



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Aplicação da metodologia BIM no desenvolvimento do projeto de estruturas de betão armado de um edifício

Laura Eckert Foguesatto

Dissertação

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da Silva
Professora Doutora Heloiza Aparecida Piassa Benetti

Julho de 2022



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Aplicação da metodologia BIM no desenvolvimento do projeto de estruturas de betão armado de um edifício

Laura Eckert Foguesatto

Dissertação

Mestrado em Engenharia de Construção e Reabilitação

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor Paulo Alexandre da Silveira Costeira Marques da
Silva

Professora Doutora Heloiza Aparecida Piassa Benetti

Julho de 2022

“O bom do caminho é haver volta. Para ida sem vinda já basta o tempo”
Mia Couto

RESUMO

A evolução da sociedade humana está, em parte, relacionada com a evolução das tecnologias. O desenvolvimento das tecnologias de informação, especialmente dos *softwares*, que facilitam os trabalhos humanos faz com que toda uma sociedade caminhe para um desenvolvimento tecnológico mais amplo.

Nesse contexto, o setor da arquitetura, engenharia e construção (AEC) também têm necessidade de buscar inovações que tragam melhorias para a humanidade e redução de tempo e de custo nas tarefas necessárias à execução de um empreendimento. Estes foram alguns intuitos que levaram ao surgimento e implementação da metodologia BIM – Building Information Modeling – um pouco por todo o mundo.

O presente estudo tem como principal objetivo a aplicação da metodologia BIM no desenvolvimento de um projeto de estruturas de um edifício multifamiliar em betão armado. Inicialmente criaram-se os modelos BIM de arquitetura e de estruturas, através da utilização do *software* Revit, tendo-se concebido duas soluções estruturais distintas. Para analisar o grau de interoperabilidade, isto é a quantidade e qualidade da informação transferida, entre o Revit e os *softwares* de análise estrutural utilizados neste trabalho (Robot Structural Analysis, TQS Estruturas e Eberick) foram utilizadas as duas soluções estruturais concebidas, com diferentes tipos de ações, de acordo com as regulamentações em vigor em Portugal (Eurocódigos) e no Brasil (NBR). Esta interoperabilidade foi avaliada através dos fluxos de transferência nos dois sentidos, ou seja, do Revit para o *software* de análise estrutural e deste novamente para o Revit, tendo-se procurado sistematizar as melhores práticas para cada um dos *softwares* adotados.

O estudo é complementado com uma análise comparativa das várias soluções estruturais obtidas para as diferentes condições e regulamentações, utilizando-se para o efeito o mapa de quantidades de materiais obtido para cada solução.

Os resultados encontrados, apesar das limitações identificadas ao longo do processo, essencialmente devidas a problemas de interoperabilidade, indicam uma facilidade no processo de modelação comparativamente com a metodologia tradicional de trabalho, mostrando as vantagens evidentes no desenvolvimento do projeto, nomeadamente na capacidade de concentração da informação, na sobreposição das especialidades e na avaliação de diferentes soluções, identificando qual a solução mais viável economicamente, mas ainda carecem de melhorias na troca de informações referente ao detalhe das armaduras.

ABSTRACT

The evolution of human society is partly related to the evolution of technologies. The development of information technology, especially software, which makes human jobs easier, makes the whole of society move towards wider technological development.

In this context, the architecture, engineering and construction (AEC) sector also needs to seek innovations that bring improvements to mankind and reduce the time and cost of the tasks required to execute a project. These were some of the purposes that led to the emergence and implementation, around the world, of BIM - Building Information Modeling.

This study has as main objective the application of BIM in the development of a structural design of a reinforced concrete building. Initially, the BIM models of architecture and structures were created, through the use of Revit software, and two different structural solutions were designed. To analyse the degree of interoperability, i.e. the quantity and quality of information transferred, between Revit and the structural analysis software used in this work (Robot Structural Analysis, TQS Structures and Eberick) were used the two structural solutions designed, with different types of actions, according to the regulations in force in Portugal (Eurocodes) and Brazil (NBR). This interoperability was evaluated through the transfer flows in both directions, i.e., from Revit to the structural analysis software and from this again to Revit, having sought to systematize the best practices for each of the adopted software.

The study is complemented with a comparative analysis of the various structural solutions obtained for the different conditions and regulations, using the map of quantities of materials obtained for each solution.

The results found, despite the limitations identified throughout the process, essentially due to interoperability problems, indicate an ease in the modelling process in comparison with the traditional work methodology, showing the evident advantages in the development of the project, namely in the ability to concentrate information, in the overlapping of specialities and in the evaluation of different solutions, identifying the most economically viable solution, but still lacking improvements in the exchange of information regarding the reinforcement detail.

PALAVRAS CHAVE

Building Information Modeling

Interoperabilidade

Projeto de Estruturas

Software de Estruturas

Betão Armado

KEY WORDS

Building Information Modeling
Interoperability
Structural Design
Structural Software
Reinforced Concrete

AGRADECIMENTOS

Agradecer é uma tarefa que deveria ser realizada diariamente, e não somente aos fins de ciclos. Há tantas pessoas que mereciam ser mencionadas aqui, que não haveria espaço, pois esse trabalho só foi concluído pela experiência de tudo que vivi até aqui e pela experiência transmitida por cada pessoa que já passou pela minha vida. Como já dizia, Isaac Newton, “se cheguei tão longe, foi porque pude me apoiar nos ombros de gigantes”.

De toda forma, devo um agradecimento muito grande à minha família, em especial aos meus pais e irmão, Milton Foguesatto, Glaci Foguesatto e Pedro Henrique Foguesatto, que puderam me proporcionar a experiência de realizar parte da graduação fora do meu país de origem, em meio a percalços e a grande saudade que habitava em todos nós. Meu eterno amor e gratidão a vocês.

Além deles, devo agradecer a quem foi minha família durante todo esse período, especialmente a República Watermelon, que foi muito mais que minha casa, mas um lar durante os meses que passei a um oceano de distância de todas as pessoas que tinham o meu amor.

Dentre as pessoas com quem dividi meus dias, devo um agradecimento especial aqueles que se tornaram meu irmãos ao longo desse período, Catarina Rodrigues e André Matias. Obrigada por serem e representarem tanto ao longo da minha trajetória e não medirem esforços para apoiar minhas lutas. Além desses, aquele que já era um irmão antes mesmo de dividirmos um sonho, Igor Lazaretti. Obrigada por sempre me levantar e acreditar na minha força, mesmo quando nem eu acredito. Vocês têm meu coração.

Também devo um agradecimento especial aos meus mestres orientadores, Professor Paulo Costeira, por acreditar na minha vontade de desenvolver esse estudo e batalhar junto comigo para chegarmos ao fim, e a Professora Heloiza Benetti que, ao longo de toda minha trajetória acadêmica se mostrou muito mais do que uma mestre, mas uma amiga e um apoio.

Ainda, há outros professores que passaram pela minha trajetória que sou muito grata, em especial ao Professor Gustavo Lacerda Dias, que acreditou no meu sonho de estudar além-mar, lutou e vibrou junto comigo na conquista.

Além dos que me ajudaram na trajetória acadêmica, devo agradecer a meus companheiros e futuros colegas de profissão. A Wselent, empresa que me deu forças e apoio para conclusão da minha dissertação, se mostrando muitas vezes mais compreensiva do que eu esperava. Ao professor Moacir de Oliveira Junior pelo suporte com a licença do *software* utilizado para a pesquisa. A meu amigo e engenheiro, Diogo Mezzomo, por acreditar que chegaria ao fim, com todo o suporte que me foi dado durante a trajetória.

E, por fim, a Maya Angelou, autora de uma das frases que mais me incetivou ao longo da vida: “Eu fiz, então, o que souber fazer. Agora que eu sei melhor, eu faço melhor.”

ÍNDICE GERAL

RESUMO	iii
ABSTRACT	v
PALAVRAS CHAVE	vii
KEY WORDS	ix
AGRADECIMENTOS	xi
ÍNDICE GERAL	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
ÍNDICE DE QUADROS	xxi
1. Introdução.....	1
1.1 Perspetiva histórica	1
1.2 Enquadramento e âmbito	2
1.3 Objetivos e organização da dissertação	3
2. Estado da Arte	5
2.1 Metodologia BIM.....	5
2.2 Metodologia tradicional <i>versus</i> metodologia colaborativa	6
2.3 Gestão da informação	8
2.4 Modelação paramétrica	9
2.5 Utilização mundial do BIM	10
2.6 BIM no projeto de estruturas	12
2.7 Interoperabilidade	13
2.7.1 Interoperabilidade em projetos de estruturas	14
3. Modelos BIM.....	17
3.1 Introdução	17
3.2 Descrição do edifício	17
3.3 Criação do modelo de arquitetura	18
3.3.1 Definições iniciais	18
3.3.2 Modelação arquitetónica.....	20

3.4	Criação do modelo estrutural	27
3.4.1	Soluções Estruturais	27
4.	Análise Estrutural.....	37
4.1	Considerações iniciais para o pré-dimensionamento	37
4.1.1	Características dos materiais estruturais	38
4.1.2	Ações a considerar	39
4.2	Pré-dimensionamento.....	48
4.3	<i>Softwares</i> de cálculo automático	52
4.3.1	Eberick	52
4.3.2	Robot Structural Analysis	53
4.3.3	TQS Estruturas	53
4.4	Modelo analítico.....	54
4.5	Análise de sobreposição dos elementos	57
4.6	Vínculo com o Robot	59
4.7	Vínculo com o Eberick.....	60
4.8	Vínculo com o TQS.....	62
4.9	Cálculo Estrutural no Robot	65
4.9.1	Definições iniciais.....	65
4.9.2	Aplicação de cargas	67
4.10	Cálculo Estrutural no TQS Estruturas	70
4.10.1	Definições iniciais.....	71
4.10.2	Aplicação de cargas	72
5.	Análise e Discussão dos Resultados	75
5.1	Interoperabilidade.....	75
5.1.1	Do Revit para o Robot	75
5.1.2	Do Robot para o Revit	77
5.1.3	Do Revit para o Eberick.....	82
5.1.4	Do Eberick para o Revit.....	82
5.1.5	Do Revit para o TQS.....	82
5.1.6	Do TQS para o Revit.....	87
5.1.7	Análise comparativa entre os <i>softwares</i>	93
5.2	Soluções estruturais	95

ÍNDICE GERAL

5.2.1	Edifícios em Portugal	95
5.2.2	Edifício no Brasil.....	97
5.2.3	Análise dos resultados	100
6.	Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros	103
6.1	Síntese e conclusões gerais	103
6.2	Desenvolvimento de trabalhos futuros.....	105
	REFERÊNCIAS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico representativo da curva de MacLeamy.....	7
Figura 2 – Gráfico representativo do fluxo de informação no ciclo de vida de um projeto (Infrarati, 2022).....	9
Figura 3 - Definição dos níveis de trabalho iniciais.	19
Figura 4 - Organização do Navegador.....	19
Figura 5 - Representação e definição da grelha de eixos auxiliares em planta.	20
Figura 6 - Constituição da parede exterior estrutural com 20 cm de espessura.	21
Figura 7 - Constituição da parede exterior com 40 cm de espessura.	21
Figura 8 - Constituição da parede exterior com 15 cm de espessura.	22
Figura 9 - Representação em perspetiva 3D da parede exterior do modelo de arquitetura BIM da cave.	22
Figura 10 - Constituição da parede interior com 30 cm de espessura.	23
Figura 11 - Constituição da parede interior com 15 cm de espessura.	24
Figura 12 - Planta com as paredes exteriores e interiores do modelo de arquitetura BIM do Piso Tipo.....	24
Figura 13 - Representação em perspetiva 3D das paredes interiores e exteriores do modelo de arquitetura BIM, desde a cave até ao Piso Tipo.	25
Figura 14 - Corte 3D do modelo de arquitetura BIM com a representação da escada.	25
Figura 15 - Planta da cobertura do edifício.	26
Figura 16 - Visão em 3D da cobertura do modelo.	26
Figura 17 - Estabelecimento de vínculo entre Revit Architecture e Revit Structure.	28
Figura 18 - Exemplo de compatibilização dos modelos BIM.	28
Figura 19 - Estabelecimento de vínculo dos eixos entre os modelos BIM.....	29
Figura 20 - Janela de seleção para tornar as instâncias do modelo arquitetónico editáveis no modelo estrutural.	29
Figura 21 - Propriedades estruturais da laje dos pavimentos tipo.	30
Figura 22 - Modelação estrutural com diferentes abordagens para extração de quantidades. .	30
Figura 23 - Pilares inseridos no modelo de estruturas BIM.	31
Figura 24 - Níveis inseridos durante a modelação estrutural BIM.....	32
Figura 25 - Modelo estrutural da solução 1, sem os elementos da escada e das rampas.....	33
Figura 26 - Modelo estrutural da solução 1.	33
Figura 27 - Modelo estrutural da solução 2, sem os elementos das escadas e das rampas.	34
Figura 28 - Modelo estrutural da solução 2.....	34
Figura 29 - Solução adotada para o suporte da laje da cobertura (localização em Portugal). ..	35
Figura 30 - Modelo estrutural da solução 1, sem os elementos de escada e das rampas.....	36
Figura 31 - Modelo estrutural da solução 2, sem os elementos de escada e das rampas.....	36
Figura 32 - Propriedades do betão C30/37.	38

Figura 33 - Propriedades do aço A400NR.	38
Figura 34 - Gráfico das isopletras para definição da velocidade do vento no Brasil (ABNT NBR 6123, 1988)	43
Figura 35 - Classificação do território nacional para a definição da ação da neve (EC1-3)...	44
Figura 36 - Coeficiente de forma para a carga de neve (Quadro 5.2 do EC1-3).	45
Figura 37 - Coeficientes de forma para a carga de neve: a) cobertura de uma vertente; b) cobertura de duas vertentes (EC1-3).....	45
Figura 38 - Zoneamento sísmico em Portugal Continental (EC8).....	46
Figura 39 - Valor de α em função da localização dos pilares.	50
Figura 40 - Ferramenta para estabelecer o modelo analítico de plantas estruturais criadas manualmente no Revit Structure.....	55
Figura 41 - Incompatibilidade entre nós do modelo estrutural.	55
Figura 42 - Acesso a verificação de consistência do modelo analítico.....	56
Figura 43 - Ajuste analítico para correção de incompatibilidades.....	56
Figura 44 - Modelo analítico após correções.	57
Figura 45 - Modelo 3D vinculado ao modelo arquitetónico e estrutural.	58
Figura 46 - Sobreposição de elementos estruturais e arquitetónicos apresentados em corte... 58	
Figura 47 - Modelo no Revit Structure com as cargas permanentes lançadas.....	59
Figura 48 - Ícone para importação da modelação arquitetónica do Revit para o Robot.....	60
Figura 49 - Caixa de diálogo para transferência dos dados entre o Revit e o Robot.	60
Figura 50 - Resultado das informações no <i>software</i> Robot após importação do modelo estrutural do Revit.....	60
Figura 51 - Caixa de diálogo no Revit para exportação no formato IFC.....	61
Figura 52 - Modelo de arquitetura e de estruturas do Revit exportado para o Eberick, sem reconhecimento de elementos estruturais.	61
Figura 53 - Sobreposição de elementos estruturais do Eberick com o modelo arquitetónico do Revit.....	62
Figura 54 - Seleção da informação a exportar do modelo estrutural do Revit para o TQS.	63
Figura 55 - Seleção dos pavimentos a transferir para o TQS.....	64
Figura 56 - Visualização do modelo estrutural no TQS após correções.	64
Figura 57 - Modelo 3D da Solução Estrutural 1 no TQS.....	65
Figura 58 - Modelo 3D da Solução Estrutural 2 no TQS.....	65
Figura 59 - Definição dos materiais no Robot.	66
Figura 60 - Propriedades atribuídas no Robot ao betão.	66
Figura 61 - Configuração da normalização a usar no Robot.....	66
Figura 62 - Configuração das normas a utilizar para as cargas atuantes no Robot.....	67
Figura 63 - Cargas aplicadas no modelo do Revit.	68
Figura 64 - Interface de configuração da ação sísmica no Robot.	68
Figura 65 - Direção dos sismos atuantes na estrutura.....	69
Figura 66 - Interface para aplicação dos intervalos sísmicos no Robot, definidos automaticamente pela norma.	69

Figura 67 - Parâmetros para a definição da ação sísmica.....	69
Figura 68 - Simulação da carga de vento no Robot.....	70
Figura 69 - Simulação da carga de vento sendo gerada com o auxílio do CFD Ultimate.....	70
Figura 70 - Definições iniciais da normalização a usar no TQS.	71
Figura 71 - Definições do modelo estrutural do edifício no TQS.	71
Figura 72 - Definições e atribuições de cada pavimento no TQS.	72
Figura 73 - Definições dos pisos auxiliares no TQS.	72
Figura 74 - Definições dos materiais no TQS.	73
Figura 75 - Definição da classe de agressividade ambiental no TQS.	73
Figura 76 - Definição de cargas de sobrecargas no TQS.	74
Figura 77 - Definição de cargas de vento no TQS.	74
Figura 78 - Configuração das propriedades do material no Robot.....	76
Figura 79 - Verificação da estabilidade geral da estrutura antes da aplicação das cargas no Robot.	76
Figura 80 - Desencontros de nós na estrutura do Robot, a causar avisos de estrutura separada.	77
Figura 81 - Nós da estrutura após a correção.	77
Figura 82 - Interface para integração entre o Robot e o Revit.	78
Figura 83 - Opções de envio da estrutura dimensionada do Robot para o Revit.	78
Figura 84 - Falhas na exportação das armaduras do Robot para o Revit.	79
Figura 85 - Falhas no posicionamento das armaduras nos elementos após a exportação do Robot para o Revit.....	79
Figura 86 - Modelo estrutural com as armaduras devidamente posicionadas.....	80
Figura 87 - Viga de 40 x 80 cm dimensionada no Robot.....	81
Figura 88 - Viga de 40 x 80 cm dimensionada no Robot após a exportação para o Revit.....	81
Figura 89 - Visualização inicial do modelo estrutural no TQS.	83
Figura 90 - Bordos das lajes coincidentes com a linha de fecho das vigas no TQS.....	83
Figura 91 - Exportação de elementos inclinados do Revit para o TQS.....	84
Figura 92 - Visualização das cargas nas vigas transferidas do Revit para o TQS.....	84
Figura 93 - Valor da carga indefinida nas vigas transferidas do Revit para o TQS.	85
Figura 94 - Vínculo entre vigas transferido incorretamente do Revit para o TQS.....	85
Figura 95 - Aberturas duplicadas na exportação do Revit para o TQS.	86
Figura 96 - Inversão do sentido das vigas na transferência de dados do Revit para o TQS.....	86
Figura 97 - Visualização do modelo estrutural no TQS.	86
Figura 98 - Interface para exportação do modelo do TQS para o Revit.....	87
Figura 99 - Seleção de critérios de exportação do TQS para o Revit.....	88
Figura 100 - Interface de seleção para importação dos dados do TQS para o Revit.....	88
Figura 101 - Erro na transferência das escadas do TQS para o Revit.	89
Figura 102 - Estrutura transferida do TQS para o Revit.....	89
Figura 103 - Erro na transferência de elementos inclinados do TQS para o Revit.	90
Figura 104 - Erro no posicionamento das armaduras na transferência do TQS para o Revit.	91

Figura 105 - Compatibilização dos modelos arquitetônico e estrutural para a solução estrutural 1 (Brasil).	91
Figura 106 - Compatibilização dos modelos arquitetônico e estrutural para a solução estrutural 2 (Brasil).	91
Figura 107 - Detalhe da armadura da viga 1 do rés-do-chão (solução estrutural 1) obtido no TQS.	92
Figura 108 - Detalhe da armadura da viga 1 do rés-do-chão (solução estrutural 1) no Revit.	92
Figura 109 - Detalhe da armadura da laje do rés-do-chão (solução estrutural 1) no Revit.	92
Figura 110 - Planta arquitetônica da cave (AutoCad).	110
Figura 111 - Planta arquitetônica do rés-do-chão (AutoCad).	110
Figura 112 - Planta arquitetônica do piso tipo (AutoCad).	111
Figura 113 - Planta arquitetônica do sótão (AutoCad).	111
Figura 114 - Planta arquitetônica da cobertura (AutoCad).	112
Figura 115 - Alçado principal (AutoCad).	112
Figura 116 - Alçado posterior (AutoCad).	113
Figura 117 - Alçado lateral direito (AutoCad).	113
Figura 118 - Alçado lateral esquerdo (AutoCad).	114
Figura 119 - Corte A:B (AutoCad).	114
Figura 120 - Corte C:D (AutoCad).	115
Figura 121 - Planta arquitetônica da cave (Revit).	116
Figura 122 - Planta arquitetônica do rés-do-chão (Revit).	116
Figura 123 - Planta arquitetônico do piso tipo (Revit).	117
Figura 124 - Planta arquitetônica do sótão (Revit).	117
Figura 125 - Planta arquitetônica da cobertura (Revit).	118
Figura 126 - Alçado principal (Revit).	118
Figura 127 - Alçado posterior (Revit).	119
Figura 128 - Alçado lateral direito (Revit).	119
Figura 129 - Alçado lateral esquerdo (Revit).	120
Figura 130 - Corte A:B (Revit).	120
Figura 131 - Corte C:D (Revit).	121
Figura 132 - Vista 3D do edifício (Revit).	121
Figura 133 - Planta estrutural da fundação de ambas as soluções (Revit).	122
Figura 134 - Planta estrutural da cave da solução estrutural 1 (Revit).	122
Figura 135 - Planta estrutural do piso tipo da solução estrutural 1 (Revit).	123
Figura 136 - Planta estrutural do sótão da solução estrutural 1 (Revit).	123
Figura 137 - Planta estrutural da cobertura da solução estrutural 1 (Revit).	124
Figura 138 - Planta estrutural da cave da solução estrutural 2 (Revit).	126
Figura 139 - Planta estrutural do rés-do-chão da solução estrutural 2 (Revit).	126
Figura 140 - Planta estrutural do piso tipo da solução estrutural 2 (Revit).	127
Figura 141 - Planta estrutural do sótão da solução estrutural 2 (Revit).	127
Figura 142 - Planta estrutural da cobertura da solução estrutural 2 (Revit).	128

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Solução de paredes exteriores.	21
Quadro 2 - Solução de paredes interiores.	23
Quadro 3 - Resumo das ações permanentes consideradas em cada edifício.	40
Quadro 4 - Resumo do valor característico das sobrecargas consideradas em cada edifício.	42
Quadro 5 - Definição da sobrecarga de neve.	45
Quadro 6 - Parâmetros para definição da ação sísmica para o edifício localizado em Lisboa.	47
Quadro 7 - Parâmetros para definição da ação sísmica para o edifício localizado em Viseu.	48
Quadro 8 – Determinação do momento máximo positivo e da espessura das lajes.	49
Quadro 9 - Consumo de betão para solução estrutural 1, localizada em Viseu.	95
Quadro 10 - Consumo de betão para a solução estrutural 2, localizada em Viseu.	96
Quadro 11 - Consumo de betão para a solução estrutural 1, localizada em Lisboa.	96
Quadro 12 - Consumo de betão para a solução estrutural 2, localizada em Lisboa.	96
Quadro 13 – Dimensões dos principais elementos estruturais dos edifícios em Portugal.	97
Quadro 14 - Consumo de betão para a solução estrutural 1 (lajes fungiformes) do edifício em Pato Branco.	98
Quadro 15 - Consumo de betão para a solução estrutural 2 (estrutura porticada) do edifício em Pato Branco.	98
Quadro 16 - Consumo de aço por diâmetro na Solução Estrutural 1, segundo as normas brasileiras.	98
Quadro 17 - Consumo de aço por diâmetro na Solução Estrutural 2, segundo as normas brasileiras.	99
Quadro 18 – Dimensões dos principais elementos estruturais do edifício no Brasil.	99

1. Introdução

1.1 Perspetiva histórica

A evolução humana está diretamente ligada às facilidades que o crescimento e avanço da tecnologia trás. Isso se dá porque grande parte dos avanços tecnológicos do mundo, que trouxeram melhorias e facilidades para a vida dos seres humanos, têm uma contribuição do setor da engenharia.

A evolução da sociedade em que vivemos só foi possível, primordialmente, graças ao surgimento de abrigos, que trouxe mudanças para uma civilização nómada e que passou a desenvolver cidades ao redor desses abrigos (Maria Ramos da Cunha Serra, 2015). O ponto é que, da mesma forma que foram necessários avanços para começar a se constituir uma sociedade, hoje são necessários para manter essa mesma sociedade em desenvolvimento.

Na década de 80 do século passado, houve o surgimento das aplicações CAD (*Computer-aided design*), que fez a transição do desenho técnico em papel para o computador e que trouxe evolução e facilitação no processo de desenvolvimento de projetos, principalmente reduzindo o seu tempo de execução. Posteriormente, essas aplicações CAD evoluíram para modelações tridimensionais de edifícios, através do surgimento de sistemas orientados por objetos, mas ainda limitados à representação gráfica, baseada na componente geométrica, sem a capacidade de registar e gerir maiores informações referentes ao edifício.

Nesse contexto, o setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) começou a apresentar a necessidade de passar por outra transição. A metodologia BIM (*Building Information Modeling*) surgiu para trazer melhorias a essas limitações apresentadas nas aplicações CAD. Essa metodologia passa a ter a capacidade de representar o modelo 3D de um edifício e reunir outras informações associadas ao projeto (Eastman, 1975).

Por esse motivo, o setor da AEC tem dado maior destaque, atualmente, ao desenvolvimento e implementação da metodologia BIM, conceito relativamente novo e que traz a possibilidade de junção de informações com um modelo virtual 3D, sendo um facilitador para a gestão de processos e para a manipulação de grande quantidade de dados.

1.2 Enquadramento e âmbito

O avanço da tecnologia trouxe grandes benefícios para o dia a dia da população, e não poderia ser diferente no setor da Arquitetura, Engenharia Civil e Construção (AEC). Este setor está em constante modernização, da mesma forma que outros setores produtivos, pois dele também é exigido a procura por soluções mais eficientes, otimizadas e sustentáveis.

A metodologia BIM apresenta-se atualmente com um potencial elevado e uma crescente aceitação no setor AEC, com uma significativa implementação em alguns países europeus, particularmente na Finlândia, na Noruega, na Dinamarca, na Holanda, no Reino Unido e mais recentemente na França. Em Portugal a sua aplicação é ainda reduzida (McGraw Hill Construction, 2012).

No Brasil, a primeira ação estatal com intuito de implantação da metodologia BIM de forma generalizada ocorreu em 2010, quando houve uma contratação para o desenvolvimento de uma versão inicial da Biblioteca BIM para a tipologia de edificação do Programa “Minha Casa, Minha Vida”, por demanda do Ministério do Desenvolvimento (Kassem & Amorim, 2015). Em 2018, foi difundida pelo governo uma política unificada de difusão desta metodologia através da Estratégia Nacional de Disseminação do BIM. Esta estratégia pressupõe um período de dez anos para que se exija gradualmente o uso do BIM nas obras públicas. Um dos objetivos desta política é a implementação da Plataforma e da Biblioteca BIM BR (maior biblioteca pública de objetos em BIM), que está a ser coordenada pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI).

Ao profissional do ramo da construção passa a ser exigido, nestes tempos tecnológicos, o pleno domínio desta nova tecnologia, que é o BIM, acompanhando, assim, toda uma evolução tecnológica que está em curso.

Apesar das inúmeras vantagens associadas à aplicação do BIM por parte dos diversos intervenientes (arquitetos, projetistas, construtores, etc.) da indústria AEC, constata-se que a maioria dos gabinetes de projeto ainda desenvolvem os seus projetos de estrutura de uma forma tradicional (Kassem & Amorim, 2015).

O âmbito do presente estudo consiste na aplicação da metodologia BIM, no desenvolvimento de um projeto de estruturas de betão armado de um edifício. É descrito o processo de elaboração do modelo de arquitetura e dos modelos de estruturas de duas correções estruturais possíveis, identificando as principais vantagens e as limitações verificadas.

O projeto de estruturas será desenvolvido considerando as regulamentações em vigor em Portugal (Eurocódigos) e no Brasil (NBR), as várias soluções estruturais concebidas e o tipo de ações previstas para um edifício multifamiliar localizado no Brasil ou em Portugal.

A eficácia desta metodologia depende da capacidade de interoperabilidade estabelecida entre *softwares*. Com este estudo pretende-se, ainda, analisar o nível de interoperabilidade entre os *softwares* utilizados na elaboração do projeto de estruturas.

Ainda, será abordada a forma de pormenorização das armaduras de alguns elementos estruturais, bem como a comparação das soluções estruturais em termos de mapa de quantidades e de custos.

1.3 Objetivos e organização da dissertação

O objetivo principal deste estudo será a aplicação da metodologia BIM no desenvolvimento de um projeto de estruturas de um edifício multifamiliar em betão armado e, assim, contribuir para um maior conhecimento do BIM, da sua aplicabilidade e importância para a modernização do setor AEC.

Com o presente trabalho pretende-se, ainda:

- Avaliar o nível de interoperabilidade entre o Revit 2022, da Autodesk, e outros programas de análise estrutural, Robot Structural Analysis Professional 2022, também da Autodesk, TQS V22, da TQS Informática LTDA, e Eberick 2017, da AltoQi, todos utilizados em sua versão de estudante, com exceção do último listado.
- Efetuar o cálculo estrutural e a verificação da segurança considerando duas regulamentações distintas (Eurocódigos e NBR).
- Comparar as diferentes soluções estruturais obtidas, através dos mapas de quantidades.
- Elaborar as peças desenhadas de alguns elementos estruturais através do Revit, com pormenorização de armaduras.
- Indicar as vantagens e limitações mais relevantes identificadas no estudo.

O presente trabalho é constituído por 6 capítulos, incluindo o presente capítulo que faz uma apresentação geral do tema, o seu enquadramento e âmbito, apresentando os objetivos e descrevendo resumidamente a organização da dissertação.

O capítulo 2 inclui uma revisão bibliográfica e de alguns conceitos, caracterizando o Estado da Arte, abordando o conceito BIM, aplicação do BIM ao projeto de estruturas e a interoperabilidade.

No capítulo 3 são apresentados os aspetos relacionados com a geração dos modelos BIM de arquitetura e de estruturas, em relação ao caso de estudo de um edifício multifamiliar, por recurso ao *software* Revit. É feita a descrição da solução arquitetónica do edifício e das duas soluções estruturais concebidas para a estrutura.

O capítulo 4 é dedicado à análise estrutural das duas soluções, apresentando-se os aspetos relacionados com o seu pré-dimensionamento, incluindo a quantificação das ações. Os *softwares* de cálculo adotados no presente trabalho são apresentados resumidamente e é feita a descrição dos aspetos relacionados com a preparação dos modelos analíticos no Revit. Também se apresentam as diferentes soluções adotadas para a transferência de informação entre o Revit e os programas de cálculo estrutural e, finalmente, são descritas as configurações e correções a

fazer nos programas de cálculo estrutural a fim de proceder-se ao dimensionamento das soluções estruturais.

No capítulo 5 são analisados e discutidos os resultados, nomeadamente sobre a interoperabilidade entre os *softwares* utilizados e é efetuada uma análise comparativa das soluções estruturais obtidas, baseada no mapa de quantidades gerado automaticamente do Revit.

O capítulo 6 é dedicado à apresentação das principais conclusões referentes aos assuntos tratados neste estudo, são identificadas as vantagens, desvantagens e limitações encontradas e são propostas possíveis sugestões de trabalho futuro que possam ser desenvolvidos para dar continuidade a esse estudo.

2. Estado da Arte

2.1 Metodologia BIM

Building Information Modeling, o BIM, é uma metodologia surgida recentemente e que se encontra em fase de reconhecimento e implementação no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Hoje existem nas bibliografias várias formas de conceituar o que é BIM. Eastman, em 1975, fez a primeira referência a uma composição descritiva de um edifício e, em 1999, define BIM como “*a representação digital do processo de construção, como intuito para facilitar o intercâmbio e interoperabilidade da informação em um formato digital*” (C. M. Eastman, 1999).

Já Smith, em 2007, de uma forma mais prática, conceitua BIM como um modelo digital de um empreendimento, criado virtualmente, com o intuito de analisar e identificar problemas, bem como fazer uma possível simulação para examinar possíveis consequências e implicações antes da efetiva construção. Outra referência de conceituação para BIM foi feita por Boniface et al., em 2010, e também defendida por (C. Eastman et al., 2011), como técnicas e processos de modelação para produção, comunicação e análise de modelos de empreendimentos.

Por fim, para resumir as diversas formas de conceituar, pode-se dizer que BIM é uma representação digital da informação. Ainda, McGraw-Hill Construction, em 2010, descreve que é a representação digital das características físicas e funcionais de uma instalação e um recurso compartilhado para informação durante o seu ciclo de vida, a envolver a criação e uso de modelos digitais e processos colaborativos relacionados entre empresas para alavancar o valor dos modelos. Ainda, por Smith (2007), é conceituado como uma criação virtual de um modelo de um empreendimento de modo a identificar e analisar problemas, simular e examinar possíveis consequências e implicações antes da construção efetiva do empreendimento.

Com isso, chega-se a uma conclusão de que BIM trata-se de uma metodologia que tem o intuito de reunir as diversas informações pertencentes a uma construção, durante as fases do seu ciclo de vida, com o intuito de reduzir tempo, minimizar erros e agregar valor a uma edificação.

2.2 Metodologia tradicional *versus* metodologia colaborativa

Para falar sobre a aplicabilidade da metodologia BIM, é necessário compará-la com a metodologia tradicional, que ainda é a mais utilizada, atualmente, no mercado e há muitos anos. Esta, consiste basicamente em desenhos 2D ou 3D, em alguns casos, é praticada de forma isolada, ou seja, até existe uma equipa para desenvolvimento de projeto, mas cada parte desta acaba por atuar de forma individual e de forma sequencial no processo de conceção de um edifício (Eastman et al., 2011).

Esta forma sequencial de trabalho acaba por gerar muitos conflitos entre os resultados de cada interveniente, além de omissões de partes do projeto, falta de compatibilidade de elementos ou até interpretações incorretas, ainda mais presente quando é um projeto mais complexo ou volumoso, segundo Nunes (2018). Isto acaba por ocorrer, principalmente, porque se qualquer alteração for feita em um dos projetos que envolvem todo o processo de conceção, isto deve ser inserido manualmente nos demais e, por muitas vezes, isto envolve muitas layers (se for o caso da utilização do AutoCAD) ou muitos pontos afetados por conta de uma única alteração.

Um bom exemplo de incompatibilidades causadas é quando se chega a uma pormenorização da armadura de uma laje, por exemplo. Entretanto, nesta mesma laje, há a passagem de eletrodutos para instalações elétricas, como ocorre em edifícios no Brasil, ou tubulações hidro sanitárias, que, por sua vez, também podem vir a ser volumosas. Numa metodologia tradicional, cada um desses projetos é feito isoladamente e, nem sempre no momento em que será executado há o devido espaço para a passagem de todos os sistemas que o integram, o que pode acabar por gerar mudanças de projeto estrutural na hora da execução, ao se moldar os estribos com espaços diferentes entre elas para que se obtenha espaço para a passagem dos demais elementos. Esse tipo de incompatibilidade e limitação construtiva, segundo Vasconcelos (2010), gera perda de tempo, de dinheiro e acaba, muitas vezes, por o projeto executado não ser totalmente fiel ao projeto idealizado, o que acaba por retirar qualidade da obra.

Nesse contexto é que surge a metodologia BIM, que é um processo contínuo ao longo de todo o ciclo de vida da construção, caracterizado pela elaboração colaborativa, de forma a criar uma informação progressiva do projeto (Grilo & Jardim-Gonçalves, 2010). Isso significa que ela vem para que todas essas pontes que ligam a conceção ao resultado final de um projeto estejam conversando entre si a qualquer momento e para que o próprio *software* seja capaz de acusar quando mais de um elemento está a se sobrepor ou qualquer outra incompatibilidade que possa vir a apresentar o modelo.

Ainda segundo Grilo & Jardim-Gonçalves (2010), o ambiente de trabalho BIM é definido como colaborativo por permitir que o dono da obra desenvolva uma correta perceção da natureza, objetivos e requisitos da edificação a ser desenvolvida, que todos os intervenientes envolvidos

sejam capazes de participar do desenvolvimento e análise de projeto de uma forma estruturada e centralizada e, ainda, que seja possível uma gestão da edificação durante as diversas fases da concepção com base em um modelo único centralizador.

A metodologia colaborativa é uma das bases que direciona a metodologia BIM. Para que se obtenha sucesso e se resolva problemas encontrados na execução dos projetos é que todos os intervenientes, ou boa parte deles, deveriam estar envolvidos na fase de estudo prévio. Fase em que ainda é possível se analisar alternativas para resolução dos problemas de incompatibilidade, sobreposição ou qualquer outro que venha a aparecer e que por falta da presença do interveniente responsável não vem a ser corrigida. Isto, obviamente, demandaria mais tempo de estudo antes de se começar a obra e uma parte orçamentária a mais destinada a isso. Medidas essas que viriam a trazer economias futuras bem mais significativas por não ter a necessidade de resolver problemas que surgem posteriormente, pois estes seriam previstos com antecedência.

Para essa ideia de colaboração eficaz na concepção de um edifício é que entra o conceito de *Integrated Project Delivery* (IPD), com a definição de Grilo & Jardim-Gonçalves (2010), que consiste numa abordagem colaborativa de desenvolvimento de projeto a se utilizar da melhor forma possível o conhecimento técnico da especialidade de cada interveniente, durante todas as fases do projeto e construção, a fim de otimizar os resultados e aumentar a eficiência do projeto. O IPD exige, então, dessa forma, uma abordagem mais colaborativa por parte de todos os intervenientes para se alcançar sucesso no desenvolvimento do projeto.

Essa metodologia colaborativa utilizada para o desenvolvimento em BIM pode ser ilustrada pelo valor da informação e o impacto que a tomada de decisão tem no desenvolvimento do projeto é através da curva de MacLeamy (Lu, 2015), ver Figura 1.

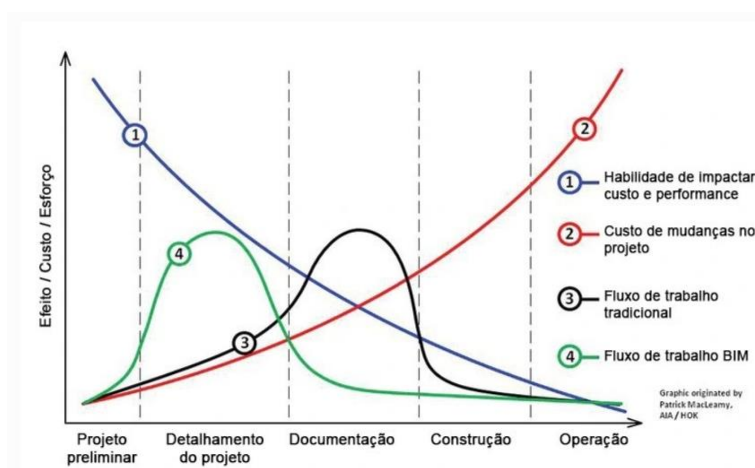


Figura 1 - Gráfico representativo da curva de MacLeamy.

Referente à curva 1, como defende Lu (2015) esta tende a ser tanto maior, quanto mais cedo for considerado no ciclo de vida do edifício, o que representa um aumento de qualidade de decisão tomada numa fase inicial, graças ao aumento do nível de informação que apoia ao longo da construção do edifício, com tendência a convergir para uma solução final mais otimizada.

Em contrapartida, a curva 2 representa o inverso do descrito sobre a curva 1, o que pretende apresentar o custo da informação. Depois de tomada a decisão inicial, qualquer inserção de novos dados no processo de desenvolvimento do empreendimento pode vir a acarretar em alterações de projeto. Essas alterações tem um custo tanto maior quanto mais tarde forem as tomadas de decisão e incorporadas no desenvolvimento do trabalho.

Com relação à curva 3, esta representa o processo tradicional de trabalho, que concentra a maior carga de trabalho durante o processo de execução de um empreendimento, com a colaboração dos vários intervenientes para pormenorização de um problema em busca de uma solução.

Já a curva 4 traz a clara representação do valor agregado ao projeto com o uso da metodologia BIM, pois este promove um trabalho colaborativo entre os intervenientes da construção em uma fase inicial de projeto, o que permite atingir uma solução final mais vantajosa.

Em resumo, quanto mais informação gerada durante o ciclo de vida da construção de um empreendimento, mais complexa se torna a sua gestão sem o uso de ferramentas que auxiliem e, conseqüentemente, seu custo também tende a aumentar. Entretanto, a integração de informações em fase inicial de projeto, apesar de ser uma condição necessária para o processo de facilitar a gestão, não é o único indicativo para redução de custos e aumento do valor do empreendimento. Para tal, também são necessários desenvolvimentos informáticos, com atenção especial ao processamento de informações, à partilha de informações e ao desenvolvimento da modelação paramétrica, que são pontos essenciais para o trabalho e gestão em ambiente BIM.

2.3 Gestão da informação

Observando o ciclo de vida de um empreendimento, constata-se que em cada etapa da sua conceção são produzidas informações que contribuem para o desenvolvimento da etapa seguinte do mesmo. No entanto, num processo tradicional, essa transição entre etapas gera perdas de informações. Conseqüentemente, isso gera um tempo a mais para que a informação perdida seja reproduzida, além de aumentar a possibilidade da introdução de erros humanos durante o percurso, como se pode observar na Figura 2, no qual a linha preta representa o processo de transferência de informações em uma metodologia tradicional.

Numa gestão de informação de acordo com o BIM, representado pela linha em azul no gráfico, que se baseia numa gestão centralizada de informações, é possível perceber uma transição entre etapas de uma maneira um pouco mais fluida, como defendem Underwood e Isikdag (2010), pois é marcada pela manutenção total da informação produzida a ser transferida para essa nova etapa. Esta conservação da informação, também, conseqüentemente, atribui mais valor ao projeto, pois tem à disposição recursos que estariam retidos numa abordagem tradicional, resultando, assim, em um produto final com uma qualidade superior.

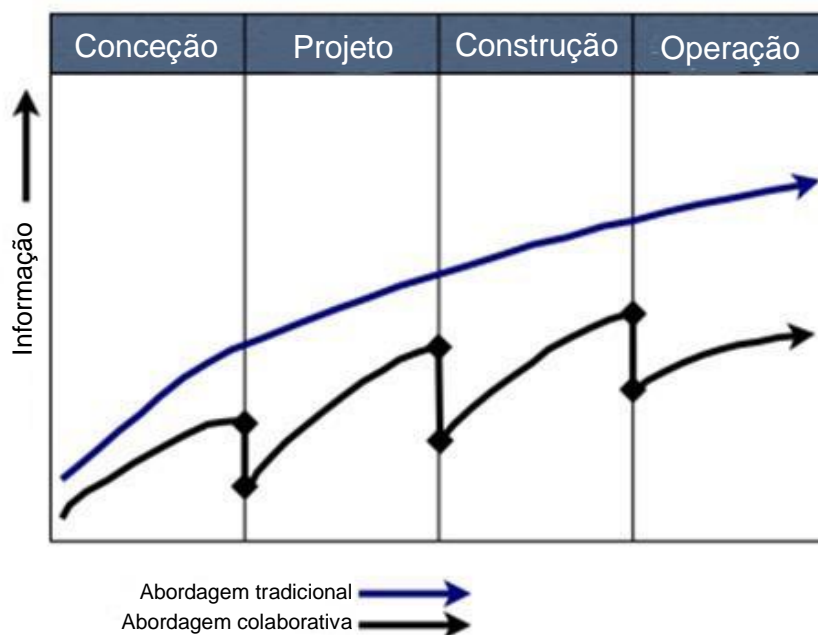


Figura 2 – Gráfico representativo do fluxo de informação no ciclo de vida de um projeto (*Infrarati, 2022*).

Uma boa razão para as perdas de informação entre etapas numa metodologia tradicional, como refere Pontes (2016), deve-se à qualidade dos canais de transferência usualmente utilizados, que tendem a ser mais fracos. Isto é, a informação de facto existe, mas num formato que não é capaz de ser processado por todos os intervenientes, por não ser o formato mais adequado.

Uma grande vantagem da centralização de informações, é que isso torna o processo cíclico, de uma disponibilidade maior para todos os envolvidos e num formato mais facilmente entendível por um maior número de pessoas (Isikdag e Underwood, 2010). Isso é apoiado em uma rede informática, que requer interoperabilidade entre as aplicações, de modo que toda a informação produzida durante o ciclo de vida de um empreendimento possa ser trocada entre si, que é o que define a interoperabilidade em um modelo BIM (que será abordada nas próximas seções).

2.4 Modelação paramétrica

Em relação a forma como são reunidas e compatibilizadas as informações em um só lugar, a grande responsável de possibilitar essa tarefa é a modelação paramétrica, que é rica em informações. Esta consiste em não só fazer uma representação digital em 3D, mas que essa representação contenha informação dos objetos (C. Eastman et al., 2011). A modelação paramétrica funciona como a base para toda a metodologia BIM.

Esta se distingue de uma modelação tradicional em CAD por substituir a utilização de linhas para representação de elementos por objetos que se caracterizam por relações paramétricas. Nessa representação, é possível adicionar informações da característica física do material, bem como sobre seu comportamento no modelo. Um bom exemplo disso é a representação de um

pilar de betão armado, por exemplo. Numa modelação 2D ou 3D tradicional, este seria representado apenas por linhas identificando a sua localização e as dimensões e, num projeto estrutural, este teria o detalhamento do aço constituinte em seu interior também representado por linhas. Na modelação BIM, além dessas informações, este pode conter tudo que o constitui, como armaduras internas, dimensões, quantidade, localização e informações sobre o betão a ser utilizado, agregados, relação água-cimento, bem como outras informações do processo construtivo, quantitativo e estimativa de orçamento, tudo centralizado num só local.

Isto adquire um grau muito grande de importância e facilidade dentro da indústria da AEC a partir do momento que este é um setor que envolve um trabalho conjunto de muitas áreas, entidades e organizações que contribuem durante as várias fases do processo que conduz à construção de um edifício e que terá seu sucesso final diretamente relacionado com o sucesso do trabalho de cada uma das partes em cada uma das etapas (Abanda et al., 2017).

Este tipo de modelação torna-se extremamente vantajoso em relação a uma modelação 2D tradicional em CAD quando se torna necessário introduzir outros elementos no modelo, alterar soluções, sobrepor objetos ou introduzir modificações no relacionamento entre os objetos do mesmo. Numa metodologia em CAD seria necessário, pelo utilizador, fazendo a alteração em cada local em que este objeto se encontre presente, enquanto essas alterações tornam-se automáticas e mais simples quando a modelação já é feita de forma paramétrica.

Outro ponto de extrema vantagem da modelação paramétrica é que torna possível a centralização de informações dentro de um modelo único de um empreendimento (C. Eastman et al., 2011). Ao longo das fases de execução de um empreendimento, as informações podem ser sucessivamente adicionadas, retiradas ou modificadas, mantendo-se o modelo atualizado para as intervenções posteriores que necessitem desta informação. Assim, o modelo BIM torna-se numa base de dados para consulta de informações por todos os intervenientes envolvidos no processo e isso graças à modelação paramétrica.

A quantidade de informações que pode ser adicionada ao modelo e o quanto é compartilhado entre os intervenientes está relacionada com as fases do ciclo de vida do empreendimento e com o nível de desenvolvimento (LOD) do modelo BIM.

2.5 Utilização mundial do BIM

Num panorama geral, a metodologia encontra-se em fase de implementação em todo mundo, mais avançado em alguns países do que em outros. Como será visto ao longo desse tópico, na maioria dos países em que o BIM foi adotado de forma mais generalizada, o governo subsidiou ou impulsionou a sua implantação.

Entretanto, segundo Turk (2016), esse impulso vindo da parte do governo não seria necessário, uma vez que para outras tecnologias que foram amplamente difundidas, como a telefonia celular ou a internet, não houve a necessidade de fomento dos governos. Ainda, o autor afirma que a difusão do BIM pelo mundo deveria ser entendida através de um ponto de vista mais econômico, para que os resultados possam ser percebidos por quem investe.

De uma forma ou de outra, Smith (2014) apresenta um panorama em relação aos projetos de obras públicas nos países em que a metodologia BIM já era uma exigência, como o Reino Unido, Suécia, Noruega, Finlândia, Holanda, Dinamarca e Singapura. Ainda, nesse mesmo estudo “BIM & 5D Project Cost Manager”, Smith afirma que há outros países que definiram medidas para que a implantação da metodologia pudesse acontecer de uma maneira mais acelerada, são eles Brasil, Austrália, Japão, Coreia do Sul e Nova Zelândia.

Como a metodologia BIM teve o seu surgimento nos Estados Unidos, estes foram os pioneiros na implantação da mesma, e possuem avanços mais significativos quando comparados aos demais locais do mundo. A utilização do BIM aumentou de 17% para 71% entre 2007 e 2012 devido a implementação do programa nacional 3D-4D para prédios públicos

Singapura foi o primeiro país no mundo a implementar um sistema informatizado baseado em BIM para entrega de projetos (Leonardo Santana, 2020). Ainda, entre 2008 e 2015, passou a ser exigido gradualmente em todos os projetos equivalente a obras com mais de 5 mil metros quadrados.

