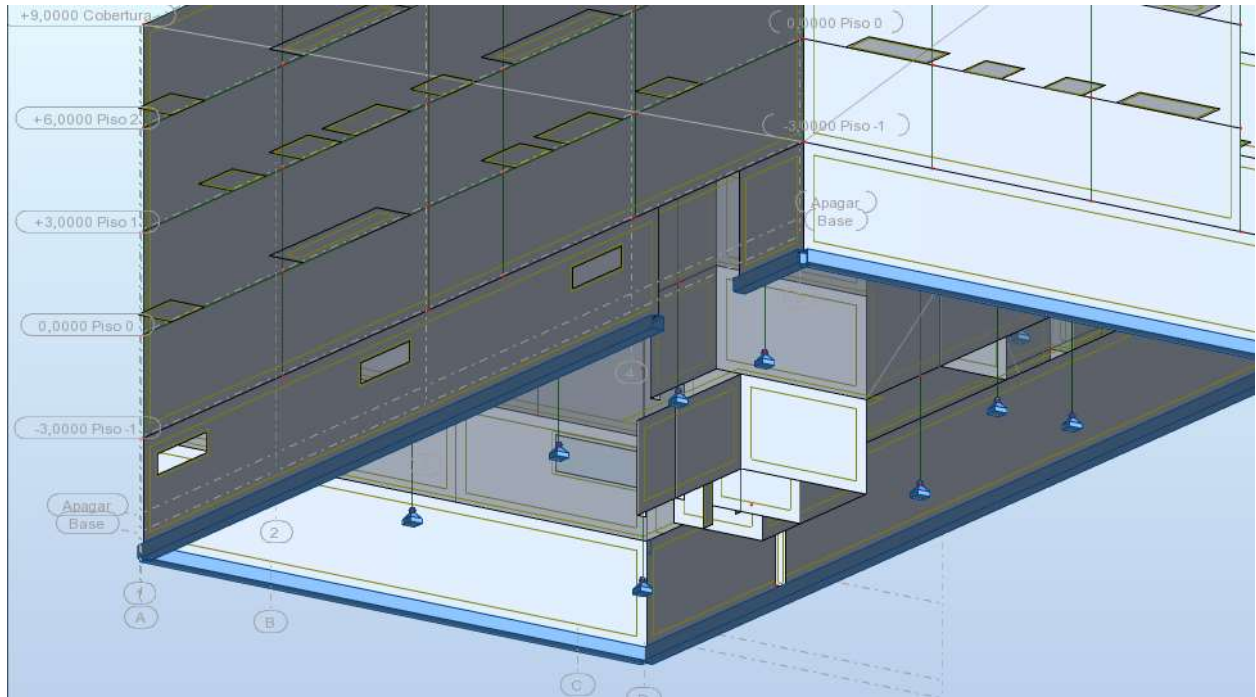


Figura 5.44- Modelo com elementos de suporte.

### 5.5.1 Ações e combinações no *Robot*.

Para executar o cálculo de dimensionamento estrutural foi preciso aplicar cargas na edificação. Desta maneira, foram definidos os tipos de ações a que a estrutura será submetida as possíveis combinações, mencionadas na secção 5.3.2 desta dissertação. As ações inseridas no modelo são apresentadas na Figura 5.45.

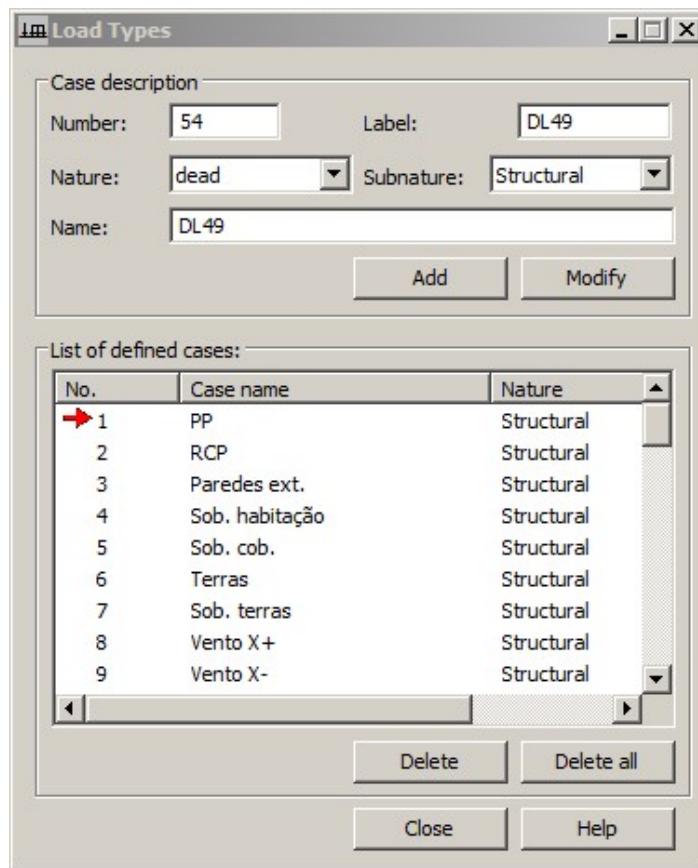


Figura 5.45- Tipos de ações presentes no modelo.

As combinações de ações têm por objetivo combinar as ações relativas aos diferentes casos de carga. As combinações de ações foram definidas de acordo com o mencionado na secção 5.3.2 desta dissertação e são ilustradas na Figura 5.46.

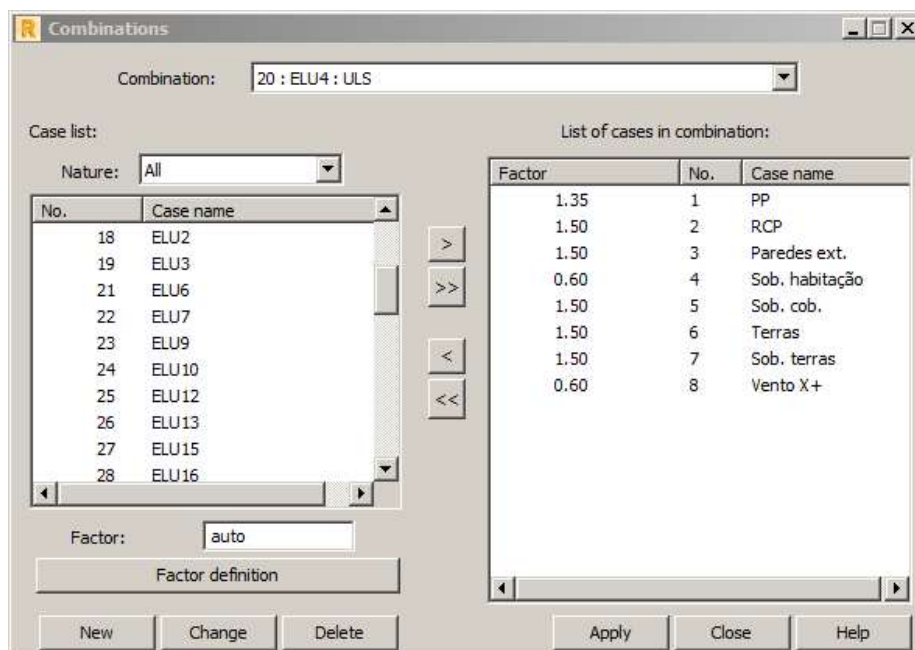


Figura 5.46- Combinações de ações inseridas no modelo.



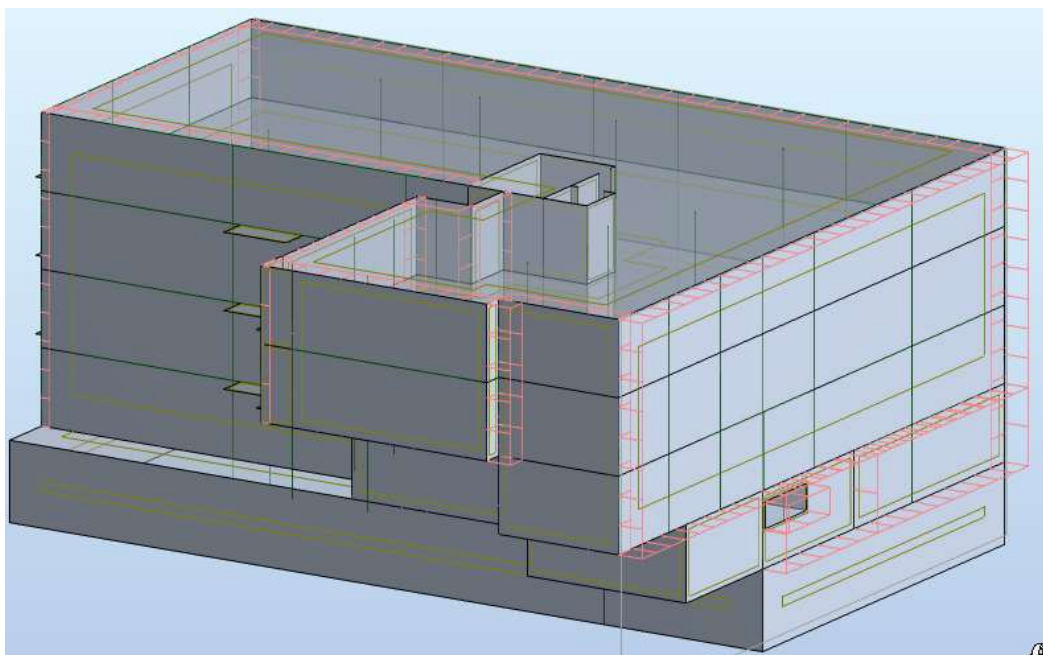


Figura 5.49- Aplicação de cargas devido a ação do vento.

### 5.5.2 Cálculo estrutural

A discretização do modelo em elementos finitos, no *Robot*, é efetuada através das ferramentas para a geração automática da malha. Essas ferramentas de definição de malhas permitem manipular manualmente a malha e refiná-la. O modelo numérico depois de ter a malha de elementos definida apresentou o aspecto da Figura 5.50.

