



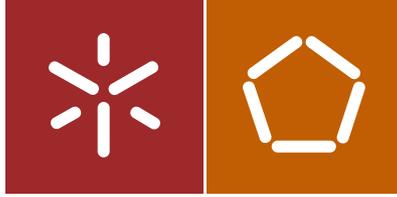
Vito Filipe de Ascensão Lopes

A integração de técnicas BIM (Building  
Information Modeling) no projeto e na  
construção de estruturas de madeira

Universidade do Minho  
Escola de Engenharia







Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Vito Filipe de Ascensão Lopes

A integração de técnicas BIM (Building  
Information Modeling) no projeto e na  
construção de estruturas de madeira

Dissertação de Mestrado  
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao  
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Doutor Jorge Manuel Gonçalves Branco  
Engenheiro José Carlos Lino

## DECLARAÇÃO

Nome: Vito Filipe de Ascensão Lopes

Endereço eletrónico: a58598@alunos.uminho.pt      Telefone: 918583248

Cartão do Cidadão: 13739315

Título da dissertação: A integração de técnicas BIM (Building Information Modeling) no projeto e na construção de estruturas de madeira

Orientadores:

Professor Doutor Jorge Manuel Gonçalves Branco

Engenheiro José Carlos Lino

Ano de conclusão: 2015

Mestrado Integrado em Engenharia Civil

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Assinatura

*“All truths are easy to understand once they are discovered; the point is to discover them.”*

Galileo Galilei



## AGRADECIMENTOS

Primariamente gostaria de agradecer a todos aqueles que tornam possível a realização desta dissertação e contribuíram para o concretizar desta etapa, começando pelos meus dois orientadores.

Ao engenheiro José Carlos Lino gostaria de lhe agradecer por tudo aquilo que me transmitiu durante estes meses, não só por me estender o privilégio de poder aprender mais de perto a sua realidade empresarial, mas também pelos princípios que me incutiu. Ao professor Jorge Branco pela orientação e pelos ensinamentos, não só agora mas também durante o restante período académico.

Agradeço também a todos os membros da Newton, Consultores de Engenharia Lda., e à Modular System®, em especial ao arquiteto Alexandre Teixeira da Silva.

Gostaria de agradecer especialmente aos meus amigos Alexandre Marques, Cláudio Gomes e Carlos Gomes pela ajuda que me prestaram durante estes meses, sem a qual teria sido impossível desenvolver o trabalho realizado, e que fizeram com que estes meses de trabalho se transformassem em agrado.

É obrigatório que agradeça também ao Pedro e ao Sérgio por estarem ao meu lado durante grande parte destes 5 anos e terem feito com que esta experiência tenha adquirido um sentido muito mais elevado, do que seria possível eu imaginar quando a iniciei. Tenho também de agradecer ao César, ao Jota, ao André e ao Hugo, pela amizade desde que nos conhecemos, pelas oportunidades e por estarem sempre lá quando foi preciso. Agradeço a todos os meus outros amigos, esta nova família que fui construindo, e que, infelizmente, não posso enunciar por nome, mas que foram fundamentais.

Obviamente é indispensável agradecer a toda a minha família pelo esforço que fizeram, e aos meus amigos, alguns deles irmãos de outros pais, por continuarem sempre a sê-lo.

Relembro todos aqueles que iniciaram esta jornada comigo, e também aqueles que se foram juntando a ela durante o caminho, aqueles que continuaram junto a mim e também aqueles que algum motivo, os seus caminhos já não se cruzam com os meus, mas que mesmo assim, de alguma forma contribuíram para o meu sucesso e para o meu crescimento.

Por fim agradeço àquelas pessoas que só perto do fim desta etapa, entraram na minha vida mas que nem por isso são menos importantes, pois igualmente têm a capacidade de me fazer sonhar.



## RESUMO

Nos últimos anos tem-se verificado um desenvolvimento da metodologia BIM, assim como um aumento no número de utilizadores que aplicam esta metodologia. Ao mesmo tempo tem renascido o interesse pela utilização da madeira como material de construção. Assim existe um interesse generalizado em desenvolver formas de integrar estes dois setores, através da integração de técnicas BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira.

Dentro das construções de madeira, as construções modulares prefabricadas, apresentam-se como as prediletas para a integração destas técnicas, dadas as características inerentes ao seu processo construtivo. Foram analisadas formas de efetuar a integração de técnicas BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira.

Existem atualmente alguns *softwares* que permitem a programação de parte do seu código, recorrendo à sua API (Application Programming Interface), permitindo assim que sejam desenvolvidos *add-ins* que servem de complementos ao programa original, adicionando funcionalidades aos mesmos. Durante o decorrer desta dissertação foram desenvolvidos dois *add-ins* cujo objetivo é otimizar a integração de técnicas BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira, que foram desenvolvidos através da linguagem de programação C#.

O primeiro *add-in* desenvolvido permite efetuar a exportação dos mapas de quantidades dos modelos criados em Revit, de acordo com um sistema de classificação compatível com um *software* de orçamentação previamente escolhido, estabelecendo assim uma ligação entre as fases de modelação e de orçamentação de um qualquer projeto.

O segundo *add-in* desenvolvido permite a modelação automática dos elementos estruturais e de todos os elementos exteriores de um novo conceito de construções prefabricadas modulares, a ModyHouse. Este *add-in* permite a modelação de cada módulo a partir de apenas dois dados de entrada, nomeadamente, o comprimento e a largura que o utilizador pretende para a sua casa.

**Palavras-Chave: BIM, Madeira, Modular, Prefabricação.**



## ABSTRACT

In the last few years there has been a development of BIM methodology, as well as an increase in the number of users who apply this methodology. At the same time it has been reborn the interest in the use of wood as a building material. Based on this, there is a widespread interest in developing ways to integrate these two sectors by integrating BIM techniques in the design and construction of wooden structures.

Within the wooden buildings, prefabricated modular houses are presented as the most suitable for the integration of these techniques, due to the characteristics inherent to their construction process. During the development of this thesis there were analyzed some methodologies that lead to an easier integration of BIM techniques in the design and construction of wooden structures.

Currently there are some software's that allow the use of part of their programming code, using its API (Application Programming Interface). Has been allowed the development of add-ins that are used as complements to the original program by adding features to them. During the time when this thesis was performed, there were developed two add-ins, which aims to improve the integration of BIM techniques in the design and construction of wooden structures. Both add-ins were developed in the C # programming language.

The first add-in developed allows the exportation of schedules from the models created in Revit, according to a classification system compatible with a budgeting software previously chosen, establishing a connection between the phases of modeling and budgeting of any project.

The second add-in developed allows automatic modeling of all structural elements and the outer elements of a new concept of modular prefabricated houses, ModyHouse. This add-in allows the modeling of each module from only two inputs, the length and width that you want for your home.

**KEYWORDS: BIM, Wood, Modular, Prefabrication.**



# ÍNDICE

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	ix
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xvii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xix
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento Geral.....	1
1.2 Objetivos da Investigação e Resultados esperados.....	3
1.3 Resumo e Organização dos Capítulos.....	4
2. Estruturas de Madeira.....	7
2.1 Enquadramento Geral.....	7
2.2 Caracterização Mecânica e Funcionamento.....	8
2.3 Novas técnicas construtivas.....	11
2.4 Novos Materiais.....	12
2.5 Exemplos de Construções em Madeira.....	15
2.6 Construções e Sistemas Pré-Fabricados e Modulares.....	18
2.7 Exemplos de Construções Modulares em Madeira.....	24
2.8 Impacto ambiental.....	27
3. BIM.....	31
3.1 Enquadramento Geral.....	31
3.2 Níveis de desenvolvimento (LOD) e Modelação Paramétrica.....	34
3.3 BIM 4D.....	40
3.4 BIM 5D.....	44
3.5 Aplicação de BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira.....	49
4. Modelação em BIM.....	55
4.1 Enquadramento geral e motivação.....	55
4.2 Escolha do software.....	55
4.3 Caso de estudo.....	56

4.4	Vantagens .....	59
4.5	Desvantagens e principais dificuldades .....	61
5.	Criação de Objetos .....	63
5.1	Ligações Madeira-Madeira.....	66
5.2	Ligações Metálicas .....	71
6.	Integração do BIM com Sistemas de classificação e exportação de resultados .....	75
6.1	Enquadramento geral e descrição do conceito Modular System® .....	75
6.2	Desafios propostos e abordagens de resolução dos mesmos.....	77
6.3	Sistemas de classificação e exportação de resultados .....	78
7.	Integração do BIM com a modelação automática de objetos .....	91
7.1	Linha low-cost, desenvolvimento da ModyHouse .....	91
7.2	Escolha da tipologia da família .....	93
7.3	Definições iniciais do modelo e programação em C#.....	102
7.4	Integração com programa de cálculo automático e extração de quantidades.....	106
7.5	Desenvolvimentos futuros .....	108
7.6	Conclusões.....	110
8.	Conclusões .....	112
9.	Referências Bibliográficas .....	114
	Anexo I – Dimensionamento estrutural da Modyhouse.....	120
A.I.	Definição das ações atuantes .....	120
A.II.	Dimensionamento dos elementos estruturais.....	131
	Anexo II – Exemplo do Código desenvolvido para a criação do conceito modyhouse.....	142

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Processo de trabalho BIM (TEKLA, 2015).....	3
Figura 2-1: Comparação entre uma viga de madeira e uma viga de aço após um incêndio (Moura Pinto, 2004) .....	10
Figura 2-2: Metropol Parasol por Jurgen Mayer-Hermann (Nikkol Rot for Holcim, 2014) ...	14
Figura 2-3: Metropol Parasol por Jurgen Mayer-Hermann (Nikkol Rot for Holcim, 2014). ..	14
Figura 2-4: Nine Bridges Golf House em Seoul, perspectiva interior (Shigeru Ban Architects, 2010).....	16
Figura 2-5: Nine Bridges Golf House em Seoul, perspectiva aérea (Shigeru Ban Architects, 2010).....	16
Figura 2-6: Edifício Comercial Tamedia (Blumer-Lehmann AG, 2014).....	17
Figura 2-7: Edifício Comercial Tamedia, pormenor das ligações (Blumer-Lehmann AG, 2014). .....	18
Figura 2-8: Percentagem da produtividade industrial nos Estados Unidos da América. (Teicholz, 2004) .....	19
Figura 2-9: Sistema modular fechado. (SteelConstruction.info).....	21
Figura 2-10: Sistema modular semiaberto. (Newsteelconstruction, 2005). .....	22
Figura 2-11: Sistema Modular Aberto. (SteelConstruction.info).....	23
Figura 2-12: Perspetiva Loblolly House (KieranTimberlake Associates, 2006) .....	25
Figura 2-13: Vista Principal Loblolly House (KieranTimberlake Associates, 2006) .....	25
Figura 2-14: Perspetiva da Fincube (Dornob: Design Ideas Daily). .....	26
Figura 2-15: Pormenores da Fincube (Dornob: Design Ideas Daily).....	26
Figura 2-16: Quantidade de CO <sub>2</sub> , em toneladas, libertado durante o processo de extração de algumas matérias-primas para de fabricação de materiais (Nsw Forests Commercial Services, 2008).....	29
Figura 3-1: Diferenças entre o processo BIM e o processo tradicional de CAD (TEKLA, 2013) .....	31
Figura 3-2: Evolução do BIM (Hughes, 2013). .....	32
Figura 3-3: Potencialidades do BIM (Architectus). .....	33
Figura 3-4: Edifício modelado com base no LOD 100 (All Things BIM, 2008).....	35
Figura 3-5: Diplomatic Quarter Hotel (DQH), modelado em LOD 200 (Invicta Design Technologies, 2008).....	36

Figura 3-6: Baku Olympic Stadium, modelado em LOD 300 (Red Hot BIM, 2015).....	37
Figura 3-7: Damac Towers, modelado em LOD 400 (Invicta Design Technologies, 2008). ..	38
Figura 3-8: Medina Airport, modelado em LOD 500 (Invicta Design Technologies, 2008) ..	38
Figura 3-9: Esquema funcional da ferramenta ProNIC (Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia e Ciência, 2008). .....	48
Figura 3-10: Esquema de Funcionamento da plataforma WHE (Menendez et al., 2012). .....	50
Figura 3-11: Mecanismo do conceito WHE (esquerda) e a informação contida na base de dados (direita) (Menendez et al., 2012). .....	51
Figura 3-12: Cobertura do Exeter University Forum, cobertura real (esquerda) e modelo criado em Tekla (direita) (Tekla Corporation, 2015) Copyright University of Exeter. ....	52
Figura 3-13: Elementos constituintes da Loblolly House (KieranTimberlake, 2008) .....	53
Figura 4-1: Pormenor de uma laje inclinada para criação de uma piscina.....	57
Figura 4-2: Elementos estruturais do primeiro piso .....	58
Figura 4-3: Pormenor do terraço superior e as respetivas piscinas .....	58
Figura 4-4: Exemplo da utilização do <i>plug-in</i> Timber Framing para o Revit (Fudala, Piechnik, & Frank, 2012). .....	61
Figura 5-1: Ligações madeira-madeira: ligação cauda de andorinha.....	64
Figura 5-2: Ligações madeira-madeira: entalhe.....	64
Figura 5-3: Exemplo de descrição e cotagem dos elementos criados, para vigas com entalhes e para ligações cauda de andorinha.....	65
Figura 5-4: Ligação metálica: Cachorro metálico lado esquerdo (esquerda) e vista posterior (direita).....	65
Figura 5-5: Parametrização das ligações madeira-madeira, num plano longitudinal (à esquerda) e em corte (à direita).....	67
Figura 5-6: "Yes/No" Parameter atribuído a cada um dos entalhes da viga .....	67
Figura 5-7: Objeto criado em Revit exportado para o Rhinoceros através de um ficheiro .dwg. ....	69
Figura 5-8: Viga de madeira antes de ser manufaturada .....	70
Figura 5-9: Fase final de manufaturaç�o, j� com o entalhe produzido na extremidade da viga .....	70
Figura 5-10: Parametriza�o da chapa transversal .....	72
Figura 5-11:Parametriza�o da chapa principal .....	73
Figura 5-12:Parafuso modelado para o cachorro met�lico.....	73

Figura 5-13: Aplicação de cachorro metálico como ligação entre duas vigas de madeira. ....	74
Figura 6-1: Tabela com sistema de classificação Omniclass com recurso ao parâmetro Keynote .....	80
Figura 6-2: Janela de exportação, do <i>add-in</i> IFC 2015, em formato IFC com as várias opções exploradas.....	81
Figura 6-3: Exemplo da formatação a utilizar para o nome do ficheiro, de forma a ser possível a sua exportação .....	83
Figura 6-4: Exemplo da janela “Informação do Elemento” com a identificação e contagem do elemento .....	85
Figura 6-5: Janela de seleção dos <i>schedules</i> que se pretende exportar .....	86
Figura 6-6: Exemplo da exportação dos <i>schedules</i> existentes .....	87
Figura 6-7: Ficheiro .txt com os dados do <i>schedules</i> e com a formatação necessária para o Primavera .....	87
Figura 6-8: Exemplo do código escrito para desenvolvimento do <i>add-in</i> criado .....	88
Figura 7-1: Exemplificação do sistema de eixos definidos.....	92
Figura 7-2: Exemplo do código necessário para a introdução dos painéis verticais no modelo em Revit. ....	94
Figura 7-3: Parâmetros introduzidos para restrição das dimensões dos elementos criados.....	95
Figura 7-4: Pormenor dos parâmetros introduzidos para restrição das dimensões dos elementos criados. ....	96
Figura 7-5: Exemplo da codificação desenvolvida para introdução dos painéis MS horizontais. ....	97
Figura 7-6: Exemplo do código necessário para a introdução dos prumos verticais. ....	99
Figura 7-7: Exemplo da aplicação do conceito ModyHouse. ....	101
Figura 7-8: Código escrito em Dynamo para a criação da laje inferior. ....	103
Figura 7-9: Modyhouse no Ribbon Panel do Revit.....	104
Figura 7-10: Aspeto da janela inicial do ModyHouse.....	104
Figura 7-11: Conceito ModyHouse.....	105
Figura 7-12: Perspetiva ModyHouse.....	105
Figura 7-13: Módulos de menor dimensão do conceito ModyHouse .....	105
Figura 7-14: Exportação do modelo analítico da ModyHouse, do Revit para o Robot. ....	106
Figura 7-15: Exemplo de Mapa de quantidades da ModyHouse obtido através do <i>add-in</i> desenvolvido.....	107

Figura 7-16: Esquema de integração de técnicas BIM com o projeto de estruturas de madeira. .....	111
Figura A.I: Módulo <i>Timber Design</i> do Robot.....	123
Figura A.II: Definição do valor básico da velocidade de referência do vento com base no Quadro NA.I (CEN, 2009b, Quadro NA.I).....	124
Figura A.III: Definição das categorias de terreno e os respectivos parâmetros com base no quadro NA-4.1 (CEN, 2009b). ....	125
Figura A.IV: Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para paredes verticais de edifícios de planta retangular, com base no Quadro 7.1 (CEN, 2009b).....	128
Figura A.V: Altura de referência $z_e$ em função de $h$ e $b$ , e correspondente perfil de pressão dinâmica, retirada da Figura 7.4 do EC1 (CEN, 2009b).....	129
Figura A.VI: Definição das zonas em paredes verticais, retirada da Figura 7.5 do EC1 (CEN, 2009b).....	129
Figura A.VII: Zonas em coberturas de uma vertente, para a ação do vento atuante a $0/180^\circ$ (esquerda) e $90^\circ$ , (direita) (CEN, 2009b). ....	130
Figura A.VIII: Diagrama com esforços de corte nos prumos verticais.....	140
Figura A.IX: Verificação da segurança da seção .....	141

## LISTA DE TABELAS

Tabela A. I: Valor dos parâmetros de pressão externa na cobertura.....	131
Tabela A.II: Tabela resumo das ações atuantes para a cobertura.....	132
Tabela A.III: Características resistentes da madeira escolhida (Negrão & Faria, 2009). .....	133
Tabela A.IV: Tabela resumo das ações atuantes para o piso .....	136
Tabela A.V: Características da seção .....	137



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BIM	Building Information Modeling
bSDD	<i>buildingSMART</i> Data Dictionary
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CPM	Critical Path Method
EC0	NP EN 1990- Bases para o projecto de estruturas (Instituto Português da Qualidade, Trad.). Bruxelas.
EC1	NP EN 1990- Bases para o projecto de estruturas (Instituto Português da Qualidade, Trad.). Bruxelas.
EC5	Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. Bruxelas
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Classes
LOD	Level of development
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing
MMC	Métodos Modernos de Construção
MS	Modular System®
PERT	Program Evaluation and Review Technique
WBS	Work Breakdown Structure
WHE	Whole house engineering



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento Geral

A presente dissertação resulta de um protocolo entre a Universidade do Minho e empresa Newton, Consultores de Engenharia Lda., com o objetivo de permitir um estágio curricular em contexto empresarial, necessário e adequado ao complemento da formação do autor desta dissertação.

### 1.1.1 Estruturas de Madeira

O início da utilização da madeira como material de construção remonta à Pré-história, época desde a qual, se conhecem construções nas quais a madeira foi utilizada como principal elemento de construção, sendo estas, inicialmente, construções bastante simples, foram evoluindo à medida que se desenvolviam novas técnicas que permitiam trabalhar a madeira. A construção em madeira evoluiu desde simples abrigos até à construção em altura de edifícios.

A madeira foi durante muitos anos o material de construção de eleição, principalmente devido à facilidade com que este era encontrado na natureza, e devido à facilidade com que era transportado e trabalhado, comparativamente com os outros materiais que se encontravam disponíveis, como é o caso da pedra.

No início do século XX, devido ao aparecimento do betão armado, a madeira começou a perder relevância como material de construção. Isto aconteceu principalmente devido às excelentes características intrínsecas do betão e também devido a várias conotações depreciativas associadas às construções em madeira, de uma forma geral, e no caso concreto de Portugal, também devido a dificuldades de financiamento devido a um enquadramento jurídico geral, que não tem em conta as especificidades da madeira (Branco, 2013). Tais dificuldades existem, pois o enquadramento jurídico vigente, considera que as construções

modulares não são bens imóveis, existindo conseqüentemente uma dificuldade acrescida de acesso ao financiamento por parte dos potenciais compradores.

Devido a tudo isto, a construção de casas de madeira em Portugal representa apenas cerca de 5% do setor do mercado habitacional português (Salta, 2001).

Nos últimos anos, um pouco por toda a Europa, assiste-se a um renascimento da utilização da madeira no setor da construção, com o aparecimento de uma enorme variedade de soluções construtivas à base de madeira. A sua preferência, no que respeita a matéria-prima estrutural, deve-se sobretudo às suas propriedades físicas e mecânicas que proporcionam, num produto final, conforto térmico e grande valor estético, associadas a um baixo consumo de energia para sua transformação. Além disto, a questão ambiental tem ganho relevo, sendo muitas vezes, este o motivo que leva à escolha da madeira como material a utilizar. (Branco, 2013).

#### 1.1.2 BIM

O termo BIM, tal como utilizado pelo Comité NBIMS (National Building Information Modeling Standard) representa as informações da construção transversalmente integradas, que são recolhidas e aplicadas em todo o ciclo de vida de todas as instalações, sendo preservadas e trocadas de forma eficiente, com recurso a uma tecnologia aberta e interoperável para o negócio, proporcionando uma modelação funcional e física, e suporte a processos e operações (NIBS, 2008).

O conceito BIM baseia-se num princípio de partilha da informação entre todos os intervenientes, durante as fases do ciclo de vida de um edifício (projeto, construção, manutenção, desconstrução), nomeadamente entre a arquitetura, as especialidades, os construtores e os donos de obra, materializando-se na existência de um modelo digital tridimensional, acessível através de *software* e que permite a construção virtual desse mesmo edifício (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012). A Figura 1-1 descreve simplificadamente o processo de trabalho associado ao BIM e o que é o BIM.



Figura 1-1: Processo de trabalho BIM (TEKLA, 2015).

Nos últimos anos a utilização de técnicas BIM a nível mundial tem aumentado, passando de uma fase inicial em que a sua utilização era escassa, principalmente devido a uma inércia na adoção por parte dos intervenientes da construção, para ser inclusive obrigatória para a execução de obras públicas, em alguns países, já a partir de 2016, como é o caso do Reino Unido, onde será obrigatório, por parte do Governo britânico, a utilização, pelas empresas de projetos em BIM 3D totalmente colaborativo (com todo o projeto e ativos de informação, documentação e dados em formato eletrónico) (CabinetOffice, 2011).

## 1.2 Objetivos da Investigação e Resultados esperados

A presente dissertação tem como primeiro objetivo a compreensão das possibilidades de integração de técnicas BIM no projeto, fabrico e montagem de estruturas de madeira. Uma vez compreendidas estas possibilidades, pretende-se que sejam apresentadas soluções que permitam facilitar esta mesma aplicação.

Dentro da aplicação de técnicas BIM a estruturas de madeira, pretende-se especificamente que sejam estudadas também as vantagens da aplicabilidade de técnicas BIM, em estruturas modulares de madeira, demonstrando assim as vantagens que a utilização destas técnicas representam para este setor da área da construção.

Pretende-se também efetuar a modelação de elementos paramétricos, com a finalidade de criar uma biblioteca de informação, que posteriormente poderão ser utilizados em projetos reais que se pretendam desenvolver.

Durante todo o desenvolvimento desta dissertação, pretende-se resolver os problemas propostos pela empresa com a qual se vai trabalhar, conjuntamente, com a finalidade de otimizar a aplicação do BIM no desenvolvimento dos seus projetos.

Como objetivo final espera-se poder exemplificar a aplicação do BIM a estruturas de madeira, de modo a tornar a mesma mais acessível a qualquer utilizador, possibilitando a sua implementação e divulgação na prática da engenharia e ao mesmo tempo divulgar a madeira como material de construção.

Os resultados esperados com a realização desta dissertação são:

- Estudo e recolha do estado de arte sobre o BIM, relativamente às fases de BIM 3D, BIM 4D e BIM 5D, e sobre projeto e construção de estruturas de madeira;
- Parametrização dos objetos específicos utilizados no projeto e na construção de estruturas de madeira;
- Introdução dos objetos criados num caso de estudo;
- Mapeamento dos diferentes processos e das respetivas trocas de informação.

Pretende-se ainda, que com a presente dissertação de mestrado, as vantagens da aplicação de técnicas BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira sejam clarificadas, identificando as mais-valias de utilização do mesmo para a realização dos processos descritos.

### **1.3 Resumo e Organização dos Capítulos**

A presente dissertação encontra-se dividida em nove capítulos. A revisão bibliográfica apresentada no Capítulo 2 é relativa à utilização da madeira como principal material de construção. Neste capítulo são abordadas as características específicas da madeira, assim como alguns exemplos da sua utilização e os motivos pelo qual, geralmente, é escolhida como material de construção.

A revisão bibliográfica apresentada no Capítulo 3 é relativa ao BIM. Neste capítulo é explicado o que é o BIM, como poder aplicado e algumas das vantagens resultantes desta aplicação. O último subcapítulo deste capítulo apresenta a integração do BIM no projeto, fabrico e montagem de estruturas de madeira.

O Capítulo 4 é relativo à fase inicial de modelação BIM. Neste capítulo é descrito um caso de estudo que permitiu uma primeira aproximação prática à metodologia BIM. São também descritas algumas vantagens e desvantagens que foram percebidas durante este mesmo processo de aprendizagem, assim como a forma em que foram ultrapassadas algumas dificuldades encontradas ao longo desta fase.

O Capítulo 5 discute a temática da criação de objetos paramétricos, descrevendo o processo de modelação paramétrica de alguns objetos, com o objetivo de iniciar a criação uma biblioteca de objetos. Neste capítulo são exemplificados os objetos criados assim como as dificuldades que tiveram de ser ultrapassadas para a criação dos mesmos.

O Capítulo 6 analisa a integração do BIM com sistemas de classificação e exportação de resultados. Ao longo deste capítulo é apresentado um caso real de integração do BIM com sistemas de classificação e exportação de resultados, sendo identificadas as principais condicionantes desta interação, bem como a forma como foram ultrapassadas através da criação de um *add-in*.

O Capítulo 7 descreve a integração do BIM com a modelação automática de objetos. Neste capítulo é descrita uma metodologia que foi desenvolvida que possibilita a modelação automática de objetos, através da criação de um *add-in*, com o objetivo de otimizar o processo de modelação de objetos durante a fase de projeto. Além disso são apresentados possíveis desenvolvimentos futuros.

O Capítulo 8 é relativo às conclusões inferidas durante o desenvolvimento desta dissertação, sendo também abordados os resultados que foram atingidos e a forma como estes podem

melhorar o processo de aplicação de técnicas BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira.

O último capítulo, o Capítulo 9 apresenta todas as referências bibliográficas que foram apresentadas ao longo desta dissertação.

## 2. ESTRUTURAS DE MADEIRA

### 2.1 Enquadramento Geral

Algumas das principais vantagens da utilização da madeira como elemento de construção são, as suas propriedades físicas e mecânicas que proporcionam, num produto final, conforto térmico e grande aptidão estética, associadas a um baixo consumo de energia para sua transformação (Branco, 2013).

Outra vantagem da utilização da madeira consiste no facto de a madeira ser um material renovável. A utilização de madeira permite, deste modo, a diminuição da emissão de dióxido de carbono, algo fundamental, devido à atual conjuntura de redução da emissão de dióxido de carbono.

A madeira é também um material fácil de trabalhar (Branco, 2014) no qual existe uma elevada experiência de utilização, sendo assim conhecidas as especificidades da mesma (formas de ser trabalhada e técnicas de ser aplicada), visto a madeira já ser utilizada há vários séculos.

O facto de a madeira ser um material de origem natural, também é em si mesmo, uma desvantagem, visto que devido a isto, são necessárias condições especiais de conservação, pois o seu estado de conservação é muito influenciado por fatores externos, como é o caso da humidade, teor em água, variação de temperatura e agentes biológicos (fungos, animais xilófagos). Além disso o facto de a madeira ser um material de origem natural, faz com que esta não seja homogénea, não apresentando assim os mesmos valores de resistência para um mesmo plano, especialmente devido a imperfeições (nós, desvio da direção do fio, fendas) sendo também um material isotrópico, ou seja, apresenta direções preferenciais, nas quais deve ser trabalhada (Branco, 2014).

Estes fatores para além de condicionarem as exigências de conservação que têm de ser impostas à madeira, também vão influenciar as condições de aplicação.

Outra desvantagem consiste no fato de as zonas das ligações serem zonas mais frágeis do que a restante estrutura, sendo por isso zonas mais propícias a danos (Negrão & Faria, 2009)

Relativamente aos processos construtivos utilizando madeira, existem quatro processos diferentes de construção, quem tem vindo a ser desenvolvidos ao longo do tempo: casa de troncos, casas com estrutura pesada de madeira, casas com estrutura leve de madeira e casas em estrutura prefabricada modular (Lourenço & Branco, 2012).

## **2.2 Caracterização Mecânica e Funcionamento**

O fato de a madeira ser um material celular tubular faz com ela tenha um comportamento anisotrópico, exibindo uma resistência à tração, na direção perpendicular às fibras, muito menor que a resistência à compressão nesta direção, ou que a resistência à tração ou compressão na direção paralela à direção das fibras. Deste modo, no dimensionamento de elementos de madeira, é necessário evitar as trações perpendiculares às fibras, sendo assim estes elementos projetados para resistências e rigidez baixas, nesta direção. Esta preocupação estende-se tanto para os esforços transmitidos por outros elementos, como a esforços transmitidos pelos ligadores. O fato da madeira ser um material anisotrópico, faz também, que a retração/dilatação na direção tangencial seja o dobro da que ocorre na direção radial (Branco, 2014).

As estruturas de madeira apresentam algumas especificidades, devido às suas propriedades características deste material. De seguida serão apresentadas algumas das implicações na análise estrutural de elementos de madeira, que estas mesmas características naturais impõem:

- Obrigatoriedade de analisar as vibrações, em estado limite de utilização;
- Obrigatoriedade de analisar análises lineares de 2ª ordem, em estruturas específicas como é o caso de pórticos;
- Análise cuidada das ligações, devido à dificuldade de cálculo das mesmas, sendo por isso necessária uma cuidadosa escolha do modelo de cálculo a utilizar,

harmonizando este com o processo de ligação escolhido. Este cuidado, deve-se também, ao facto de estas seções serem as seções mais propícias a danos;

- Visto a madeira ter um módulo de elasticidade muito baixo, comparativamente a outros materiais, como por exemplo o betão (cerca de um terço), a análise das deformações é fundamental, pois geralmente, esta será mais condicionante que a resistência às ações atuantes;
- Verificação das variações de dimensão das peças, resultantes da variação de temperatura e humidade do ambiente envolvente das estruturas;
- Como já referido, a importância da anisotropia da madeira e a respetiva influência que este fator tem no modo de montar as peças (Negrão & Faria, 2009).

A resistência ao fogo é outra característica que é fundamental abordar ao descrever caracterização mecânica e funcionamento da madeira.

O fogo é uma forma de combustão que ocorre de uma forma violenta e autossustentada. Para que ocorra é necessária a presença simultânea de calor (faísca, chama, radiação térmica), combustível (neste caso a madeira) e de um comburente (oxigénio). Quando estes três elementos se apresentam num determinado ambiente, sob condições propícias, ou seja, quando ocorre reação, surge o fogo (Moura Pinto, 2004).

A madeira é um material combustível devido à presença de carbono, oxigénio e hidrogénio, provenientes da celulose e da lenhina, deste modo, a madeira apresenta um fraco comportamento em termos de reação ao fogo, entenda-se, à combustão. Até ocorrer a combustão, a reação, devido ao aumento de energia transferida pelo aumento de temperatura, é endotérmica, provocando esta uma diminuição do teor em água, de modo produzir um equilíbrio interno (Negrão & Faria, 2009). Assim, o teor em água vai atrasar os efeitos produzidos pela combustão nos elementos de madeira.

Em relação à resistência ao fogo, a madeira apresenta um bom comportamento, tendo melhor comportamento ao fogo do que estruturas equivalentes de betão ou aço. Tal acontece, pois mesmo que a temperatura devido ao incêndio, aumente largamente para lá dos 280°C, não ocorre rotura súbita, conservando assim boas características mecânicas

durante algum tempo, mesmo para temperaturas de 1000°C, ao contrário de elementos metálicos nos quais as características mecânicas reduzem drasticamente a partir dos 300°C, uma vez que ocorre uma alteração das suas propriedades físico-mecânicas, ou seja, ocorre plastificação. Esta resistência da madeira deve-se à camada protetora que se cria no seu exterior, devido à zona carbonizada, que é cerca de seis vezes mais isolante que a madeira original (Negrão & Faria, 2009).



Figura 2-1: Comparação entre uma viga de madeira e uma viga de aço após um incêndio (Moura Pinto, 2004)

Contrariamente aos elementos metálicos, a madeira não sofre degradação das suas características mecânicas com o efeito da temperatura, sofre sim, uma diminuição da sua seção resistente, o que provoca uma conseqüente diminuição da sua capacidade resistente (ConsulFogo, 2005).

A classificação das classes de resistência é em função do tempo que estas vão conseguir manter as suas características mecânicas (Autoridade Nacional de Protecção Civil, 2009), apresentando assim a madeira vantagens relativamente a outros materiais, os quais apresentam uma rápida degradação das suas propriedades mecânicas.

Resumindo, apesar de a madeira ser um material inflamável resiste particularmente bem a uma exposição prolongada ao fogo visto que a combustão da madeira é lenta, regular e o seu comportamento é previsível (ConsulFogo, 2005).

## 2.3 Novas técnicas construtivas

Os métodos modernos de construção (MMC) envolvem uma ampla gama de técnicas e materiais que têm por principal objetivo minimizar a quantidade de tempo necessário para a construção de um edifício no local (Branson, 2013). Estes métodos, geralmente, envolvem pré-fabricação e *off-site construction*. Uma obra é designada como *off-site construction*, quando a montagem decorre num local diferente daquele em que são produzidos os conjuntos de elementos a utilizar e várias especificações de cadeias de fornecimento, e pode ser definida, segundo o livro *A Guide to Modular Design and Construction* como “a prática de montagem de componentes de uma estrutura numa fábrica e transporte de conjuntos completos ou subconjuntos para o local de construção onde o edifício está a ser localizado.” Segundo ainda este mesmo guia, esta técnica tem o potencial de trazer um equilíbrio entre custo, prazo e extensão da obra, em virtude de fabricar elementos de maior dimensão (Smith, 2010).

Existem cinco categorias de em que o MMC são classificados, sendo o sistema de construção:

- Prefabricação volumétrica (*Off-site manufactured–volumetric*): unidades tridimensionais são produzidas em fábrica e totalmente preenchidas antes de serem transportadas para o local e empilhadas em cima de fundações já preparadas, formando assim habitações;
- Prefabricação apainelada (*Off-site manufactured – panellised*): painéis lisos são construídos em fábrica e transportados para o local para serem montados e assim formar uma estrutura tridimensional, ou então encaixarem dentro de uma estrutura já existente;
- Prefabricação híbrida (*Off-site manufactured – hybrid*): unidades volumétricas integradas com sistemas apainelados;
- Prefabricação de subconjuntos e componentes (*Off-site manufactured -sub-assemblies and components*): componentes maiores que tanto podem ser incorporados quer em casas convencionais quer em habitações MMC;

- MMC não prefabricados (*Non-off-site manufactured MMC*): métodos de construção inovadores utilizados no local de construção e utilização das componentes tradicionais, sendo estes utilizados de uma forma inovadora (BeAware, 2009).

Os MMC incluem a utilização de pórticos de madeira (*timber frame*), pórticos de perfis metálicos de baixa espessura (*light gauge steel frame*), e painéis estruturais isolados (*Structural insulated panels (SIPs)*).

Os painéis estruturais isolados são um sistema de construção de alta performance que consiste num núcleo de espuma isolante ensanduichada entre duas faces estruturais, que geralmente, são painéis de partículas orientadas (OSB). Os SIPs são produzidos em fábrica em condições controladas e podem ser produzidos com grande variedade de formas. Este sistema de construção é extremamente resistente, energeticamente eficiente e rentável (Structural Insulated Panels Association, 2015).

## 2.4 Novos Materiais

Nos últimos anos o setor da madeira tem evoluindo a nível da produção, tanto da madeira como dos derivados desta. Esta evolução permitiu que surgissem no mercado produtos derivados da madeira que pretendem colmatar as limitações naturais da madeira, obtendo-se assim produtos de elevada resistência, baixa variação comportamental e alta tipificação, procurando uma standardização e normalização, que garanta a qualidade aos produtos de madeira e seus derivados (Branco, 2013).

Os derivados de madeira mais relevantes e com maior aplicação são os aglomerados de partículas orientadas (OSB), os contraplacados, o contraplacado lamelado, os aglomerados de fibras de média densidade (MDF), a madeira lamelada colada, a lamelada colada cruzada, a madeira micro-laminada, as vigas de perfil I, os duolam e ainda a madeira KVH que consiste em madeira maciça constituída por elementos retos de secção retangular obtidos pela colagem topo a topo de peças de madeira maciça (Lourenço & Branco, 2012). Hoje em dia, estes novos desenvolvimentos proporcionam uma abordagem diferente, relativamente à madeira como elemento estrutural, sendo possível a construção de edifícios

em altura, graças a estes novos elementos. Com uma correta seleção dos métodos construtivos, edifícios em madeira com 20 ou mais pisos são agora tecnicamente executáveis (Branco, 2013).

A temática da utilização de novos materiais derivados da madeira possui vários fatores de motivação, sendo o de maior importância o perfil sustentável associado à madeira. A madeira lamelada colada cruzada (MLCC) é o material de eleição, quando se pretende utilizar sistemas construtivos em painéis, sendo este derivado alvo de diversos estudos que pretendem potencializar a sua utilização neste tipo de construções (Lourenço & Branco, 2012).

Como exemplo de aplicação destes novos materiais à construção, destaca-se o Metropol Parasol em Sevilha, Espanha. Esta estrutura foi projetada pelo arquiteto alemão Jurgen Mayer-Hermann e concluída em 2011, é uma das maiores construções de madeira do mundo, com uma altura de 28 metros e 11,000 metros quadrados de área e foi construída com recurso a Finnforest Kero LVL (Laminated Veneer Lumber). O LVL é um produto de madeira de engenharia de alta resistência formada por reunião de lâminas de madeira (folhas finas de madeira que são de espessura uniforme) (Architecture & Design 2014) que são unidas através de um adesivo de fenol formaldeído (Bal, 2014), sendo neste caso, posteriormente alvo de uma pulverização de poliuretano de modo a impermeabilizar a estrutura. As Figura 2-2 e Figura 2-3 ilustram a referida estrutura e a possível utilização de novos materiais tais como o LVL.



Figura 2-2: Metropol Parasol por Jurgen Mayer-Hermann (Nikkol Rot for Holcim, 2014)



Figura 2-3: Metropol Parasol por Jurgen Mayer-Hermann (Nikkol Rot for Holcim, 2014).

Dada a sua organização estrutural, o LVL, é uniforme e comparável em resistência à madeira maciça, betão ou aço. É também, mais durável e menos propenso ao encolhimento ou deformação, dependendo disso da espécie de madeira utilizada. Além disto apresenta baixo custo relativo, e o facto de que pode ser fabricado com qualquer comprimento e formas desejadas, o que abre a porta para uma infinidade de possibilidades de *design* (Carver, 2014).