Na Europa, a Dinamarca tornou obrigatório o uso do BIM para obras públicas em 2007 e em 2011 para todas as instituições regionais e locais. A Suécia é uma das líderes no uso da metodologia em projetos de infraestrutura complexos, além de ter sido precursora das melhores práticas sem diretrizes governamentais. Na Holanda, desde 2011 é exigido pelo governo o uso da metodologia em projetos que superem o valor de 10 milhões de euros e, desde 2012, a metodologia é utilizada pelo governo para manutenção de projetos de grande porte. A Finlândia foi uma das pioneiras e utiliza a metodologia desde 2001, passou a exigir que todos os grandes projetos de infraestrutura fossem realizados em BIM a partir de 2007. E, por fim, a última grande potência da Europa, a Noruega. Esta exige desde 2007 que todos os projetos federais que se utilizem de pelo menos 50% de seu valor de recursos públicos devem ser entregues em BIM e, ainda, em 2012 tornou o uso obrigatório para obras estaduais e municipais.

Na Ásia, Hong Kong adota BIM para desenvolver projetos de habitação popular desde 2006. A Coreia do Sul aplica o uso do BIM para projetos acima de 50 milhões de dólares e para todos os projetos referentes ao setor público desde 2016. A China ainda não tornou o uso da metodologia obrigatório, porém tem a maior parte do mercado de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) que já faz uso da metodologia. Nos Emirados Árabes, o uso da metodologia é obrigatório para todos os investimentos de arquitetura complexa. E, por fim, o Catar, que passou a implementar a metodologia BIM em larga escala para os preparativos para a Copa do Mundo de futebol de 2022 (Tekla Discussion Forum, 2022).

Em relação a Portugal, principalmente por sua reduzida dimensão na economia, verificou uma inércia maior no processo de implementação do BIM (Maria Ramos da Cunha Serra, 2015). Possui diversas plataformas e fóruns, como a Plataforma Tecnológica Portuguesa (PTPC), que tem o intuito de promover a reflexão sobre o sector e a implementação de iniciativas e projetos que possam contribuir para o incremento da cooperação entre empresas e entidades do sector da construção e de obras públicas com ele ligadas (*Plataforma Tecnológica Portuguesa Da Construção*, 2022). O impulso associado a isto e a iniciativas do governo é que vem trazendo uma implementação geral do uso da tecnologia no país.

Ainda, é importante abranger a questão de que, por mais que nos últimos anos foram apresentados muitos avanços na implantação do uso da metodologia, a implementação do BIM no mundo ainda se encontra longe do fim.

2.6 BIM no projeto de estruturas

Com o aumento da complexidade dos edifícios nos últimos tempos, principalmente das suas soluções arquitetônicas e estruturais, bem como da sua execução, foi necessário o recurso a aplicações informáticas mais avançadas que possibilitaram a simulação o comportamento estrutural das soluções, como afirma Brian R. Johnson (2016).

Na metodologia tradicional, a conceção da solução estrutural inicia-se somente após a conclusão do projeto arquitetónico e baseia-se basicamente na interpretação gráfica das plantas, cortes e alçados. O projetista estrutural utiliza programas de cálculo estrutural, simula a solução estrutural e a partir dela procede ao dimensionamento e pormenorização dos elementos, transpondo, posteriormente, o resultado do dimensionamento para peças desenhadas. Qualquer alteração necessária à conceção inicialmente estabelecida é realizada no *software* de análise estrutural e, posteriormente, é representada graficamente através de desenhos. Esse é um processo que demanda tempo do engenheiro projetista e, ainda, pode vir a causar algumas incompatibilidades com o modelo arquitetónico original, quando analisado os desenhos conjuntamente (Lino et al., 2012).

Num processo de dimensionamento estrutural em BIM, apesar da ordem cronológica dos passos ser muito semelhante, diferencia-se principalmente com relação ao modo de manipular os dados, os chamados *inputs* e *outputs*, que são basicamente a facilitação da troca de informações. Através deles e da forma como são produzidos os modelos arquitetónicos, todos parametrizados e com as informações necessárias, é possível que o projetista conceba, dimensione, analise e valide diferentes soluções estruturais simultaneamente, a partilhar toda a informação.

Num modelo BIM sem limitações, não há a necessidade de reinserção de dados e é possível fazer a interligação constantemente dos dados contidos nos dois projetos, ou mais se estiver a incluir outros intervenientes. Desse modo, é possível resolver conflitos e conduzir a um produto final de maneira mais consistente (José Pedro Machado Fernandes, 2013).

Por conta da modelação paramétrica criada, o modelo final pode resultar a partir da sobreposição do modelo geométrico estrutural no modelo arquitetónico, o que traz a possibilidade de uma avaliação conjunto do modelo criado, a ser capaz de evitar a sobreposição de elementos e a omissão dos mesmos. Ainda, a partir da criação do modelo estrutural, obtém-se automaticamente o modelo analítico, onde cada elemento consegue ser associado com as suas propriedades resistentes e ser atualizado com as alterações feitas no modelo estrutural. Após o dimensionamento dos elementos e a verificação regulamentar fica definido o modelo estrutural, sendo possível obter toda a pormenorização dos elementos, incluindo das armaduras existentes no mesmo, no caso de estruturas de betão armado, que conseguem ser adicionadas ao modelo geométrico, permitindo ainda a extração do mapa de quantidades.

2.7 Interoperabilidade

Como já foi mencionado, a metodologia BIM tem o intuito de manter a informação disponível para todas as partes interessadas e, para isso, é preciso existir uma troca de informação eficiente entre as aplicações, de forma bidirecional. Para que isso ocorra, as ferramentas desenvolvidas com o propósito de apoiar a metodologia BIM precisam ser capazes de admitir que se gerem informações num formato universal ou pelo menos ser capazes da leitura de dados em diferentes formatos (C. Eastman et al., 2010). Quanto maior for o nível de interoperabilidade existente, menor é a perda de informação entre as partes.

Um ponto importantíssimo a se considerar antes de uma empresa assumir a implementação da metodologia BIM no seu ambiente de trabalho, defende Yang e Zhang, (2006), é fazer uma análise do nível de interoperabilidade existente entre os *softwares* que já são utilizados, pois a dificuldade de implementação está diretamente relacionada com isso.

A par disso, pode-se definir o que é interoperabilidade. Gallaher et al. (2004), fala sobre esse conceito como a capacidade de gerir e comunicar produtos eletrônicos e informação de projeto, seja entre diferentes empresas (no quesito de projetos e softwares) ou dentro de uma mesma rede de colaboradores. Nesse sentido, a Autodesk gerou uma parceria entre doze diferentes companhias, em 1995, com o intuito de melhorar as técnicas para interoperabilidade entre sistemas, o que é considerado pela companhia um investimento comercial para adaptar-se e envolver os vários setores da indústria que podem beneficiar-se do uso da metodologia BIM.

Com uma interoperabilidade eficaz, reduz-se a necessidade de repetição de trabalho e aumenta-se o grau de confiança na informação contida no modelo em que se está a trabalhar. Existem, essencialmente, duas formas para se garantir a interoperabilidade: utilizar ligações diretas entre programas diferentes ou ao recorrer a um sistema único associado aos seus subprodutos; e estabelecer ligações indiretas com base em formatos de dados utilizados especificamente para se permitir a transferência de informação.

Em relação às ligações diretas entre dois programas, acontecem por meio de *Application Programming Interfaces* (API), que permite a um programa utilizar as funcionalidades e executar tarefas de um outro programa, sem necessidade de um conhecimento mais aprofundado aos detalhes da implementação do *software* (C. Eastman et al., 2011). Cada vez são mais utilizadas as aplicações desenvolvidas e disponíveis, em virtude das necessidades impostas para garantir um nível mais elevado de capacidade de interoperabilidade do BIM, para que se permita cada vez mais a comunicação e ligação entre diferentes *softwares*.

Já as ligações indiretas, permite aos *softwares* a capacidade de lerem ou reproduzirem informações por meio de formatos distintos daqueles em que foram definidos inicialmente. Nesse ponto é que se torna importante a diferenciação de formatos de dados: tem-se o formato nativo, que é característico de cada programa a ser utilizado, que possui uma estrutura de dados própria (um exemplo é o .dwg, pela AutoCad e o .dng, pela Bentley, produzido pela Microstation, porém ambos são formatos utilizados para representar a informação relativa aos desenhos gerados em sistema CAD); também se tem o formato de transferência, que permite a comunicação entre *softwares* e que é o formato gerado pelos programas que trabalham no

formato nativo, permitindo que os dados possam ser interpretados por outro sistema de informação (um bom exemplo, ao nível de informação CAD, é o .dxf, criado pela Autodesk, que é a estrutura de dados mais utilizada na troca de informação geométrica entre programas de CAD e entre estes e qualquer outro programa).

A capacidade de interoperabilidade não é algo tão simples, principalmente num contexto de projetos em BIM, já que estes apresentam uma quantidade de informações volumosa e bastante diversificada. No contexto atual, as ferramentas tecnológicas que se encontram disponíveis não apresentam ainda uma capacidade para transferir informações sobre a totalidade dos dados existentes no modelo. Tal limitação não é considerada um problema em si, uma vez que os intervenientes de um mesmo modelo só precisam operar com um fragmento específico dos dados, e não com todos. Ou seja, somente interessa que a troca de informações seja adequada ao domínio de trabalho de cada participante.

O presente trabalho tem como principal objetivo a aplicação da metodologia BIM no desenvolvimento de um projeto de estruturas de um edifício multifamiliar, em betão armado, procurando analisar diferentes soluções estruturais, que verifiquem a regulamentação brasileira e a portuguesa, e identificando as dificuldades de interoperabilidade encontradas e a forma como foram resolvidas. A metodologia adotada neste trabalho, com base nos objetivos propostos será descrita em capítulos mais a frente.

2.7.1 Interoperabilidade em projetos de estruturas

A capacidade de interoperabilidade, requerida às ferramentas BIM, consiste na habilidade de transferir informação, geométrica ou não, entre aplicações (Silveira Azevedo et al., 2015). Esta, tende a eliminar a necessidade de copiar manualmente as informações já criadas em uma aplicação, o que facilita a iteração durante as fases de projeto, inclusive entre o projeto de estruturas e o projeto arquitetónico, o que é essencial para encontrar-se soluções mais eficientes em projetos mais complexos e reduzir a quantidade de erros para a execução futura.

Na indústria AEC, a principal dificuldade na transferência de informações entre projetos se dá no tipo de informação que é transferida, ou seja, numa transferência de informação designada a projetos de estruturas é importante que se transfiram além de informações geométricas, como acontece em uma transferência nos sistemas CAD, ou seja, devem-se transferir informações referente as relações, propriedades e comportamento de uma estrutura. Isso significa que um problema evidente na interoperabilidade se encontra na necessidade de gerir múltiplas representações de um projeto, isto é, reformular a informação do modelo de forma a representar o projeto segundo diferentes utilizações (Eastman et al., 2011).

Relacionado a um projeto de estruturas, existe a necessidade de obter-se o modelo analítico deste para que se possa efetuar a análise estrutural, que se dá através do projeto geométrico de sua estrutura (Silveira Azevedo et al., 2015). Assim, um ponto de dificuldade que se enfrenta na interoperabilidade de um projeto de estruturas é que, ao serem impostas mudanças em um modelo, por uma questão de consistência, devem ser efetuadas revisões e atualizações dos restantes modelos. Por questão de a interoperabilidade ainda estar em fase de implementação e

apresentar diversas falhas correntes que vem a ser corrigidas com o tempo, esse trabalho de gestão de conflitos é feito quase que de maneira manual, o que, por consequência, torna o projeto mais oneroso. A propagação e a gestão de alterações de modelos é um aspecto fundamental na coordenação de projeto e na interoperabilidade entre as ferramentas utilizadas na indústria AEC (Silveira Azevedo et al., 2015).

Com o intuito de reduzir a onerosidade desse trabalho e melhorar a eficácia da interoperabilidade é que vieram a surgir as vias de ligações entre programas diferentes, sendo divididas em interoperabilidade direta e indireta.

2.7.1.1 Interoperabilidade direta

As ligações diretas entre dois programas funcionam por meio de *Application Programming Interfaces* (API), ou os chamados *plug-ins*. Estes trazem a facilidade de um programa utilizar as funcionalidades de outro programa sem que exista um conhecimento aprofundado em relação aos detalhes da implementação desse *software*.

Para a funcionalidade dessas aplicações, recorre-se, muitas vezes, ao estabelecimento de rotinas, o que permite que programas diferentes consigam trabalhar sobre um mesmo conjunto de informações.

Estes *plug-ins* vêm a ser desenvolvidas com o intuito de elevar o nível de capacidade da interoperabilidade, sendo melhoradas com o intuito de permitir um estabelecimento de ligação mais fácil entre *software* utilizados na AEC.

Neste estudo, como veremos nos próximos capítulos, foram utilizados alguns *softwares* que possuíam *plug-ins* próprios para interoperabilidade entre eles, tornando a análise do processo um pouco mais avançada do que se analisado entre *softwares* que não possuem tais *plug-ins*.

2.7.1.2 Interoperabilidade indireta

As ligações indiretas, por sua vez, têm por base a capacidade dos *softwares* em lerem ou produzirem informação num formato distinto daquele para o qual foram definidas inicialmente. Num contexto de troca de informação adequada é que surgiu a chamada Aliança Internacional de Interoperabilidade (IAI, do inglês *Internationalo Alliance of Interoperability*) com a missão de facilitar a troca de informação com formatos padronizados. Hoje, essa organização tem a sua designação alterada para buildingSMART e possui parceiras com a ISO (*International Organization of Standardization*) e a OGC (*Open Geospatial Consortium*).

A importância de falar sobre essas organizações entra quando é na ISO que está registado o chamado IFC (*Industrial Foundation Classes*), que é o padrão internacional que corresponde ao formato neutro utilizado para troca de informações na indústria da construção.

Apesar de o IFC ser o grande responsável pela eficácia da interoperabilidade, também é o objeto de estudo para a falta dela. Ele é, com certeza um grande aliado e um grande passo para avanços no sentido da troca de informações, mas ainda possui algumas falhas, principalmente por erros de sintaxe e semântica em alguns programas informáticos que não utilizam a linguagem EXPRESS que lhe é associada.

O formato IFC vem a ser implementado como padrão aberto do BIM em diferentes *softwares* e teve a sua quarta versão de formato na ISO em 2013. A norma ISO 10303-11:2004, surge com o intuito de estipular um esquema conceptual de dados e de configuração de ficheiros normalizados e de tornar a transferência de dados mais eficiente entre as aplicações BIM. Também tem o intuito de incluir diferentes regras de validação de dados.

Segundo Volker Thein (2011), o formato IFC é essencial para a redução de limitações de transferência de dados, está associado à linguagem EXPRESS, que é um *framework web* estruturado, escrito em *JavaScript*, geral a toda transferência de dados, e também é associado a ISO 10303-11:2004 como forma de regulamentação.

Basicamente, o formato IFC tem o intuito de facilitar toda a transferência de informação, de forma aberta devida à linguagem que utiliza, e entre vários *softwares*. Este permite arquivar todas as propriedades associadas aos objetos representados em projeto com eficiência e também as relações existentes destes no contexto do modelo BIM existente. Ele é o principal facilitador da partilha de informações entre *softwares* utilizados em BIM.

Mesmo com as suas limitações, o formato IFC tem o intuito de facilitar a coordenação entre as partes no desenvolvimento de modelos BIM, principalmente no uso da engenharia, arquitetura e sistemas de construção em geral, facilitando a partilha de dados entre aplicações BIM e transferir e reutilizar dados e informações contidas no modelo de projeto.

A linguagem IFC é padronizada pela ISO para que todos os softwares que possuam a base BIM sejam capazes de interpretar os ficheiros, a trazer a capacidade de adicionar, eliminar e alterar informações contidas nestes. Entretanto, esta linguagem ainda possui as suas limitações na edição e partilha destes ficheiros.

3. Modelos BIM

3.1 Introdução

A modelação em BIM a desenvolver na elaboração deste trabalho inicia-se com o desenvolvimento de um modelo arquitetónico do edifício que será objeto do caso de estudo. É importante que esta modelação possa ser efetuada o mais próximo do procedimento utilizado na atividade profissional para que se possa fazer uma análise efetiva da interoperabilidade e das potencialidades da metodologia BIM nas várias etapas.

Este capítulo vem descrever o processo de geração dos modelos de arquitetura e de estruturas, utilizando a ferramenta Revit 2022, da Autodesk.

3.2 Descrição do edifício

O caso de estudo considerado para o desenvolvimento desta pesquisa é um edifício residencial e comercial, constituído de cave, rés-do-chão, cinco pisos e um sótão.

Para o caso de estudo foram consideradas três localizações diferentes do edifício para, posteriormente, serem criadas as soluções estruturais, duas localizações são em Portugal: em Viseu (localizada a 500 metros de altitude) e em Lisboa (com 90 metros de altitude). A terceira localização é Pato Branco, no Brasil, com 800 metros de altitude.

O projeto de arquitetura utilizado neste estudo foi desenvolvido no âmbito de uma disciplina no curso de licenciatura em Engenharia Civil, do Instituto Politécnico de Viseu.

O edifício tem 22 metros de largura, 23,97 metros de comprimento e 19,52 metros de altura. A cave encontra-se a uma cota inferior à da superfície, estando, portanto, enterrada. Por este motivo, as paredes externas desta foram consideradas de betão armado para aguentar os

esforços nas três localidades consideradas para a construção do edifício. Além disso, também foram consideradas paredes estruturais de betão armado nas paredes que compõem a caixa de elevadores para os edifícios localizados em Portugal, assim como estava definido no modelo arquitetónico. Já no edifício situado no Brasil essa informação foi modificada, sendo composta somente de vigas para suporte, como será descrito ao longo deste trabalho.

Na criação do modelo de arquitetura BIM foram escolhidos os objetos que melhor correspondem aos adotados no projeto original, que se encontra no Apêndice 1. Além disso, foram consideradas soluções arquitetónicas diferentes para as diferentes localidades.

Em Portugal, seguiu-se exatamente o modelo arquitetónico fornecido, uma vez que este foi desenvolvido considerando disposições regulamentares usadas neste país. No modelo brasileiro, não foi considerada a cobertura em betão armado, uma vez que não é um processo tradicional no Brasil por não haver a necessidade de resistir a cargas de neve, já que no país não há essa condição climática. Para tal, foi modelada a cobertura no modelo arquitetónico, mas no modelo estrutural somente foi considerada a estrutura de suporte aos ripados em madeira e ao revestimento de telhas.

A ferramenta BIM utilizada para ambas as modelações, o Revit 2022, foi escolhida por ser um *software* muito divulgado na indústria da construção e hoje ser um dos mais utilizados para uso da metodologia BIM, por sua facilidade e grande capacidade de interoperabilidade. O Revit incorpora as disciplinas de Arquitetura, Estruturas e Sistemas, sendo os dois primeiros os que permitiram o desenvolvimento do presente estudo com este *software*.

3.3 Criação do modelo de arquitetura

3.3.1 Definições iniciais

Para iniciar o processo de modelação arquitetónica no Revit, deve-se seleccionar a opção “Modelo de arquitetura” na interface inicial.

Logo após definir as unidades preferenciais de trabalho, neste caso optou-se por trabalhar em metros, foram definidos os níveis de piso, ver Figura 3. Estes atuam como limites superior e inferior na modelação paramétrica. As cotas indicadas foram obtidas através do projeto de arquitetura fornecido. Posteriormente será explicada a necessidade de inserção de novos níveis para os demais elementos estruturais que constituirão a estrutura, como os níveis de patamar de escadas, fundação e lajes superior e inferior da caixa de elevadores.

No caso deste edifício, ao longo da modelação foi inserido um nível para a escadaria do Rés-do-Chão, onde se localiza a laje de acesso ao elevador e o início da escada de acesso ao Tipo 1, localizada 0,60 metros acima da cota do Rés-do-Chão.

Para a inserção das lajes, na etapa de modelação arquitetónica, optou-se por considerar uma espessura de 15 centímetros para, posteriormente se analisar a espessura necessária para suportar as cargas.

Para a cave foi admitido pé-direito livre de 2,35 m. Para o rés-do-chão foi admitido um pé-direito livre de 3,30 m. Para os demais pavimentos foi admitido um pé-direito livre de 2,60m. Para o sótão, um pé-direito livre de 2,58 m, todos conforme consta no projeto arquitetônico fornecido.

Para que se possa futuramente adicionar outras componentes, como a estrutural, que é o caso deste estudo, deve-se efetuar a organização do projeto nesta fase para que se possa dividir as vistas do navegador de acordo com as diferentes especialidades. Para isso seleciona-se no Navegador de Projetos, na aba Vistas, nas Propriedades do Navegador, a opção Disciplina, representado na Figura 4.



Figura 3 - Definição dos níveis de trabalho iniciais.

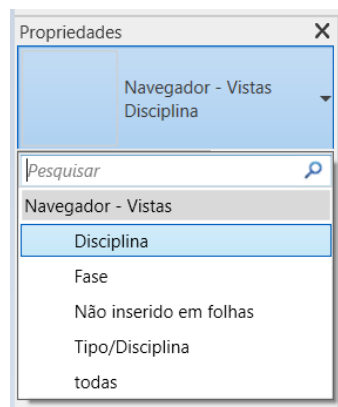


Figura 4 - Organização do Navegador.

Isto é importante porque, no Revit, as vistas são independentes e possuem informações próprias. Outro aspeto importante a se considerar ao trabalhar com categorias diferentes no Revit é garantir que todos os elementos se encontrem nas posições corretas, sendo aconselhável o uso das grelhas de alinhamento.

Em correspondência com os alinhamentos verticais do edifício, deve ser traçada uma grelha de eixos auxiliares. O intuito desta grelha é auxiliar no processo de adicionar objetos ao modelo. Da mesma forma que o já citado para os níveis, a qualquer momento pode ser inserido uma grelha adicional ao modelo. Neste primeiro momento foram adicionados eixos correspondentes às paredes exteriores, a algumas paredes interiores que são coincidentes entre pavimentos e, ainda, eixos que correspondem às dimensões e posições dos pilares tais como foi fornecido no projeto arquitetónico, como se ilustra na Figura 5.

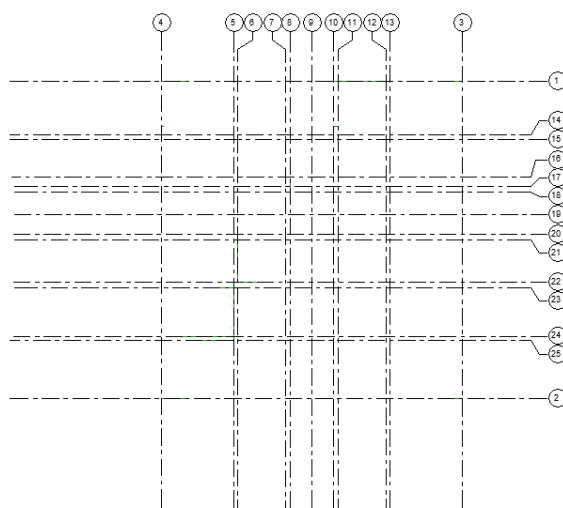


Figura 5 - Representação e definição da grelha de eixos auxiliares em planta.

É, também, importante dar-se atenção à escala de visualização dos elementos. Neste caso, considerou-se como adequada, uma escala 1:100, tendo em conta as dimensões do edifício em estudo.

Outro ponto importante antes do início de uma modelação é atender às informações geográficas relacionadas com a orientação da edificação, como a correta orientação do Norte de um projeto. Isto é importante para situações onde serão analisadas energeticamente o conforto térmico de um edifício, por exemplo.

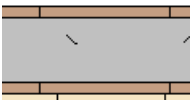
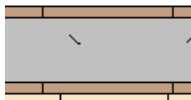
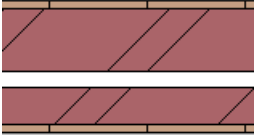

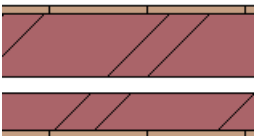

Neste estudo, não foi necessária uma atenção a esta parte por tratar-se prioritariamente de um dimensionamento estrutural, sem ser analisado energeticamente ao longo do estudo.

3.3.2 Modelação arquitetónica

Depois de concluídas as etapas da pré-modelação, citadas anteriormente, pode-se iniciar, então, a criação do modelo. A modelação iniciou-se com a criação das paredes exteriores e interiores de todos os pavimentos, a seguir pela colocação das aberturas correspondentes (janelas e portas) e, por fim, fez-se a modelação da cobertura.

No Quadro 1 apresenta-se um resumo das soluções adotadas para as paredes exteriores de toda a edificação, tanto com referência às normativas portuguesas, quanto às normativas brasileiras, bem como a constituição de cada uma delas. Nas Figuras 6, 7 e 8 apresenta-se a constituição das paredes exteriores, conforme foram definidas no Revit.

Quadro 1 - Solução de paredes exteriores.

Piso	Portugal	Brasil
Cave	 Parede exterior estrutural com 20 cm de espessura.	 Parede exterior estrutural com 20 cm de espessura.
Rés do Chão	 Parede exterior com 40 cm de espessura.	 Parede exterior com 15 cm de espessura.
Tipos	 Parede exterior com 40 cm de espessura.	 Parede exterior com 15 cm de espessura.

Camadas						
LADO EXTERNO						
	Função	Material	Espessura	Coberturas	Material estrutural	Variável
1	Acabamento 1 [Reboco		0.0250	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Limite do núcl	Camadas acim	0.0000			
3	Estrutura [1]	Concreto, Mo	0.1500	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Limite do núcl	Camadas abaix	0.0000			
5	Acabamento 1 [Reboco		0.0250	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LADO INTERNO						

Figura 6 - Constituição da parede exterior estrutural com 20 cm de espessura.

Camadas						
LADO EXTERNO						
	Função	Material	Espessura	Coberturas	Material estrutural	Variável
1	Acabamento 1 [4]	Reboco	0.0250	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Limite do núcleo	Camadas aci	0.0000			
3	Estrutura [1]	Tijolo, Com	0.1900	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Camada térmica/ar [Ar		0.0500	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Estrutura [1]	Tijolo, Com	0.1100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Limite do núcleo	Camadas abai	0.0000			
7	Acabamento 1 [4]	Reboco	0.0250	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LADO INTERNO						

Figura 7 - Constituição da parede exterior com 40 cm de espessura.

Camadas						
LADO EXTERNO						
	Função	Material	Espessura	Coberturas	Material estrutural	Variável
1	Acabamento 1	Reboco	0.0200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Limite do núcl	Camadas acim	0.0000			
3	Estrutura [1]	Tijolo, Comu	0.1100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Limite do núcl	Camadas abaix	0.0000			
5	Acabamento 1	Reboco	0.0200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LADO INTERNO						

Figura 8 - Constituição da parede exterior com 15 cm de espessura.

Na Figura 9 ilustra-se, a título exemplificativo, o modelo de arquitetura BIM da cave com as paredes exteriores.

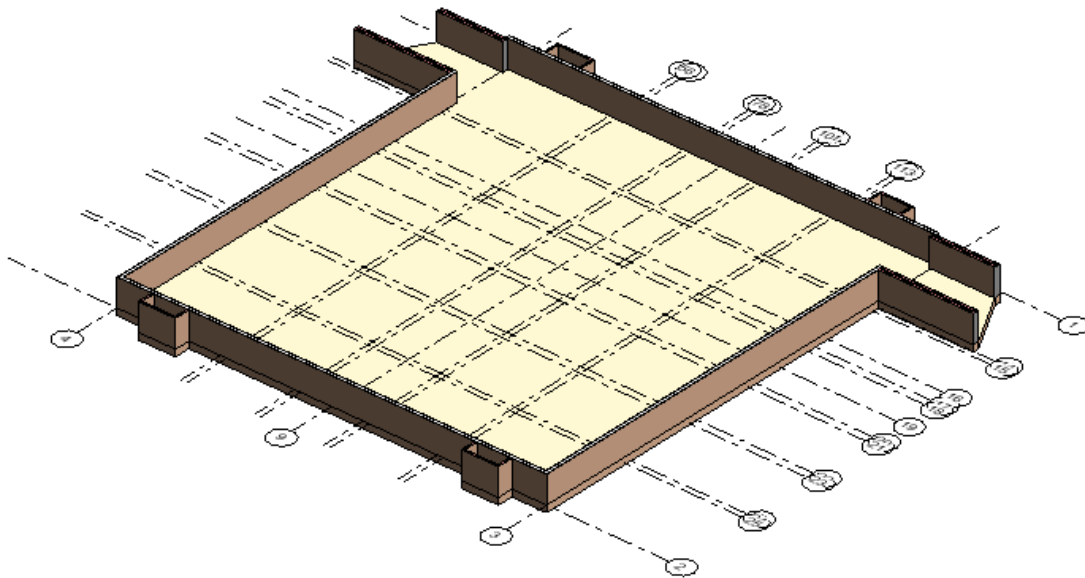


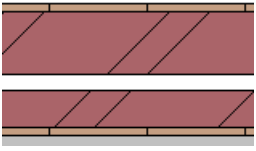
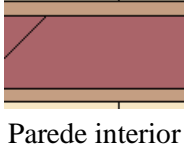
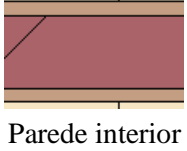
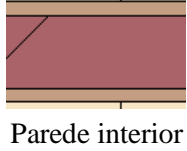
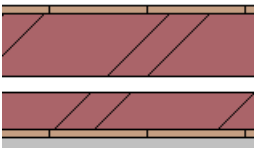
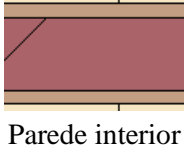
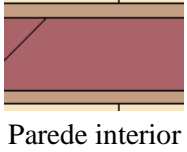
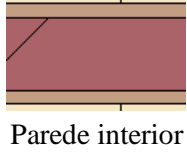
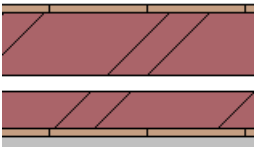
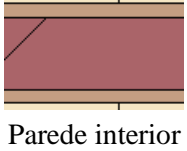
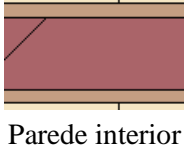
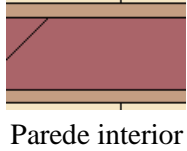
Figura 9 - Representação em perspetiva 3D da parede exterior do modelo de arquitetura BIM da cave.

A modelação das paredes interiores no Revit, depois de terem sido feitas as paredes exteriores, torna-se mais rápida e fácil por conta do comando SNAP, muito semelhante ao utilizado no Autocad, que permite posicionar as paredes em função do seu afastamento.

Para as paredes interiores, optou-se por padronizar a espessura das mesmas, o que difere um pouco da planta original, por facilitar o processo tanto de inserção de cargas, quanto de execução. Por isso, optou-se pela espessura de 15 centímetros para todas elas, à exceção das paredes que compõem a caixa de escadas do edifício, que foram definidas com 30 centímetros. No Quadro 2 apresenta-se um resumo das soluções adotadas para as paredes interiores de toda a edificação, tanto com referência às normativas portuguesas, quanto às normativas brasileiras, bem como a constituição de cada uma delas.

Nas Figuras 10 e 11 apresenta-se a constituição das paredes interiores, conforme foram definidas no Revit.

Quadro 2 - Solução de paredes interiores.

Piso	Portugal		Brasil	
	Caixa de escadas	Demais paredes	Caixa de escadas	Demais paredes
Cave	 Parede interior com 30 cm de espessura.	 Parede interior com 15 cm de espessura.	 Parede interior com 15 cm de espessura.	 Parede interior com 15 cm de espessura.
Rés do Chão	 Parede interior com 30 cm de espessura.	 Parede interior com 15 cm de espessura.	 Parede interior com 15 cm de espessura.	 Parede interior com 15 cm de espessura.
Tipos	 Parede interior com 30 cm de espessura.	 Parede interior com 15 cm de espessura.	 Parede interior com 15 cm de espessura.	 Parede interior com 15 cm de espessura.

Camadas						
LADO EXTERNO						
	Função	Material	Espessura	Coberturas	Material estrutural	Variável
1	Estrutura [1]	Reboco	0.0200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Limite do núcl	Camadas acima	0.0000			
3	Estrutura [1]	Tijolo, Comu	0.1100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Estrutura [1]	Ar	0.0400	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Estrutura [1]	Tijolo, Comu	0.1100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Limite do núcl	Camadas abaixo	0.0000			
7	Estrutura [1]	Reboco	0.0200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LADO INTERNO						

Figura 10 - Constituição da parede interior com 30 cm de espessura.

Camadas						
LADO EXTERNO						
	Função	Material	Espessura	Coberturas	Material estrutural	Variável
1	Acabamento 1	Reboco	0.0200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Limite do núcl Camadas acima		0.0000			
3	Estrutura [1]	Tijolo, Comu	0.1100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Limite do núcl Camadas abaixo		0.0000			
5	Acabamento 1	Reboco	0.0200	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LADO INTERNO						

Figura 11 - Constituição da parede interior com 15 cm de espessura.

Nas Figuras 12 e 13 mostrou-se as representações do modelo de arquitetura BIM com as paredes interiores e exteriores para o piso tipo, quer em planta, como em perspetiva.

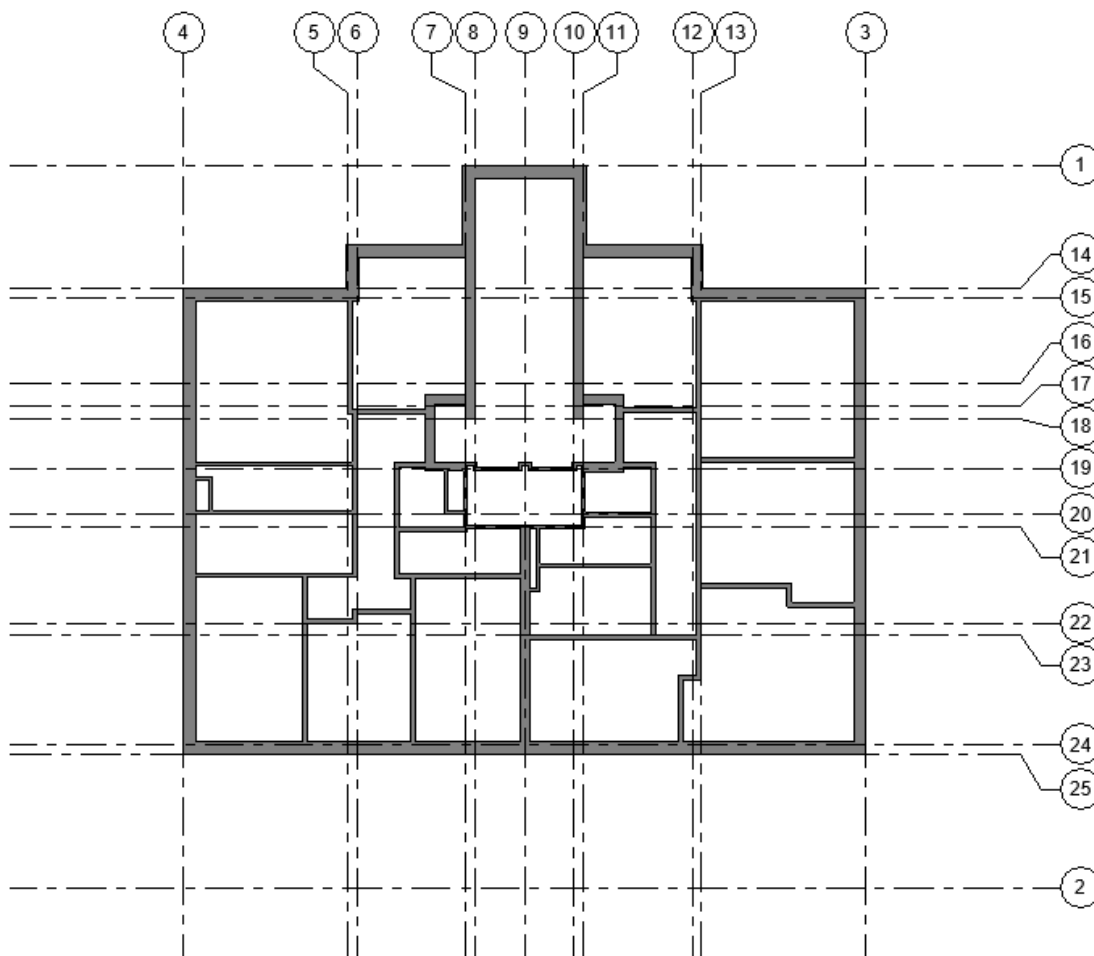


Figura 12 - Planta com as paredes exteriores e interiores do modelo de arquitetura BIM do Piso Tipo.

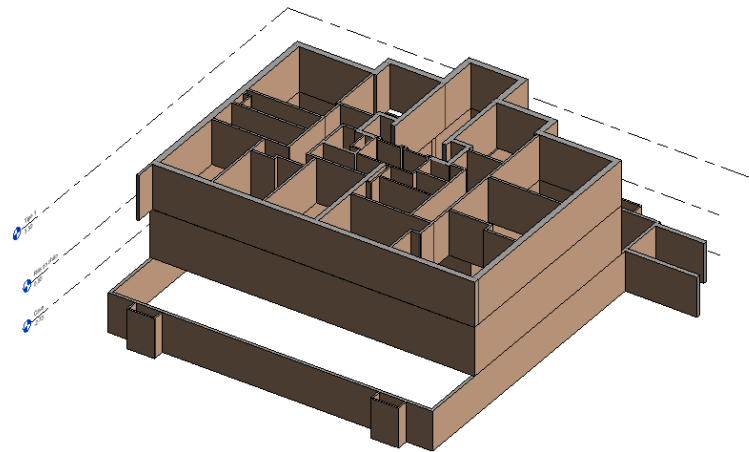


Figura 13 - Representação em perspectiva 3D das paredes interiores e exteriores do modelo de arquitetura BIM, desde a cave até ao Piso Tipo.

Ainda, é importante ressaltar que no pavimento do sótão as paredes sofreram uma pequena modificação de posição (poucos centímetros de diferença) para que pudessem ficar alinhadas às demais paredes dos pavimentos inferiores, pois poderá ter tido essa imprecisão nos desenhos de Autocad, já que a diferença era mínima.

Para a inserção das lajes, são considerados os níveis definidos no início do trabalho. Eles representam a cota de limite do pavimento.

A inserção das escadas no modelo de arquitetura serve apenas para identificação destes elementos arquitetónicos, uma vez que não é possível considerá-las como elemento estrutural. Foram consideradas como escadas monolíticas, em betão armado. Na Figura 14 é possível ver o corte 3D da escada modelada.

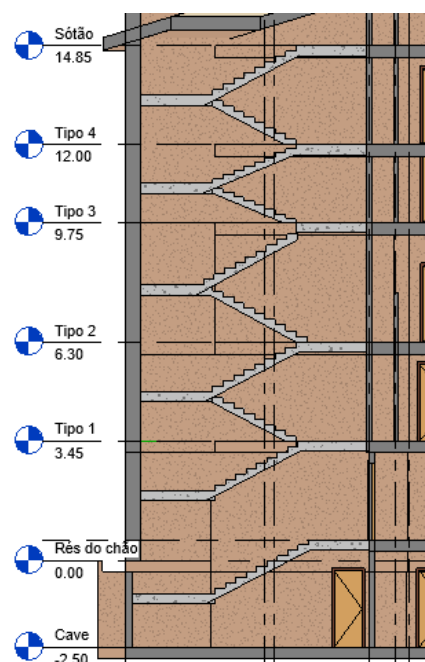


Figura 14 - Corte 3D do modelo de arquitetura BIM com a representação da escada.

A cobertura do edifício, para ambas as soluções propostas, foi modelada com base no traçado de seu perímetro, que é uma das opções existentes no Revit. As informações paramétricas da cobertura são inseridas na janela de propriedades, incluindo sua a inclinação e o material a ser utilizado.

Na Figura 15 ilustra-se a planta de cobertura do edifício e na Figura 16 representa-se, em perspectiva, o modelo de arquitetura BIM desenvolvido.

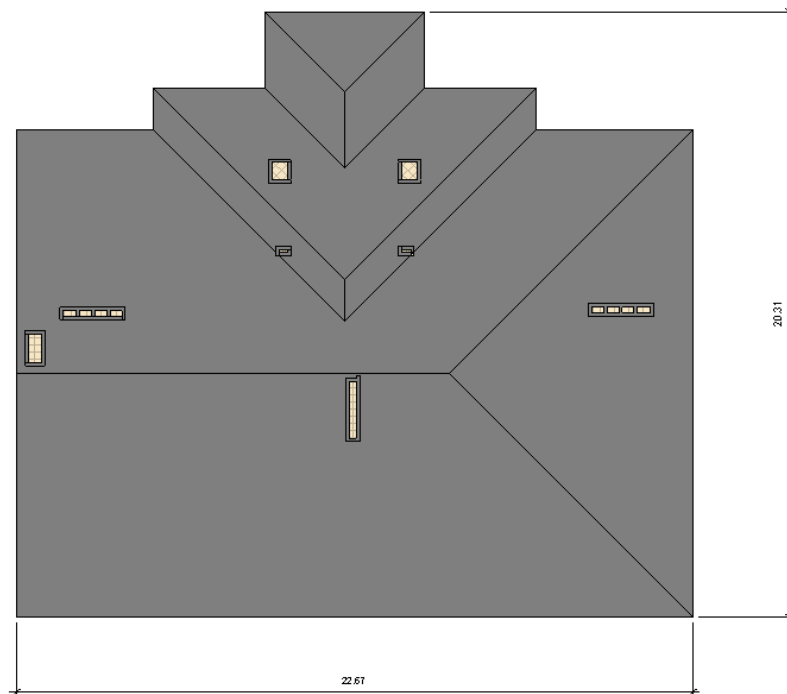


Figura 15 - Planta da cobertura do edifício.

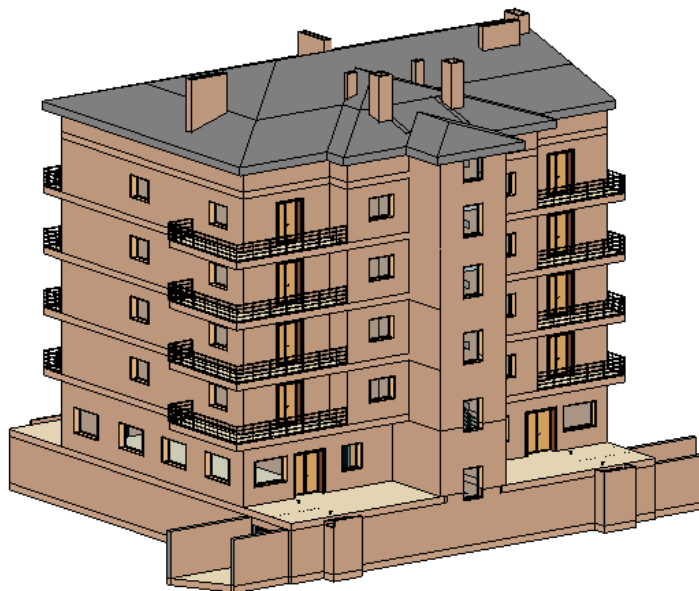


Figura 16 - Visão em 3D da cobertura do modelo.

Além disso, foram adicionados outros elementos no modelo arquitetônico para ser mais fiel ao projeto de arquitetura disponibilizado, mas que não interferem no dimensionamento estrutural, como, por exemplo, as chaminés, as camadas de ventilação e o guarda-corpo das varandas.

No Apêndice 1 são apresentadas as plantas, alçados e cortes originais, em Autocad, e no Apêndice 2 ilustram-se os mesmos desenhos retirados do modelo de arquitetura BIM, em Revit.

3.4 Criação do modelo estrutural

No processo de criação de um modelo estrutural BIM, a solução estrutural é criada a partir do modelo arquitetônico BIM já existente. O intuito é também gerar um modelo BIM de estruturas que permita a avaliação das condicionantes do modelo estrutural e evite possíveis conflitos de elementos entre as duas modelações.

Antes de se iniciar qualquer processo de modelação de estruturas, é preciso definir os parâmetros iniciais. Ou seja, normalização a ser seguida, materiais que serão utilizados, quais os constituintes dos elementos e qual o sistema estrutural que se deseja adotar (com vigas e pilares, por exemplo).

Depois de definidos esses parâmetros, faz-se o lançamento dos elementos estruturais nas dimensões pré-estabelecidas, criando o modelo estrutural provisório e a partir daí as dimensões são ajustadas através de uma análise estrutural.

3.4.1 Soluções Estruturais

3.4.1.1 Solução estrutural 1

A primeira solução estrutural consiste na adoção de lajes fungiformes apoiadas em pilares e paredes, sem a utilização de vigas.

Neste capítulo, apenas serão mostrados os processos de criação dos elementos estruturais no Revit, limitando-se a parte de pré-dimensionamento dos elementos e escolha dos elementos estruturais em questão ao próximo capítulo, de pré-dimensionamento estrutural.

A geração do modelo estrutural BIM consiste na inserção dos objetos paramétricos correspondentes (pilares, vigas, lajes, paredes estruturais, sapatas, por exemplo) e análise de conflitos entre estes objetos estruturais e o modelo arquitetônico já existente e então a preparação do modelo para exportação para o software de cálculo.

Para iniciar a modelação da estrutura no Revit, deve-se criar um novo modelo, desta vez acedendo-se à opção “Modelo estrutural” na interface inicial do Revit. Assim, será criado um novo modelo dentro das propriedades do Revit Structure.

Para a criação do modelo estrutural é necessário importar o arquivo com a modelação arquitetônica para que esta sirva como modelo base para inserção dos elementos estruturais, e assim garantir a inexistência de conflitos e a melhor integração da estrutura na arquitetura do edifício. Para isso, insere-se um vínculo do Revit, como indicado na Figura 17, e seleciona-se o modelo de arquitetura já criado.

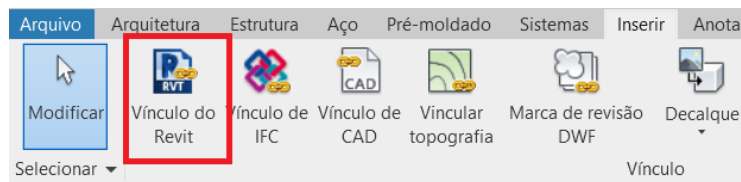


Figura 17 - Estabelecimento de vínculo entre Revit Architecture e Revit Structure.

Desta forma, os vínculos do Revit fazem com que as mudanças realizadas no modelo arquitetónico possam ser atualizadas automaticamente no modelo estrutural. Isto torna-se muito importante uma vez que essa automatização é uma das potencialidades da metodologia BIM para a compatibilização de projetos, facilitando a alteração de localização de pilares e vigas no caso de mudança arquitetónica, por exemplo.

Na Figura 18, ilustra-se como se compatibilizaram os dois projetos, arquitetura e estruturas, neste caso, na planta do piso Tipo 1.

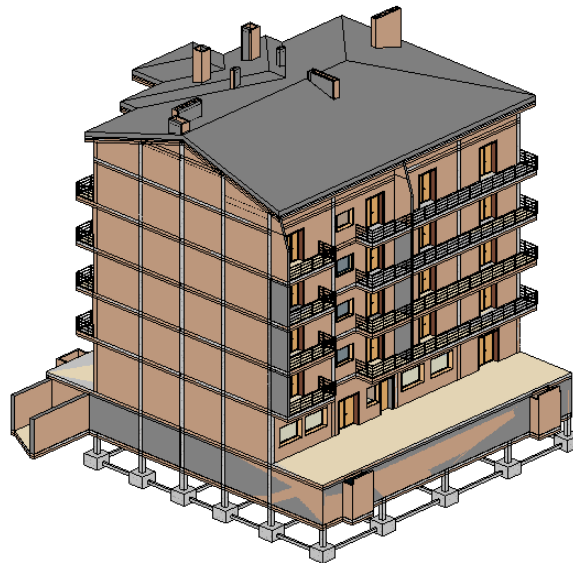


Figura 18 - Exemplo de compatibilização dos modelos BIM.

Depois do vínculo com o modelo arquitetónico, deve-se permitir que os seus elementos constituintes sejam editáveis, bem como os níveis e grelhas sejam inseridos automaticamente. Para isso, com uma das plantas abertas no modelo de vista “Planta arquitetónica”, selecionada nas propriedades, acede-se à aba “Colaborar” do Revit Structure, “Coordenar”, “Copiar/Monitorar” e “Selecionar Vínculo”. Então seleciona-se o ícone “Monitorar” e em “Reutilizar níveis que copiam propriedades”, faz-se a seleção de “Reutilizar-se os elementos copiam as propriedades exatamente”, como mostra a Figura 19. Isso vai garantir o vínculo dos eixos entre os dois modelos.