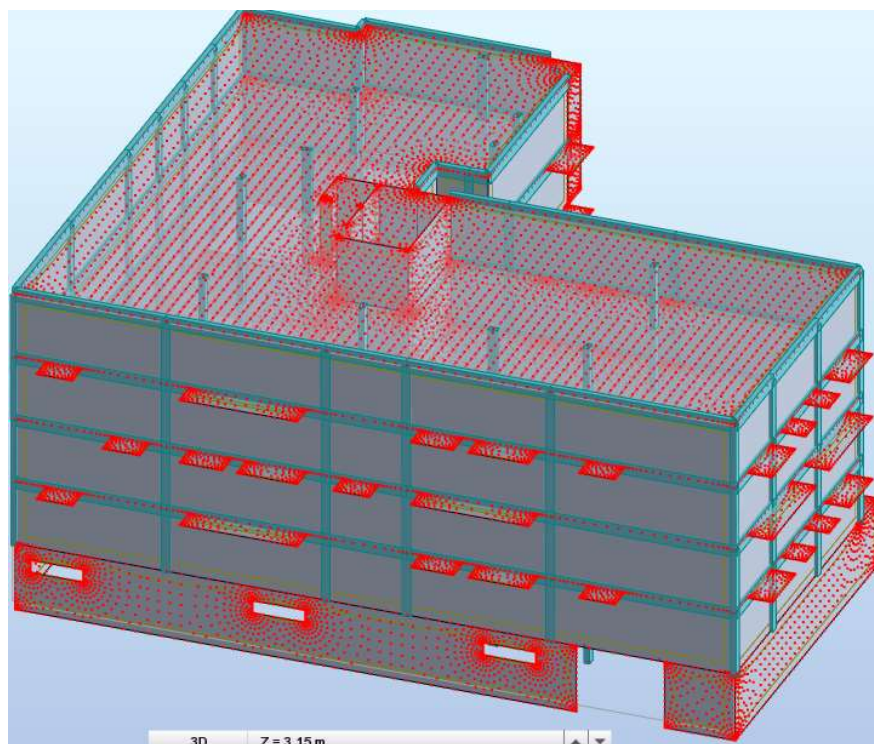


Figura 5.50- Modelo com malha de elementos finitos gerada.

Após a preparação no ambiente *Robot* o modelo apresentou consistência para se realizar o cálculo estrutural do edifício.

### 5.5.3 Análise e resultado

Nesta secção, com intuito de validar os resultados obtidos, serão apresentados os efeitos das ações na estrutura no modelo estrutural desenvolvido nesse caso de estudo e comparados com os resultados do modelo numérico de elementos finitos já existente no gabinete, o qual serviu como um modelo de ponto de controlo para o estudo. Devido à grande extensão de resultados são apenas destacados e comparados alguns deslocamentos e esforços em determinadas zonas da estrutura.

Foi analisado o momento fletor na direção  $z$  da viga da Figura 5.51. Os resultados são apresentados nas Figuras 5.54 e 5.53

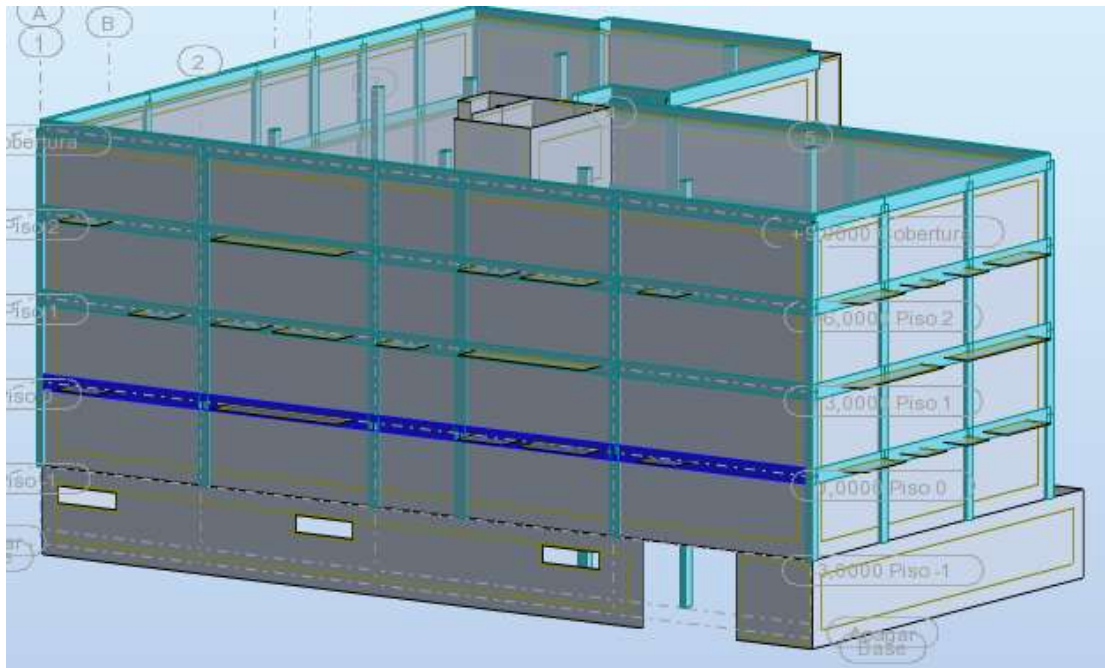


Figura 5.51- Viga em análise

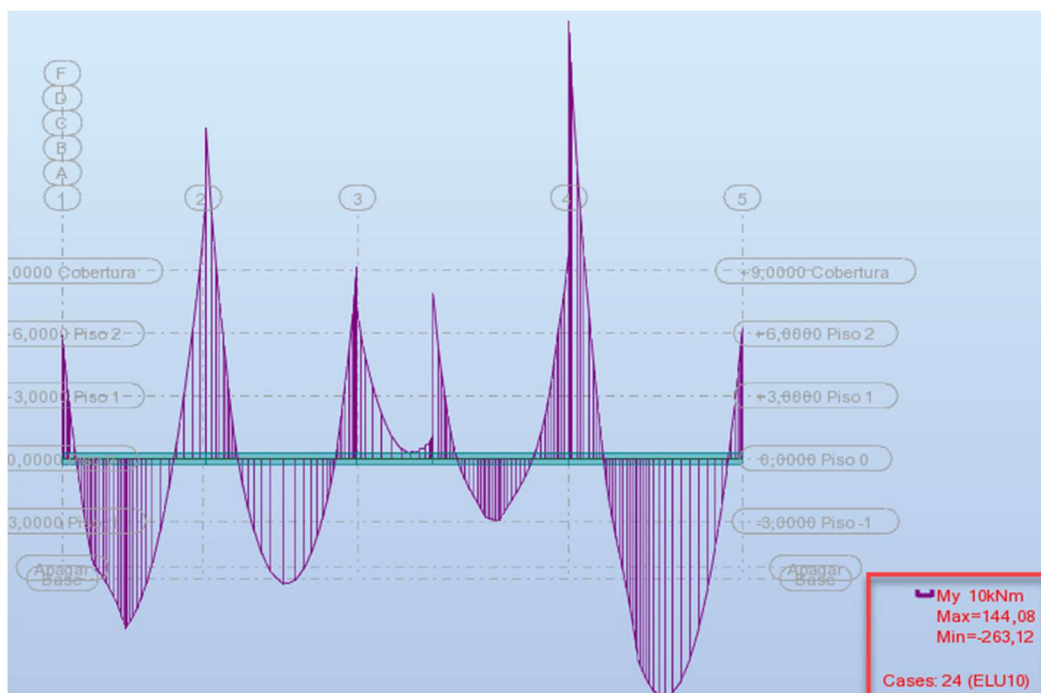


Figura 5.52- Resultado do modelo numérico do caso de estudo.

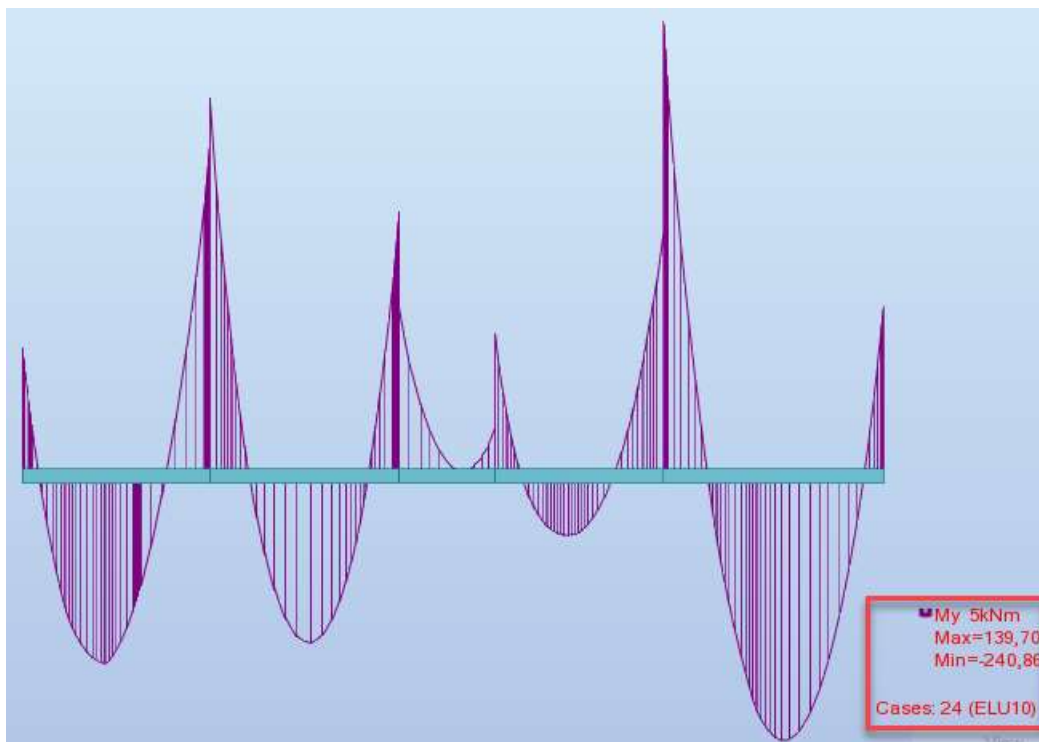


Figura 5.53- Resultado do modelo numérico de ponto de controle.

Foi analisada a deformação no pilar da Figura 5.54. Os resultados são apresentados nas Figuras 5.55 e 5.56.