## **2.5 Exemplos de Construções em Madeira**

Um pouco por todo o mundo existem diversas construções em madeira que sobressaem e que demonstram as potencialidades deste tipo de construção. Um dos maiores especialistas a nível mundial em construções de madeira é o Arquitecto japonês Shigeru Ban, vencedor do prémio Pritzker em 2014 e professor na Kyoto University of Art and Design (The Hyatt Foundation, 2015). Uma das suas construções mais reconhecidas, tendo a madeira como base é o Nine Bridges Golf House em Seoul. O Nine Bridges Golf House é uma obra com 16000 metros quadrados que serve de instalação de um campo de golfe. Este edifício é constituído por um nível subterrâneo e três níveis acima do nível do solo.

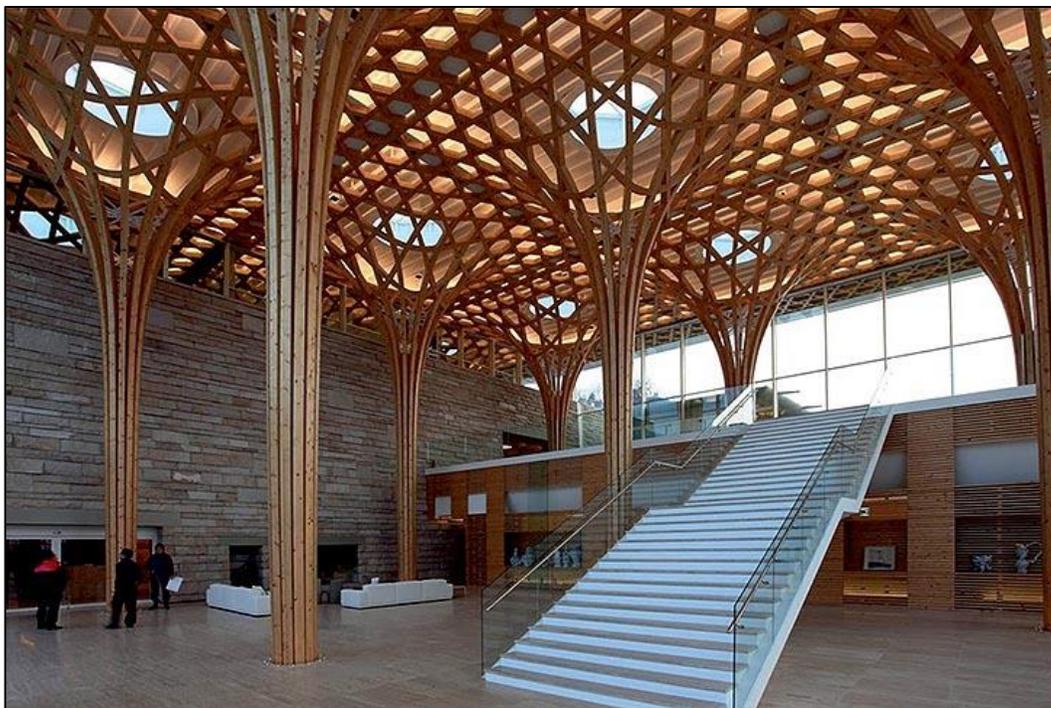


Figura 2-4: Nine Bridges Golf House em Seoul, perspectiva interior (Shigeru Ban Architects, 2010).

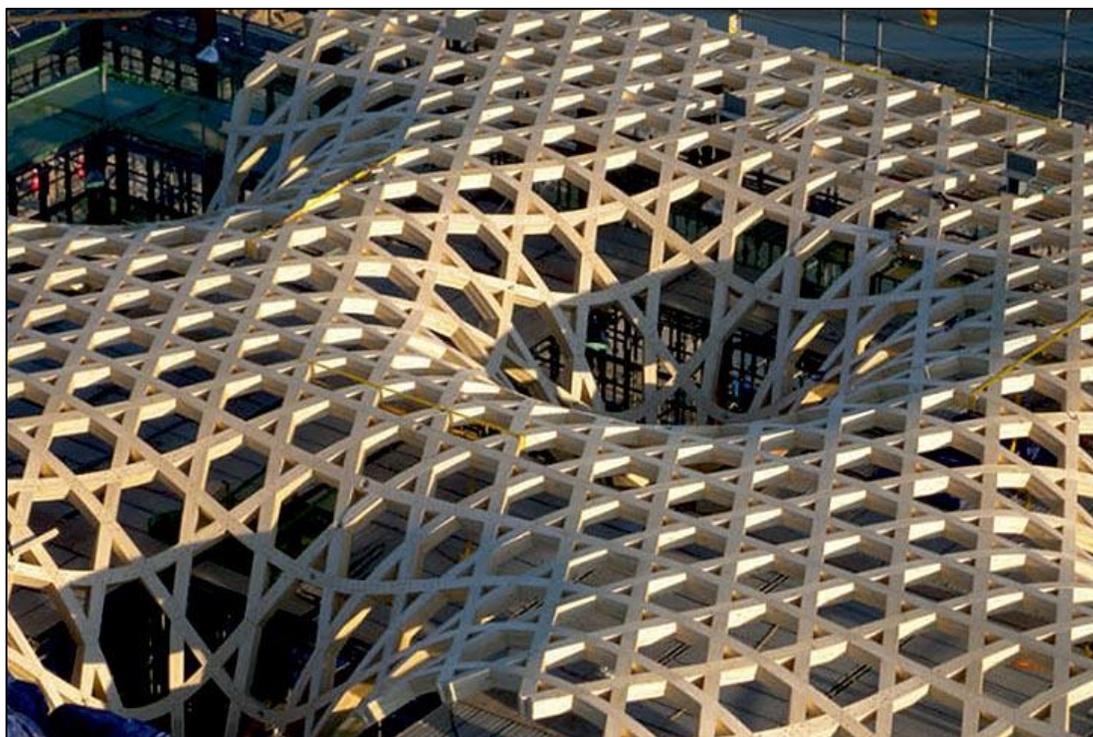


Figura 2-5: Nine Bridges Golf House em Seoul, perspectiva aérea (Shigeru Ban Architects, 2010).

O Nine Bridges Golf Club House é um exemplo da versatilidade de *design* possibilitada pela utilização de madeiras MLC (madeira lamelada colada).

Outra obra desenvolvida por este arquiteto, que se destaca dentro desta temática é o Edifício Comercial Tamedia, com 21 metro de altura. O objetivo do desenvolvimento deste edifício foi construir a totalidade da estrutura em madeira de maneira similar aos edifícios tradicionais japoneses, tanto os elementos estruturais, como o sistema de uniões entre eles, o qual também é composto predominantemente de madeira. Este sistema utiliza utilizados pinos especiais, fabricados com madeira de Haya (*Fagus Sylvatica*) que servem tanto para a transmissão de cargas, como de reforço para outros elementos estruturais, em vez de elementos metálicos. A estrutura portante composta por pilares e vigas gêmeas de secção transversal ovalada, foi desenhada através de um processo de fresagem a partir do Controle Numérico Computadorizado (CNC) (Vergara, 2015).



Figura 2-6: Edifício Comercial Tamedia (Blumer-Lehmann AG, 2014)



Figura 2-7: Edifício Comercial Tamedia, pormenor das ligações (Blumer-Lehmann AG, 2014).

## 2.6 Construções e Sistemas Pré-Fabricados e Modulares

Tem-se desenvolvido entre os intervenientes da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) um maior interesse por abordagens construtivas que permitam uma maior eficiência e precisão, que sejam ecológicas, que permitam ter um maior rendimento da mão-de-obra, que começa a ser escassa, e que permitam tempos de construção menores (Smith, 2010), mas que ao mesmo tempo, mantenham as características próprias inerentes à utilização da madeira (Branco, 2013). Tal interesse surge, em parte, devido ao baixo rendimento que a o setor da construção apresenta face a outras indústrias. Para além de este rendimento ser, como já referido, baixo, comparativamente com outras indústrias, o rendimento ao longo dos anos deste mesmo setor, tem vindo a diminuir, contrariamente ao que seria de esperar. A Figura 2-8 ilustra a variação da percentagem da produtividade industrial nos Estados Unidos da América, desde 1964 ate 2004.

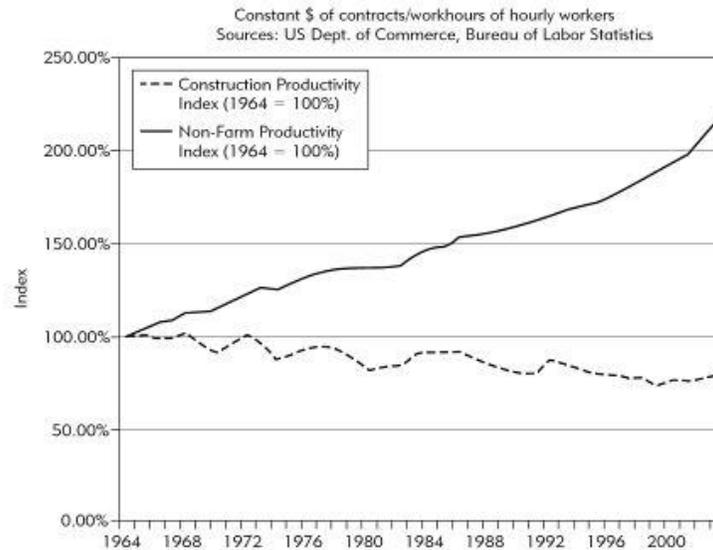


Figura 2-8: Percentagem da produtividade industrial nos Estados Unidos da América. (Teicholz, 2004)

Como se pode observar, existe um défice entre a evolução da produtividade no setor da construção, comparativamente com as outras indústrias, que se acentua com o passar do tempo.

Outro fator que produziu um aumento de procura dos referidos métodos de construção foi o crescimento da classe média, até cerca de 2010, o que exige um maior número de habitações e uma maior qualidade das mesmas. Este aumento de procura obrigou a indústria da construção a repensar os seus processos construtivos, o que potencializou o desenvolvimento das construções modulares (Smith, 2010).

As construções pré-fabricadas envolvem um processo de planeamento, conceção, fabricação, transporte e montagem de elementos de construção, de modo a proporcionar uma rápida montagem no local, e um maior grau de acabamento do que na tradicional construção no local. Além disto, incluem uma variedade de materiais, escalas e sistemas, *software* digital, métodos de produção e fabricação e ainda inovações a nível de integração tecnológica e social.

Os elementos pré-fabricados produzidos incluem componentes, apainelados, e elementos modulares implantados com funções estruturais, de delimitação exterior, serviço e divisórias interiores (R. Smith, 2014).

Visto a madeira ser um material extremamente poroso, a prefabricação em fábrica permite que esta seja mantida seca e a uma temperatura constante durante a fabricação. Para além disto a pré-fabricação garante também uma grande precisão no corte e montagem, sendo esta a maior vantagem deste sistema (Smith, 2010).

Assim a coordenação dimensional modular é uma metodologia, que visa criar uma dimensão padrão, que racionalize a conceção e a construção de edifícios, que permite elevar o grau de industrialização da construção, mantendo no entanto a liberdade de conceção arquitetónica dentro de valores aceitáveis (Castelo, 2008).

Cada módulo é uma unidade de construção padronizada, que foi concebida para facilitar a montagem. Esta unidade tem um nível de acabamento maior que os outros métodos de pré-fabricação, tendo a vantagem de não se restringir em escala (Smith, 2010).

Os sistemas construtivos que têm por base os fundamentos da construção modular podem ser classificados como sistemas modulares abertos, fechados ou semiabertos, uma mistura de um sistema aberto com um sistema fechado.

Os sistemas modulares fechados, também conhecidos como módulos de quatro lados, são desenhados de modo a que as cargas sejam transferidas continuamente ao longo das suas paredes longitudinais. Isto é conseguido visto que o módulo é constituído por quatro paredes fechadas que criam espaços do tipo celular. A Figura 2-9 ilustra a composição de um sistema modular fechado.

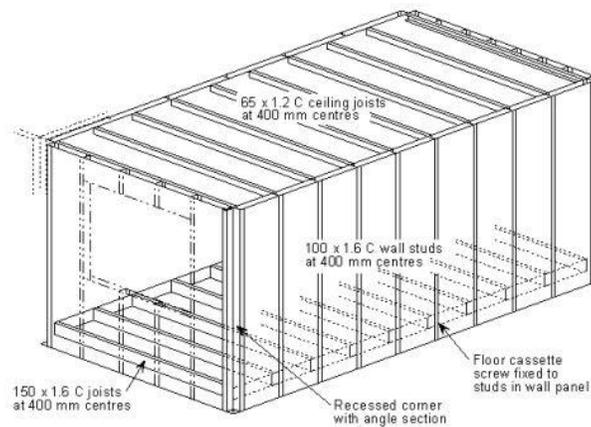


Figura 2-9: Sistema modular fechado. (SteelConstruction.info)

Devido às suas características estruturais, a altura máxima de um edifício modular, vai depender da resistência à compressão dos seus elementos constituintes, assim como das ligações entre as paredes (Lawson, 2007).

Estes módulos são produzidos através de uma série de painéis 2D, começando com o painel horizontal que serve base do módulo, até que cada painel de parede e de teto são ligados, geralmente, através de parafusos. Neste tipo de módulo, as paredes transferem as cargas verticais, portanto as paredes longitudinais do módulo superior são projetados para se sobreporem às paredes do módulo abaixo (SteelConstruction.info). Deste modo, o sistema modular fechado, permite um elevado grau de padronização e pré-fabricação (Branco, 2013).

Os módulos semiabertos diferem dos módulos fechados, na medida em que, podem ser projetados com lados parcialmente abertos, desde que sejam introduzidas prumos intermédios e de canto, aos quais existe a necessidade de acrescentar uma viga de ponta contínua no painel do chão. A Figura 2-10 representa um exemplo de um módulo semiaberto. A largura da abertura é limitada pela resistência à encurvadura e rigidez do elemento de bordadura do painel do chão, e a altura máxima do edifício é controlada pela resistência das estacas internas e de bordadura. Além disto a estabilidade global é garantida através de suportes adicionais localizados nas paredes dos módulos.



Figura 2-10: Sistema modular semiaberto. (Newsteelconstruction, 2005).

Os sistemas modulares abertos, também conhecidos por sistemas modulares suportados nos cantos, são projetados de modo a permitir lados totalmente abertos, através da transferência das cargas para as estacas de bordadura, sendo que a estrutura do módulo é muitas vezes construída através de elementos de aço laminado a quente. Neste caso, a estabilidade do edifício assenta num sistema de suporte separado em forma de X, que se apoia em diferentes paredes. Esta característica faz com que os sistemas modular totalmente abertos, geralmente não sejam utilizados em edifícios de mais de três pisos (Lawson, 2007). O sistema aberto pode também ser constituído através do uso de painéis, os quais vão suportar todas as cargas atuantes no módulo (Branco, 2013).

A diferença entre os sistemas modulares fechados e abertos é que os últimos possibilitam criar espaços abertos de maior dimensão e alargam os graus de liberdade. Deste modo existe uma mais facilidade em criar configurações distintas (Branco, 2013), permitindo uma maior liberdade arquitetónica. A ver Figura 2-11 representa um sistema modular aberto.



Figura 2-11: Sistema Modular Aberto. (SteelConstruction.info)

Em qualquer destes processos, a produção em série permite que haja uma diminuição dos custos, possibilitando também que todo o processo de controlo de qualidade seja mais exigente, permitindo por sua vez que o nível qualitativo de cada peça seja maior (Branco, 2013).

Nos últimos anos tem aumentado a procura por elementos prefabricados modulares. Apesar disso, tal crescimento não tem sido tão acentuado como inicialmente esperado, visto que, tem-se manifestado uma certa inércia, em considerar a prefabricação e a modularização como práticas aceites. Tal deve-se em grande parte à perceção por parte dos proprietários, que associam erroneamente as palavras modulares e pré-fabricado com conceitos como barato, baixa qualidade ou temporário, algo que se opõe ao conceito real dos mesmos, que na realidade são produtos fabricados (Cowles & Warner 2013). Contudo, espera-se que a procura por este tipo de construções continue a aumentar nos próximos anos, principalmente devido aos seguintes fatores:

- A constante pressão para diminuir o preço das habitações;

- A necessidade de atingir uma vantagem competitiva em mercados em desenvolvimento, que requerem o uso da prefabricação e da modularização, tais como, hospitais, hotelaria e educação;
- A falta de, ou a eminente falta de, trabalhadores de construção qualificados;
- Maior coordenação de projeto com a construção, através da utilização do BIM;
- A necessidade de aumentar a produtividade (Cowles & Warner 2013).

O objetivo do mercado da construção prefabricada modular é fabricar produtos para construir de uma forma eficiente, em ambientes controlados, com elevados padrões de qualidade. Para isso pretende-se transformar os estaleiros de obra em locais de montagem, onde uma série de produtos manufaturados são reunidos e montados no produto acabado (Cowles & Warner 2013).

## **2.7 Exemplos de Construções Modulares em Madeira**

O primeiro exemplo apresentado de construções modulares em madeira é a Loblolly House, em Maryland, projetada pela empresa KieranTimberlake Associates. Pensada a partir do conceito de construção em árvores, a Loblolly House foi construída a partir de módulos integrados que são fabricados fora do local da construção e que são posteriormente assemblados entre si, sendo deste modo a casa montada em menos de seis semanas (KieranTimberlake, 2006). A Figura 2-12 e a Figura 2-13 ilustram o conceito Loblolly House.



Figura 2-12: Perspetiva Loblolly House (Kieran Timberlake Associates, 2006)



Figura 2-13: Vista Principal Loblolly House (Kieran Timberlake Associates, 2006)

O segundo exemplo é um conceito denominado cabine Fincube e consiste num módulo portátil. É constituído principalmente por madeira e vidro podendo assim ser desmontado e movido. Este módulo foi criado para ter um pequeno impacto ambiental, tornando-se *eco-friendly* e impondo uma pequena pegada ambiental (Dornob: Design Ideas Daily).

A Figura 2-14 e a Figura 2-15 apresentam uma perspectiva e pormenores construtivos de conceito Fincube.



Figura 2-14: Perspetiva da Fincube (Dornob: Design Ideas Daily).



Figura 2-15: Pormenores da Fincube (Dornob: Design Ideas Daily).

## 2.8 Impacto ambiental

A temática do impacto ambiental tem ganho relevo nos últimos anos devido às variações climáticas que se têm verificado, assim como ao comprovado aumento das emissões de gases de estufa. Por exemplo, nos Estados Unidos da América é utilizado 26 por cento mais energia do que há 20 anos atrás, e o setor da construção representa 39 por cento do consumo de energia e 39 por cento das emissões de dióxido de carbono (R. Smith 2010).

Uma revisão dos principais estudos científicos internacionais, permitiu concluir que o uso de produtos de madeira, a partir de florestas geridas de forma sustentável, em vez de produtos de construção que não são produzidos a partir de madeira, como o cimento, plásticos ou metais, significa menos emissões de gases com efeito de estufa (GEE). A redução desses gases é um fator chave na estabilização e, eventualmente, redução das alterações climáticas.

Minimizar os impactos dos GEE dos produtos e edifícios, requer a consideração de todo o ciclo de vida, incluindo a produção, utilização e eliminação. Devido a isto, foi avaliada a emissão de gases de estufa dos produtos de madeira, comparativamente com os produtos de construção que não são produzidos a partir de madeira, durante todo o ciclo de vida dos mesmos. Esta avaliação foi efetuada pela FPInnovations que efetuou a revisão de sessenta e seis estudos, incluindo documentos em Inglês, Sueco ou Finlandês, com ênfase em artigos revistos por pares científicos, dentre os quais quarenta e nove estudos que apresentaram dados e análises originais sobre os impactos de GEE de produtos de madeira. As conclusões a que se chegou foram as seguintes:

- A fabricação de produtos de madeira requer menos energia total - especialmente energia a partir de combustíveis fósseis - do que a fabricação da maioria dos materiais alternativos;
- A utilização de produtos de madeira permite evitar as emissões de gases, provocadas pelo processo industrial de fabricação de cimentos;
- A utilização de produtos de madeira permite o armazenamento de carbono em produtos, uma vez que a madeira é composta por cerca de 50 por cento de carbono,

por peso seco. As árvores, à medida que crescem, absorvem e armazenam carbono a partir do dióxido de carbono atmosférico, absorvido durante a fotossíntese. Assim, os produtos de armazenam madeira fisicamente o carbono que estava anteriormente na atmosfera como um gás de efeito de estufa;

- São evitadas emissões de combustíveis fósseis, devido à substituição pela biomassa, uma vez que, no final de sua vida útil os produtos de madeira, os resíduos de biomassa substanciais e a madeira de processamento, podem ser utilizados como biocombustível para substituir os combustíveis fósseis e evitar as emissões de carbono fósseis. Muitos destes estudos, indicam que a recuperação e a combustão da biomassa e dos subprodutos associados com produtos de madeira, é o contribuinte mais significativo para os benefícios do uso de produtos de madeira, durante o ciclo de vida dos gases de efeito de estufa (Roger Sathre & O'Connor, 2008);
- A importância que esta temática adquiriu nos últimos anos, esta na génese de sistemas de certificação ecológica como o BREEAM, LEED, Green Star entre outros, que pretendem estabelecer normas que melhorem esta situação e conduzam a uma construção com menor impacto ambiental. O objetivo da aplicação destes sistemas de classificação e da utilização da madeira como material de construção é que os materiais utilizados durante a construção sejam o menos poluentes possível, de modo a diminuir a emissão destes gases e assim melhorar o comportamento e a classificação dos edifícios.

A este nível, a madeira é um material cujas características se adequam especialmente bem. A Figura 2-16 mostra a quantidade de CO<sub>2</sub>, em toneladas, libertado durante o processo de extração de algumas matérias-primas para de fabricação de materiais diferentes comumente utilizados na construção, como betão, tijolo, telhas de cerâmica, alumínio ou aço, requer, comparativamente com a quantidade necessária para a produção de componentes de madeira.

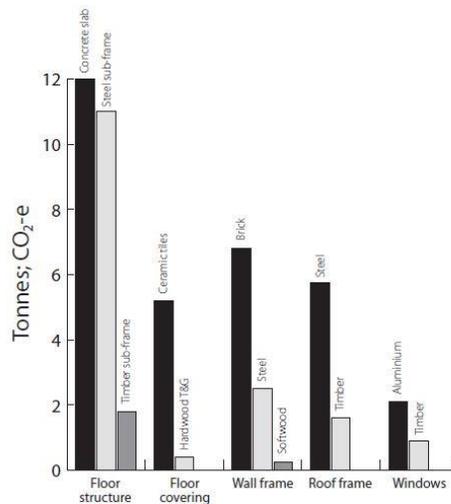


Figura 2-16: Quantidade de CO<sub>2</sub>, em toneladas, libertado durante o processo de extração de algumas matérias-primas para de fabricação de materiais (Nsw Forests Commercial Services, 2008).

Tal como se pode observar, a produção de componentes de madeira usa menos energia do que a necessária para a produção dos restantes componentes referidos. Assim a escolha de madeira, em vez destes materiais, diminui a pegada ambiental deixada pelo edifício através da diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> (The Australian Timber Database, 2015).

O uso sustentável de madeira em produtos duráveis reduz o risco do aumento do nível de CO<sub>2</sub> na atmosfera, atuando como um travão par ao efeito de estufa (Lugt, 2012).



# 3. BIM

## 3.1 Enquadramento Geral

Num modelo BIM a informação encontra-se interligada por via de relações paramétricas, o que significa que as alterações são processadas em tempo real em todo o modelo, evitando a propagação de erros e dinamizando os processos de atualização. Para além da definição da geometria e dos materiais, os modelos BIM têm a capacidade de suportar a análise estrutural e energética, o planeamento do processo construtivo, análise de custos, entre outros, assim, o projeto e a construção de um edifício são um trabalho de equipa que envolve diversas especialidades (Silva, 2013).

A utilização do BIM implica uma diferente abordagem, relativamente à abordagem tradicional do CAD, face ao problema que se pretende resolver, tal como ilustrado na Figura 3-1.

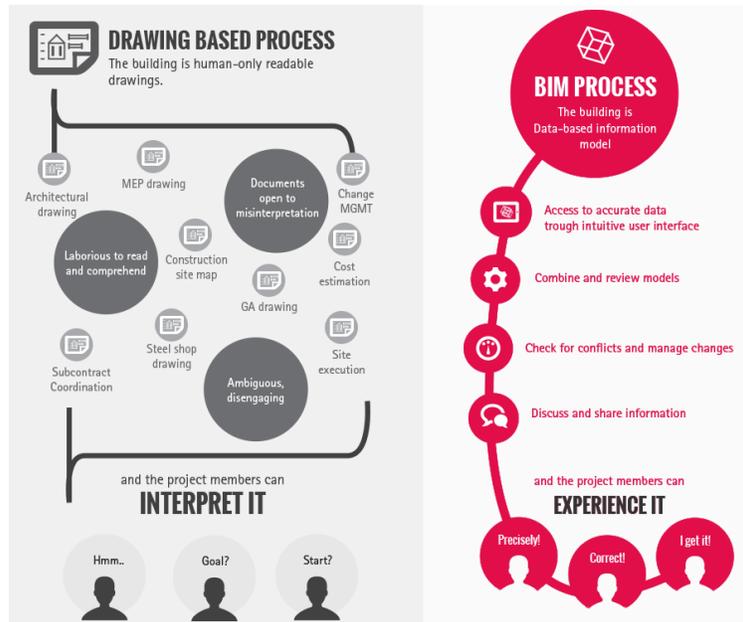


Figura 3-1: Diferenças entre o processo BIM e o processo tradicional de CAD (TEKLA, 2013)

Como se pode observar na Figura 3-1 a utilização da metodologia BIM permite uma metodologia de trabalho muito mais focalizada que permite combinar os modelos criados, identificar problemas e posteriormente partilhar e discutir a informação gerada.

Inicialmente o BIM permitiu a evolução do CAD 3D para o formato 4D, acrescentando o tempo às três dimensões básicas, levando a uma coordenação total em projeto, de todo o edifício (Zhyzhneuski & Babic, 2011). A dimensão 4D permite ao construtor determinar onde as pessoas, trabalhadores, materiais, equipamentos, entre outros, estarão e quanto tempo ali permanecerão (Akinci, Fisher, & Kunz, 2002).

De seguida foi adicionada a dimensão de custos, levando o BIM para o 5D, possibilitando assim o cálculo do custo do inteiro projeto de construção, assim como de cada parte de modo individual (Zhyzhneuski & Babic, 2011).

O próximo passo foi o BIM 6D, que permite determinar a sustentabilidade do edifício, análise energética, determinar o seu ciclo de vida, e avaliar o impacto ambiental que este vai produzir.

A última evolução do BIM foi o 7D, que permite uma gestão das instalações e de suporte técnico, ao longo da sua vida útil. A evolução do BIM encontra-se descrita resumidamente na Figura 3-2.



Figura 3-2: Evolução do BIM (Hughes, 2013).

A utilização destas técnicas adquire outra importância se tivermos em consideração que o setor da construção apresenta uma reconhecida baixa eficácia (The Modular Building Institute, 2010), assim como as cada vez mais relevantes questões ambientais.

A utilização de técnicas BIM na indústria AEC permite aumentar a eficácia do setor da construção, reduzindo assim o desperdício de recursos e deste modo também reduzir a produção de dióxido de carbono associada ao setor da construção. A Figura 3-3 ilustra as potencialidades do BIM.

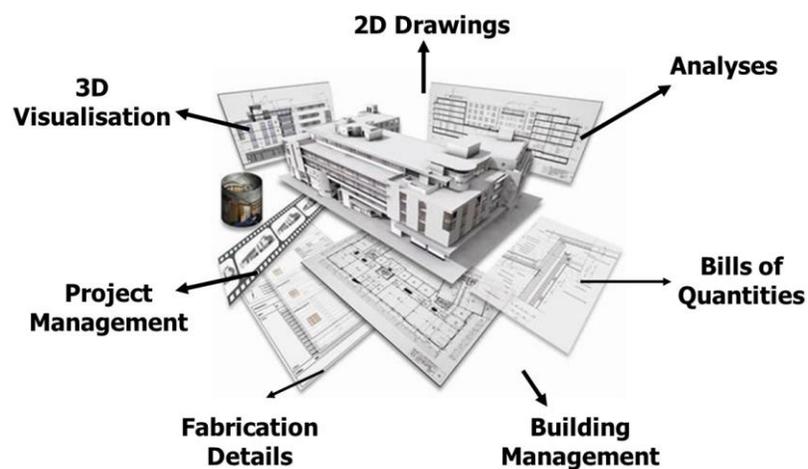


Figura 3-3: Potencialidades do BIM (Architectus).

A utilização do BIM está também, invariavelmente, ligada à segurança no local estaleiro de obras, pois a utilização do BIM 4D por parte das empresas, permite-lhes efetuar o planeamento de segurança da construção de modo a entender e adotar práticas de segurança de forma mais fluida. Este fator adquire, neste momento, uma importância extra pois devido ao aumento do uso de tecnologias avançadas em toda a indústria de AEC, as estruturas apresentam-se agora maiores e mais complexas, o que leva a que as práticas de segurança e os seus níveis de adoção também precisem igualmente de fortes e bem planeadas. A utilização do BIM que permite uma gestão da segurança, pois permite uma avaliação das condições de trabalho no local da construção, identificação dos potenciais riscos de segurança e o planeamento, análise e validação de medidas de segurança (Avsatthi, 2015).

Apesar de todas as vantagens enunciadas acima, a constante troca de informação levanta o problema da interoperabilidade entre os diferentes *softwares*, o que se apresenta como uma limitação da utilização do BIM. Este é um dos problemas apontados à utilização do BIM, quando aplicado a estruturas de madeira, visto que devido a problemas de interoperabilidade, a capacidade de importar ou exportar informação, através da plataforma de outro *software* é muito limitada, e como resultado, o processo BIM e a sua capacidade de aplicar uma abordagem de projeto integral é restrita (Menendez, Hairstans, & Turnbull, 2012).

A buildingSmart respondeu a esta necessidade, através da criação da especificação IFC. A especificação IFC (Industry Foundation Classes) é um formato neutro de dados para descrever, trocar e partilhar informação, tipicamente usado no setor da construção e da gestão de equipamentos. O IFC é o padrão internacional para o openBIM. O modelo de dados IFC é composto por definições, regras e protocolos que uniformizam as definições das informações contidas nos ficheiros, e que descrevem as principais instalações, durante o seu ciclo de vida. Estas definições, permitem aos programadores da indústria dos *softwares*, escrever interfaces IFC, para os seus softwares, que permitam a troca e a partilha dos mesmos dados, no mesmo formato que outras aplicações de *software*, independentemente dos dados internos estruturais, do aplicativo de software individual. Os aplicativos de *software* que têm interfaces IFC são capazes de trocar e partilhar dados com outras aplicações que também têm interfaces IFC (2008).

## **3.2 Níveis de desenvolvimento (LOD) e Modelação Paramétrica**

### **3.2.1 Nível de desenvolvimento (LOD)**

O nível de desenvolvimento (LOD em inglês) é uma referência que permite aos utilizadores da indústria AEC, especificar e articular, com um elevado grau de precisão, o conteúdo e a fiabilidade dos modelos BIM criados, a várias níveis, tanto durante a fase de projeto como durante o processo construtivo (Bim Forum, 2013).

Através do uso dos diferentes LOD's é possível definir o que é que o dono de obra espera quando ele requer que seja utilizada a metodologia BIM num projeto, o esforço que vai exigir a execução desse projeto, e conseqüentemente o custo do mesmo. Permite também determinar que o projeto executado vai de acordo as necessidades existentes e até que ponto este é confiável (Bim Forum, 2012).

Existem cinco LOD's básicos, sendo que nenhuma destas especificações reflete as diretrizes de modelação específicas para qualquer *software* específico. Em vez disso, cada LOD, provê uma definição genérica do conteúdo do modelo e, mais importante, as utilizações autorizadas para o modelo para o respectivo LOD.

O LOD 100 é o equivalente ao projeto conceptual, em que geralmente o modelo é composto por elementos modelados como Conceptual Massing. Permite que o utilizador extraia quantidades, a orientação da construção e o custo por metro quadrado. Na Figura 3-4 é ilustrado um projeto modelado segundo o LOD 100.

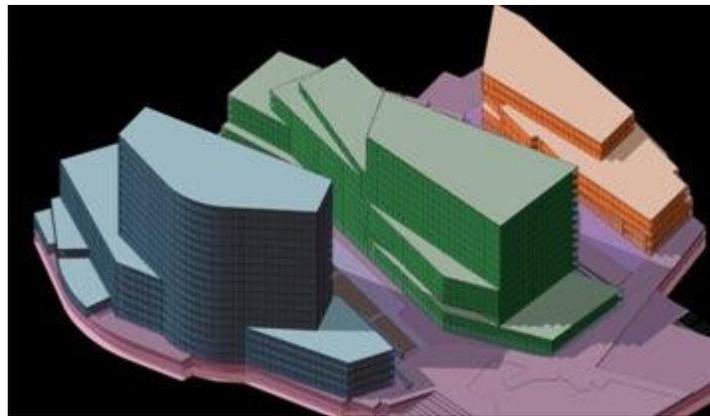


Figura 3-4: Edifício modelado com base no LOD 100 (All Things BIM, 2008).

NO LOD 200 os elementos do modelo são representados geometricamente como *Generic Models* ou assemblagens, com quantidades aproximadas, tamanho, forma, localização e orientação (Van, 2008). Propriedades não geométricas também podem ser anexadas aos elementos do modelo, tais como os custos (Bim Forum, 2013). A Figura 3-5 representa o Diplomatic Quarter Hotel (DQH) em Riade, cujo projeto foi realizado com base no LOD 200 (Invicta Design Technologies, 2010).



Figura 3-5: Diplomatic Quarter Hotel (DQH), modelado em LOD 200 (Invicta Design Technologies, 2008)

No LOD 300 os elementos do modelo são representados geometricamente como os elementos que representam especificamente em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Propriedades não geométricas também podem ser anexadas aos elementos do modelo (Bim Forum, 2013). Os elementos do modelo são adequados para a criação de documentos tradicionais de construção, ao nível do projeto de execução (Van, 2008). O LOD 350 é semelhante ao LOD 300, com a diferença de permitir a interação entre os diferentes sistemas existentes (Bim Forum, 2013). A Figura 3-6 representa o Baku Olympic Stadium, projeto realizado em LOD 300.

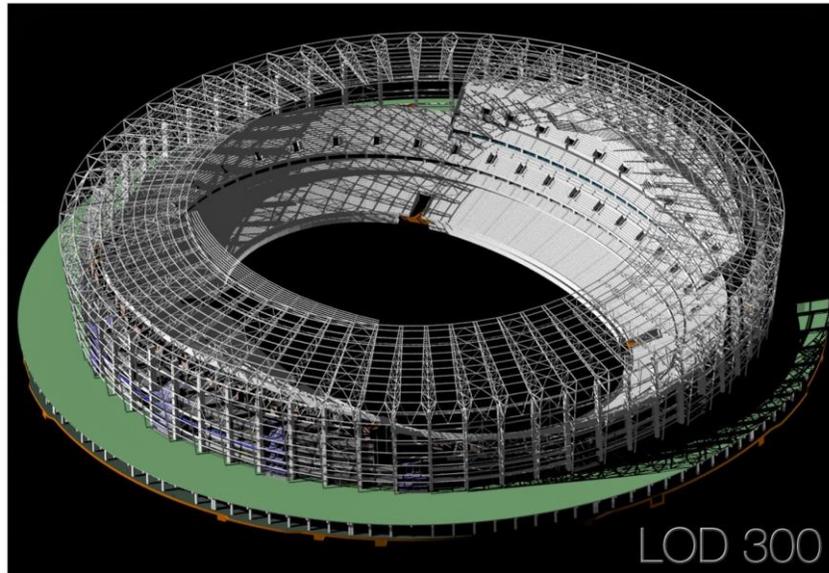


Figura 3-6: Baku Olympic Stadium, modelado em LOD 300 (Red Hot BIM, 2015).

No LOD 400 os elementos do modelo são representados geometricamente como os elementos que representam especificamente em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação, com pormenorização fabricação, montagem, e informações de instalação. Propriedades não geométricas também podem ser anexadas aos elementos do modelo. Este nível de desenvolvimento é considerado como apropriado para a fabricação e a montagem (Bim Forum, 2013).

O público-alvo, para este LOD, são empreiteiros ou fabricantes, visto que geralmente se encontram fora do âmbito dos serviços do arquiteto/engenheiro e necessitam de informações bastante pormenorizadas (Van, 2008). A Figura 3-7 representa as Damac Towers, no Dubai, cujo projeto foi realizado tendo como base o LOD 400 (Invicta Design Technologies, 2010).

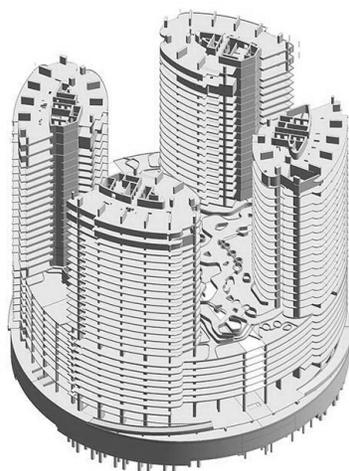


Figura 3-7: Damac Towers, modelado em LOD 400 (Invicta Design Technologies, 2008).

No LOD 500 Os elementos do modelo são uma representação fidedigna da realidade, em termos de tamanho, forma, localização, quantidade, e orientação. Propriedades não geométricas também podem ser anexadas aos elementos do modelo (Bim Forum, 2013).

O LOD 500 representa o nível final de desenvolvimento, sendo o projeto modelado como ele foi construído (*as-built conditions*). O modelo é apropriado, inclusive, para a manutenção do edifício e operações da instalação (Van, 2008). A Figura 3-8 representa o Medina Airport, na Arábia Saudita, cujo projeto foi realizado tendo como base o LOD 500 (Invicta Design Technologies, 2010).



Figura 3-8: Medina Airport, modelado em LOD 500 (Invicta Design Technologies, 2008)

### 3.2.2 Modelação Paramétrica

A modelação paramétrica de objetos começou inicialmente a ser desenvolvida por volta de 1980. A ideia básica deste conceito é que, tanto as características geométricas como outras características não geométricas podem ser definidas e controladas de acordo com uma hierarquia de parâmetros na assemblagem e nos subníveis da assemblagem, bem como ao nível individual do objeto, dependendo alguns parâmetros do utilizador - valores definidos, outros dependem de valores fixos, e outros ainda são determinados a partir de, ou em relação a outras formas, formas essas que podem ser 2D ou 3D. Assim os objetos criados são automaticamente atualizados de acordo com o utilizador, ou com variações do enquadramento dos objetos.

No desenho paramétrico, ao invés de se projetar um exemplo de um elemento de construção como uma parede ou porta, o projetista define uma família modelo ou classe de elementos, que é um conjunto de relações e regras que permitem controlar os parâmetros, pelos quais cada elemento pode ser gerado, mas que irão variar de acordo com o contexto de cada um. Os objetos são definidos usando parâmetros que envolvem distâncias, ângulos e regras como: “anexado a”, “paralelo a” e distâncias.