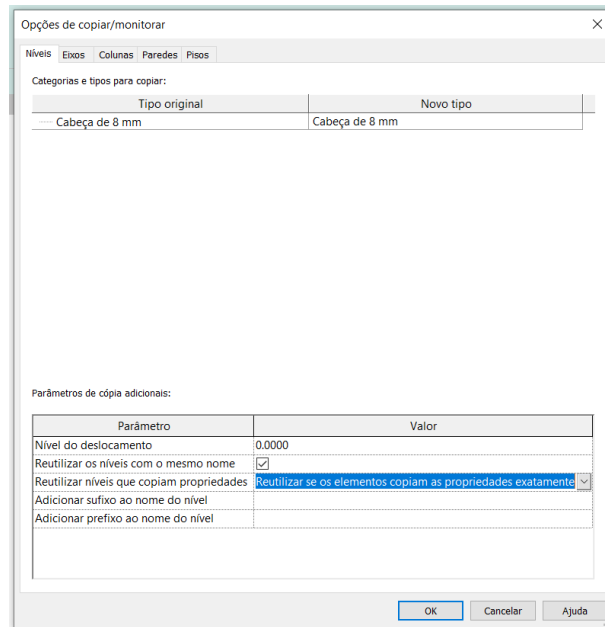


Figura 19 - Estabelecimento de vínculo dos eixos entre os modelos BIM.

Em seguida, seleciona-se a modelação arquitetónica já vinculada a este modelo. Seleciona-se o ícone “Copiar” e faz-se uma seleção de todo o modelo. Seleciona-se a caixa “Múltiplo” e então acede-se ao ícone “Seleção de filtro”. Isto abrirá a janela que está representada na Figura 20 e então é possível selecionar todas as instâncias que se deseja copiar do modelo arquitetónico e torná-las editáveis.

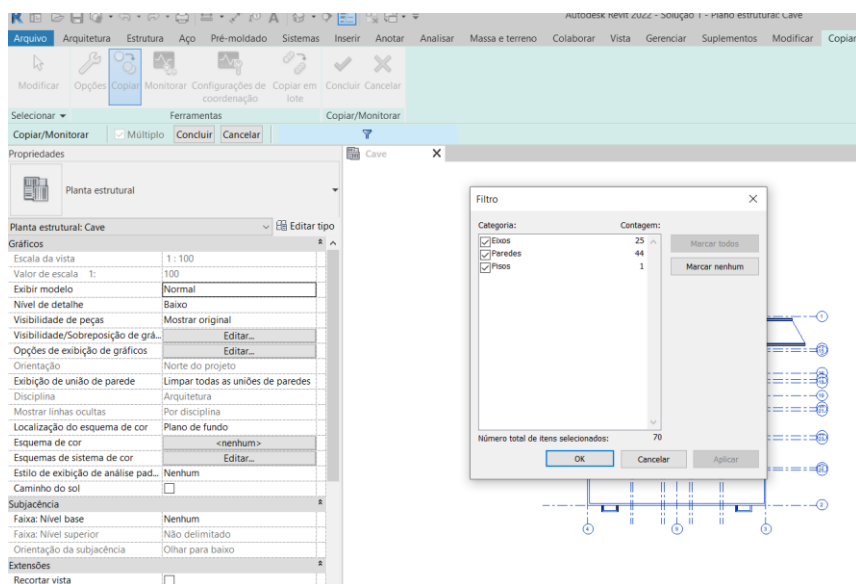


Figura 20 - Janela de seleção para tornar as instâncias do modelo arquitetónico editáveis no modelo estrutural.

Este processo torna possível a utilização das lajes e paredes que foram modeladas no modelo arquitetónico, como elementos estruturais.

Para ser considerada no cálculo estrutural, como é o caso deste componente, necessita ser referida como analítica para que possibilite, dessa forma, ser considerada como elemento da

solução estrutural futuramente. Assim, nas propriedades dos pisos do pavimento é necessário selecionar a opção de ativar o modelo analítico, como se mostra na Figura 21, para ser incluído no modelo de cálculo. Da mesma forma, esse processo foi feito para as paredes exteriores da cave, que também são estruturais.

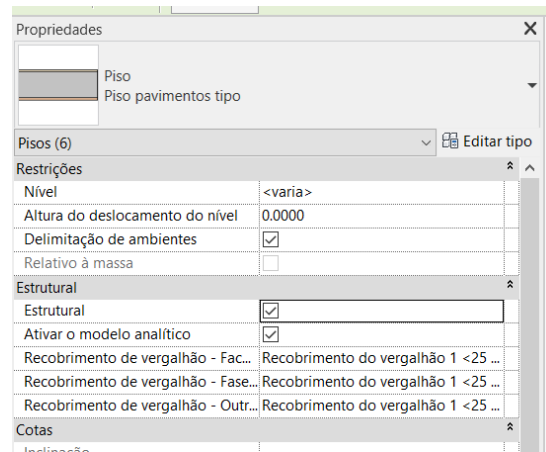


Figura 21 - Propriedades estruturais da laje dos pavimentos tipo.

Além do processo de consideração como elemento estrutural, é importante tomar o devido cuidado dos vínculos entre as lajes agora lançadas e os demais elementos estruturais já presentes no modelo. Existem para ser usadas como base de referência as “normas LNEC”, que apesar de não serem normas oficiais, são bastante utilizadas e facilitam o processo para ferramenta de cálculo posterior.

As normas LNEC são expostas por Fonseca, em seu artigo publicado em 2008, e podem ser observadas na Figura 22. Apesar de não existir uma maneira correta, cada uma dessas formas de modelação gerará uma tabela de quantitativos diferente, e por isso a importância do devido cuidado e do uso de uma mesma modelação arquitetônica para ambas respostas de cálculo estrutural.

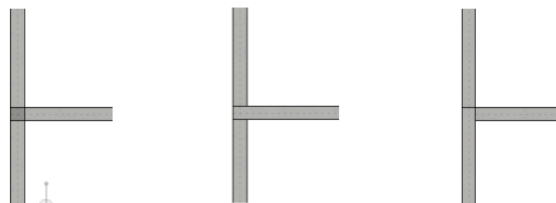


Figura 22 - Modelação estrutural com diferentes abordagens para extração de quantitativos.

A primeira imagem, em que há sobreposição de elementos não é capaz de gerar uma tabela de quantitativos, o que não se torna nada interessante e atraente para uma modelagem BIM. A segunda e a terceira são possíveis gerar tais tabelas, mas isto será com comprimentos horizontais e verticais diferentes. O que Fonseca afirma sobre isso é que os elementos verticais devem ser contabilizados entre as faces superiores das vigas ou lajes e as vigas ou lajes devem ser contabilizadas entre as superfícies dos pilares.

Dessa forma, para todas as etapas de modelação foi tomado o cuidado para gerar esse vínculo de forma correta e de uma mesma maneira para evitar qualquer possível diferença de quantitativo por conta de diferentes maneiras de modelação.

Além do telhado, também foi inserida uma laje inclinada para a modelação a se basear nas normas europeias, por conta das cargas de neve existentes, seguindo as inclinações do telhado já definido. Para as normas brasileiras, esta laje não foi considerada, uma vez que não é tão comum o uso de elementos estruturais para a cobertura. Esta, em um primeiro momento, foi definida com as mesmas espessuras e composição das outras lajes definidas como piso nos demais pavimentos.

Para a inserção dos demais elementos estruturais, acede-se a aba Estruturas do Revit, na qual é possível fazer a seleção de cada um dos objetos a serem inseridos, da mesma forma que foi realizado na modelação arquitetônica.

Para a inserção dos pilares utiliza-se como base a grelha desenhada no início da modelação arquitetônica, para o correto posicionamento do seu eixo. Acende-se ao ícone Coluna (que é o que representa os pilares) e seleciona-se betão armado como material estrutural adotado.

Inicialmente posicionam-se os pilares na planta da cave, no local correto conforme indicado pela grelha inserida anteriormente. Após esse lançamento já é possível visualizar os elementos no modelo estrutural 3D e, então, basta copiar os elementos para os demais pisos, inserindo corretamente as restrições da base e do topo para cada um, ver Figura 23. Desta forma, garante-se que todos os elementos se mantêm alinhados e ligados uns aos outros, garantindo o correto funcionamento da estrutura como um todo.

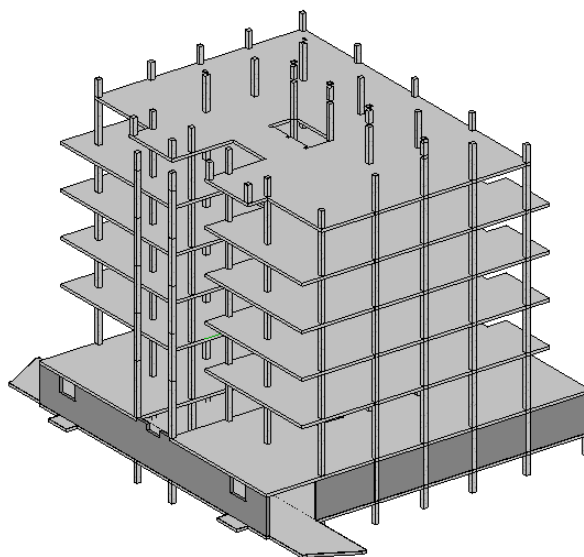


Figura 23 - Pilares inseridos no modelo de estruturas BIM.

Para o lançamento dos elementos de fundação, foi necessária a criação de um novo nível que não havia sido criado anteriormente. Foi optado por lançar todas as sapatas na mesma cota, respeitando o limite inferior da caixa de elevadores, que se situa a 1,5 metros abaixo do limite inferior da cave. Também se optou por criar mais um nível além deste, correspondente à cota

da face superior das vigas de equilíbrio. Estes podem ser vistos na Figura 24, bem como os níveis correspondentes a laje elevada do rés-do-chão, de acesso elevador, e os níveis que dizem respeito às vigas que dão apoio à cobertura.

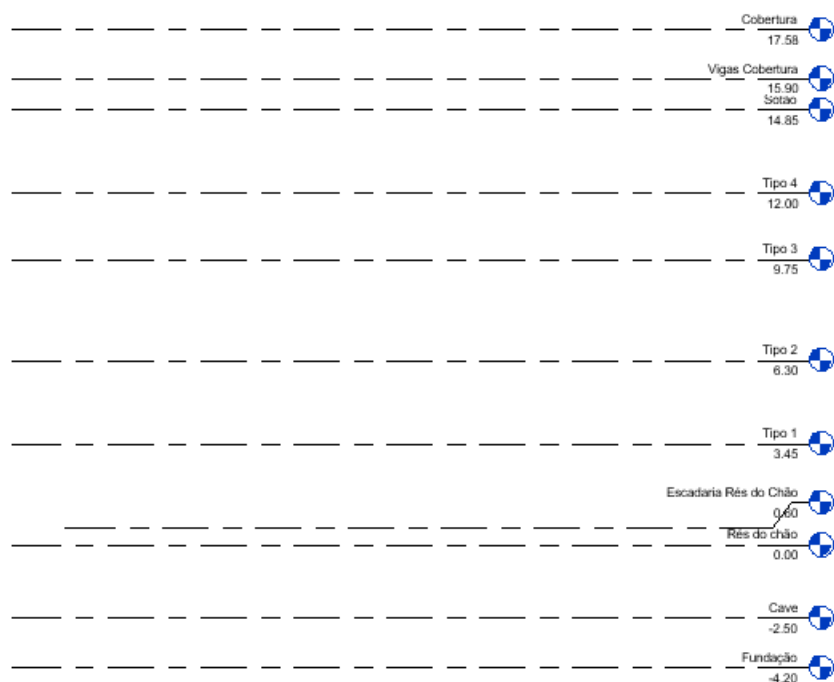


Figura 24 - Níveis inseridos durante a modelação estrutural BIM.

Após a criação dos novos níveis necessários, pode-se, então, fazer o lançamento das sapatas isoladas. Para isso, acede-se ao ícone “Fundações” no menu “Estrutura” e, no caso deste edifício, acede-se ao ícone “Isolada”.

O modelo estrutural após o lançamento de todos os elementos, com exceção das escadas e rampas devido a interoperabilidade dos mesmo com o *software* de cálculo não existir, segue nas Figuras 25 (sem as escadas) e 26 (com as escadas).

No Apêndice 3 apresenta-se as plantas estruturais e os cortes para esta solução estrutural.

3.4.1.2 Solução Estrutural 2

Esta solução consiste na adoção de lajes maciças apoiadas em pórticos (vigas e pilares).

O pré-dimensionamento dos elementos desta solução também serão explicados no capítulo que segue, referido ao pré-dimensionamento dos elementos estruturais.

Na geração deste modelo, foi usado o mesmo modelo de arquitetura da solução anterior e estabelecido o vínculo entre o Revit Architecture e Revit Structure, como na solução anterior.

A introdução dos elementos estruturais foi feita como descrito para a solução anterior, fazendo-se a alteração, somente, dos novos elementos constituintes, ou seja, das vigas.

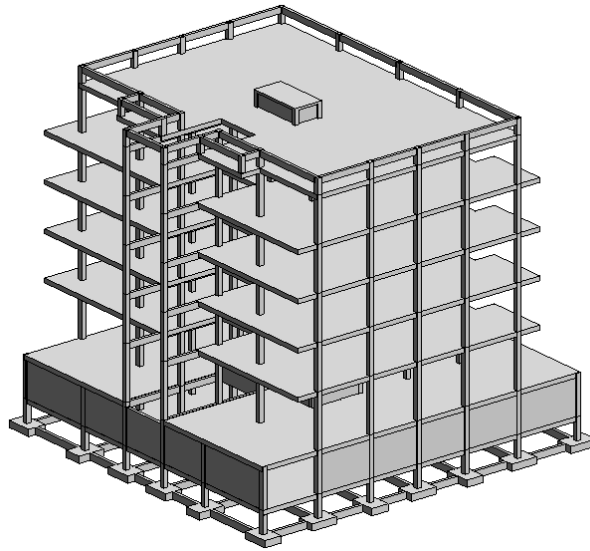


Figura 25 - Modelo estrutural da solução 1, sem os elementos da escada e das rampas.

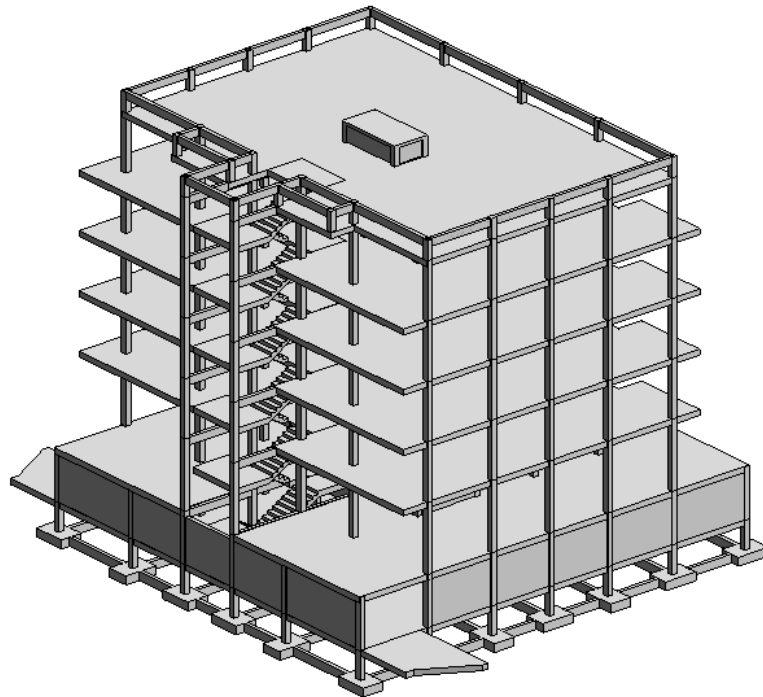


Figura 26 - Modelo estrutural da solução 1.

As vigas foram inseridas por meio do menu “Estrutura”, ao clicar no ícone “Viga” e selecionar “Concreto-Viga Retangular” como constituinte. Faz-se a inserção das mesmas na planta da Cave e, depois disso, copiam-se os elementos para os demais pisos, assim como feito com os pilares, para garantir o correto posicionamento e alinhamento dos mesmos.

A forma como as vigas foram criadas depende muito do *software* que será utilizado para o cálculo estrutural, pois cada um considera as vigas de um modo distinto. O *software* TQS, por exemplo, que será descrito no capítulo seguinte, considera as vigas contínuas com vários tramos, enquanto, o *software* Robot, considera os elementos de viga por tramo.

Neste estudo, as vigas foram criadas por tramo, de pilar a pilar.

Os elementos de fundação, foram inseridos da mesma forma que na solução anterior.

Na Figura 27 apresenta-se o modelo estrutural concebido para a solução 2, com os diversos elementos estruturais, exceto escadas e rampas. Na sequência, na Figura 28, apresenta-se o mesmo modelo estrutural com as escadas e rampas introduzidas.

No Apêndice 4 apresentam-se as plantas estruturais e os cortes para esta solução estrutural.

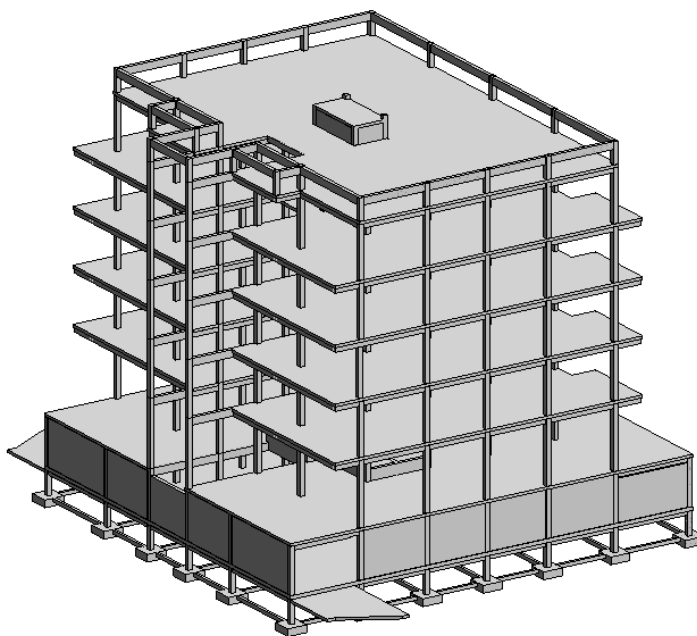


Figura 27 - Modelo estrutural da solução 2, sem os elementos das escadas e das rampas.

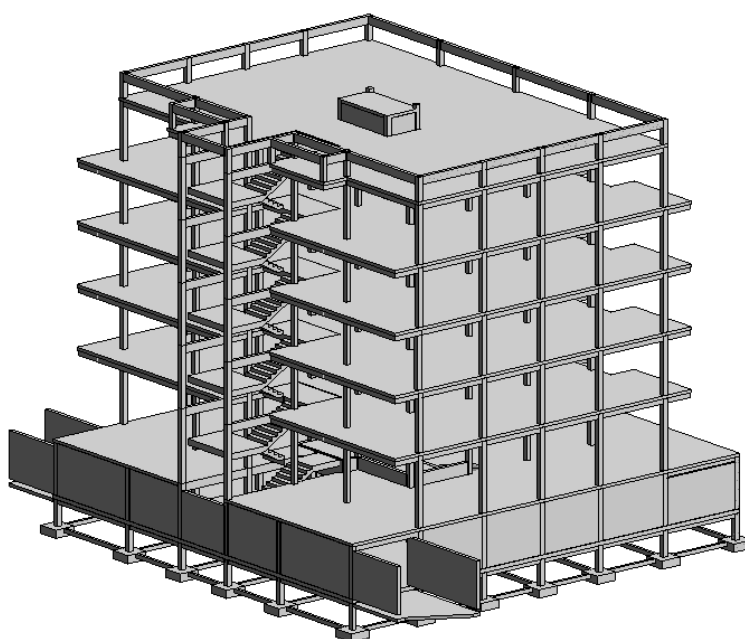


Figura 28 - Modelo estrutural da solução 2.

3.4.1.3 Soluções para a cobertura

Entre as normas brasileiras e europeias o que se pode perceber de maior divergência é a questão de soluções estruturais para a cobertura. Em Portugal, devido a grandes diferenças climáticas existentes e a presença de neve em algumas épocas do ano, há a necessidade de definir uma cobertura com lajes inclinadas em betão armado e, da mesma forma, vigas inclinadas também em betão armado que possam fazer a função de suportar o peso da laje.

Já no Brasil, como as diferenças de temperatura são tão consideráveis ao longo do ano e, nas poucas localidades onde pode ocorrer a presença de neve, esta é em quantidades muito pequenas, não ocorrendo de acumular sobre os telhados, não há a necessidade de se fazer uma estrutura dimensionada para suportar tal ação. Por isso, a solução adotada para a cobertura do edifício localizado no Brasil foi, somente, de vigas localizadas na base do telhado, definida em ripados de madeira e telhas, para suportar o peso do mesmo e da estrutura em caibros de madeira que é exigida.

Por isso, para o dimensionamento estrutural das soluções localizadas no Brasil, somente considerou-se o peso próprio do telhado que estaria atuando, sem se fazer a inserção do mesmo, como comumente é feito no processo de dimensionamento estrutural no Brasil.

Já para a solução de cobertura em Portugal, foi necessário pensar-se sobre como deveriam estar dispostas as vigas inclinadas para suportar o peso da laje. Suas dimensões foram definidas em 15 x 30 cm.

O lançamento das vigas inclinadas foi mais trabalhoso, sendo necessário alterar o nível de referência da base ou do topo do elemento, dependendo de qual de suas superfícies se apoia nos níveis existentes. Em relação às vigas inclinadas necessárias para o suporte da laje da cobertura nos edifícios localizados em Portugal, a conceção adotada pode ser vista na Figura 29.

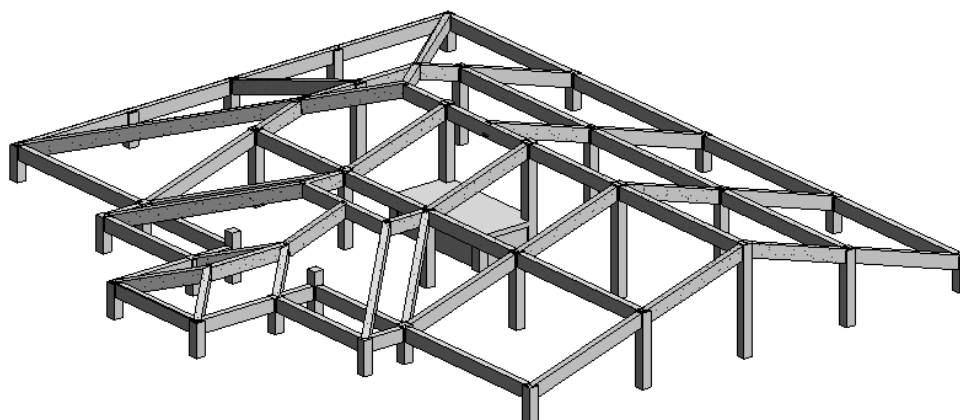


Figura 29 - Solução adotada para o suporte da laje da cobertura (localização em Portugal).

A estrutura completa, com a presença dos elementos de cobertura pode ser vista nas Figuras 30 e 31.

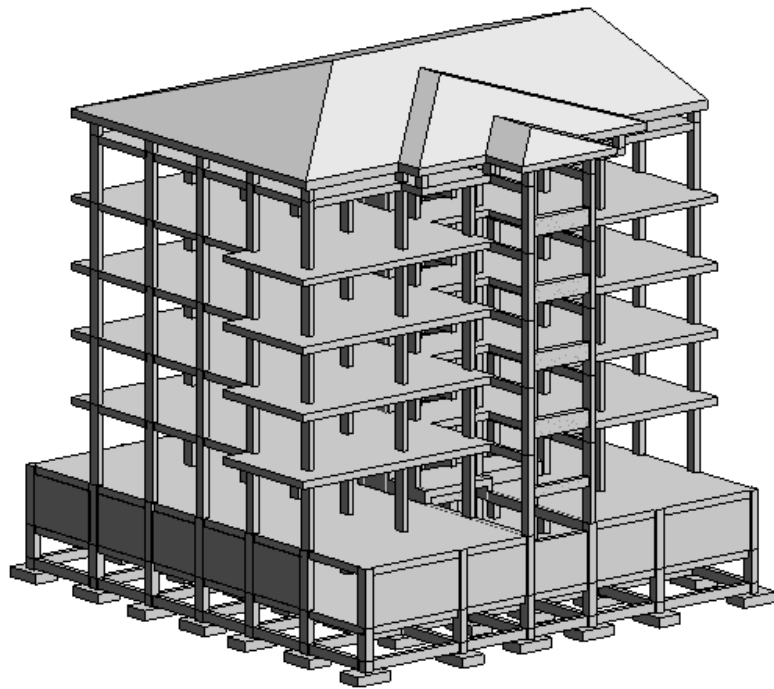


Figura 30 - Modelo estrutural da solução 1, sem os elementos de escada e das rampas.

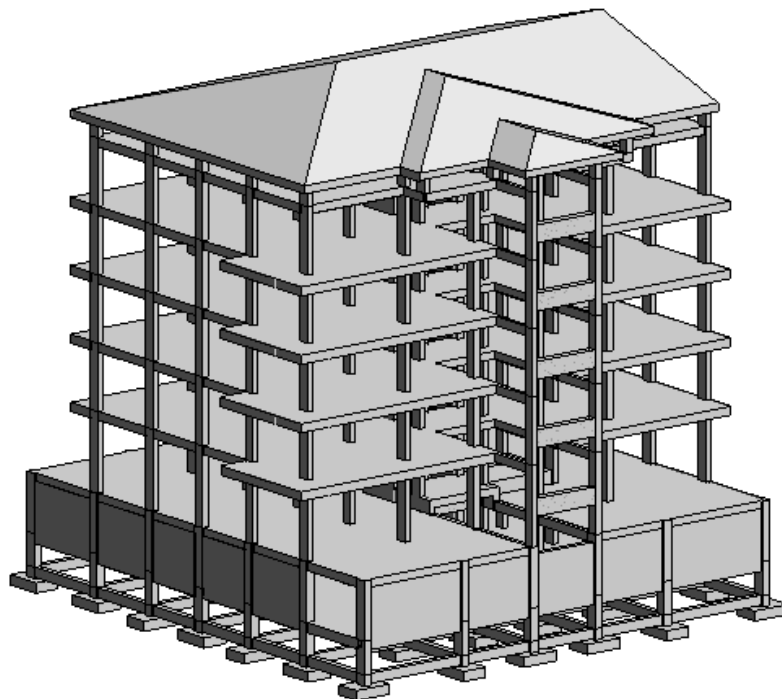


Figura 31 - Modelo estrutural da solução 2, sem os elementos de escada e das rampas.

4. Análise Estrutural

No processo de criação de um modelo estrutural BIM, a solução estrutural e todo o seu pré-dimensionamento são obtidas a partir de um modelo BIM arquitetônico já existente. O intuito disso é também gerar um modelo BIM de estruturas que permita a avaliação das condicionantes do modelo estrutural e evite possíveis conflitos de elementos entre as duas modelações.

Antes de se iniciar qualquer processo de modelação de estruturas, é preciso definir os parâmetros iniciais. Ou seja, a normalização a ser seguida, os materiais que serão utilizados, os elementos estruturais adotados e sua geometria (com lajes, vigas e pilares, por exemplo).

Depois que são definidos esses parâmetros, faz-se o pré-dimensionamento dos elementos estruturais e criam-se esses elementos no modelo BIM com as dimensões encontradas, e a partir desse modelo inicial é que se faz a análise estrutural. Para realizar essa análise, faz-se a exportação do modelo criado no Revit para outro *software*, e fazem-se as verificações de segurança estrutural exigidas nas normas, nomeadamente, o controlo dos deslocamentos e das deformações e a verificação dos esforços e das tensões máximas. Validadas as verificações de segurança, obtêm-se as dimensões geométricas finais dos elementos estruturais e procede-se ao detalhamento da solução estrutural através da geração de peças desenhadas.

4.1 Considerações iniciais para o pré-dimensionamento

Para este caso de estudo, como mencionado no Capítulo 2, foram apresentadas duas soluções estruturais para o edifício.

Para a solução estrutural 1 idealizaram-se lajes fungiformes de betão armado para os pavimentos dos pisos, com exceção do pavimento da cave, cuja solução foi igual para todos os modelos e que consiste num pavimento térreo assente diretamente no terreno. As paredes da cave são estruturais, em betão armado, para suportarem as pressões das terras, as escadas são constituídas por lajes maciças de betão armado e a caixa de escadas e de elevadores é

constituídas por pórticos em betão armado. A solução da cobertura varia consoante o edifício se localiza no Brasil ou em Portugal, conforme foi descrito no Capítulo 2. As fundações são constituídas por sapatas ligadas entre si por vigas de equilíbrio. A solução de paredes de betão armado, constituindo núcleos rígidos, para as caixas de elevadores e de escadas apenas foi equacionada para os edifícios sujeitos à ação sísmica. Na situação estudada sem a ação sísmica, foi adotada uma solução de pórticos para as caixas de escadas e de elevadores, compostos por vigas e pilares.

A solução estrutural 2 difere da solução anterior nos pavimentos dos pisos, tendo-se considerado uma solução de lajes maciças, em betão armado, apoiadas em pórticos de betão armado compostos por vigas e pilares. Todos os outros elementos estruturais são iguais em ambas as soluções.

Recorde-se que as diferentes localidades consideradas foram: Viseu e Lisboa, em Portugal, e Pato Branco, no Brasil, a fim de se realizar o projeto de estruturas com o uso das normas europeias e das normas brasileiras.

4.1.1 Características dos materiais estruturais

No caso dos edifícios localizados em Portugal, foi considerada a utilização de um betão C30/37, de acordo com as normas europeias, por causa da ação sísmica. Para as armaduras considerou-se um aço A400NR. As propriedades mecânicas dos dois materiais, segundo o Eurocódigo 2, estão indicadas nas Figuras 32 e 33.

Betão	C30/37
f_{ck} [MPa]	30
$f_{ck,cubo}$ [MPa]	37
f_{cm} [MPa]	38
f_{ctm} [MPa]	2,9
$f_{ctk,0,05}$ [MPa]	2
E_{cm} [GPa]	33

Figura 32 - Propriedades do betão C30/37.

Aço	400NR
f_{yk} [MPa]	400
E_s [GPa]	200

Figura 33 - Propriedades do aço A400NR.

No caso dos edifícios localizados no Brasil, optou-se por utilizar a mesma classe para o betão como para o aço, porque não havendo, segundo as normas brasileiras, a necessidade de uma resistência tão grande, devido ao facto de as cargas externas serem menores, é desejável, para que se possam comparar os resultados das várias análises, que os materiais adotados sejam os mesmos.

4.1.2 Ações a considerar

É usado como base regulamentadora para o lançamento destas cargas as informações contidas no (Eurocódigo 0 (EC0), Eurocódigo 1 (EC1) e ABNT NBR 6120. Nestes documentos consta que agem sobre qualquer construção as cargas permanentes, que correspondem às ações associadas ao peso próprio da estrutura, denominado PP, e ao peso de todos os revestimentos associado a eles, os elementos chamados não estruturais, denominado restante das cargas permanentes (RCP). Para além das ações permanentes, devem ser consideradas as ações variáveis previstas, tais como, as sobrecargas de utilização (Q), o vento (W) e a neve (S) e, ainda, a ação sísmica (E).

4.1.2.1 Ações permanentes

Para este estudo, as ações de peso próprio (PP) foram inseridas no Revit, onde se definiu o peso específico do betão armado no próprio *software*, a partir do definido no Eurocódigo 1 e na ABNT NBR 6120. Assim como, as ações do restante das cargas permanentes (RCP) foram estimadas definidas de acordo com estas normas.

4.1.2.1.1 Portugal (Eurocódigos)

O peso próprio do betão armado foi considerado com peso específico aparente de 25 kN/m^3 , para as paredes exteriores, que são duplas e já a considerar a camada de ar, $2,90 \text{ kN/m}^3$. Já as paredes interiores, é considerado como sobrecarga, segundo o Eurocódigo 1, Parte 1, por isso será abordado nos próximos itens.

Para as lajes dos pisos de habitação considerou-se um valor baseado no que são comumente aplicados como revestimentos, de $1,5 \text{ kN/m}^2$, com exceção do piso da cave, que foi considerado com $2,0 \text{ kN/m}^2$, e, no caso da cobertura, considerou-se um sistema comum de telhas com ripado de betão, apoiados em muretes de alvenaria. O valor considerado para todo este sistema de cobertura foi considerado com valor de $2,0 \text{ kN/m}^2$. Já para as escadas, em termos de revestimentos, também foi considerado o valor de $2,0 \text{ kN/m}^2$.

4.1.2.1.2 Normas brasileiras

As cargas verticais que agem em uma estrutura são definidas, pelas normas brasileiras, pela ABNT NBR 6120:1980. Esta especifica os valores mínimos que devem ser considerados, a levar em conta o peso próprio da estrutura e de todos os elementos construtivos fixos, bem como as instalações permanentes. Estas informações também podem ser retiradas do que é fornecido pelo Revit, pois este já considera o peso próprio dos elementos, que será analisado posteriormente se é reconhecido pelo software de cálculo e análise estrutural utilizado.

O peso próprio do betão armado foi considerado com um peso específico aparente de 25 kN/m^3 . Os blocos cerâmicos utilizados para a constituição das paredes de vedação foram considerados tijolos furados, com peso específico de $1,3 \text{ kN/m}^3$.

Para as lajes dos pisos de habitação considerou-se a partir de valores baseados em revestimentos que são comumente utilizados, assim como quando considerado com o uso dos Eurocódigos, sendo de $1,5 \text{ kN/m}^2$. O peso da cobertura, que neste não é constituída de betão armado, e sim

de ripados e telhas de fibrocimento somente, foi considerado de $0,18 \text{ kN/m}^2$ para as telhas e de $0,15 \text{ kN/m}^2$ para as madeiras utilizadas para suporte destas.

No Quadro 3, no qual se resumem as cargas mencionadas no texto anterior, se resumem os valores de PP (peso próprio) e RCP (restante das cargas permanentes) que atuam nos edifícios.

Quadro 3 - Resumo das ações permanentes consideradas em cada edifício.

Ações permanentes			
Piso	Elemento	Eurocódigo	NBR
Cave	Laje Pavimento	PP = 5 kN/m^2 RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$	PP = 5 kN/m^2 RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$
	Laje Escadas	PP (patamar) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (patamar) = $2,0 \text{ kN/m}^2$ PP (lanço) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (lanço) = $2,0 \text{ kN/m}^2$	PP (patamar) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (patamar) = $3,0 \text{ kN/m}^2$ PP (lanço) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (lanço) = $3,0 \text{ kN/m}^2$
Rés-do-chão	Laje pavimento (interior, comercial)	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$
	Laje pavimento (interior, acesso aos pisos superiores)	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$
	Laje pavimento exterior	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$
	Laje escadas	PP (patamar) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (patamar) = $2,0 \text{ kN/m}^2$ PP (lanço) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (lanço) = $2,0 \text{ kN/m}^2$	PP (patamar) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (patamar) = $3,0 \text{ kN/m}^2$ PP (lanço) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (lanço) = $3,0 \text{ kN/m}^2$
Piso Tipo	Laje pavimento	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$
	Varandas	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $3,0 \text{ kN/m}^2$	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$
	Laje Escadas	PP (patamar) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (patamar) = $2,0 \text{ kN/m}^2$ PP (lanço) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (lanço) = $2,0 \text{ kN/m}^2$	PP (patamar) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (patamar) = $3,0 \text{ kN/m}^2$ PP (lanço) = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP (lanço) = $3,0 \text{ kN/m}^2$
Sótão	Laje pavimento	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = $2,0 \text{ kN/m}^2$
Cobertura	Laje pavimento	PP = $4,25 \text{ kN/m}^2$ RCP = -	PP = $0,33 \text{ kN/m}^2$ RCP = -

4.1.2.2 Ações variáveis

Como trata-se aqui de edifícios situados em diferentes regiões, as ações variáveis consideradas em cada edifício devem ser diferentes, especialmente ao falar do edifício situado no Brasil em comparação aos edifícios situados em Portugal.

4.1.2.2.1 Sobrecargas de utilização

A sobrecarga de utilização de cada pavimento e região deste foi feita a seguir as normas utilizadas em cada país, sendo o Eurocódigo 1, parte 1, para os edifícios situados em Lisboa e Viseu e a ABNT NBR 6120:1980 para o edifício situado em Pato Branco. A sobrecarga de utilização vem a ter os valores a depender do fim de utilização das partes do edifício.

i) Portugal (Eurocódigos)

Para considerar estes valores nos edifícios situados em Portugal, seguiu-se o Quadro 6.1 e o Quadro NA-6.2 do EC1-1. Para as escadas e varandas, considerou-se categoria A, sendo considerando para as escadas um valor de sobrecarga de 3,0 kN/m² e para as varandas um valor de 5,0 kN/m².

Para os pisos, o piso da cave, por ser um local de estacionamento de veículos, foi considerado Categoria F, com uma sobrecarga de 2,5 kN/m². Para o piso do Rés-do-chão, que é considerado D1 em sua parte interior por ser um local comercial, o valor da sobrecarga foi considerado de 4,0 kN/m². Na sua parte exterior, que é uma varanda com acesso ao público também se adotou um valor de sobrecarga de 5,0 kN/m². Na laje interior do pavimento, que dá acesso aos pisos superiores, foi adotado como Categoria A e um valor de sobrecarga de 2,0 kN/m².

Para os pisos dos tipos, que são todos considerados Categoria A, a sobrecarga de utilização destes foi considerada de 2,0 kN/m². Para o piso do sótão, por ter acesso ao público, também foi considerado Categoria A, com valor de sobrecarga de 2,0 kN/m². Para a cobertura, que é considerada Categoria H e não possui acesso ao público, o valor da sobrecarga é de apenas 0,4 kN/m².

As paredes interiores, que no caso das normas europeias considera elas como sobrecarga, foram consideradas em todos os pavimentos com um valor de 1,94 kN/m².

ii) Brasil (Normas Brasileiras)

A quantificação resultante em decorrência do seu uso também é extraída diretamente da ABNT NBR 6120:1980, para o edifício situado em Pato Branco.

Para escadas e pavimentos admite-se o valor de 3,0 kN/m² e para corredores o valor de 3,0 kN/m². A área considerada dentro dos apartamentos admite-se o valor de 1,5 kN/m², com exceção de despensa, área de serviço e lavanderia que tem o valor considerado de 2,0 kN/m², por isso, para facilitar o processo de inserção das cargas, foi considerado o valor de 2,0 kN/m² para toda área. Já para os balcões, sacadas ou varandas, considera-se a mesma carga da peça com a qual esta área se comunica. Para a cave, como é um local de estacionamento, admitiu-se um valor de 3,0 kN/m². Para o caso do Rés-do-chão, admite-se a utilização como lojas e, por isso, o valor de sobrecarga foi considerado de 4,0 kN/m². Neste mesmo piso, a parte exterior considerou-se como terraço com acesso ao público, com valor de 3,0 kN/m². Para a laje interior do pavimento, que dá acesso aos pisos superiores, foi considerado como corredor com acesso ao público e o valor de sobrecarga de 3,0 kN/m².

Em relação ao sótão, não se percebe na norma brasileira uma categoria específica de sobrecarga para este. Nesta situação, como tem acesso de público, foi definido como o interior de uma habitação de um edifício residencial, com valor de 1,5 kN/m².

Para a cobertura, menciona-se na norma que deve ser projetada para receber, na posição mais desfavorável, uma carga vertical de 1 kN e, por isso, teve o valor da sobrecarga definido em 1,0 kN/m², somente para usos de manutenções, uma vez que a cobertura não possui acesso ao público.

Ainda, se deve lembrar que no caso das normas brasileiras, o peso próprio das paredes interiores, nesta situação em que elas já possuem um local definido no modelo arquitetônico, não são consideradas como sobrecarga e, sim, como cargas lineares, já referidas anteriormente, e, por isso, os valores destas não se incluem nos quadros resumo seguintes.

A seguir, no Quadro 4, são referidos todos os valores de sobrecarga mencionados no texto.

Quadro 4 - Resumo do valor característico das sobrecargas consideradas em cada edifício.

Sobrecargas			
Piso	Elemento	Eurocódigo	NBR
Cave	Laje Pavimento	q (utilização) = 2,5 kN/m ² q (paredes divisórias) = 1,94 kN/m ²	q = 3,0 kN/m ²
	Laje Escadas	q (lanço) = 3,0 kN/m ² q (patamar) = 3,0 kN/m ²	q (lanço) = 3,0 kN/m ² q (patamar) = 3,0 kN/m ²
Rés-do-chão	Laje pavimento (interior, comercial)	q (utilização) = 4,0 kN/m ² q (paredes divisórias) = 1,94 kN/m ²	q = 4,0 kN/m ²
	Laje pavimento (interior, acesso aos pisos superiores)	q (utilização) = 2,0 kN/m ²	q = 3,0 kN/m ²
	Laje pavimento exterior	q = 5,0 kN/m ²	q = 3,0 kN/m ²
	Laje escadas	q (lanço) = 3,0 kN/m ² q (patamar) = 3,0 kN/m ²	q (lanço) = 3,0 kN/m ² q (patamar) = 3,0 kN/m ²
Piso Tipo	Laje pavimento	q (utilização) = 2,0 kN/m ² q (paredes divisórias) = 1,94 kN/m ²	q = 2,0 kN/m ²
	Varandas	q = 5,0 kN/m ²	q = 2,0 kN/m ²
	Laje Escadas	q (lanço) = 3,0 kN/m ² q (patamar) = 3,0 kN/m ²	q _k (lanço) = 3,0 kN/m ² q _k (patamar) = 3,0 kN/m ²
Sótão	Laje pavimento	q (utilização) = 2,0 kN/m ² q (paredes divisórias) = 1,94 kN/m ²	q = 1,5 kN/m ²
Cobertura	Laje pavimento	q = 0,4 kN/m ²	q = 1,0 kN/m ²

4.1.2.2 Ação do vento

Em relação às cargas horizontais, em decorrência do vento atuante na região, para os edifícios situados em Portugal também se utilizou o Eurocódigo 1, Parte 4, e para o edifício situado no Brasil utilizou-se a ABNT NBR 6123:1988 e a ABNT NBR 6118:2014.

A ação do vento exercida sobre um edifício está relacionada a forma das construções e da característica dinâmica das mesmas. Ainda, a velocidade do vento é relacionada com a

4 – PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

localização geográfica da construção, da sua altura em relação ao solo e do terreno onde está situada.

As ações do vento, bem como as ações causadas por conta de algum desaprumo existente no edifício são consideradas cargas atuantes horizontais.

i) Portugal (Eurocódigos)

Em relação a localização geográfica do edifício, apoia-se no EC1 que divide o país em duas zonas. O objeto de estudo localiza-se na Zona A, que envolve toda a generalidade do território, a exceção do arquipélago dos Açores e da Madeira e as regiões situadas a 5km da faixa costeira ou em altitude superior a 600m. Por isso, o valor básico de referência da ação do vento a ser considerado é de $v_{b,0} = 27$ m/s.

ii) Brasil (Normas Brasileiras)

As ações horizontais são definidas pela ABNT NBR 6123:1988, que especifica os cálculos para ação do vento, e pela ABNT NBR 6118:2014 para o desaprumo.

O coeficiente de arrasto a ser considerado para definir a ação do vento deve levar em conta a distância em que o edifício se encontra em relação a edificações vizinhas e a altura que excede as edificações vizinhas para que seja definido em ventos de baixa turbulência ou com regime turbulento. No caso desta edificação, como não há localização exata no Brasil, definiu-se como sendo de baixa turbulência, ou seja, para sua altura existem edificações vizinhas a menos de 500 metros de distância.

Para o caso da localização que foi definida para o edifício em questão, que é a cidade de Pato Branco, no Paraná, foi definida a velocidade do vento de 48 m/s, com base no gráfico das isopletas, como mostra na Figura 34.

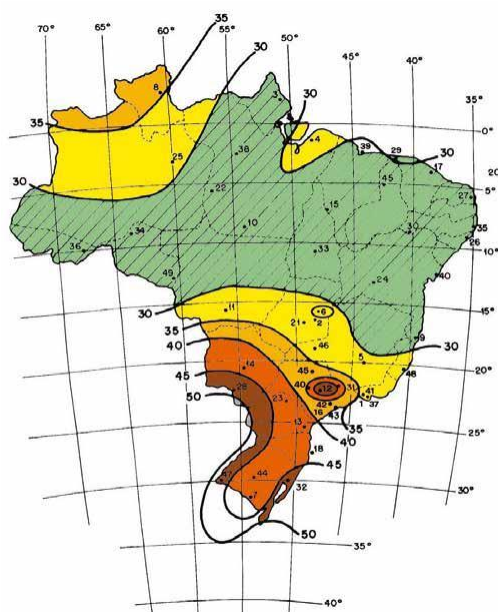


Figura 34 - Gráfico das isopletas para definição da velocidade do vento no Brasil (ABNT NBR 6123, 1988)

4.1.2.2.3 Ação da neve

Em relação à carga da neve, essa somente é considerada nos edifícios situados em Portugal, uma vez que na região do Brasil onde se está a considerar a modelação do edifício não há incidência de neve. Para a modelação dos edifícios situados em Portugal, utilizou-se como base o EC1-3.

i) Portugal (Eurocódigos)

A ação da neve é considerada na cobertura e na zona exterior do pavimento do rés-do-chão. O território nacional está classificado por zonas como mostra a Figura 35.

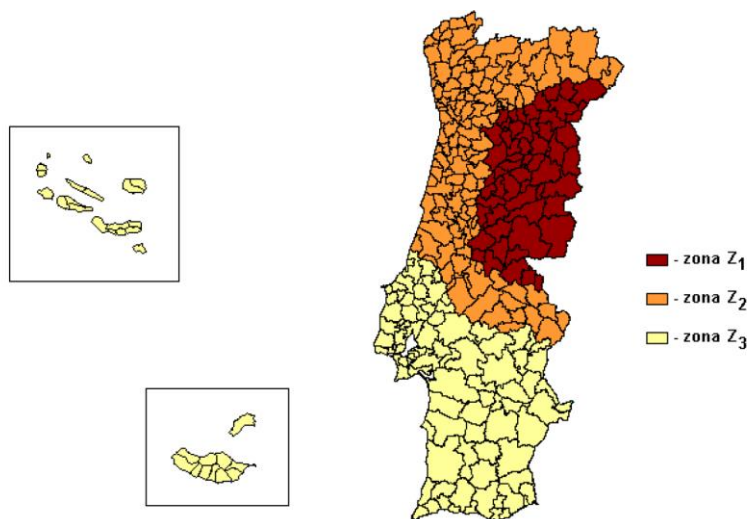


Figura 35 - Classificação do território nacional para a definição da ação da neve (EC1-3).

Inicialmente é quantificada a ação da neve ao nível do solo (S_k) através da Equação 1:

$$s_k = C_z \cdot [1 + (H/500)^2] \quad (1)$$

em que:

s_k = valor característico da carga da neve ao nível do solo para o local considerado;

C_z = coeficiente dependente da zona (ver Figura 35);

H = altitude do local, em metros.

Este valor é o considerado na zona exterior do pavimento do rés-do-chão.

Para determinar o valor da ação da neve na cobertura devem considerar-se duas situações: a carga da neve não deslocada e a carga da neve deslocada.

Para a definição da sobrecarga de neve na cobertura, utilizou-se a Equação 2:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (2)$$

onde:

μ_i = coeficiente de forma para a carga de neve;

4 – PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

C_e = coeficiente de exposição;

C_t = coeficiente térmico;

s_k = valor característico da carga da neve ao nível do solo para o local considerado;

Os valores de μ_i estão expressos na Figura 36.

Ângulo de inclinação da vertente α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	--

Figura 36 - Coeficiente de forma para a carga de neve (Quadro 5.2 do EC1-3).

Por fim, os valores adotados para o cálculo da carga de neve estão expressos no Quadro 5.

Quadro 5 - Definição da sobrecarga de neve.

Edifício em Viseu	Edifício em Lisboa
Zona Z1	Zona Z3
$C_z = 0,3$	$C_z = 0,1$
H (m) = 500	H (m) = 90
$s_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$	$s_k = 0,1 \text{ kN/m}^2$
$C_e = 1,0$	$C_e = 1,0$
$C_t = 1,0$	1,0
$\mu_i = 0,8$	$\mu_i = 0,8$
$s = 0,48 \text{ kN/m}^2$	$s = 0,08 \text{ kN/m}^2$

A disposição da carga da neve não deslocada (caso i) e deslocada (casos ii e iii) são obtidas de acordo com o esquema representado na Figura 37.