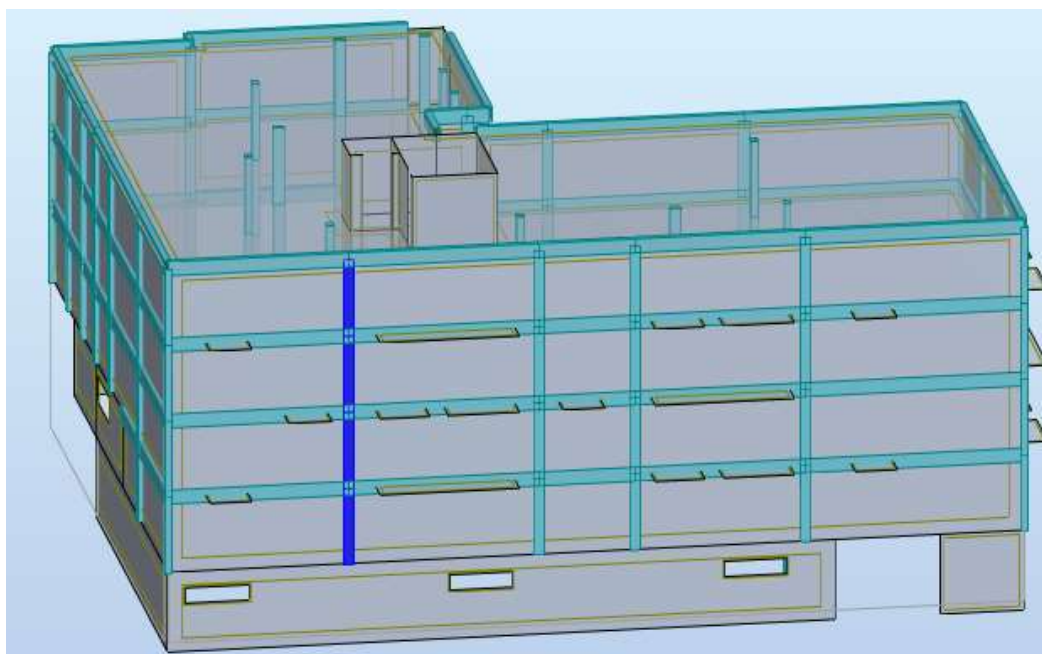


Figura 5.54- Pilar em análise.

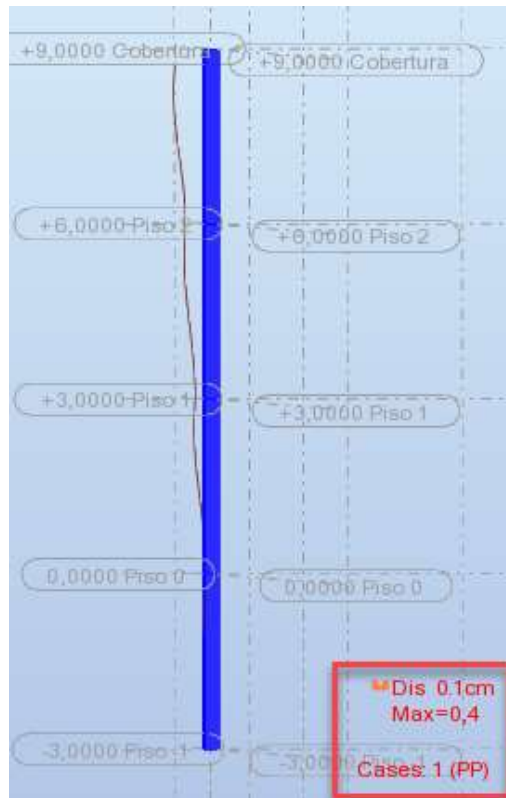


Figura 5.55- Resultado do modelo numérico do caso de estudo.

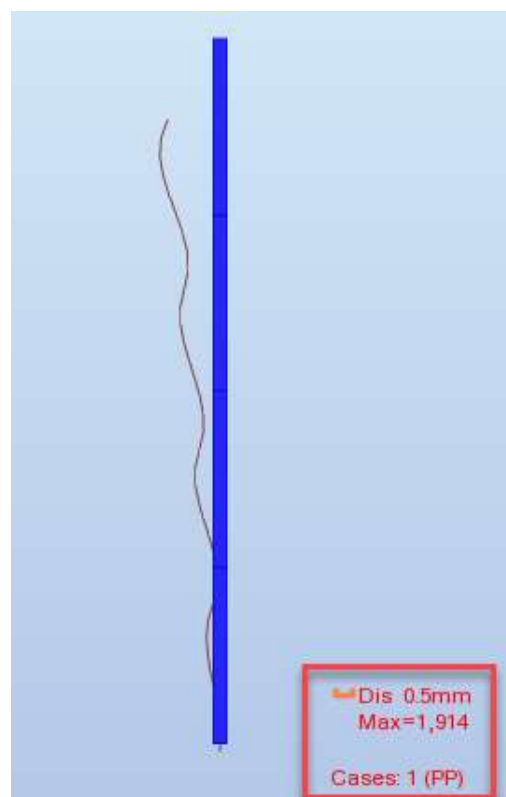


Figura 5.56- Resultado do modelo numérico de ponto de controlo.

Foi analisado os esforços na direção z da viga da Figura 5.57. Os resultados são apresentados nas Figuras 5.58 e 5.59.

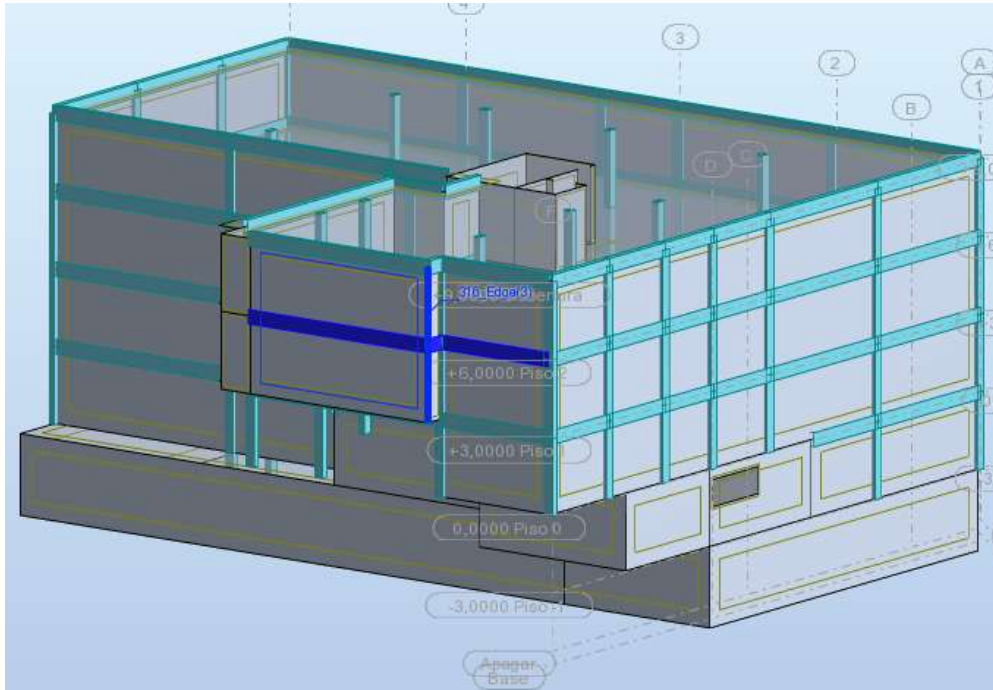


Figura 5.57- Viga em análise.

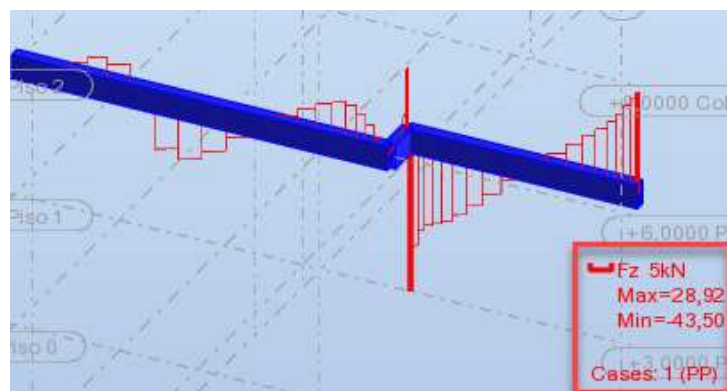


Figura 5.58- Resultado do modelo numérico do caso de estudo.

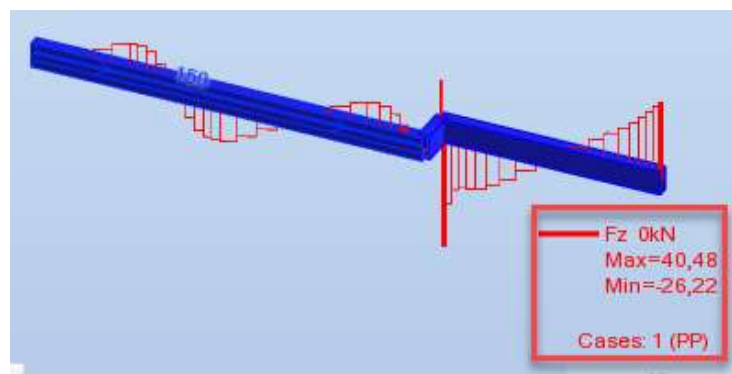


Figura 5.59- Resultado do modelo numérico de ponto de controlo.

A comparação entre os modelos numéricos apresentou resultados próximos e comportamento estrutural muito semelhantes entre os elementos. Desta maneira é possível considerar que os procedimentos adotados no *Revit* para modelação geométrica e analítica, assim como a definição de materiais e geometria, são validos e geram um modelo consistente para cálculo.

#### 5.5.4 Update Revit-Robot

A bidirecionalidade no fluxo de informação entre os sistemas *Revit* e *Robot* também permite o redimensionamento da estrutura e a atualização do modelo digital com as novas informações alteradas no *Robot*. Desta maneira, o modelo deste estudo de caso teve a secção e o material de um pilar alterados com objetivo de simular um redimensionamento e observar o comportamento durante a exportação do modelo ao *Revit*. A Figura 5.60 ilustra o pilar redimensionado no *Robot*.