Enquanto no tradicional CAD 3D todos os aspetos da geometria de um elemento devem ser editados manualmente pelos utilizadores, na modelação paramétrica, a forma e a geometria da assemblagem ajustam-se automaticamente a mudanças no seu contexto. Segundo esta perspectiva, um edifício é uma assemblagem de objetos definidos dentro de um sistema BIM. A configuração do modelo de um edifício é definida pelo utilizador como uma estrutura geometricamente controlada por parâmetros utilizando grelhas, níveis e outros planos de referência globais. Assim através das características dos objetos embutidos e das configurações paramétricas, as configurações do modelo definem o edifício.

A metodologia mais corrente para a definição da maioria dos parâmetros dos objetos de cada família, é através da utilização duma ferramenta de desenho que faz parte das ferramentas para modelação paramétrica, que definem a forma das extrusões.

Na indústria da construção, as empresas que utilizam *software* BIM definem um conjunto de objetos de cada família que podem ser estendidos, modificados ou adicionados. Cada empresa que pretenda utilizar esta metodologia deve ter a capacidade de desenvolver objetos paramétricos através dos seus utilizadores e bibliotecas de objetos corporativos para efetuar controlo de qualidade personalizado e assim estabelecer e controlar as suas próprias melhores práticas.

Objetos paramétricos personalizados permitem a modelação de geometrias complexas, que anteriormente não eram possíveis ou simplesmente eram impraticáveis. A utilização de características não geométricas do objeto permite fazer a ligação com análises, estimativas de custos, e outras aplicações, características estas, que devem ser definidas pela empresa ou pelo utilizador (Eastman, Liston, Teicholz, & Sacks, 2008).

### **3.3 BIM 4D**

#### 3.3.1 Enquadramento geral e abordagem tradicional do Planeamento

O BIM 4D permitiu a evolução do CAD 3D acrescentando o tempo às três dimensões básicas, levando a uma coordenação total em projeto, de todo o edifício (Zhyzhneuski & Babic, 2011), permitindo ao construtor determinar onde os trabalhadores, materiais e equipamentos, entre outros, estarão e quanto tempo ali permanecerão (Akinci et al., 2002).

O planeamento 4D resulta da simbiose entre a geometria 3D do modelo BIM e a otimização dos recursos, a este, associados, sendo extraídas da geometria as quantidades, alocadas nas diferentes zonas do projeto (ndBim, 2015).

A aplicação das técnicas BIM no faseamento construtivo permite visualizações em tempo real das tarefas a desempenhar, que são uma ferramenta para comunicar ideias e informações entre as diferentes partes envolvidas num projeto (Johansson, Roupé, & Bosch-Sijtsema, 2015), facilitando assim a troca de informação entre as diferentes partes envolvidas.

Ao ser utilizado como uma ferramenta de visualização, um modelo BIM 4D, permite identificar as condições de segurança do local de trabalho, que serão necessárias durante os diferentes períodos. A isto acrescenta-se ainda, o facto de as atividades diárias dos trabalhadores poderem ser monitorizadas rigorosamente para garantir que a mão-de-obra é adequada e que a capacidade de trabalho é adequada às tarefas definidas na calendarização 4D. A utilização de um modelo 4D permite também, durante a fase de projeto, detetar conflitos existentes entre os diferentes elementos das diferentes especialidades.

Planear e monitorizar são partes extremamente importantes da construção. Deste modo as ferramentas de BIM 4D podem ser utilizadas para estimular o processo de controlo da quantidade (Hergunsel, 2011).

Dentro da temática do faseamento construtivo, existem diversos métodos de gestão de projeto. Na construção tradicional recorrem-se, o CPM (Critical Path Method) e o PERT (Program Evaluation and Review Technique) que são os métodos existentes que têm sido aplicados com maior sucesso. Apesar da elevada utilização, estes métodos possuem limitações que criam dificuldades a determinação do planeamento construtivo, mesmo quando aplicados conjuntamente com técnicas BIM, visto que estes métodos não conseguem capturar e racionalizar os requisitos funcionais em programações exequíveis devido à falta de uma sintaxe de modelação, e de conhecimento acerca da forma como os elementos vão ser construídos em obra. Além disto estes métodos não conseguem inferir as restrições temporais, que têm de ser convertidas posteriormente manualmente (Chua, Nguyen, & Yeoh, 2013). Após concluída a fase de determinação do faseamento construtivo, a calendarização do mesmo é geralmente representada através de diagramas de Gantt (Carvalho, 2000).

A Linha de Balanço (LOB) surge como uma nova abordagem que visa ultrapassar as principais limitações do método tradicional de utilização de métodos como o CPM e o PERT (Rodriguez Martinez, 2013).

Contrariamente à abordagem tradicional o método da Linha de Balanço permite a utilização de múltiplas localizações, representação da continuidade das tarefas, visualização de dependências, movimentos de recursos e planeamento de equipas, bem como das respetivas produtividades (ndBim, 2015). Este método de determinação do faseamento construtivo combina técnicas gráficas com técnicas matemáticas, sendo este método focalizado na produção de unidades por período de tempo. Para isso, este método requer unidades de produção igualmente definidas. Esta nova filosofia de construção é especialmente adequada para projetos que contenham atividades repetitivas, que requerem um contínuo e ininterrupto uso dos recursos na sequência de atividades. Isto acontece pois, os sistemas de gestão baseados na localização, tem como princípios básicos minimizar o desperdício, aumentar a produtividade e diminuir a variabilidade (Rodriguez Martinez, 2013).

Os princípios base da metodologia da linha de balanço são coincidentes em diversos aspetos com os princípios base da utilização de elementos prefabricados na construção. Devido a isto a utilização deste tipo de abordagem torna-se especialmente benéfica para este tipo de situações.

A metodologia de utilização da linha de balanço, quando aplicada à utilização de técnicas BIM, consiste em criar um modelo 3D a partir do qual seja possível gerar uma dimensão de planeamento (4D). A partir desta dimensão torna-se possível simular a visualização do planeamento e assim otimizá-lo. Após terminada esta tarefa, a linha de balanço permite designar e nivelar os recursos para criar as tarefas necessárias. Além disto permite avaliar a relação de diferentes localizações alternativas da estimada inicialmente. Permite ainda considerar o *cash-flow* ao longo da duração esperada do projeto, visando a otimização da calendarização, o *cash-flow* e a alocação dos recursos (Hartmann, 2009).

Existe diverso *software* que permite utilizar esta metodologia e que alia a utilização do BIM 4D com a utilização da linha de balanço para a otimização da definição do faseamento construtivo. Dentre o *software* explorado destacou-se Schedule Planner integrado no Vico Office.

### 3.3.2 Qualidade do Modelo BIM

De modo a poder potencializar a utilização de todas as vantagens que advêm da utilização do BIM para o planeamento de uma obra é fundamental que o modelo seja criado com características específicas que permitam tal utilização.

É fundamental que o projeto seja pensado e modelado de forma a atender às necessidades das etapas posteriores. Assim quando um modelo 3D é criado, este deve ser modelado considerando a posterior utilização do mesmo para planeamento e estimativa de custos (Nakamura, 2014).

A fim de servir como uma plataforma para a comunicação eficaz é importante que o *software* de visualização permita uma renderização com um desempenho suficiente para proporcionar uma experiência suave e interativa, mesmo para modelos BIM grandes e detalhados.

Apesar de ser uma mais-valia, a utilização de visualizações em tempo real frequentemente apresenta a desvantagem de os modelos se tornarem tão pesados que excedem a capacidade do computador e provocam problemas durante a visualização dos modelos em tempo real. Para responder a esta situação por vezes o modelo é cortado em vários submodelos. No entanto esta solução vai restringir em sessões a visualização de subconjuntos do projeto completo. Além disto vai obrigar a trabalho de modelação adicional, visto que não é apenas necessário efetuar a modelação inicial, mas também efetuar as revisões dos modelos que foram divididos.

Para resolver o problema descrito vários estudos recentes têm defendido o uso dos denominados “*game engines*” para efetuar visualizações em tempo real em modelos BIM (Johansson et al., 2015) e deste modo evitar ter de subdividir o modelo em vários submodelos.

## 3.4 BIM 5D

### 3.4.1 Enquadramento geral da Extração de Quantidades e metodologias Orçamentação

O conceito BIM 5D consiste em integrar toda a informação existente nas dimensões anteriores (definições espaciais do 3D e temporais do 4D) com os dados relativos ao custo, tal como quantidades, calendarizações e preços (P. Smith, 2014).

O objetivo da utilização do 5D consiste na possibilidade de ter um modelo BIM que gere automaticamente os custos financeiros e representações dos mesmos em função do tempo. Isto permitiria uma redução instantânea, do tempo despendido com esta fase de projeto, de semanas para minutos, para além de aumentar a precisão das quantidades retiradas, devido à redução das ambiguidades criadas pela utilização de modelos em CAD e pela consulta de informação externa ao modelo (Kamardeen, 2010).

Apesar de tal ser o objetivo final, este ainda não é possível de realizar na sua totalidade. Tal acontece, pois a maioria das ferramentas BIM são capazes de realizar a extração de quantidades mas não efetuam a estimativa de custo, que geralmente é efetuada num *software* diferente, sendo esta transferência efetuada através de um ficheiro em formato IFC, que ainda não garante que a totalidade da informação é transferida, existindo assim perda de informação que pode levar, em última análise a quantidades e estimativas incorretas. Além disto o processo de estimativa de quantidades não é completamente automático, visto que a extração de quantidades não fornece a quantidade de dados necessários para criar uma estimativa de custos e um mapa de quantidades, sendo por isso sempre necessário avaliar se os dados extraídos do modelo fornecem, ou não, uma representação verosímil do edifício (Monteiro & Poças Martins, 2013). Além disso, existem ainda casos em que o *software* de orçamentação ainda não é capaz de reconhecer o formato IFC e assim efetuar a transição dos dados extraídos do modelo e a orçamentação.

### 3.4.2 Qualidade do Modelo BIM

Visto que se pretende extrair quantidades diretamente dos modelos, a qualidade dos modelos BIM é uma preocupação. A utilização de modelos BIM requer a utilização de

grandes quantidades de dados interligados e informação, e enquanto os modelos BIM têm ferramentas para detecção de conflito, ainda existem limitações em termos de verificação da informação (P. Smith, 2014).

A análise da qualidade do modelo cria uma dicotomia entre a informação necessária para a análise de custos e a quantidade de informação desejável para um modelo BIM. Se por um lado se pretende adicionar mais detalhe para estimativas mais precisas e fiáveis, adicionar demasiada informação poderá comprometer o modelo, a extração de quantidades e o processo de estimativa, visto que é necessário mais tempo para modelar os elementos, parametrizar a extração de quantidades e criar os *links* para realizar as estimativas (P. Smith, 2014), ao mesmo tempo, o aumento da qualidade do modelo implica um investimento no desenvolvimento do mesmo, que se traduz em custos (Monteiro & Poças Martins, 2013).

### 3.4.3 Sistemas de Classificação

O uso de metodologias BIM por parte da indústria da construção para processos de projeto, suprimento, construção, operação e manutenção das instalações, tem aumentado, e com ele a necessidade de partilhar essa mesma informação. Para isso, são empregues esquemas que definem a estrutura das informações que são processadas.

Um esquema exige um conjunto coerente de "nomes" das entidades que se organizam de modo a ser funcional. Cada um desses nomes deve ter uma definição controlada que descreve o que significa e as unidades em que podem ser expressas. Ter um vocabulário controlado da terminologia da construção é essencial para apoiar o intercâmbio de dados de uma forma interpretável.

Assim como um dicionário é usado para definir nomes, um dicionário de terminologia da construção define o uso de um determinado 'nome' (tipo, propriedade etc.) de uma forma consistente, independentemente de quem está a usar o esquema e onde ele pode ser usado, garantindo assim a compreensão e a fiabilidade da informação transferida (NIBS, 2012).

A troca de informação globalizada cria a necessidade de dicionários normalizados, que permitam a comunicação entre pessoas de diferentes países. Neste sentido, a buildingSMART está a desenvolver um *open international data dictionary* baseado no IFD (International Framework for Dictionaries) Standard (ISO 12006-3) que permitirá que todos os envolvidos no setor AEC possam compartilhar informações de uma forma fiável, surgindo assim os *buildingSMART Data Dictionary*.

Os *buildingSMART Data Dictionary*, doravante designados por bsDD, descrevem semanticamente os conceitos e os termos utilizados, aos quais é, posteriormente, atribuído um código GUID (Globally Unique Identifier). Isto permite que a informação contida no ficheiro em formato IFC seja marcada com um GUID, que permite que o computador distinga os elementos utilizados

Os bsDD são um dos três buildingSMART BIM *standards* juntamente com o Industry Foundation Classes (IFC) e o Information Delivery Manual (IDM). O IFC apresenta-se como o formato para a troca de informação, o IDM representa os processos para a troca de informação e os *Data Dictionary* representam o significado da informação que é trocada. O conjunto destes elementos garante a qualidade da troca de informação e que os intervenientes conseguirão compreender a mesma.

Os bsDD providenciam um modelo de informação independente da linguagem utilizada para o desenvolvimento de dicionários, para armazenar informações de construção, ou acerca de um outro qualquer objeto (Chapman, 2013).

Associados a estas bibliotecas, existem sistemas de classificação que permitem a organização de todos os elementos a utilizar e tarefas a realizar. Um dos sistemas de classificação mais utilizados é o OmniClass. Este sistema de classificação que tem como base a ISO 12006-2: “Organization of Information about Construction Works - Part 2: Framework for Classification of Information” e consiste em 15 tabelas que classificam o ambiente construído e os processos utilizados para criá-lo (NIBS, 2012).

O sistema de classificação *Omniclass* é descrito como uma classificação multifacetada, pois utiliza informações e conceitos de outros sistemas de classificação para compor as suas tabelas: o *Masterformat* para classificar os resultados de trabalho, o *Unifomat* para classificar os sistemas e componentes e o EPIC para os produtos (Manziona, 2015).

A utilização do IFD juntamente com um sistema de classificação como o *OmniClass*, permite que os utilizadores continuem a aceder e a visualizar os dados através da utilização de classificações que lhes são familiares, garantindo ao mesmo tempo a fiabilidade com que os dados são posteriormente utilizados e compreendidos na prática.

A informação contida dentro dos *Data Dictionary* organiza-se em dois conceitos básicos:

- *Subjects* (Termos): algo que pode ser distinguido de outra coisa e que pode ser organizado como tal, e que é representado pelo seu nome. No bSDD, um *subject* é distinguido como um objeto (tangíveis ou intangíveis), sendo os objetos definidos por características formais;
- *Characteristics* (Propriedades): conceitos que não podem ser definidos utilizando outros conceitos, sendo o seu significado atribuído através de uma descrição. As *Characteristics* distinguem-se nos seguintes tipos: comportamento, influência ambiental, função, medida, da propriedade e da unidade. Os Conceitos estão relacionados a outros conceitos por meio de relações objetivadas, sendo deste modo aferidas as relações entre eles (NIBS, 2012).

#### 3.4.4 Sistemas de Classificação em Portugal

Têm sido feitos esforços no sentido de conseguir uniformizar a forma de efetuar a classificação dos elementos. Em Portugal, o ProNIC (Protocolo para a Normalização da Informação Técnica na Construção) representa o maior esforço no sentido de desenvolver um sistema de classificação padronizado, que consiga compilar todas as especificações locais existentes numa única *Work Breakdown Structure* (WBS), ou seja numa estrutura analítica de projeto (Monteiro & Poças Martins, 2013).

A ferramenta ProNIC é constituída por uma base de dados sobre os trabalhos de construção e por um conjunto de aplicações informáticas que permitem a gestão e articulação dos conteúdos, e a sua utilização pelos diferentes agentes do processo construtivo.

A Figura 3-9 apresenta o esquema funcional do ProNIC.

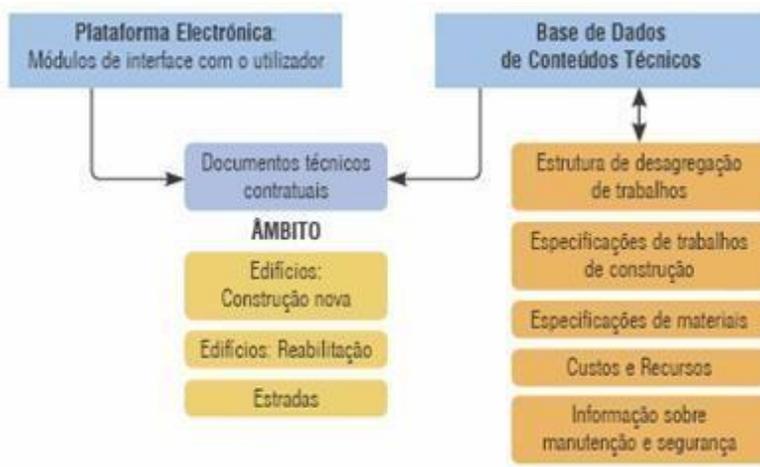


Figura 3-9: Esquema funcional da ferramenta ProNIC (Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia e Ciência, 2008).

A base de dados criada inclui a informação técnica que permite gerar articulados detalhados e exaustivos para criação de Mapas de Trabalhos e Quantidades, Fichas de Execução de Trabalhos e Fichas de Materiais.

O ProNIC pretende constituir uma intervenção transversal em todo o processo construtivo, desde a fase de conceção até à fase de utilização, com contributos a vários níveis, destacando-se para esta temática, o contributo na fase de conceção e projeto através da geração automática de Caderno de Encargos, Mapas de Trabalhos e Quantidades e Estimativas de Custos, tendo como objetivo final a melhoria na qualidade da informação técnica, com os expectáveis reflexos na qualidade dos produtos finais (Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia e Ciência, 2008).

Relativamente à sua forma de trabalhar, o ProNIC funciona como uma plataforma de internet que gera especificações em formato de texto, tais como Mapa de Quantidades,

especificações técnicas e relatórios de medição mensais. A sua WBS é construída através de um conjunto de níveis cada vez mais detalhados e para diferentes domínios. Para aplicar esta estratégia a um modelo BIM a forma mais rápida consiste na aplicação de um código ID (Monteiro & Poças Martins, 2013).

### **3.5 Aplicação de BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira**

#### 3.5.1 Exemplos de aplicação do BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira

O Centre for Off-site Construction and Innovative Structures (COCIS) do Institute of Sustainable Construction (ISC) na Edinburgh Napier University em colaboração com a CSC Inc., está a desenvolver uma plataforma WHE (whole house engineering), baseada no Tedds® for Word (T4W), CSC Inc. Esta plataforma foi pensada especificamente para o setor da madeira e está transversalmente correlacionada com os procedimentos de projeto do Eurocódigo, permitindo também explorar uma ampla base de dados que pode ser ligada com outros *softwares*.

O objetivo global deste projeto é desenvolver uma plataforma de otimização estrutural para os MMC pré-fabricados, tendo esta plataforma como finalidade, não só fornecer um mecanismo de projeto compatível com o Eurocódigo para a madeira, mas também ligar os resultados de investimento em pesquisa com o usuário final via Tedds. Além disto, esta plataforma tem a capacidade de aproveitar os resultados do trabalho de investigação em curso e incorporá-los em prática, sendo também compatível com a futura construção de normas regulamentares e práticas de construção.

A estrutura do mecanismo WHE pode ser definida como um grupo de componentes ou proformas que utilizam um núcleo centralizado de base de dados da informação recolhida. A base de dados tem o potencial para ser BIM, possibilitando que informações possam ser importadas ou exportadas de outros *softwares* como o Microsoft Excel.

A criação desta plataforma permite uma melhor troca de informação entre os diferentes intervenientes, resolvendo assim os problemas existentes relativamente à inexistência de uma base de dados e da interoperabilidade (Menendez et al., 2012).

A Figura 3-10 e a Figura 3-11 exemplificam a estrutura da plataforma WHE e a informação contida na sua base de dados, respetivamente.

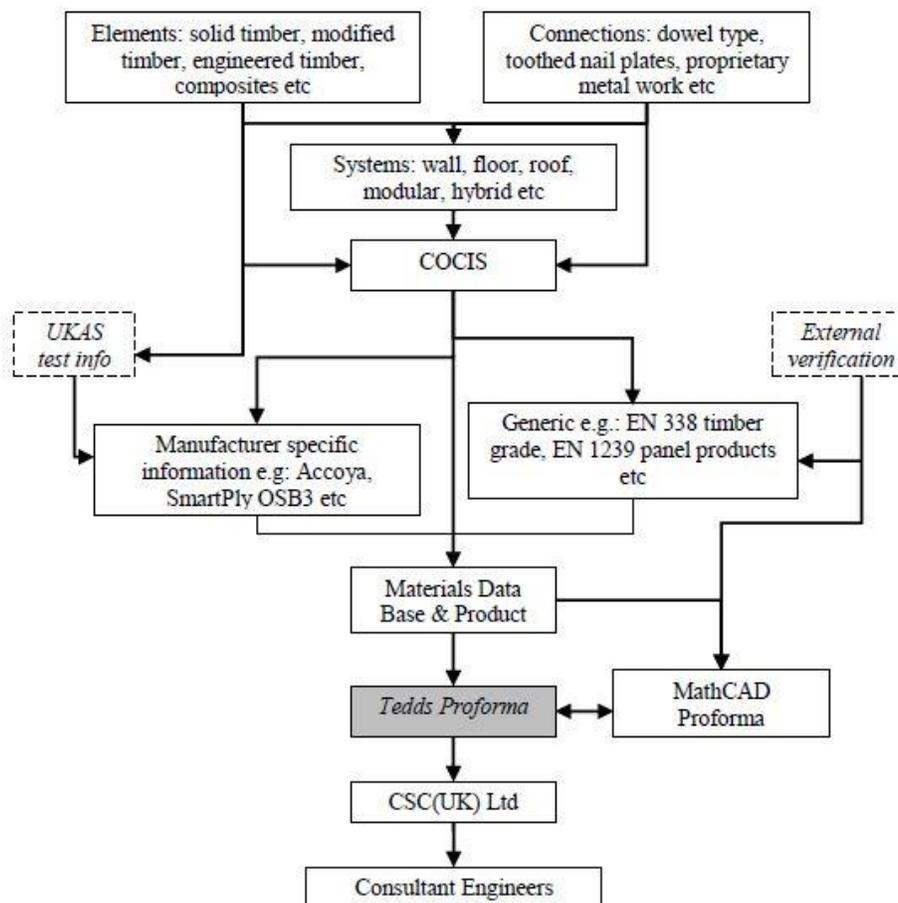


Figura 3-10: Esquema de Funcionamento da plataforma WHE (Menendez et al., 2012).

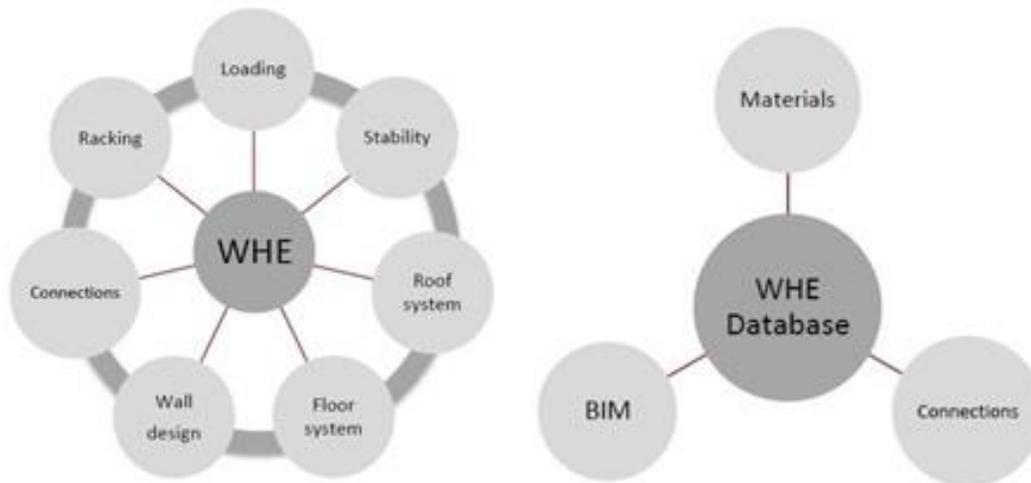


Figura 3-11: Mecanismo do conceito WHE (esquerda) e a informação contida na base de dados (direita) (Menendez et al., 2012).

Outro exemplo da utilização do BIM nas fases de projeto, fabrico e montagem de estruturas de madeira é o Exeter University Forum, cuja cobertura era constituída por lamelados colados de madeira ligados através nós metálicos. Toda a estrutura do telhado do Exeter University Forum, incluindo madeira, foi modelada no *software* Tekla sendo todos os detalhes e desenhos de montagem produzidos diretamente a partir do modelo. Pretendia-se que os vários edifícios constituintes do Exeter University Forum fossem ligados por um telhado que é formado a partir de uma série de malhas triangulares que consistem em elementos de madeira lamelada colada com nós de aço. Esta complexa estrutura não tem peças padrão, sendo todas as malhas triangulares diferentes. A Figura 3-12 representa a estrutura que foi construída e o modelo utilizado, produzido no *Tekla* (Tekla Corporation, 2015).

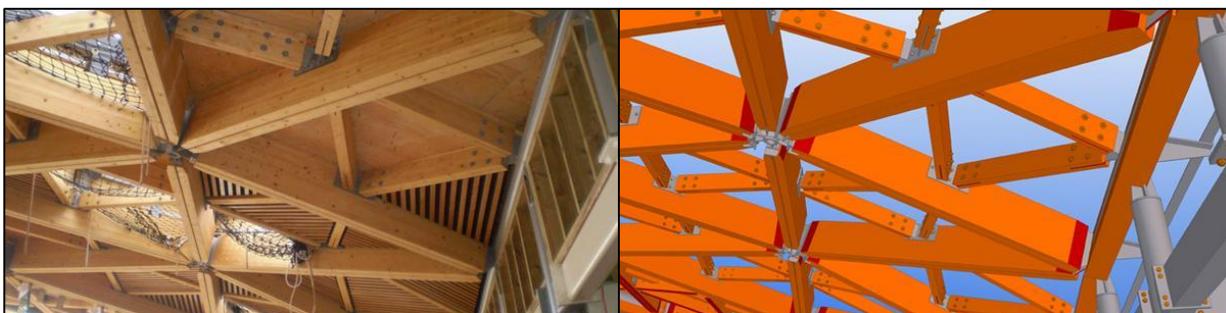


Figura 3-12: Cobertura do Exeter University Forum, cobertura real (esquerda) e modelo criado em Tekla (direita) (Tekla Corporation, 2015) Copyright University of Exeter.

### 3.5.2 BIM e construção modular pré-fabricada.

Um das limitações que as técnicas de construção modular e de prefabricação apresentam, é relativa a mudanças durante a fase de construção, que se tornam incompatíveis com a prefabricação, assim como a coordenação em obra dos sistemas e das componentes dos edifícios. Estas falhas impedem que a prefabricação tenha o rendimento possível e desejado (Cowles & Warner 2013).

A incorporação do BIM é fundamental para a resolução deste tipo de problemática, pois permite efetuar uma total simulação do trabalho a ser realizado em obra, evitando estes possíveis erros, possibilitando o aumento do rendimento da aplicação de estruturas modulares pré-fabricadas e consequentemente o aumento da viabilidade de aplicação das mesmas. Citando os resultados de pesquisa da FMI Corporation, conduzidos por Ethan Cowles e Philip Warner, os entrevistados afirmaram que esperavam “ *uma maior utilização de técnicas de prefabricação*”, afirmando ainda que “ *o BIM, atualmente, está a possibilitar isso, a tornar isso mais realizável...*” (2013:2), Assim fica comprovada a importância do BIM no desenvolvimento desta área da construção. Para além disto, segundo ainda esta mesma pesquisa, o uso do BIM também tornou mais efetiva e colaborativa a incorporação do uso de prefabricação e de um trabalho colaborativo, cedo neste processo, o que permite um maior planeamento da utilização dos conjuntos pré-fabricados, ainda durante a fase de projeto, melhorando o fluxo de trabalho, tanto a nível da produção como no canteiro de obras.

Considerando a oportunidade que a utilização de BIM apresenta, quanto a modelar virtualmente todos os elementos desejados, o passo seguinte consiste em efetuar uma integração entre BIM e o CAM (Computer Aided Manufacturing) de modo a facilitar o todo o processo de projeto, fabrico e montagem de construções modulares em madeira. Esta incorporação permite otimizar o processo de produção devido a uma melhor integração entre a fase de projeto e a produção. Isto é fundamental, já que a automatização da produção das peças de um projeto, é uma das grandes mais-valias da modelação BIM, com a geração de peças desenhadas a serem obtidas automaticamente a partir do modelo gerado (Gequaltec, 2011). A Figura 3-13 apresenta a utilização do BIM na construção modular pré-fabricada, neste caso em concreto, para a definição dos elementos constituintes da Loblolly House.

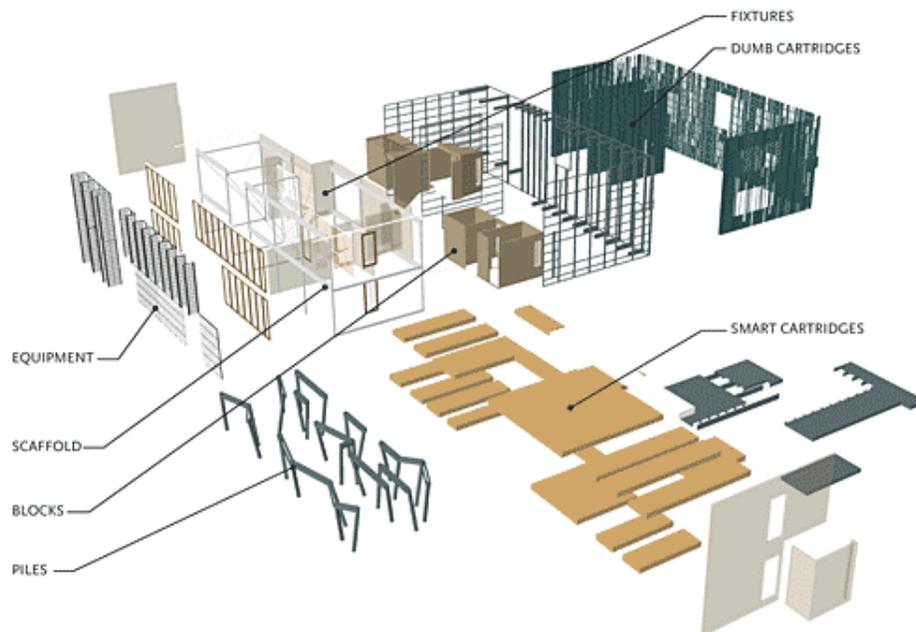


Figura 3-13: Elementos constituintes da Loblolly House (KieranTimberlake, 2008)



## 4. MODELAÇÃO EM BIM

### 4.1 Enquadramento geral e motivação

Tal como previsto no plano de dissertação, foi desenvolvido um exemplo teste para potencializar a aprendizagem de um *software* BIM de modo a adquirir conhecimento e experiência que possibilite a utilização da metodologia BIM.

Foram criados modelos que permitiram explorar as potencialidades e limitações do *software* escolhido, assim como identificar as vantagens e as dificuldades práticas da implementação da metodologia BIM. Como objetivo final, a exploração deste *software* permitiu também explorar formas de adequar a utilização do mesmo, ao objetivo final desta dissertação, a integração de técnicas BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira.

O caso de estudo foi desenvolvido, em ambiente colaborativo, por alguns orientandos que se encontram inseridos no mesmo grupo de trabalho.

Sempre que possível, durante a modelação efetuada, foram seguidas os requisitos apresentados pela versão 2012 do COBIM (*Common BIM Requirement*).

### 4.2 Escolha do software

O *software* escolhido para realizar este exemplo teste foi o Autodesk® Revit®, doravante denominado apenas por Revit. Optou-se por este *software* por diferentes motivos, desde logo, devido ao fato de ser um *software* BIM, algo que era um critério eliminatório na escolha do *software* a utilizar, dada a finalidade deste dissertação. Este *software*, tal como descrito pela própria Autodesk “*foi desenvolvido especificamente para o BIM, incluindo funcionalidades para projeto de arquitetura, MEP e engenharia de estruturas e construção*” (Autodesk, 2015c).

O *software* Revit permite, para procedimentos iniciais, uma utilização quase intuitiva, o que facilita a aprendizagem do mesmo, ao que se acrescentou o fato de este *software* ser amplamente utilizado a nível mundial, visto ser produzido por uma das empresas que, a nível mundial, mais se destacam em *software* e serviços de projetos, a Autodesk (Autodesk, 2015a), permitindo assim a sua utilização, uma integração num ambiente colaborativo global que inclui a possibilidade de obter ajuda na resolução de problemas por parte de pessoas diversas partes do mundo, nomeadamente, através de fóruns que existem para tal efeito e que assim potencializam a utilização deste *software*.

Outro motivo que foi preponderante para a escolha do Revit, foi o facto da Modular System, empresa com quem se pretendia desenvolver futuramente casos de estudo, utilizar este *software*. A opção pela utilização do mesmo *software* que a referida empresa, futuramente permitiria que o processo de troca de informação decorre-se de uma forma mais eficiente.

### **4.3 Caso de estudo**

O caso de estudo escolhido consistiu na modelação de um edifício que era constituído por um piso de fundações, seguido de rés-do-chão e 32 pisos acima deste. O edifício idealizou-se como sendo para comércio e serviços, sendo que a sua geometria sofre alterações conforme a utilização esperada de cada piso. Além disto nos em determinados pisos deste edifício existiam elementos que requeriam especial atenção como reservatórios, lajes inclinadas, piscinas ou varandas, tal como se pode comprovar na Figura 4-1.

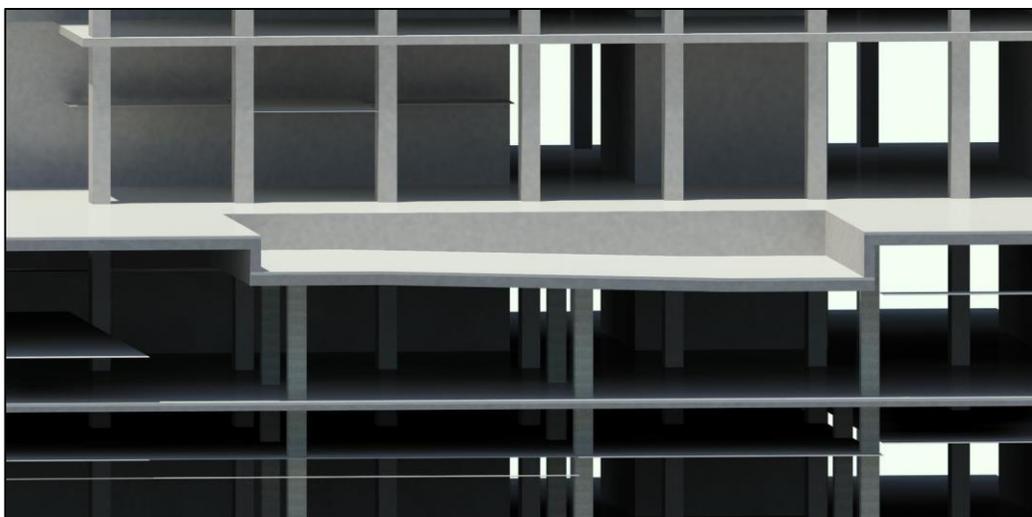


Figura 4-1: Pormenor de uma laje inclinada para criação de uma piscina.

Neste caso de estudo, pretendia-se modelar todos os elementos estruturais do edifício, assim como, todos os tetos falsos, de modo a poder futuramente efetuar uma coordenação com uma posterior modelação de MEP (Mechanical, Electrical, and Plumbing services), que permitisse enquadrar estas especialidades com a componente estrutural.

A modelação deste caso de estudo demorou cerca de 3 semanas. Alguns dos resultados obtidos encontram-se representados na Figura 4-2 e na Figura 4-3, que identificam pormenores específicos da modelação realizada, onde se podem identificar os elementos estruturais foram propostos ser modelados.

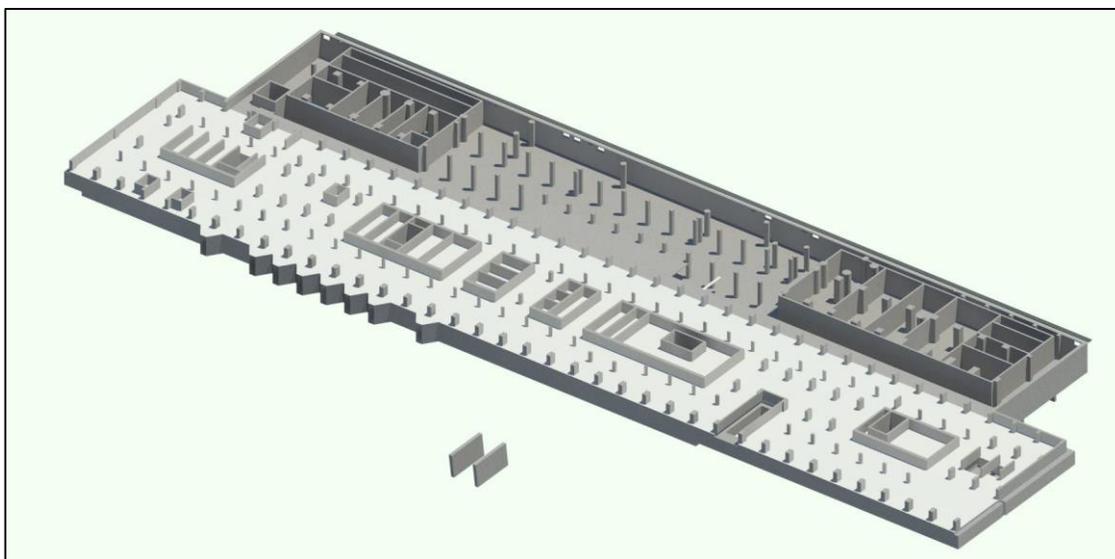


Figura 4-2: Elementos estruturais do primeiro piso.

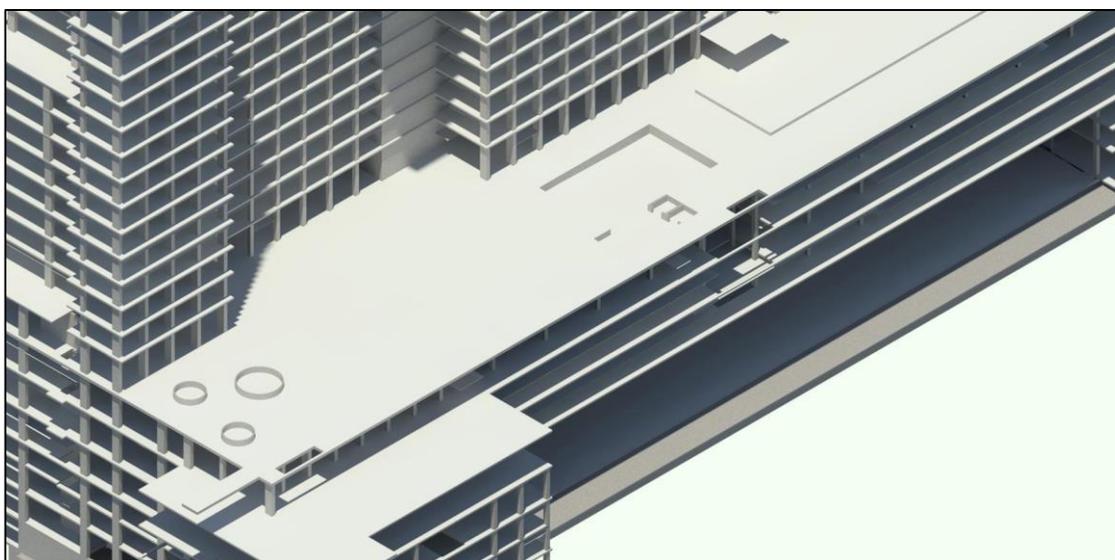


Figura 4-3: Pormenor do terraço superior e as respetivas piscinas.