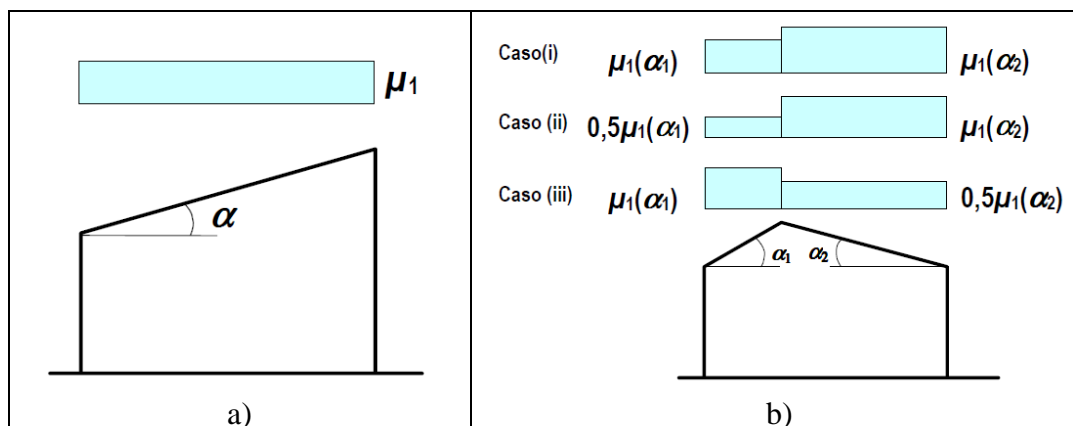


Figura 37 - Coeficientes de forma para a carga de neve: a) cobertura de uma vertente; b) cobertura de duas vertentes (EC1-3).

4.1.2.3 Ação sísmica

A ação sísmica somente foi considerada nos edifícios situados em Portugal, quantificada com base no Eurocódigo 8 (EC8), nas diferentes regiões onde se situam os edifícios, uma vez que não há normas brasileiras para esta ação por não haver registos dessa incidência no país.

A ação sísmica em Portugal Continental caracteriza-se pela ocorrência de sismos de grande magnitude, que ocorrem a grandes distâncias epicentrais (interplacas) e muito espaçados no tempo e sismos de menor magnitude, que têm origem próxima (intraplacas) e com menores períodos de retorno. Os estudos efetuados ao longo dos anos possibilitaram a definição de zonas sísmicas, por conselho, para todo o território.

Na Figura 38 está esquematizado o zonamento sísmico para Portugal Continental para as duas tipologias de sismos: ação sísmica Tipo 1 (afastada) e ação sísmica Tipo 2 (próxima).

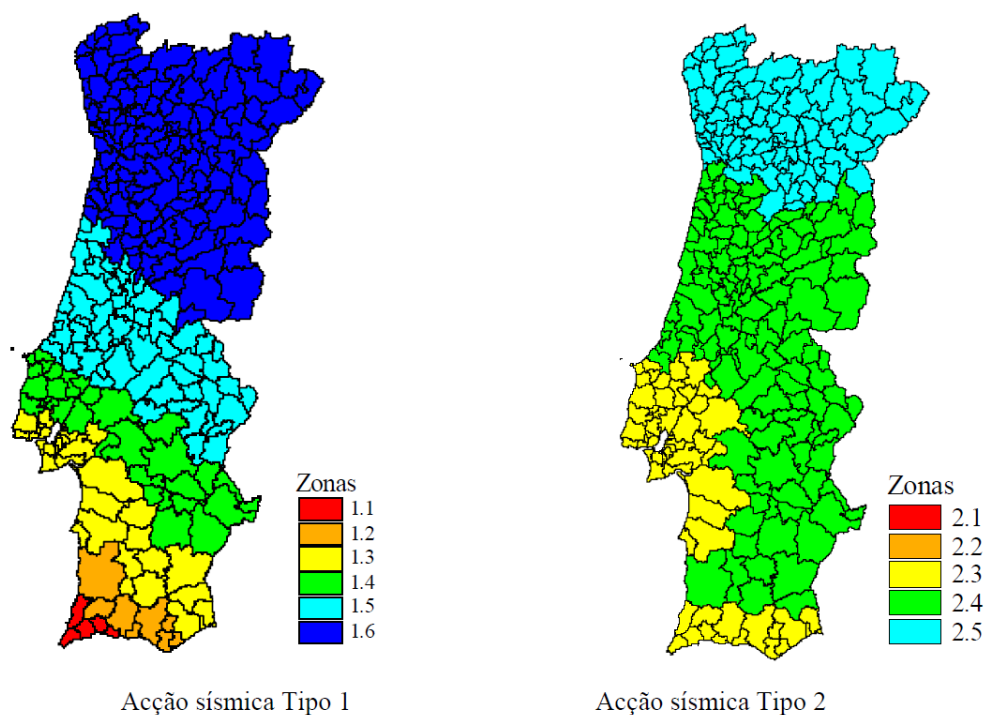


Figura 38 - Zoneamento sísmico em Portugal Continental (EC8).

Segundo o EC8, para uma ação sísmica do Tipo 1, Lisboa encontra-se numa zona sísmica 1.3, com um valor de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno do tipo A (a_{gR}) de $1,5 \text{ m/s}^2$. Para uma ação sísmica do Tipo 2, Lisboa encontra-se numa zona sísmica 2.3 com uma aceleração a_{gR} de $1,7 \text{ m/s}^2$.

Já em relação a Viseu, para uma ação sísmica do Tipo I, corresponde a uma zona sísmica 1.6, com uma aceleração a_{gR} de $0,35 \text{ m/s}^2$ e, para uma ação sísmica Tipo 2, Viseu encontra-se numa zona sísmica 2.5, com uma aceleração a_{gR} de $0,8 \text{ m/s}^2$.

Neste trabalho, para não introduzir fatores que dificultem a análise dos resultados, assumiu-se que o tipo de terreno em Portugal, para as duas localizações (Viseu e Lisboa) é do Tipo C, ou seja, depósitos profundos de areia compacta ou medianamente compacta, de seixo (cascalho)

ou de argila rija com uma espessura entre várias dezenas e muitas centenas de metros. Este terreno caracteriza-se por um valor de N_{SPT} (pancadas/30 cm) entre 15 e 50.

O EC8 classifica os edifícios em quatro classes de importância em função das consequências do colapso em termos de vidas humanas, da importância para a segurança pública e para a proteção civil imediatamente após o sismo e das consequências sociais e económicas do colapso. As classes de importância são caracterizadas por diferentes valores do coeficiente de importância (γ_I). O edifício objeto deste estudo é considerado um edifício corrente (classe de importância II).

De acordo com o EC8, o movimento sísmico de um dado ponto da superfície do terreno é representado por um espectro de resposta elástica da aceleração à superfície do terreno, designado por *espectro de resposta elástica*. Este espectro é definido em função do valor de cálculo da aceleração à superfície de um terreno do tipo A (a_g), obtido pela Equação 3, do coeficiente de solo (S) e de um conjunto de valores de período de referência (TB, TC e TD) que permitem ajustar a forma do espectro.

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} \quad (3)$$

em que:

a_g = valor de cálculo da aceleração à superfície de um terreno do tipo A;

γ_I = coeficiente de importância;

a_{gR} = valor de referência da aceleração máxima à superfície de um terreno do tipo A.

Os valores dos parâmetros definidores do espectro de resposta elástico para a ação sísmica são obtidos dos Quadros NA-3.2 e NA-3.3 do Anexo Nacional do EC8 e encontram-se resumidos nos Quadros 6 e 7.

Quadro 6 - Parâmetros para definição da ação sísmica para o edifício localizado em Lisboa.

Parâmetro	Ação sísmica Tipo 1	Ação sísmica Tipo 2
Zona sísmica	1.3	2.3
Classe de importância	II	II
Coeficiente de importância γ_I	1,00	1,00
Tipo do terreno	C	C
a_{gR} (m/s ²)	1,50	1,70
a_g (m/s ²)	1,50	1,70
S_{max}	1,35	1,35
TB (s)	0,10	0,10
TC (s)	0,60	0,25
TD (s)	2,00	2,00

Quadro 7 - Parâmetros para definição da ação sísmica para o edifício localizado em Viseu.

Parâmetro	Ação sísmica Tipo 1	Ação sísmica Tipo 2
Zona sísmica	1.6	2.5
Classe de importância	II	II
Coefficiente de importância γ_I	1,00	1,00
Tipo do terreno	C	C
a_{gR} (m/s ²)	0,35	0,8
a_g (m/s ²)	1,50	1,70
S_{max}	1,35	1,35
TB (s)	0,10	0,10
TC (s)	0,25	0,25
TD (s)	2,00	2,00

4.2 Pré-dimensionamento

O pré-dimensionamento da geometria dos elementos estruturais foi realizado tendo como base o modelo arquitetónico do edifício. Foi feito separadamente para cada solução estrutural, e seguindo a sequência de lajes, vigas (para a solução que abrange este elemento), pilares e, por último, as fundações.

Para a distinção das dimensões dos elementos, para as soluções localizadas em Pato Branco utilizaram-se critérios exposto pelas Normas Brasileiras.

- ABNT NBR 6120: Cargas para o cálculo de estrutura em edificações (1980);
- ABNT NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações (1988);
- ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento (2014);
- ABNT NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento (2003);

Para o pré-dimensionamento das lajes, não se considerou o Estado de Limite de Serviço (ELS) como condicionante, uma vez que o edifício em questão não possui vãos considerados grandes. Dessa forma, o pré-dimensionamento das lajes foi efetuado com base do Estado Limite Último (ELU) de flexão, que, segundo o EC2, pode-se recorrer a regras simples, como a limitação da relação vão / altura dos elementos estruturais em causa.

Considerou-se o maior vão existente, que é de 5,05 m. A carga aplicada na laje, como consta no Quadro 3, na seção anterior, deve obedecer à Equação 4 para os pisos de habitação de Portugal.

$$P_{sd,piso1} = 1,35 * (6,5) + 1,5 * (2,0) \quad (4)$$

No caso do edifício localizado no Brasil, essa expressão somente muda no cálculo do patamar das escadas, que corresponde a Equação 5:

$$P_{sd,piso} = 1,35 * (6,5) + 1,5 * (3,0) \quad (5)$$

4 – PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Considerando que o vão do patamar da escada é muito menor que o maior vão considerado, pode-se utilizar somente a Equação 4 para o pré-dimensionamento.

Ainda, se considerou a esbeltez limite segundo a Equação 6.

$$h > L/30 \quad (6)$$

em que:

h = espessura da laje (em metros);

L = maior vão existente entre pilares (em metros).

Dessa forma, os resultados encontrados estão mostrados no Quadro 8, que conduziram a uma laje de 17 cm de espessura para todos os pisos, a exceção do piso da cave, que por possuir influência do solo, foi definido com 20 cm de espessura.

Quadro 8 – Determinação do momento máximo positivo e da espessura das lajes.

Parâmetro	Valor
L maior (m)	5,05
L/30 (cm)	16,67
Psd, piso 1 (kN/m ²)	16,61
Msd (kN.m)	34,90
h adotado (cm)	20

A adoção dessa espessura foi dada para a solução estrutural 2. Já para a solução estrutural 1, considerou-se o punçoamento que atua devido a não ter presença de vigas e, por isso, a espessura adotada foi de 25 cm.

Para o pré-dimensionamento das vigas também se considerou o maior vão existente de uma viga, que nesse caso também é equivalente a 5,05 m, por ser o mais condicionante. Novamente foi utilizada a combinação fundamental (ELU) considerando as seguintes cargas: carga uniformemente distribuída aplicada na laje baseada na largura de influência, carga linear correspondente ao peso da parede que atua sobre a viga, e carga linear relativa ao peso próprio da viga.

Ainda, a altura relativa da viga deve obedecer ao sistema estático que ela representa. De um primeiro momento, foi considerada como simplesmente apoiada, a fazer uma análise futura no *software* de cálculo sobre a necessidade de encastramento delas. Visto isso, a altura da viga deve obedecer a relação expressa na Equação 7:

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{8} a \frac{1}{20} \quad (7)$$

Para vigas em consola, localizadas nas varandas, a relação passa a ser a da Equação 8:

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{4} a \frac{1}{10} \quad (8)$$

sendo:

h = altura da viga;

L = vão a ser considerado.

Para as vigas calculadas a considerar o maior vão, de 5,05 m, a altura da viga deve obedecer ao intervalo de 25 a 63 cm. Para as vigas em consola, que possuem o maior vão de 1,40 m, a altura da viga deveria obedecer ao intervalo de 14 a 35 cm, porém, ainda, deve-se considerar a deformação delas, por isso, considerou-se o mesmo intervalo de espessura.

Dessa forma, considerou-se as vigas que ficam localizadas mais ao centro da estrutura, no poço de elevador e caixa de escadas com 50 cm, bem como as vigas da fachada. As demais, foram consideradas com 35 cm de altura, bem como as de consola.

Para a largura delas, foi levado em conta o modelo arquitetónico, variando entre 30 cm nas que condizem as paredes externas dos modelos localizados em Portugal e 15 cm que é o mínimo exigido pelas normas brasileiras. Para a solução localizada em Portugal, foi considerado as demais vigas com espessura de 20 cm, que é o mínimo exigido pela norma.

Para o pré-dimensionamento dos pilares deve-se levar em conta a área de influência, pois alguns são mais solicitados do que outros. Assim, foram calculados três pilares considerados os mais condicionantes, que tivessem a maior área de influência, um dos pilares localizados no interior, um pilar exterior e outro pilar de canto no edifício.

Para o seu pré-dimensionamento, utiliza-se a Equação 9:

$$A_c = \frac{N_{sd}}{0,85 f_{cd}} \times \alpha \quad (9)$$

sendo:

A_c = área da seção de betão, em m^2 ;

N_{Ed} = esforço axial atuante, em kN;

f_{cd} = valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão, em kPa;

α = função de localização do pilar (conforme Figura 39).

Valor de α	Localização do pilar
1,1	Caso geral
1,3	Pilares exteriores
1,5	Pilares canto (principalmente de andares superiores)

Figura 39 - Valor de α em função da localização dos pilares.

Como a classe do betão que foi considerada é C30/37, o valor de f_{cd} corresponde a 20MPa. O valor de α para o pilar considerado no interior é de 1,1, do pilar considerado no exterior é de 1,3 e o pilar que foi considerado no canto do edifício de 1,5.

Dessa forma, o valor do esforço axial atuante no pilar interior é de 410 kN e no pilar exterior é de 335 kN e, para o pilar de canto, 251 kN. Todos estes estão localizados no pavimento Rés do Chão. O resultado obtido para a área de betão necessária no pilar interior calculado foi de 0,16 m², no pilar exterior também foi de 0,16 m² e no pilar de canto 0,12 m².

Em pilares da cobertura, por exemplo, o valor do esforço axial atuante para os mesmo pilares foi de 113 kN para o pilar interior, 71 kN para o pilar exterior e de 48 kN. Dessa forma o betão necessário para estes pilares na cobertura é, 0,04 m² para todos eles

Para um primeiro momento foi optado por definir os pilares em formato quadrado para que, depois, fosse analisado no *software* de cálculo qual o lado de maior inércia atuante, a depender dos esforços externos, haveria a necessidade de aumentar as dimensões.

Para pilares quadrados, a dimensão mínima que deve ser considerada é de 20 cm, segundo as normas portuguesas. Então, dessa forma, tanto o pilar interior, quanto o pilar exterior calculado ficaram definidos com espessura de 40 x 40 cm para o primeiro pavimento. Os pilares considerados na cobertura ficaram com espessura de 20 x 20 cm.

Para o pilar de canto considerado no primeiro pavimento, a espessura ficou definida com 35 x 35 cm no primeiro pavimento e, na cobertura, com 20 x 20 cm.

Para o pré-dimensionamento das fundações, que serão sapatas isoladas sob cada pilar. O modelo de cálculo considera sapatas rígidas, ou seja, deve ser verificada a área mínima da sapata necessário para resistir ao esforço axial, de forma a suportar uma tensão não superior a admissível pelo terreno da fundação. A verificação é efetuada em relação as sapatas condicionantes, ou sejam, as que servem de base aos pilares pré-dimensionados. As áreas de influência são as consideradas no dimensionamento dos pilares, a somar-se os pesos referentes às vigas presentes tanto na caixa de elevadores, quanto na caixa de escadas e, no caso dos edifícios localizados em Portugal, as paredes de betão armado que constituem os elevadores.

A resistência do solo é dada a partir do Quadro X, nos anexos, retirado do Eurocódigo 7, que define a tensão de cálculo como 400 kPa, tanto para os edifícios localizados em Portugal, quanto para o edifício localizado no Brasil, pois, apesar de possuírem solos diferentes, o valor de cálculo é o mesmo para as duas situações.

Foi considerada a excentricidade necessária aos pilares interiores, de $e_1 = 0,1$ cm e $e_2 = 0$. Para os pilares de bordo, foi admitido os valores de $e_1 = 0,35$ cm e $e_2 = 0$.

A área útil das sapatas é dada pela Equação 10:

$$\text{Área útil} = \frac{N}{\sigma} \quad (10)$$

sendo:

Área útil = área da sapata, em m²;

N = esforço axial, resultante da soma de cargas atuantes, em kN;

σ = tensão admissível do solo, em kPa.

Dessa forma, encontra-se uma área útil para as sapatas das periferias do edifício de 3,50 m² e para o interior do edifício de 5,00 m². Procurou-se manter as sapatas em dimensão quadrada para simplificação de projeto e de execução, então, com isso, chegou-se à dimensão de 2,20 x 2,20 m para as sapatas interiores e de 1,90 x 1,90 m para as sapatas exteriores.

Em relação a altura das sapatas, utiliza-se a Equação 11:

$$H = \frac{2}{3}a \quad (11)$$

em que:

H = altura da sapata, em cm;

a = dimensão da máxima consola da sapata, em cm;

Com isso, chega-se a uma altura de 130 cm para as sapatas exteriores e de 150 cm para as sapatas interiores.

Essas dimensões são usadas para ambas as soluções e edifícios em diferentes localidades.

4.3 Softwares de cálculo automático

Atualmente, no mercado, existe uma série de *softwares* disponíveis para se realizar o cálculo de estruturas. A escolha de qual será usado para tal função fica a critério do projetista estrutural, das diretrizes que deseja seguir e qual o *software* que abrange melhor as necessidades estabelecidas para o projeto em questão.

Para este estudo, foram escolhidos três *softwares* com características muito distintas que proporcionam uma comparação bem ampla das funcionalidades da metodologia BIM, bem como das suas próprias limitações. Para se avaliar a interoperabilidade entre *softwares* optou-se por considerar um programa de cálculo estrutural da mesma *software house* do Revit (Autodesk), o Robot Structural Analysis, por ser, em princípio, o mais eficaz na troca de dados. Os outros dois *softwares*, o Eberick e o TQS Estruturas, por serem desenvolvidos por empresas distintas da Autodesk e por serem utilizados, frequentemente, no Brasil.

4.3.1 Eberick

O Eberick é um *software* pertencente à AltoQi, que modela e dimensiona de acordo com as normas brasileiras. A escolha por este programa deve-se, em grande parte, à sua popularidade entre os engenheiros projetistas no Brasil. É uma das aplicações mais utilizadas para o dimensionamento e para a qual se encontram disponíveis muitos materiais de estudo para auxílio no cálculo.

Apesar da empresa vender a ideia de que é uma plataforma que se utiliza da metodologia BIM, este programa não funciona com uma interoperabilidade bidirecional, como os dois citados anteriormente, como veremos mais adiante.

Ele é usado como uma ferramenta BIM, principalmente no Brasil, para a criação do modelo estrutural a partir do modelo arquitetónico criado no Revit e transferido para o Eberick.

É muito utilizado por facilmente se exportar o modelo estrutural para o Revit para se efetuar a compatibilização com os demais projetos complementares que compõem um edifício.

Para este estudo, não foi utilizado para fins de cálculo estrutural, e sim para que se pudesse analisar a interoperabilidade.

4.3.2 Robot Structural Analysis

O Autodesk Robot Structural Analysis Professional é uma ferramenta de análise avançada que permite realizar análises lineares e não lineares de modelos de construção, pontes e outros tipos de estruturas industriais (Autodesk, 2018).

A ferramenta tem a possibilidade de fazer vários tipos de análises avançadas, como análises estáticas, análises modais, análises sísmicas, análises de espectro, análises harmónicas e análises temporais históricas.

Considerou-se a utilização deste programa por se tratar de um *software* desenvolvido pela Autodesk, a mesma empresa que desenvolveu o Revit, utilizado neste estudo para modelação arquitetónica e estrutural.

Além disso, já existe o *plug-in* que faz a ligação direta entre os dois *softwares*, como será visto no tópico referente à transferência da estrutura, o que, a princípio, possibilita uma maior transferência de informações entre eles.

É um *software* que possui em sua biblioteca diferentes normas, com exceção das normas brasileiras, motivo pelo qual se optou por outro *software* para fazer o dimensionamento do edifício situado em Pato Branco, no Brasil.

Este *software* foi utilizado para o dimensionamento das duas soluções estruturais, segundo as normas europeias, para as duas localidades de Portugal, ou seja, Lisboa e Viseu.

4.3.3 TQS Estruturas

O TQS Estruturas é um *software* pertencente a uma empresa brasileira, a TQS, fundada em 1986, por engenheiros civis de estruturas (TQS Informática, 2022). É muito popular entre os projetistas de estruturas no Brasil e este foi um dos motivos que levou à sua escolha para este estudo.

O TQS Estruturas dimensiona estruturas de betão armado e pré-esforçado e, ainda, disponibiliza gratuitamente tutoriais de auxílio para um conhecimento inicial do *software*.

É um *software* que abrange muitas normativas, assim como o Robot, citado anteriormente, entretanto não é capaz de dimensionar sismos, motivo pelo qual foi optado somente para o cálculo estrutural da estrutura situada em Pato Branco.

Possui o *plug-in* que permite a transferência de arquivos diretamente entre Revit e TQS Estruturas.

É um *software* que possui interoperabilidade bidirecional, ou seja, a estrutura modelada no Revit consegue ser transferida e reconhecida pelo TQS, assim como, após calculada consegue ser exportada de volta para o Revit.

4.4 Modelo analítico

Após a definição do modelo estrutural no Revit é necessário gerar o correspondente modelo analítico.

Antes de realizar-se o vínculo para o *software* de cálculo é necessário fazer uma análise do modelo analítico criado no Revit Structure, que consiste numa representação da estrutura do edifício por meio de barras, para os pilares e vigas, e superfícies planas, para as lajes. Elas têm a função de representar a geometria da estrutura e os seus vínculos para a importação para os *softwares* de cálculo estrutural posteriormente. O que permite que estes objetos sejam representados a partir de seus eixos é a parametrização dos mesmos, que mesmo representados somente por uma barra, por exemplo, nesta etapa analítica, são capazes de conter outras informações.

Se existe um vínculo bem definido entre os elementos, sem sobreposição dos mesmos e uma referência adequada de onde começam e terminam os elementos verticais e horizontais, as tabelas quantitativas conseguem ser extraídas automaticamente.

O Revit Structure, no início, apresenta cinco níveis criados, sendo três deles as plantas estruturais e os outros dois a sua representação analítica. Para os níveis já existentes, o modelo analítico surge automaticamente quando desenhados os objetos nas respectivas plantas, porém para este estudo foi necessária a importação dos outros níveis existentes do modelo arquitetônico.

Para ter acesso aos modelos analíticos das plantas vinculadas entre os dois modelos, é necessário selecionar a opção “Analítico Isolado” em “Modelo de Vista”, dentro de “dados de identidade” com a vista ativa da planta que se deseja visualizar no modelo analítico, como exemplificado na Figura 40. Para retornar à vista da planta estrutural, basta selecionar novamente “Planta Estrutural” nesta mesma aba.

É importante estabelecer o vínculo correto entre os níveis, com os nome e alturas exatamente iguais porque isso faz parte, também, do processo de compatibilização de projetos. Só é possível importar, exportar e compatibilizar bases de projetos que estejam com exatamente o mesmo nome inseridos. Isso vale tanto para vínculos de projetos arquitetônicos e estruturais com o *software* Revit, quanto para vínculos envolvendo outros *softwares* e outras áreas da concepção de um edifício, como o orçamento ou como o planejamento do tempo de execução da obra, por exemplo.

O modelo analítico gerado automaticamente não costuma representar os vínculos da estrutura de maneira satisfatória. Em geral, também, os elementos se apresentam unidos de uma forma no modelo físico e de outra no modelo analítico, principal incompatibilidade observada nesta

etapa. Em grande parte dos casos é necessário alterar esse vínculo para que as ligações, principalmente entre vigas e pilares ocorram de maneira correta.

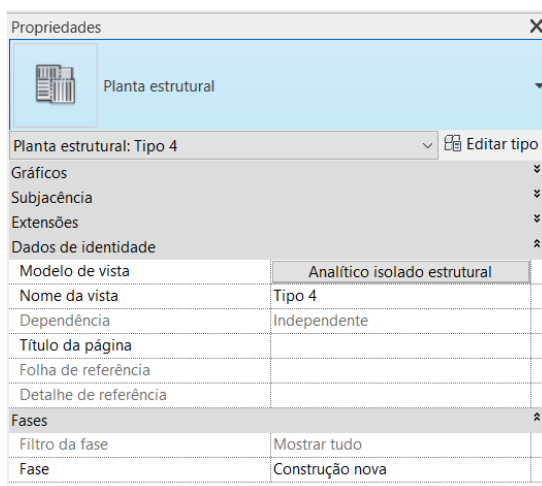


Figura 40 - Ferramenta para estabelecer o modelo analítico de plantas estruturais criadas manualmente no Revit Structure.

Uma dificuldade enfrentada nesta etapa foi que, algumas vigas e lajes modeladas ao longo do processo, não ficaram completamente vinculadas umas às outras, como se pode ver na Figura 41. Isso pode dar-se por vários motivos, um deles é que não tenha sido ligado até o centro do elemento a que se liga no momento da modelação. Para corrigir-se, basta aceder, no Revit, à aba “Analisar”, e selecionar “Ajustar” no modelo analítico. A partir daí ajusta-se cada nó que for necessário e ligam-se os elementos corretamente.

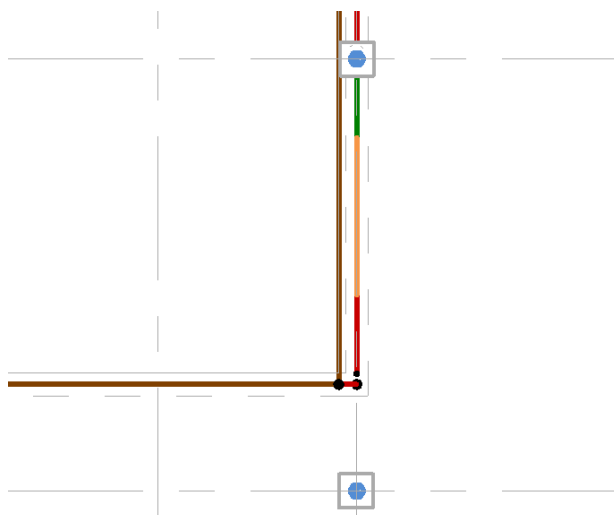


Figura 41 - Incompatibilidade entre nós do modelo estrutural.

Além dessas correções dos vínculos e dos nós que são realizadas nesta primeira análise, também se deve verificar a consistência do modelo. Para isso, acede-se à aba “Analisar” e à opção “Verificação de Consistência do Modelo Analítico”, como representado na Figura 42.

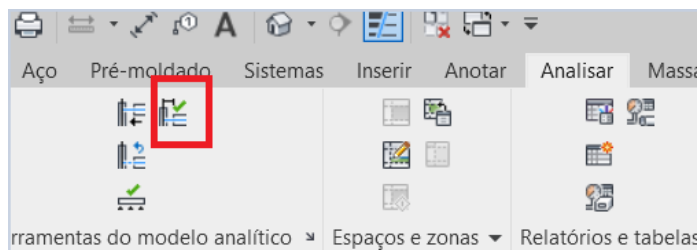


Figura 42 - Acesso a verificação de consistência do modelo analítico.

Esta análise permite encontrar alguns erros de consistência e corrigi-los de uma maneira mais rápida e fácil, como foi o caso nestes modelos.

Foi identificado que existia a proximidade física entre dois elementos estruturais, ou seja, os mesmo tinham vínculo físico, mas não era possível identificar o vínculo analítico. Para corrigir o problema bastou a seleção dos elementos que possuíam o erro de incompatibilidade e aceder ao ícone “Ajuste analítico”, como se mostra na Figura 43.

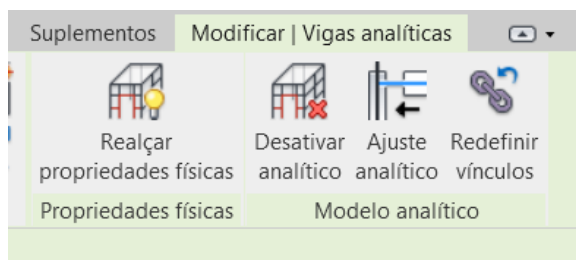


Figura 43 - Ajuste analítico para correção de incompatibilidades.

Através do ícone “Redefinir vínculos” faz-se o ajuste necessário dos nós que não estejam ligados entre si ou que estejam ligados a elementos errados ou que não estejam formando 90 graus entre si de forma correta, como entre pilares e vigas, por exemplo. Por fim, pode-se ver na Figura 44, o modelo analítico corrigido e com os nós interligados, numa representação do modelo em estrutura de arame.

Após a realização desta verificação, o passo seguinte é a transferência de dados para o *software* de cálculo estrutural, mas esse processo dependerá do *software* que será utilizado, por forma a garantir a melhor interoperabilidade na transferência das informações. Esta troca de informações será descrita de maneira particular na sequência deste estudo.

Em relação às cargas, em princípio, o peso próprio da estrutura é adicionado ao elemento automaticamente, graças à parametrização dos objetos que reúne as informações de volume e peso específico do material constituinte. A depender do nível de detalhe da modelação efetuada, cargas permanentes e sobrecarga podem ser associadas automaticamente, pois estas dependem principalmente da localização geográfica do edifício.

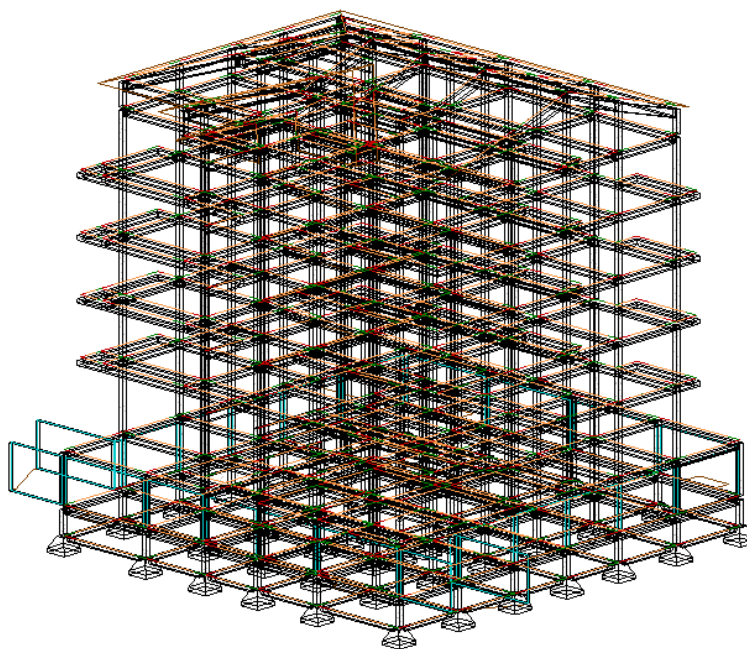


Figura 44 - Modelo analítico após correções.

As demais cargas são adicionadas manualmente, a seguir critérios normalizados. Para tal, existem duas formas: inseri-las diretamente no Revit ou posteriormente no *software* de cálculo, Robot, TQS e Eberick, no caso deste estudo.

4.5 Análise de sobreposição dos elementos

Depois de realizada toda a análise ao modelo analítico e de conferir as suas inconsistências, chega o momento de analisar se a posição dos elementos está de acordo com o modelo arquitetônico já existente. Essa é uma das tarefas que deverá ser efetuada juntamente com o pré-dimensionamento dos elementos previstos na concepção do edifício, para se evitarem incompatibilidades futuras.

No caso deste estudo são analisadas somente as sobreposições entre o modelo arquitetônico e o estrutural, mas na concepção global de um edifício é comum analisarem-se as sobreposições de todas as especialidades que compõem o projeto, para que seja possível fazer as correções necessárias antes do início da construção da obra.

Para se realizar esta análise, deve-se abrir um novo projeto no Revit e gerar vínculos com os dois projetos existentes, o modelo arquitetônico e o modelo estrutural. Esse vínculo é realizado da mesma forma que o vínculo gerado anteriormente entre o arquitetônico e estrutural.

O resultado deste vínculo é observado na imagem 3D representada na Figura 45.

Como é possível perceber na Figura 46, existe uma sobreposição de elementos localizada na área da escada. Os patamares e as respectivas vigas de apoio atravessam as janelas existentes no projeto arquitetônico.

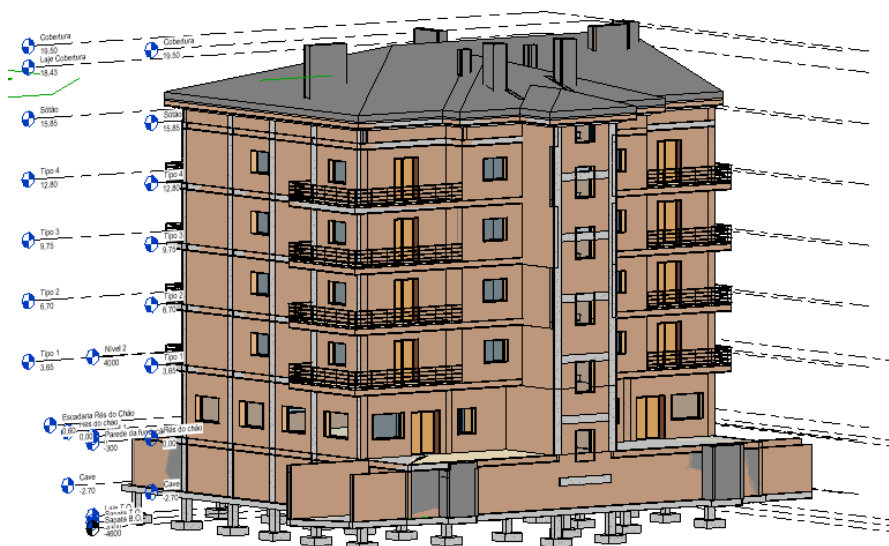


Figura 45 - Modelo 3D vinculado ao modelo arquitetônico e estrutural.

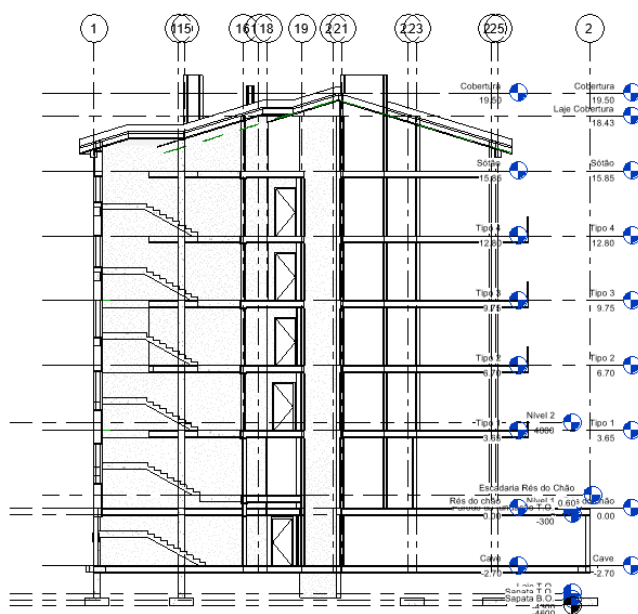


Figura 46 - Sobreposição de elementos estruturais e arquitetônicos apresentados em corte.

Além da sobreposição das vigas sobre as janelas, é possível observar que algumas vigas não se encontram posicionadas no local exato dos patamares da escada, o que acabaria por não funcionarem como apoio da mesma.

As vigas também tiveram as suas alturas alteradas para que ficassem exatamente no local de apoio das escadas. Todas as correções devem ser feitas no projeto original, ou seja, a mudança de local das vigas deve ser feita no modelo estrutural do Revit.

Na Figura 45 é possível perceber que existem algumas paredes sobrepostas, pois foram modeladas tanto no modelo arquitetônico, como no modelo estrutural, porém não há problema nesta fase do trabalho, pois no momento da importação para o *software* de cálculo será transferido somente o modelo estrutural.

4.6 Vínculo com o Robot

No caso, em específico, do *software* de cálculo estrutural, Robot, as cargas de peso próprio dos elementos estruturais e das paredes exteriores, conseguem ser exportadas juntamente com a estrutura. Para isso, faz-se o lançamento de todas as cargas de parede dentro do Revit Structure. Para o lançamento das cargas de parede de alvenaria, acede-se à aba “Analisar” no *software* Revit Structure e seleciona-se o ícone cargas. Nesta seção, selecionam-se as cargas distribuídas linearmente para as cargas de parede e atribui-se o valor necessário a cada caso e a depender da espessura e altura das paredes.

Não há necessidade de fazer o lançamento das cargas dos elementos estruturais, como lajes, vigas e pilares, pois estes conseguem ser importados juntamente com a exportação e só é necessário fazer uma análise para verificar se os valores foram exportados e importados corretamente.

É possível visualizar as cargas lançadas na estrutura na Figura 47.

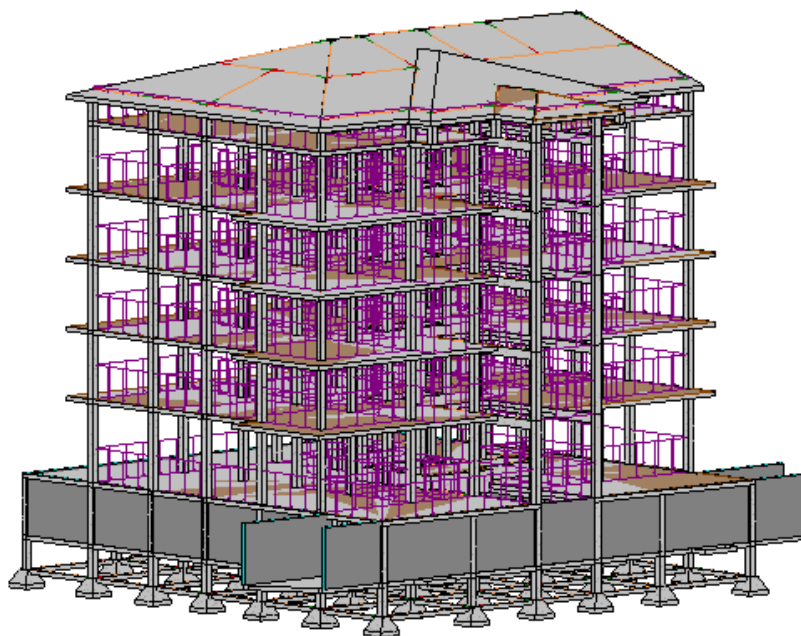


Figura 47 - Modelo no Revit Structure com as cargas permanentes lançadas.

Para se iniciar o processo de cálculo e análise estrutural no Robot, faz-se uma importação do modelo no Revit através do ícone “Análise da Estrutura”, no menu “Analisar” presente no Revit (Figura 48). Ao clicar no ícone Robot Structural Analysis, seleciona-se a opção “Vínculo para o Robot Structural Analysis”. Isso abrirá uma caixa de diálogo onde serão selecionadas as opções de transferência dos dados, ver Figura 49. A transferência dá-se de maneira automática no Robot, com o formato resultante representado na Figura 50. A solução representada corresponde à solução estrutural 1. O procedimento para as demais soluções estruturais consideradas neste estudo foi o mesmo.

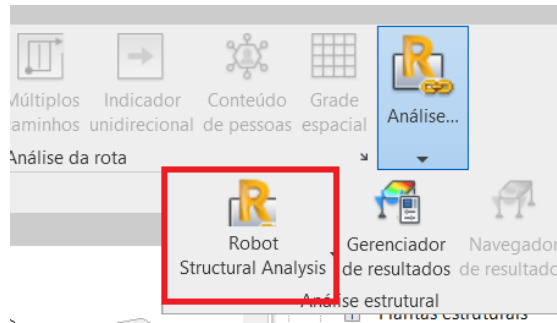


Figura 48 - Ícone para importação da modelação arquitetónica do Revit para o Robot.

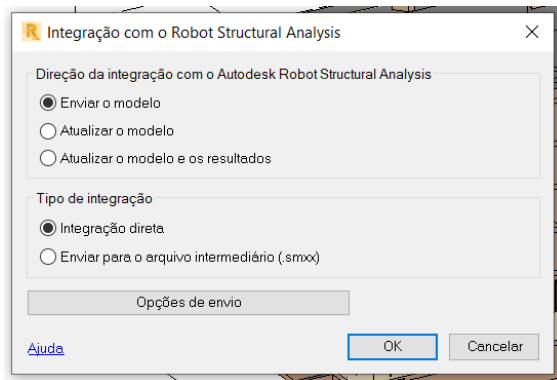


Figura 49 - Caixa de diálogo para transferência dos dados entre o Revit e o Robot.

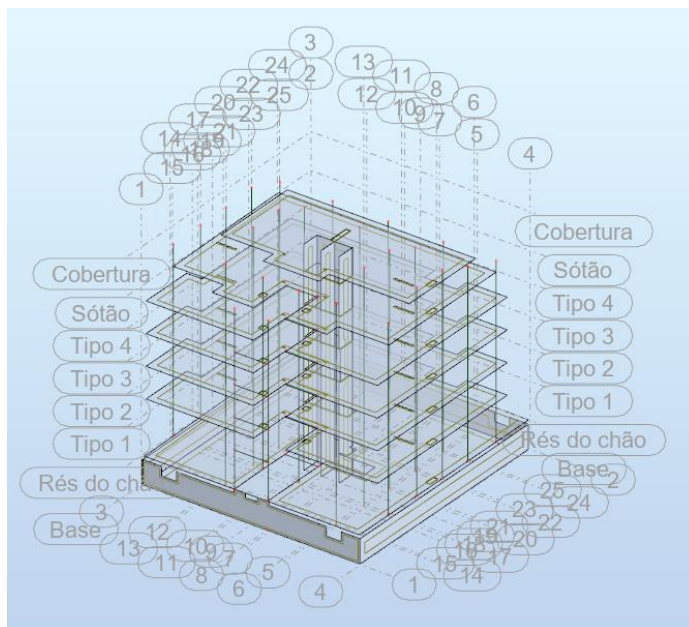


Figura 50 - Resultado das informações no software Robot após importação do modelo estrutural do Revit.

4.7 Vínculo com o Eberick

Para a transferência de dados entre o Revit e o Eberick, foram tentadas vários formatos diferentes de transferência IFC, possíveis de visualizar na Figura 51.

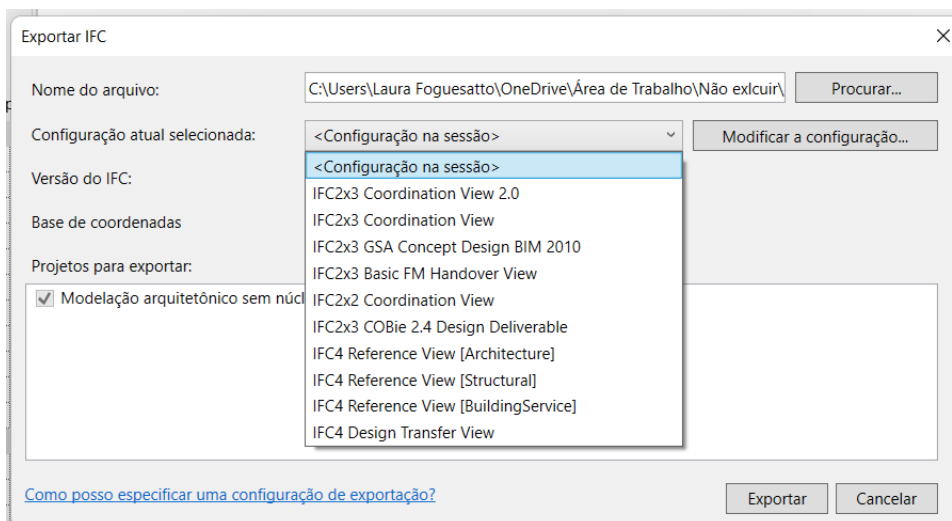


Figura 51 - Caixa de diálogo no Revit para exportação no formato IFC.

A vantagem desse *software* é que a transferência se dá de maneira muito rápida, ele possui uma visualização muito eficaz dos elementos em 3D, entretanto, nenhum deles é editável no Eberick. O modelo arquitetônico serve apenas de molde para a criação do modelo estrutural no próprio programa de cálculo. A transferência dos elementos do Revit para o Eberick pode ser visualizada na Figura 52.



Figura 52 - Modelo de arquitetura e de estruturas do Revit exportado para o Eberick, sem reconhecimento de elementos estruturais.

Um ponto positivo que o software Eberick tem nesse sentido é que, por ser muito visual os elementos arquitetônicos dentro do software, é possível analisar dentro dele mesmo se há sobreposição de elementos estruturais com arquitetônico, o que torna possível evitar a sobreposição e janelas e ajustar uma posição adequada para os pilares.

No Eberick é necessário informar novamente todas as informações já inseridas no Revit, sobre quantidades de pavimentos, alturas de pé-direito, materiais constituintes e classes de betão e aço. Após isso, faz-se novamente o lançamento de todos os elementos estruturais constituintes

do modelo, bem como a localização do mesmo e as sobrecargas atuantes no edifício, pois nada dessas informações são transferidas entre os *softwares*.

No caso deste estudo, como um dos intuitos era analisar a interoperabilidade entre *softwares*, o cálculo estrutural no Eberick foi feito somente para fazer tal análise, não sendo utilizado como comparativo de resultado a respeito da dimensão dos elementos. Com isto, o foco neste caso é somente a transferência de informações.

Após a finalização da estrutura, deve-se salvar a estrutura do Eberick em formato IFC para transferi-la novamente para o Revit. Nesta questão da volta do modelo já dimensionado para o *software* Revit, também se dá de maneira rápida e visual e o formato se torna bastante compatível com o Revit, como pode-se visualizar na Figura 53. Porém, ao contrário de outros *softwares*, que serão vistos mais adiante, não é possível selecionar, nem editar os elementos transferidos pelo formato IFC para o Revit. Possivelmente isso ocorre porque os elementos desenvolvidos dentro do *software* Eberick não possuem a parametrização necessária para serem considerados com objetos das famílias do Revit.



Figura 53 - Sobreposição de elementos estruturais do Eberick com o modelo arquitetônico do Revit.

Em questões de compatibilização de especialidades, o Eberick não deixa de ser um *software* muito útil para os próximos passos da modelação BIM, pois a partir dele é possível fazer os demais projetos complementares, como o hidráulico e o elétrico, pois a geometria dos elementos é utilizada para compatibilizar os elementos estruturais com os outros elementos dos restantes projetos.

4.8 Vínculo com o TQS

Para a vinculação do Revit Structure com o TQS, como no Eberick, não são lançadas as cargas das paredes que não são estruturais, pois essas cargas não são reconhecidas pelo TQS. Por isso, após a análise do modelo analítico no Revit já se pode transferir os dados para o TQS.

Para fazer a exportação e importação do modelo, existe um *plug-in*, que pode ser obtido no próprio site da TQS e que funciona para garantir a interoperabilidade.

4 – PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Este *plug-in* é adicionado automaticamente ao Revit assim que descarregado. Para exportar os dados, acede-se à aba “TQS”, dentro do Revit, e seleciona-se o ícone “Exportar RTQ”. Nesse momento, abre-se uma nova janela, na qual se seleciona a versão do TQS que será utilizada. No caso deste estudo, foi utilizada a versão V22. Além disso, também se selecionam os elementos que se deseja exportar.

No caso dos tubos mencionados na Figura 54, não faz sentido serem testados para exportação, uma vez que não existem no modelo.

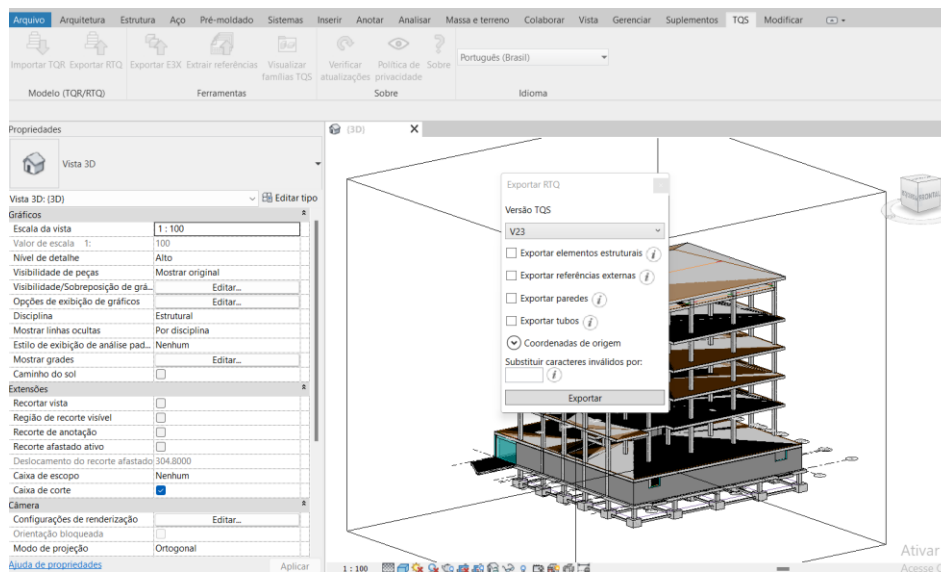


Figura 54 - Seleção da informação a exportar do modelo estrutural do Revit para o TQS.