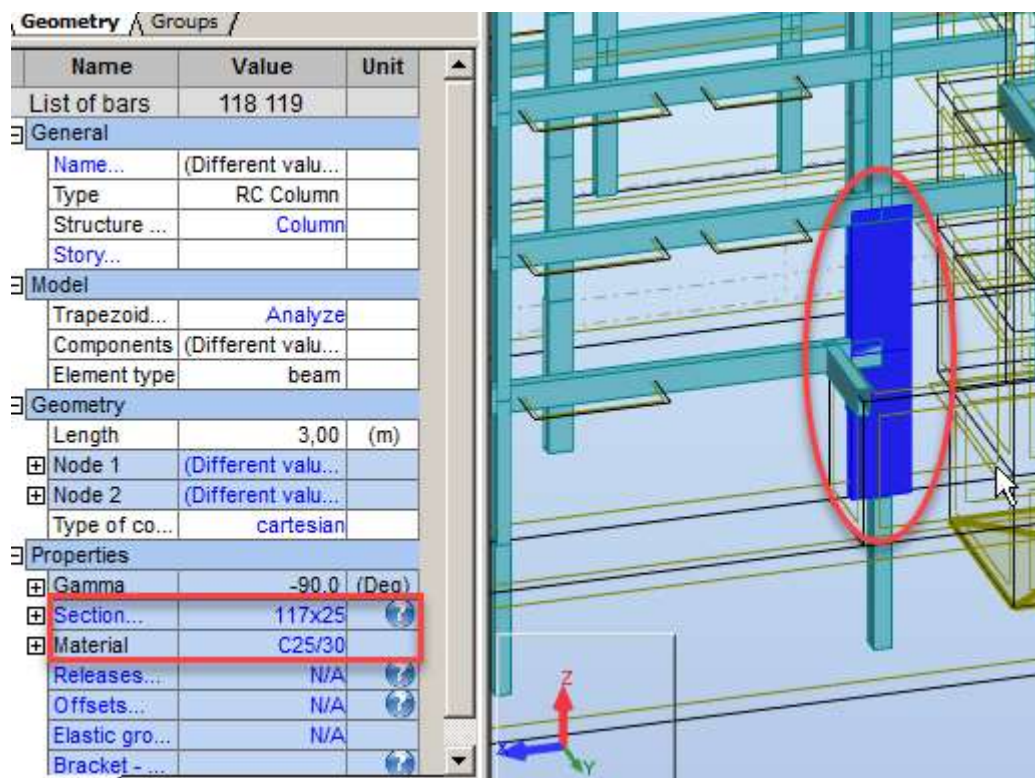


Figura 5.60- Secção de pilar alterada no *Robot*.

O modelo digital foi atualizado a partir das opções de integração direta com o *Robot* presente no *Revit*. Para atualizar o modelo é preciso selecionar todos os elementos da vista (a mesma utilizada na exportação). A opção *Update Model* foi escolhida acompanhada da opção *Update only selected part of structure*, que garante que apenas os elementos selecionados serão atualizados. Desta maneira os elementos escondidos na vista são preservados. A Figura 5.61 ilustra as opções selecionadas no menu de exportação.

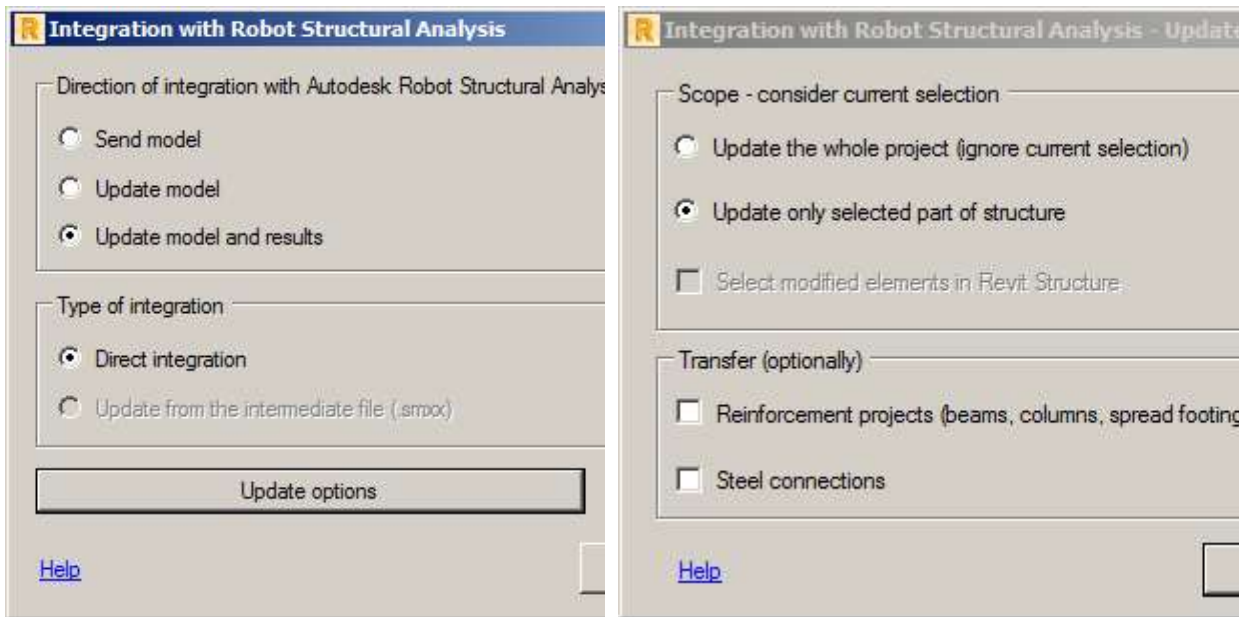


Figura 5.61- Opções de atualização do modelo.

O modelo BIM deste estudo de caso foi atualizado com as alterações acima mencionadas e o resultado é apresentado na Figura 5.62.

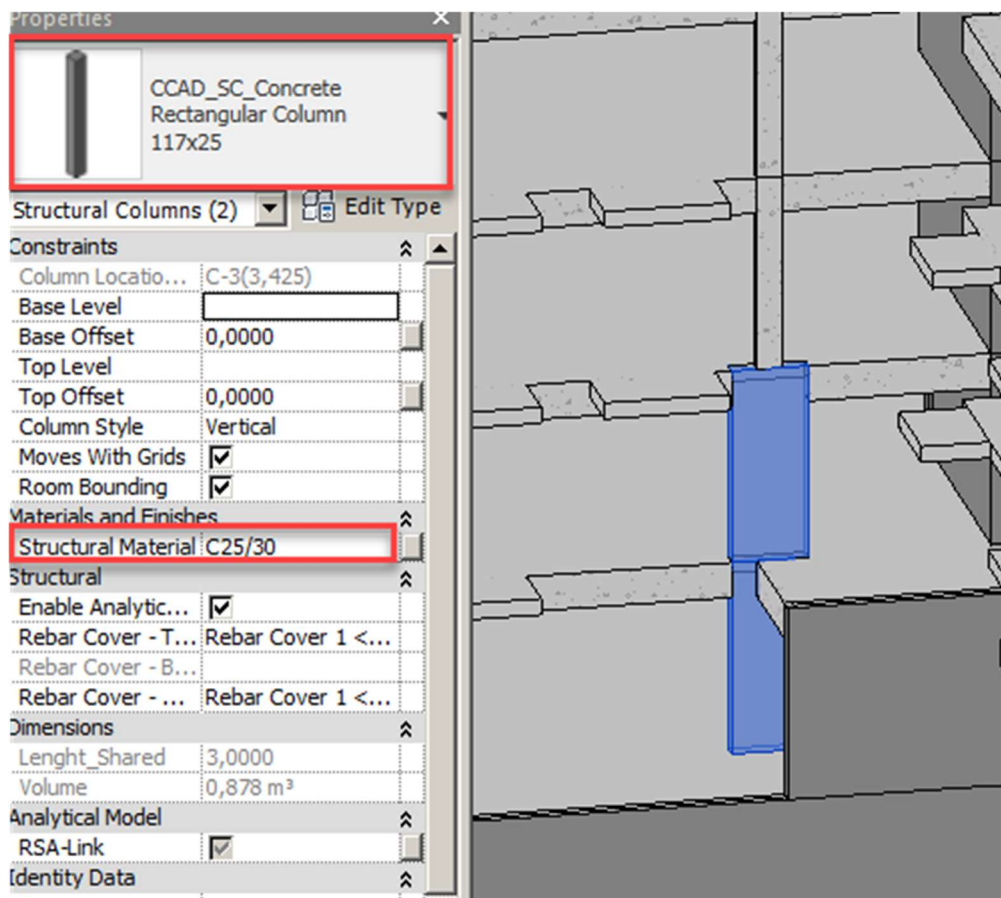


Figura 5.62- Atualização do modelo digital com alterações realizadas no Robot.

É preciso destacar, no entanto, uma limitação neste processo de redimensionamento. Os elementos quando são redimensionados no *Robot* e atualizados no *Revit* tem a secção alterada a partir do eixo do elemento, a qual nem sempre é a melhor alternativa, quando, por exemplo, é preciso manter a posição de uma das faces devido a arquitetura. Desta maneira, após a atualização do modelo no *Revit* foi preciso revisar e ajustar a posição dos elementos geométricos quando necessário. A Figura 5.63 ilustra o pilar ajustado.

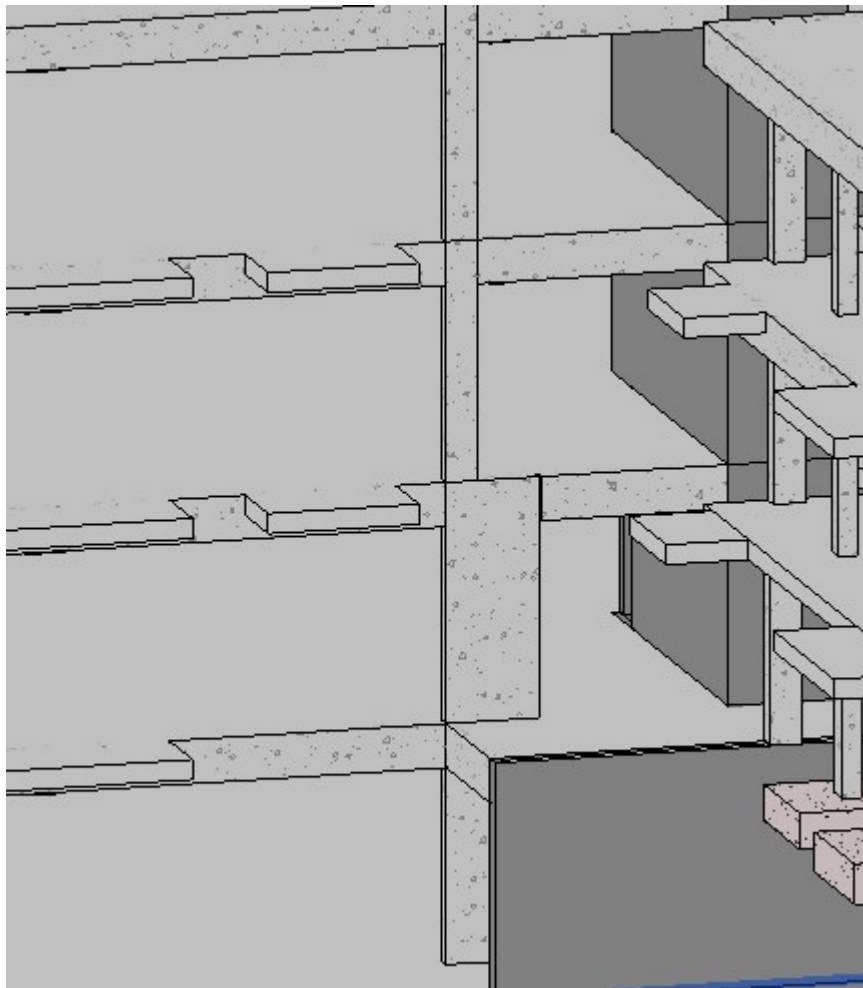


Figura 5.63- Pilar redimensionado com posição ajustada no modelo digital

## 5.6 EXPORTAÇÃO E IMPORTAÇÃO IFC

Seguindo o estudo das necessidades encontradas em um gabinete de estruturas durante o desenvolvimento de um projeto, o modelo digital foi enviado em formato não proprietário IFC para o *Tekla Structure* o qual é utilizado para fabrico das peças.