Durante o processo de modelação desenvolvido foram respeitados os requisitos de modelação do COBIM (COBIM, 2012) sempre que isso foi possível e que se enquadrava com o trabalho que estava a ser desenvolvido. Os requisitos respeitados foram os seguintes:

- Todas as disciplinas utilizaram um método de modelação em que o modelo é dividido por pisos;

- Os elementos foram modelados de acordo com a função que estes viriam a desempenhar, assim, por exemplo, as paredes foram modeladas com ferramentas e componentes destinadas à modelação de paredes, sendo esta metodologia aplicada a todos os elementos do edifício em análise;
- Os modelos produzidos foram regularmente guardados em armazenamentos de dados partilhados, tal como *clouds*. Para cada etapa foram determinados períodos temporais específicos de acordo com as necessidades de cada fase;
- Utilizou-se o modelo tridimensional criado como base para uma tomada de decisão mais concreta, dada maior facilidade de visualização do edifício;
- Foi efetuada uma verificação visual de erros e conflitos após a junção das diferentes disciplinas e partes do modelo;
- Todos os elementos estruturais que irão suportar cargas, assim como os que não o irão fazer foram modelados, assim como outros elementos que pelo seu tamanho ou localização iriam afetar as outras disciplinas. Por exemplo, todos os tetos falsos foram modelados de forma a facilitar a modelação do MEP;
- Os elementos estruturais foram construídos assim como serão construídos na realidade. Por exemplo, os pilares que na realidade terão continuidade por mais do que um piso, foram modelados com essa mesma continuidade, os restantes, que são interrompidos ao nível do piso, foram interrompidos ao nível do piso, garantindo esta prática uma maior correspondência com a realidade;
- Tal como previsto pelo COBIM, modelou-se os negativos de forma a facilitar o trabalho produzidos por outras disciplinas.

#### 4.4 Vantagens

A utilização de um modelo BIM apresenta diversas vantagens, desde já, e principalmente em obras desta complexidade, o facto de se efetuar uma simulação virtual de todo edifício antes do início da construção, o que permite uma fácil compreensão do mesmo, algo que não é fácil de se conseguir através de um modelo 2D, em que é extremamente complicado sobrepor as diferentes plantas.

O modelo 3D possibilita a total compreensão da geometria do edifício e assim entender o funcionamento do mesmo, através da sobreposição das diferentes especialidades. Por exemplo, ao efetuar a modelação de vigas e pilares, o modelo BIM permitiu uma completa junção destes elementos, permitindo uma melhor compreensão do seu funcionamento, pois permitiu compreender a localização e o espaço utilizado por cada elemento e assim evitar erros em projeto que se iriam repercutir em erros em obra e conseqüentemente atrasos de calendarização e traduzir-se em perdas monetárias.

Outra vantagem da utilização de um modelo 3D é o fato de não ser necessária a criação de vistas ou de cortes, uma vez que tendo o modelo 3D criado, estas são geradas automaticamente. Este aspeto é fundamental, tanto mais, quanto mais complexa for a obra a realizar tendo em conta o tempo poupado e a fiabilidade da informação da gerada.

A criação de um modelo BIM, neste caso especificamente em Revit permite trabalhar através da utilização de famílias. O conceito de famílias utilizado pelo Revit divide os elementos criados em categorias denominadas por famílias. Isto faz com que facilmente no modelo se possa localizar ou identificar um qualquer elemento, sobre o qual se pretende obter informação. Para além disto, o facto de todos os elementos estarem corretamente identificados, permite que em qualquer altura do projeto se possam retirar ilações acerca das quantidades utilizadas e, conseqüentemente, retirar informações acerca de custos, tempos de execução, medições ou fornecedores, dependendo do nível de LOD aplicado ao modelo. Deste modo pode-se analisar o estado em que se encontra a solução escolhida, assim como, facilmente, estudar outras soluções.

A interoperabilidade possibilitada pelo Revit foi igualmente uma vantagem, dada a possibilidade de se trabalhar em ambiente colaborativo, que permitiu que várias pessoas trabalhassem simultaneamente no mesmo modelo, sem que isto implicasse alterações ou imprecisões no trabalho produzido por cada elemento. Através da definição de um conjunto de permissões, cada elemento pôde definir a(s) área(s) em que pretendia trabalhar. Deste modo foi incrementada a produtividade, sendo reduzido o tempo de produção do modelo.

Por último, relativamente às vantagens encontradas, destaca-se o fato de existirem *plug-ins* disponíveis, aplicáveis a áreas específicas. Por exemplo, relativamente ao projeto de estruturas de madeira, destacam-se *plug-ins* como o Timber Framing (Autodesk Inc. 2015c), que permite a fácil pormenorização de elementos de madeira, incluindo elementos relativos a paredes, a asnas e coberturas. A Figura 4-4 exemplifica alguns elementos que são possíveis de modelar com a utilização do *plug-in* Timber Framing para o Revit.

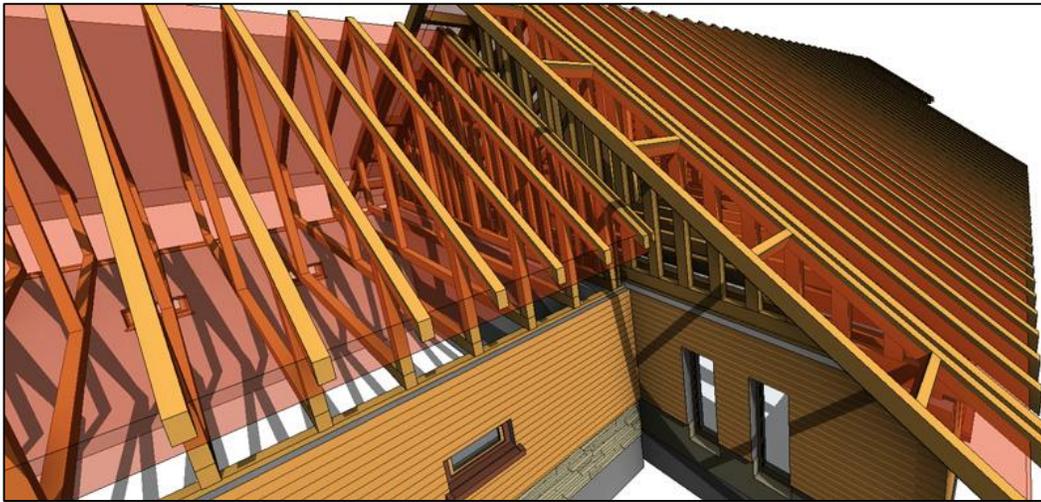


Figura 4-4: Exemplo da utilização do *plug-in* Timber Framing para o Revit (Fudala, Piechnik, & Frank, 2012).

#### 4.5 Desvantagens e principais dificuldades

Uma das principais dificuldades encontradas para a realização desta tarefa foi, compreender o edifício que se pretendia modelar, visto esta compreensão ter de ser efetuada a partir de elementos 2D, algo particularmente complicado, principalmente para elementos com pouca experiência neste tipo de atividades e dada a complexidade do edifício.

Outra dificuldade que surgiu, está relacionada com o fato de se estar a trabalhar pela primeira vez com este *software*. Deste modo, surgiram dificuldades relativas a como realizar determinadas tarefas, assim como ao tempo que se demorou a realizar cada uma delas, algo que foi sendo melhorado com o passar do tempo, tal como esperado, de acordo

com a esperada curva de aprendizagem, na qual com o passar do tempo existe um aumento da proficiência (Leibowitz, Baum, Enden, & Karniel, 2010).

Outra dificuldade que teve de ser ultrapassada foi a da interoperabilidade. Apesar da interoperabilidade ser um dos fatores mais vantajosos da utilização do BIM, a interoperabilidade só se torna uma vantagem quando aplicada em determinadas condições. Para que seja aplicada é necessário que exista uma ligação entre a base de trabalho de cada utilizador e um modelo central, capaz de suportar o trabalho produzido pelos mesmos e a transmissão ao modelo central em tempo útil. Apesar de tal ligação existir, esta não se efetuava à velocidade desejada, o que condicionava uma produção de trabalho no tempo e velocidades desejadas. Esta limitação não está relacionada diretamente com a metodologia BIM, mas antes com as condições que são necessárias para a aplicação da mesma, de modo a que esta esteja otimizada.

Uma necessidade que surgiu, dada a falta de experiência de trabalho em Revit, foi a criação de *templates* que correspondessem às necessidades do projeto em desenvolvimento. Apesar de esta não ter sido uma tarefa complicada, foi uma tarefa fundamental, pois foi a base de toda a formatação do modelo, que definiu e condicionou a forma como o mesmo é controlado.

A última limitação que se tornou perceptível nesta fase, foi a necessidade de em algumas situações ser necessário descarregar *plug-ins*, que originalmente não se encontram no *software*, de modo a trabalhar em determinadas áreas específicas. Apesar desta possibilidade ser encarada também como uma vantagem, é também uma desvantagem uma vez que tais aplicações não se encontram no *software* em si, sendo necessária a pesquisa individual dos *plug-ins* e posteriormente o descarregamento dos mesmos.

## 5. CRIAÇÃO DE OBJETOS

Um dos objetivos propostos para esta dissertação era a criação de uma biblioteca de objetos paramétricos que pudessem posteriormente ser utilizados em situações reais e que fossem de encontro às necessidades das empresas da área da construção em madeira.

Decidiu-se que os elementos mais interessantes de incluir nesta biblioteca de objetos paramétricos seriam ligações entre elementos de madeira. As ligações que foram modeladas dividem-se em ligações madeira-madeira e ligações metálicas.

Para efetuar a modelação dos objetos paramétricos teve-se em consideração a especificação “Level of Development Specification” produzida pelo BIM Forum (Bim Forum, 2013). Deste modo definiu-se o LOD (Level of Development) que cada objeto teria de ter, de modo fornecer a informação necessária para a sua total compreensão. Estabeleceu-se que cada elemento, pelo menos, deveria conter a informação relativa ao LOD 300.

Para efetuar esta modelação foi escolhido o *software* Revit. Como exemplo de ligações madeira-madeira foram modelados um entalhe e uma ligação cauda de andorinha. No caso da ligação metálica foi modelado um cachorro metálico que permite efetuar a ligação entre duas vigas ortogonais entre si, sendo a continuidade entre os elementos garantida devido ao uso de parafusos. O cachorro metálico é constituído por dois elementos, uma relativo ao lado esquerdo e outro ao lado direito da viga, que assim garantem a estabilidade da viga.

As ligações que foram modeladas são apresentadas na Figura 5-1, na Figura 5-2 e na Figura 5-4.

No caso do cachorro metálico, para fins de apresentação foi utilizado o comando *displace elements*, do Revit, para transladar os seus elementos constituintes, e assim permitir uma melhor compreensão dos objetos modelados.

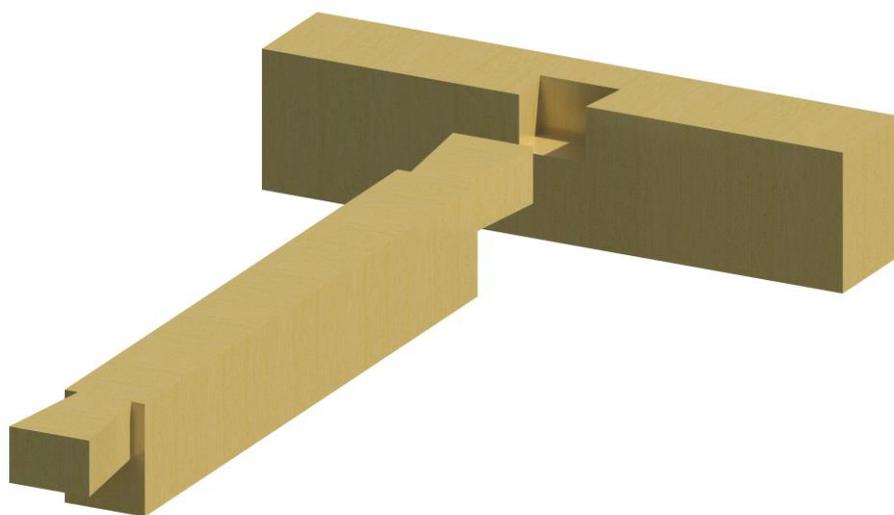


Figura 5-1: Ligações madeira-madeira: ligação cauda de andorinha.

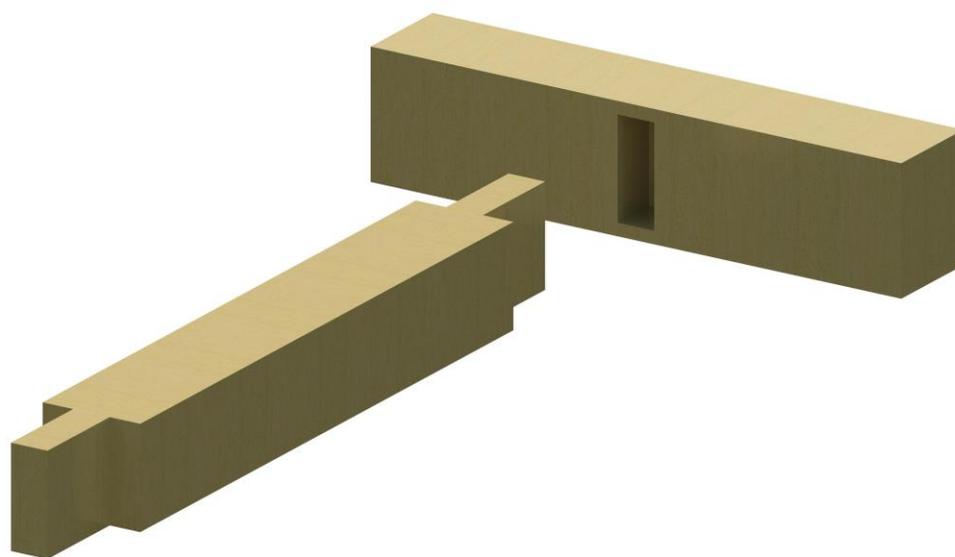


Figura 5-2: Ligações madeira-madeira: entalhe.

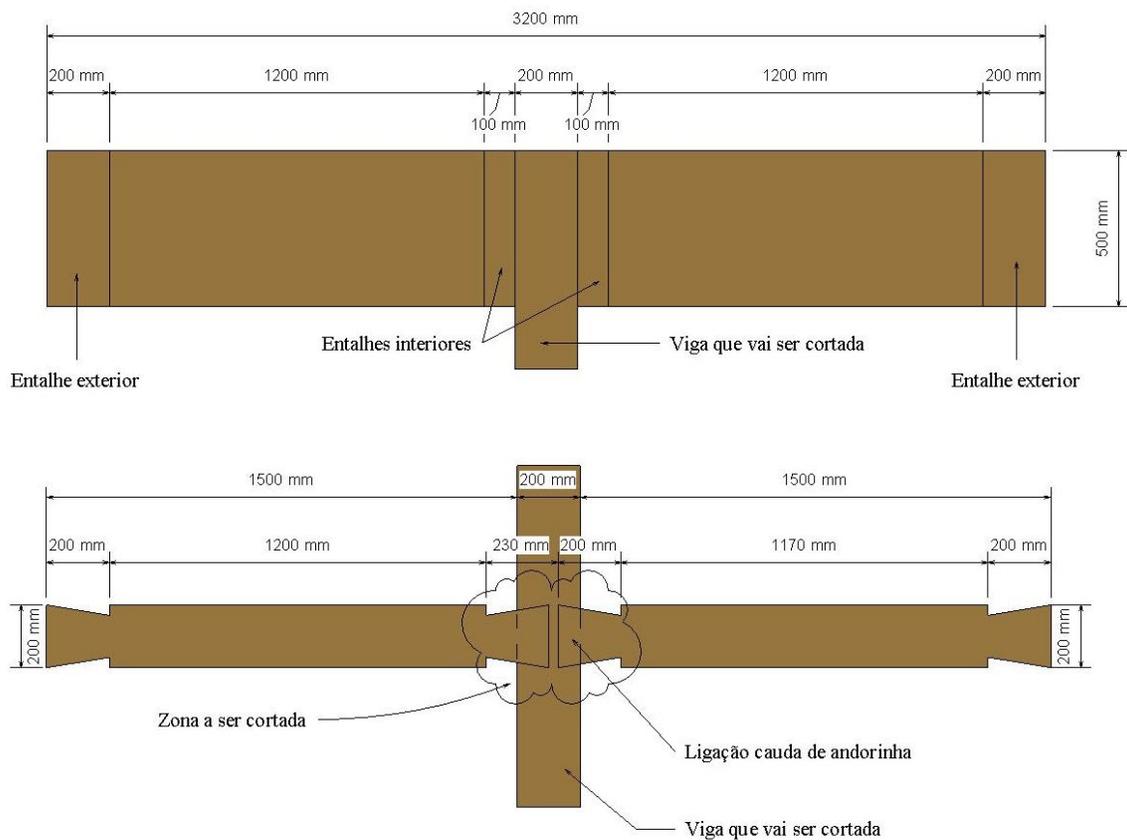


Figura 5-3: Exemplo de descrição e cotagem dos elementos criados, para vigas com entalhes e para ligações cauda de andorinha.

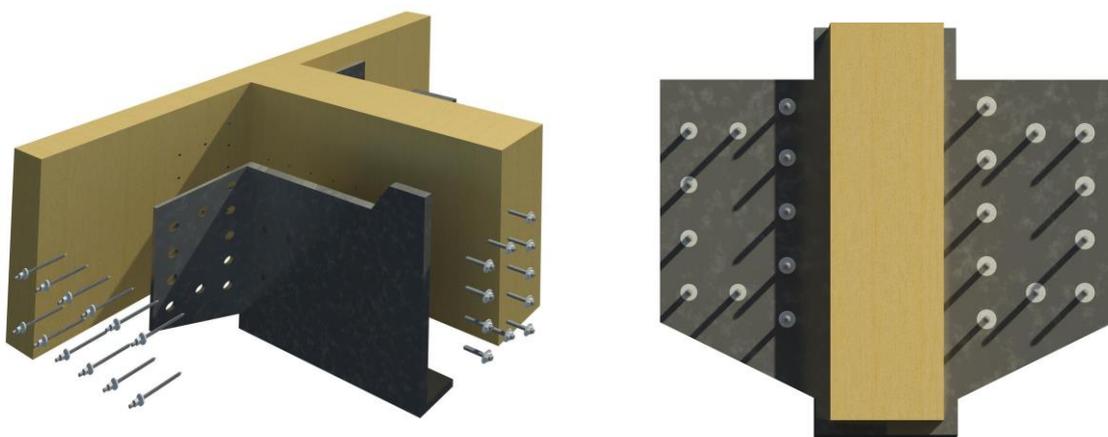


Figura 5-4: Ligação metálica: Cachorro metálico lado esquerdo (esquerda) e vista posterior (direita)

## 5.1 Ligações Madeira-Madeira

No caso das ligações madeira-madeira os elementos modelados foram criados como um tipo de família existente no Revit denominada por *Metric Structural Framing - Beams and Braces*. Este tipo de famílias permite a edição e criação de vigas. Devido a isto as ligações madeira-madeira foram modeladas como parte integrada de uma viga, de modo a facilitar a sua colocação em projeto, assim como a corresponder de uma forma mais exata à realidade, visto que este género de ligações, na realidade, são cortadas em vigas que posteriormente são colocadas em obra.

Na criação da família, foi acrescentado um *Void Extrusion* a cada extremidade da viga. Este comando permite criar um “sólido vazio” que irá cortar todos os elementos que interseccionar, simulando assim, a ligação de uma viga com a outra, tal como fisicamente ocorre. Deste modo evita-se a duplicação de material na zona de interseção entre as duas vigas, ao mesmo tempo que se simula o corte que é necessário realizar na viga que é transposta. Os *voids* criados foram posteriormente fixados ao plano longitudinal de referência da viga, de modo a garantir que quando fosse alterada a dimensão da viga, estes continuariam agregados à viga.

Relativamente à parametrização dos elementos criados, tanto no caso do entalhe, como no caso da ligação cauda de andorinha, a parametrização consistiu em definir os parâmetros que regulam o funcionamento da parte central da viga. Para além disto parametrizou-se também o entalhe de cada um dos lados da viga, de modo a controlar totalmente o funcionamento dos mesmos. Deste modo, tornou-se possível, que a geometria das ligações criadas fosse controlada por parâmetros facilmente adaptáveis, tal como desejado. A Figura 5-5 representa os parâmetros utilizados para a parametrização das ligações madeira-madeira.

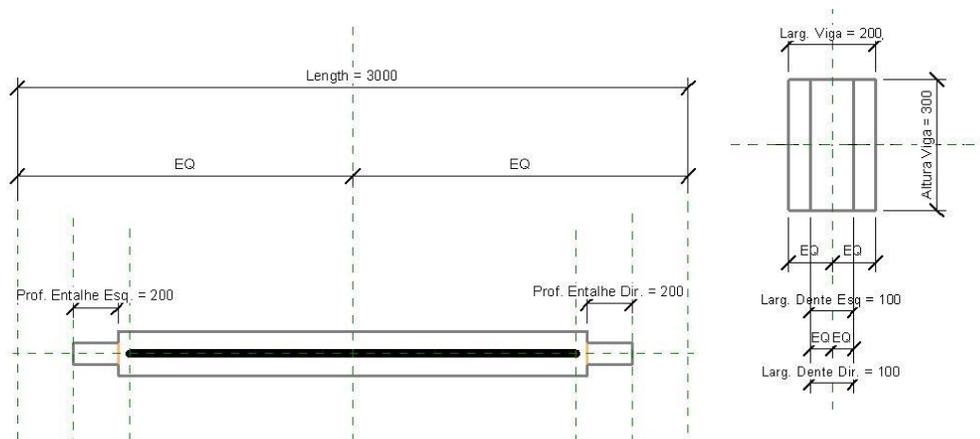


Figura 5-5: Parametrização das ligações madeira-madeira, num plano longitudinal (à esquerda) e em corte (à direita).

Para além dos parâmetros geométricos demonstrados acima, foi criado também um parâmetro, do tipo "Yes/No" *Parameter*, que controla a existência dos entalhes em cada lado da viga. Assim quando acionado este parâmetro, o entalhe fica disponível no lado selecionado da viga. Quando tal não acontece, o entalhe deixa de estar ativo. Tal parametrização é exemplificada na Figura 5-6.

Parameter	Value	Formula	Lock
<b>Materials and Finishes</b>			
Structural Material (default)	Wood		<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Dimensions</b>			
Altura Viga (default)	300.0		<input type="checkbox"/>
Larg. Dente Dir. (default)	100.0		<input type="checkbox"/>
Larg. Dente Esq. (default)	100.0		<input type="checkbox"/>
Larg. Viga (default)	200.0		<input type="checkbox"/>
Length (default)	3000.0		<input type="checkbox"/>
Prof. Entalhe Dir. (default)	200.0		<input type="checkbox"/>
Prof. Entalhe Esq. (default)	200.0		<input type="checkbox"/>
<b>Other</b>			
Entalhe Direita (default)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Entalhe Esquerda (default)	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
<b>Identity Data</b>			

Figura 5-6: "Yes/No" Parameter atribuído a cada um dos entalhes da viga.

Cada objeto criado, tal como também se pode observar na Figura 5-6, também foi definido pelo correspondente material que o constitui no separador *Materials and Finishes*, neste caso o material atribuído foi *Wood*, visto se tratar de elementos de madeira. Esta definição pode posteriormente ser atualizada para uma maior especificação do material a ser utilizado.

### 5.1.1 Integração BIM- CAM

Após a criação das família de ligações madeira-madeira considerou-se que seria importante estudar a metodologia de integração dos objetos criados na fase de modelação, com a fase de produção, usando para isto a família de ligações madeira-madeira com entalhes, como base para os testes que seriam efetuados. O que se pretendia nesta fase era encontrar uma metodologia que permitisse uma integração entre o trabalho desenvolvido em BIM, com a produção que se pretendia executar com recurso a CAM. Para simular esta transição recorreu-se ao *software* Rhinoceros, sendo a parte relativa ao CAM, efetuada através de um *plug-in* existente neste *software*, denominado RhinoCAM.

A escolha do *software* Rhinoceros deveu-se em grande parte à existência do *plug-in* RhinoCAM, visto que este permite simular todo o processo de manufatura de qualquer elemento que se pretenda produzir, desde a escolha do elemento base que se pretende manufaturar, até ao tipo de ferramentas que se pretende utilizar. Por exemplo, no processo de corte da viga de madeira, foi possível escolher o tipo de ferramenta de corte (fresas), e a profundidade e a velocidade a que estas trabalhariam.

A primeira fase deste processo foi relativa à compreensão da forma de exportar a informação contida nos objetos criados, para um formato que fosse lido pelo *software* utilizado. Visto que o Rhinoceros não consegue ler ficheiros no formato IFC, foi necessário exportar os objetos criados no formato .dwt, como ficheiros de CAD, com informação tridimensional. A exportação dos ficheiros neste tipo de formato faz com que estes percam as informações que o modelo BIM contém, mantendo apenas a geometria dos elementos criados. Apesar disso, para a fase de produção associada ao CAM, a geometria mostrou-se ser suficiente para que a peça seja manufaturada. A Figura 5-7 demonstra a leitura que o Rhinoceros faz do ficheiro .dwt com os objetos criados em Revit.

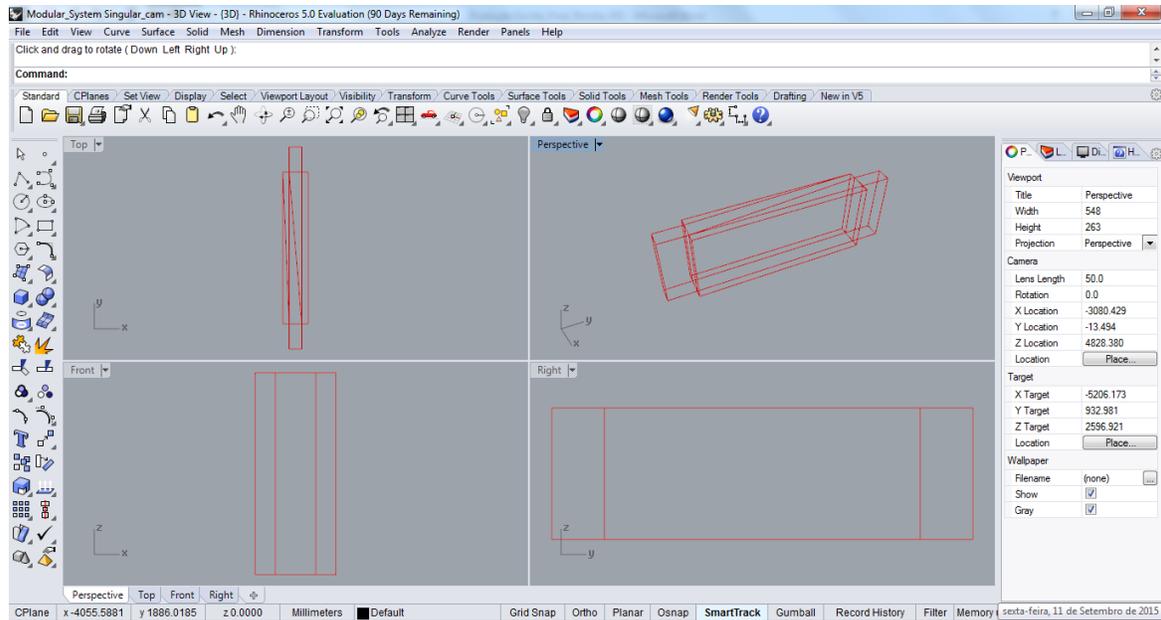


Figura 5-7: Objeto criado em Revit exportado para o Rhinoceros através de um ficheiro .dwg.

Tal como se pode observar na perspetiva apresentada na Figura 5-7, o *software* ao importar os objetos, por defeito cria uma malha triangular. Após serem efetuadas simulações do corte que se pretendia efetuar, concluiu-se que esta malha triangular deveria ser convertida numa malha retangular, visto que durante a fase de corte, o *software* interpreta cada linha existente como uma superfície a ser cortada. Após esta correção, foi escolhido o objeto que seria cortado, assim como o tipo de ferramenta de corte (fresas), e a profundidade e a velocidade a que estas trabalhariam, algo que para esta fase não era condicionante, uma vez que só se pretendia compreender se a informação era exportada corretamente, e se era possível a partir desta efetuar o processo de corte que se pretendia. A Figura 5-8 representa a viga de madeira onde foram produzidos os entalhes, antes de ser manufaturada e a Figura 5-9 representa essa mesma viga, após ter sido terminado o processo de manufatura da mesma.

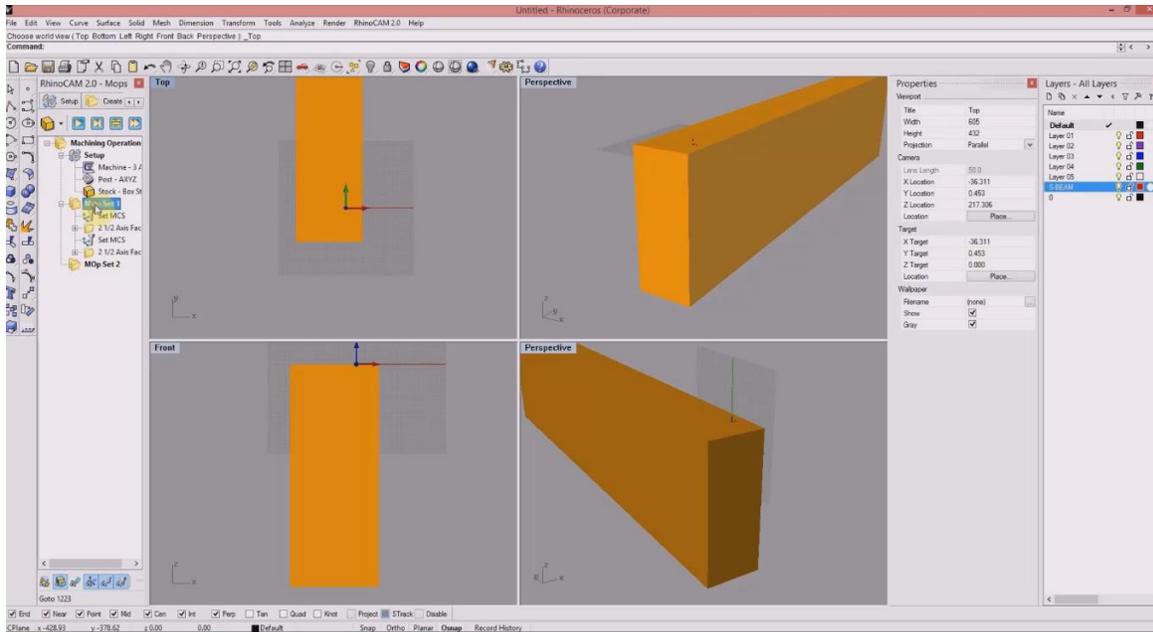


Figura 5-8: Viga de madeira antes de ser manufaturada

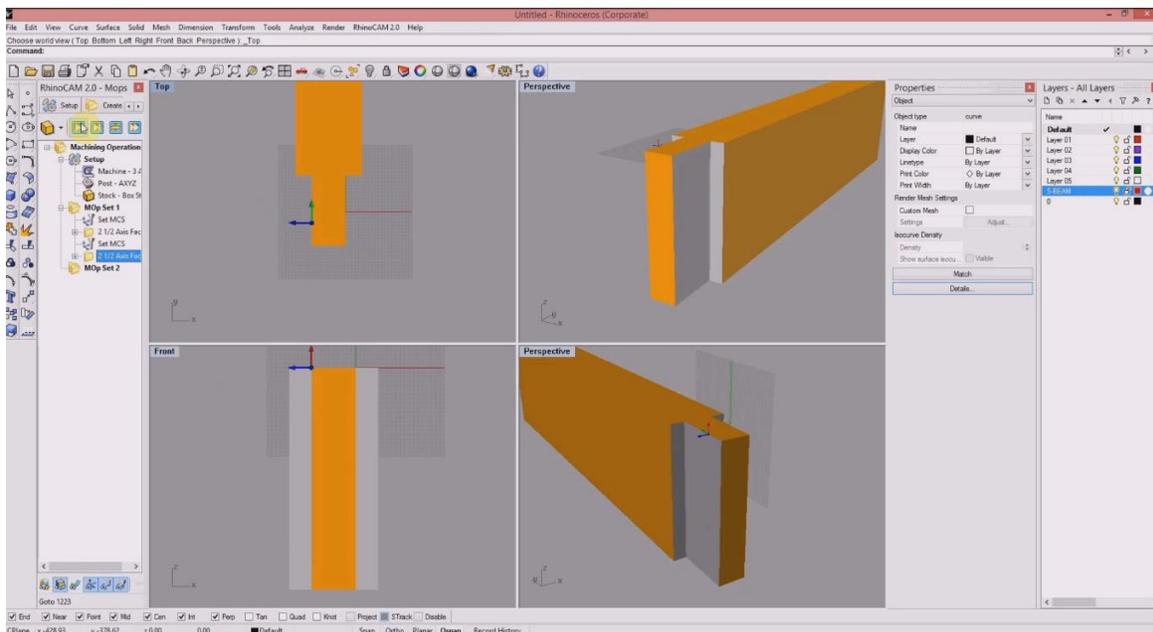


Figura 5-9: Fase final de manufatura, já com o entalhe produzido na extremidade da viga

Ficou comprovado que o trabalho desenvolvido durante a fase de modelação 3D em BIM poderia ser integrado com a fase de produção associada ao CAM, sendo igualmente demonstrada uma possível metodologia para efetuar esta mesma integração. Durante o

desenvolvimento desta dissertação foi criado um vídeo explicativo deste processo, em que se pode observar a simulação do corte dos entalhes nesta mesma viga, sendo possível observar todo o processo de manufatura, deste a viga de madeira inicial, até à viga final onde foram produzidos os entalhes, e que será apresentado durante a apresentação da presente dissertação.

## 5.2 Ligações Metálicas

A criação do cachorro metálico exigiu a utilização de uma metodologia diferente, dada a especificidade da própria ligação. Esta situação verificou-se pois este tipo de ligação é composta por elementos metálicos que não fazem parte da viga de madeira, e que são fixos a esta através de fixadores metálicos, contrariamente ao que acontecia com as ligações madeira-madeira. Esta condicionante impediu que este tipo de ligações fossem modeladas como sendo pertencentes à família *Metric Structural Framing - Beams and Braces*. A isto acrescenta-se o facto de que este tipo de ligações é sempre aplicada na superfície lateral da viga que se pretende fixar.

Ponderadas estas condicionantes, optou-se por modelar estes elementos como sendo parte da família denominada por *Metric Generic Model face based*. Este tipo de família tem a particularidade de garantir que todos os elementos modelados como tal, quando colocados em projeto, são associados a um plano. Assim, ao serem criadas como pertencentes a esta família, as ligações metálicas, podem ser automaticamente associadas ao plano da viga em que se pretende que sejam colocadas, garantindo que estas ficam perfeitamente alinhadas com a viga.

Para a criação das chapas metálicas que compõe o cachorro recorreu-se ao comando *Extrusion* para criar um volume com a forma desejada. Deste modo modelaram-se as três chapas que constituem o cachorro metálico. Após isto foi atribuído às três chapas o mesmo material, neste caso, e visto se tratar de elementos metálicos, optou-se por optar que seriam de aço da classe S235, sendo assim utilizado o material denominado por *Steel, S 235* pertencente à base de dados do Revit. Uma vez atribuído o mesmo material a todos os

elementos foi utilizado o comando *Join Geometry* para ligar as chapas, e assim garantir a continuidade física das mesmas, sendo que a partir desse momento, as três chapas modeladas em separado, passam a comporta-se como um único elemento, tal como sucede na realidade quando são soldadas.

Relativamente à parametrização do cachorro metálico, foram definidos os parâmetros geométricos que permitem a variação da sua geometria segundo os diferentes planos que o compõem. Igualmente, foi estabelecido um parâmetro para o diâmetro da furação, dos parafusos que irão garantir a fixação no elemento de madeira, possibilitando assim a aplicação de qualquer tipo de parafusos. Os parâmetros utilizados para parametrizar a chapa transversal e a chapa principal do cachorro correspondente ao lado esquerdo encontram-se ilustrados nas Figura 5-10 e Figura 5-11, respetivamente.

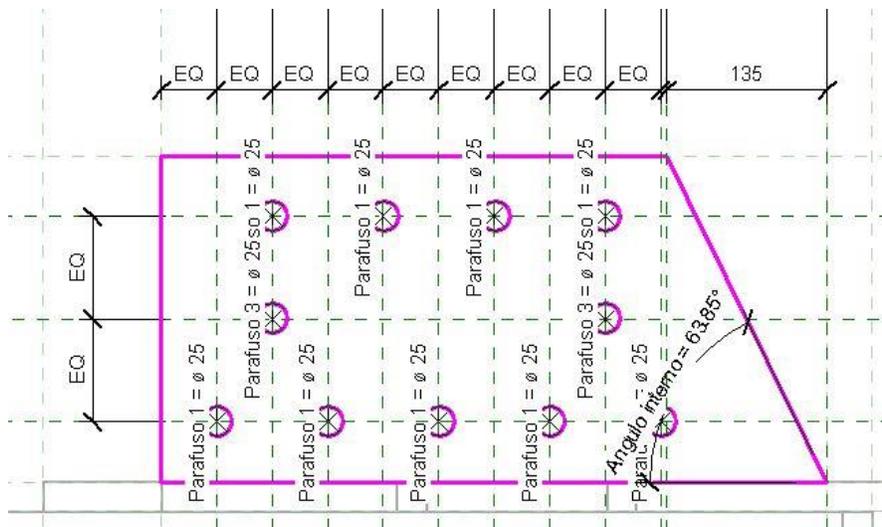


Figura 5-10: Parametrização da chapa transversal

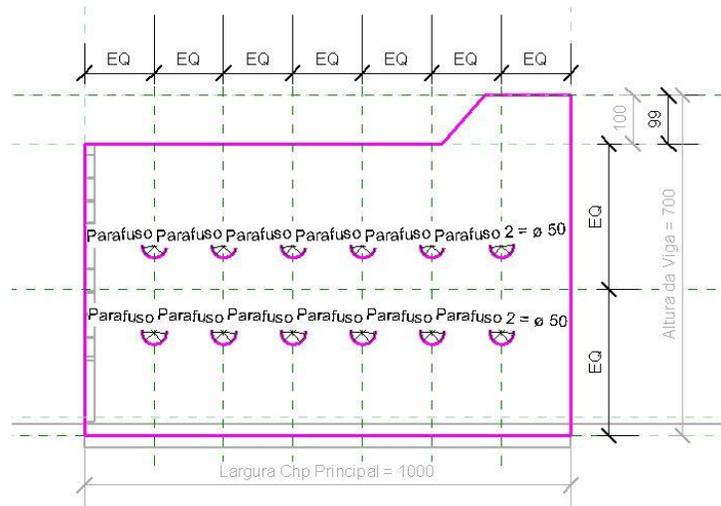


Figura 5-11:Parametrização da chapa principal

Para este tipo de ligação foi também modelado um parafuso, dado que os parafusos existentes não correspondiam às exigências esperadas dos mesmos.