Além de utilizar o *plug-in* existente, também se testou a transferência de dados pelo formato IFC, selecionando-o dentro do Revit e, posteriormente, no TQS.

Após a criação do arquivo no formato RTQ, acede-se à aba “Ferramentas”, no painel “Projeto”, no separador “Interfaces BIM” e no ícone “Revit” e seleciona-se o arquivo RTQ criado no Revit.

Na janela que surge, ver Figura 55, selecionam-se os pavimentos que se deseja transferir. No caso deste estudo, transferiram-se todos de uma vez, pois a estrutura não será calculada de forma isolada.

Após todas as correções foi possível obter o modelo tridimensional da solução estrutural, como se ilustra na Figura 56.

Na Figura 56, estão representados os elementos inclinados que, posteriormente, foram excluídos para o cálculo utilizando as normas brasileiras, como será explicado no capítulo mais adiante.

Depois de corrigidos os erros encontrados no processo de troca de dados do Revit para o TQS, foi necessário criar os elementos que faltavam, como as escadas e rampas. Não é possível fazer a transferência desses elementos, pois não é possível fazer a sua modelação no Revit como elementos estruturais.

4 – PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

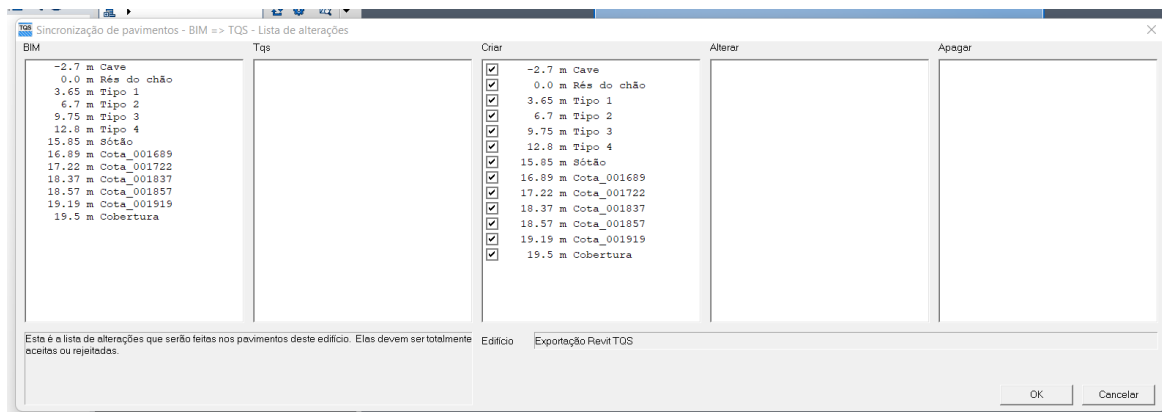


Figura 55 - Seleção dos pavimentos a transferir para o TQS.

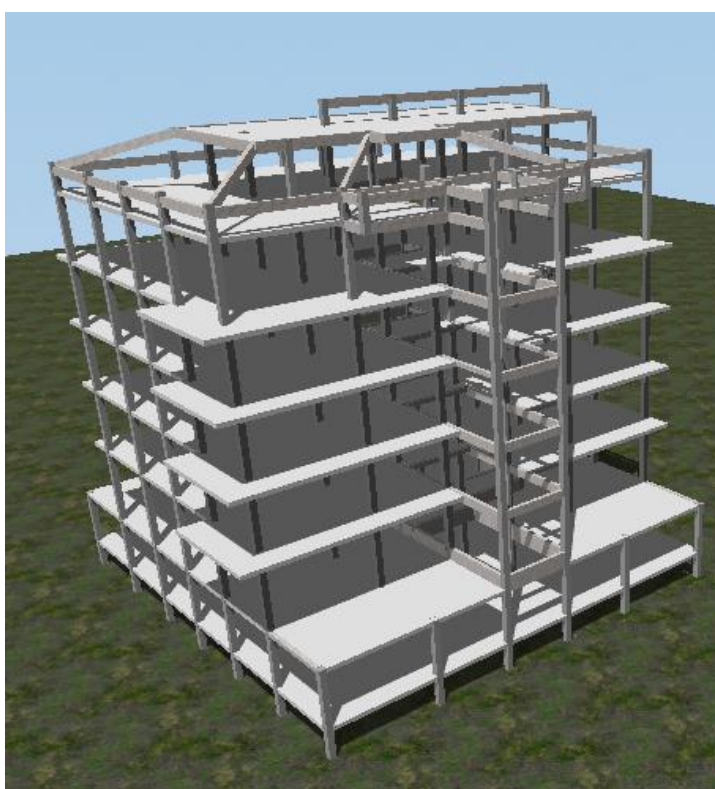


Figura 56 - Visualização do modelo estrutural no TQS após correções.

Para a criação de elementos estruturais inclinados, é necessário criar pisos auxiliares nos pavimentos, onde ficarão os patamares das escadas e onde se apoiarão as rampas. Para inserir esses pisos auxiliares acede-se ao editor de edifícios e só se acrescentam esses pisos, atentando que o valor não pode ultrapassar o pé-direito de cada piso.

Acrescentam-se as vigas que não existiam no modelo original para apoiar cada patamar e, então, criam-se os patamares.

Após a criação das escadas e rampas e da exclusão das vigas inclinadas que não fazem parte desta solução estrutural, obtêm-se os dois modelos estruturais tridimensionais, para a solução estrutural 1 e para a solução estrutural 2, como se pode ver nas Figuras 57 e 58.

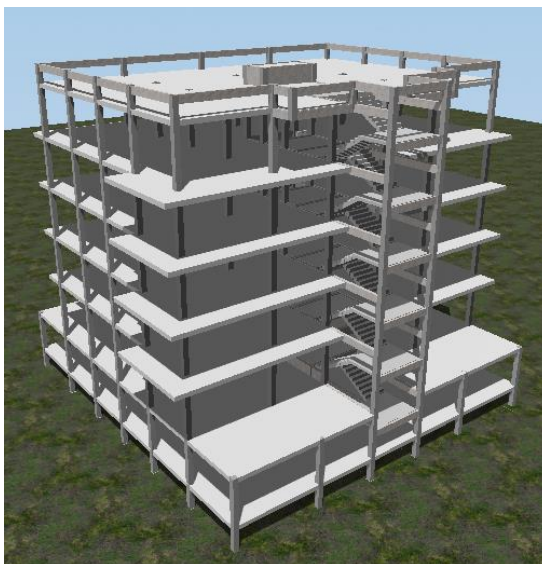


Figura 57 - Modelo 3D da Solução Estrutural 1 no TQS.



Figura 58 - Modelo 3D da Solução Estrutural 2 no TQS.

4.9 Cálculo Estrutural no Robot

Concluída a atualização do modelo estrutural no Robot, procede-se à configuração do programa para a realização da análise estrutural.

4.9.1 Definições iniciais

O primeiro passo quando se abre o *software* é definir as pré-condições de trabalho, ou seja, as unidades, os materiais e as normas que serão utilizadas para os cálculos.

Para definir as unidades que serão trabalhadas, acede-se ao menu “Preferências de trabalho”, na aba “Ferramentas”, ver Figura 59.

4 – PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

O Robot faz o dimensionamento estrutural do betão armado e do aço conforme a norma americana ou a norma europeia. Para a definição do betão armado como material constituinte, deve-se aceder ao mesmo menu de definição das unidades e seleccionar a aba “Materiais” e seleccionar os materiais definidos no pré-dimensionamento, ver Figura 60. Depois disso, acede-se à aba “Modificação” e fazem-se os ajustes necessários das propriedades do material para que seja o mesmo que foi definido no pré-dimensionamento.

Em relação à normalização, no menu “Ferramentas” é possível fazer a configuração da mesma, se necessário, ver Figuras 61 e 62. No caso deste estudo, serão utilizadas as normas europeias (Eurocódigos) para as duas soluções estruturais.

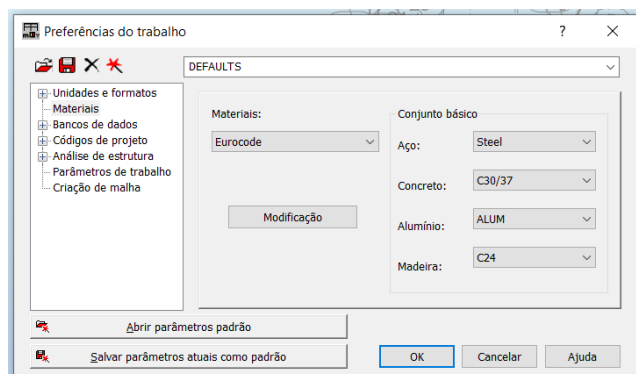


Figura 59 - Definição dos materiais no Robot.

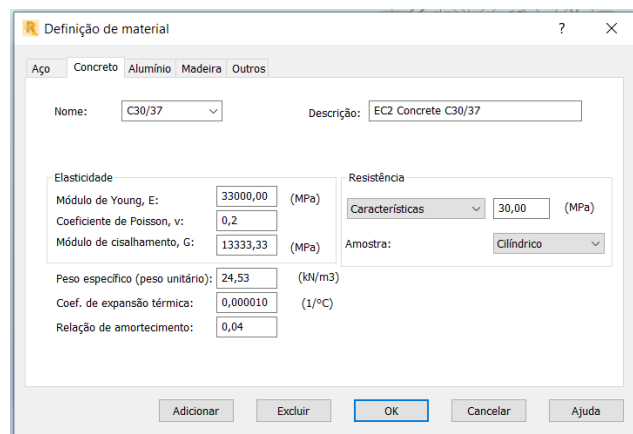


Figura 60 - Propriedades atribuídas no Robot ao betão.

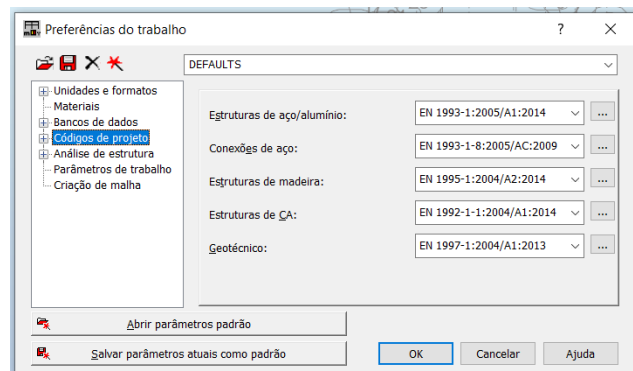


Figura 61 - Configuração da normalização a usar no Robot.

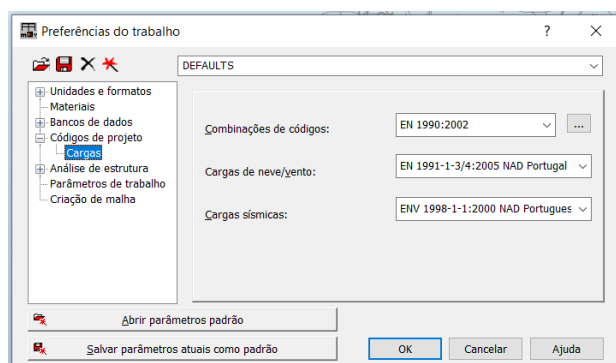


Figura 62 - Configuração das normas a utilizar para as cargas atuantes no Robot.

Uma vantagem da interoperabilidade entre Revit e Robot é que qualquer alteração que necessite ser feita no projeto estrutural, pode ser efetuada no Revit, porque a transferência dessa informação para o Robot depois da modificação continua a ser fácil e rápida e, ainda, não há a necessidade de redefinir todos os parâmetros mencionados acima cada vez que alguma alteração no projeto precisar de ser feita.

4.9.2 Aplicação de cargas

A aplicação de cargas no modelo de estruturas só é realizada após a correção dos problemas apresentados na transferência de dados entre o Revit e o Robot. Tais problemas serão apresentados no capítulo seguinte.

A tarefa de aplicação das cargas do peso próprio não é necessária, uma vez que os pesos próprios dos elementos estruturais são reconhecidos na exportação do Revit para o Robot. Contudo, as cargas criadas no modelo arquitetónico no Revit, correspondentes às paredes exteriores, não foram reconhecidas na transferência para o Robot, por estas não serem estruturais. Assim, no Robot acedeu-se ao menu “Analisar”, seleciona-se o ícone “Cargas”, a opção cargas lineares e atribuem-se as cargas nas posições onde se localizam as paredes de alvenaria.

Ainda, sobre o peso próprio, só é necessário fazer uma validação no Robot para confirmar se os materiais e dimensões foram transferidos corretamente para cada elemento e se não há necessidade de atribuir mais alguma carga. Neste caso, houve uma transferência correta dos elementos.

A atribuição da sobrecarga, também foi realizada no Revit por ser facilmente transferida para o Robot. Assim, acede-se ao mesmo menu de cargas e seleciona-se “Cargas por área”, então atribui-se o valor correspondente, já mencionado anteriormente no pré-dimensionamento, e seleciona-se a área onde esta sobrecarga será aplicada.

Ainda, devido ao facto de as escadas não serem reconhecidas na transferência para o Robot, por não ser possível defini-las como estruturais no Revit, quantifica-se o seu peso e aplica-se nas vigas e nos patamares que foram modelados para suportá-las. Assim se consideram o peso

próprio e a sobrecarga delas no processo de dimensionamento. Na Figura 63 representam-se as cargas aplicadas no Revit antes da transferência para o Robot.

Para a ação sísmica são definidos os parâmetros referentes à zona em que o edifício se situa, o tipo de solo, os coeficientes de importância, o comportamento e as excentricidades em x e y, conforme se ilustra nas Figuras 64, 65, 66 e 67.

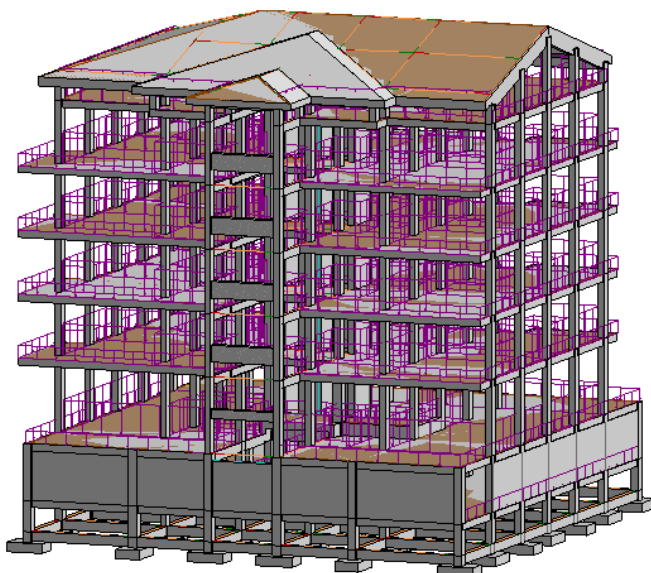


Figura 63 - Cargas aplicadas no modelo do Revit.

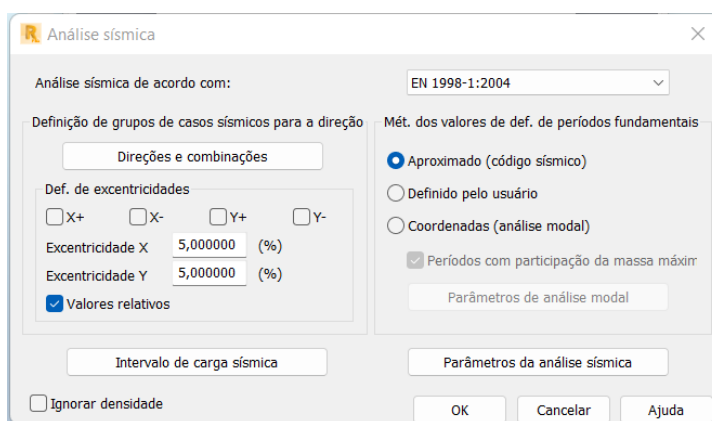


Figura 64 - Interface de configuração da ação sísmica no Robot.

A Autodesk disponibiliza um *software* chamado CFD Ultimate, que auxilia no processo de aplicação das cargas, principalmente a do vento, para que isso não necessite de ser feito manualmente. Neste estudo foi usada a versão 2021 do CFD Ultimate.

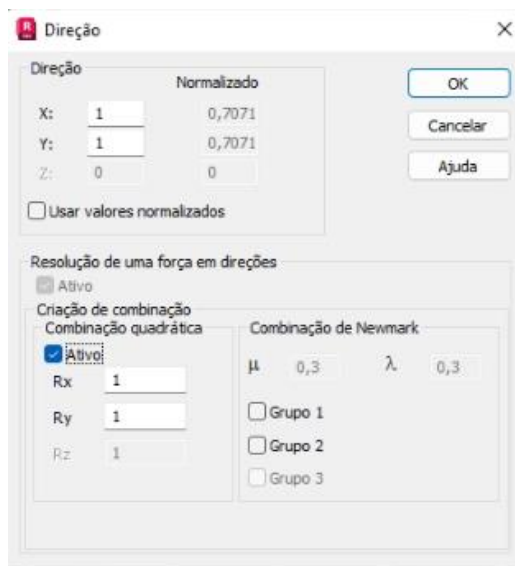


Figura 65 - Direção dos sismos atuantes na estrutura.

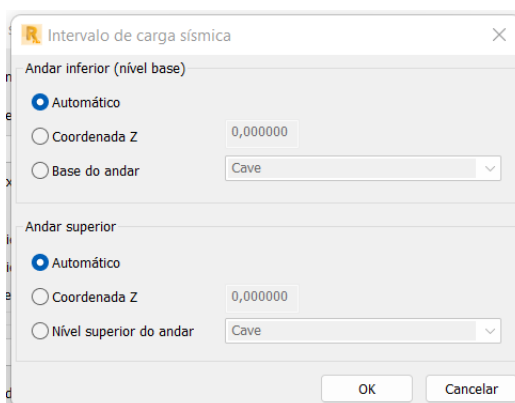


Figura 66 - Interface para aplicação dos intervalos sísmicos no Robot, definidos automaticamente pela norma.

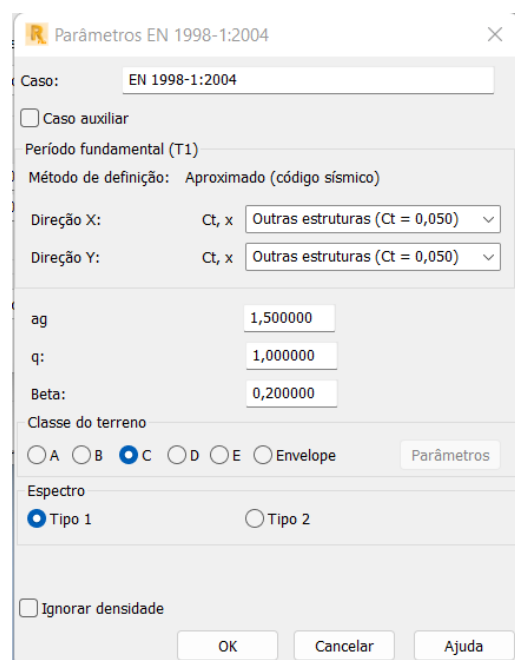


Figura 67 - Parâmetros para a definição da ação sísmica.

4 – PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

Para iniciar a definição da ação do vento, acede-se ao menu “Cargas”, “Simulação de Cargas de Vento”, “Gerar cargas de vento”, e então coloca-se a direção e a velocidade do vento, também definidos no pré-dimensionamento. Após isso, é só utilizar o botão “Iniciar” e o *software* começa a simulação. Foi atribuída a ação do vento em todas as direções, como é possível ver nas Figuras 68 e 69.

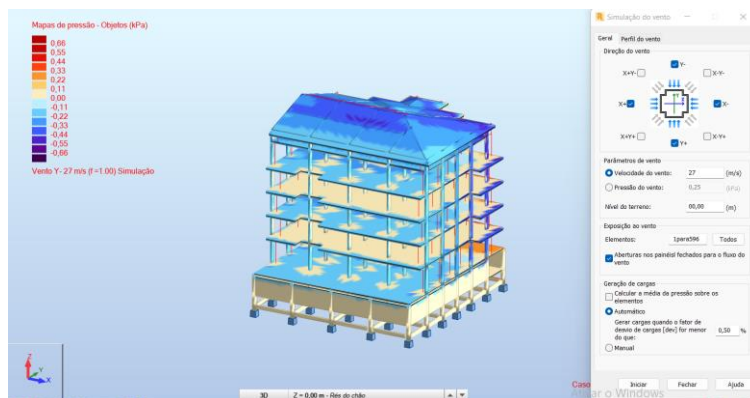


Figura 68 - Simulação da carga de vento no Robot.

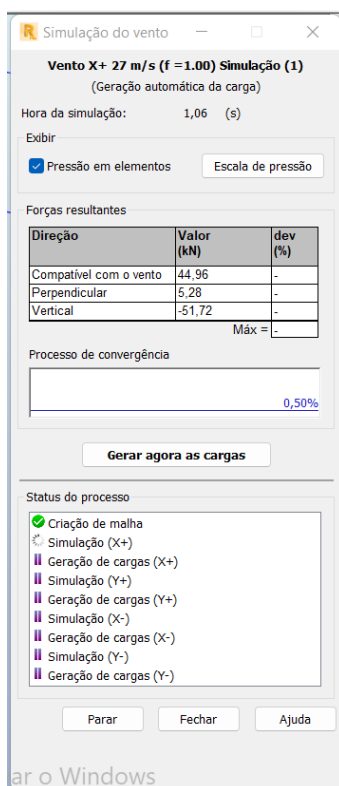


Figura 69 - Simulação da carga de vento sendo gerada com o auxílio do CFD Ultimate.

4.10 Cálculo Estrutural no TQS Estruturas

Depois de transferir o modelo estrutural do Revit, procede-se à configuração do programa TQS Estruturas para a realização da análise estrutural das soluções a estudar neste trabalho.

4.10.1 Definições iniciais

O primeiro passo depois da validação da troca de dados entre o Revit e o TQS é definir as condições iniciais de trabalho, as unidades, as normas a serem utilizadas e as definições das cargas.

Todos os parâmetros utilizados para o dimensionamento da estrutura respeitam o padrão definido na NBR 6118:2014, NBR 6120:1980, NBR 6123:1988 e NBR 8681:2003.

Para iniciar, acede-se ao menu “Edifício” e ao ícone “Editar”. Na Figura 70, é possível ver a interface inicial, na qual se seleciona o tipo de estrutura do edifício, que para o caso deste estudo é betão armado / pré-esforçado. Na sequência, seleciona-se o modelo e como a estrutura se comporta, neste caso, como um corpo único, ver Figura 71. Na Figura 72 é possível ver a interface onde se faz a definição dos pisos do edifício, a altura do pé-direito de cada um, a classe e onde se adicionam os pisos auxiliares, que serão os patamares das escadas, acedendo-se ao ícone “Pisos auxiliares”, como é possível visualizar na Figura 73.

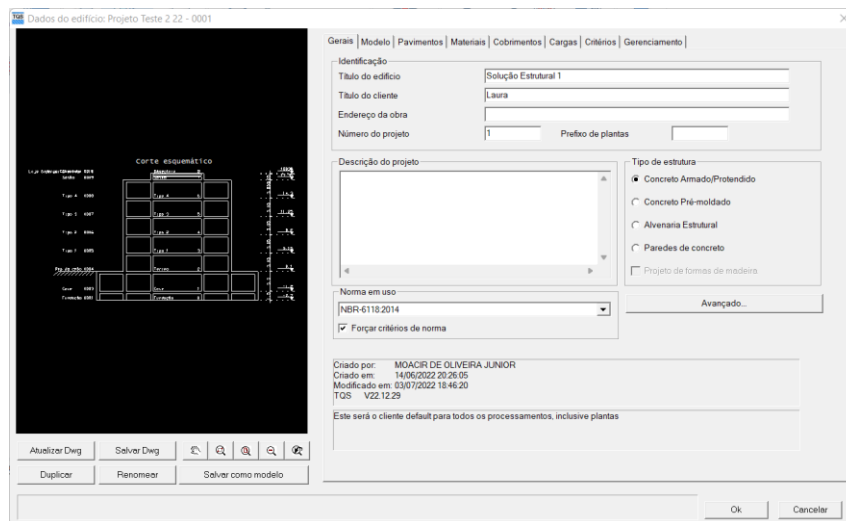


Figura 70 - Definições iniciais da normalização a usar no TQS.

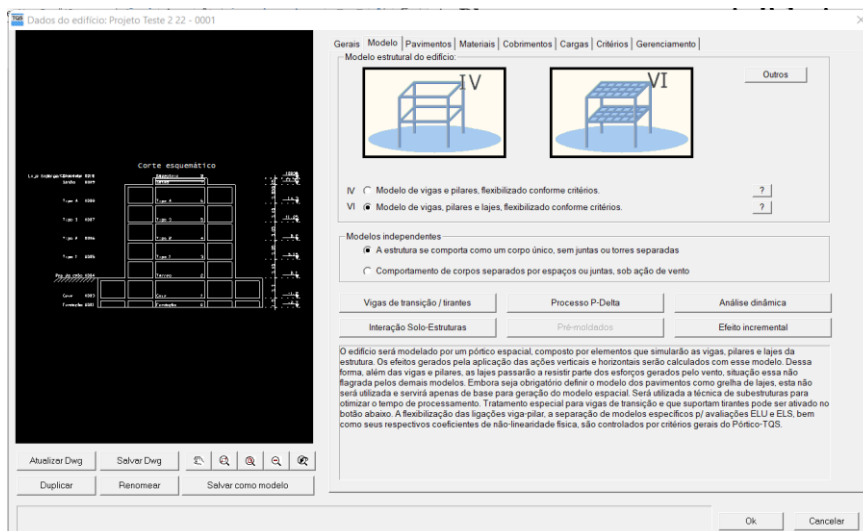


Figura 71 - Definições do modelo estrutural do edifício no TQS.

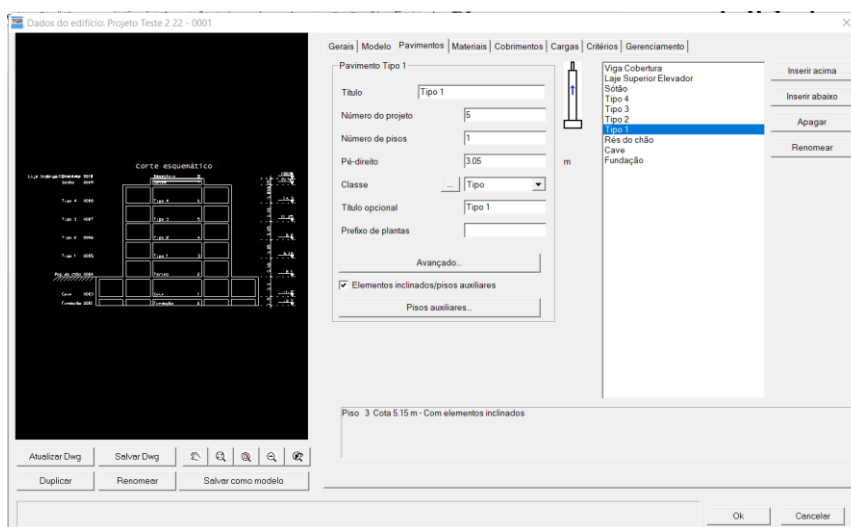


Figura 72 - Definições e atribuições de cada pavimento no TQS.

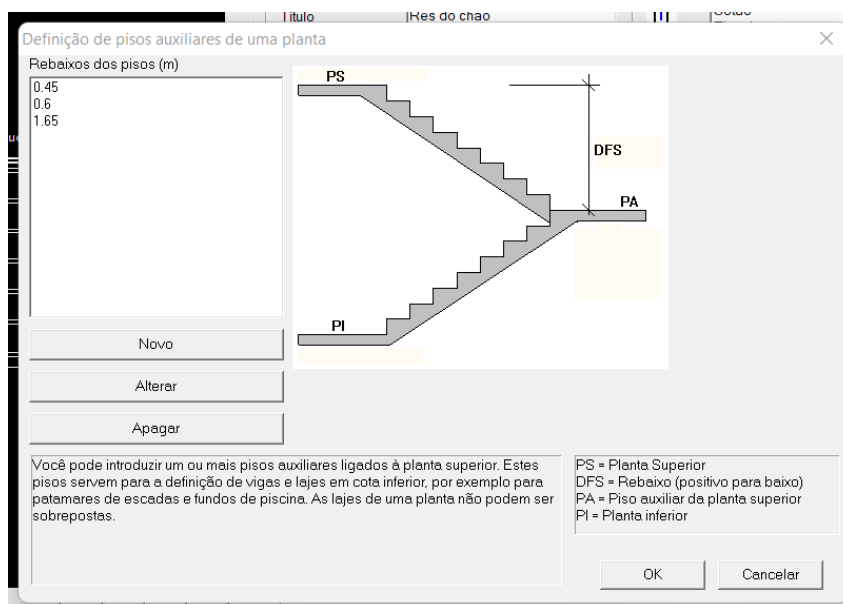


Figura 73 - Definições dos pisos auxiliares no TQS.

Em seguida, na aba “Materiais”, ver Figura 74, são inseridos os valores da resistência do betão utilizado e também é definida a classe de agressividade ambiental do edifício, como se mostra na Figura 75.

4.10.2 Aplicação de cargas

A aplicação de parte das cargas atuantes no edifício pode ser feita no mesmo menu em que foram definidas as condições iniciais de trabalho. Na aba “Cargas” do menu, ver Figura 76, é onde se definem todas as sobrecargas atuantes no edifício e as combinações utilizadas no cálculo. Na Figura 77 é possível ver a definição da carga de vento utilizada para este edifício.

4 – PRÉ-DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

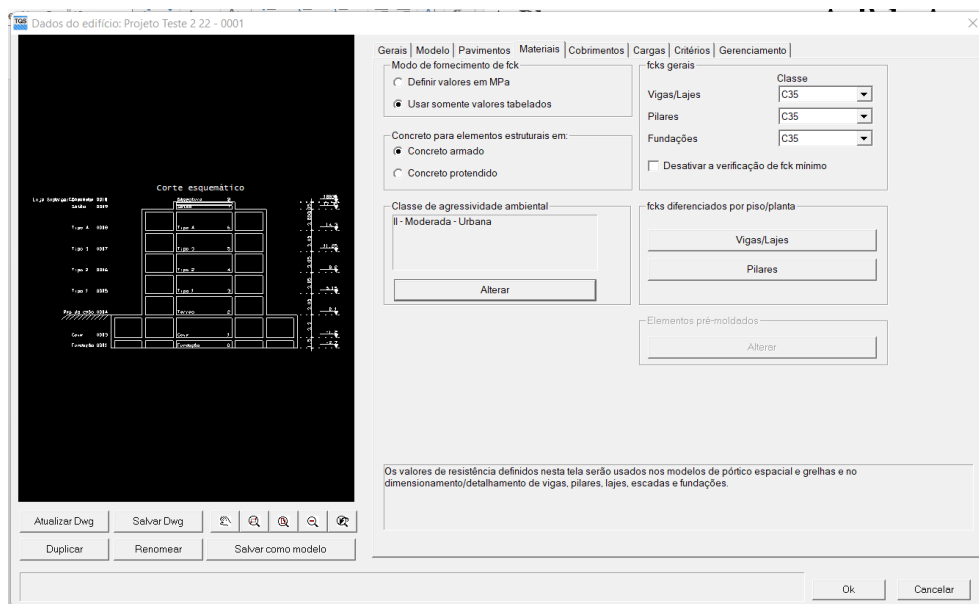


Figura 74 - Definições dos materiais no TQS.

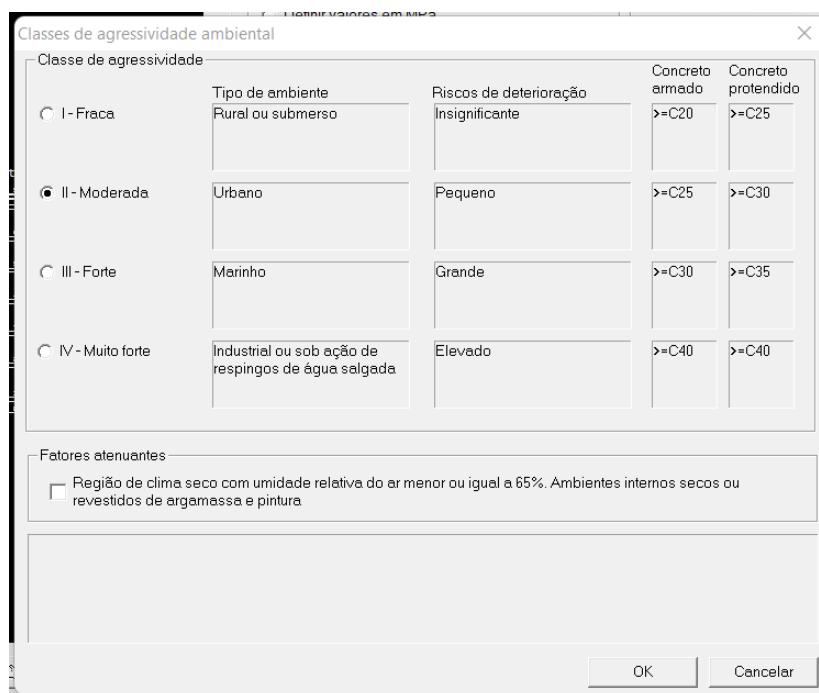


Figura 75 - Definição da classe de agressividade ambiental no TQS.

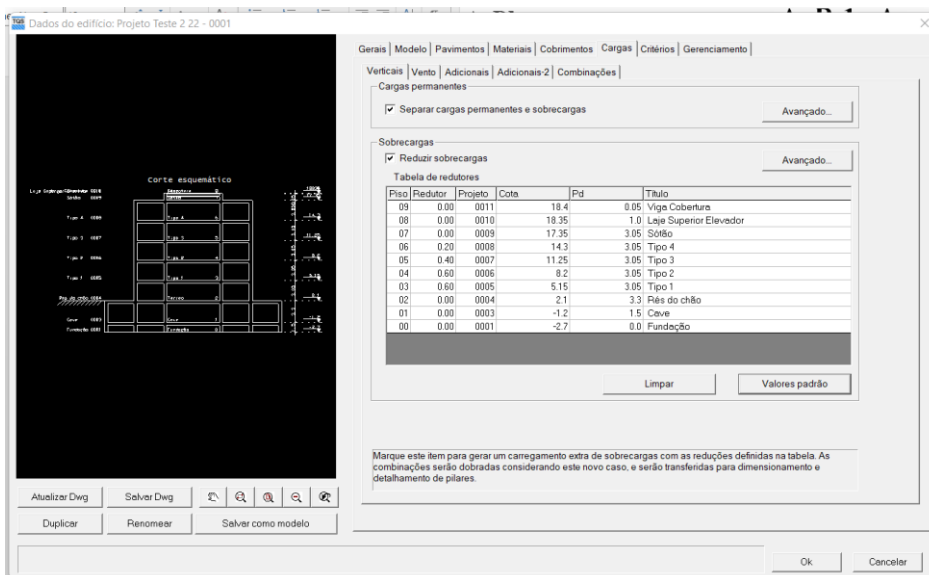


Figura 76 - Definição de cargas de sobrecargas no TQS.

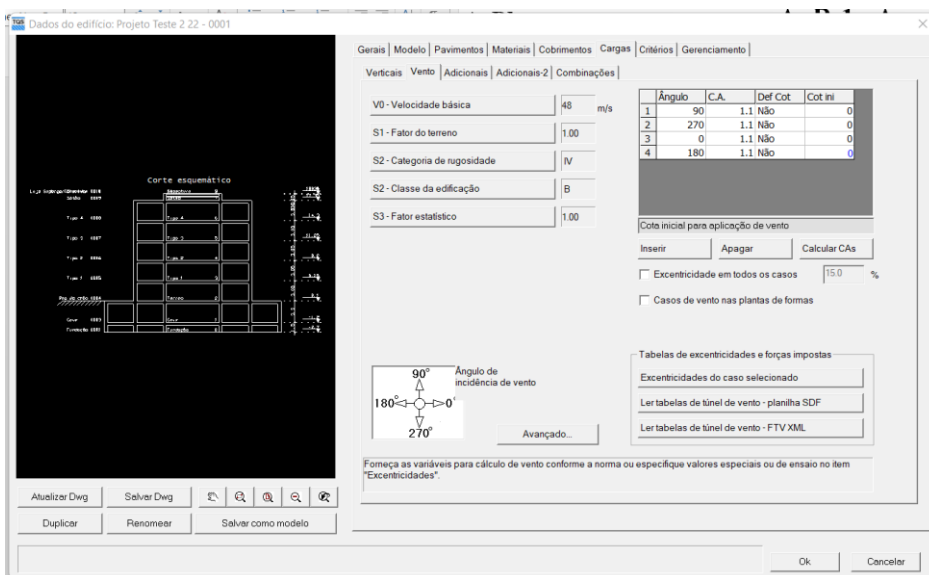


Figura 77 - Definição de cargas de vento no TQS.

É importante mencionar nesse ponto que os pisos auxiliares que foram definidos foram feitos levando em conta a posição dos patamares das escadas e rampas que foram inseridas no modelo. Após a definição de todos os pontos mencionados, é que se procedeu à análise da transferência de dados entre os dois softwares e às correções necessárias, que serão explicados no capítulo seguinte.

5. Análise e Discussão dos Resultados

Neste capítulo apresentam-se os resultados da transferência de dados entre os diversos *softwares* utilizados neste trabalho, procurando salientar as ocorrências mais relevantes. Também se apresentam as soluções estruturais dimensionadas para os três edifícios que serviram de base a este estudo. Devido às limitações próprias da realização deste tipo de trabalho, as soluções estruturais serão apresentadas em termos de quantidades de materiais, betão e aço, sempre que for possível, e das dimensões dos elementos estruturais mais significativas.

5.1 Interoperabilidade

Nesta seção serão analisados os problemas verificados na transferência de dados entre os *softwares*, bem como as coerências que ocorrerão nesta transmissão, sendo mostradas as maneiras utilizadas para a correção dos conflitos.

5.1.1 Do Revit para o Robot

O primeiro passo para a verificação do modelo exportado é analisar se as informações dos elementos paramétricos transferidas do Revit para o Robot se deram de maneira correta.

Em relação aos objetos, as escadas não foram importadas junto com os demais elementos estruturais, mesmo que tivessem sido desenhadas no modelo estrutural do Revit, o que também foi testado. Por isso, existe a necessidade de criá-las no próprio Robot.

Para conferência dos materiais constituintes dos objetos, seleciona-se o elemento estrutural cujos componentes se deseja analisar e acede-se ao menu “Propriedades” do objeto. No caso deste estudo, o material constituinte teve sua transferência de forma correta, como mostra na Figura 78.

Tipo de sist... Caraterristic		
Propriedades		
Gama	0,0	(Deg)
Seção...	300 x 400mm	
Material C30/37		
E	33000,00	(MPa)
NI	0,20	
G	13333,33	(MPa)
Re	30,00	(MPa)
RO	24,53	(kN/...
LX	0,00	(1/°C)

Figura 78 - Configuração das propriedades do material no Robot.

Foi necessário proceder no Robot à definição das condições de apoio dos nós, acedendo ao nó correspondente no menu “Inspetor do objeto” ou selecionando-o no modelo 3D.

Antes da inserção de cargas na estrutura, ainda, se acedeu ao ícone “Cálculos” (ver Figura 79) para fazer uma verificação geral da estabilidade da estrutura. Alguns erros foram encontrados nesta etapa, nomeadamente a sobreposição de elementos e nós isolados (ver Figura 79). Então, voltou-se ao Revit e fez-se a correção necessária e depois voltou a importar-se a estrutura para o Robot.

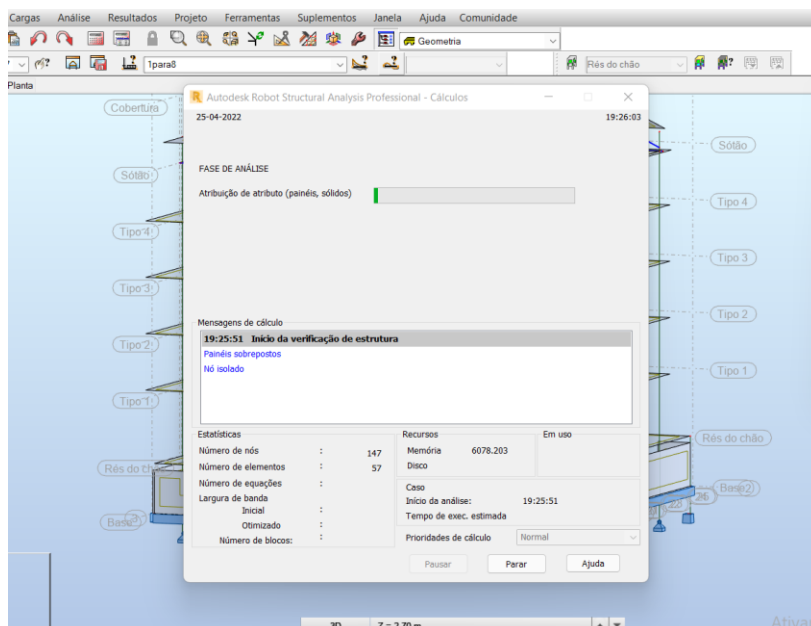


Figura 79 - Verificação da estabilidade geral da estrutura antes da aplicação das cargas no Robot.

Nesta etapa, registrou-se um aviso de estrutura separada. Isso ocorreu, principalmente, na região onde fica a ligação das vigas inclinadas com a laje da cobertura, por ser um pouco mais complexa para analisar e manter unida. Os desencontros de nós são visíveis na Figura 80.

Esse erro é facilmente corrigido, somente sendo necessário unir os nós que estavam desencontrados. É possível ver na Figura 81 esses nós corrigidos.

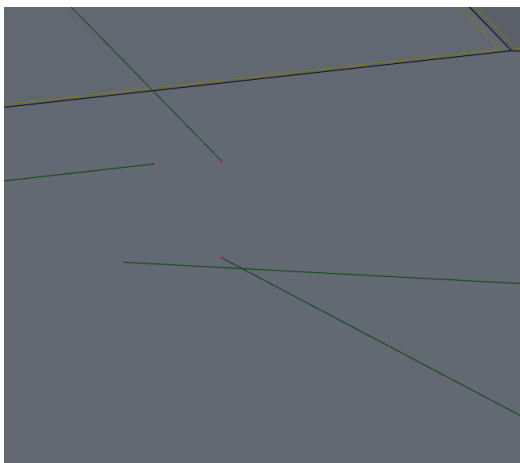


Figura 80 - Desencontros de nós na estrutura do Robot, a causar avisos de estrutura separada.

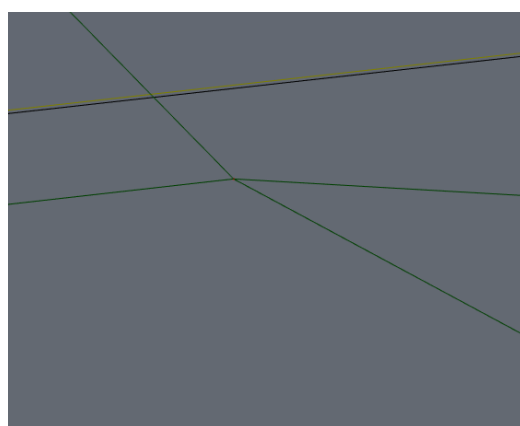


Figura 81 - Nós da estrutura após a correção.

Importante, ainda, mencionar que também existiam avisos de nós isolados, mas que não afetavam o processo de dimensionamento. Esses nós isolados ocorrem por conta de ter sido criado algum elemento estrutural no Revit e, posteriormente, eliminado, porém os nós continuam existindo no modelo analítico. Só deve verificar-se se não há avisos de algum outro nó com propriedades especiais ou diferenciadas, pois estes realmente devem ser eliminados ou analisado o motivo de estarem com essas propriedades.

5.1.2 Do Robot para o Revit

Depois da estrutura dimensionada, para criar o vínculo é um processo bem simples no Robot, devido ao *plug-in* existente entre as duas plataformas. Basta aceder, no Robot, ao menu “Suplementos”, “Integração” e selecionar “Autodesk Revit Structure”.

Nesse momento é aberta uma nova janela na qual se seleciona o que se deseja enviar de informação para o Revit, como se pode observar na Figura 82.

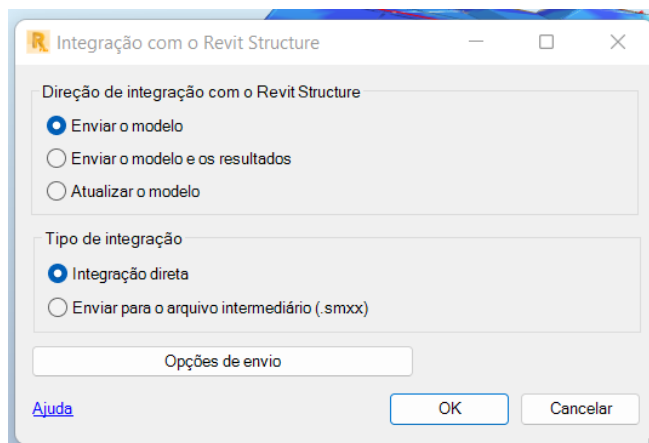


Figura 82 - Interface para integração entre o Robot e o Revit.

No caso deste estudo, todas as vezes que se tentou selecionar a opção de enviar o modelo e os resultados, o programa apresentou um erro incapaz de ser identificado, o qual é enviado automaticamente para a Autodesk, e foi impossível de completar essa operação. Por esse motivo, optou-se por selecionar somente enviar o modelo.

No tipo de integração, pode se selecionar integração direta, que é o caso que será utilizado neste estudo, no qual é feito um vínculo e o projeto dimensionado inicia a exportação diretamente para o Revit. A opção de enviar para um arquivo intermediário é muito útil quando o processo de dimensionamento e a atualização do modelo é feita em computadores diferentes ou, ainda, quando é feita por intervenientes diferentes, o coordenador do projeto e o projetista de estruturas, por exemplo.

Depois de tomada a decisão, acede-se a “Opções de envio”, que abre uma nova janela, ilustrada na Figura 83, onde é possível selecionar se deseja enviar a estrutura como um todo ou somente as partes selecionadas, o que pode ser uma boa opção dependendo do processamento do computador que está a ser utilizado.

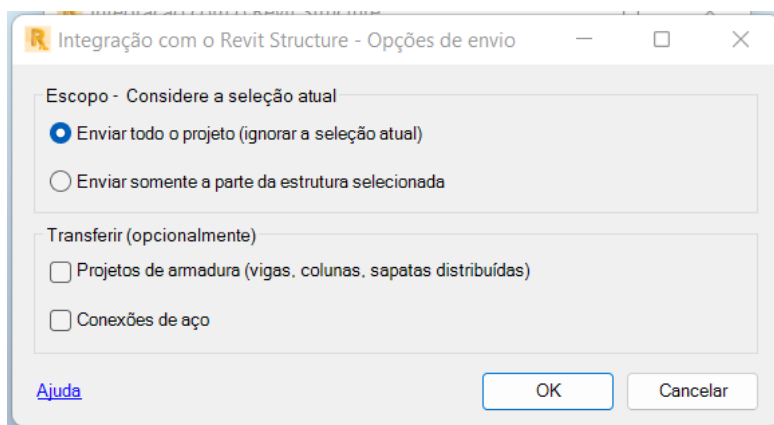


Figura 83 - Opções de envio da estrutura dimensionada do Robot para o Revit.

Neste estudo, foi selecionada a opção de enviar os projetos de armadura, pois um dos objetos de estudo é analisar a interoperabilidade na transferência destas informações. Convém referir que este é um processo demorado. No computador utilizado, o processo de transferência da

estrutura completa demorou cerca de 48 horas, devido à quantidade de informações contidas em cada elemento, nomeadamente as espessuras, o betão utilizado, as armaduras e a sua distribuição em cada elemento.

Assim, é recomendável que se faça somente a exportação das partes seleccionadas da estrutura, poupando-se tempo e conseguindo-se analisar separadamente os elementos estruturais com as respetivas armaduras.

No final deste processo, o resultado não foi tão satisfatório como se esperava, pois foram encontrados muitos problemas de posicionamento das armaduras fora do seu elemento (ver Figura 84), principalmente nas vigas, planas e inclinadas, como se pode ver na Figura 85. Além disso, devido à dobragem dos varões ser complexa e as emendas também conterem muitas informações, alguns varões não conseguiram manter-se no modelo estrutural no Revit, tendo sido excluídos para que se pudesse visualizar o restante modelo estrutural, como também se pode ver na Figura 84.