### 5.6.1 Exportação IFC

A conversão do modelo para IFC iniciou-se com a preparação do ambiente *Revit*. Desta forma, foi necessário personalizar as definições de exportação IFC, seguindo os procedimentos presentes na secção 4.2.1 desta dissertação.

O modelo foi convertido para IFC a partir do menu de exportação seguindo as definições ilustradas nas Figuras 5.64, 5.65 e 5.66.

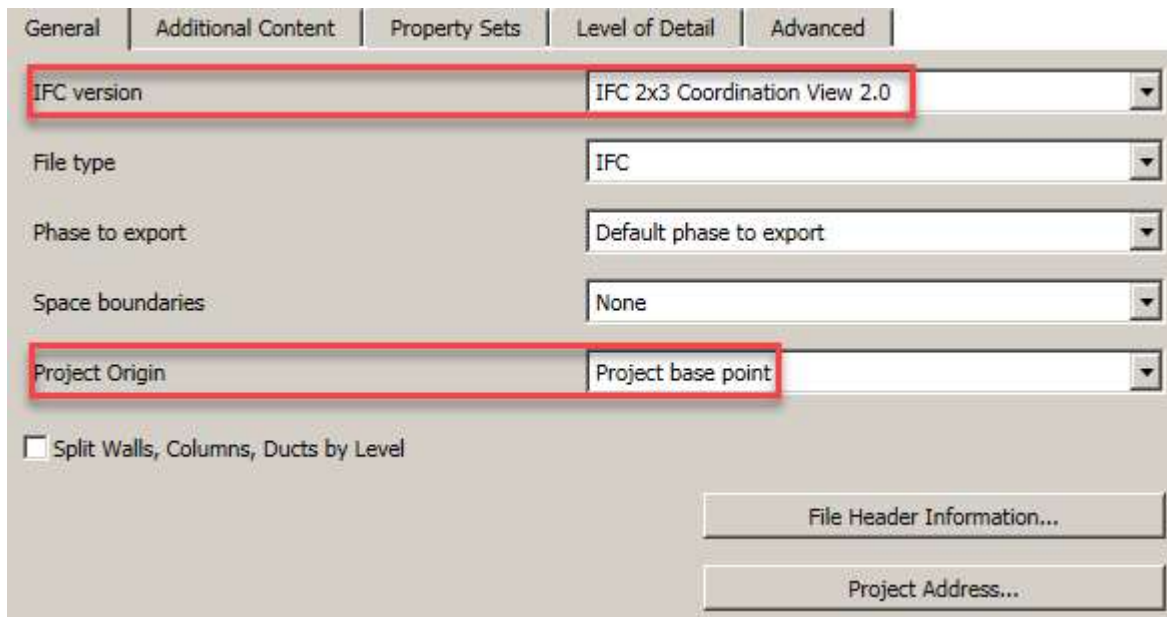


Figura 5.64- Definição do MDV e do *Project Base Point* como origem do modelo.

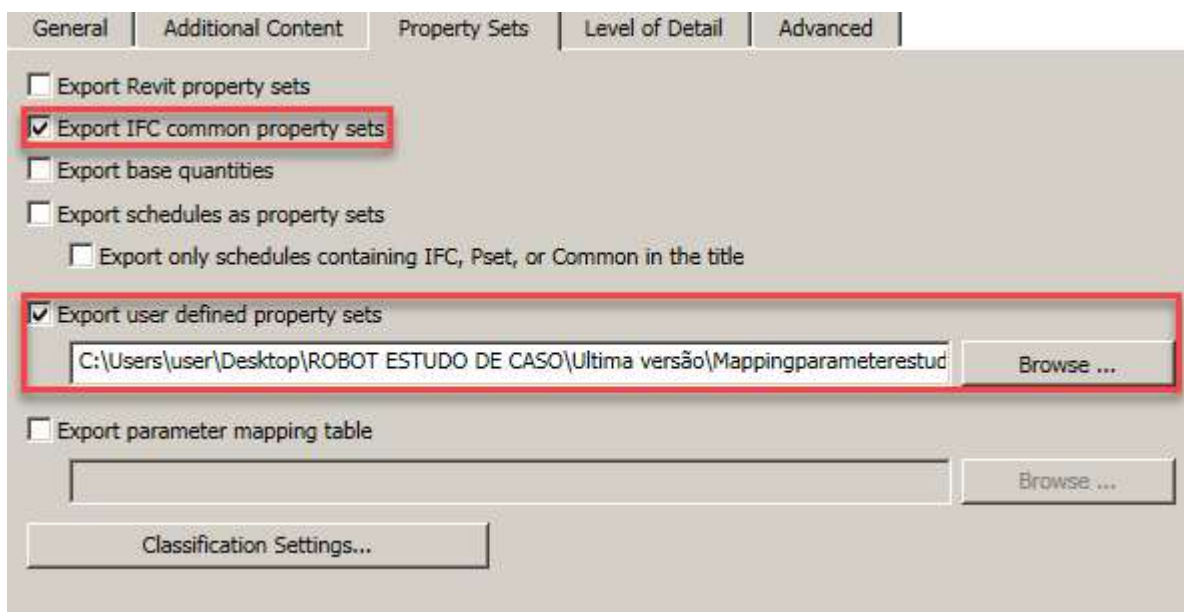


Figura 5.65- Exportação de propriedades IFC comuns ao *Revit* e propriedades personalizadas.

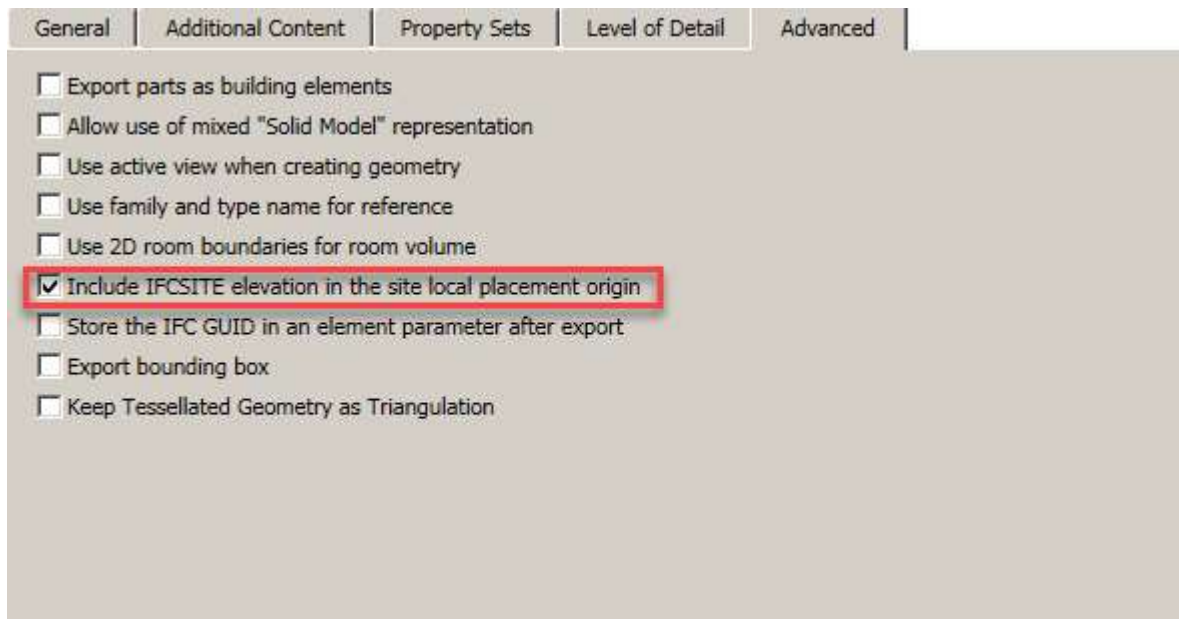


Figura 5.66- Deslocamento em Z do terreno, *IfcSite*, incluído no modelo IFC.

O arquivo .txt de mapeamento dos parâmetros é apresentado na Figura 5.67.

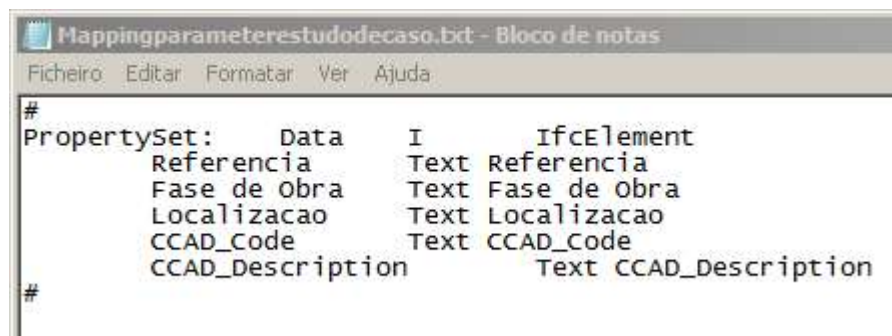


Figura 5.67- Mapeamento de parâmetros

O pilar e as propriedades destacados na Figura 5.68 foram observados durante as conversões para verificar o mapeamento de parâmetros e o comportamento das propriedades geométricas e físicas do elemento durante a exportação e importação do ficheiro IFC.