Para efetuar a modelação do parafuso partiu-se de um modelo 2D de um parafuso existente. Com base neste modelo, foi utilizado o comando *Extrusion* para criar um volume com a forma 2D já existente. Uma vez definida a forma do parafuso foi necessário atribuir a este, características que permitissem que este ao ser introduzido cortasse os materiais em que se insere, tal como acontece na realidade. Para isso recorreu-se ao comando *Void Extrusion*, criando-se assim um *Void Extrusion* através de todo o contorno do parafuso, o que permitiu que este conseguisse simular o comportamento de um parafuso real. A Figura 5-12 apresenta o parafuso modelado para o cachorro metálico.



Figura 5-12:Parafuso modelado para o cachorro metálico

De seguida, e já num ambiente de projeto, os parafusos foram adicionados às chapas, no local onde previamente foi definida a furação, e desta forma foi possível, simular a situação real de colação em obra de uma ligação metálica, com os parafusos a garantirem a ligação entre a viga de madeira e a chapa metálica, e esta, a garantir a ligação entre as duas vigas de madeira. A Figura 5-13 apresenta a aplicação do cachorro metálico como ligação de duas vigas de madeira.

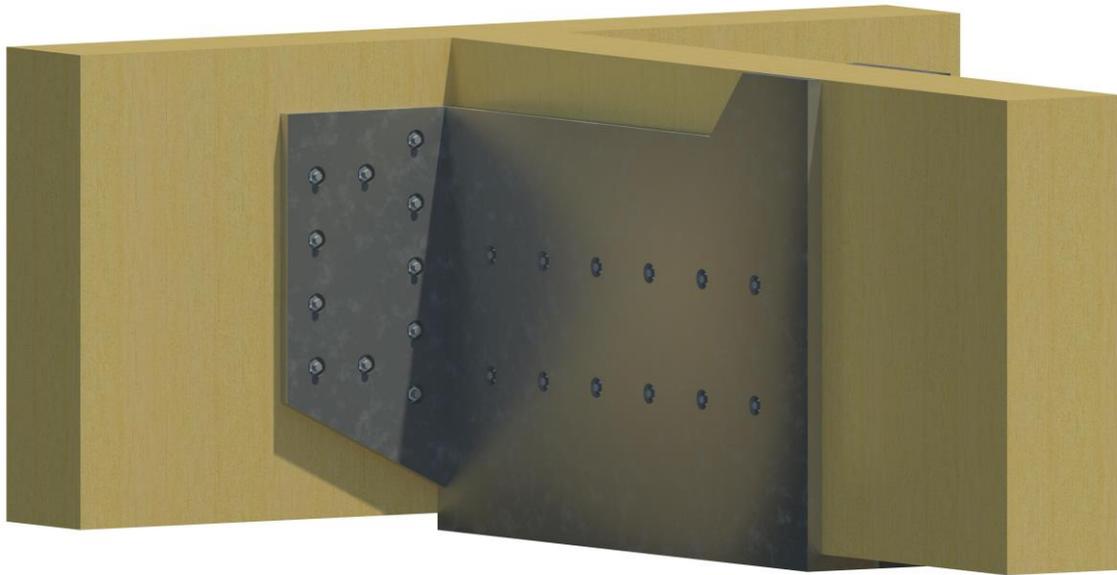


Figura 5-13: Aplicação de cachorro metálico como ligação entre duas vigas de madeira.

## 6. INTEGRAÇÃO DO BIM COM SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO E EXPORTAÇÃO DE RESULTADOS

### 6.1 Enquadramento geral e descrição do conceito Modular System®

O caso de estudo que se desenvolveu teve como objetivo primário uma interação com a realidade do mundo empresarial, que permitisse aplicar o conhecimento desenvolvido até esta fase da dissertação, e para além disto, poder contribuir com o mesmo, para a resolução de problemas reais de uma empresa. Além disto, tinha-se como objetivo, que esta interação potencializasse o desenvolvimento de outras aptidões que se traduzissem em criação de novos conhecimentos para ambas as partes envolvidas.

Neste caso a empresa com quem se estabeleceu parceria foi a Modular System®, doravante designada por MS.

O conceito apresentado pela MS consiste num sistema modular de casas em madeira, que pode variar entre soluções diferentes e personalizadas, mediante a agregação de módulos predefinidos. Deste modo, apesar de as casas terem uma base comum, o módulo, o sistema desenvolvido possibilita múltiplas soluções. A ideia consiste na junção de um sistema construtivo inovador em madeira, com um conceito espacial de agregação de módulos multifunções.

A MS projeta e constrói estes edifícios modulares, agregando assim a vantagem de concentrar num único interlocutor as diversas fases de desenvolvimento do processo desde o projeto até à obra finalizada. Dado ser um sistema modular pré-fabricado, este sistema é produzido em série o que permite, fornecer materiais e detalhes de elevada qualidade a custos reduzidos e acessíveis a um maior número de pessoas.

Segundo a descrição que a empresa faz sobre os seus módulos “os edifícios combinam uma interessante abordagem minimalista, um cuidado nos materiais tradicionais, e uma

particular atenção nos detalhes de matriz modernista: tudo num sentido de criar um ambiente funcional mas muito elegante.”

A nível construtivo, os módulos são sobrelevados do terreno e ligados através de distanciadores metálicos que permitem ajustar-se a qualquer topografia, respeitando-a e mantendo a permeabilidade do solo. A escolha da madeira como material de construção, permite obter com rigor e rapidez o controlo de custos já na fase de anteprojecto, sendo desenvolvidas soluções relativas aos aspetos térmicos, acústicos e energéticos.

Relativamente ao impacto ambiental destes módulos pré-fabricados, este é reduzido uma vez que a empresa opta pela utilização de materiais naturais e recicláveis. Tal deve-se também ao baixo dispêndio energético deste tipo de construção e ao respeito pelo meio ambiente. As características intrínsecas dos materiais que constituem os edifícios permitem a sua utilização com baixo consumo energético. Os edifícios produzidos pela MS possibilitam ainda a utilização de energias renováveis e reaproveitamento de recursos naturais, nomeadamente: energia solar, energia eólica, geotermia, reutilização de águas pluviais.

A MS aquando do início do caso de estudo utilizava uma grande percentagem de ligações metálicas na construção dos seus módulos, cerca de 80% de ligações metálicas para apenas 20% de ligações de madeira. Apesar disto, a empresa tinha como objetivo inverter esta tendência para o inverso, de modo a conseguir atingir os 80% de ligações de madeira e 20% de ligações metálicas, principalmente devido a fatores económicos.

A MS é uma empresa que já há alguns anos que trabalha com a metodologia BIM, nomeadamente com o Revit, sendo por isso o enquadramento desta empresa especialmente favorável para a temática que se pretendia estudar, visto conciliar num só conceito, a utilização quer da metodologia BIM, quer da utilização da madeira como principal material de construção.

## 6.2 Desafios propostos e abordagens de resolução dos mesmos

Quando primariamente se pensou na possibilidade de trabalhar conjuntamente com a MS, a ideia consistia em utilizar uma das suas habitações modulares prefabricadas como caso de estudo, e desse modo aplicar a metodologia BIM ao processo de desenvolvimento e construção das mesmas, passando pelas fases de modelação paramétrica de objetos, faseamento construtivo e orçamentação. Idealizou-se também, que poderia ser estudada a forma de efetuar a transição entre o BIM e o CAM, de forma a otimizar o processo de fabricação dos elementos utilizados. Tinha-se também como objetivo efetuar um estudo que avaliasse o impacto ambiental que estas habitações tinham e com base nele estudar diferentes soluções, que diminuíssem o mesmo.

Pretendia-se, não apenas aplicar a metodologia BIM ao processo de construção utilizado, mas também sempre que possível, apresentar alguma alteração ao mesmo, que se traduzisse numa otimização do processo utilizado.

Apesar de estes serem os objetivos iniciais, as reuniões conjuntas com a MS, demonstraram que esta não seria a abordagem mais favorável para a empresa, uma vez que eles já dominavam as fases de modelação paramétrica de objetos e de faseamento construtivo, assim como já tinham plenamente delineadas as transições entre a fase de projeto e a produção (BIM-CAM). Assim, visto que um dos objetivos desta parceria era a aplicação do conhecimento adquirido, de forma a resolver problemas reais da MS, concordou-se que seria mais favorável optar por uma outra abordagem. Neste sentido, e após terem sido discutidas algumas dificuldades que a MS encontrou ao longo tempo em que têm vindo a utilizar o BIM, eles propuseram alguns desafios que consistiam na resolução de alguns destes mesmos problemas, de modo a otimizar todo o processo de construção dos seus módulos.

O primeiro desafio apresentado era relativo à utilização de sistemas de classificação e à exportação dos mesmos.

Pretendia-se que fosse criada uma solução que viabilizasse a utilização de um sistema de classificação, que simplificasse a transição entre a extração de quantidades e a orçamentação. Ao mesmo tempo pretendia-se poder utilizar a experiência que tinha adquirido ao longo dos anos pela MS, de modo a potencializar o tempo investido nestas tarefas.

### **6.3 Sistemas de classificação e exportação de resultados**

Durante os últimos anos, a MS já tinha testado várias formas de sistemas de classificação, sendo que nenhum dos sistemas testados preenchia, por completo, as suas necessidades: os sistemas internacionais não iam ao nível de detalhe que eles pretendiam, e necessitavam, para a construção modular, e os sistemas de classificação através de códigos alfanuméricos apresentavam-se demasiados morosos, perante a necessidade de uma rápida orçamentação e iniciação do processo de fabrico, existentes nas construções modulares prefabricadas. Além disso era necessário encontrar um tipo de codificação que pudesse ser introduzida no Revit e depois facilmente exportado para o *software* Primavera, *software* de orçamentação utilizado pela MS (transição entre a modelação e a orçamentação), e que este pudesse automaticamente reconhecer e associar aos seus custos reais, previamente estabelecidos na base de dados do mesmo.

#### 6.3.1 Sistema de classificação Omniclass e utilização do parâmetro Keynote

A primeira abordagem proposta, consistiu na implementação do sistema de classificação Omniclass, que seria complementado com classes extra de modo a corresponder às necessidades específicas da MS. Este sistema de classificação foi escolhido pois é um sistema de classificação internacional, amplamente utilizado.

As classes a acrescentar seriam inicialmente escolhidas com base na especificação “Level of Development Specifications” (Bim Forum, 2013), sendo posteriormente acrescentadas novas classes caso se verificasse que mesmo assim existia a necessidade de classes mais específicas.

Uma vez definidas as classes a utilizar estas seriam implementadas no Revit através da utilização de um parâmetro existente no mesmo, denominado de Keynote.

O parâmetro Keynote, tal como descrito pela própria Autodesk, “*é um parâmetro que está disponível para todos os elementos do modelo, atribuído a um material, ou personalizado para fornecer as informações necessárias, sendo o seu valor obtido através de um arquivo de texto exterior ao modelo, que contém uma lista de Keynotes, sendo neste caso definidos em um arquivo de texto delimitado por tabulação*” (Autodesk, 2015b), como por exemplo um ficheiro de texto no formato .txt.

Seria criado um ficheiro de texto com um sistema de classificação, que conteria a informação para o parâmetro Keynote. Durante a criação das famílias em Revit, este parâmetro seria logo atribuído à família, conservando cada família este parâmetro durante todas as suas utilizações. Deste modo só seria necessário atribuir este parâmetro uma vez, o que facilitaria a classificação dos elementos em projeto, visto que quando os elementos são inseridos, já conteriam o sistema de classificação como propriedade, algo que pouparia muito tempo em todo o processo de classificação do projeto final. Por último toda a informação seria exportada com recurso ao formato IFC, que conteria toda a informação relativa ao projeto, num formato universal.

A principal vantagem desta abordagem consistia no fato de poder utilizar, como base, um sistema de classificação internacional, o que facilitaria a comunicação com entidades internacionais, algo que poderia ser importante dado o desejo de internacionalização por parte da MS.

Outra vantagem consistia na facilidade de implementação desta metodologia, visto que era utilizado um parâmetro de existente no *software* que a empresa já possuía e os dados podiam ser facilmente fornecidos através de um bloco de notas.

A Figura 6-1 apresenta a organização deste sistema de classificação e o recurso às tabelas 21 e 22 do sistema de classificação Omniclass, a *Uniformat* e a *Masterformat*, respetivamente.

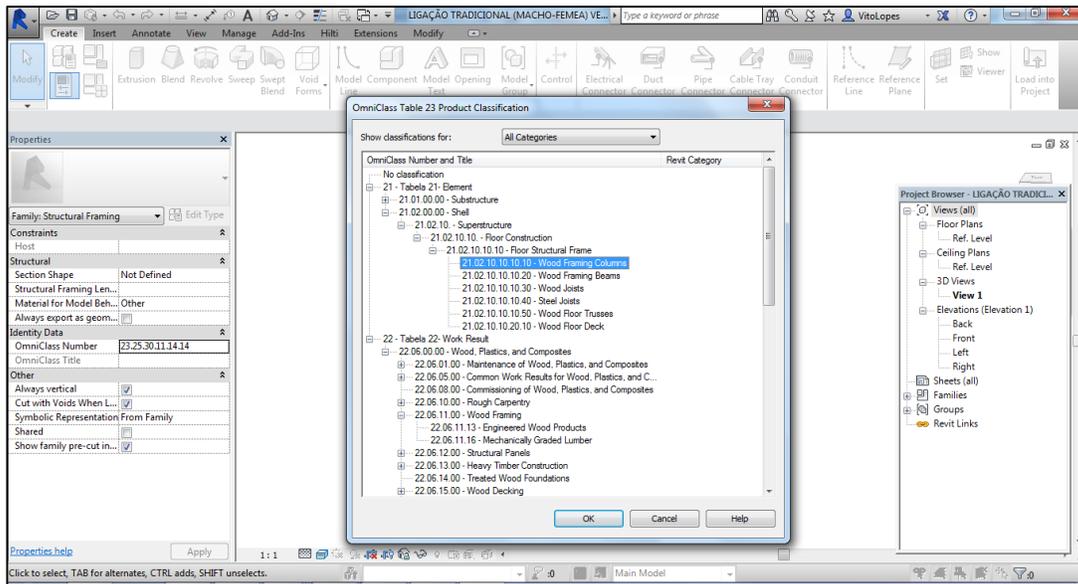


Figura 6-1: Tabela com sistema de classificação Omniclass com recurso ao parâmetro Keynote

Uma vez definida a forma como se pretendia organizar a informação, e após verificar que esta abordagem era viável para esta fase, foi necessário testar a parte relativa ao armazenamento e exportação da informação. Nesta fase surgiram algumas dificuldades relativamente ao armazenamento da informação e exportação da mesma.

Para efetuar a exportação dos ficheiros no formato IFC, para as diferentes versões possíveis, foi utilizado o *add-in* para o Revit, IFC 2015, da Autodesk, Inc., sendo utilizado o *software* Solibri Model Viewer v9.5 para efetuar a visualização dos ficheiros criados.

Quando se efetuou a gravação do ficheiro IFC, constatou-se que apesar de o parâmetro Keynote existir no ficheiro em Revit, este não era exportado quando era criado o ficheiro IFC. Para contornar esta dificuldade, efetuaram-se testes de exportação com diferentes versões de IFC, nomeadamente as versões IFC 2x3 e IFC 4 e diferentes formatos das mesmas. As opções exploradas encontram-se demonstradas na Figura 6-2.

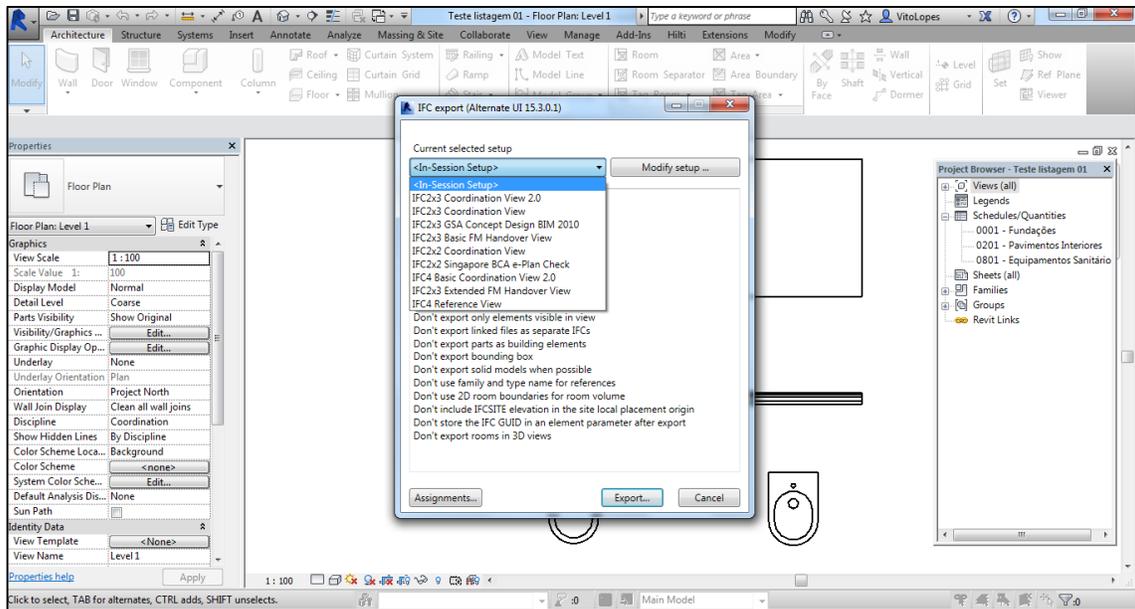


Figura 6-2: Janela de exportação, do *add-in* IFC 2015, em formato IFC com as várias opções exploradas

Visto que apesar das diversas tentativas, não foi possível criar um ficheiro IFC que armazenasse o parâmetro *Keynote*, optou-se por efetuar todo o processo anterior, mas desta vez para o parâmetro *Description*.

O parâmetro *Description* é um parâmetro, que tal como o *Keynote*, está disponível para todos os elementos do modelo, e o seu valor também é obtido através de um arquivo de texto exterior ao modelo. A vantagem que este parâmetro apresentava era que, em todos os testes efetuados, este parâmetro estava presente no ficheiro IFC gravado. Apesar disto, quando se tentou gravar a informação desejada neste parâmetro, e de seguida exportá-la num ficheiro IFC, tal não era possível, pois apesar de o parâmetro estar presente, surgia sempre como vazio, não contendo a informação desejada.

### 6.3.2 Programação em C# com recurso a API's

Uma vez que a primeira abordagem pensada para a resolução deste desafio não resultou, optou-se por uma nova abordagem como forma de resolução deste mesmo problema. A nova abordagem consistiu em programar um *add-in*, utilizando a linguagem de programação C#, com recurso à API (Application Programming Interface) do Revit.

C # é uma linguagem de programação que usa as bibliotecas Microsoft. NET para desenvolver aplicações, e que além disso permite que seja incorporada uma interface gráfica (GUI) nas aplicações desenvolvidas. C # é um cruzamento entre C ++ e Java. (Wittman)

Uma API, segundo a definição descrita no *site techterms*, “é um conjunto de comandos, funções e protocolos que os programadores podem utilizar na construção de software para um sistema operacional específico. Além disto, segundo o mesmo *site*, “a API permite aos programadores usar funções pré-definidas para interagir com o sistema operacional, em vez de escrevê-los a partir do zero” (Sharpened, 2015).

Este tipo de abordagem permitiria efetuar todo o processo de exportação que não estava a ser possível com recurso ao formato IFC, através do desenvolvimento de um add-in que exportasse toda a informação necessária, diretamente para um formato que o Primavera pudesse reconhecer e armazenar. Para o desenvolvimento desta abordagem, utilizou-se o sistema de classificação desenvolvido internamente pela MS.

Conjuntamente com a MS concordou-se que a informação deveria ser exportada num formato .txt com tabulações, uma vez que este formato que é compatível com o Primavera. Conclui-se também, que para tal ser executável existiam mais algumas condições *sine qua non* que teriam sempre de ser respeitadas de modo a garantir a fiabilidade da informação que seria transferida. Essas condições eram:

- O ficheiro .txt teria de ser organizado em quatro níveis, com diferentes especificações: nome do ficheiro, título, cabeçalho e corpo;
- O nome do ficheiro deveria ser do tipo: 0000 – xxxxxxxxxxxxxx. Esta informação resume-se ao código concatenado que identifica o elemento, seguido de um espaçamento, um hífen e novamente um espaçamento, seguido da designação do elemento. Esta configuração é igual para o título do ficheiro. A formatação a utilizar para o nome do ficheiro .txt é exemplificada na Figura 6-3;



Figura 6-3: Exemplo da formatação a utilizar para o nome do ficheiro, de forma a ser possível a sua exportação

- O cabeçalho das colunas deveria ser criado de modo a existirem quatro colunas, espaçadas através de tabulações, que corresponderiam aos parâmetros Subcapítulo, Descrição do Elemento, Capítulo e Quantidade/Unidade, respetivamente. As tabulações teriam localizações específicas, de modo a o *software Primavera* conseguir atribuir a informação aos parâmetros corretos;
- A parte correspondente ao corpo do ficheiro é a parte que seria automaticamente preenchida com a informação retirada do modelo BIM, e cuja formatação tem de corresponder as colunas em que se pretende armazenar a informação, uma vez mais com recurso a tabulações.

O processo de desenvolvimento de uma solução que correspondesse às expectativas e satisfizesse as necessidades da MS foi um processo iterativo de melhoramento das soluções que iam sendo desenvolvidas.

Durante este processo foram totalmente desenvolvidos dois *add-ins* diferentes, que correspondiam ao pedido pela MS em duas fases diferentes, e que deste modo se adaptaram às necessidades da empresa em momentos diferentes. Foi necessário respeitar todas as condições para apresentadas para ambos os *add-ins* que foram criados.

Numa primeira fase, decidiu-se criar um *add-in* que automaticamente efetuasse a contagem de todos os elementos existentes num qualquer projeto e os separasse segundo os elementos a que estes pertenciam.

O *add-in* desenvolvido tinha a especificidade de identificar os elementos existentes no modelo, de acordo com as suas características. Deste modo, os pilares existentes eram identificados como sendo pilares, as vigas como sendo vigas e assim sucessivamente para todos os elementos que se pretendesse identificar.

Após isto, o *add-in* percorria todos os elementos que tinha terminado de identificar e retirava, de cada um, o valor do parâmetro desejado para a orçamentação: no caso de elementos como vigas ou pilares, o parâmetro fundamental seria o volume de cada elemento. A utilização deste parâmetro permitiria obter a informação necessária para a produção, uma vez que o preço dos elementos de madeira é contabilizado em metros cúbico de madeira CNC, ou seja, o preço da madeira após ter sido manufaturada. Já no caso de lajes e pavimentos, o parâmetro seria a área de cada elemento. Este procedimento seria efetuado para todos os elementos presentes em projeto, sendo o parâmetro retirado de acordo com o tipo de elemento em análise.

De seguida era apresentada uma janela, que permite ao utilizador visualizar o nome e a quantidade de cada elemento que foi encontrado no modelo, tal como ilustrado na Figura 6-4. Posteriormente todos ficheiros com a informação extraída do modelo, eram criados, no formato .txt com tabulações, permitindo assim a interação com o Primavera.

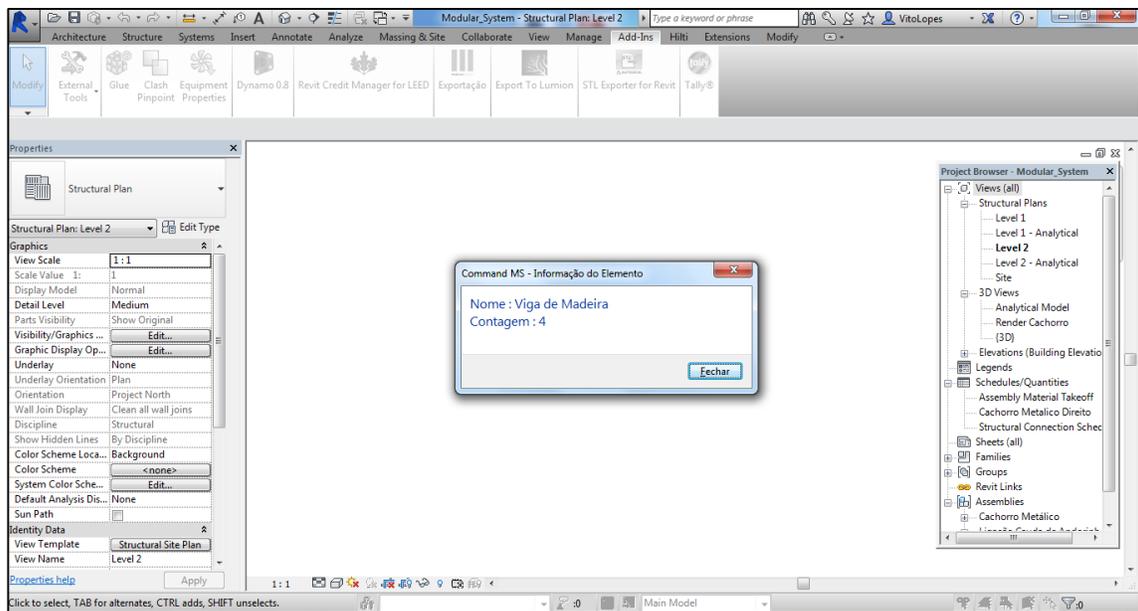


Figura 6-4: Exemplo da janela “Informação do Elemento” com a identificação e contagem do elemento

Apesar da solução desenvolvida funcionar de acordo com o pedido pela MS, esta solução funcionava de forma autónoma, relativamente ao trabalho desenvolvido previamente pela MS, não sendo utilizado, o seu *template* que continha os *schedules*, com a separação de elementos, conforme eram utilizados durante o processo construtivo, algo que era fundamental visto que a metodologia implementada pela empresa consiste em dissecar o processo construtivo até ao nível do elemento básico de construção. Por exemplo, segundo a metodologia implementada, uma parede não é um elemento básico, mas sim um conjunto de elementos, uma vez que é ainda dividida nos elementos que a constituem, como a os revestimentos ou os painéis de madeira, sendo estes os elementos básicos, que se vão aglomerar e criar um elemento composto que é a parede. Deste modo, para poder trabalhar de acordo com a metodologia implementada pela empresa era fundamental que pudesse ocorrer esta integração. Para que tal integração ocorresse a empresa sugeriu que fosse desenvolvido um novo *add-in* que funcionasse de uma forma integrada com os *templates* previamente criados, mas que mantivesse as potencialidades de exportação para o Primavera. Além disso, visto a empresa possuir centenas de *schedules* dentro do seu *template* base, eles propuseram que se pudesse estudar uma forma efetuar a exportação dos mesmos, de uma forma automática, uma vez que o Revit apenas permite que os *schedules*

sejam exportados um de cada vez, o que resulta num aumento do tempo despendido para a exportação dos mesmos e consequente diminuição da produtividade.

Para responder a este novo desafio foi criado um novo *add-in*, desta vez em colaboração com o Engenheiro Carlos Gomes da empresa Newton, Consultores de Engenharia Lda.

Este *add-in* automaticamente vai retirar a informação relativa a todos *schedules* existentes num projeto e permite ao utilizador escolher quais os que pretende utilizar. Ao mesmo tempo, ultrapassa a limitação de exportação presente no Revit, pois permite exportar automaticamente todos os *schedules*, originando cada um, um novo ficheiro .txt com os dados e formatação necessários para a utilização do Primavera.

As figuras Figura 6-5, Figura 6-6 e Figura 6-7 apresentam a *interface* do *add-in* desenvolvido, assim como o ficheiro final que permite a leitura pelo Primavera. A Figura 6-8 apresenta uma parte do código que foi escrito para codificação do *add-in* que foi criado, como exemplo.

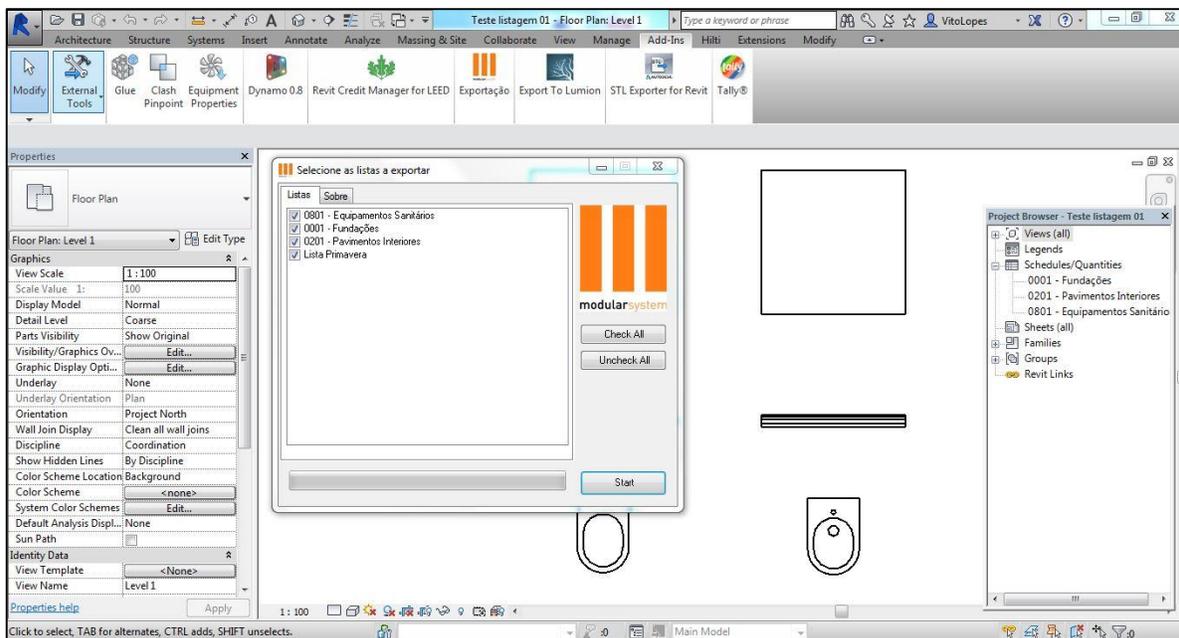


Figura 6-5: Janela de seleção dos *schedules* que se pretende exportar

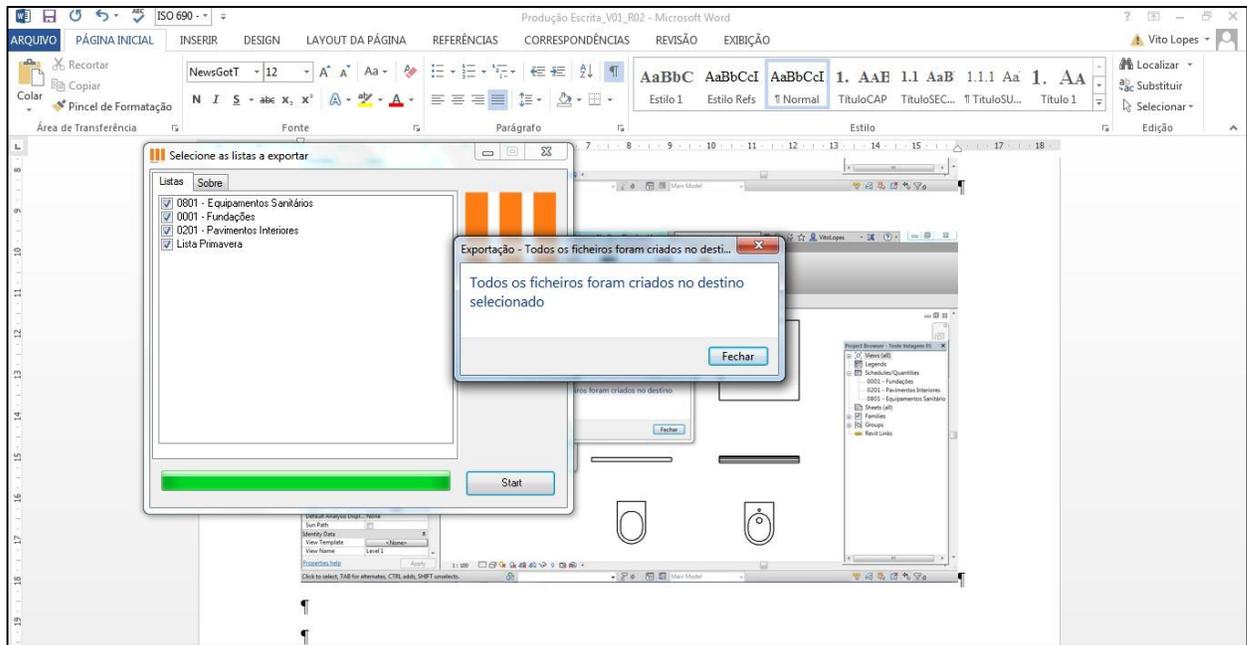


Figura 6-6: Exemplo da exportação dos *schedules* existentes

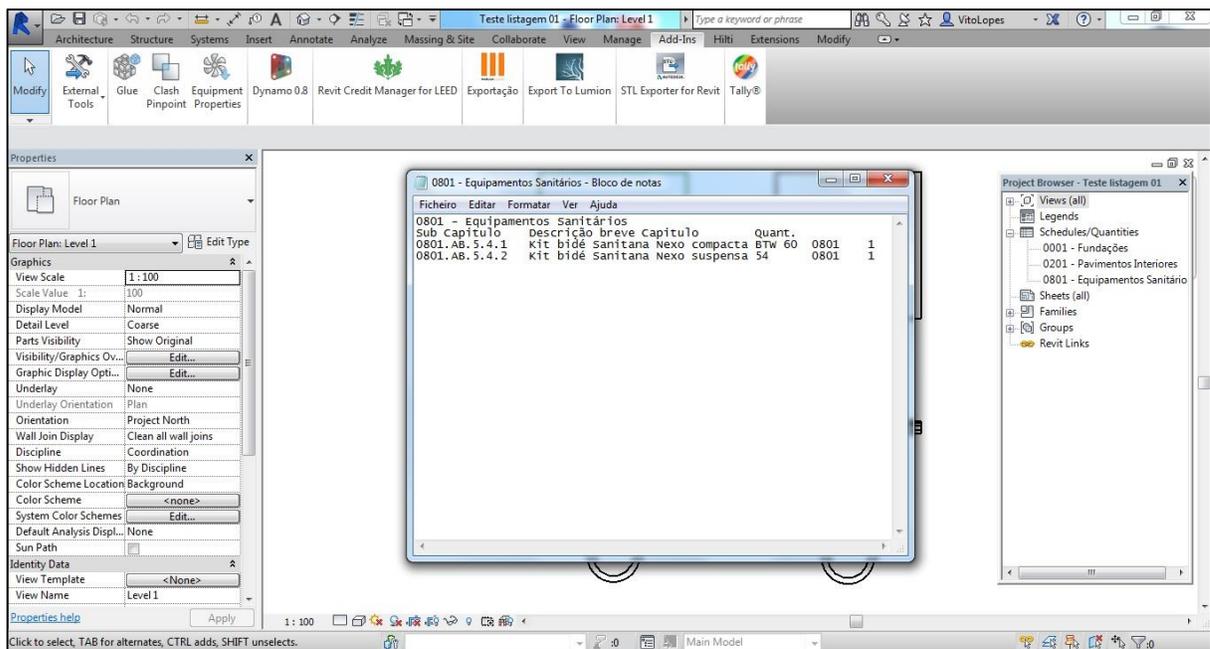


Figura 6-7: Ficheiro .txt com os dados do *schedules* e com a formatação necessária para o Primavera

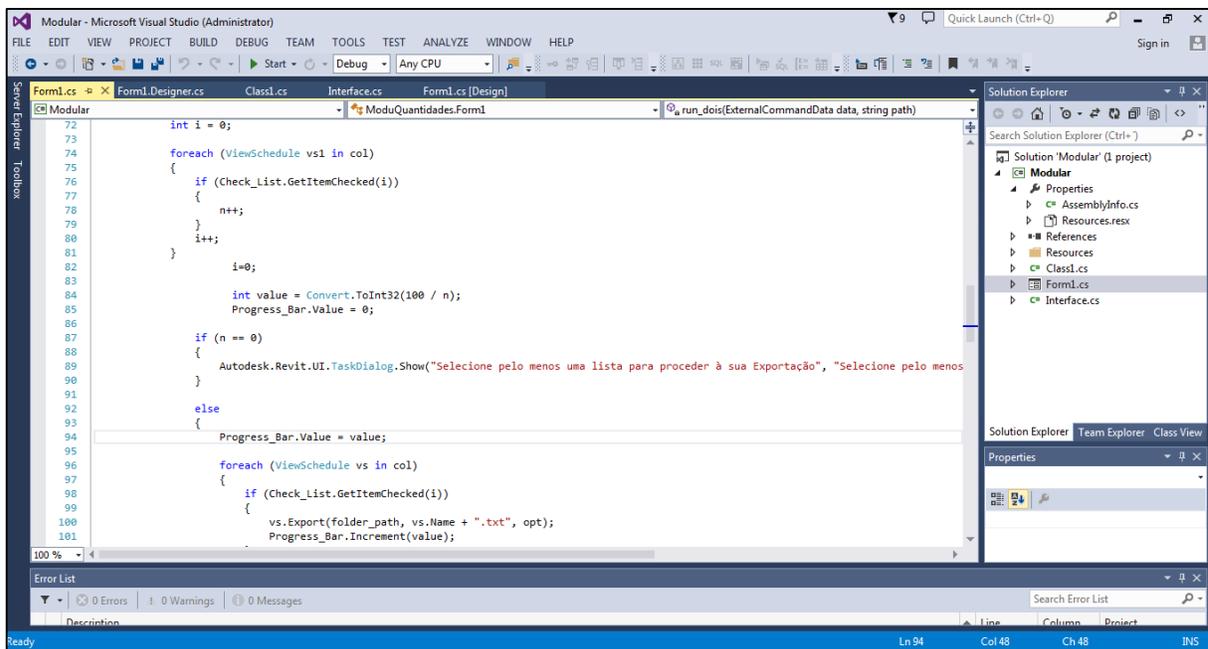


Figura 6-8: Exemplo do código escrito para desenvolvimento do *add-in* criado

O desenvolvimento deste *add-in* permite à MS a exportação automática de todos os *schedules*, aumentando assim a velocidade de execução do processo de orçamentação e obtenção dos custos e quantidades totais de uma obra, ao mesmo tempo que se garante a veracidade dos dados exportados e se aproveita o trabalho previamente desenvolvido pela empresa em questão.