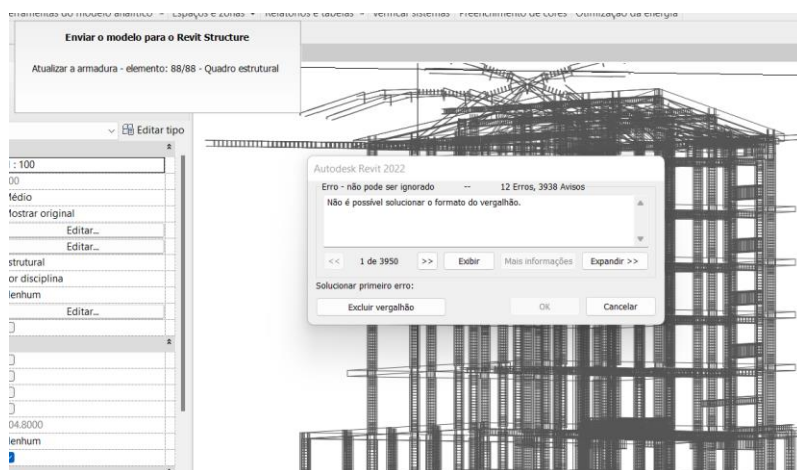


Figura 84 - Falhas na exportação das armaduras do Robot para o Revit.

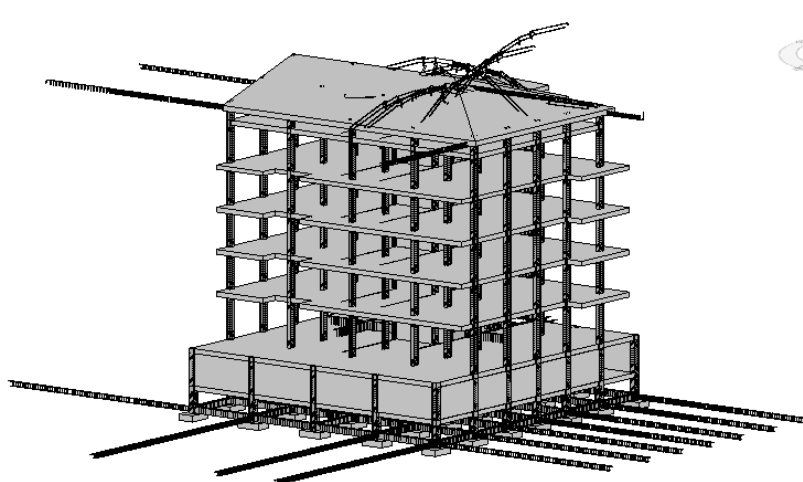


Figura 85 - Falhas no posicionamento das armaduras nos elementos após a exportação do Robot para o Revit.

Os erros de posicionamento incorreto são possíveis de ser corrigidos, basta reposicionar as armaduras nos seus elementos (hospedeiros), pois é possível editar todas as armaduras enviadas.

Este é um ponto positivo para a questão da análise de viabilidade da forma como as armaduras foram distribuídas no processo de dimensionamento.

Levando-se em consideração o tempo de trabalho a mais que é necessário para corrigir esse problema, esta interoperabilidade não foi vista como muito viável, pois é um processo que necessita de muita atenção para o posicionamento correto de cada varão que foi transferido.

Este erro foi registado somente nas vigas. Nos pilares e nas lajes as armaduras foram transferidas corretamente.

Uma forma de tornar este erro menos recorrente, é fazer uma nova transferência dos elementos que não foram posicionados corretamente. Constatou-se neste estudo, que a transferência ocorria de forma correta se fosse feita de forma individual. Porém, torna-se um processo ainda mais demorado por ser feito elemento a elemento.

No fim, após a correção de todos os erros encontrados e de transferir novamente os elementos que se encontravam fora dos seus hospedeiros, foi possível visualizar o modelo estrutural com as armaduras devidamente posicionadas e com fácil visualização de cada elemento (Figura 86).

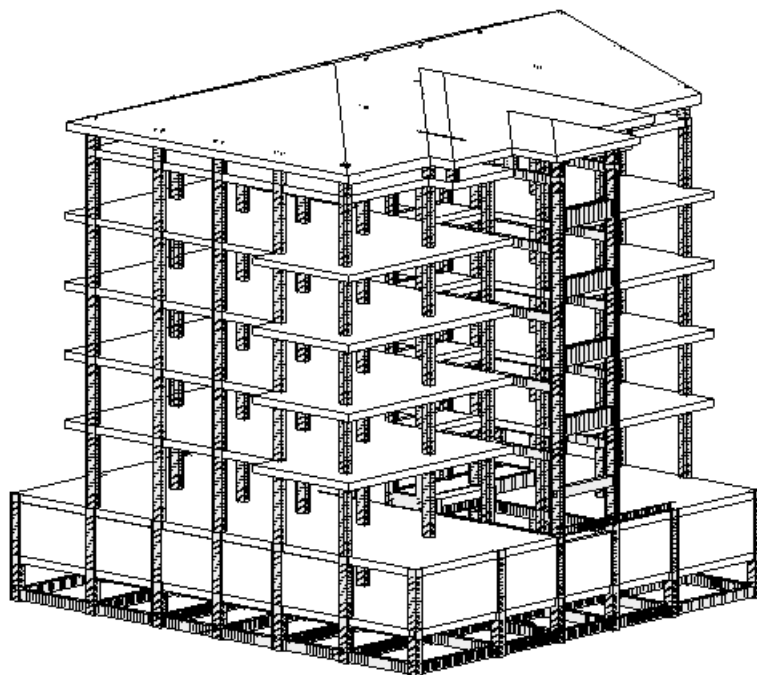


Figura 86 - Modelo estrutural com as armaduras devidamente posicionadas.

Possivelmente, se a estrutura tiver uma menor dimensão e sem elementos de geometria muito complexa, a transferência de informações entre o Robot e o Revit dá-se de maneira muito prática e muito automática, com os elementos devidamente posicionados e identificados.

A demora na transferência de informações é um ponto que deve ser realçado neste estudo, pois é um fator que pode acarretar atrasos para o cumprimento de prazos de um projeto estrutural. Em outras palavras, a questão do tempo deve ser muito bem considerada no cronograma de trabalho associado ao processo de execução de um projeto de estruturas de um edifício pela metodologia BIM.

Além do fator tempo, o posicionamento incorreto das armaduras também é um aspeto que deve ser mencionado. Como existem outros *softwares* de cálculo que são capazes de posicionar as armaduras corretamente, sem ser necessário o reposicionamento das armaduras, deve ser equacionado o uso de um *software* mais eficiente neste sentido. Por esta razão, considera-se que deverão realizar-se mais estudos de interoperabilidade com diferentes *softwares* de cálculo estrutural, a fim de identificar as mais valias de cada um relativamente ao trabalho colaborativo em BIM.

Agora, excluindo-se os factos ponderados negativamente, esta transferência, também, tem fatores bastante positivos. No momento da conclusão da transferência das armaduras, criam-se todos os atributos associados a ela. Se for seleccionado o elemento que se deseja visualizar, pode-se encontrar o diâmetro do varão utilizado, bem como o seu espaçamento, tornando mais fácil o acesso a essa informação por parte de todos os intervenientes. Também contribui para a futura criação das peças desenhadas, necessárias para a execução da estrutura.

Como se pode observar nas Figuras 87 e 88, a visualização das armaduras é muito clara, de fácil entendimento e consegue-se aceder a todas as informações que foram obtidas no Robot.

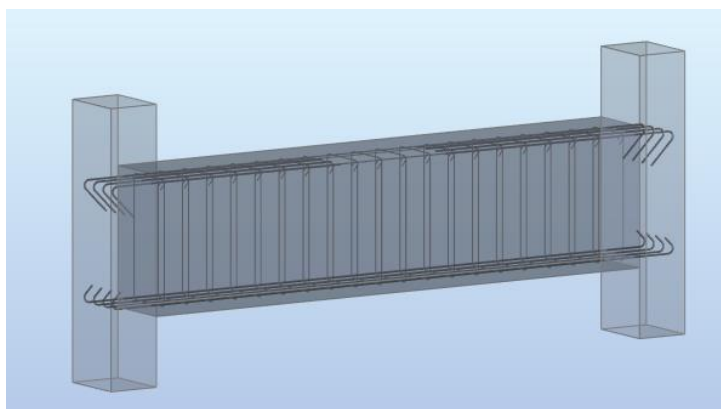


Figura 87 - Viga de 40 x 80 cm dimensionada no Robot.

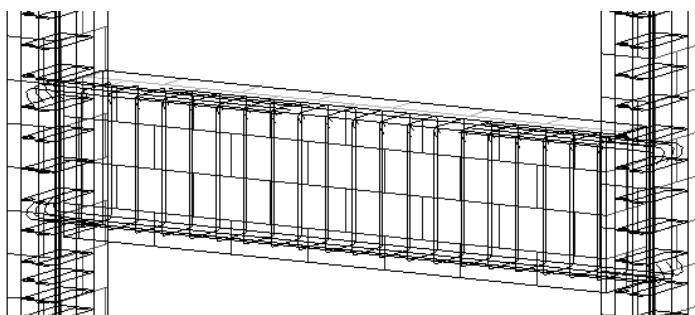


Figura 88 - Viga de 40 x 80 cm dimensionada no Robot após a exportação para o Revit.

A viga representada na Figura 88, foi uma das que necessitou do reposicionamento das armaduras após a transferência de informações e, como se pode perceber, foi possível posicionar corretamente todos os varões obtidos no seu dimensionamento.

Um ponto crucial sobre a transferência de informações neste *software* refere-se aos elementos inclinados, por tratar-se de elementos com geometria mais complexa, tanto para as armaduras,

como para o posicionamento nos níveis existentes. Não foi considerado um trabalho eficaz, pois o tempo necessário para o reposicionamento dessas armaduras é bem maior do que para reposicioná-las em elementos planos.

Por fim, pode-se concluir que o Robot é um *software* muito eficaz para estruturas de menores dimensões, constituída por elementos geometricamente mais simples, e com menos pavimentos, devido a demora para transferência de dados. Em relação a estruturas mais complexas, ainda necessita de ajustes para que o seu funcionamento seja melhor e com menos consumo de tempo para que a transferência de dados não tenha de levar tanto tempo em computadores com processadores .

5.1.3 Do Revit para o Eberick

Como já mencionado anteriormente, o Eberick não foi utilizado efetivamente para o cálculo dos modelos estruturais, mas sim para a análise da interoperabilidade.

Após a transferência de dados do Revit para o Eberick através de ficheiro IFC verificou-se que a geometria dos elementos era possível de ser visualizada, mas não editada, e não possuía os dados dos objetos paramétricos modelados no Revit, como as cargas e os materiais constituintes dos elementos do edifício.

Esse é um problema de interoperabilidade que não é possível corrigir. Para se efetuar o cálculo estrutural é necessário modelar novamente todos os elementos estruturais do edifício, bem como inserir todos os dados, nomeadamente os materiais e as ações.

Praticamente a única vantagem é que se consegue transferir o modelo arquitetónico (ver Figura 52) e, sobre este, gerar o modelo estrutural, o que torna a tarefa mais rápida do que se fosse executada a partir de dados em DWG.

5.1.4 Do Eberick para o Revit

Admitindo que a estrutura tinha sido calculada no Eberick, segue-se a transferência de dados para o Revit. Para tal utilizou-se novamente um ficheiro IFC.

É uma transferência rápida e que não apresentou problemas. Cada elemento dimensionado no Eberick foi identificado geometricamente no Revit e posicionado corretamente. Contudo, os elementos estruturais (objetos) não são editáveis, incluindo as armaduras, o que demonstra que este *software* não é adequado para utilizar num processo de trabalho colaborativo baseado em BIM.

5.1.5 Do Revit para o TQS

Para se efetuar a transferência de dados do Revit para o TQS, optou-se pela instalação de um *plug-in* desenvolvido para este fim pela TQS

Para fazer a vinculação, seleciona-se somente a opção “Exportar elementos estruturais”, uma vez que as cargas das paredes não são reconhecidas pelo *software* de cálculo e as referências

externas só acabam por deixar o modelo mais pesado e não agregam mais informação para a análise. O modelo estrutural reconhecido pelo TQS encontra-se representado na Figura 89.

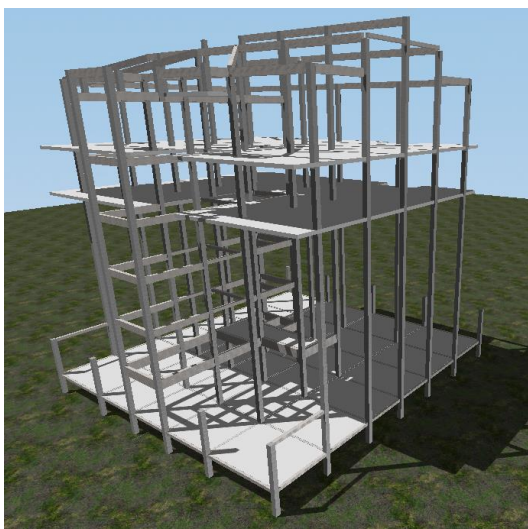


Figura 89 - Visualização inicial do modelo estrutural no TQS.

Como é possível perceber na Figura 89, estão faltando muitos elementos, mas isso deve-se à maneira como são lidas as informações no TQS. Essa incompatibilidade é facilmente corrigida, uma vez que se corrigem as ligações entre as vigas e as lajes no modelo 2D, onde são possíveis de ser visualizadas e, então, esses elementos passam a ser corretamente visualizados.

As vigas e as lajes possuíam a linha de contorno e de fecho coincidentes, como é possível ver na Figura 90, na qual é possível ver a linha de bordo da laje, em roxo, coincidindo com a linha da viga, em verde, que também funcionam como fechamento de bordo neste *software*, e por isso não foram reconhecidos pelo TQS.

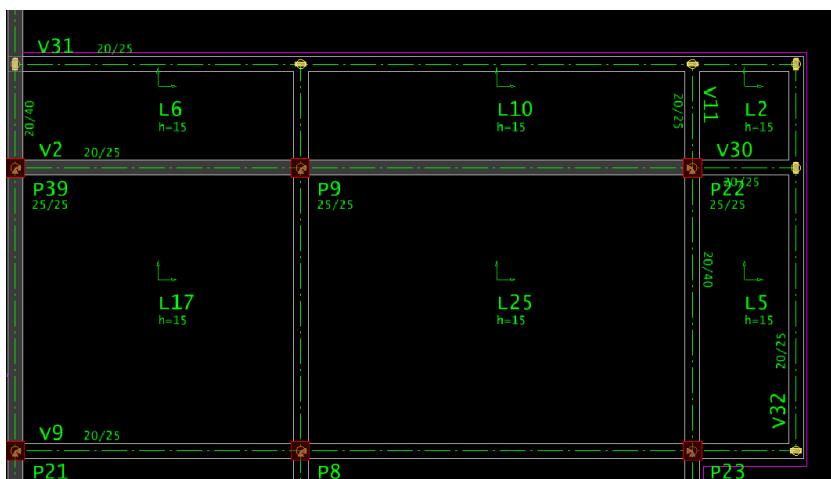


Figura 90 - Bordos das lajes coincidentes com a linha de fecho das vigas no TQS.

Para a correção desse erro, acedeu-se às plantas no TQS e fez-se a alteração dos limites da geometria dos elementos estruturais, usando as vigas como contorno das lajes, por exemplo.

Outra incompatibilidade encontrada na transferência de dados entre esses dois *softwares* está relacionada com os elementos inclinados. Eles até são possíveis de serem visualizados no modelo 3D e em planta, mas não são editáveis e não são reconhecidos pelo TQS, como é possível ver na Figura 91.

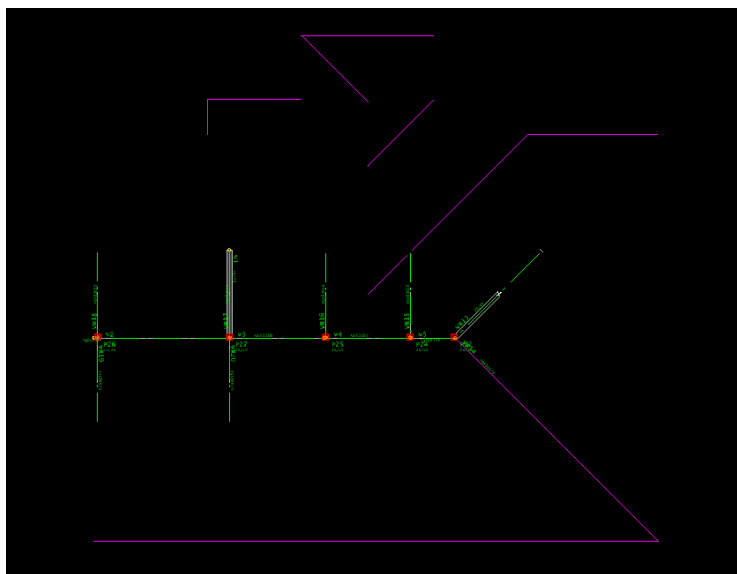


Figura 91 - Exportação de elementos inclinados do Revit para o TQS.

Para que se conseguisse fazer o cálculo estrutural, seria necessário apagar todos os elementos inclinados e criá-los novamente. Entretanto, isso não foi uma tarefa necessária, uma vez que a solução estrutural que continha esses elementos não foi calculada no TQS, já que apenas se usou este *software* para o edifício localizado no Brasil, uma vez que possui as normas brasileiras (ABNT NBR).

Em relação às vigas que são transferidas, por mais que sejam introduzidas as cargas do peso próprio no Revit, o TQS não reconhece essas ações, apresentando-as como uma carga indefinida, como é possível ver nas Figuras 92 e 93.

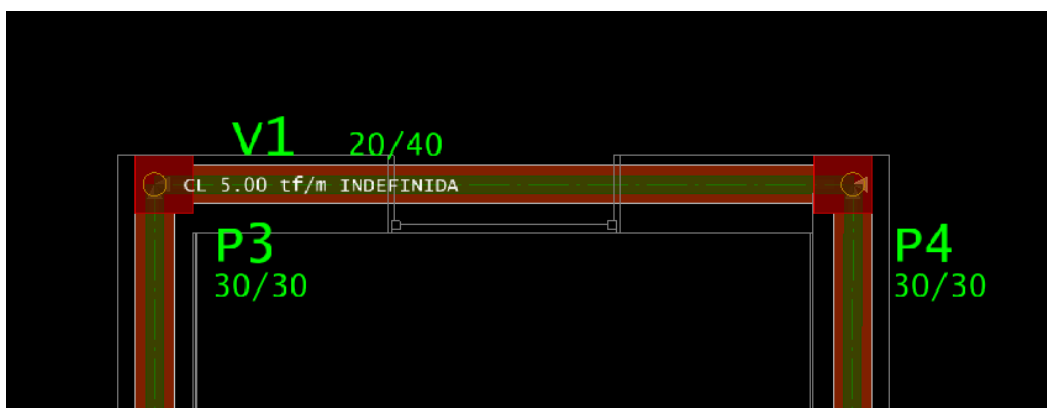


Figura 92 - Visualização das cargas nas vigas transferidas do Revit para o TQS.

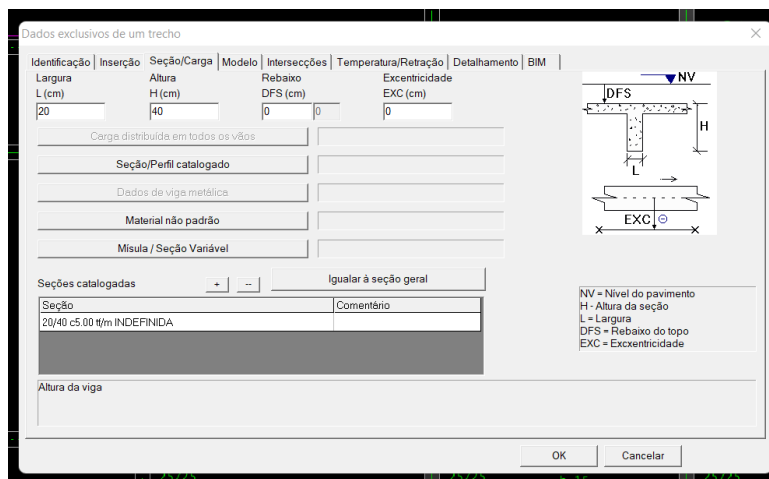


Figura 93 - Valor da carga indefinida nas vigas transferidas do Revit para o TQS.

Para corrigir este problema é necessário aceder às configurações da viga e alterar a carga para zero. Esse foi um procedimento que se fez necessário em todas as vigas que foram vinculadas. Além disso, também se observou outra incompatibilidade no TQS, que está relacionada com o ponto da vinculação das vigas. A interoperabilidade entre os dois *softwares* estabelece um vínculo entre as vigas, mas que poderá não estar correto, pois depende do sentido com que as vigas foram criadas. O Revit assume o elemento que foi criado primeiro como apoio dos seguintes, mas no TQS essa relação precisa de ser estabelecida manualmente. Para corrigir esse aspecto no TQS, só foi necessário mudar o sentido do vínculo. É possível perceber essa inversão de apoio das vigas na Figura 94, na qual o centro da viga V4 não apresenta vinculação com a viga que está no sentido perpendicular a ela. Uma vinculação correta pode ser observada nessa figura no centro da viga V6.

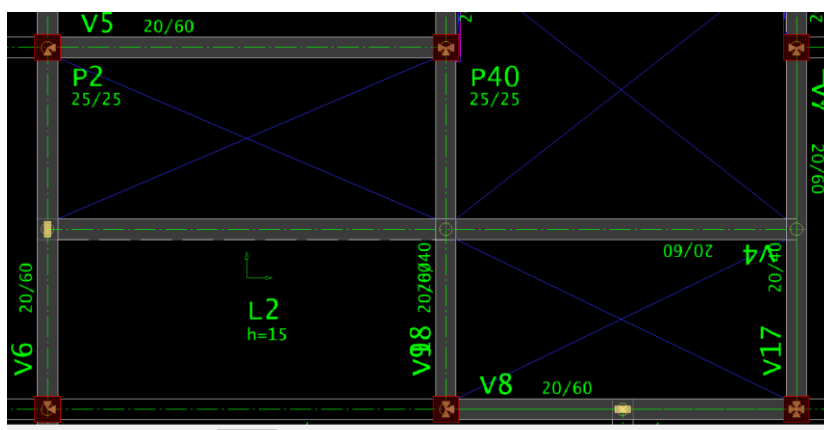


Figura 94 - Vínculo entre vigas transferido incorretamente do Revit para o TQS.

Além destes problemas, ocorreu uma incompatibilidade nas aberturas realizadas no Revit para a caixa do elevador. De alguma forma, o TQS interpretou esse espaço vazio como duplicado, mostrando-o como uma abertura e, ainda, como um espaço sem laje, considerando dois vazios no mesmo lugar, como se pode ver na Figura 95.

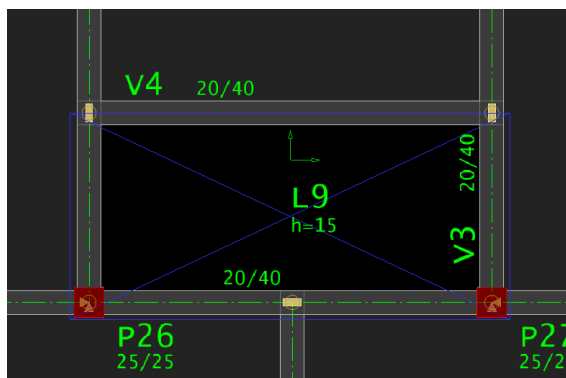


Figura 95 - Aberturas duplicadas na exportação do Revit para o TQS.

Para corrigir essa situação, só foi necessário remover a abertura que foi transferida do Revit. Outro aspecto que se deve levar em conta na modelação no Revit quando se pretende transferir dados para o TQS, é o sentido em que as vigas são criadas. Algumas foram transferidas com o sentido invertido, o que dificultava a visualização das suas características por estarem posicionadas na extremidade oposta, como pode-se ver na Figura 96. Este problema não afeta o cálculo estrutural, mas dificulta a visualização das vigas e, posteriormente, a sua identificação nas peças desenhadas para a execução em obra. Para resolver esta questão só é necessário inverter o sentido da viga. Após a correção dos erros mencionados, o modelo estrutural corrigido está representado na Figura 97.

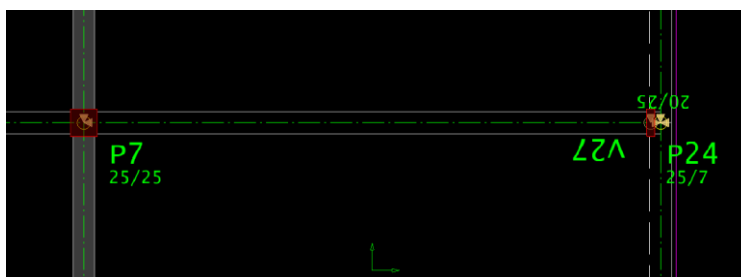


Figura 96 - Inversão do sentido das vigas na transferência de dados do Revit para o TQS.

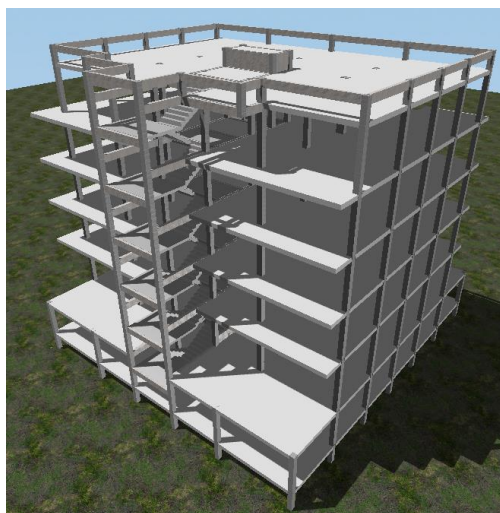


Figura 97 - Visualização do modelo estrutural no TQS.

5.1.6 Do TQS para o Revit

Devido à existência do *plug-in* para vínculo entre o TQS e o Revit, o processo de exportação entre esses dois *softwares* também é bem simples. Basta aceder ao menu “Interfaces BIM”, no TQS, depois da estrutura dimensionada e das armaduras geradas, selecionar o *plug-in* do Revit e selecionar “Exportar / Sincronizar modelo para o Revit” e isso abrirá uma janela de transferência, representada na Figura 98.

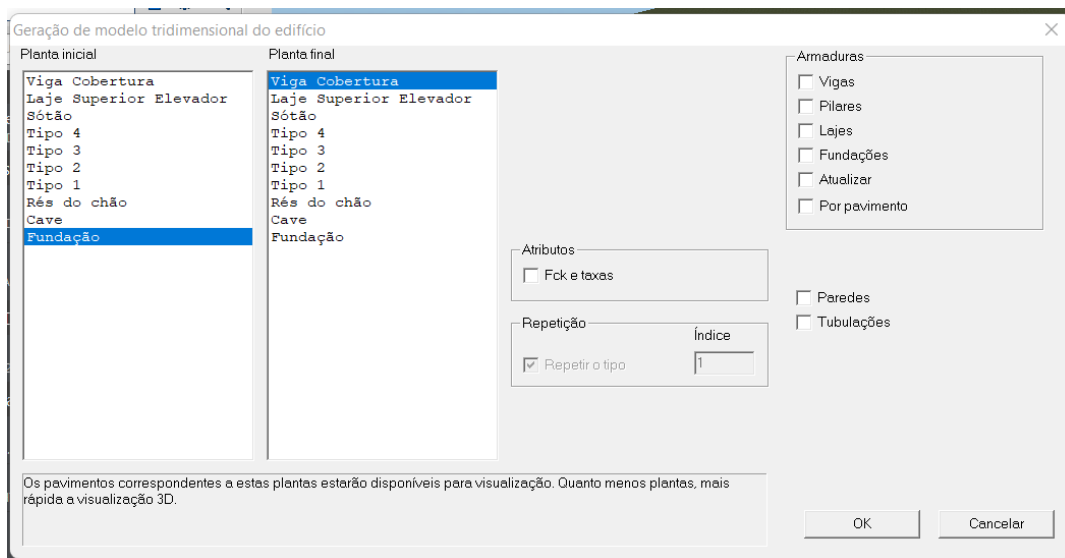


Figura 98 - Interface para exportação do modelo do TQS para o Revit.

Nesta transferência, assim como na transferência entre o Robot e o Revit, ao selecionar-se a opção de enviar os atributos juntamente com o modelo estrutural o programa apresentava um erro. Por isso, optou-se por enviar somente as armaduras, assim como havia sido feito na transferência entre o Robot e o Revit, como explicado anteriormente.

Uma opção que facilitou a transferência destes dados para o foi fazê-lo por pavimento. Ao selecionar-se essa opção, o TQS cria vários arquivos diferentes com o nome referente a cada pavimento e é possível inseri-lo individualmente no Revit.

Após atribuir todas as informações necessárias nessa janela, uma nova é aberta, como se pode observar na Figura 99. Nesta interface, é possível selecionar como se deseja exportar cada elemento, pois no processo de cálculo no TQS os elementos foram dimensionados com continuidade, ou seja, os pilares principiam na fundação e terminam no último piso e as vigas com todos os seus tramos, em vez de o fazer por tramo, como foi modelado no Revit inicialmente.

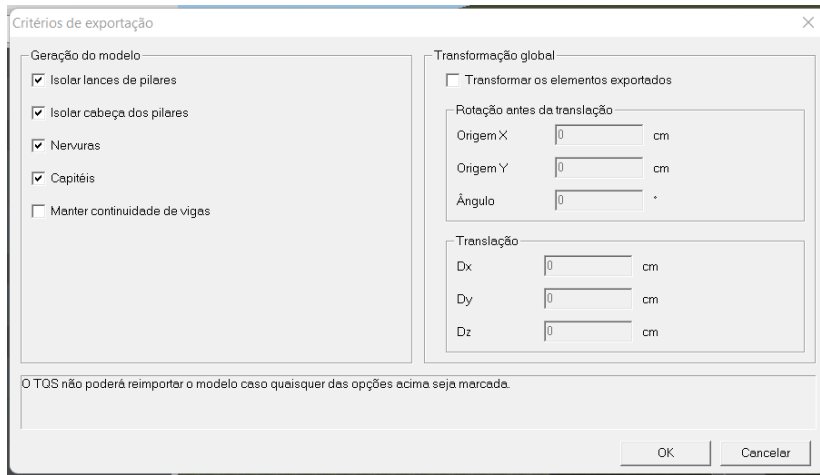


Figura 99 - Seleção de critérios de exportação do TQS para o Revit.

A criação do ficheiro com os dados levou cerca de 20 minutos.

No Revit, para vincular a estrutura dimensionada, acede-se ao menu “TQS”, existente no *plugin* e seleciona-se “Importar TQR”. Seleciona-se o arquivo que foi criado e, então, surge uma janela com os dados, como se vê na Figura 100.

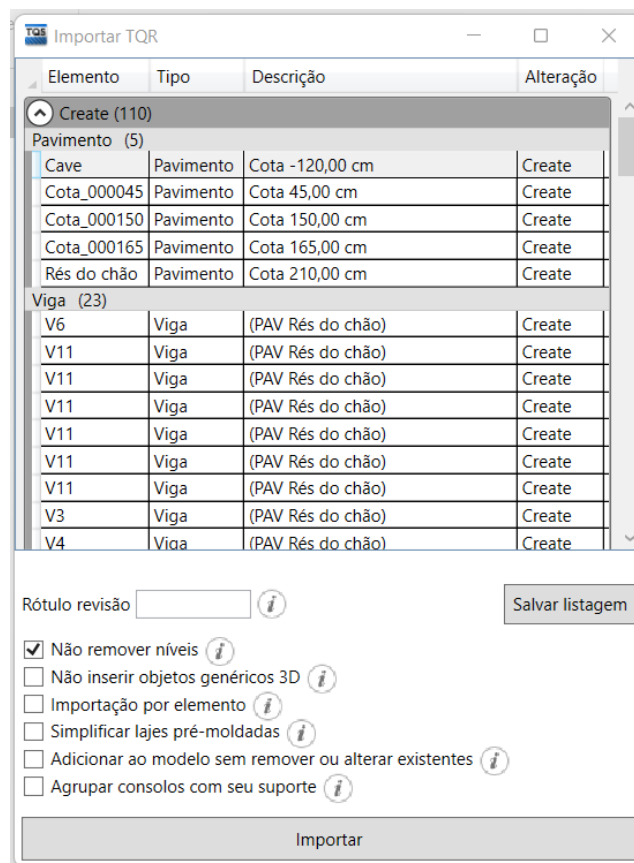


Figura 100 - Interface de seleção para importação dos dados do TQS para o Revit.

Todas as formas de vinculação foram testadas e todas funcionavam da mesma maneira. O único ponto importante a ser mencionado é a seleção de “Adicionar ao modelo sem remover ou alterar existentes” para o caso da vinculação ser feita por pavimento.

Inicia-se, assim, o processo de transferência e, no caso destes *softwares*, foi muito mais rápido do que entre o Robot e o Revit. A totalidade da estrutura demorou cerca de 40 minutos a ser totalmente transferida.

No fim da primeira transferência, detetou-se um erro nos níveis transferidos, nomeadamente na localização das escadas (ver a Figura 101).

Para corrigir esse problema, bem como outros que podem vir a ocorrer com a fundação, por exemplo, caso o nível de profundidade das sapatas tiver que ser alterado durante o processo de dimensionamento, basta criar níveis idênticos aos do TQS, incluindo os dos patamares de escada.

Na Figura 102 é visível o modelo estrutural transferido, podendo verificar-se uma correspondência com os níveis definidos no modelo estrutural inicial do Revit.

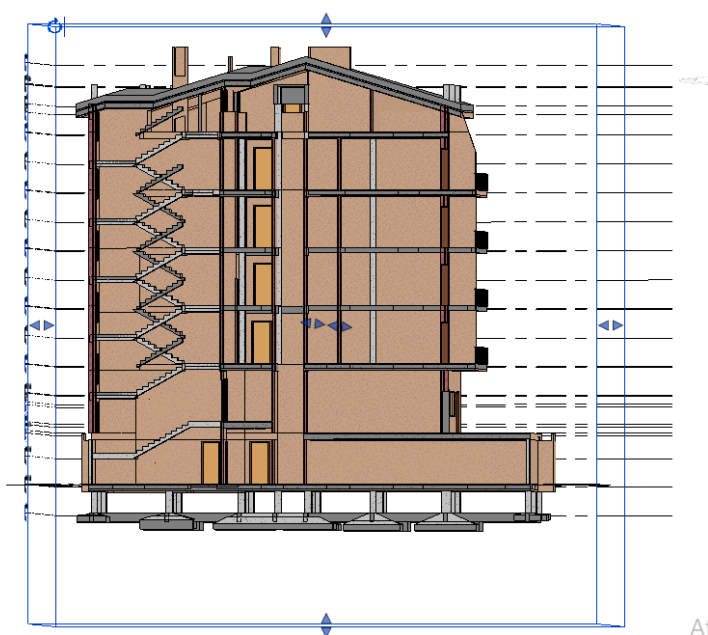


Figura 101 - Erro na transferência das escadas do TQS para o Revit.

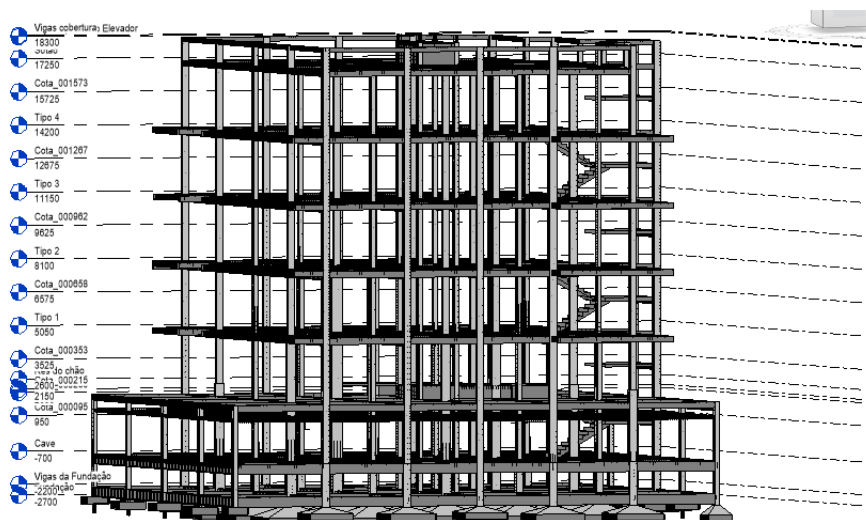


Figura 102 - Estrutura transferida do TQS para o Revit.

Foi possível perceber, ao analisar a estrutura transferida, que o principal problema de interoperabilidade surgiu nos elementos estruturais inclinados. Registraram-se erros na transferência da maioria das escadas, mesmo com os níveis corrigidos, assim como houve erros na transferência das lajes inclinadas (Figura 103).

Como a estrutura calculada no TQS corresponde ao edifício localizado em Pato Branco (Brasil), os únicos elementos inclinados existentes na estrutura são a rampa no piso do Rés-do-Chão e as escadas do edifício.

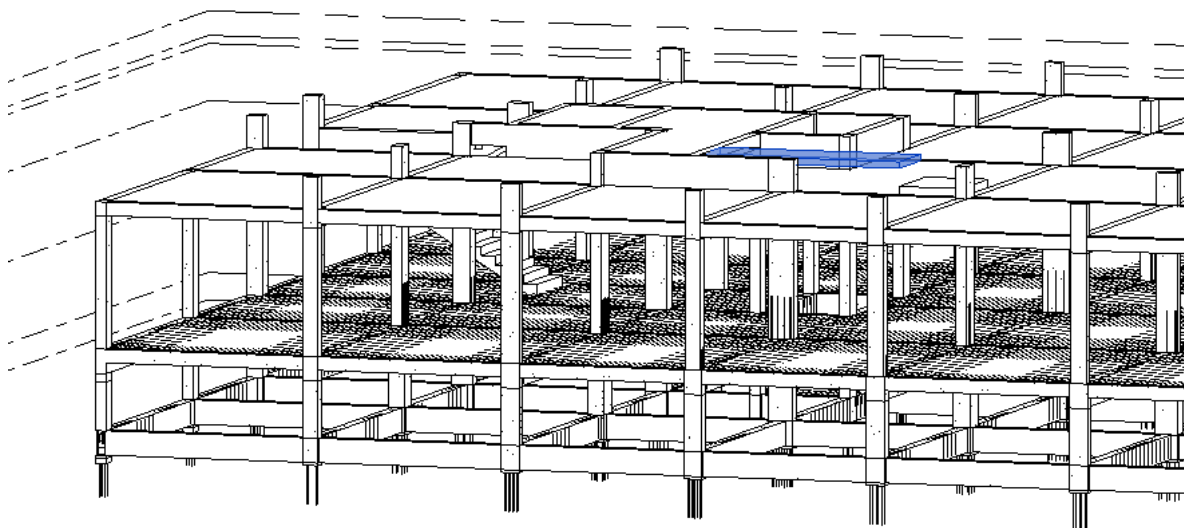


Figura 103 - Erro na transferência de elementos inclinados do TQS para o Revit.

O caso da rampa apresentou-se como uma das maiores falhas na transferência dos dados, pois não se obteve sucesso em nenhuma das tentativas. A laje inclinada foi transferida para o local correto e apresentou as armaduras no seu interior, mas por ser transferido como um elemento plano, como percebe-se na parte destacada em azul, na Figura 103, não se mostrou um processo eficaz.

As escadas também apresentaram vários problemas na transferência. O primeiro deles é em relação aos níveis do modelo, pois as escadas só conseguem ser transferidas para o local correto se houver todos os níveis exatamente iguais aos definidos no TQS. Após essa primeira tentativa de transferência não tão bem-sucedida, tentou-se novamente alterando-se os níveis e, novamente, o resultado não foi bem-sucedido. As armaduras no interior das escadas e em alguns patamares não se transferiram.

Além desse problema observado nas lajes inclinadas, também se observaram falhas no posicionamento das armaduras nos seus elementos (hospedeiros), assim como ocorreu com o Robot, mas numa proporção muito menor, como se observa na Figura 104, na armadura da laje e com alguns varões nos pilares.

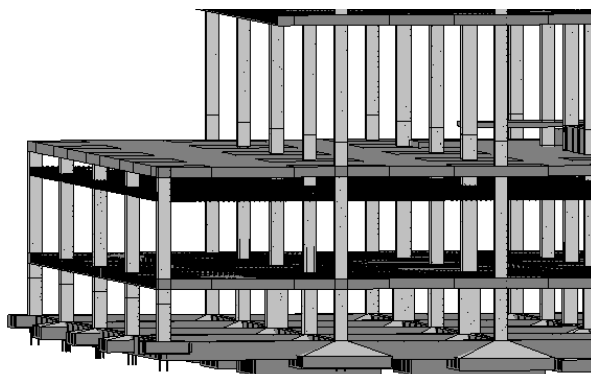


Figura 104 - Erro no posicionamento das armaduras na transferência do TQS para o Revit.

A correção deste problema também é muito simples, uma vez que as armaduras no Revit são editáveis como um todo, e não por varão como na transferência entre o Robot e o Revit. Após corrigidas essas anomalias na estrutura, é possível compatibilizá-la com o modelo arquitetônico.

Nas Figuras 105 e 106 é possível observar a compatibilização entre os dois modelos, o arquitetônico e o estrutural, para as duas soluções estruturais estudadas.

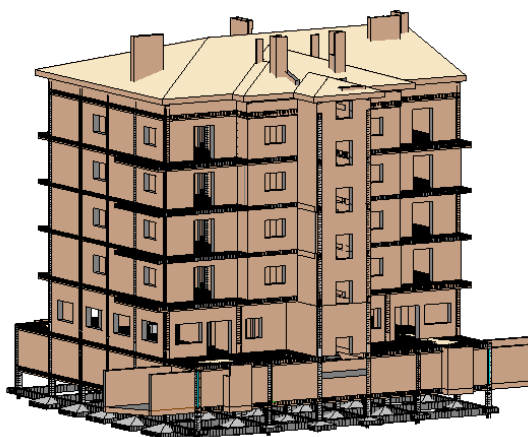


Figura 105 - Compatibilização dos modelos arquitetônico e estrutural para a solução estrutural 1 (Brasil).

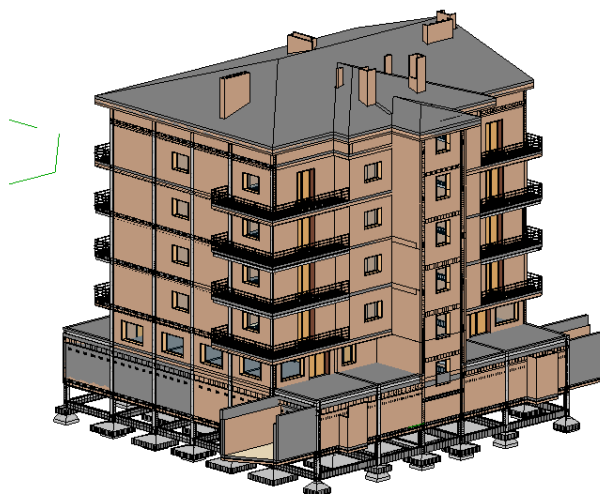


Figura 106 - Compatibilização dos modelos arquitetônico e estrutural para a solução estrutural 2 (Brasil).

Outro aspecto analisado na troca de informações entre os *softwares* utilizados refere-se aos varões de aço contidos dentro dos elementos estruturais.

Na Figura 107 ilustra-se a distribuição da armadura de uma viga obtida pelo TQS e, na Figura 108, mostra-se a mesma viga transferida para o Revit.

Constatou-se que as armaduras foram todas transferidas e estão devidamente posicionadas nos seus elementos, inclusive as que necessitaram de ser editados para se posicionarem no interior dos elementos. Na Figura 109 pode ver-se a distribuição da armadura numa laje.

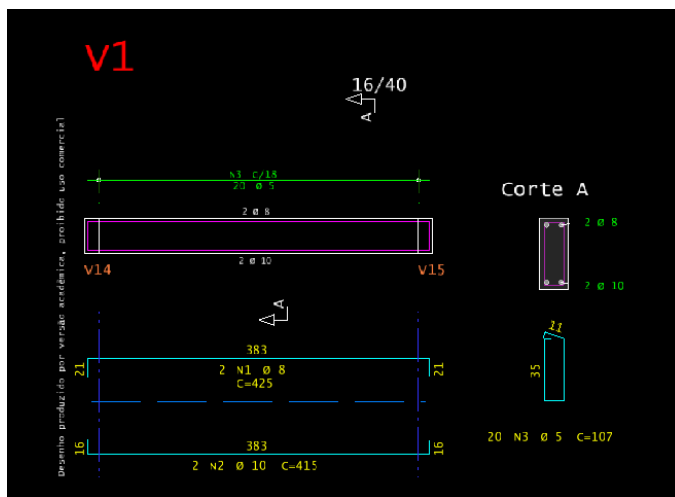


Figura 107 - Detalhe da armadura da viga 1 do rés-do-chão (solução estrutural 1) obtido no TQS.

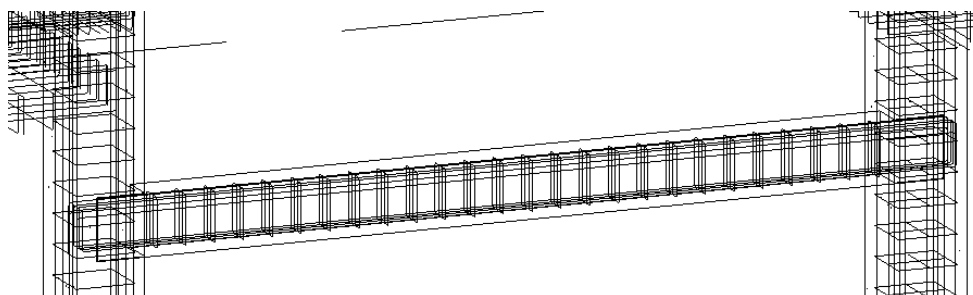


Figura 108 - Detalhe da armadura da viga 1 do rés-do-chão (solução estrutural 1) no Revit.

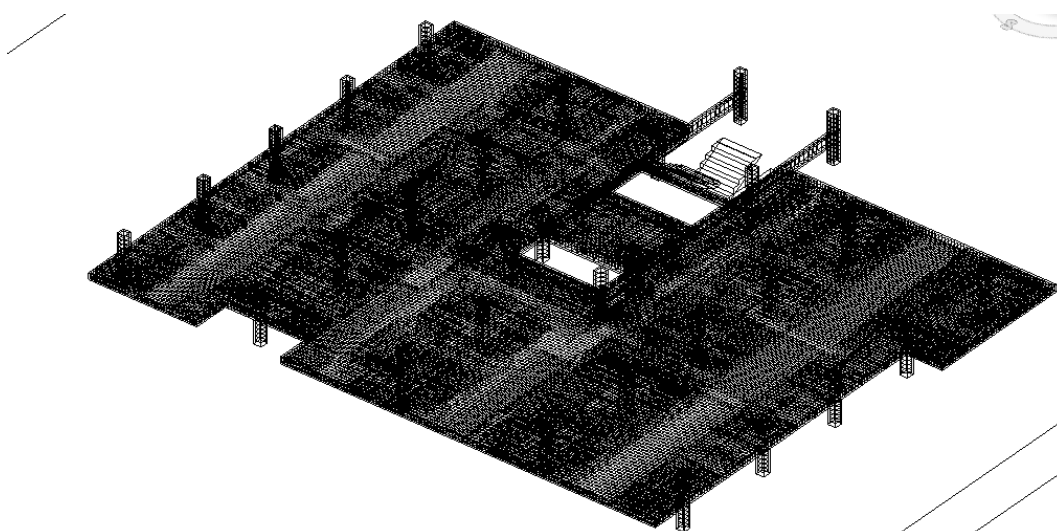


Figura 109 - Detalhe da armadura da laje do rés-do-chão (solução estrutural 1) no Revit.

Outro ponto a ser comentado, é que consegue-se extrair facilmente a tabela de aços e elementos estruturais existentes no modelo do Revit, o que traduz que o software é capaz de ler e entender cada elemento que foi exportado com suas características e não somente como um elemento geométrico.

Por fim, pode concluir-se que a interoperabilidade entre o TQS e o Revit é satisfatória, apesar dos problemas apresentados, necessitando de uma atenção, praticamente, com os elementos inclinados que não foram possíveis de ser visualizados corretamente e com o posicionamento das armaduras fora dos elementos.

Conclui-se, ainda, que a interoperabilidade entre estes dois *softwares* permite que o TQS seja utilizado num processo de trabalho colaborativo baseado em BIM.

5.1.7 Análise comparativa entre os *softwares*

Para concluir esta análise da interoperabilidade entre os *softwares* estudados apresenta-se um resumo dos aspetos mais relevantes.

Não se vão fazer comentários sobre o Eberick, pois como foi referido, este programa não está preparado para ser utilizado em BIM.

A experiência adquirida neste trabalho com o Robot, leva-nos a concluir que é necessário atender a alguns aspetos na criação do modelo estrutural no Revit, nomeadamente a ligação entre os diversos elementos estruturais, evitando a sua sobreposição, porque isso irá afetar o modelo analítico no Robot. O processo de inserção das cargas no Robot não é muito simples, portanto, é aconselhável definir as ações do peso próprio e das sobrecargas de utilização das lajes no Revit, mas as restantes ações devem ser introduzidas no Robot, incluindo o peso dos elementos que não são estruturais, como por exemplo as paredes exteriores e as divisórias. Também é necessária a criação das lajes das escadas e correspondentes ações. Para a ação do vento a Autodesk disponibiliza o *software* CFD Ultimate, que é muito útil para a definição desta ação.