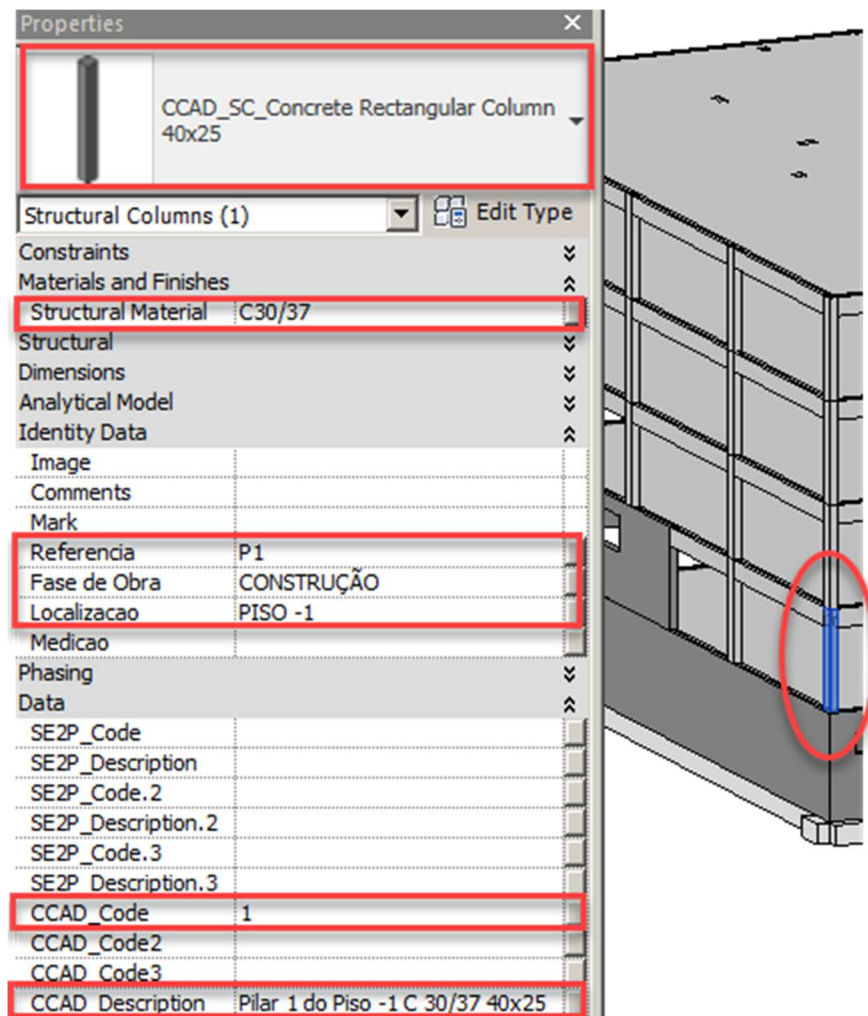


Figura 5.68- Propriedades de pilar no modelo digital Revit.

## 5.6.2 Verificação do modelo exportado

O visualizador de IFC *Tekla BimSight* foi utilizado como ponto de controlo para observar a qualidade e consistência do modelo exportado. A Figura 5.69 ilustra a visão geral do modelo convertido.

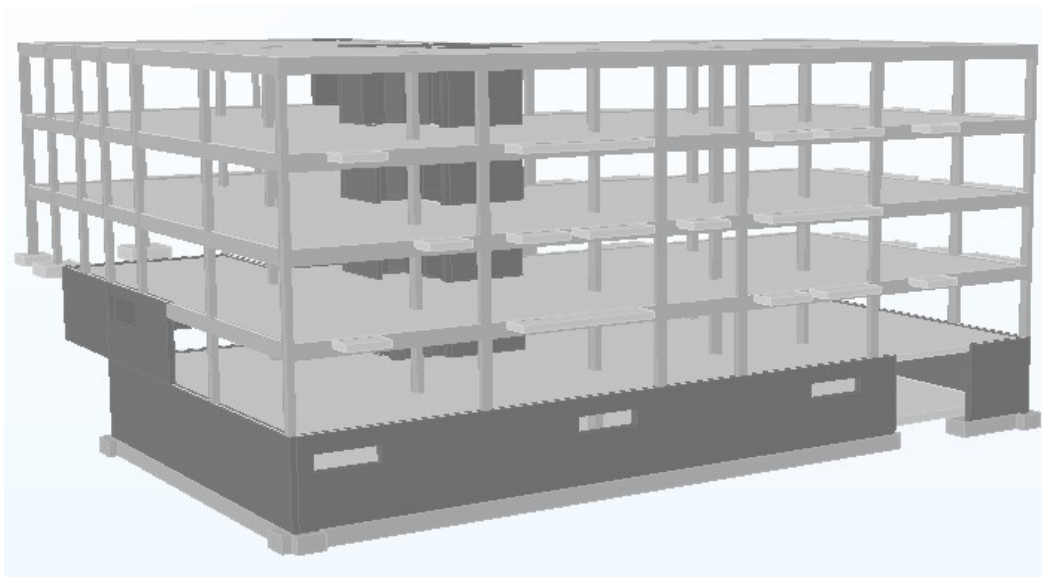


Figura 5.69- Modelo IFC visualizado no *Tekla BimSight*

Na Figura 5.70 pode-se observar a secção, o material e as propriedades mapeadas do pilar customizado.

IfcRectangleProfile	
Profile:	40x25
Dimension X:	250 mm
Dimension Y:	400 mm

Ifc2X3Product	
Product Name:	CCAD_SC_Concrete Rectangular Column:40x25:8I
Product Description:	
Product Object Type:	CCAD_SC_Concrete Rectangular Column:40x25
Owning User:	@CCAD
Creation Date:	27-07-2018 10:21:32
Change Action:	NoChange
State:	Undefined
Application:	Autodesk Revit 2018 (ENU) (Revit v2018)

IfcMaterial	
Material:	C30/37
Material Color:	#C0C0C0

Data	
Referencia:	P1
Fase de Obra:	CONSTRUÇÃO
Localizacao:	PISO -1
CCAD_Code:	1
CCAD_Description:	Pilar 1 do Piso -1 C 30/37 40x25

Figura 5.70- Propriedades de pilar no modelo IFC no *Tekla BimSight*.

A visualização do modelo no *Tekla BimSight* apresentou consistência suficiente para a importação do ficheiro no *Tekla Structure*. Todos os elementos foram exportados na conversão do *Revit* para IFC, as secções e materiais foram preservadas e as propriedades foram mapeadas.

### 5.6.3 Importação IFC

No *Tekla Structure* foi preciso criar arquivos para o mapeamento de material e propriedades personalizadas.

O mapeamento de materiais foi realizado a partir do menu *IFC object conversion settings*. O arquivo de mapeamento é ilustrado na Figura 5.71.

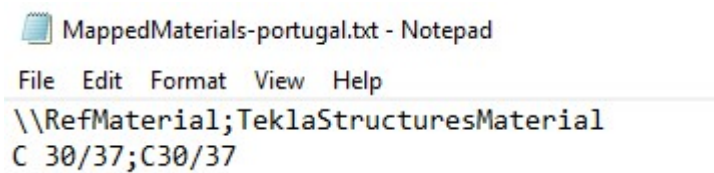


Figura 5.71- Mapeamento de materiais.

As propriedades personalizadas para serem mapeadas precisaram ser antes criadas também no *Tekla* a partir do arquivo *objects.inp*. O arquivo é ilustrado na Figura 5.72.

```

objects.inp - Notepad
File Edit Format View Help
/*****
/* Part attributes */
/*****
part(0,"Part")
{
    /* User defined tab page */
    tab_page("Revit Information")
    {
        /* User defined attribute */
        attribute("REF", "Referencia", string,"%s", no, none, "0,0", "0,0")
        {
            value("", 0)
        }
        /* User defined attribute */
        attribute("FASE", "Fase", string,"%s", no, none, "0,0", "0,0")
        {
            value("", 0)
        }
        /* User defined attribute */
        attribute("LOC", "Localizacao", string,"%s", no, none, "0,0", "0,0")
        {
            value("", 0)
        }
        /* User defined attribute */
        attribute("CODE", "CCAD Code", string,"%s", no, none, "0,0", "0,0")
        {
            value("", 0)
        }
        /* User defined attribute */
        attribute("DES", "CCAD Description", string,"%s", no, none, "0,0", "0,0")
        {
            value("", 0)
        }
    }
    tab_page("Revit Information", "Revit Information", 19)
    modify (1)
}

/*****
/* Column attributes */
/*****
column(0,"j_column")
{
    /* Reference to the user defined tab page that is defined above in */
    /* the part() section: */
    tab_page("Revit Information", "Revit Information", 19)
    modify (1)
}

```

Figura 5.72- Criação de atributos personalizados no *Tekla Structure*

Após a criação dos atributos que se associam às propriedades personalizadas do *Revit* o modelo IFC foi carregado no *Tekla*. Desta forma é possível acessar as informações dos elementos IFC. O modelo de referência e as propriedades customizadas são ilustrados nas Figura 5.73 e 5.74 respectivamente.