Este *add-in* permite também otimizar todo o processo relativo à parte do BIM 5D e assim relacionar os preços com as quantidades e a calendarização definida na fase de planeamento e definição total em projeto. A velocidade de interligação proporcionada por este *add-in* otimiza também a ligação com a produção, uma vez que a recolha de dados para produção é mais célere, o que permite mais rapidamente iniciar a fase de produção, garantindo na mesma a veracidade dos valores, o que é de ainda maior importância no caso de construções pré-fabricadas modulares, onde o tempo de definição de projeto e de construção deve ser muito menor do que na construção tradicional, uma vez que é um fator que é apresentado como uma das vantagens deste tipo de construção.

Foi desenvolvido um vídeo que explica a forma de funcionamento deste *add-in*, exemplificando como se processa a exportação de dados, assim como o resultado final da utilização do mesmo, que se traduz na obtenção de um ficheiro de texto, no qual é possível observar a formatação final deste ficheiro de texto, formatação essa fundamental para o sucesso deste processo de exportação.

### 6.3.3 Conclusões

Após a realização desta tarefa chegou-se a algumas conclusões. Em primeiro lugar, foi possível concluir que a interoperabilidade entre o *software* BIM e o software utilizado posteriormente para a orçamentação e estimativas de custo, precisa ser melhorada, de modo a facilitar e incrementar esta troca de informação.

Outra conclusão a que foi possível chegar, foi que, os sistemas de classificação utilizados, devido a serem pensados de uma forma global, podem não atingir o grau de especificidade pretendido pelo utilizador, sendo deste modo necessário, a criação de sistemas de classificação internos que possam servir de complementos aos sistemas de classificação utilizados.

Além do já referido, também foi possível concluir, que apesar de existirem problemas de interoperabilidade entre os *softwares* utilizados, estes podem ser ultrapassados com uma relativa facilidade. Isto pode ocorrer através da criação de *add-ins*, tal como o desenvolvido durante o âmbito desta dissertação, que assim facilitam a integração de técnicas BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira.

Relativamente à parte específica de programação, as principais dificuldades encontradas relacionam-se com fato de ser necessário compreender como efetuar a programação em C#, ao mesmo tempo que era necessário compreender como efetuar essa mesma programação com recurso à API do Revit. Devido a isto, sempre que se pretendia efetuar uma tarefa que envolvesse a introdução de um objeto no modelo, ou a criação de uma família, era primariamente necessário compreender a forma de conseguir fazer isso mesmo, com recurso à API do Revit. Só após a conclusão desta fase, é que através de um conjunto de rotinas em C#, se criavam as definições, segundo as quais, estes mesmos objetos eram

criados/introduzidos no modelo. Esta metodologia de trabalho, apesar de possibilitar a utilização das funcionalidades do Revit, implicou que estas duas abordagens tivessem de ser estudadas separadamente, o que prolongou o tempo de realização do trabalho desenvolvido.

## 7. INTEGRAÇÃO DO BIM COM A MODELAÇÃO AUTOMÁTICA DE OBJETOS

### 7.1 Linha low-cost, desenvolvimento da ModyHouse

A MS apresentou como segundo desafio trabalhar no desenvolvimento de uma linha *low-cost* que viria completar os diversos módulos que eles já produziam, algo que era um desejo antigo da empresa e que tem como objetivo atingir outra gama de clientes, que pretendam na mesma optar por uma construção modular pré-fabricada, mas que não disponham de recursos para efetuar um investimento elevado.

Este novo conceito seria uma construção modular fechada que a nível construtivo consistiria numa Prefabricação apainelada (*Off-site manufactured – panellised*), ou seja, os painéis seriam construídos em fábrica e transportados para o local para serem montados e assim formar uma estrutura tridimensional. Uma vez que o módulo é composto sempre pelo mesmo tipo de elementos, a modelação deste tipo de construções é um processo repetitivo. Assim, após estar definida a constituição do módulo, seria possível criar uma aplicação que reproduzisse este processo. Durante a conceção deste projeto, a empresa pretendia aperfeiçoar a ligação entre o utilizador e o Revit, com o objetivo de reduzir o tempo despendido no desenvolvimento do modelo, otimizando assim todo o processo de conceção do edifício.

Com base em tudo isto, a abordagem escolhida para a resolução deste desafio, consistiu em desenvolver um *add-in* que permitisse a criação da forma exterior e da parte estrutural, do sistema modular a projetar, apenas com a introdução de apenas dois dados de entrada-*inputs*. Estes dois dados de entrada seriam respetivamente o comprimento (dimensão no eixo dos xx) e a largura (dimensão no eixo dos yy) do módulo. A Figura 7-1 exemplifica o sistema de eixos utilizados.

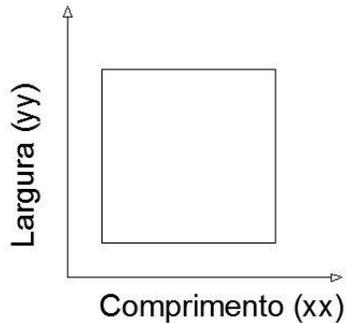


Figura 7-1:Exemplificação do sistema de eixos definidos

Para o desenvolvimento deste projeto foram impostas algumas condições com o objetivo tornar a solução desenvolvida mais próxima da situação construtiva real em obra, adequando assim a solução criada à realidade da construção modular. Ao longo do processo de desenvolvimento deste conceito, foram sendo efetuadas alterações que visaram que satisfizer, tanto os desejos da empresa, como as restrições impostas pela API do Revit. Além disso, também ocorreram alterações no trabalho desenvolvido, visto que só durante o desenvolvimento do mesmo é que foi possível compreender totalmente aquilo que era pretendido pela MS. Deste modo o desenvolvimento deste conceito foi um processo iterativo de aprendizagem e refinamento do trabalho produzido, até o resultado final satisfazer ambas as partes. As condições finais foram as seguintes:

- Todo o edifício terá de ser construído a partir de um elemento base, que ao ser aplicado múltiplas vezes gera a forma pretendida;
- O elemento base é um painel, doravante designado painel MS, desenvolvido pela MS. O painel MS pode ter até 2500 milímetro de largura, uma altura máxima entre 3500 a 4500 milímetro e uma espessura base de 200 milímetro;
- Cada painel MS é constituído por até cinco painéis, com 500 milímetro de largura cada, intervalados com prumos de madeira, que funcionam como elementos resistentes. Estes painéis são utilizados tanto para os elementos verticais como para os horizontais, variando apenas a sua espessura com base na sua capacidade de resistir às ações atuantes. Cada painel com 500 milímetro de largura, doravante será designado por painel 500;

- A dimensão mínima na direção dos XX (definida como comprimento) e na direção dos YY (definida como largura) é de 2500 milímetro;
- Para fazer a transição entre os painéis na direção dos XX e os painéis na direção dos YY, foi definido, que seriam colocados elementos de remate de modo a permitir que a continuidade entre os elementos fosse assegurada. Estes elementos são prumos de madeira quadrados com 200 milímetro de lado.

Para resolver este desafio optou-se por programar um *add-in*, com recurso à API do Revit. Esse *add-in* foi denominado ModyHouse, terminologia pela qual, a partir deste momento será designado.

Antes de se iniciar a modelação dos elementos constituintes da ModyHouse e de se poder iniciar a programação do *add-in*, foi necessário efetuar o cálculo estrutural dos elementos estruturais constituintes do mesmo, de modo a definir quais as dimensões que cada elemento viria a ter e assim serem modeladas de acordo com as suas características reais. O processo de dimensionamento do conceito ModyHouse encontra-se descrito no Anexo I.

## **7.2 Escolha da tipologia da família**

### 7.2.1 Painéis MS verticais e horizontais

O primeiro passo efetuado consistiu na modelação do elemento base, o painel MS, com recurso à criação de famílias no Revit. A definição do painel a utilizar foi um processo iterativo, visto que foram ocorrendo modificações, até encontrar a solução final. Por exemplo, numa fase inicial, modelaram-se os painéis MS como sendo elementos individuais de 0,50 metro que se ligavam horizontalmente entre si até formar um painel global, cuja dimensão total seria igual à da dimensão pretendida para o alçado em questão. Após reunir com a MS compreendeu-se que esta não seria a melhor solução, e que esta solução não era a pretendida por eles, dada a dificuldade inerente de se ter que ligar individualmente todos os painéis em obra, assim como devido aos custos associados a esta tarefa.

Relativamente à forma como os painéis são modelados, idealmente cada painel deveria ser modelado como um elemento de parede. Tal não aconteceu, porque o Revit classifica todas as famílias de paredes como *System families*. O facto de as paredes serem classificadas desta forma, faz com que todos os elementos de parede sejam *System families* já por definição e que sejam guardados em *templates* e em projetos, não podendo assim ser carregadas a partir de ficheiros externos (Autodesk, 2015e).

Visto que não era possível criar o painel como uma parede, optou-se por criar o painel como sendo *Structural Framing*. A escolha deste tipo de configuração deve-se ao fato, de os objetos do tipo *Structural Framing*, poderem ser introduzidos no modelo com base numa linha diretriz, que define onde estes serão colocados. Deste modo, introduzindo programaticamente os dois pontos que constituem a linha diretriz, pode-se definir o comprimento que cada painel viria a ter. Tal procedimento é ilustrado na Figura 7-2.

```
//INSERIR PAINÉIS VERTICAIS
string path_Parede2 = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel Parede_2.rfa";
string simbolo_Parede2 = "2 Painéis";
FamilySymbol simbolo_Parede2;
Family familia_Parede2;
doc.LoadFamily(path_Parede2, out familia_Parede2);
doc.LoadFamilySymbol(path_Parede2, simbolo_Parede2, out simbolo_Parede2);
XYZ origem_painel = new XYZ(coord_x, coord_y, 0);
XYZ destino_painel = new XYZ(destino_parede_x, destino_parede_y, 0);
Line Line_Beam_1 = Line.CreateBound(origem_painel, destino_painel);
Element paineis_xx = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_1, simbolo_Parede2, level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
```

Figura 7-2: Exemplo do código necessário para a introdução dos painéis verticais no modelo em Revit.

A solução final a ser adotada para a criação do painel MS, consistiu na modelação de várias famílias *Metric Generic Model line based*, cujo elemento base era um painel 500, definido como *Structural Framing*. A partir deste painel, foi definido um *array* de painéis 500, o que permitiu a criação de uma sequência. O conjunto de painéis 500 origina o painel MS. A introdução dos elementos através de um *array* permite que seja efetuada a contagem dos painéis 500 que constituem cada painel MS.

Apesar de o painel MS ser modelar como um conjunto de painéis 500, quando são introduzidos no modelo, o conjunto de painéis 500 que forma o painel MS, comporta-se apenas como um único objeto, o painel MS, o que facilita a sua criação e modificação em projeto.

A origem do eixo transversal da família foi definida como sendo a sua extremidade esquerda, de modo a facilitar a introdução da mesma no modelo, com recurso à programação em C#.

Uma vez que cada painel 500 não pode ser cortado, ou seja, tem de ser colocado em unidades completas, introduziram-se restrições nas dimensões do painel. Desta forma, a partir da dimensão escolhida pelo utilizador, é criado o maior número possível de elementos inteiros, dada a dimensão de cada elemento. Tais restrições e definições encontram-se representadas na Figura 7-3 e na Figura 7-4.

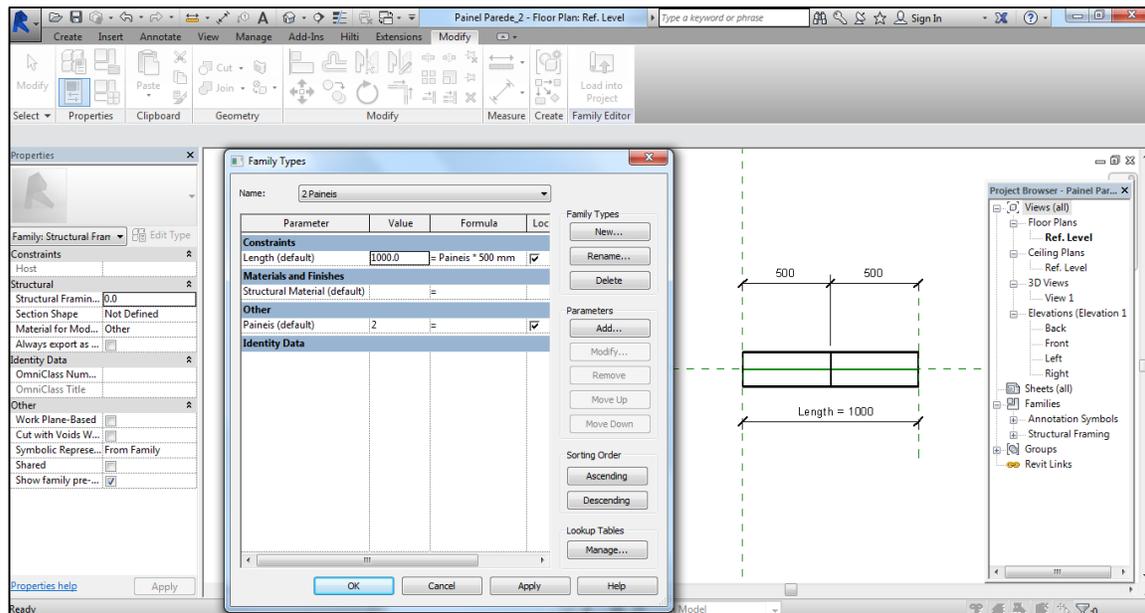


Figura 7-3: Parâmetros introduzidos para restrição das dimensões dos elementos criados.

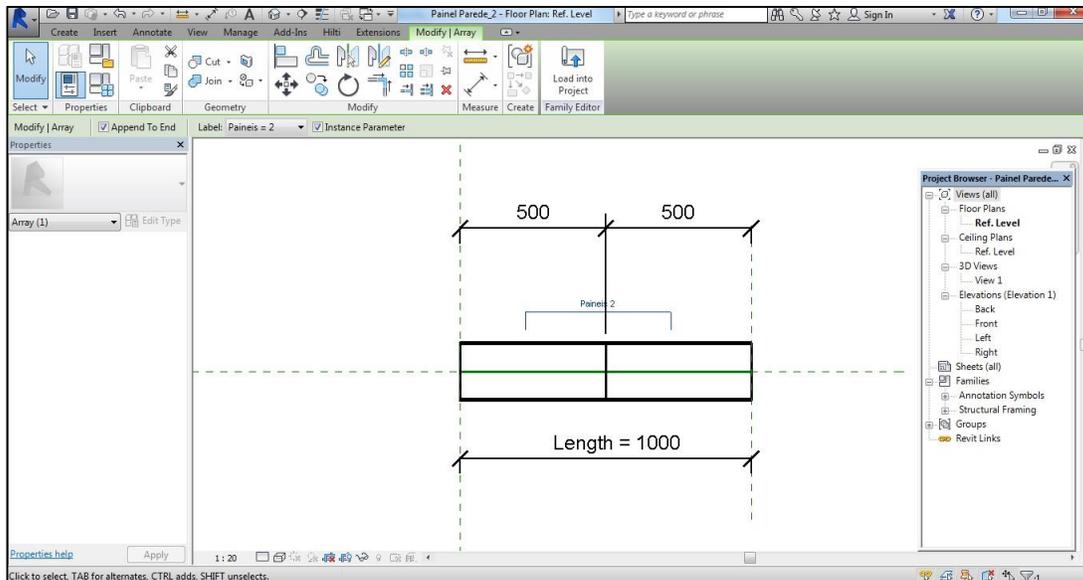


Figura 7-4: Pormenor dos parâmetros introduzidos para restrição das dimensões dos elementos criados.

Para além dos painéis MS, todos os elementos constituintes do módulo foram modelados parametricamente de modo a serem introduzidos no modelo. Assim, foram modelados os painéis MS, tanto verticais como horizontais, os elementos de remate e os prumos, verticais e horizontais.

Apesar de o processo de modelação e introdução no modelo dos painéis MS horizontais ser em parte semelhante ao processo utilizado para os painéis verticais, existiram algumas especificidades que fizeram com que este processo sofresse alterações.

Dada a metodologia que foi utilizada para a criação dos painéis MS, apenas era possível que estes variassem numa direção. Assim, uma vez que os painéis iriam variar no eixo dos XX, a variação destes mesmos painéis segundo o eixo dos YY, demonstrou-se ser uma impossibilidade. Deste modo foi necessário pensar numa forma de ultrapassar esta dificuldade, visto que as dimensões ao longo do eixo dos YY também poderiam variar entre 2500 mm e 4000 mm.

Para ultrapassar esta dificuldade foram criadas várias famílias de painéis MS horizontais com uma largura de 2500, 3000, 3500 e 4000 mm, cada, algo facilitado pelo fato de as famílias terem sido modeladas previamente como paramétricas. Assim conforme a situação especificada pelo utilizador, é selecionada a família correspondente a cada situação. A metodologia utilizada está exemplificada na Figura 7-5, que apresenta o código desenvolvido para ultrapassar esta dificuldade. Este procedimento foi utilizado tanto para os painéis MS horizontais da cobertura, como para os do piso.

```
// INSERIR PAINÉIS COBERTURA E RÉS-DO-CHÃO
if (m_maiorque1 == false)
{
  if (input_yy >= 2500 / 304.8 && input_yy < 3000 / 304.8)
  {
    beam_path = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x2500.rfa";
    beam_path_floor = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x2500.rfa";
    coord_y = coord_y - 500 / 304.8;
  }

  if (input_yy > 2500 / 304.8 && input_yy <= 3000 / 304.8)
  {
    beam_path = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x3000.rfa";
    beam_path_floor = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x3000.rfa";
    coord_y = coord_y - 250 / 304.8;
  }

  if (input_yy > 3000 / 304.8 && input_yy <= 3500 / 304.8)
  {
    beam_path = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x3500.rfa";
    beam_path_floor = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x3500.rfa";
  }

  if (input_yy > 3500 / 304.8)
  {
    beam_path = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x4000.rfa";
    beam_path_floor = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x4000.rfa";
    coord_y = coord_y + 250 / 304.8;
  }
}
```

Figura 7-5: Exemplo da codificação desenvolvida para introdução dos painéis MS horizontais.

Tal como as paredes, as lajes, designadas por *Floors* também são *System families*. Por este motivo, durante o desenvolvimento do conceito ModyHouse, as lajes que na realidade serão utilizadas, não foram modeladas, pois apesar de ser possível criar uma laje, não é possível definir para a mesma as características que se pretende, como espessura, ou material, via programação. Para isso acontecer, teria de ser criado um *template* no qual fossem previamente alteradas as lajes existentes de modo a criar as lajes que se pretendia, e estas posteriormente serem utilizadas quando executado o *add-in* ModyHouse. Ora, isto era incompatível com o trabalho desenvolvido com a empresa MS, visto que a empresa já possuía um *template* previamente desenvolvido por eles, ao qual não se teve acesso. Apesar disto, quando é executado o *add-in* ModyHouse é gerada uma laje, por cima da qual é criado o módulo desejado. Pelos motivos já explicados, esta laje é uma laje genérica de dimensão 300mm e não a laje utilizada na realidade que é composta por 15 cm de brita, seguido de

um filme isolante, uma camada de betão de limpeza e uma última camada de betão com malhasol, sobre a qual é construído o módulo.

### 7.2.2 Prumos Verticais e Horizontais

A forma como os prumos seriam modelados, e conseqüentemente introduzidos no modelo via programação, era fundamental pois estes teriam de ser colocados como parte dos painéis MS, mas ao mesmo tempo teriam de ser elementos individuais, pois é indispensável a contagem dos mesmos para assim serem extraídas as quantidades para a orçamentação. Ao mesmo tempo, ao caso estes fossem introduzidos como elementos exteriores aos painéis MS, teria de ser possível subtrair aos painéis o volume ocupado pelos respectivos prumos, de forma a não duplicar a quantidade de material necessário para a construção de cada módulo e assim ir de encontro ao rigor necessário para a construção em madeira e especificamente a construção modular.

Todos os prumos verticais foram modelados como sendo *Structural Columns*, de modo a terem um comportamento similar ao de um pilar, tal como acontece na realidade. Os prumos horizontais foram modelados como sendo *Structural Framing*, para que o seu comportamento fosse similar ao de uma viga.

Uma vez criados os elementos que serviriam de prumos, foi necessário pensar como seriam introduzidos no modelo. Visto que se desconhecia a forma de efetuar tal processo foram efetuadas várias tentativas até se conseguir atingir o objetivo desejado. Após se ter pensado e experimentado várias soluções, concluiu-se que a única solução que permitia que os prumos fossem introduzidos corretamente no modelo, sem ocorrerem a duplicação de quantidades, seria utilizar o comando *Join Geometry* para assim “recortar” a geometria do prumo ao painel em que este tinha sido inserido.

Após descobrir qual o processo que permitia efetuar aquilo que se pretendia, foi necessário compreender qual a forma de o efetuar através da programação da API do Revit. Assim compreendeu-se que seria, primariamente, necessário criar os painéis, seguindo-se a colocação dos prumos e após isto seria efetuado o *Join Geometry* entre os dois elementos.

Nesta fase foi também possível entender que a ordem com que o comando *Join Geometry* era efetuado era condicionante, devendo-se efetuar primeiro este comando no elemento que se pretende excluir, ou seja, neste caso em concreto, nos prumos que se pretendia introduzir.

A Figura 7-6 exemplifica o código utilizado para a introdução dos prumos verticais. O processo de introdução dos prumos horizontais e de extração do volume dos mesmo, é semelhante ao de introdução dos prumos verticais.

```
// INSERIR PRUMOS VERTICAIS EM XX
for (int p = 0; p < 5; p++)
{
    XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_prumo_xx, coord_y, 0);
    string column_canto_path = @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModHouse\Pilar_000_140.rfa";
    string column_canto_simbol = "Pilar_000x140";
    FamilySymbol simbolo_column_canto;
    Family familia_column_canto;
    doc.LoadFamily(column_canto_path, out familia_column_canto);
    doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path, column_canto_simbol, out simbolo_column_canto);
    Element prumo = doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo, simbolo_column_canto, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
    JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, paineis_xx);
    origem_prumo_xx = origem_prumo_xx + 500 / 304.8;
    aux_origem_prumo_xx = origem_prumo_xx;
}
}
```

Figura 7-6: Exemplo do código necessário para a introdução dos prumos verticais.

Ressalva-se a importância das famílias escolhidas, para o sucesso nesta fase, pois o comando *Join Geometry* efetua a ação descrita acima, quando os dois elementos envolvidos têm características como as das famílias utilizadas, ou seja, elementos que foram modelados como *Structural Columns* e *Structural Framing*, mas não efetua este mesmo processo para todos os tipos de famílias. Por exemplo se as duas famílias fossem *Structural Column*, o comando *Join Geometry* já não funcionaria como foi descrito devido às predefinições do Revit, algo que se compreendeu durante o processo de testes efetuado previamente.

No caso dos prumos horizontais, a seção resistente mínima necessária para suportar as ações atuantes é variável, uma vez que o vão existente pode variar entre 2500 milímetro e 4000 milímetro. Assim, foi necessário modelar várias famílias de vigas com seções diferentes. Isto permitiu que a seção utilizada fosse sempre a seção otimizada para cada situação. Quando o *add-in* é executado, é selecionada uma família para os prumos horizontais, em função vão escolhido pelo utilizador, cuja dimensão corresponde à solução otimizada para os prumos horizontais.

### 7.2.3 Portas e Janelas

Apesar de não fazer parte do desafio proposto pela MS a colocação de portas e de janelas, uma vez que nesta fase ainda não estava decidida a metodologia para a definição do número, localização e tamanho das mesmas, considerou-se que seria interessante no âmbito desta dissertação, considerar uma estratégia para a introdução de portas e janelas.

Desde o início desta análise considerou-se que a introdução de portas e janelas deveria ir sempre de acordo com a metodologia por de trás do conceito ModyHouse, ou seja, conjuntos de painéis de 500 milímetro que se agrupam e originam painéis maiores que podem ir até 2500 milímetro. Além destas restrições junta-se o fato, de que, para introduzir janelas ou portas no Revit, é necessário que existam paredes previamente introduzidas, o que não era o caso.

Após serem analisadas todas estas restrições, pensou-se nos conceitos painel janela e painel porta. O painel janela teria as mesmas dimensões que os restantes, sendo diferente apenas no fato de ser composto por uma parte de madeira e uma parte janela. Tal conceito também se aplica para o painel porta, sendo a janela substituída por uma porta, sendo que neste caso, dado que a porta obrigatoriamente teria de ter mais de 500 milímetro, foram utilizados dois painéis 500 em vez de apenas um. Na prática estes elementos seriam portas e janelas colocadas em painéis já existentes. A criação destes novos elementos facilitaria a introdução dos mesmos no modelo, uma vez que seriam introduzidos como os restantes painéis, e ao mesmo tempo permitiria na mesma a correta extração de quantidades, visto que os painéis janelas e porta seriam famílias independentes e separadas das restantes famílias.

Com base nestes pressupostos foram criados o painel porta e o painel janela. A introdução destes elementos no modelo ocorre quando o *add-in* ModyHouse é executado, sendo o número de janelas criadas para cada módulo, proporcional à dimensão que o utilizador definiu.

Uma vez que se pretende que o módulo criado seja o menos volátil possível, definiu-se que a origem, tanto do painel janela, como do painel porta, seria sempre a mesma. Foi

determinado que a origem do painel janela seria sempre o primeiro painel do lado esquerdo da fachada virada a Sul e a origem do painel porta seria sempre o último painel do lado direito dessa mesma fachada. A Figura 7-7 exemplifica a utilização do conceito ModyHouse com a aplicação do painel porta e do painel.



Figura 7-7: Exemplo da aplicação do conceito ModyHouse.

A utilização do painel porta e do painel janela serviu apenas para o desenvolvimento do conceito e exploração de algumas limitações que pudessem surgir, e nesta fase, a sua modelação é apenas representativa, dado que ainda não tinham sido definidas as condições em que estes elementos seriam utilizados na realidade. Apesar disto, tal reflexão considerou-se importante, pois só através de este tipo de reflexões é que se conseguiu encontrar possíveis futuros problemas e pensar em formas que desde a origem evitassem esses problemas. Por exemplo, dado que a porta ocuparia dois painéis não seria possível colocar o prumo resistente entre esses dois painéis. Isso levanta um problema, uma vez que todos os prumos foram dimensionados para uma largura de influência de 500 milímetro. Para resolver esta problemática poder-se-ia redimensionar os prumos verticais para uma largura de influência maior, ou então, visto que a porta é sempre colocada na extremidade do painel, trocar os elementos de remate por elementos estruturais, uma vez que estes têm

dimensões bastante maiores que os prumos normalmente utilizados, permitindo assim vãos maiores.

### 7.3 Definições iniciais do modelo e programação em C#

A fase relativa à programação em C#, iniciou-se pela pesquisa das metodologias de introdução de famílias num qualquer modelo, que fosse criado, sendo assim estudada a forma de se carregar uma qualquer família a partir de uma biblioteca existente e introduzir a mesma no projeto criado.

Uma vez que se desconhecia a forma de efetuar tal procedimento, optou-se por inicialmente iniciar a programação em Dynamo. O Dynamo é um programa gratuito da Autodesk que utiliza programação visual. O Dynamo permite criar as suas próprias geometrias com relações paramétricas e ao mesmo tempo permite que estas sejam escritas e lidas para bases de dados externas. O Dynamo é um *stand-alone program* mas pode ser utilizado como *add-in* do Revit (Sgambelluri & John, 2014).

Optou-se por utilizar inicialmente o Dynamo visto a programação visual ser mais intuitiva. Uma vez que o Dynamo consiste em programação gráfica, a criação do código tornou-se mais intuitiva facilitando assim a introdução das famílias a partir das bibliotecas existentes. Ao mesmo tempo, os métodos utilizados no Dynamo são os mesmos que posteriormente seriam utilizados em C#. Deste modo, para além de inicialmente permitir compreender se o que se pretendia era exequível, também permitiu facilitar a forma de posteriormente construir o código em C#. A Figura 7-8 ilustra parte do código escrito em Dynamo com recurso a programação visual. O exemplo apresentado, em concreto, apresenta o código utilizado para a criação da laje do piso inferior.

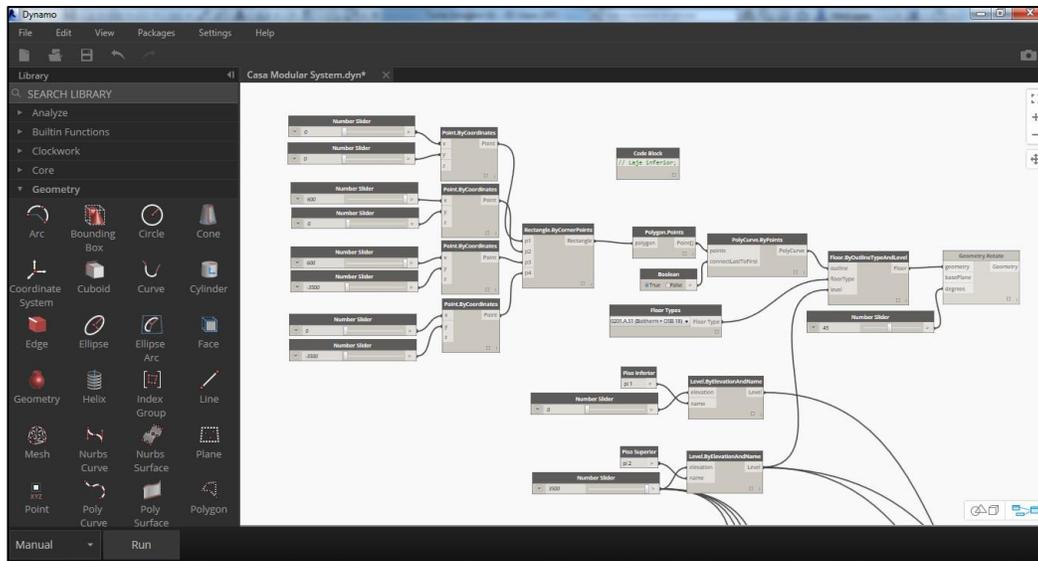


Figura 7-8: Código escrito em Dynamo para a criação da laje inferior.

Após compreender que o se pretendia era exequível e após compreender a forma de o efetuar, iniciou-se a programação em C#.

Foi necessário pesquisar a metodologia de introdução das famílias *levels*, *views*, *beams*, *columns*, e *floors*, que foram as famílias necessárias para a criação do projeto. Dentro destes elementos a criação dos *levels* foi prioritária pois estes são necessários para servir de referência à criação dos restantes elementos. Os *levels* são criados à cota zero e à cota 3,5 metro. Tal acontece pois definiu-se que o módulo desenvolvido teria apenas um piso e que a sua altura seria de 3,5 metro.

Uma vez introduzidos estes dados, o ModyHouse cria um módulo semelhante àquele que vai ser construído na realidade, de acordo com os dados fornecidos. A Figura 7-9 e a Figura 7-10 ilustram o Modyhouse no Ribbon Panel do Revit, juntamente com o *add-in* de exportação previamente criado e o aspeto da janela inicial do ModyHouse, respetivamente.



Figura 7-9: Modyhouse no Ribbon Panel do Revit.

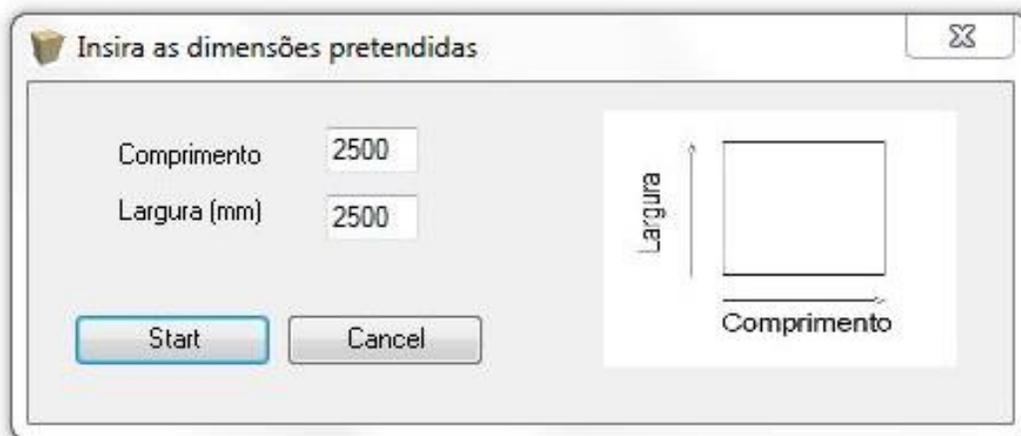


Figura 7-10: Aspeto da janela inicial do ModyHouse.

Parte do código necessário para o desenvolvimento do conceito ModyHouse, desenvolvido, na linguagem de programação C#, é apresentado no Anexo II.

Durante o desenvolvimento desta tese produziu-se um vídeo exemplificativo da utilização da ModyHouse, com recurso ao Lumion, tendo sido o modelo criado em Revit exportado para o Lumion. Nesse vídeo foram utilizados e conjugados alguns dos diferentes módulos que podem constituir o conceito ModyHouse e inseridos num ambiente renderizado, de modo a poder simular como seria o enquadramento dos mesmos numa situação real. A Figura 7-11 a Figura 7-12 e a Figura 7-13 apresentam algumas imagens obtidas nesse mesmo ambiente renderizado.



Figura 7-11: Conceito ModyHouse



Figura 7-12: Perspectiva ModyHouse



Figura 7-13: Módulos de menor dimensão do conceito ModyHouse

## 7.4 Integração com programa de cálculo automático e extração de quantidades

Todos os elementos estruturais, tanto prumos verticais, como prumos horizontais, foram criados com modelo analítico, deste modo é possível exportá-los para *softwares* de cálculo automático. Neste caso, tal como exemplificado na Figura 7-14, foi utilizado o Robot, como programa de cálculo automático. Como também se pode verificar nessa mesma figura, as propriedades iniciais do modelo, tais como propriedades geométricas ou materiais, são preservadas através do processo de interoperabilidade entre os dois *softwares*.

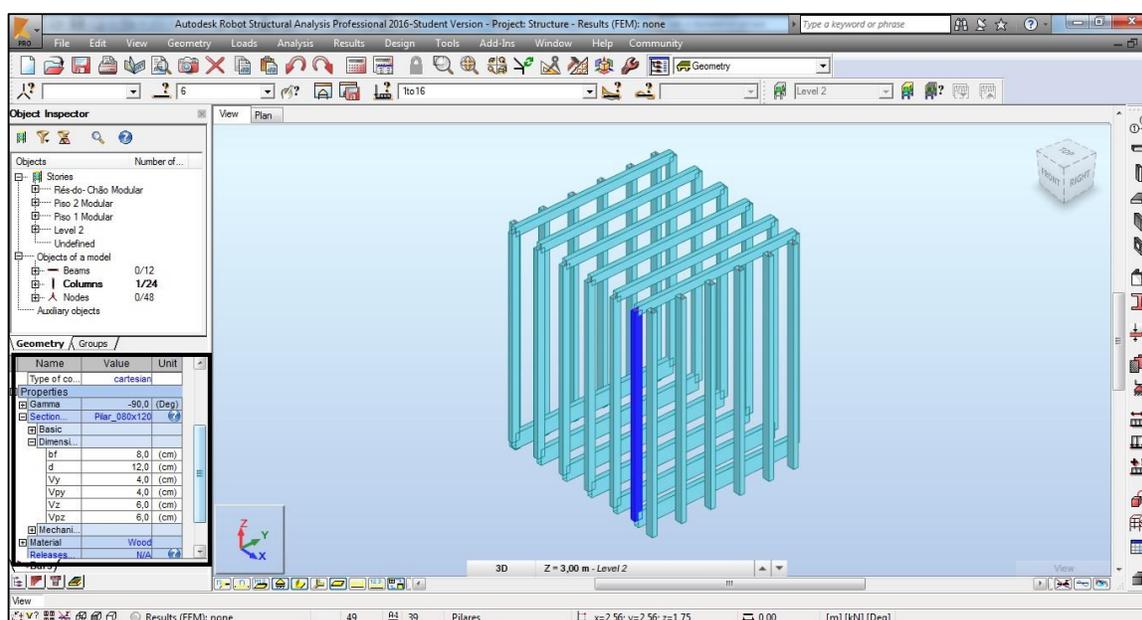


Figura 7-14: Exportação do modelo analítico da ModyHouse, do Revit para o Robot.

Para efetuar a exportação do modelo criado em Revit para o Robot, foi utilizado o *add-in* Structural Analysis Toolkit 2015, da Autodesk, Inc. (Autodesk, 2015d). Este exemplo, demonstra uma das vantagens da integração de técnicas BIM desde fases iniciais de projeto, que reside no fato de se poder utilizar o modelo criado na fase de modelação, para a fase de cálculo estrutural, uma vez que é gerado um modelo analítico que vai ser corretamente compreendido pelo programa de cálculo automático. Apesar desta vantagem, ressalva-se que para o caso de estruturas com formas complexas ou geometrias não lineares, esta transição entre *softwares* pode não ser executada de uma forma tão perfeita como acontece



reconhecido pelo Primavera, tal como feito para os restantes objetos com que a MS usualmente trabalha.

Tal como se pode observar na Figura 7-15 o mapa de quantidades obtido permite obter a informação relativa ao número total de elementos, assim como o tipo de família e o volume de cada elemento, dados fundamentais para a manufatura destes mesmos elementos.

Para esta fase foi também desenvolvido um vídeo que exemplifica a interação entre os dois *add-ins* desenvolvidos, demonstrando assim possibilidade de integração do *add-in* de modelação automática, com o de exportação de mapas de quantidades. Este vídeo, tal como os restantes, foi desenvolvido para posteriormente, na fase de apresentação da presente dissertação, poder ser apresentado e facilitar a explicação do trabalho desenvolvido.

## 7.5 Desenvolvimentos futuros

Aquando do desenvolvimento da presente dissertação, o conceito ModyHouse, encontrava-se numa fase ainda inicial, estando apenas definidos alguns dos parâmetros que são necessários para o desenvolvimento da totalidade do conceito. Devido a isto apenas foi possível definir a forma exterior do mesmo e os respetivos elementos estruturais, que foi desafio colocado pela MS.

Existem diversos desenvolvimentos futuros que podem ser atingidos, sendo alguns enumerados de seguida.

- Futuramente poderiam ser definidos os conetores a utilizar e introduzi-los no modelo de forma a ligar os elementos, tanto verticais como horizontais, e assim garantir a continuidade estrutural entre os elementos. Para além da ligação entre os elementos constituintes dos módulos, poderia ser pensada a forma como ligar vários módulos que se pretendessem juntar;
- Poderia ser pensada a possibilidade de serem criadas aberturas (vãos), de acordo com as necessidades do utilizador. A definição dos parâmetros utilizados para a localização e dimensão destas aberturas é fundamental, visto que esta definição influenciará o dimensionamento dos elementos estruturais;

- A nível das divisões interiores, visto que estas apenas poderão existir entre os nós que surgem da interseção dos elementos verticais com os elementos horizontais, poderia ser definida a localização das mesmas de acordo com a dimensão dos módulos, de forma a otimizar a utilização das mesmas, relativamente a parâmetros que fossem previamente estabelecidos. Através da leitura destes parâmetros poderia ser criada uma rotina que determinasse automaticamente a localização destes elementos, com o objetivo de otimizar um parâmetro que se considerasse ser prioritário, quer fosse custos, espaço útil, exposição solar, ou qualquer outro parâmetro que se considerasse fundamental;
- Desenvolvimento de um *template* no qual sejam modeladas as lajes que se pretende utilizar, de modo a estas poderem ser geradas automaticamente juntamente com a criação do restante módulo;
- Uma vez que toda a forma da ModyHouse estivesse definida, e uma vez que o conceito consiste em definir um módulo padrão, poderia também definir-se toda a parte ligada às infraestruturas de abastecimento de água, geralmente denominadas por MEP (Mechanical, Electrical, Plumbing).