A principal vantagem do Robot é a eficiente comunicação com o Revit, uma vez que são produtos da mesma *software house*. Assim, é possível fazer a maioria das correções no modelo estrutural no Revit e transferi-las, em seguida, para o Robot.

Não sendo um *software* muito utilizado no Brasil, são poucas as informações e estudos existentes que possam auxiliar na resolução das várias dificuldades que foram aparecendo.

Sendo o Robot um programa desenvolvido com base na modelação paramétrica, de modo a melhor se compatibilizar com os dados contidos nos modelos gerados no Revit, ou em *softwares* idênticos, a sua utilização é mais complexa, porque é necessária a configuração de diversos parâmetros para a realização do cálculo e depois para a verificação dos requisitos de segurança dos elementos, ao longo do processo de dimensionamento.

A geração das armaduras não é feita de forma automática como no TQS, é preciso gerar a armadura individualmente para cada elemento e selecionar as dimensões dos varões que se

deseja utilizar em cada um deles. Este aspecto consome muito tempo, uma vez que é necessário fazer isso cada vez que é processado o cálculo estrutural do edifício. Porém, como as armaduras são transferidas por varão torna-se mais fácil a sua edição e alteração, incluindo os pormenores de amarração, caso se julgue necessário para uma melhor execução em obra.

O principal ponto negativo que foi identificado neste *software* é a questão da demora na exportação dos resultados para o Revit. Se não estiver a usar um computador com um processador tão eficaz, o processo pode demorar dias. Por isso, a transferência de dados deve ser efetuada de modo seletivo.

Por último, refere-se que não foi possível gerar um quantitativo de armaduras nem a elaboração de um orçamento no Robot. Isso só foi possível depois de exportar a informação do modelo estrutural calculado para o Revit e aí extrair essas informações. Isso pode ser uma limitação, no caso das armaduras não serem todas exportadas de maneira correta, perdendo-se algumas informações.

Em relação ao TQS, verificou-se que a utilização do *plug-in* é preferível quando comparada com a transferência direta através do formato IFC. Também se constatou que as falhas na transferência de dados do Revit para o TQS são mais fáceis de corrigir diretamente no TQS. Que na Criação do modelo estrutural no Revit não precisa de ser tão cuidada, pois toda a análise de estabilidade é realizada no próprio TQS, além de possuir uma leitura dos elementos constituintes de uma forma diferente. Que o processo de inserção das ações: cargas permanentes, sobrecargas e vento e todos os parâmetros necessários ao cálculo da estrutura são inseridos de modo simples e rápido.

Também é mais intuitivo no que diz respeito à correção de erros pontuais de instabilidade e de elementos que não verificam os requisitos de segurança estrutural, ficando a informação toda disponível assim que se termina o processo de dimensionamento da estrutura. São identificados os elementos, os pontos de intercorrências que necessitam de ser corrigidos e qual a causa do problema.

Um aspeto a ter em consideração na transferência do modelo estrutural do Revit para o TQS e vice-versa está relacionado com os níveis. Neste caso foi necessária a criação de níveis auxiliares para a criação dos patamares das escadas e das rampas. É necessário que os níveis coincidam nos dois *softwares*.

A geração das armaduras é feita automaticamente no TQS, o que facilita o processo, sendo necessário, somente, fazer a edição destas, posteriormente, para facilitar a execução em obra.

O quantitativo da quantidade de betão e de aço (armaduras), bem como o orçamento final do projeto podem ser obtidos no TQS, sendo possível a edição dos valores dos parâmetro relacionados com os custos, caso seja necessário. Isso facilita muito o processo, até para comparação com o quantitativo que pode ser obtido no Revit.

Saliente-se, ainda, que a transferência de informações do TQS para o Revit, e em sentido contrário, se dá de maneira muito mais rápida e eficaz, sendo disponibilizada a informação sobre a causa do problema que ocorreu quando não é possível essa transferência.

Outra vantagem no uso do TQS é a quantidade de informação que está disponível no Brasil sobre a sua utilização, o que é muito útil para a ultrapassar as dificuldades que aparecem.

Por fim, pode-se perceber que os dois *softwares* são considerados eficazes para a realização do projeto de estruturas de um edifício com o uso da metodologia BIM.

5.2 Soluções estruturais

Nesta seção serão apresentados os principais resultados obtidos para as duas soluções estruturais concebidas para a estruturas dos três edifícios. Os edifícios localizados em Portugal (Viseu e Lisboa) e no Brasil (Pato Branco). Para o cálculo das soluções estruturais dos edifícios localizados em Portugal utilizou-se o Robot, tendo-se usado o TQS para o edifício localizado no Brasil.

A apresentação destes resultados será feita através da apresentação da quantidade de materiais (betão e aço) necessária à execução das soluções estruturais e das dimensões dos diferentes elementos estruturais.

5.2.1 Edifícios em Portugal

Como foi referido anteriormente não é possível extrair um mapa de quantidades do Robot, sendo necessário transferir para o Revit o modelo estrutural dimensionado. Neste caso, apresenta-se apenas a quantidade de betão necessária, por ter ocorrido um problema na transferência, para o Revit, dos dados referentes às armaduras de aço.

Nos Quadros 9 e 10 são mostrados o consumo de betão para as duas soluções estruturais propostas, localizados na cidade de Viseu. Na coluna “Outros” dos quadros enquadram-se as paredes de betão armado, as escadas e as rampas constituintes dos modelos.

Quadro 9 - Consumo de betão para solução estrutural 1, localizada em Viseu.

Pisos	Betão (m ³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	22,26	101,65	0	0
Sótão	3,93	2,98	98,32	0	0
Tipo 4	9,58	2,57	118,32	0	7,18
Tipo 3	9,77	2,04	118,32	0	7,18
Tipo 2	10,23	2,53	118,32	0	7,17
Tipo 1	10,77	2,61	118,32	0	7,18
Rés do Chão	15,05	7,17	153,86	0	8,55
Cave	12,75	1,63	162,35	0	63,65
Fundação	8,92	28,63	0	278,87	0
Total	81	72,42	989,46	278,87	100,91

5 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quadro 10 - Consumo de betão para a solução estrutural 2, localizada em Viseu.

Pisos	Betão (m ³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	22,42	101,65	0	0
Sótão	3,39	9,54	91,49	0	0
Tipo 4	8,16	14,38	112,99	0	7,67
Tipo 3	8,16	15,66	112,99	0	7,67
Tipo 2	8,16	16,14	112,99	0	7,67
Tipo 1	9,28	16,14	112,99	0	7,64
Res	11,85	21,54	153,86	0	9,19
Cave	9,58	22,92	162,35	0	68,93
Fundação	6,15	28,62	0	245,78	0
	64,73	167,4	961,31	245,78	108,77

O consumo de betão nas duas soluções estruturais propostas para Viseu é ligeiramente superior para a solução estrutural 1 (lajes fungiformes), porém, em termos de custos, isso não significa que necessariamente seja o edifício com estrutura mais cara, pois para a sua construção há ainda vários fatores a considerar.

Nos Quadros 11 e 12 é possível ver o consumo de betão para as duas soluções estruturais obtidas para o edifício localizado em Lisboa.

Quadro 11 - Consumo de betão para a solução estrutural 1, localizada em Lisboa.

Pisos	Betão (m ³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	22,85	95,97	0	0
Sótão	16,37	3,78	98,32	0	0
Tipo 4	24,72	3,63	118,98	0	7,18
Tipo 3	25,33	3,27	118,89	0	7,18
Tipo 2	25,37	3,27	118,89	0	7,18
Tipo 1	26,54	3,28	118,89	0	7,18
Res	32,96	10,85	153,86	0	8,58
Cave	37,6	3,64	162,35	0	63,65
Fundação	32,14	34,22	0	386,01	0
	221,03	88,79	986,15	386,01	100,95

Quadro 12 - Consumo de betão para a solução estrutural 2, localizada em Lisboa.

Pisos	Betão (m ³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	0	22,76	95,98	0	0
Sótão	9,25	12,74	88,49	0	0
Tipo 4	18,02	14,67	104,88	0	7,67
Tipo 3	18,33	16,42	104,78	0	7,67
Tipo 2	20,12	17,98	104,88	0	7,64
Tipo 1	21,33	18,02	104,88	0	7,66
Res	29,26	21,22	142,53	0	9,19
Cave	26,9	28,3	162,34	0	68,9
Fundação	24,89	34,82	0	334,79	0
	168,1	186,9	908,76	334,79	108,73

Também no edifício em Lisboa se constata que a solução estrutural 1 é a que consome maior volume de betão.

No Quadro 13 resumem-se as dimensões dos principais elementos estruturais obtidos para as duas soluções estruturais e para os dois edifícios.

Quadro 13 – Dimensões dos principais elementos estruturais dos edifícios em Portugal.

Elemento Estrutural (dimensão)	Dimensões (m)			
	Edifício em Viseu		Edifício em Lisboa	
	Solução Estrutural 1	Solução Estrutural 2	Solução Estrutural 1	Solução Estrutural 2
Laje da cobertura (h)	0,28	0,28	0,25	0,25
Laje do sótão (h)	0,30	0,28	0,30	0,25
Laje do piso tipo (h)	0,35	0,32	0,35	0,30
Laje do rés-do-chão (h)	0,35	0,35	0,35	0,32
Viga de fachada (b x h)	0,40 x 0,60	0,40 x 0,60	0,40 x 0,80	0,40 x 0,80
Viga interior (b x h)	-	0,25 x 0,35	-	0,35 x 0,45
Pilar interior (b x h)	0,40 x 0,60	0,35 x 0,55	0,60 x 0,80	0,55 x 0,65
Pilar de fachada (b x h)	0,35 x 0,35	0,35 x 0,35	0,55 x 0,60	0,50 x 0,55
Pilar de canto (b x h)	0,30 x 0,35	0,25 x 0,30	0,50 x 0,60	0,40 x 0,50
Parede da cave (h)	0,28	0,28	0,30	0,30
Parede cx. elevador (h)	0,28	0,28	0,30	0,30
Vigas de fundação (b x h)	0,25 x 0,50	0,25 x 0,50	0,25 x 0,50	0,25 x 0,50
Sapata (A x B x H)	3,20 x 3,20 x 1,20	3,30 x 3,30 x 1,30	3,30 x 3,30 x 1,20	3,30 x 3,30 x 1,30

As maiores dimensões de elementos coincidem para as soluções estruturais, por ser o local mais solicitado para cada um deles. A dimensão da secção dos pilares é obtida ao nível da cave. A maior dimensão de sapata é encontrada no encontro das linhas 23 e 5 (ver Figura 133), que é também onde se encontra a maior secção de pilar. Em relação às vigas, a maior secção interior se localiza entre as linhas 5 e 7, alinhada com a linha 25 (ver Figura 133).

5.2.2 Edifício no Brasil

No caso do edifício localizado em Pato Branco (Brasil) foi possível obter no TQS o mapa de quantidades de consumo de betão e de aço. Assim, nos Quadros 14 e 15 apresentam-se os consumos de betão para as duas soluções estruturais. Na definição “Outros” dos quadros, enquadram-se as escadas e rampas.

5 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quadro 14 - Consumo de betão para a solução estrutural 1 (lajes fungiformes) do edifício em Pato Branco.

Pisos	Betão (m ³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	2,46	6,51	0	0	0,00
Sótão	9,43	3,19	79,91	0	0,00
Tipo 4	9,43	3,04	92,20	0	4,16
Tipo 3	9,43	2,76	92,14	0	4,24
Tipo 2	9,43	2,76	92,12	0	4,26
Tipo 1	9,43	2,76	92,13	0	4,26
Res	12,88	6,34	118,83	0	4,41
Cave	6,64	1,22	127,49	0	4,47
Fundação	2,01	23,06	0,96	128,42	0,00
	71,14	51,64	695,78	128,42	25,80

Quadro 15 - Consumo de betão para a solução estrutural 2 (estrutura porticada) do edifício em Pato Branco.

Pisos	Betão (m ³)				
	Pilares	Vigas	Lajes	Fundações	Outros
Cobertura	1,65	4,19	0	0	0,00
Sótão	6,13	9,56	57,87	0	0,00
Tipo 4	6,13	13,19	64,89	0	3,74
Tipo 3	6,13	14,19	64,94	0	4,03
Tipo 2	6,65	15,47	64,83	0	3,76
Tipo 1	6,14	15,58	64,79	0	4,03
Res	10,28	20,17	86,56	0	3,39
Cave	5,70	22,40	89,87	0	4,47
Fundação	1,90	23,44	0,92	108,01	0,00
	50,71	138,19	494,67	108,01	23,42

No caso do edifício em Pato Branco verifica-se que o consumo de betão, também é superior para a solução estrutural 1 (lajes fungiformes).

Nos Quadros 16 e 17, encontra-se o quantitativo de aço consumido (kg) em cada uma das soluções estruturais dimensionadas segundo as normas brasileiras.

Quadro 16 - Consumo de aço por diâmetro na Solução Estrutural 1, segundo as normas brasileiras.

Pisos	Bitola de aço (mm)							
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
Cobertura	156	170	319	68	167	0	0	0
Sótão	153	379	9368	1080	1468	93	0	0
Tipo 4	184	400	10034	2961	1659	797	281	0
Tipo 3	200	487	9977	3352	1889	817	95	0
Tipo 2	199	479	10112	2889	1925	1025	310	0
Tipo 1	206	512	9929	2805	2508	1222	902	0
Res	280	812	12516	3493	3242	1081	277	114
Cave	180	575	13603	2791	2376	629	53	46
Fundação	8	382	33	1141	4045	475	0	0
Consumo (kg)	1566	4196	75891	20580	19279	6139	1918	160

5 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Quadro 17 - Consumo de aço por diâmetro na Solução Estrutural 2, segundo as normas brasileiras.

Pisos	Bitola de aço (mm)							
	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25
Cobertura	43	129	1404	234	186	0	0	0
Sótão	214	1391	2988	562	659	510	159	0
Tipo 4	265	1506	3671	637	586	695	546	0
Tipo 3	249	1559	3595	759	631	867	794	0
Tipo 2	226	1570	3406	746	822	1231	940	0
Tipo 1	223	1626	3407	665	883	961	1426	0
Res	498	3905	8388	1832	2008	2356	3007	200
Cave	416	3898	7666	1172	1455	1577	1088	100
Fundação	67	82	4134	756	3532	393	0	0
Consumo (kg)	2201	15666	38659	7363	10762	8590	7960	300

Nos Quadros 16 e 17, pode-se notar, principalmente, a diferença da distribuição dos diâmetros de aço, que é feita automaticamente pelo TQS, em função dos esforços atuantes nos elementos estruturais.

A solução estrutural 1 necessita de muito mais aço para sua construção, principalmente devido aos efeitos do punçoamento nas lajes fungiformes. Para atenuar esses efeitos, pode aumentar-se a espessura das lajes ou colocarem-se capitéis, neste último caso, aumentando a quantidade de aço desses elementos. No caso do edifício calculado pelo TQS, foi optado pelo uso de capitéis.

No Quadro 18 resumem-se as dimensões dos principais elementos estruturais obtidos para as duas soluções estruturais deste edifício.

Quadro 18 – Dimensões dos principais elementos estruturais do edifício no Brasil.

Elemento Estrutural (dimensão)	Dimensões (m)	
	Edifício em Pato Branco	
	Solução Estrutural 1	Solução Estrutural 2
Laje do sótão (h)	0,25	0,20
Laje do piso tipo (h)	0,25	0,20
Laje do rés-do-chão (h)	0,25	0,20
Viga de fachada (b x h)	0,16 x 0,40	0,30 x 0,45
Viga interior (b x h)	-	0,20 x 0,35
Viga da cx. escadas (b x h)	0,20 x 0,80	0,20 x 1,00
Pilar interior (b x h)	0,30 x 0,50	0,35 x 0,45
Pilar de fachada (b x h)	0,30 x 0,30	0,30 x 0,30
Pilar de canto (b x h)	0,30 x 0,30	0,20 x 0,30
Parede da cave (h)	0,30	0,30
Vigas de fundação (b x h)	0,20 x 0,45	0,20 x 0,45
Sapata (A x B x H)	3,30 x 3,15 x 1,00	3,20 x 3,15 x 0,95

Para ambas as soluções estruturais, a dimensão da secção dos pilares é obtida ao nível da cave. A maior dimensão de sapata é encontrada no encontro das linhas 23 e 5 (ver Figura 133), que também coincide com a maior secção de pilar. A maior dimensão de viga interior se localiza entre as linhas 5 e 7, alinhada com a linha 25 (ver Figura 133).

5.2.3 Análise dos resultados

Para se fazer uma análise das soluções estruturais dimensionadas consideraram-se os aspetos relacionados com a sua construção e a quantidade de materiais necessária.

Recorde-se que as duas soluções estruturais propostas são: uma solução de lajes fungiformes, utilizando vigas somente para apoio das escadas, para a constituição das caixas de escadas e de elevadores e para apoio à laje de cobertura nos edifícios em Portugal; e uma solução mais comumente utilizada, composta por lajes maciças que se apoiam em pórticos (vigas e pilares). Em relação à estrutura enterrada adotaram-se paredes estruturais em todos os edifícios e nos edifícios em Portugal, devido à ação sísmica, considerou-se também que a caixa de elevadores era realizada com paredes estruturais.

As fundações foram idênticas em todos as soluções estruturais e são constituídas por sapatas isoladas ligadas por vigas de equilíbrio.

Convém referir, contudo, que a solução de lajes fungiforme deveria ter considerado o aligeiramento desses elementos nas zonas interiores dos vãos, caso contrário torna-se numa solução muito pesada e naturalmente inviável, quando comparada com a solução porticada.

Ao analisar o processo de execução das duas soluções estruturais, percebe-se que a estrutura fungiforme é muito mais fácil, rápida e económica em termos de cofragens, pois é possível fazer uma cofragem plana, sem necessitar perder o tempo do processo de montagem das cofragens das vigas, caso se opte pela utilização de molde perdidos ou blocos de aligeiramento e quando não existem capitéis.

Em relação à estrutura dimensionada com lajes, vigas e pilares, possui a vantagem de ser possível fazer lajes menos espessas e com uma quantidade menor de varões. Possui uma estabilidade lateral um pouco mais elevada, uma vez que tem elementos que fazem essa função, que são as vigas. Os pilares também não necessitam de dimensões tão grandes, uma vez que não existe risco de punçoamento.

A comparação entre as duas soluções estruturais só faz sentido para os edifícios solicitados por ações semelhantes. Por isso, não se fará uma análise comparativa da dimensão dos elementos estruturais, nem do consumo de betão, para os edifícios situados em Pato Branco e em Lisboa, pois neste último há as ações da neve e do sismo, que não atuam no edifício brasileiro.

O consumo de betão para a solução estrutural 1 no edifício situado em Viseu é muito maior do que no edifício situado em Pato Branco, sendo de 1522 m³ para o português e 972,78 m³ para o brasileiro.

Em relação à solução estrutural 2, a situação é a mesma, sendo o consumo de betão de 1547 m³ para o edifício de Viseu e de 815 m³ para o edifício de Pato Branco.

A dimensão obtida para os elementos estruturais já foi descrita nas secções anteriores deste capítulo. Na situação das duas soluções estruturais sempre se encontrou uma dimensão um pouco maior para o edifício situado em Viseu do que para o situado em Pato Branco.

Isto pode-se explicar devido ao fato de o edifício localizado em Portugal possuir mais forças externas atuantes, como a carga de neve, que não é considerada no Brasil, e também de sismos, que, mesmo muito menores que as regiões do Algarve e Lisboa em Portugal, ainda é existente e considerado.

6. Conclusões Gerais e Trabalhos Futuros

6.1 Síntese e conclusões gerais

O foco do presente trabalho consistiu, essencialmente, na avaliação do nível de interoperabilidade entre o Revit e outros programas de análise estrutural (Robot, Eberick e TQS) e numa análise comparativa de diferentes soluções estruturais, inicialmente propostas.

Para o desenvolvimento deste estudo foram disponibilizadas as peças desenhadas em formato CAD do projeto de arquitetura de um edifício multifamiliar. Consideraram-se três localizações para o edifício, duas em Portugal, nas cidades de Viseu e Lisboa, e uma no Brasil, na cidade de Pato Branco. Foram concebidas duas soluções estruturais, uma baseada em lajes fungiformes e outra em lajes maciças apoiadas em pórticos. Assim, numa primeira fase, foi necessário gerar os modelos de arquitetura e os dois modelos estruturais no Revit, efetuar a quantificação das ações e o pré-dimensionamento dos elementos estruturais. As soluções estruturais dos edifícios foram depois dimensionadas no Robot (os de Portugal) e no TQS (o do Brasil), respeitando a normalização em vigor nesses países.

Todo o pré-dimensionamento estrutural foi realizado no Revit e, posteriormente, exportado para os *softwares* de cálculo estrutural, avaliando-se, deste modo, a interação entre os diversos *softwares*.

As trocas de informação foram feitas por meio de *plug-ins* já existentes para a interoperabilidade de dois *softwares* estudados (entre o Revit e o Robot, e entre o Revit e o TQS Estruturas) e por meio de formato IFC entre o Revit e o Eberick, que não possui *plug-in* direto. Após a análise estrutural e dimensionamento da estrutura, foi feita uma avaliação da troca de informações dos *softwares* de cálculo para o Revit, para que se pudessem perceber as dificuldades na troca de uma maior quantidade de dados e na elaboração das peças desenhadas de alguns elementos estruturais através do Revit, com pormenorização das armaduras.

Este trabalho permitiu também, efetuar uma análise da implementação do BIM no processo de conceção estrutural e da realização do projeto de execução de estruturas de um edifício.

Dessa forma, foi possível aferir as vantagens deste processo, bem como as diversas dificuldades, algumas que ainda existem e que precisam de ser solucionadas, a fim de contribuir para uma maior utilização da metodologia BIM no setor da engenharia.

Com este estudo foi possível obter algumas conclusões:

- A troca de informações entre o Revit e o programa de cálculo estrutural é mais eficiente com recurso a *plug-ins*, desenvolvidos para o efeito, do que através do formato IFC;
- Quando o programa de cálculo estrutural é o Robot, é preferível definir os materiais e as ações do peso próprio dos materiais e das sobrecargas no modelo estrutural do Revit;
- O peso dos elementos não estruturais, por exemplo das paredes exteriores, deve ser definido no *software* de cálculo estrutural, juntamente com as restantes ações, vento, neve e sísmica;
- A modelação das escadas deve ser efetuada nos programas de análise estrutural;
- A forma como são definidos os elementos estruturais no Revit pode gerar incompatibilidades entre elementos no programa de cálculo, por exemplo na ligação de lajes e vigas;
- Deve verificar-se a consistência do modelo analítico gerado no Revit antes de se efetuar a sua transferência para o *software* de cálculo estrutural;
- A troca de dados entre dois *softwares* pertencentes à mesma *software house*, Revit e Robot, é mais eficaz, mas a transferência de elementos inclinados é problemática;
- A troca de informações entre o Revit e TQS é conseguida nos dois sentidos, mas não de forma completamente autónoma, não se tornando possível a edição e interligação das informações de maneira simultânea;
- Alguns *softwares*, como o Eberick, não possuem interoperabilidade, só se conseguindo exportar o modelo estrutural calculado para o Revit, mas sem dados associados, apenas a visualização dos elementos;
- O tempo despendido na troca de dados do modelo estrutural dimensionado para o Revit é muitas vezes grande e apresenta diversos problemas;
- A troca de dados referentes a armaduras dos *softwares* de cálculo para o Revit manifestou muitos problemas, nomeadamente com o posicionamento das armaduras, tendo-se verificado que eram colocadas fora do elemento (hospedeiro). Neste trabalho não houve tempo para explorar esta situação;
- Foi possível realizar o dimensionamento das duas soluções estruturais idealizadas para os três edifícios estudados, tendo os resultados correspondido ao que se previa. No entanto, a comparação entre as duas soluções apenas pode ser feita através de mapas de quantidades de betão e aço;
- Como era previsível o edifício em Lisboa é o que requer maior quantidade de material, devido à ação sísmica e as duas soluções estruturais para o edifício em Viseu também consomem mais materiais do que para o edifício em Pato Branco. Esta situação, em parte,

também era prevista porque a solução da cobertura dos edifícios em Portugal é mais pesada do que a do edifício no Brasil.

6.2 Desenvolvimento de trabalhos futuros

O estudo que foi elaborado nesta dissertação e os resultados obtidos abrem novas perspectivas para muitos outros trabalhos, que podem dar sequência ao que foi abordado. Assim, apresentam-se algumas propostas:

- Alargar o âmbito da análise da interoperabilidade entre *softwares*, utilizando-se outros programas de cálculo estrutural disponíveis no mercado, como o Cypecad, o SAP2000 ou o Tekla, por exemplo e outros programas de modelação BIM, como o Tekla ou o Archicad, por exemplo;
- Fazer uma análise da interoperabilidade com soluções estruturais que possuam elementos de geometria mais complexa, com formas curvas ou, no caso das lajes, com elementos de aligeiramento, (nervuradas ou com vigotas);
- Realizar um estudo idêntico com elementos estruturais de betão armado e pré-esforçado;
- Prosseguir a análise de interoperabilidade realizada neste estudo, aprofundando a troca de dados referentes às armaduras, com vista a produzir as peças desenhadas de pormenorização das armaduras de um modo mais eficaz e célere;
- Efetuar uma análise comparativa da regulamentação europeia e brasileira, utilizando a metodologia BIM;
- Realizar uma análise mais exaustiva da interoperabilidade entre o Revit e o TQS que permita contribuir para uma melhoria do *plug-in* existente.

REFERÊNCIAS

- Abanda, F. H., Kamsu-Foguem, B., & Tah, J. H. M. (2017). BIM – New rules of measurement ontology for construction cost estimation. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(2), 443–459. <https://doi.org/10.1016/J.JESTCH.2017.01.007>
- ABNT NBR 6118:2014. (2014). *Projeto de estruturas de concreto -procedimento*.
- ABNT NBR 6120:1980. (1980). *Cargas para o cálculo de estrutura em edificações*.
- ABNT NBR 6123:1988. (1988). *Forças devidas ao vento em edificações*.
- ABNT NBR 8681:2003. (2003). *Ações e segurança nas estruturas – Procedimento*. www.abnt.org.br
- Autodesk. (2018, April 10). *Sobre o Robot Structural Analysis Professional*. <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit/learn-explore/caas/cloudhelp/cloudhelp/2018/ptb/revit-analyze/files/guid-7ccd1413-93c6-4bd7-824b-7ab47e2ac71a-htm.html#:~:Text=O%20Autodesk%C2%AE%20Robot%E2%84%A2,Outros%20tipos%20de%20estruturas%20indust>.
- Boniface, T., Bew, M., Groome, C., Rebbeck, P., & Richards, M. (2010). *Investors Report: Building Information Modelling (BIM)*. London: British Standards Institution.
- Brian R. Johnson. (2016). *Design Computing: an overview of an emergent field*. Routledge. eBook. <https://doi.org/10.4324/9781315680057>
- Eastman, C. (1975). *The use of computers instead of drawings in building design*. AIA Journal, 63, 46-50.
- Eastman, C., Jeong, S., Sacks, R., & Kaner, I. (2010). Exchange Model and Exchange Object Concepts for Implementation of National BIM Standards. *Exchange Model and Exchange Object Concepts for Implementation of National BIM Standards*, 24–25.
- Eastman, C. M. (1999). *Building product models : computer environments supporting design and construction*. CRC Press.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, . K. (2011). *.BIM Handbook: A Guide to Building Information Modelling*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Eurocódigo 1 - Ações em Estruturas. Parte 1-4: Ações gerais. Ações do vento*. (n.d.).
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2003). *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions – Snow loads*. Brussels: Autor. .

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (2009). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1-1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. www.ipq.pt

Gallaher, M., O'Conner, A., Dettbarn, J., & Gilday, L. (2004). *Cost analysis of inadequate interoperability in the US capital facilities industry*. National Institute of Standards and Technology (NIST).

Grilo, A., & Jardim-Gonçalves, R. (2010a). Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Automation in Construction*, 522–530.

Grilo, A., & Jardim-Gonçalves, R. (2010b). Value Proposition on Interoperability of BIM and Collaborative Working Environments,. *Automation in Construction*, Vol. 19, Nº 5, 522–530.

Infrarati. (2022, August 13). <https://Infrarati.Wordpress.Com/2013/06/19/Datacentersblendingbimdcimcddb> Et.

José Pedro Machado Fernandes. (2013). *A Metodologia BIM aplicada ao Projeto de Estruturas*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Portugal.

Kassem, M., & Amorim, S. R. L. de. (2015). BIM Building Information Modeling no Brasil e na União Europeia. www.dialogossetoriais.org

Leonardo Santana. (2020). *BIM no mundo: a revolução mundial da construção inteligente*. <https://Www.Sienge.Com.Br/Blog/Bim-No-Mundo/>.

Lino, J., Azenha, M., & Lourenço, P. (2012). Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. *Porto: Encontro Nacional Betão Estrutural*.

Eurocódigo 0 - Bases para o projeto de estruturas, 2002, (2002).

LNEC. (2002). *Eurocódigo 1 - Acções em estruturas Parte 1-1: Acções gerais Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios*. www.ipq.pt

LNEC. (2010). *Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão, Parte 1-1: Regras gerais para edifícios*.

Lu, W. et al. (2015). *MacLeamy Curve*. https://Www.Researchgate.Net/Publication/283427563_MacLeamy_Curve_-_With_figures.

M. Santos Fonseca. (n.d.). Regras de Medição na Construção. *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*.

Maria Ramos da Cunha Serra, P. (2015). *Análise da Implementação de Processos BIM Aplicados ao Projeto de Estruturas*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, IST, Lisboa, Portugal.

McGraw Hill Construction. (2012). The Business Value of BIM in North America. In *Trend Analysis and User Ratings*. New York: McGraw-Hill.: Smart Market Report.

McGraw-Hill Construction. (2010). *The Business Value of BIM in Europe: Getting building information modelling to the bottom line the united kingdom, France and Germany*, Smart Market Report, New York, McGraw-Hill.

Nunes, G. H. (2018). *Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM | Comparative study of design tools-the traditional CAD and BIM modeling*. <http://www.civil.uminho.pt/revista>

Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção. (2022, July 1). <https://www.ptpc.pt/>

Pontes, J. (2016). *Modelo de Maturidade BIM para a Indústria Nacional: Avaliação, Planeamento e Ação*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa, IST, Lisboa, Portugal.

Silveira Azevedo, V., Dr^a Alcínia Zita de Almeida Sampaio Júri Presidente, P., Manuel Coelho Guerreiro Orientador, L., Dr^a Alcínia Zita de Almeida Sampaio Vogal, P., & Manuel Matos Noronha da Câmara, J. (n.d.). *Análise do modelo BIM numa perspetiva do projeto de estruturas Engenharia Civil Maio 2015*.

Smith, D. (2007). *An Introduction to Building Information Modeling (BIM, Journal of Building Information Modelling*. Information Modelling, pp. 12-14.

Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 475–484. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.053>

Tekla Discussion Forum. (n.d.). Retrieved June 30, 2022, from <https://forum.tekla.com/>

Thein, V. (2011). *Industry Foundation Classes (IFC) BIM Interoperability Through a Vendor-Independent File Format A Bentley White Paper*. <http://www.bfml.nist.gov/oae/publications/gcrs/04867.pdf>

TQS Informática. (2022, November). *TQS: A empresa*. <https://www.tqs.com.br/about>.

TURK, Z. (2016). Ten questions concerning building information modelling. *Building and Environment*, 107, 274–284.

Underwood, J., & Isikdag, U. (2010). *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies*. IGI Global. <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-60566-928-1>.

Vasconcelos, T. (2010). *Building Information Model – Avaliação do seu potencial como solução para os principais atrasos e desperdícios na construção portuguesa*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, UNL, Lisboa, Portugal.

Yang, Q. Z., & Zhang, Y. (2006). *Semantic interoperability in building design: Methods and tools*. *Computer-Aided Design* 38(10), 1099–1112.

APÊNDICE 1 – DESENHOS ORIGINAIS DA ARQUITETURA EM AUTOCAD

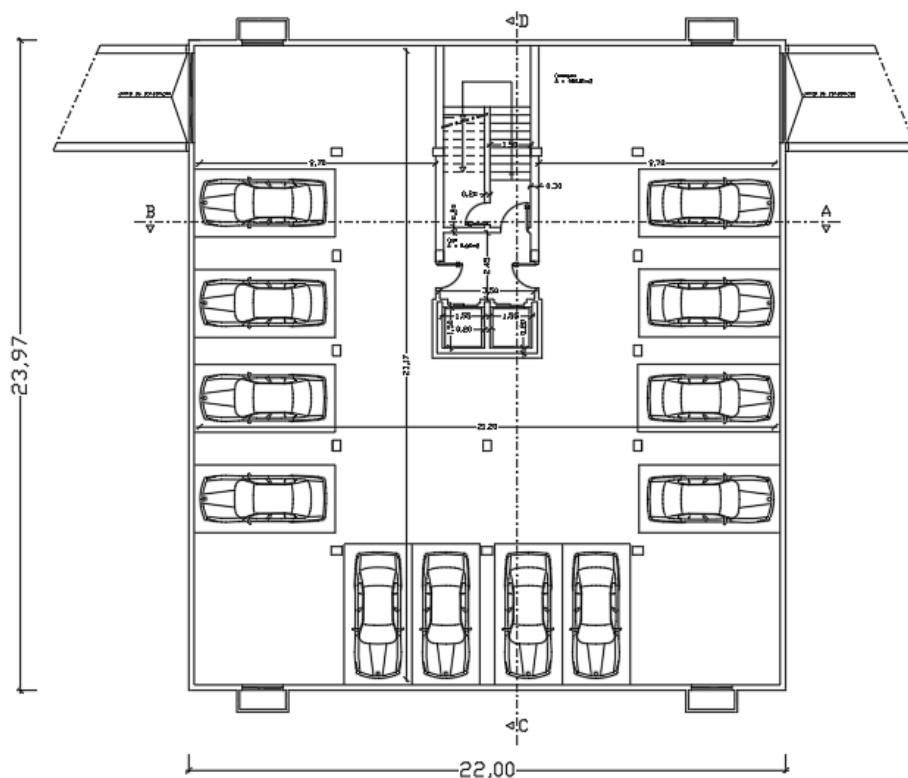


Figura 110 - Planta arquitetônica da cave (AutoCad).

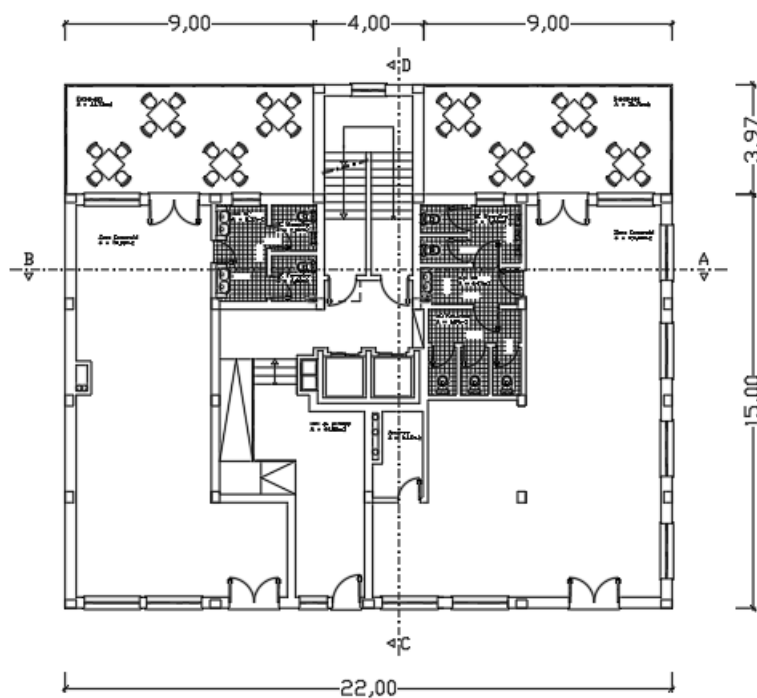


Figura 111 - Planta arquitetônica do rés-do-chão (AutoCad).

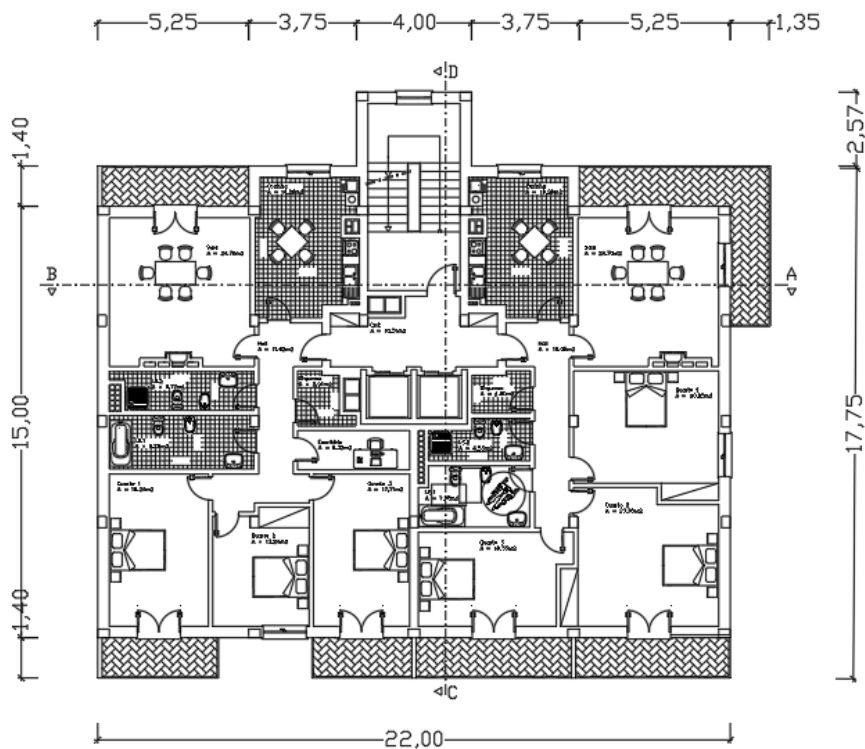


Figura 112 - Planta arquitetônica do piso tipo (AutoCad).

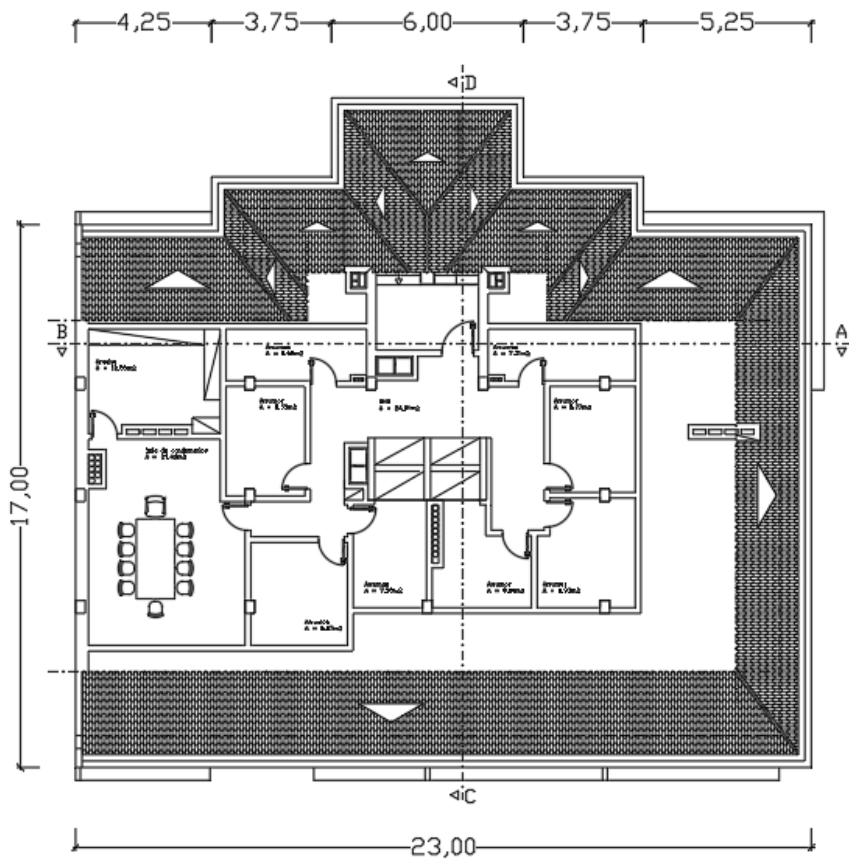


Figura 113 - Planta arquitetônica do sótão (AutoCad).

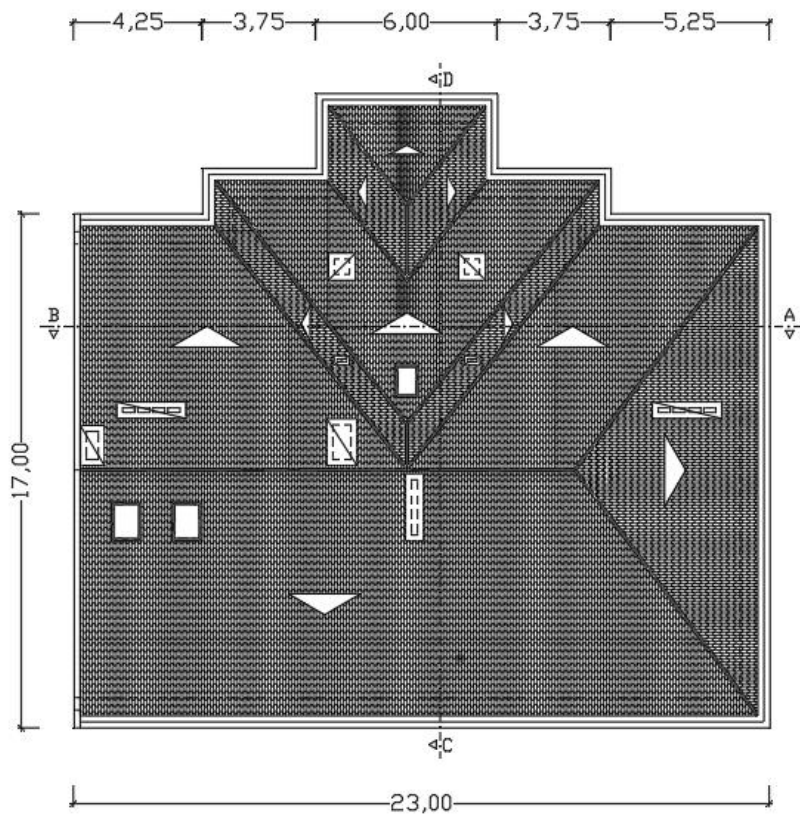


Figura 114 - Planta arquitetónica da cobertura (AutoCad).

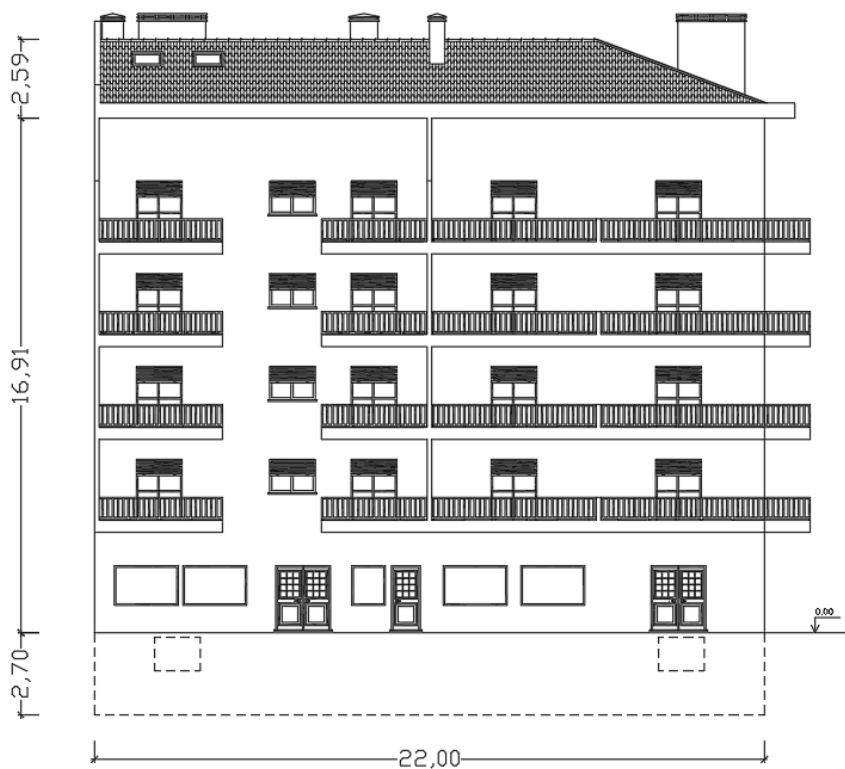


Figura 115 - Alçado principal (AutoCad).

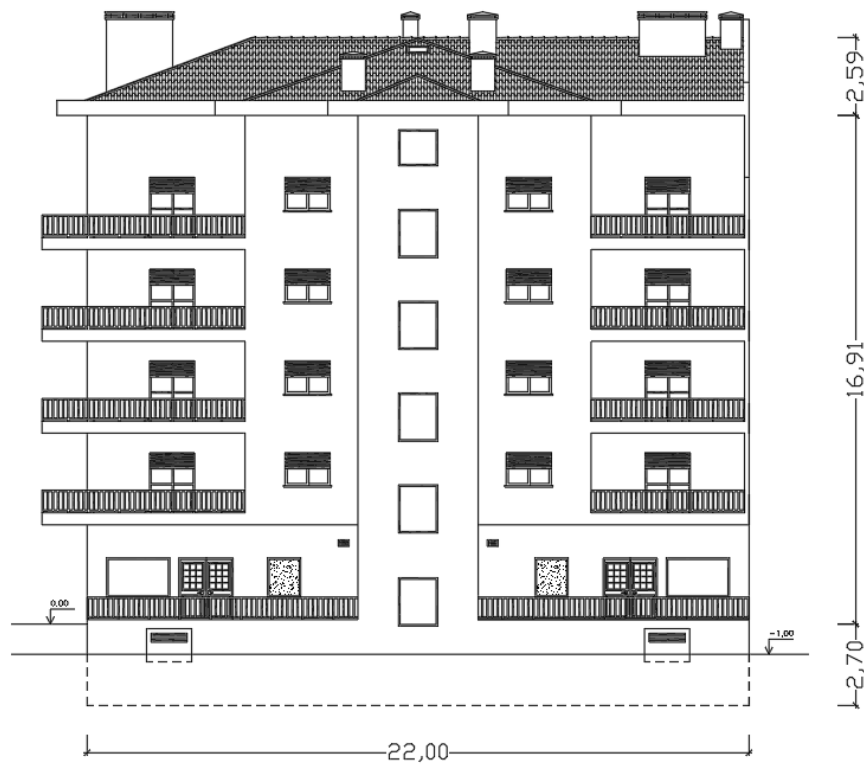


Figura 116 - Alçado posterior (AutoCad).

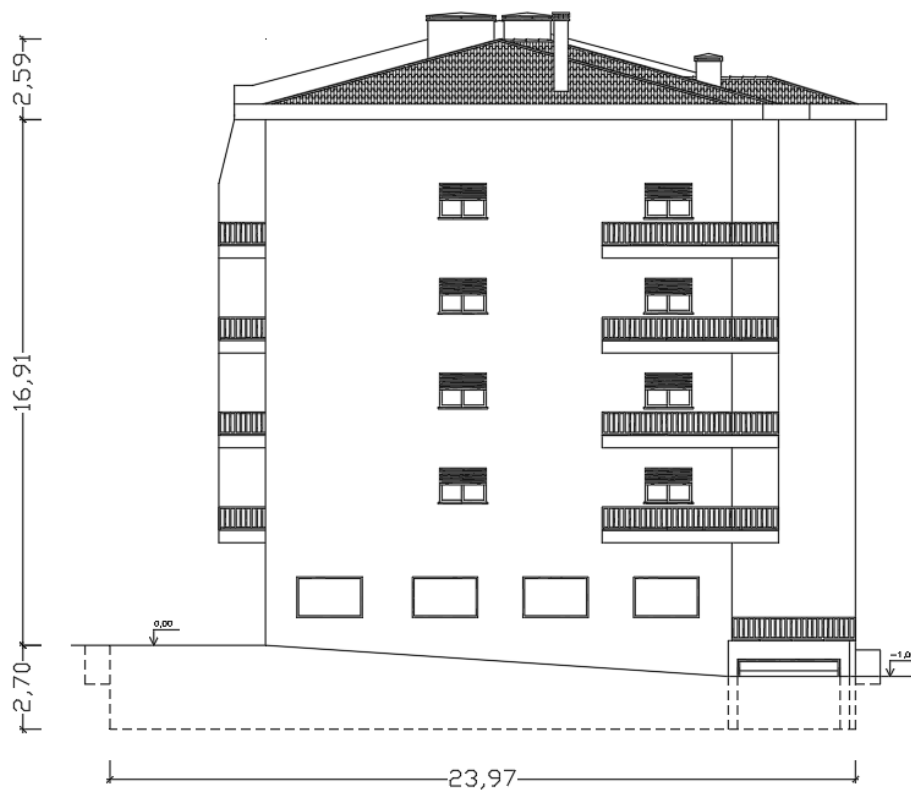


Figura 117 - Alçado lateral direito (AutoCad).