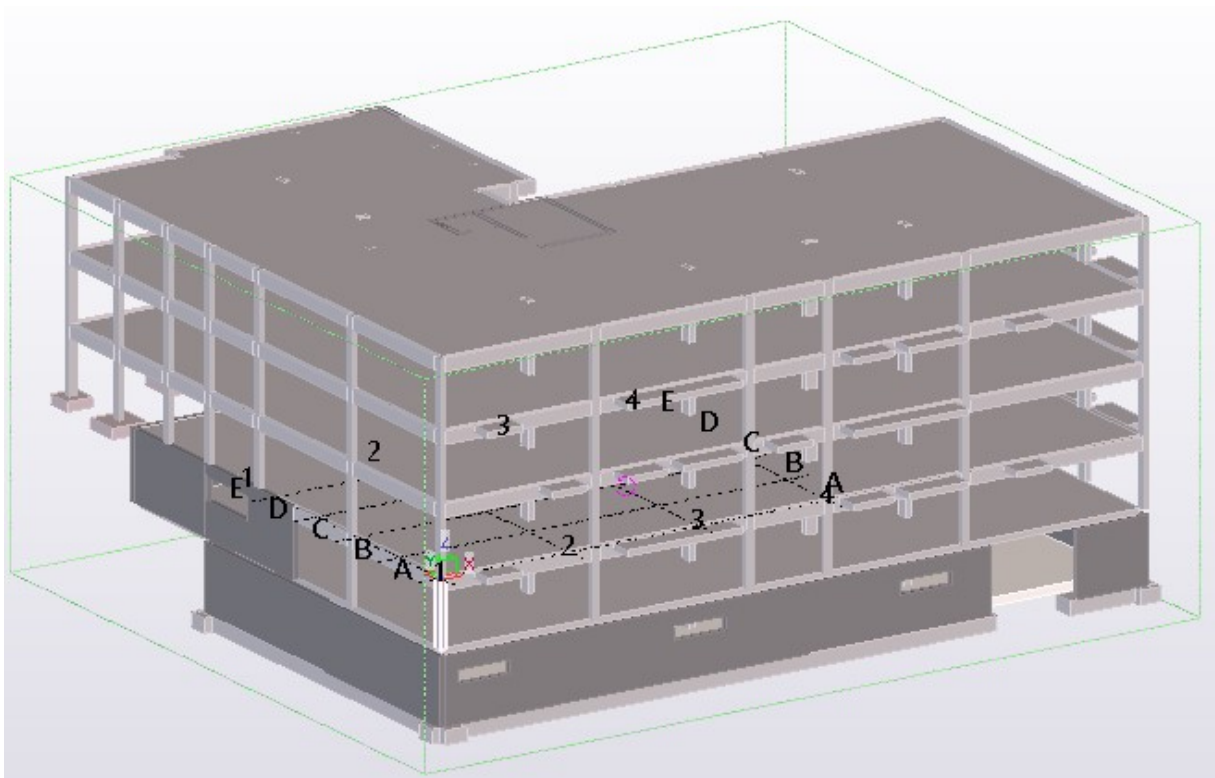


Figura 5.73- Modelo IFC de referência

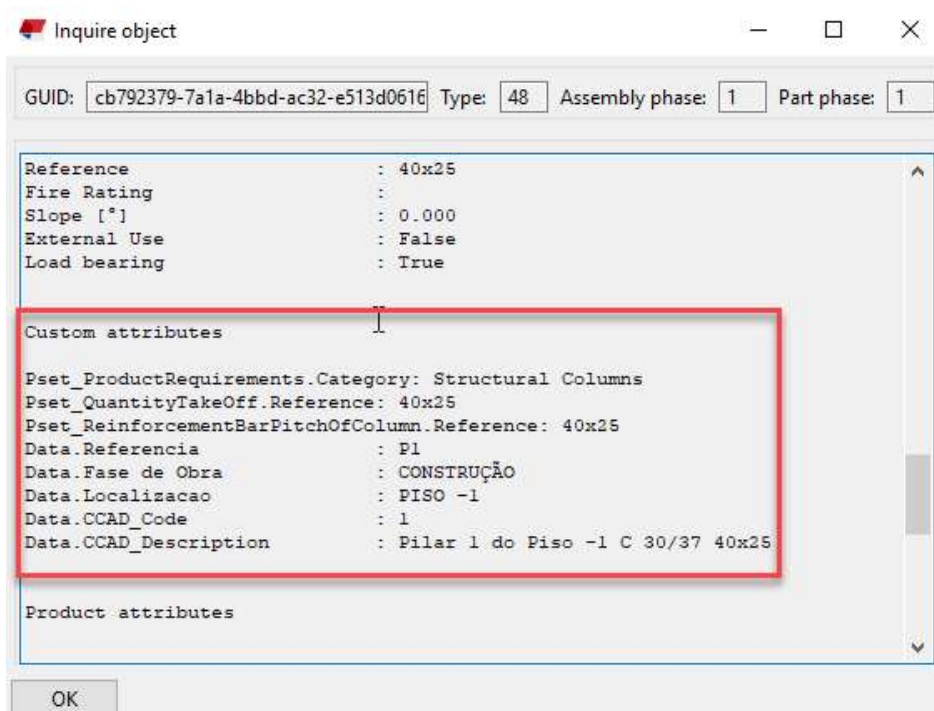


Figura 5.74- Propriedades IFC personalizadas.

O mapeamento destas propriedades foi realizado através do menu *IFC object conversion settings*, as propriedades foram associadas aos atributos personalizados criados a partir do arquivo *object.inp*. A Figura 5.75 ilustra a associação realizada.

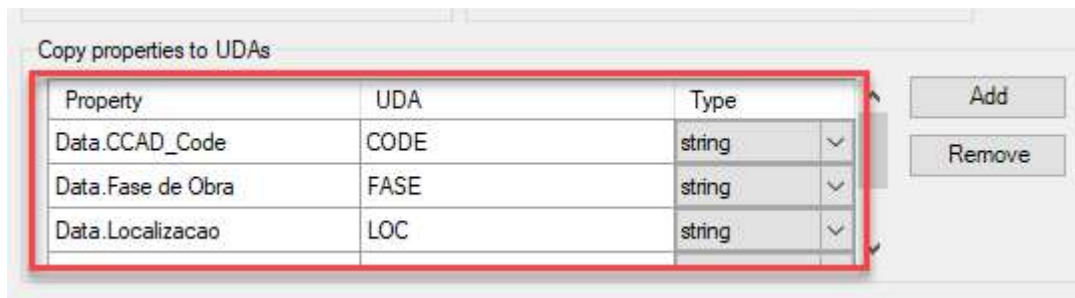


Figura 5.75- Mapeamento de propriedades

Após ajustar todas essas definições o modelo foi convertido em elementos nativos do *Tekla*. O modelo convertido apresentou o aspecto da Figura 5.76.

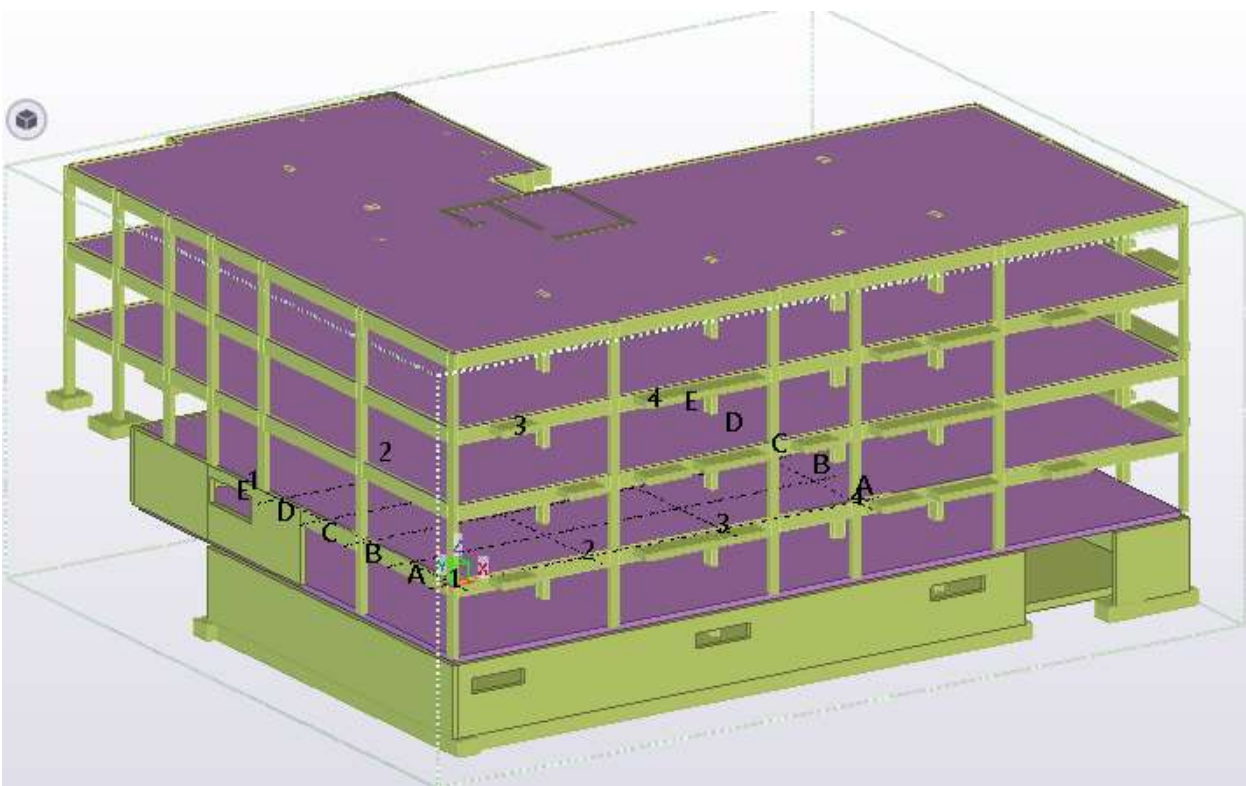


Figura 5.76- Modelo com elementos nativos *Tekla*

O pilar em observação apresentou secção e material corretamente convertidos, conforme ilustrado na Figura 5.77.

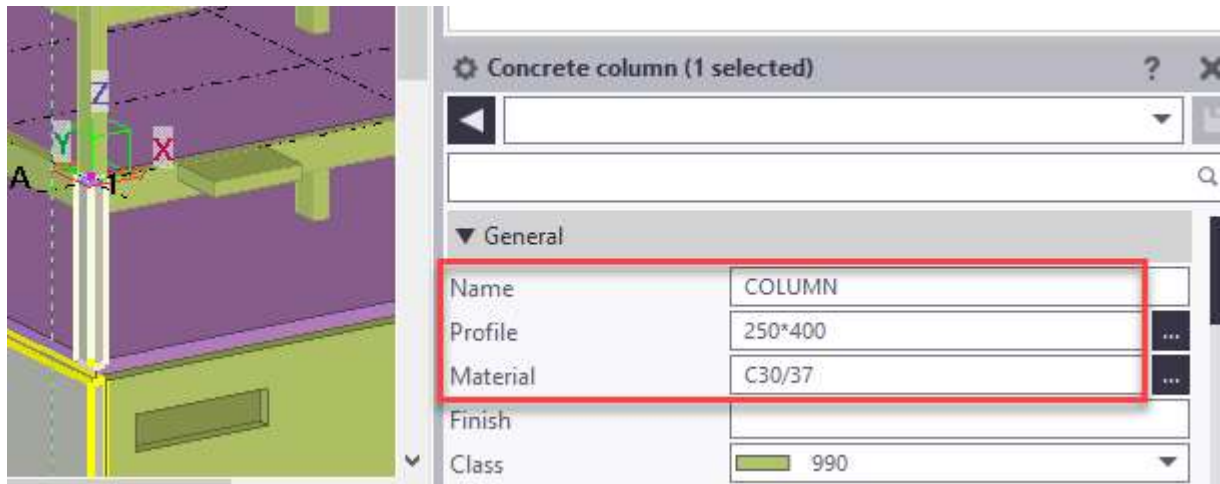


Figura 5.77- Secção e material do pilar

As propriedades mapeadas podem ser observadas na Figura 5.78.