Todos estes desenvolvimentos poderiam ser efetuados como acréscimos ao *add-in* já desenvolvido e assim otimizar o trabalho realizado, já que o incremento de funções permitiria diminuir o tempo despendido para a realização de cada função e ao mesmo tempo permitira uma extração de quantidades mais completa, sem ser necessária a introdução individual de elementos em projeto, aproximando assim o modelo da realidade.

O objetivo máximo, seria o *add-in* ModyHouse poder criar completamente o modelo do módulo que se pretendesse criar, com todos os elementos necessários para a definição do projeto do mesmo, tornando assim a quimera de se projetar uma edificação automaticamente, a partir de um número reduzido de *inputs*, numa realidade.

## 7.6 Conclusões

O fato de a construção modular partir do princípio da utilização repetida dos mesmos elementos, facilita a definição de rotinas que possam realizar estas tarefas repetitivas, numa forma automática. Para que estas rotinas possam ser criadas é necessário que primariamente sejam completamente definidos os princípios que servem de base para o conceito que se pretende desenvolver, de modo a restringir fases de avanços e retrocessos, que surgem como consequência de modificações no conceito que se pretende desenvolver.

Uma vez definido o conceito, a criação de mecanismos que automaticamente desenvolvam o trabalho que é pretendido, como é o caso dos *add-ins* desenvolvidos, é um processo de melhoramento constante até que é atingido o objetivo final. Durante este mesmo processo é possível compreender e pensar em possíveis incompatibilidades que possam advir dos princípios que geram o conceito, e assim efetuar a correção dos mesmos, desde uma fase inicial do conceito, evitando que este seja alterado numa fase mais evoluída do mesmo, com todas as consequências que daí advêm.

A integração da programação com construção é cada vez mais uma realidade, dada a necessidade de otimizar todo o processo relativo à fase de projeto e posteriormente à fase de execução do mesmo, e assim aumentar a competitividade face à concorrência. Isto acontece pois o desenvolvimento de complementos, como os *add-ins* desenvolvidos, permite aumentar a produtividade e diminuir a ocorrência de erros, pois é evitado que tenham de ser desenvolvidas pelos utilizadores tarefas repetitivas, podendo assim estes concentrar-se no desenvolvimento de outras tarefas.

Com base em todo o trabalho desenvolvido, conclui-se que a área da programação surge como uma inquestionável mais-valia, quando interligada com a área da construção, principalmente quando se pretende trabalhar com BIM e ainda mais especificamente quando se pretende efetuar a integração entre diferentes fases de projeto, tal como se demonstrou ao longo desta dissertação.

A Figura 7-16 apresenta um esquema resumo das possibilidades de integração de técnicas BIM com o projeto de estruturas de madeira. Para além da integração das técnicas BIM acrescentou-se também uma componente ligada à representação gráfica dos projetos desenvolvidos, designada por Marketing, visto que cada vez mais é comum que os trabalhos realizados sejam renderizados, com objetivo de atribuir aos mesmos um aspeto mais realista, sendo possível exportar o projeto realizado a partir de um modelo BIM, como por exemplo, exportar um ficheiro em Revit para o Lumion

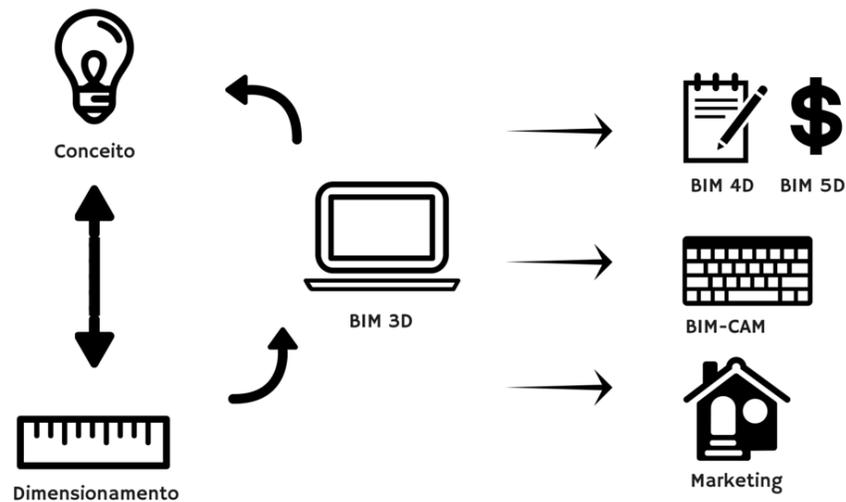


Figura 7-16: Esquema de integração de técnicas BIM com o projeto de estruturas de madeira.

## 8. CONCLUSÕES

As construções que utilizam a madeira como principal material de construção têm vindo a aumentar nos últimos anos, principalmente devido ao aparecimento dos métodos modernos de construção (MMC), potencializando a utilização da madeira como material de construção.

Também o uso da metodologia BIM tem aumentado nos últimos anos, apresentando-se como o caminho a seguir para aqueles que pretendem otimizar o seu processo construtivo. Além disso, visto a obrigatoriedade legal já existente em alguns países, a utilização do BIM apresenta-se cada vez mais como uma necessidade para aqueles que não querem perder competitividade e oportunidades de negócio para os seus concorrentes.

A integração de técnicas BIM no projeto e na construção de estruturas de madeira permite otimizar todo o processo desde a fase de projeto até à fase de construção e manutenção dos edifícios criados, nomeadamente através da criação de modelos 3D, 4D, 5D, e eventualmente 6D e 7D, que permitem uma rápida e funcional integração das diferentes fases de projeto ao mesmo tempo que se garante que a informação é conservada e é fiável.

Apesar disto, ainda existem algumas limitações na metodologia BIM, limitações essas que têm vindo a ser superadas com o decorrer do tempo, através das evoluções do *software* BIM assim como do aparecimento de novo *software*, principalmente nas fases relacionadas com a interoperabilidade. A forma de ultrapassar estas limitações utilizada na presente dissertação, consistiu na programação de *add-ins*, com recurso à API, que parte do *software* BIM já disponibiliza, e deste modo modificar/criar funcionalidades que originalmente não estejam disponíveis. Deste modo conclui-se que é possível desenvolver novas funcionalidades, adequadas especialmente a cada caso específico, como é a realidade de cada empresa, e assim otimizar o trabalho realizado pelas mesmas, visto que as tarefas que antes demoravam horas a ser realizadas, podem agora ser desempenhadas em poucos minutos.

Concluiu-se também que a utilização de objetos paramétricos é fundamental uma vez que agiliza todo o processo de modelação, uma vez que permite que os objetos, automaticamente, se adaptem a novos enquadramentos, evitando que cada objeto tenha de ser alterado manualmente. Sem a utilização de objetos paramétricos toda a fase de modelação deixaria de fazer sentido, pois a modificação dos elementos criados seria mais morosa que o processo tradicional de introdução de objetos manualmente num qualquer modelo.

Relativamente à integração de programação na área da construção, concluiu-se que esta integração é muito vantajosa, pois permite que sejam acrescentadas funcionalidades à mesma, assim como apresenta um conjunto de possibilidades e desenvolvimentos futuros quase infinitos, uma vez que é sempre possível desenvolver mais funcionalidades e otimizar as já existentes.

Como conclusão final, ressalva-se o potencial que estas três áreas, construção em madeira, BIM e programação, apresentam, principalmente quando utilizadas em conjunto, visto que estas áreas têm apresentado bastantes desenvolvimentos nos últimos anos e que o seu rendimento aumenta grandemente quando utilizadas conjuntamente.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akinci, B., Fisher, M., & Kunz, J. (2002). Automated Generation of Work Spaced Required by Construction Activities. *Journal of Construction and Management*, 128.
- All Things BIM. (2008). Disponível em <http://www.allthingsbim.com/2008/12/aia-bim-protocol-e202.html>
- Architectus. *Collaborative Building Design Education Using Building Information Modelling (CodeBIM)*. Disponível em <http://resource.unisa.edu.au/course/view.php?id=588&topic=4>
- Autodesk, I. (2015a). About Autodesk. Consultado em 2015/09/04, Disponível em <http://usa.autodesk.com/company/>
- Autodesk, I. (2015b). Autodesk Revit Products. Consultado em 2015/09/03, Disponível em <http://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/Revit-DocumentPresent/files/GUID-0B67AB8D-B496-487D-A63E-251943DB8590-htm.html>
- Autodesk, I. (2015c). Descrição geral. Consultado em 2015/09/04, Disponível em <http://www.autodesk.pt/products/revit-family/overview>
- Autodesk, I. (2015d). Structural Analysis Toolkit 2015. Consultado em 2015/09/03, Disponível em [https://apps.exchange.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=appstore.exchange.autodesk.com%3astructuralanalysistoolkit2015\\_windows64%3aen](https://apps.exchange.autodesk.com/RVT/en/Detail/Index?id=appstore.exchange.autodesk.com%3astructuralanalysistoolkit2015_windows64%3aen)
- Autodesk, I. (2015e). System Families. Consultado em 2015/09/03, Disponível em <http://help.autodesk.com/view/RVT/2014/ENU/?guid=GUID-A6600994-DFBE-4079-87F9-D6AC8681A915>
- Autoridade Nacional de Protecção Civil, M. d. A. I. (2009). *Compilação Legislativa – Segurança Contra Incêndio em Edifícios* (1). Autoridade Nacional de Protecção Civil, Ministério da Administração Interna, Carnaxide.
- Avsatthi, B. (2015). 4D BIM Promotes Onsite Safety. Consultado em 2015/08/20, Disponível em <http://www.e-architect.co.uk/articles/4d-bim-promotes-onsite-safety>
- Bal, B. C. (2014). Some physical and mechanical properties of reinforced laminated veneer lumber. *Construction and Building Materials*, 68, 120-126.
- BeAware. (2009). *Modern Methods of Construction (MMC)*. BeAware Supply Chain Resource Efficiency: Sector Report.
- Bim Forum. (2012). Defining Level of Development. *Specifying BIM Deliverables*, (BIMforum).
- Bim Forum. (2013). Level of Development Specification.
- Blass, H. L., Gustavsson, P. J., & Hoffmeyer, P. (1995). *Timber Engineering: Step 1* (First Edit ed.): Centrum Hout (1995).
- Blumer-Lehmann AG. (2014). *Edifício Comercial Tamedia*. Disponível em <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-341234/en-detalle-sistema-de-ensambles-oficinas-tamedia-shigeru-ban-architects>
- Branco, J. (2013). *Casas de Madeira, Da tradição aos novos desafios*. ISISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães.

- Branco, J. (2014). *Estruturas de Madeira- Princípios básicos*. ISISE, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães.
- Branson, A. (Producer). *Modern methods of construction: Material change?* Building.co.uk. Disponível em <http://www.building.co.uk/modern-methods-of-construction-material-change?/5062094.article>
- CabinetOffice. (2011). *Government Construction Strategy , Information and documentation*.
- Carvalho, J. D. A. (2000). Gestão de Projectos. *Programação de Projectos*.
- Carver, S. (2014). Laminated veneer lumber (LVL): product review and leading case study, Netball Central by Scott Carve. Consultado em 2015/08/20, Disponível em <http://www.architectureanddesign.com.au/product-review/laminated-veneer-lumber-lvl-product-review-and-lea>
- Castelo, J. (2008). *Desenvolvimento de modelo conceptual de sistema construtivo*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- CEN. (2004). *Eurocode 5 : Design of timber structures - Part 1-1 : General - Common rules and rules for buildings*. Bruxelas.
- CEN. (2009a). *NP EN 1990- Bases para o projecto de estruturas* (Instituto Português da Qualidade, Trad. ). Bruxelas.
- CEN. (2009b). *NP EN 1991-1 Acções em Estruturas: Edifícios* (Instituto Português da Qualidade, Trad. ). Bruxelas.
- Chapman, I. (2013). The buildingSMART Data Dictionary. Consultado em 2015/09/03, Disponível em <http://www.thenbs.com/topics/bim/articles/bsdd.asp>
- Chua, D. K. H., Nguyen, T. Q., & Yeoh, K. W. (2013). Automated construction sequencing and scheduling from functional requirements. *Automation in Construction*, 35, 79-88.
- COBIM. (2012). *Common BIM Requirements Series 1 - General Parts, V 1.0*. COBIM Project, Finland.
- ConsulFogo. (2005). *Proteção da Madeira contra o Fogo*. Encontro Sobre a Madeira e as suas Aplicações Nobres- Bem utilizar a Madeira.
- Cowles , E., & Warner , P. (2013). *Prefabrication and Modularization in Construction-2013 Survey Results*. FMI Corporation.
- Dornob: Design Ideas Daily. Porto-Prefabs: Modular Cabin Plans + Prefab Home Building. Consultado em 2015/08/14, Disponível em <http://dornob.com/porto-prefabs-modular-cabin-plans-prefab-home-building/>
- Dornob: Design Ideas Daily. Porto-Prefabs: Modular Cabin Plans + Prefab Home Building. Disponível em <http://dornob.com/porto-prefabs-modular-cabin-plans-prefab-home-building/#ixzz3aVmzrKVF&i>
- Eastman, C., Liston, K., Teicholz, P., & Sacks, R. (2008). *BIM Handbook*.
- Fudala, T., Piechnik, P., & Frank, B. (2012). *BIM and Beam*. Disponível em [http://bimandbeam.typepad.com/bim\\_beam/2012/08/new-revit-extensions-for-autodesk-revit-2013-are-available.html](http://bimandbeam.typepad.com/bim_beam/2012/08/new-revit-extensions-for-autodesk-revit-2013-are-available.html)
- Gequaltec. (2011). BIM. Consultado em 2015/09/04, Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=BIM>
- Hartmann, T. (2009). Integrated Project Management. *VISICO Center, University of Twente*.
- Hergunsel, M. F. (2011). *Benefits of Building Information Modeling*. (Degree of Master of Science), Worcester Polytechnic Institute.

- Hughes, D. (2013). *Bradley BIM / Revit -ArchiCAD -Bentley -Vectorworks*. Disponível em <http://bradleybim.com/2013/11/24/download-mcgraw-hill-lean-construction-bim-report-2013/>
- Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Tecnologia e Ciência. (2008). *PRONIC Sistema de Geração e Gestão de Informação Técnica para Cadernos de Encargos*. <https://www.inesctec.pt/cese/noticias-eventos/nos-na-imprensa/pronic-sistema-de-geracao-e-gestao-de-informacaotecnica-para-cadernos-de-encargos/>
- Invicta Design Technologies. (2008). Disponível em <http://www.invicta-technologies.com/projects.html>
- Invicta Design Technologies. (2010). Diplomatic Quarter Hotel (DQH). Consultado em 2015/09/04, Disponível em <http://www.invicta-technologies.com/projects.html>
- Jacinto, L. (2014). *Acção do vento : quantificação de acordo com o ECI*. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Área Departamental de Engenharia Civil,Lisboa.
- Johansson, M., Roupé, M., & Bosch-Sijtsema, P. (2015). Real-time visualization of building information models (BIM). *Automation in Construction*, 54, 69-82.
- Kamardeen, I. (2010). 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. *26th Annual ARCOM Conference*(September), 281-289.
- KieranTimberlake. (2006). *Loblolly House*. Consultado em 2015/03/14, Disponível em <http://kierantimberlake.com/pages/view/20/loblolly-house/parent:3>
- KieranTimberlake. (2008). *Unbolt, Detach, Reassemble: Loblolly House Wins EPA Challenge*. Disponível em <http://kierantimberlake.com/post/view/145>
- KieranTimberlake Associates. (2006). *Loblolly House*. Disponível em <http://kierantimberlake.com/pages/view/20/loblolly-house/parent:3>
- Lawson, M. (2007). Building Design. *New Steel Construction*, 15.
- Leibowitz, N., Baum, B., Enden, G., & Karniel, A. (2010). The exponential learning equation as a function of successful trials results in sigmoid performance. *Journal of Mathematical Psychology*, 54(3), 338-340.
- Lino, J. C., Azenha, M., & Lourenço, P. (2012). *Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas*. Encontro Nacional Betão Estrutural.
- Lourenço, P., & Branco, J. (2012). *Dos abrigos da pré-história aos edifícios de madeira do século XXI*. ISISE, Dept. Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães,Guimarães.
- Lugt, P. v. d. (2012). Carbon Storage Utilising Timber Products. Consultado em 2015/08/20, Disponível em [http://issuu.com/enviromedia/docs/online\\_issue\\_23/116](http://issuu.com/enviromedia/docs/online_issue_23/116)
- Manzione, L. (2015). Sistemas de classificação da informação do edifício. Consultado em 2015/09/01, Disponível em <http://www.coordenar.com.br/sistemas-de-classificacao-da-informacao-do-edificio/>
- Menendez, J. M., Hairstans, R., & Turnbull, D. (2012). *A Structural Engineering Platform for Timber Methods of Construction* (7th). Innovation in Architecture Engineering and Construction.
- Monteiro, A., & Poças Martins, J. (2013). A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. *Automation in Construction*, 35, 238-253.
- Moura Pinto, E. (2004). A Madeira: um Material Construtivo Resistente ao Fogo. *Centro de Divulgação Científica e cultural*. Consultado em 2015/08/01, Disponível em [http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art\\_27/madeira.html](http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_27/madeira.html)

- Nakamura, J. (2014). Construtoras apostam no BIM 4D para melhorar assertividade do planejamento de obras. Consultado em 2015/09/03, Disponível em <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/213/construtoras-apostam-no-bim-4d-para-melhorar-assertividade-do-planejamento-335226-1.aspx>
- ndBim. (2015). Uma metodologia avançada de planejamento potenciada pelo BIM. Consultado em 2015/09/03, Disponível em <http://www.ndbim.pt/index.php/pt/component/k2/item/25-um-planejamento-avancado-baseado-na-metodologia-bim>
- Negrão, J., & Faria, A. (2009). *Projetos de Estruturas de Madeira*. Porto: Publindústria, Edições Técnicas.
- Newsteelconstruction. (2005). Kingspan backs off-site boom. Consultado em 2015/02/27, Disponível em <http://www.newsteelconstruction.com/wp/kingspan-backs-off-site-boom/>
- NIBS. (2008). United States National Building Information Modeling Standard, version 1 - Part 1: Overview, principles, and methodologies. *National Institute of Building Sciences*.
- NIBS. (2012). *National BIM Standard - United States™ Version 2*. [www.nationalbimstandard.org/nbims-us-v2/pdf/NBIMS-US2\\_aB.pdf](http://www.nationalbimstandard.org/nbims-us-v2/pdf/NBIMS-US2_aB.pdf)
- Nikkol Rot for Holcim. (2014). *Metropol Parasol*. Jurgen Mayer-Hermann. Disponível em <http://www.architectureanddesign.com.au/features/product-in-focus/laminated-veneer-lumber-lvl-product-review-and-lea>
- Nsw Forests Commercial Services. (2008). Forests , Timber and Climate Change. *FORESTS, TIMBER AND CLIMATE CHANGE PRIMEFACT 688*.
- Red Hot BIM. (2015). *Baku Olympic Stadium*. Disponível em <http://www.redhotbim.com/p/projects.html>
- Rodriguez Martinez, N. (2013). Optimization of Flowline Scheduling vs. Balanced Resources and Task Continuity. 145-145.
- Roger Sathre, & O'Connor, J. (2008). A Synthesis of Research on Wood Products and Greenhouse Gas Impacts. *Mid Sweden University, Department of Engineering and Sustainable Development, 2nd Edition*.
- RSA. (1983). *Regulamento de Segurança e ações, DL235-83*. Decreto-Lei nº 235/83, de 31 de Maio.
- Salta, C. (2001). *Casas de Madeira: um conceito de habitação 100 por cento natural*. Publindustrias, Porto.
- Sgambelluri, M., & John, B. I. M. (2014). *Practically Dynamo : Practical Uses for Dynamo within Revit*.
- Sharpened, P. (2015). API. Consultado em 2015/09/04, Disponível em <http://techterms.com/definition/api>
- Shigeru Ban Architects. (2010). *Nine Bridges Golf House em Seoul*. Disponível em <http://inhabitat.com/shigeru-bans-gorgeous-golf-club-house-is-inspired-by-traditional-bamboo-cushions/shigeru-ban-wooden-hexagonal-structure-nine-bridges-golf-club-house-3/>
- Silva, J. (2013). *Princípios para o Desenvolvimento de Projetos com Recurso a Ferramentas BIM*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 119*, 475-484.

- Smith, R. (2010). *A Guide to Modular Design and Construction: PREFAB ARCHITECTURE*.
- Smith, R. (2014). Off-Site and Modular Construction Explained. *Whole Building Design Guide*. Consultado em 2015/03/09, Disponível em <http://www.wbdg.org/resources/offsiteconstructionexplained.php>
- SteelConstruction.info. SteelConstruction.info Modular construction. Consultado em 2015/08/20, Disponível em [http://www.steelconstruction.info/Modular\\_construction](http://www.steelconstruction.info/Modular_construction)
- Structural Insulated Panels Association. (2015). What Are SIPs? Consultado em 2015/09/03, Disponível em <http://www.sips.org/about/what-are-sips>
- Teicholz, P. (2004). Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies. Disponível em <https://books.google.pt/books?id=gQ-6gcoU6J4C&pg=PA6&lpg=PA6&dq=construction+and+nonfarm+labor+productivity+index+since+1964+department+of+commerce&source=bl&ots=lbo5UmlqQw&sig=KpD5mPSNTJp3BrjIgToC4JleuDg&hl=pt-PT&sa=X&ved=0CDUQ6AEwAmoVChMI97DLtIP6xwIVAmkUCh2jOwmW#v=snippet&q=Paul%20Teicholz&f=false>
- TEKLA. (2013). *What is BIM?* Disponível em <http://www.teklabimsight.com/what-bim>
- TEKLA. (2015). O que é o BIM? *TEKLA*. Consultado em 2015/09/04, Disponível em <http://www.tekla.com/br/companhia/o-que-%C3%A9-bim>
- Tekla Corporation. (2015). *Exeter Unversity Forum: No room for error in a challenging multi-material project*. Disponível em <http://www.tekla.com/uk/references/exeter-university-forum-multi-material-project>
- The Australian Timber Database. (2015). Carbon Footprint. Consultado em 2015/08/20, Disponível em <http://www.timber.net.au/index.php/environmental-design-carbon-footprint.html>
- The Hyatt Foundation. (2015). Shigeru Ban Biography. Consultado em 2015/08/20, Disponível em <http://www.pritzkerprize.com/2014/biography>
- The Modular Building Institute. (2010). *Improving Construction Efficiency & Productivity*. Charlottesville.
- Van, J. (2008). AIA BIM Protocol (E202). Consultado em 2015/09/04, Disponível em <http://www.allthingsbim.com/2008/12/aia-bim-protocol-e202.html>
- Vergara, E. (2015). *Em Detalhe: Edifício Comercial Tamedia*. Shigeru Ban Architects. Consultado em 2015/09/04, Disponível em <http://www.archdaily.com.br/br/01-185033/em-detalhe-edificio-comercial-tamedia-shigeru-ban-architects>
- Wittman, T. Lecture 4 : Introduction to C # Console Applications What is C #? Build a C # Console Application. 1-9.
- Zhyzhneuski, A., & Babic, N. (2011). *Development and use of Building Information Model*. Course: DT 168 MSc in Constrution Informatics, Module : RECE 9403 Interoperability and BIM Models.



# ANEXO I – DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA MODYHOUSE

## A.I. Definição das ações atuantes

Para o dimensionamento da ModyHouse definiu-se que este seria contruído numa zona em que não seria considerada a ação da neve, ou seja, de acordo com o RSA (Regulamento de Segurança e Ações para Estruturas e Edifícios e Pontes) para altitudes inferiores a 200 metro (RSA, 1983).

A estrutura do módulo baseia-se num conjunto de pórticos que se repetem ao longo do mesmo, sempre à distância constante de 500 milímetro. Os prumos constituintes dos painéis verticais e horizontais são os elementos resistentes, que formam o sistema de pórticos. Uma vez que os painéis interiores têm uma largura máxima de 500 milímetro, considerou-se uma largura de influência, para efeitos de cálculo, igual a 500 milímetro, visto esta ser a situação mais desfavorável. Os elementos a dimensionar foram divididos em cobertura, piso e pilares, visto que as ações atuantes eram diferentes para cada uma das situações.

Todas as ações atuantes foram definidas de acordo com a NP EN 1991-1 (CEN, 2009b). A norma NP EN 1991 doravante será designada como EC1. Considerou-se a ação do peso próprio, restantes cargas permanentes (por exemplo peso próprio das paredes divisórias interiores), sobrecarga e vento. Assim, de acordo com o EC1, para determinar as ações atuantes foi primeiro necessário determinar a categoria de utilização que se pretendia para a ModyHouse. Visto que se pretendia que este conceito fosse utilizado apenas como habitação, definiu-se que este se enquadrava na categoria A, presente no quadro 6.1 do EC1-1, relativo a atividades domésticas e residenciais. Para esta categoria, o EC1 define a sobrecarga para pavimentos como sendo igual a 2,0 kN/m<sup>2</sup>.

Relativamente à cobertura, definiu-se que esta não seria acessível, exceto para operações de limpeza, ou seja, enquadrar-se na categoria H, definida no quadro 6.9 do EC1-1. Para esta categoria o EC1 recomenda que se utilize uma sobrecarga igual a  $0,4 \text{ kN/m}^2$ , valor que foi utilizado. Para ação das restantes cargas permanentes (RCP) considerou-se o valor de  $1 \text{ KN/m}^2$ . A ação do vento (W) foi calculada segundo a NP EN 1991-1-4.

Durante o processo de dimensionamento dos elementos resistentes constituintes de cada pórtico, efetuou-se simultaneamente uma validação dos resultados obtidos, através de um programa de cálculo automático. Para efetuar tal validação escolheu-se o *software* Robot Structural Analysis. Escolheu-se este *software* pois ele possui um módulo de cálculo específico para estruturas de madeira, chamado Timber Design. Este módulo permite escolher a norma segundo a qual se deseja que seja efetuado o cálculo dos elementos de madeira, tendo sido escolhido, neste caso, a norma NP EN 1995-1-1 (CEN, 2004), doravante designada por EC5. Para além disto, dentro das especificidades da norma escolhida, ainda permite optar entre diferentes situações, quando existem várias opções de cálculo, indicando sempre a cláusula do EC5 em que se encontra descrita cada fórmula. A Figura A.I apresenta os principais menus do referido módulo.

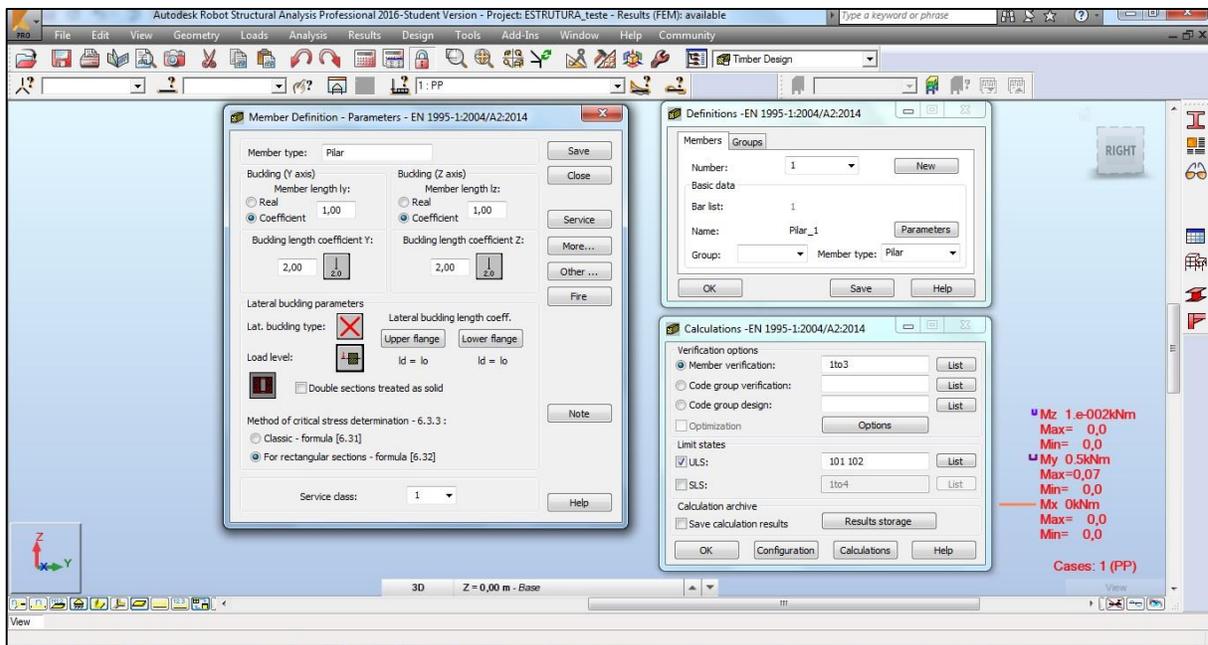


Figura A.I: Módulo *Timber Design* do Robot

Apesar de se tratar de uma ação dinâmica, a ação do vento pode ser quantificada na maior parte das vezes por meio de forças estáticas equivalentes. Este é o princípio básico que serve de base à metodologia utilizada no EC1 (Jacinto, 2014).

O fluído em análise para a caracterização da ação do vento, foi o ar. Deste modo, de acordo com a cláusula 4.5, página 28 do EC1 o valor do peso volúmico do ar é de 1,25 Kg/m<sup>3</sup>. A altura definida para o módulo é de 3,50 metro, estando assim dentro dos parâmetros especificados para esta norma, visto o EC1 ser aplicável para edifícios até 200 metro (Cl. 4.5, p. 28).

Segundo o EC1, a ação do vento nas construções depende fundamentalmente da velocidade do vento, da forma das construções e das características dinâmicas da estrutura. Por sua vez, a velocidade do vento depende da localização geográfica da estrutura, da altura da estrutura acima do terreno e da rugosidade do terreno (Jacinto, 2014). Deste modo, cada um destes aspetos teve de ser analisado para a caracterização da ação do vento.

O primeiro passo para iniciar a caracterização da ação do vento foi a definição da localização. Para tal, definiu-se que o módulo seria construído, na zona que o EC1 define como zona A, ou seja, a generalidade do território, excetuando os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas numa faixa costeira com 5 Km de largura ou altitudes superiores a 600 m (NA, p. 155).

Para qualquer outra localização fora das zonas referidas, teria de ser realizada uma nova análise que tivesse em consideração as características próprias destas regiões. A imposição destas restrições permite que o processo de dimensionamento seja otimizado, uma vez que a zona considerada representa a maioria da área de Portugal, não estando assim o dimensionamento dos elementos estruturais, sujeito a restrições que só ocorrem em zonas específicas do país e que aumentariam as ações a considerar para o dimensionamento da estrutura.

A definição da zona a considerar permite obter o valor da velocidade do vento, chamado valor básico da velocidade de referência do vento,  $v_{b,0}$ , tal como ilustrado na Figura A.II.

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]
A	27
B	30

Figura A.II: Definição do valor básico da velocidade de referência do vento com base no Quadro NA.I (CEN, 2009b, Quadro NA.I).

Com base na zona definida chegou-se a um valor básico da velocidade de referência do vento,  $v_{b,0}$ , de 27 m/s. De seguida foi necessário definir a rugosidade aerodinâmica do terreno, valor este que depende da presença de obstáculos que afetam o escoamento do ar. Para tal recorreu-se ao quadro NA-4.1 do EC1, que define as categorias de terreno e os respetivos parâmetros. Tal como ilustra a Figura A.III, optou-se por escolher uma categoria de terreno II, à qual esta associada um  $Z_0$  e um  $Z_{min}$  de 0,05 metro e 3 metro, respetivamente.  $Z_0$  é o comprimento de rugosidade e  $Z_{min}$  é altura mínima a considerar, abaixo da qual se considera que a velocidade do vento é constante (Jacinto, 2014).

Categoria de terreno		$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
I	Zona costeira exposta aos ventos de mar	0,005	1
II	Zona de vegetação rasteira, tal como erva, e obstáculos isolados (árvores, edifícios) com separações entre si de, pelo menos, 20 vezes a sua altura	0,05	3
III	Zona com uma cobertura regular de vegetação ou edifícios, ou com obstáculos isolados com separações entre si de, no máximo, 20 vezes a sua altura (por exemplo: zonas suburbanas, florestas permanentes)	0,3	8
IV	Zona na qual pelo menos 15 % da superfície está coberta por edifícios com uma altura média superior a 15 m	1,0	15
<p><i>NOTA 1: As categorias de terreno II, III e IV estão ilustradas em A.1.</i></p> <p><i>NOTA 2: O coeficiente de rugosidade, <math>c_r(z)</math>, é ilustrado na Figura NA.1.</i></p>			

Figura A.III: Definição das categorias de terreno e os respetivos parâmetros com base no quadro NA-4.1 (CEN, 2009b).

Uma vez definidas as condições em que iria atuar o vento, foi necessário calcular os valores de referência do mesmo. Para efetuar tal cálculo, o EC1 propõe a fórmula apresentada na equação A.I.

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad (A.I)$$

Onde  $v_b$  é o valor de referência da velocidade do vento, definido em função da direção do vento e da época do ano a uma altura de 10 m acima da superfície de um terreno da categoria II.  $v_{b,0}$  é o valor básico da velocidade de referência do vento,  $c_{dir}$  é o coeficiente de direção e  $c_{season}$  é o coeficiente de sazão (Cl. 4.5, p. 28). Para os coeficientes  $c_{dir}$  e  $c_{season}$  adotou-se o valor de 1, tal como indicado no anexo nacional (NA, pp. 155 e 156).

Substituindo todos estes valores na equação A.I, obtém-se um valor de 27 m/s para  $v_b$ . O valor de referência da velocidade do vento permitiu posteriormente calcular o valor da velocidade média do vento, que é dada pela equação A.II.

$$v_m(Z) = c_r(Z) \times c_0(Z) \times v_b \quad (A.II)$$

Onde  $c_r(Z)$  é o coeficiente de rugosidade e  $c_0(Z)$  o coeficiente de orografia, sendo que usualmente o valor do coeficiente de orografia é definido como sendo igual a 1 (Cl. 4.3.1, p. 24).

Uma vez que a altura do módulo se encontra entre o valor de  $Z_{\min}$  e 200 metro de altitude, o coeficiente de rugosidade  $c_r(Z)$  é definido através da equação A.III.

$$c_r(Z) = 0,19 \left( \frac{z_0}{0,05} \right)^{0,07} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (\text{A.III})$$

Substituindo todos estes valores na equação A.III, obtém-se um valor de 0,807 para  $c_r(Z)$ . Substituindo todos estes valores na equação A.II, obtém-se um valor de 21,795 m/s para  $v_m(Z)$ .

O passo seguinte, consistiu em calcular a pressão dinâmica de pico à altura  $z$ ,  $q_p(Z)$ . Para calcular este valor utilizou-se a equação A.IV.

$$c_e(Z) = \frac{q_p(Z)}{q_b} \quad (\text{A.IV})$$

Onde  $c_e(Z)$  representa o coeficiente de exposição e  $q_b$  representa a pressão dinâmica de referência, que pode ser definida pela expressão definida na cláusula 4.5, página 28 do EC1, que é apresentada na equação A.V.

$$q_b = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 \quad (\text{A.V})$$

Substituindo todos estes valores na equação A.V, obtém-se um valor de 0,46445 kN/m<sup>2</sup> para  $q_b$ . Além disto,  $c_e(Z)$  é definido pela equação A.VI.

$$c_e(Z) = \left(1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{Z}{z_0}\right)}\right) \left(0,19 \times \left(\frac{z_0}{0,05}\right)^{0,07} \ln\left(\frac{Z}{z_0}\right)\right)^2 \quad (\text{A.VI})$$

Substituindo todos os valores na equação A.VI, obtém-se um valor de 1,725 para  $c_e(Z)$ . Deste modo, o valor da pressão dinâmica de pico à altura  $z$ ,  $q_p(Z)$  é igual a 0,794 kN/m<sup>2</sup>. Para quantificar as forças resultantes da ação do vento, é necessário multiplicar as pressões dinâmicas de pico pelos coeficientes de forma, ou coeficientes aerodinâmico, e pela área de referência, tal como demonstrado na equação A.VII.

$$\text{Força} = (\text{Coef. de forma}) \times (\text{Pressão dinâmica}) \times (\text{Área}) \quad (\text{A.VII})$$

Os coeficientes de forma dividem-se em coeficientes de força,  $c_f$  e coeficientes de pressão, que por sua vez se dividem em coeficientes de pressão exterior,  $c_{pe}$  e coeficientes de pressão interior,  $c_{pi}$  (Jacinto, 2014).

A cláusula 5.2 página 30, do EC1, explica a convenção de sinais normalmente utilizada na caracterização da ação do vento. Segundo a mesma, a pressão resultante exercida numa parede, numa cobertura ou num elemento é a diferença entre as pressões que atuam sobre as faces opostas tendo em devida conta os seus sinais. Uma pressão exercida contra a superfície é considerada positiva, ao passo que uma sucção, atuando com um sentido que se afasta da superfície, é considerada negativa. Os valores dos coeficientes de pressão exteriores apresentados no EC1, encontram-se representados na Figura A.IV.

Zona	A		B		C		D		E	
$h/d$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$								
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0		-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0		-0,5
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0		-0,3

Figura A.IV: Valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para paredes verticais de edifícios de planta retangular, com base no Quadro 7.1 (CEN, 2009b).

O coeficiente estrutural  $c_{s,c_d}$  foi considerado igual a um, uma vez que cumpria todos os parâmetros descritos na cláusula 6.2 página 32 do EC1.

Para a definição das características geométricas, considerou-se os seguintes valores: b igual a 10 metro, d igual a 5 metro e h igual a 3,5 metro. Utilizaram-se estas medidas para definir os valores de b e de d, pois considerou-se que estas seriam capazes de representar a generalidade das situações que possam ocorrer. O valor de h é uma restrição imposta tendo em conta o valor máximo da altura do módulo.

Uma vez definidos todos os parâmetros geométricos, foi possível obter a altura de referência  $z_e$  e os perfis de pressão dinâmica. A situação em análise corresponde à situação descrita na Figura A.V e na Figura A.VI, que corresponde a uma situação preconizada no EC1. Com base neste figura, definiu-se o valor de  $z_e$  igual a 3,5 metro.

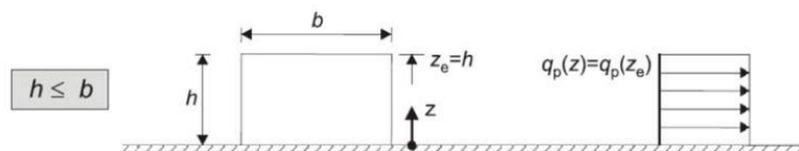


Figura A.V: Altura de referência  $z_e$  em função de  $h$  e  $b$ , e correspondente perfil de pressão dinâmica, retirada da Figura 7.4 do EC1 (CEN, 2009b).