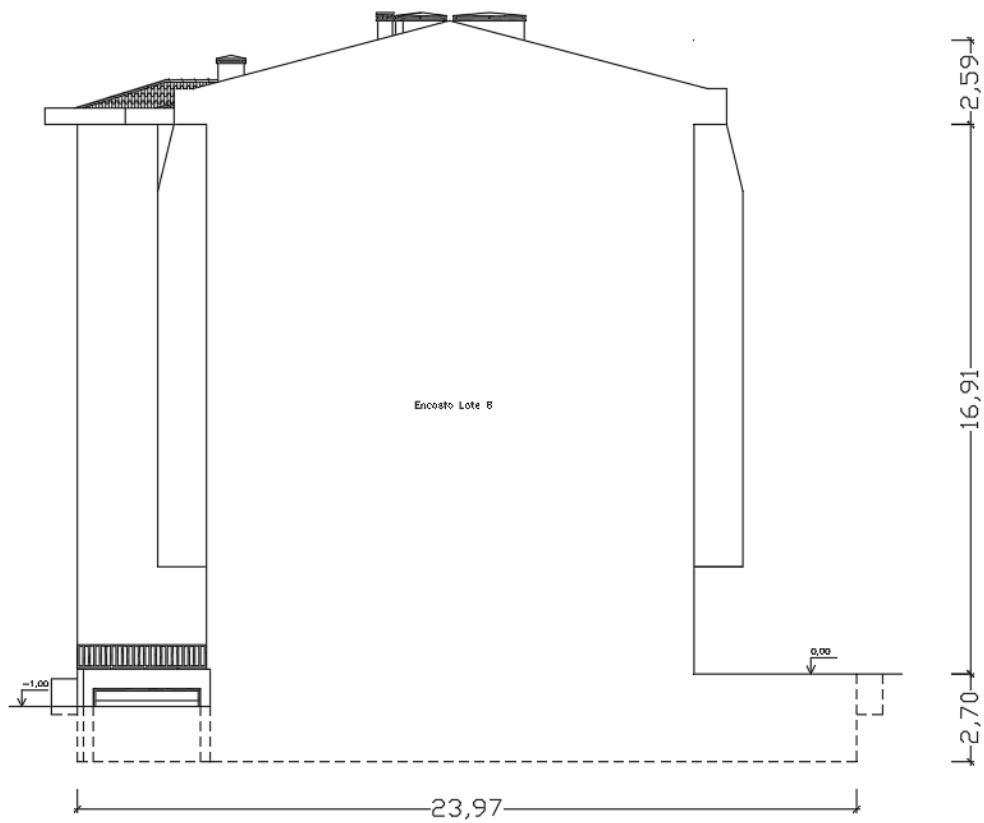


Figura 118 - Alçado lateral esquerdo (AutoCad).



Figura 119 - Corte A:B (AutoCad).

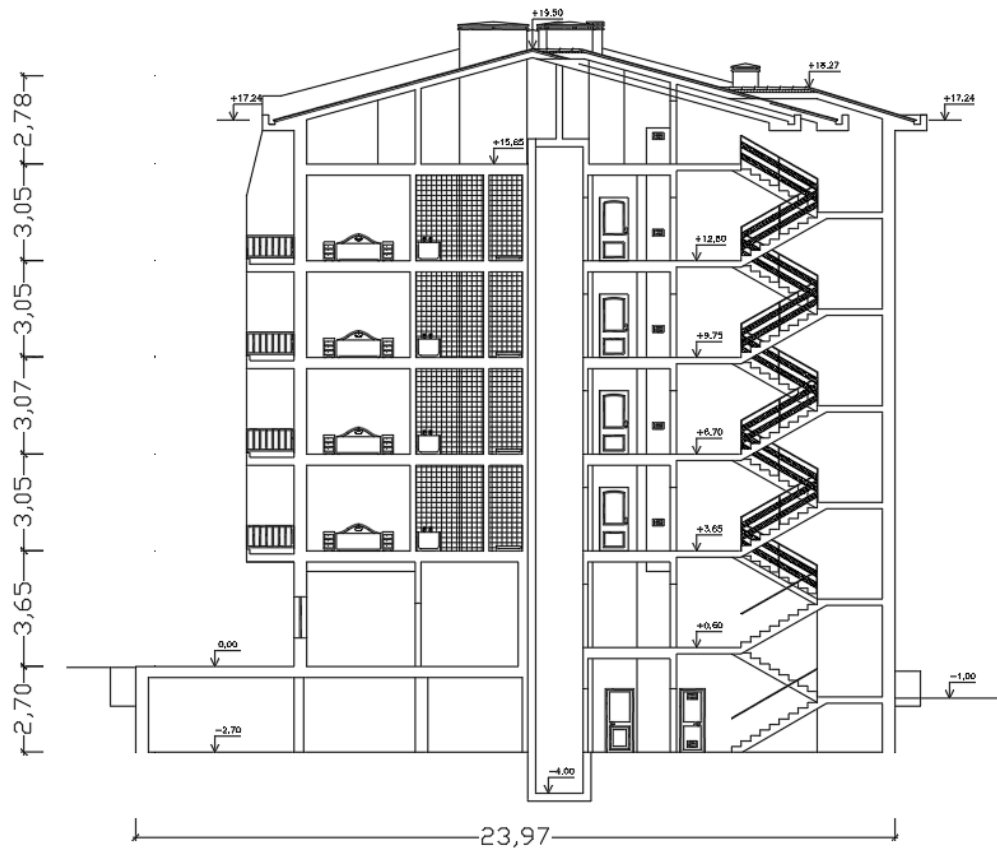


Figura 120 - Corte C:D (AutoCad).

APÊNDICE 2 – DESENHOS DA ARQUITETURA OBTIDOS DO REVIT

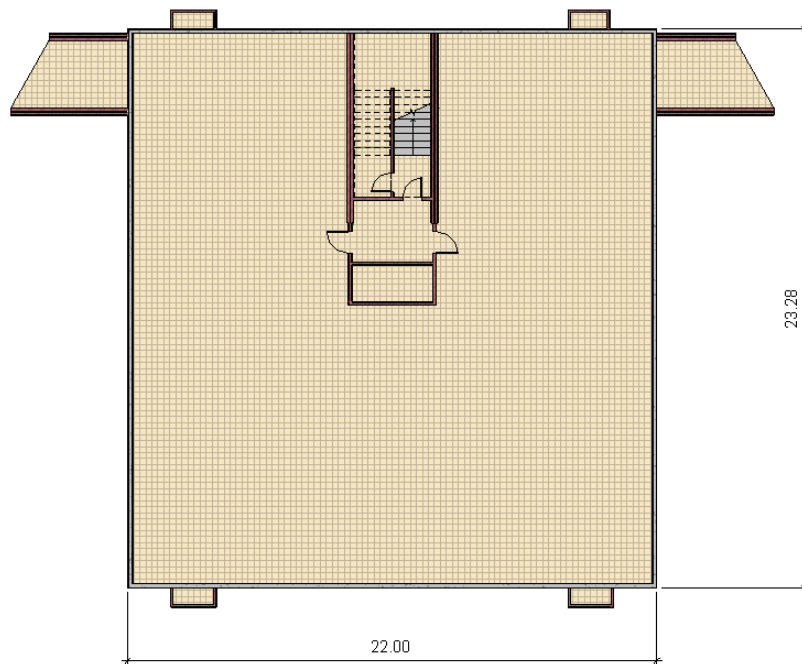


Figura 121 - Planta arquitetônica da cave (Revit).

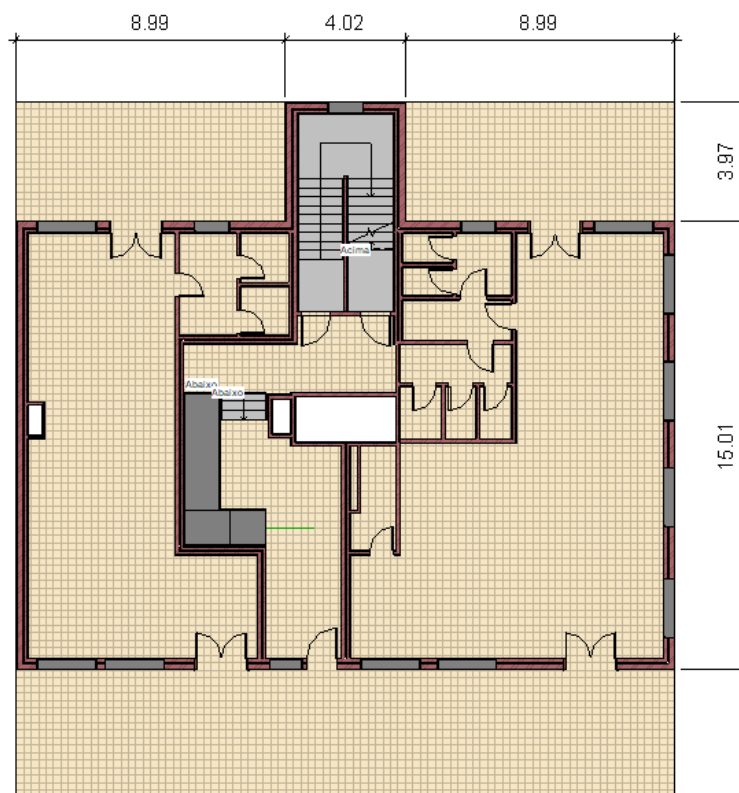


Figura 122 - Planta arquitetônica do rés-do-chão (Revit).

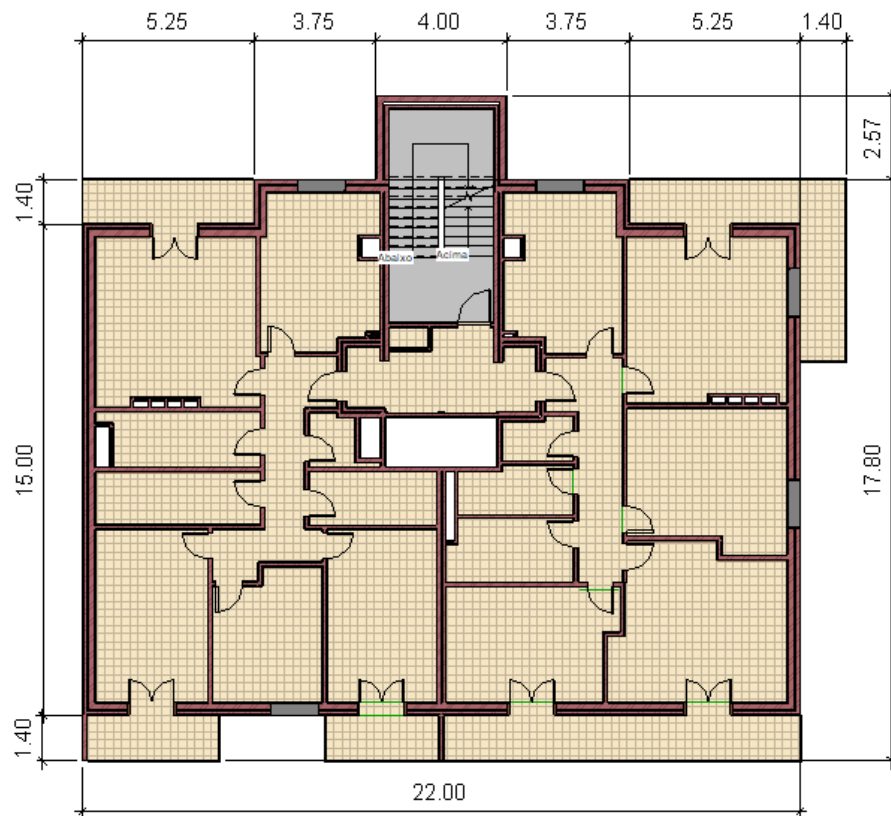


Figura 123 - Planta arquitetônica do piso tipo (Revit).

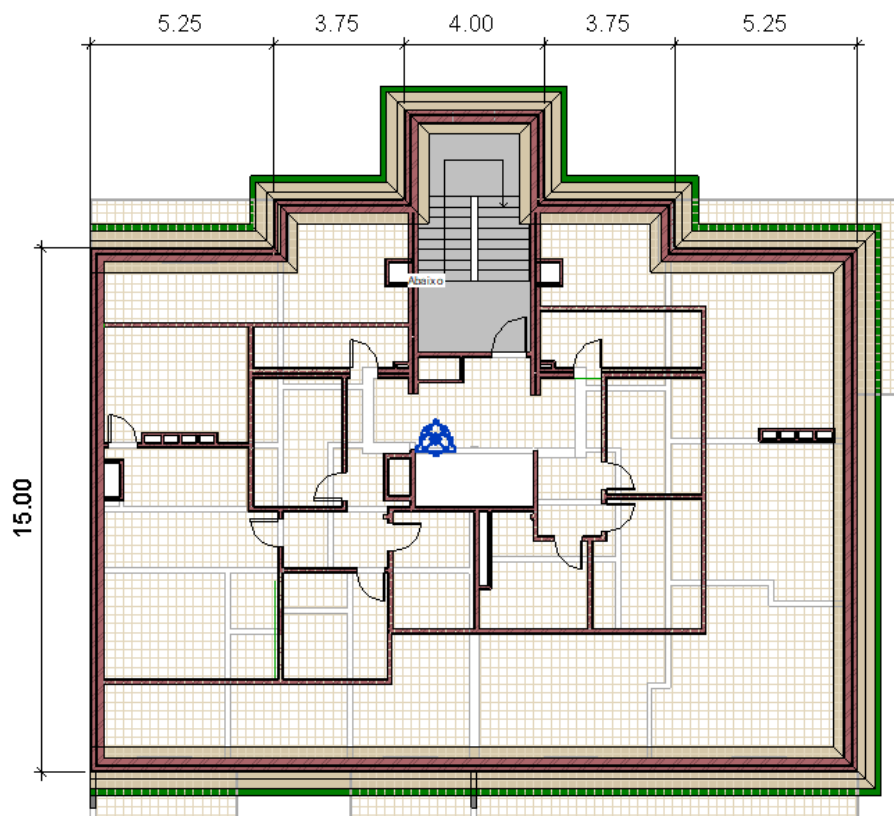


Figura 124 - Planta arquitetônica do sótão (Revit).

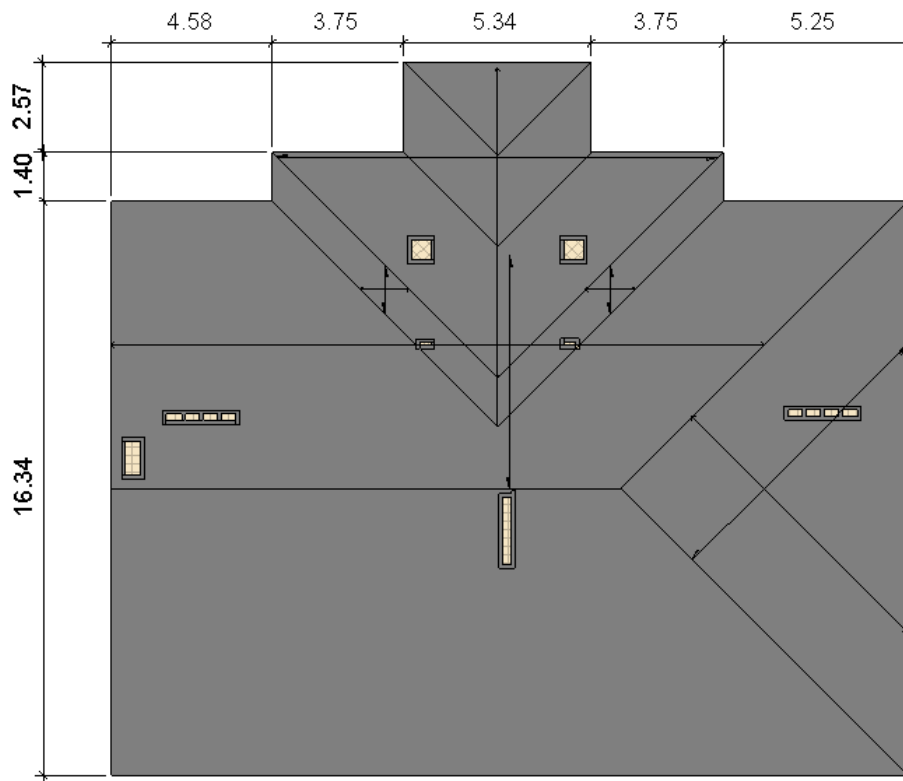


Figura 125 - Planta arquitetônica da cobertura (Revit).



Figura 126 - Alçado principal (Revit).



Figura 127 - Alçado posterior (Revit).



Figura 128 - Alçado lateral direito (Revit).

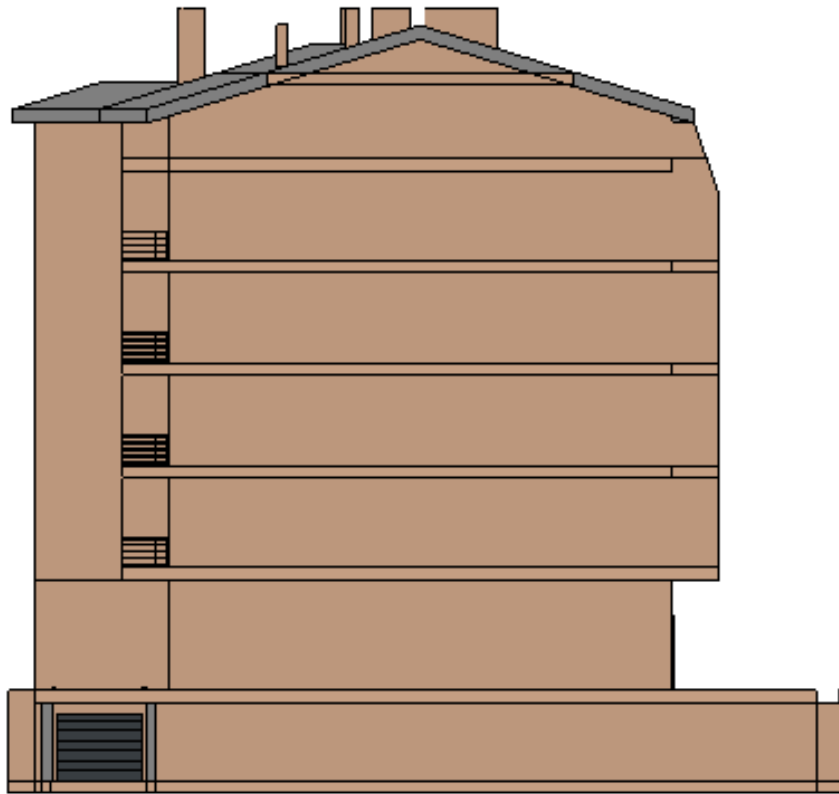


Figura 129 - Alçado lateral esquerdo (Revit).

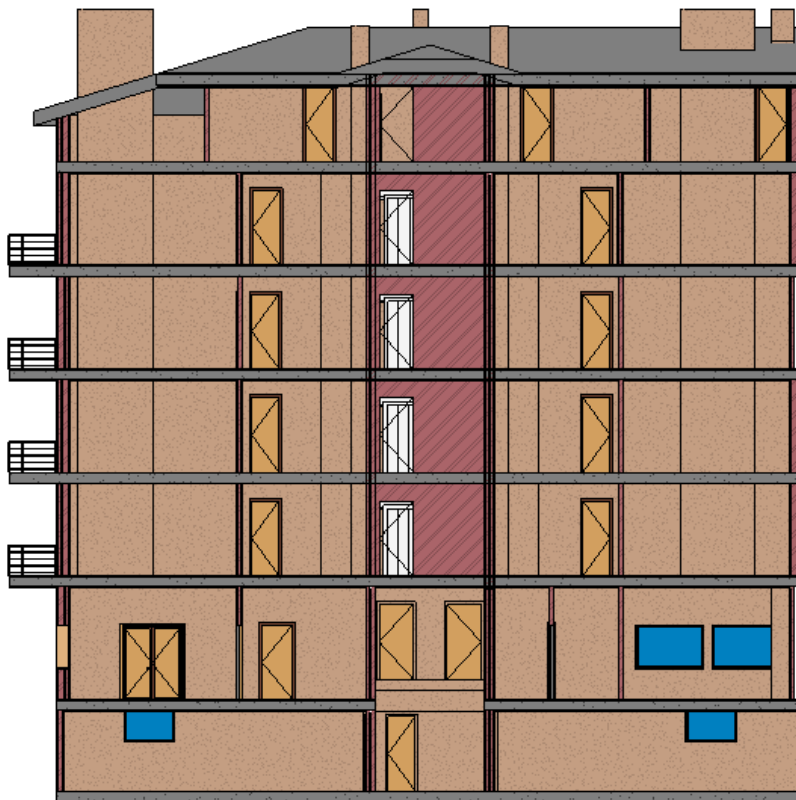


Figura 130 - Corte A:B (Revit).

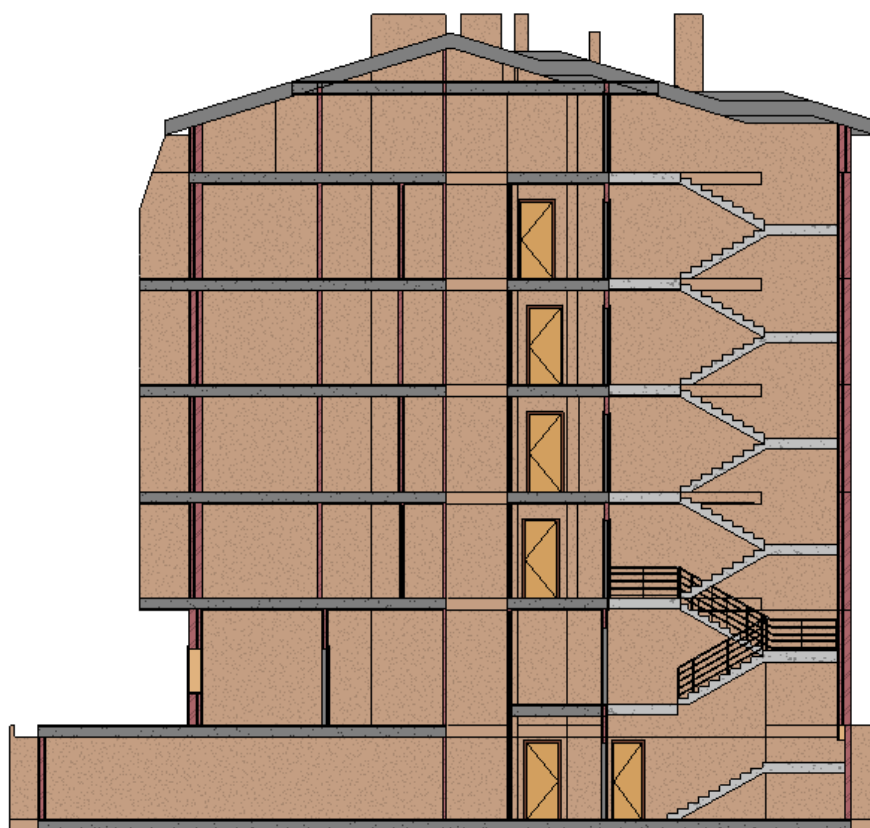


Figura 131 - Corte C:D (Revit).

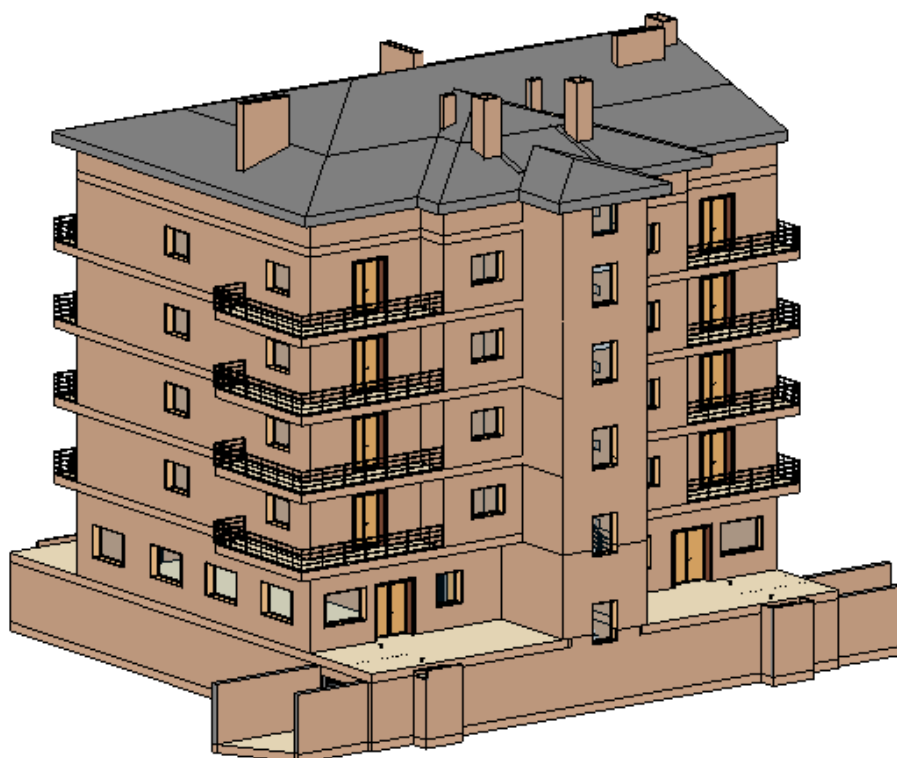


Figura 132 - Vista 3D do edifício (Revit).

APÊNDICE 3 – DESENHOS DA SOLUÇÃO ESTRUTURAL 1 OBTIDOS DO REVIT

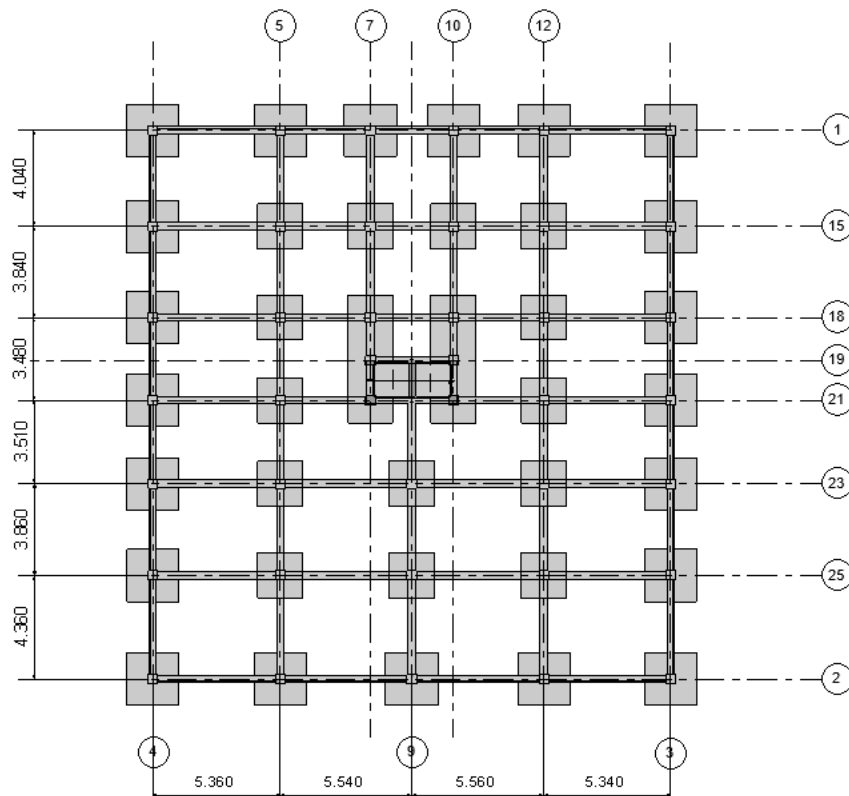


Figura 133 - Planta estrutural da fundação de ambas as soluções (Revit).

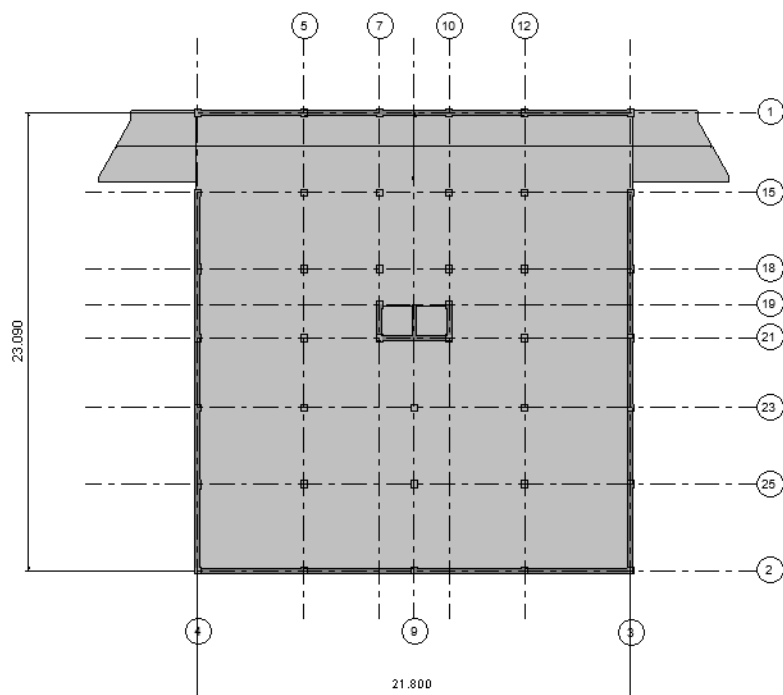


Figura 134 - Planta estrutural da cave da solução estrutural 1 (Revit).

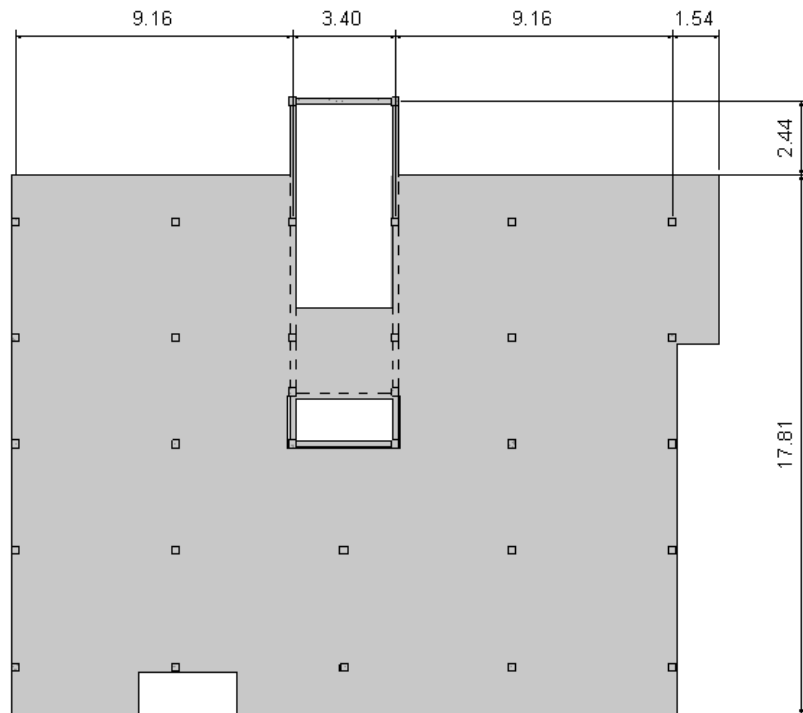


Figura 135 - Planta estrutural do piso tipo da solução estrutural 1 (Revit).

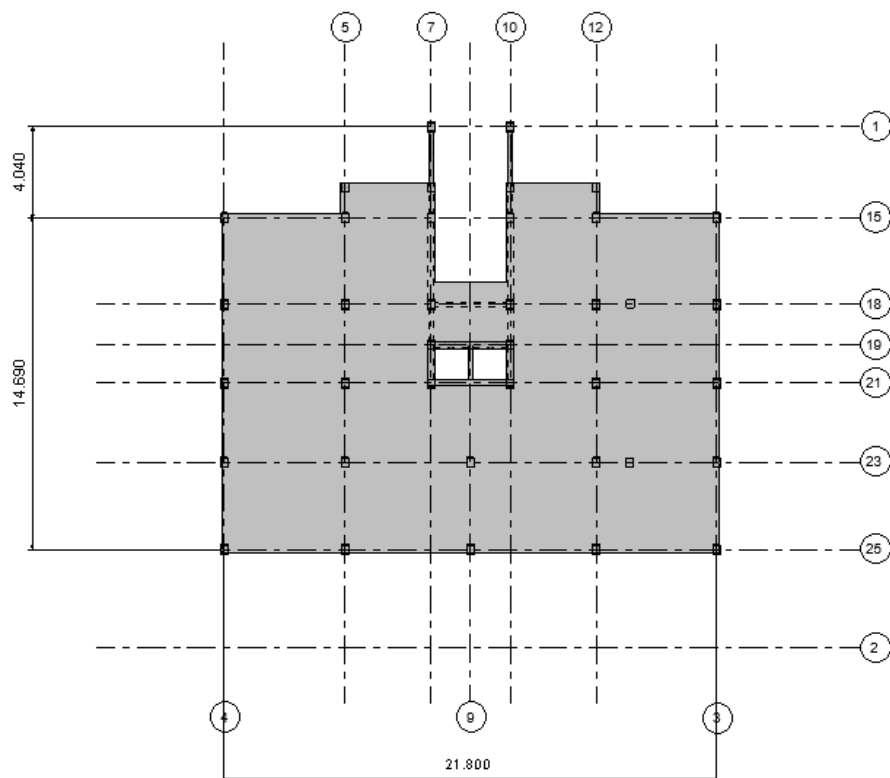


Figura 136 - Planta estrutural do sótão da solução estrutural 1 (Revit).

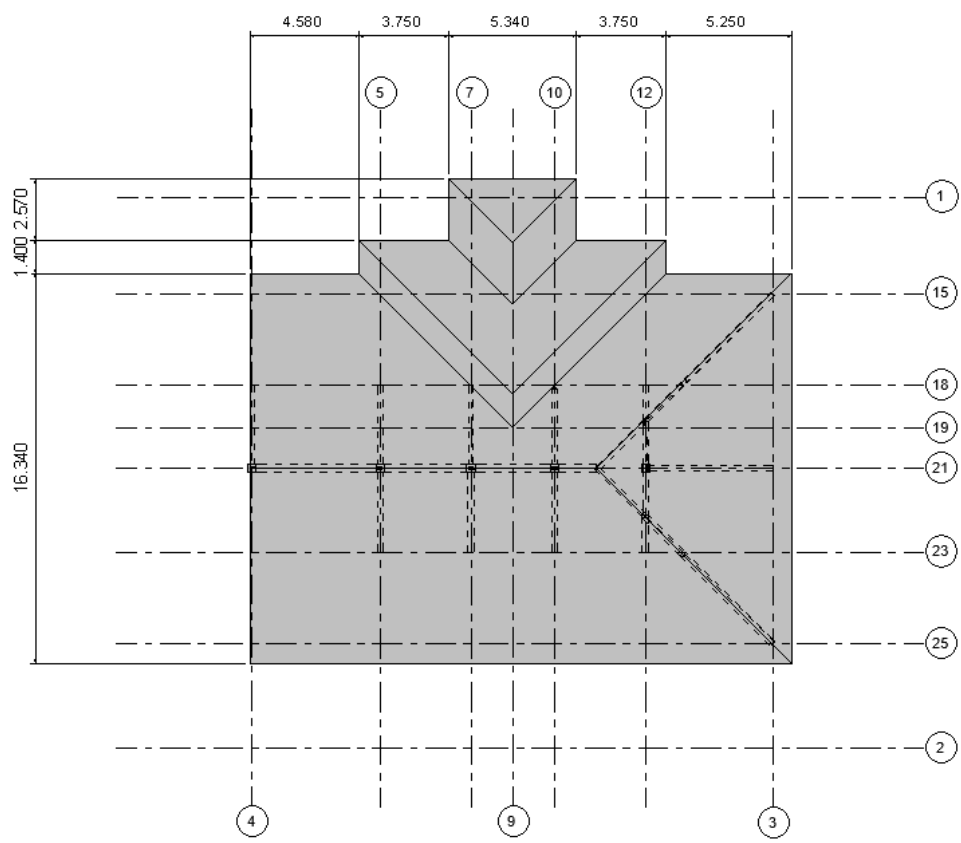


Figura 137 - Planta estrutural da cobertura da solução estrutural 1 (Revit).

APÊNDICE 4 – DESENHOS DA SOLUÇÃO ESTRUTURAL 2 OBTIDOS DO REVIT

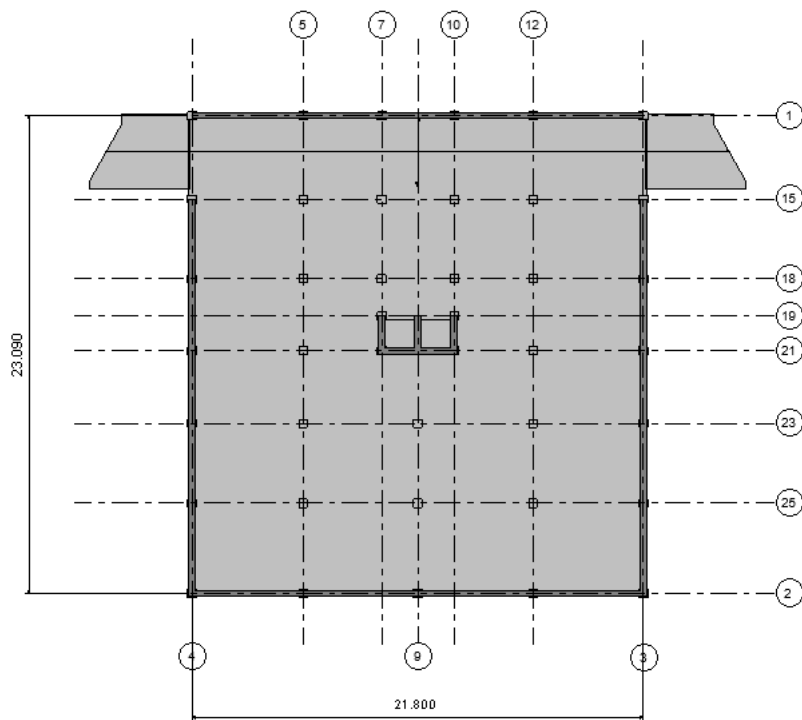


Figura 138 - Planta estrutural da cave da solução estrutural 2 (Revit).

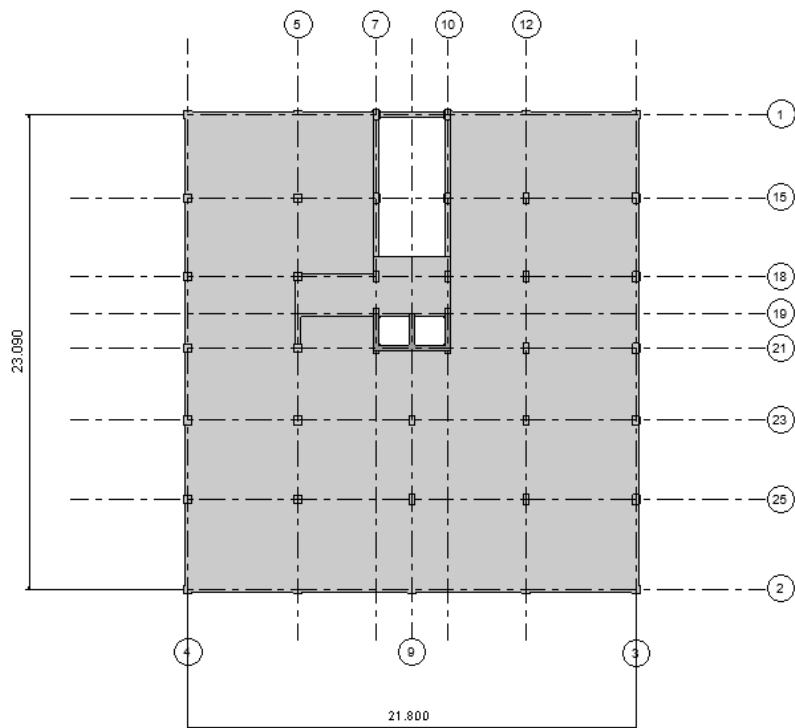


Figura 139 - Planta estrutural do rés-do-chão da solução estrutural 2 (Revit).

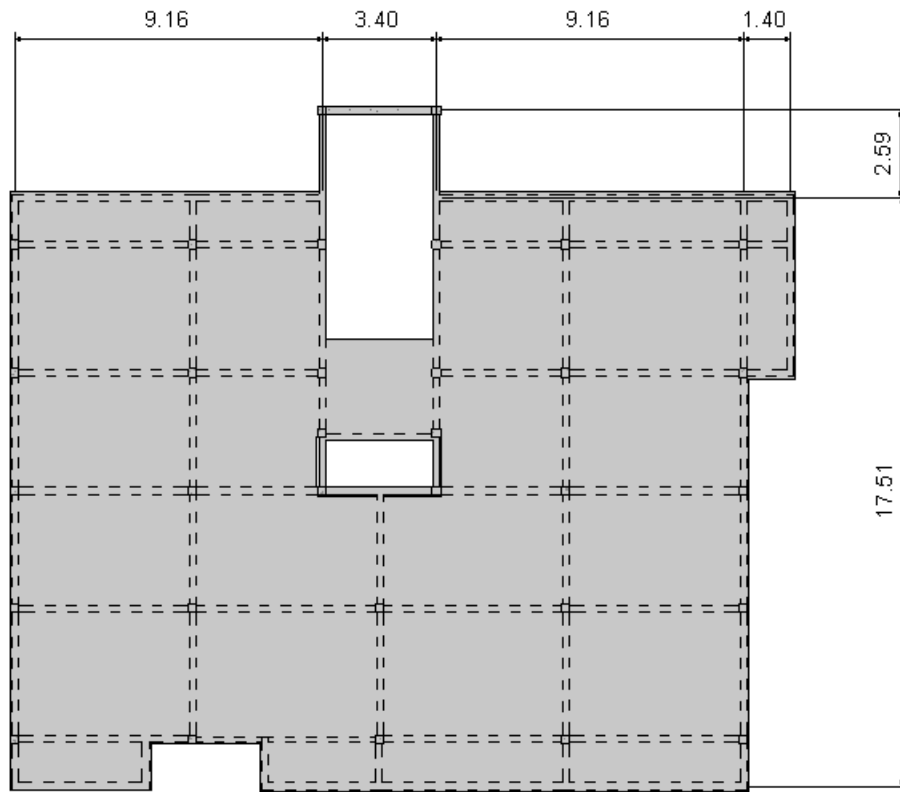


Figura 140 - Planta estrutural do piso tipo da solução estrutural 2 (Revit).

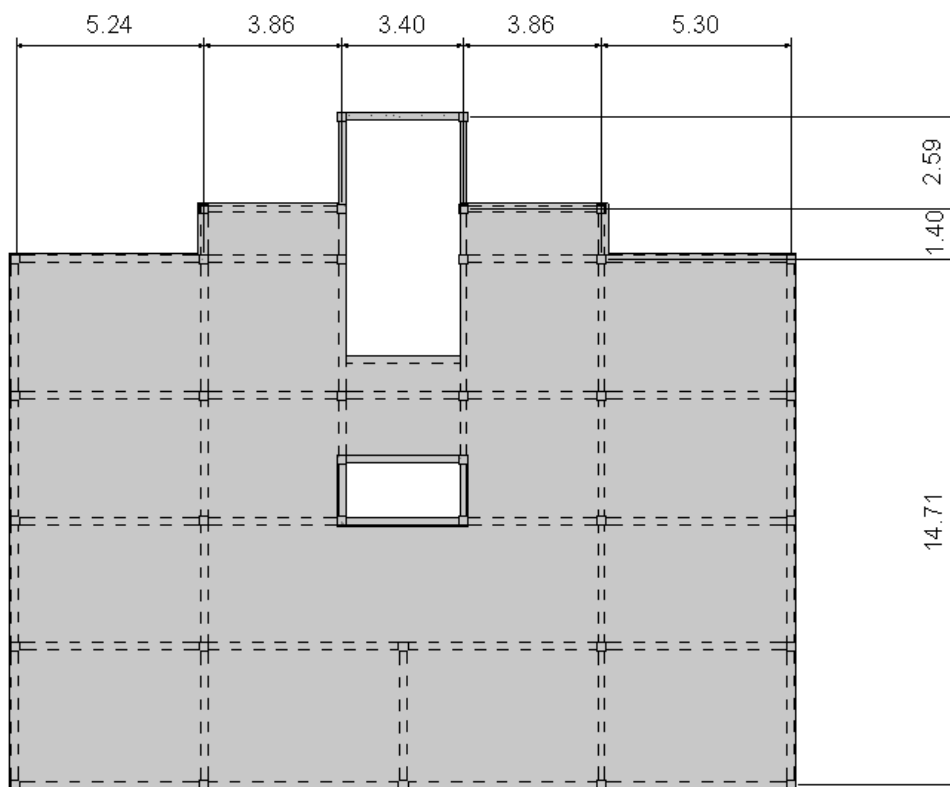


Figura 141 - Planta estrutural do sótão da solução estrutural 2 (Revit).

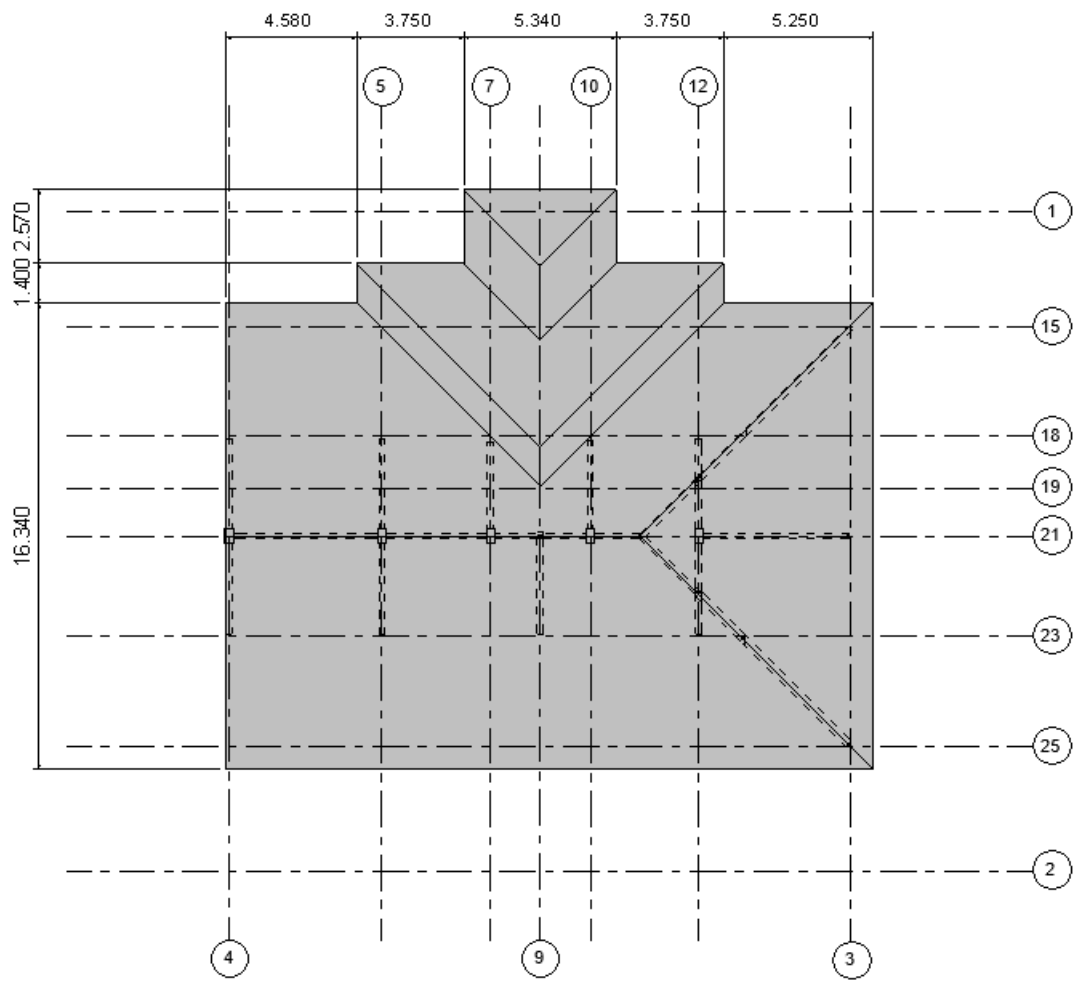


Figura 142 - Planta estrutural da cobertura da solução estrutural 2 (Revit).