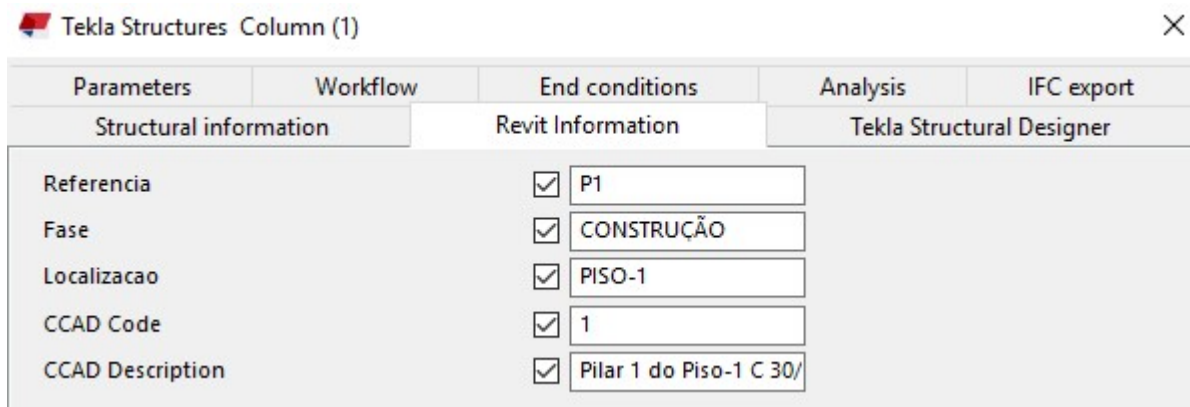


Figura 5.78- Propriedades do Pilar.



## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

#### 6.1 CONCLUSÕES FINAIS

É evidente que as potencialidades da metodologia BIM impactam positivamente na comunicação das atividades de engenharia e arquitetura entre os diversos intervenientes e nos processos que se desenrolam ao longo do ciclo de vida de um edifício. O BIM deixou de ser encarado como apenas uma mudança tecnológica e de atualização de *softwares* para passar também a uma mudança de procedimentos. A implementação prática desta metodologia no âmbito de estruturas começa a ser evidente, tendo ainda que lidar com algumas dificuldades, como a complexidade da modelação estrutural e a interoperabilidade da informação entre as várias ferramentas que fazem parte da concepção de um projeto em um gabinete de estruturas.

Apesar de atualmente a metodologia BIM já estar bem difundida e de serem evidentes as suas vantagens em relação a outras formas de modelação mais tradicionais, no âmbito de estruturas há uma grande carência de informação, seja por parte de guias elaborados por desenvolvedores de *software* ou de artigos e estudos desenvolvidos pela própria comunidade de usuários BIM, o que tornam os resultados da implementação BIM incertos. Desta forma a maioria das organizações ainda não aderiram completamente a metodologia BIM pois aguardam por evidências de retorno sobre o investimento que a adesão ao processo pode trazer.

A introdução dos dados num programa de cálculo estrutural é normalmente trabalhosa, porém, com o uso de ferramentas BIM elimina-se a necessidade de montar modelos diferentes para os diversos usos de projeto de estruturas, maximizando consideravelmente a produtividade. Estas relações são baseadas em um intercâmbio que permite a bi-direccionalidade da informação, ou seja, são reconhecidas também por parte do modelo BIM alterações à estrutura efetuadas nos programas de cálculo, durante a sua análise e dimensionamento. Dessa maneira a probabilidade de ocorrência de erros diminui, pois não é preciso atualizar manualmente ambos os modelos durante os processos de dimensionamento do projeto de estruturas. No entanto, a qualidade e consistência da integração entre duas ferramentas depende do nível de interoperabilidade entre elas e mais do que isso depende do conhecimento do projetista na interpretação dos *softwares* sobre os elementos e suas relações durante o intercâmbio de informação.

Nesse estudo constatou-se que a relação entre o modelo digital desenvolvido no *Revit* e o programa de cálculo estrutural, *Robot*, permite a troca de informação entre o modelo analítico da estrutura e o modelo numérico. Contudo, o fluxo de dados é ainda condicionado a algumas regras de modelação que tornam o modelo consistente para análise e procedimentos de mapeamento que garantam o correta associação de elementos, secções e materiais.

O uso de ficheiros em formato não proprietário, IFC, exige dos usuários o conhecimento da capacidade dos *softwares* armazenar e transportar com eficiência e segurança a grande variedade de dados envolvidos em um modelo. Os *softwares*, em geral, fornecem poucas funcionalidades para a troca de informação usando ficheiros IFC. A maioria dos programas certificados pela *buildingSmart* fornecem uma compatibilidade parcial com este formato de troca, não oferecendo muitas possibilidades de controle da informação que é transferida. Estas dificuldades foram observadas na integração entre o *Revit* e o *Tekla*, ainda que seja possível a troca de informação através de IFC muitas informações relevantes para o uso do modelo no *Tekla* são perdidas durante a exportação e importação dos dados, tal como conexões metálicas e armadura de reforço para betão. As opções de mapeamento de secção de perfis metálicos no *Tekla* também se mostram bastante limitadas. Outra limitação na ligação entre esses dois *softwares* é a interpretação de elementos com geometria complexa.

O caso de estudo corresponde a uma estrutura de betão armado, apresentando um projeto corrente em um gabinete de projetos de estrutura. O exemplo analisado representa uma grande generalidade do tipo de construção existente, e as situações estudadas são as que refletem as mais frequentes. O modelo desse estudo foi desenvolvido no *Revit* a partir das regras de modelação apresentadas no capítulo 3 e no capítulo 4 que serviram de referência à concepção e à criação do modelo estrutural para a simulação e para a representação de forma digital e integração com outros *softwares*.

Durante às trocas de informação pela interligação direta *Revit-Robot*, foi possível observar que a análise estrutural apresentou coerência quando comparada com os resultados já existentes no gabinete adquiridos a partir da concepção do modelo diretamente no *Robot* e que o redimensionamento de elementos e atualização do modelo digital no *Revit* acontece de forma satisfatória.

O caso de estudo em questão apresentou um bom comportamento tendo em vista que as secções, matérias e propriedades foram todas preservadas e corretamente exportadas na ligação por IFC, *Revit-Tekla*. É importante destacar que a estrutura é relativamente simples se comparada com outros projetos estruturais com formas mais complexas, e que poderiam apresentar maiores limitações no fluxo de informação estudado nesta dissertação.

## 6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No decorrer desta dissertação surgiram dificuldades que facilmente podem ser encontradas no cotidiano de um gabinete de projetos de estruturas que utilizam *softwares* BIM. Buscou-se por diversos meios contornar as limitações encontradas durante a modelação e a integração entre *softwares* para oferecer um resultado útil aos engenheiros e usuários que possuem engajamento nessa área.

Destaca-se a importância de desenvolver o estudo sobre outras práticas de *workflow* que permitam comparar os critérios de modelação deste estudo com outros mais apropriados. Dado ter sido utilizada uma estrutura de edifício em betão, sugere-se a realização de uma análise semelhante à efetuada, mas utilizando estruturas metálicas e estruturas mistas.

Há ainda muito a fazer em relação à interoperabilidade entre *softwares* BIM utilizando a ligação em formato aberto. O avanço dos *softwares* em busca de melhorar a eficiência neste tipo de comunicação tem sido constante, portanto recomenda-se analisar em maior detalhe as capacidades de interoperabilidade entre plataformas BIM de diferentes desenvolvedores buscando a atualização dos resultados documentos nesse estudo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antunes, R. (2017). Desenvolvimento e implementação de ferramentas de cálculo estrutural e a sua compatibilização com metodologias BIM.

*Autodesk University*. (2012). *Linking Autodesk Revit Structure and Autodesk Robot Structural Analysis: Beyond the Basics*.

*Autodesk*. (2015). *Integrating Autodesk Revit, Revit Structure, and Robot Structural Analysis Professional*.

*Autodesk*. *Autodesk Robot*. [Consult. 09 Set. 2018] Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>.

*Autodesk*. *Autodesk Revit*. [Consult. 09 Set. 2018] Disponível em: <https://www.autodesk.pt/products/revit/overview>.

Azevendo, V. (2015). Análise do modelo BIM numa perspetiva do projeto de estruturas.

Beirnaert, F. e Lippens, A. (2018). *Analysis of the interoperability from BIM to FEM*.

Bernstein, Harvey M., Norbert W. Young Jr., and Stephen A. Jones. (2007). *Interoperability in Construction Industry*.

*BuildingSMART*. *Building Smart Organization, International home of openBIM*. [Consult. 21 Set. 2018] Disponível em: <http://www.buildingsmart.org/>.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção. (2016). Fundamentos BIM - Parte 1: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção. (2016). Implementação do BIM - Parte 2: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção. (2016). Colaboração e Integração BIM - Parte 3: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras.

Computer Integrated Construction Research Program. (2013). *BIM Planning Guide for Facility Owners*. Version 2.0. Disponível em: <http://bim.psu.edu>.

Dispenza, C . (2010). *The daily life of Building Information Modelling (BIM)*. [Consult. 01 Set. 2018] Disponível em: <http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim>.

Eastman, Charles M. (1999). *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*.

Eastman, Chuck, Paul Teicholz, Rafael Sacks, and Kathleen Liston. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*.

IAI. (1999). *Industry Foundation Classes - Release 2.0. IFC Object Model Architecture Guide*, edited by Thomas Liebich.

ISO. *International Organization for Standardization* 2018. Disponível em: <http://www.iso.org/>.

Jernigan, F.E. (2008). *Big BIM, Little Bim: The Practical Approach to Building Information Modeling: Integrated Practice Done the Right Way!* 2 ed.

Khemlani, L. (2004). *The IFC Building Model: A Look Under the Hood*. AECbytes. [Consult. 15 Out. 2018] Disponível em: <http://home.fa.utl.pt/~franc/2007/mapoio/projdig/ifcmodel.pdf>

Lee, G., Sacks, R., & Eastman, C. M. (2006). *Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system*.

Lino, J. C., Azenha, M. e Lourenço, P. (2012). *Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas*.

Aldegeily, M., Shao, X., Hu, Y. (2018). *From Architectural Design to Structural Analysis: A Data-Driven Approach to Study Building Information Modeling (BIM) Interoperability*.

Parreira, J. (2013). *Implementação BIM nos processos organizacionais em empresas de construção – um caso de estudo*.

Pinho, S. (2013). *O Modelo IFC como agente de interoperabilidade - Aplicação ao domínio das estruturas*

Pukl, R., Pálek, P. e Červenka, E. (2017). *The possibility of using BIM for nonlinear life-cycle analysis of concrete structures*.

Smith, D., & Edgar, A. (2008). *Journal of Building Information Modeling*. [Consult. 15 Out. 2018]. Disponível em: [https://cdn.ymaws.com/www.nibs.org/resource/resmgr/jnibs/jbim\\_fall07.pdf](https://cdn.ymaws.com/www.nibs.org/resource/resmgr/jnibs/jbim_fall07.pdf)

Solibri. *Solibri Model Viewr*. [Consult. 09 Out. 2018] Disponível em: <http://www.solibri.com/solibri-model-viewr.html>.

Succar, B. (2009). *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. Australia: University of Newcastle & RMIT University.

Tekla. *Tekla Structures*. [Consult. 19 Set. 2018] Disponível em: <https://www.tekla.com/products/tekla-structures>

World Economic Forum. (2016). *Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology*.