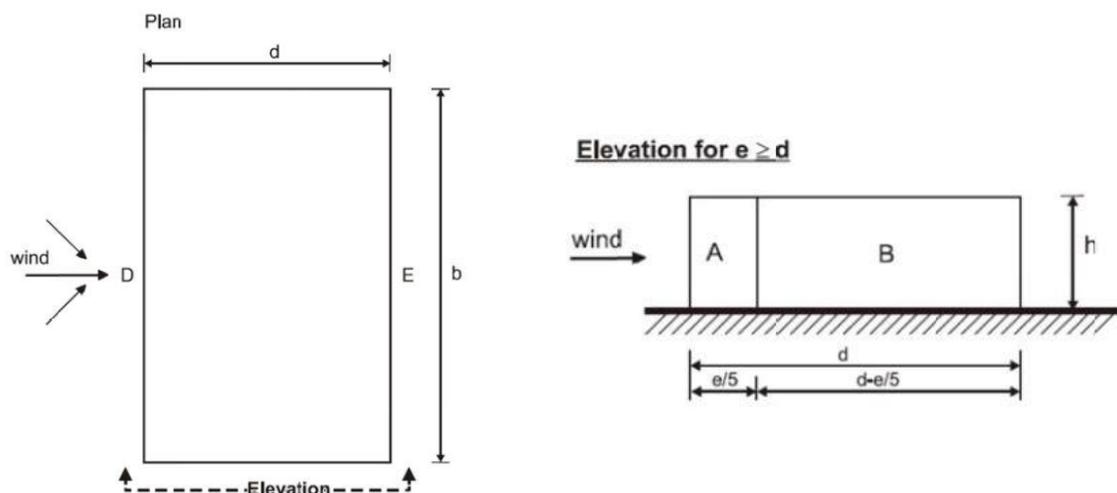


Figura A.VI: Definição das zonas em paredes verticais, retirada da Figura 7.5 do EC1 (CEN, 2009b).

De acordo com os parâmetros geométricos estabelecidos  $h/d$  é igual a 0,7. O valor do parâmetro  $e$ , é o menor dos valores, entre  $b$  e duas vezes o valor de  $h$ . Assim o valor de  $e$ , é igual a 7 metro ( $b$  igual a 10 metro e duas vezes  $h$  igual a 7 metro). Uma vez que  $e$  é igual a 7 metro,  $(e/5)$  é igual a 1,4 metro e  $(d - e/5)$  é igual a 8,6 metro.

Tal como se pode observar na Figura A.IV, os valores presentes apresentados pelo EC1, não apresentam a relação  $h/d$  é igual a 0,7. Deste modo teve de se efetuar uma interpolação, dos valores retirados da tabela, para obter os valores recomendados dos coeficientes de pressão exterior para as paredes verticais.

Iniciou-se a determinação dos coeficientes de pressão para a zona D, sendo que a determinação dos coeficientes de pressão para as restantes áreas processa-se de forma

semelhantes, variando apenas os valores específicos de cada área. Uma vez que tal acontece, e dado o âmbito desta dissertação, apenas será apresentado extensivamente o cálculo dos coeficientes de pressão para a zona D, sendo para as restantes zonas apenas apresentados os valores finais.

Os coeficientes de pressão exterior  $c_{pe}$  aplicáveis a edifícios (que dependem das dimensões da superfície carregada A) são fornecidos para superfícies carregadas com áreas A de 1 m<sup>2</sup>.e de 10 m<sup>2</sup>., representados, respetivamente, por  $c_{pe,1}$  (coeficientes locais) e por  $c_{pe,10}$  (coeficientes globais) (Jacinto 2014). Para a análise que se pretende efetuar, foram apenas utilizados os coeficientes globais.

O valor de  $c_{pe,10}$  ,resultante da interpolação, é de +0,76. O mesmo procedimento foi efetuado para a parede E, sendo o valor obtido de  $c_{pe,10}$  igual a -0,42. De seguida determinou-se os valores de  $c_{pe,10}$  para a cobertura, tendo-se estabelecido que a cobertura seria de apenas uma vertente. A Figura A.VII apresenta as zonas existentes na cobertura, quando a cobertura é apenas de uma vertente, de acordo com o EC1.

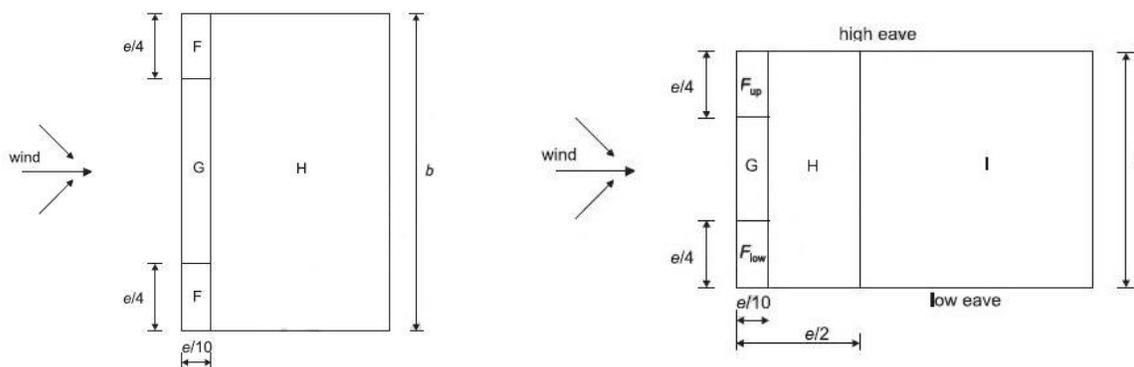


Figura A.VII: Zonas em coberturas de uma vertente, para a ação do vento atuante a 0/180° (esquerda) e 90°, (direita) (CEN, 2009b).

Com base nas zonas apresentadas na Figura A.VII e nos quadros 7.3a e 7.3b do EC1, obtiveram-se os valores da pressão externa para a cobertura. Os valores obtidos encontram-se na Tabela A. I.

Tabela A. I: Valor dos parâmetros de pressão externa na cobertura

	Zona			
	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>H</b>	<b>I</b>
<b><math>\theta=0</math></b>	-1,7	-1,2	-0,6	-
<b><math>\theta=180</math></b>	-2,3	-1,3	-0,8	-
<b><math>\theta=90</math></b>	-2,1	-1,8	-	-0,5

Com as pressões exteriores determinadas, faltava apenas determinar o valor das pressões interiores. Segundo o EC1, cláusula 7.2.9 (1), página 55, as pressões interiores e exteriores devem ser consideradas como atuando simultaneamente e deve ser considerada a combinação mais desfavorável das pressões exteriores e interiores para cada combinação de possíveis aberturas e outras vias de passagem de ar.

Na fase de desenvolvimento do conceito ModyHouse, em que se desenvolveu esta dissertação, ainda não tinha sido determinado qual o número de aberturas que cada módulo teria. Deste modo não foi possível determinar o valor do índice de aberturas  $\mu$ . Assim, tal como descrito na cláusula 7.2.9 (6), página 56, o coeficiente  $c_{pi}$  foi considerado o valor mais gravoso de entre +0,2 e -0,3. Para a determinação da situação mais gravosa efetuou-se a simulação destas duas situações, confirmando assim qual seria a situação condicionante.

Relativamente ao efeito das forças de atrito, tal como preconizado no EC1, tal efeito foi ignorado, uma vez que a área total de todas as superfícies paralelas (ou pouco inclinadas) em relação ao vento é igual ou inferior a 4 vezes a área total de todas as superfícies exteriores perpendiculares ao vento (nos lados de barlavento e de sotavento) (cl 5.3 (4), p.32).

Com base na totalidade das pressões definidas, a pressão resultante é definida pela equação A.VIII.

$$pw = (c_{pe} + c_{pi}) \times q_p(Z_e) \quad (\text{A.VIII})$$

Promovendo esta metodologia para todas as situações enunciadas, conclui-se que a situação mais desfavorável ocorreria para um ângulo  $\theta=90^\circ$ , no caso de se considerar  $c_{pi} = -0,2$ . Nessa situação a pressão do vento na cobertura, exerceria uma força vertical de + 1,587 kN/m<sup>2</sup> e uma força horizontal de - 0,703 kN/m<sup>2</sup>.

Estes valores, visto serem os mais desfavoráveis, foram os valores utilizados para a ação do vento, atuante na estrutura de cada módulo. A Tabela A.II apresenta um resumo de todas as ações e das respectivas unidades que foram consideradas para efeito de dimensionamento dos elementos estruturais da cobertura.

Tabela A.II: Tabela resumo das ações atuantes para a cobertura

<b>RCP</b>	0,500	KN/m
<b>Q</b>	0,200	
<b>Peso Próprio</b>	0,034	
<b>W vertical</b>	-0,794	
<b>W horizontal</b>	0,351	

## A.II. Dimensionamento dos elementos estruturais

A ModyHouse foi pensada para ser construída com painéis de madeira de Casquinha Branca, sendo os prumos constituintes destes painéis de Casquinha Vermelha, dadas as suas características mecânicas. A Tabela A.III apresenta um resumo dessas características.

Tabela A.III: Características resistentes da madeira escolhida (Negrão & Faria, 2009).

<b>Módulo de Elasticidade</b>	E0,05	5400	Mpa
<b>Flexão</b>	fm,k	16	
<b>Compressão paralela ao fio</b>	fc,0,k	17	
<b>Tração paralela ao fio</b>	ft,0,k	10	
<b>Corte</b>	fv,k	1,800	
<b>Massa Volúmica Característica</b>	$\rho_k$	310	kg/m <sup>2</sup>

Considerou-se também um vão para a cobertura e para o piso de 4,0 metro (situação mais desfavorável), um coeficiente de segurança  $\gamma_M$ , igual a 1,30 e teve-se como seção base, para início do dimensionamento, uma seção de 0,08 x 0,12 metro quadrados.

Visto que os prumos que servem de elementos estruturais se encontram no interior dos painéis MS, considerou-se para estes elementos, uma Classe de serviço 1. Iniciou-se o dimensionamento pelo dimensionamento da cobertura.

Para efetuar o dimensionamento de cada módulo recorreu-se a combinações de ações. Tais combinações de ações estão de acordo com o proposto pela NP EN 1990 (CEN, 2009a), doravante designado EC0, quadro A1.2 (B), página 50. Deste modo os coeficientes utilizados são 1,35 para as cargas permanentes e 1,5 para a ação variável base, quando desfavorável, que neste caso é a Sobrecarga. A ação do vento nesta situação não foi considerada, por ser uma ação favorável, sendo considerada posteriormente quando o vento é considerado ação variável base.

Para o dimensionamento da cobertura efetuou-se a combinação de ações apresentada na equação A.IX.

$$Q_{sd} = 1,35 \times \text{Cargas Permanentes} + 1,5 \times \text{Sobercaga} + 0 \times \text{Vento} \quad (\text{A.IX})$$

Substituindo os valores da Tabela A.II na equação A.IX, verifica-se que  $Q_{sd} = 1,021 \text{ kN/m}$ . Repetiu-se este mesmo pressuposto de cálculo, desta vez considerando o vento como ação variável base. Para esta iteração conclui-se que  $Q_{sd} = -0,656 \text{ kN/m}$ . Tal como se pode

observar, a resultante das ações é negativa. Isto significa, que os esforços condicionantes, neste caso, seriam os de tração e não de compressão. Tal acontece porque a estrutura é muito leve, sendo por isso a ação do vento uma ação mais condicionante que o peso próprio. Após se ter determinado o valor da combinação de ações, procedeu-se ao cálculo do valor de cálculo da resistência à flexão.

Para o cálculo da resistência à flexão, teve-se em consideração o efeito de volume  $k_h$ , descrito no EC5, na cláusula 3.2 (3), visto que a seção utilizada era menor do 0,15 metro. Neste caso, para a seção em análise, o valor de  $k_h$  é igual a 1,046.

Quando a ação variável base é a sobrecarga, visto que todas as ações são ações de longa duração e que se considerou os prumos como sendo de Classe de serviço 1, o valor de  $k_{mod}$  é igual a 0,70. Quando a ação variável base é o vento, visto esta ser uma ação de curta duração, o valor de  $k_{mod}$  passa a ser igual a 0,90. Tais valores foram retirados da tabela 3.1 do EC5.

O valor de cálculo da resistência à flexão,  $f_{m,d}$ , é dado pela equação A.X, para o caso da ação variável base ser a sobrecarga e na equação A.XI, para o caso de a ação variável base ser o vento.

$$f_{m,d} = k_h \times \frac{k_{mod} \times f_{m,k}}{\gamma_M} = 1,046 \times \frac{0,7 \times 16}{1,3} = 9,001 \text{ Mpa} \quad (\text{A.X})$$

$$f_{m,d} = k_h \times \frac{k_{mod} \times f_{m,k}}{\gamma_M} = 1,046 \times \frac{0,9 \times 16}{1,3} = 11,587 \text{ Mpa} \quad (\text{A.XI})$$

O passo seguinte consistiu em determinar a resistência da seção à flexão. Para isto considerou-se os prumos horizontais como estando simplesmente apoiados.

Para o cálculo da resistência da seção à flexão foi primariamente necessário determinar o momento atuante na seção. Esse valor é apresentado na equação A.XII, para o caso da ação

variável base ser a sobrecarga e na equação A.XIII, para o caso de a ação variável base ser o vento.

$$M_{sd} = \frac{Q_{sd} \times L^2}{8} = \frac{1,0210 \times 4^2}{8} = 2,042 \text{ kNm} \quad (\text{A.XII})$$

$$M_{sd} = \frac{Q_{sd} \times L^2}{8} = \frac{-0,6563 \times 4^2}{8} = -1,322 \text{ kNm} \quad (\text{A.XIII})$$

Conhecido o valor do momento fletor atuante e a seção, é possível calcular a tensão atuante de flexão. Tal cálculo é apresentado na equação A.IV, para o caso da ação variável base ser a sobrecarga e na equação A.V, para o caso de a ação variável base ser o vento.

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{sd}}{bh^2} = \frac{(6 \times 2,0420)}{0,08 \times 0,12^2} = 10,635 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{A.XIV})$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{sd}}{bh^2} = \frac{(6 \times -1,3224)}{0,08 \times 0,12^2} = -6,887 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{A.XV})$$

Se os valores da tensão atuante forem comparados com os valores da resistência à flexão, pode-se concluir, que para a combinação em que a ação variável base é a sobrecarga, que a tensão atuante de flexão é superior à resistência da seção à flexão, não estando deste modo a seção em segurança.

Deste modo, todo o processo de dimensionamento teve de ser repetido, desta vez para uma seção de 0,08 x 0,14 metro quadrados. Para efetuar todo o processo iterativo foi criado um ficheiro de Excel, que permitiu rapidamente efetuar todos os processos iterativos, variando apenas os dados de entrada. Antes de se iniciar o processo iterativo este ficheiro Excel foi validado pelos resultados obtidos inicialmente num processo de cálculo tradicional. Este procedimento foi igualmente efetuado para o dimensionamento dos prumos do piso e para os prumos verticais.

Para a seção de 0,08 x 0,14 metro quadrados o valor da resistência da seção à flexão, já era superior ao valor da tensão atuante de flexão. Com base nisto foi definida a seção para os prumos horizontais da cobertura, como sendo 0,08 x 0,14, visto que é o menor valor para o qual ocorre a verificação de segurança para as duas ações variáveis de base.

Para o dimensionamento dos prumos horizontais do piso, utilizou-se o mesmo procedimento de cálculo que para os prumos horizontais da cobertura, alterando o valor da Sobrecarga e das restantes cargas permanentes, ambos para 1 kN/m.

A Tabela A.IV apresenta um resumo de todas as ações, e das respectivas unidades, que foram consideradas para efeito de dimensionamento dos elementos estruturais do piso.

Tabela A.IV: Tabela resumo das ações atuantes para o piso

<b>RCP</b>	1,000	KN/m
<b>Q</b>	1,000	
<b>Peso Próprio</b>	0,058	
<b>W vertical</b>	-0,794	
<b>W horizontal</b>	0,351	

Com base nestes princípios chegou-se a uma seção resistente de 0,08 x 0,24 metro quadrados.

Uma vez dimensionados os prumos horizontais, passou-se para o dimensionamento dos prumos verticais. Para o dimensionamento dos prumos verticais considerou-se que estes teriam um comportamento similar ao de uma consola, uma vez que a forma da sua deformada é semelhante à deformada tipo de uma consola, quando carregados.

Determinadas as condições de apoio, definiu-se o comprimento de encurvadura. Visto que a altura dos prumos verticais seria igual a 3,50 metro e que estes seriam apenas encastrados na sua base, o seu comprimento de encurvadura seria igual a 2L, ou seja, 7 metro.

Após isto foi necessário determinar as características geométricas da seção, tais como a área da seção transversal, o momento de inércia e o raio de giração nas duas direções principais, neste caso a direção dos YY (maior inércia) e a direção dos ZZ (menor inércia). Os resultados obtidos para cada um destes parâmetros são apresentados na Tabela A.V.

Tabela A.V: Características da seção

<b>Comprimento de Encurvadura</b>	7,000	m
<b>Área da Seção Transversal</b>	9600	mm <sup>2</sup>
<b>Momento Inércia (My)</b>	11520000	mm <sup>4</sup>
<b>Raio de giração (iy)</b>	34,641	mm
<b>Momento Inércia (Mz)</b>	5120000	mm <sup>4</sup>
<b>Raio de giração (iz)</b>	23,094	mm

Tal como para o dimensionamento dos prumos horizontais, para o dimensionamento dos prumos verticais, considerou-se duas situações, uma em que a sobrecarga é a ação de variável base e outra em que o vento é a ação de variável base.

Antes de iniciar o cálculo de cada uma destas situações, foi preciso definir o peso próprio dos pilares e as ações que o prumo horizontal da cobertura, transmite a cada pilar, de modo a poder calcular a força total em cada pilar.

O peso próprio, com base na seção transversal definida, é igual a  $0,102 \text{ kN}$ . Tendo em conta as ações resultantes dos prumos horizontais, e que cada pórtico tem dois prumos verticais, cada prumo vertical, recebe dos prumos horizontais, uma força de  $2,042 \text{ kN}$  e de  $-1,313 \text{ kN}$  (o sinal negativo significa que a resultante é ascendente), para as situações em que a ação variável de base é a sobrecarga e para a situação em que a ação variável de base é o vento, respetivamente. Assim somando às duas ações o valor do peso próprio, obtém-se o valor total das ações atuantes no pilar igual a  $2,144 \text{ kN}$  e  $-1,210 \text{ kN}$ , respetivamente. Após ser definida a ação atuante em cada pilar, iniciou-se a verificação da resistência da seção escolhida para esforços de compressão e de tração, pois, uma vez que a estrutura é

muito leve, quando a ação variável de base for o vento, esta provoca esforços de tração na estrutura.

A referida verificação iniciou-se com a determinação das propriedades relevantes, neste caso, o cálculo da resistência à compressão  $f_{c,0,d}$  e da resistência à tração  $f_{t,0,d}$ , que se encontram descritos na equação A.XVI e na equação A.XVII, respetivamente.

$$\begin{aligned} f_{c,0,d} &= \frac{k_{mod} \times f_{c,0,k} \times k_h}{\gamma_M} = \frac{0,7 \times 17 \times 1,046}{1,3} \\ &= 9,572 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{A.XVI})$$

$$\begin{aligned} f_{t,0,d} &= \frac{k_{mod} \times f_{t,0,k} \times k_h}{\gamma_M} = \frac{0,9 \times 10 \times 1,046}{1,3} = \\ &= 7,239 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{A.XVII})$$

A equação A.XVIII e a equação A.XIX representam as tensões atuantes na seção para as situações em que a ação variável de base é a sobrecarga e para a situação em que a ação variável de base é o vento, respetivamente.

$$\begin{aligned} \sigma_{s,d} &= \frac{N_{s,d}}{\text{Área da Seção Transversal}} = \frac{2,144 \times 1000}{9600} = \\ &= 0,223 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{A.XVIII})$$

$$\begin{aligned} \sigma_{s,d} &= \frac{N_{s,d}}{\text{Área da Seção Transversal}} = \frac{-1,210 \times 1000}{9600} = \\ &= -0,126 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{A.XIX})$$

Como se pode observar através da comparação dos valores da capacidade resistente da seção e os valores das tensões atuantes, a segurança é verificada para as duas situações analisadas.

O passo seguinte consistiu em verificar a segurança para a flexão. O comportamento dos prumos verticais foi considerado semelhante ao de consolas verticais, sendo o cálculo do momento atuante nos mesmos por ação do vento (única força horizontal que atua nos prumos verticais) apresentado na equação A.XX. Tal como apresentado na Tabela A.IV, o valor para a ação horizontal do vento é igual a  $0,351 \text{ kN/m}$ . O valor da tensão atuante na seção considerada é apresentado na equação A.XXI.

$$M_{sd} = \frac{PL^2}{2} = \frac{0,351 \times 3,5^2}{2} = 2,152 \text{ kNm} \quad (\text{A.XX})$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{sd}}{bh^2} = \frac{6 \times 2,152}{80 \times 120^2} \times 10^6 = 11,208 \text{ kNm} \quad (\text{A.XXI})$$

Após isto, determinaram-se as propriedades relevantes da seção para a flexão, neste caso, a resistência à flexão. Tal cálculo é apresentado na equação A.XXII. Neste tipo de análise considerou-se o valor de  $k_{sys} = 1$ , uma vez que a sua consideração, apenas faz sentido, quando as sobrecargas não são igualmente aplicadas (Negrão & Faria, 2009), algo que não se verifica nesta situação.

$$\begin{aligned} f_{m,d} &= k_{sys} \times k_h \times \frac{(k_{mod} \times f_{m,k})}{\gamma_M} = \\ &= 1 \times 1,046 \times \frac{0,9 \times 16}{1,3} = 11,582 \text{ N/mm}^2 \end{aligned} \quad (\text{A.XXII})$$

Uma vez que  $\sigma_{m,d}$  é menor do que o  $f_{m,d}$ , fica confirmada a segurança da seção à flexão simples. É agora também necessário efetuar uma verificação para a situação em que existe simultaneamente esforço axial e momento fletor. Tal verificação foi efetuada de acordo com a expressão 6.2.3 (1) do EC5. Essa mesma verificação é apresentada na equação A.XXIII.

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \Leftrightarrow \quad (\text{A.XXIII})$$

$$\Leftrightarrow \frac{0,126}{7,239} + \frac{11,208}{11,582} \leq 1 \Leftrightarrow 0,985 \leq 1 \quad [OK]$$

Uma vez que o fator  $k_m$  é menor do que 1, apenas foi considerada a situação mais desfavorável, pois este fator seria um fator favorável. Deste modo, a verificação da condição indicada na equação A.XXIII, implica automaticamente a validação desta mesma situação, para a outra direção, visto que só existe momento numa direção

Uma vez que os esforços que atuam nos prumos verticais, e que provocam flexão, são trações, não existe necessidade de verificar a segurança à encurvadura, visto que esta seria provocada apenas por esforços de compressão.

A última verificação que é necessário efetuar é a verificação ao corte nos prumos verticais. O esforço máximo de corte nos prumos verticais, devido à ação do vento, é igual a 1,49 kN, tal como se pode observar na Figura A.VIII, através do modelo criado em Robot.

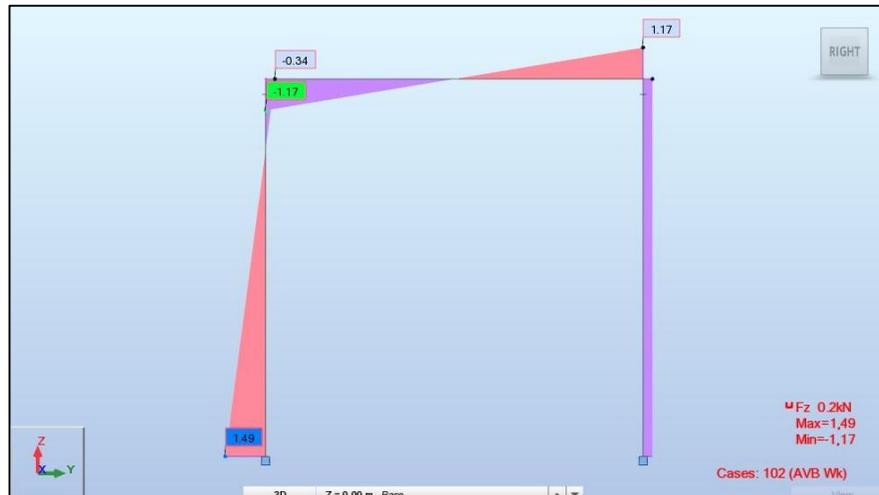


Figura A. VIII: Diagrama com esforços de corte nos prumos verticais

A determinação das propriedades relevantes, neste caso, o cálculo da resistência ao corte, encontra-se definida na equação A.XXIV.

$$f_{v,d} = \frac{(k_{mod} \times f_{v,k})}{\gamma_M} = \frac{0,9 \times 1,8}{1,3} = 1,246 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{A.XXIV})$$

O valor da tensão tangencial de cálculo é definido na equação A.XXV.

$$\zeta_{v,d} = \frac{3}{2} \frac{V_{Sd}}{bh} = \frac{3}{2} \times \frac{1,49 \times 1000}{80 \times 120} = 0,233 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{A.XXV})$$

Uma vez que a tensão de corte atuante é menor que o valor de cálculo da resistência ao corte, verifica-se que a seção se encontra em segurança. Visto que para a estrutura em análise não existem esforços de torção, não foi necessário verificar a interação entre esforços de corte e torção. A título meramente informativo, indica-se que o EC5 é omissivo relativamente a tal consideração. Caso se pretende-se efetuar tal verificação poder-se-ia considerar o sugerido pelo STEP-1, que sugere a utilização da interação de Möhler-Hemmer (Blass, Gustavsson, & Hoffmeyer, 1995).

Assim, uma vez que todas as verificações resultaram em segurança, concluiu-se que a seção a utilizar para os prumos verticais seria 0,08 x 0,12 metro quadrados. Tal verificação foi também confirmada na análise feita no Robot, tal como demonstra a Figura A.IX.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
1 Pilar_1	Pilares	C16	202.07	303.11	0.92	102 AVB Wk
2 Viga_2	Cobertura_Prumo	C16	98.97	173.21	0.89	101 AVB Qk
3 Pilar_3	Pilares	C16	202.07	303.11	0.75	101 AVB Qk

Calculation points  
 Division: none  
 Extremes: Fx,Fy,Fz,My,Mz  
 Additional: none

Figura A.IX: Verificação da segurança da seção



## ANEXO II – EXEMPLO DO CÓDIGO DESENVOLVIDO PARA A CRIAÇÃO DO CONCEITO MODYHOUSE

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using Autodesk.Revit.ApplicationServices;
using Autodesk.Revit.Attributes;
using Autodesk.Revit.DB;
using Autodesk.Revit.UI;
using Autodesk.Revit.UI.Selection;
using System.Windows.Forms;
using System.Drawing;
using Autodesk.Windows;
using Autodesk.Revit.DB.Structure;

namespace ModyHouse
{
    [Transaction(TransactionMode.Automatic)]
    public class Comando : IExternalCommand
    {
        static double number_x = 1;
        static double number_y = 1000;
        static double number_z = 1000;
        static double dist_paredes = 2500 / 304.8;
        static double dist_pilares = 3000 / 304.8;
        //private double apagar_paineis;
```

```

public Result Execute(ExternalCommandData commandData, ref string message,
ElementSet elements)
{
// Form1 user_form = new Form1();
UIApplication uiapp = commandData.Application;
UIDocument uidoc = uiapp.ActiveUIDocument;
Document doc = uidoc.Document;

// DELETE ELEMENTS OF PROJECT
ze_carlos:
FilteredElementCollector collbeams = new FilteredElementCollector(doc);
collbeams.OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralFraming);
collbeams.OfClass(typeof(FamilyInstance));
Element[] beams = collbeams.ToArray();
foreach (Element ele in beams)
{
try {
doc.Delete(ele.Id);
}
catch
{
}
}
FilteredElementCollector collcolumn = new FilteredElementCollector(doc);
collcolumn.OfCategory(BuiltInCategory.OST_StructuralColumns);
collcolumn.OfClass(typeof(FamilyInstance));
Element[] column = collcolumn.ToArray();
foreach (Element ele in column)
{
try {
doc.Delete(ele.Id);
}
}
}
}

```

```

    }
    catch
    {
    }
}
FilteredElementCollector collfloor = new FilteredElementCollector(doc);
collfloor.OfCategory(BuiltInCategory.OST_Floors);
collfloor.OfClass(typeof(Floor));
Element[] column_delete = collfloor.ToArray();
foreach (Element ele in column_delete)
{
    try {
        doc.Delete(ele.Id);
    }
    catch
    {
    }
}
FilteredElementCollector collview = new FilteredElementCollector( doc);
collview.OfClass(typeof(ViewPlan));

Element[] views = collview.ToElements().ToArray();
FilteredElementCollector colllevel = new FilteredElementCollector(doc);
ICollection<Element> levels = colllevel.OfClass(typeof(Level)).ToElements();

// FORM PARA INTRODUIZIR DADOS
Form1 Input_Form = new Form1();
Input_Form.ShowDialog();
number_x = Input_Form.return_x;
number_y = 2;
number_z = 3500/304.8;

```

```

dist_pilares = Input_Form.return_yy;
if (number_x == 0 || dist_pilares == 0)
{ return Autodesk.Revit.UI.Result.Failed; }

// VARIÁVEIS EM XX
int numero_paineis_x = Convert.ToInt32(Math.Floor(number_x / (2500)));
int numero_paineis_x_500 = Convert.ToInt32(Math.Floor(number_x / (500)));
double input_xx = numero_paineis_x_500 * 500 / 304.8;
double total_length = number_x;
number_x = numero_paineis_x;
double numero_paineis_extra_x = numero_paineis_x_500 - numero_paineis_x *
5;

// VARIÁVEIS EM YY
int numero_paineis = Convert.ToInt32(Math.Floor(dist_pilares / (2500)));
double introduzido_yy = number_y;
int numero_paineis_500= Convert.ToInt32(Math.Floor(dist_pilares / (500)));
double input_yy= numero_paineis_500 * 500 /304.8;
double total_length_y = dist_pilares;
double numero_paineis_extra = numero_paineis_500 - numero_paineis*5;
if (number_x < 1)
{
    Autodesk.Revit.UI.TaskDialog.Show("Erro na dimensão", "Introduza um
comprimento superior a 2500 mm");
    goto ze_carlos;
}
if (numero_paineis < 1)
{
    Autodesk.Revit.UI.TaskDialog.Show("Erro na dimensão", "Por favor introduza
uma largura que seja superior a 2500mmm");
    goto ze_carlos;
}

```

```

    }
    if (input_yy > 4000/304.8)
    {
        Autodesk.Revit.UI.TaskDialog.Show("Erro na dimensão", "Por favor introduza
uma largura entre 2500mm e 4000mm");
        goto ze_carlos;
    }
    dist_pilares = numero_paineis * 2500 / 304.8;

// CRIAR LEVELS E VISTAS
double elevation_1 = 0;
string name_1 = "Piso 1 Modular";
Level level_1 = null;
if(levels.Any(level => level.Name.Contains(name_1)) == false)
{
    level_1 = doc.Create.NewLevel(elevation_1);
    level_1.Name = name_1;
}
else
{
    foreach(Element ele in levels)
    {
        if (ele.Name == name_1)
        {
            level_1 = (Level)doc.GetElement(ele.Id);
        }
    }
}
Autodesk.Revit.DB.View view1 = null;
if(views.Any(view => view.Name.Contains(name_1)) == false)
{

```

```

    view1 = ViewCreation.NewViewPlan(name_1, level_1, ViewType.FloorPlan);
}
else
{
    foreach (Element ele in views)
    {
        if (ele.Name==name_1)
        {
            view1 = (Autodesk.Revit.DB.View)doc.GetElement(ele.Id);
        }
    }
}
double elevation_2 = number_z;
string name_2 = "Piso 2 Modular";
Level level_2 = null;
if (levels.Any(level => level.Name.Contains(name_2)) == false)
{
    level_2 = doc.Create.NewLevel(elevation_2);
    level_2.Name = name_2;
}
else
{
    foreach (Element ele in levels)
    {
        if (ele.Name == name_2)
        {
            level_2 = (Level)doc.GetElement(ele.Id);
            level_2.Elevation = number_z;
        }
    }
}
}

```

```

Autodesk.Revit.DB.View view2 = null;
if (views.Any(view => view.Name.Contains(name_2)) == false)
{
    view2 = ViewCreation.NewViewPlan(name_2, level_2, ViewType.FloorPlan);
}
else
{
    foreach (Element ele in views)
    {
        if (ele.Name == name_2)
        {
            view2 = (Autodesk.Revit.DB.View)doc.GetElement(ele.Id);
        }
    }
}
double elevation_floor = 250/304.8;
string name_floor = "R s-do- Ch o Modular";
Level Res_do_Ch o = null;
if (levels.Any(level => level.Name.Contains(name_floor)) == false)
{
    Res_do_Ch o = doc.Create.NewLevel(elevation_floor);
    Res_do_Ch o.Name = name_floor;
}
else
{
    foreach (Element ele in levels)
    {
        if (ele.Name == name_floor)
        {
            Res_do_Ch o = (Level)doc.GetElement(ele.Id);
        }
    }
}

```

```

    }
}
Autodesk.Revit.DB.View view3= null;
if (views.Any(view => view.Name.Contains(name_floor)) == false)
{
    view3 = ViewCreation.NewViewPlan(name_floor, Res_do_Chão,
ViewType.FloorPlan);
}
else
{
    foreach (Element ele in views)
    {
        if (ele.Name == name_floor)
        {
            view3 = (Autodesk.Revit.DB.View)doc.GetElement(ele.Id);
        }
    }
}

// CRIAR PAINES
double coord_x = 0;
double coord_y = 0;
//double dist_total = 0;
//double dist_inicial = -300 / 304.8;
//double largura_total = 0;
//double aux = 105.6 / 304.8;
double destino_parede_X = dist_paredes;
double destino_parede_y = 0;
double lenght_diference = total_length - number_x * 2500;
double inicio = numero_paineis_x*2500/304.8 ;
double origem345=0;

```

```

double origem_prumo_xx = 40 / 304.8;
bool verificacao500 = false;
bool verificacao234 = false;
bool m_maiorque1 = false;
string beam_path="";
string beam_path_floor = "";
double aux_1;
double aux_234;
double aux_234_destino;
double aux_origem_prumo_xx = 0;
int numero_prumos = Convert.ToInt32(Math.Floor(lenght_diference / (500)));
double xxx = 0;
double origem_janela = 290 / 304.8;
bool verificacao = false;
bool verificacao_porta = false;
int numero_janelas;
Element paineis_345_aux = null;
if (numero_paineis_extra_x > 2)
{ numero_janelas = numero_paineis_x * 2 + 1; }
else { numero_janelas = numero_janelas = numero_paineis_x * 2; }

```

```
// PAINEIS XX
```

```
// CARREGAR PAINEL PAREDE 2
```

```

string path_Parede2 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel Parede_2.rfa";
string symbol_Parede2 = "2 Paineis";
FamilySymbol simbolo_Parede2;
Family familia_Parede2;
doc.LoadFamily(path_Parede2, out familia_Parede2);
doc.LoadFamilySymbol(path_Parede2, symbol_Parede2, out simbolo_Parede2);

```

```

// CARREGAR PILAR 080X140
    for (int m = 0; m < number_y; m++)
    {
        if (m > 0)
        { m_maiorque1 = true; }
        string PilarPath =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_200x200.rfa";
        string Pilar_simbol = "Pilar_200x200";
        FamilySymbol simboloPilar;
        Family familiaPilar;
        doc.LoadFamily(PilarPath, out familiaPilar);
        doc.LoadFamilySymbol(PilarPath, Pilar_simbol, out simboloPilar);

// PILAR DE CANTO INICIAL
        double begin = xxx - 100 / 304.8;
        XYZ origemPrumo = new XYZ(begin, coord_y, 0);
        Element prumoInicial = doc.Create.NewFamilyInstance(origemPrumo,
simboloPilar, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        AnalyticalModel anmodel_pilar = prumoInicial.GetAnalyticalModel();
        anmodel_pilar.Enable(false);

// PILAR DE CANTO FINAL
        XYZ begin_prumo = new XYZ(input_xx + 100 / 304.8, coord_y, 0);
        Element prumoFinal = doc.Create.NewFamilyInstance(begin_prumo,
simboloPilar, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        AnalyticalModel anmodel_pilarFinal = prumoFinal.GetAnalyticalModel();
        anmodel_pilarFinal.Enable(false);
        for (int i = 0; i < number_x; i++)
        {
            XYZ origem_painel = new XYZ(coord_x, coord_y, 0);

```

```

XYZ destino_painel = new XYZ(destino_parede_X, destino_parede_y, 0);
Line Line_Beam_1 = Line.CreateBound(origem_painel, destino_painel);
Element paineis_xx = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_1,
simbolo_Parede2, level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
paineis_345_aux = paineis_xx;

// INSERIR PRUMOS VERTICAIS EM XX
for (int p = 0; p < 5; p++)
{
    XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_prumo_xx, coord_y, 0);
    string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
    string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";
    FamilySymbol simbolo_column_canto;
    Family familia_column_canto;
    doc.LoadFamily(column_canto_path, out familia_column_canto);
    doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path, column_canto_simbol, out
simbolo_column_canto);
    Element prumo = doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo,
simbolo_column_canto, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
    JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, paineis_xx);
    origem_prumo_xx = origem_prumo_xx + 500 / 304.8;
    aux_origem_prumo_xx = origem_prumo_xx;
}
if (i == number_x - 1 && total_length <= number_x * 2500)
{
    origem_prumo_xx = origem_prumo_xx - 500 / 304.8 + 420 / 304.8;
    XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_prumo_xx, coord_y, 0);
    string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
    string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";

```

```

FamilySymbol simbolo_column_canto;
Family familia_column_canto;
doc.LoadFamily(column_canto_path, out familia_column_canto);
doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path, column_canto_simbol, out
simbolo_column_canto);
Element prumo = doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo,
simbolo_column_canto, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, paineis_xx);
origem_prumo_xx = aux_origem_prumo_xx;

// INSERIR PORTA
if (verificação_porta ==false)
{
verificação_porta = true;
double origem_porta = total_length - 80 / 304.8;
XYZ origem_prumo_porta = new XYZ(origem_prumo_xx - 540 /
304.8, coord_y, 0);
string column_canto_path_porta =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Porta.rfa";
string column_canto_simbol_porta = "Painel Porta";
FamilySymbol simbolo_column_canto_porta;
Family familia_column_canto_porta;
doc.LoadFamily(column_canto_path_porta, out
familia_column_canto_porta);
doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_porta,
column_canto_simbol_porta, out simbolo_column_canto_porta);
Element prumo_porta =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_porta, simbolo_column_canto_porta,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_porta, paineis_xx);
}

```

```

    }
    aux_1 = coord_y;
// INSERIR JANELAS
    if (numero_janelas < 5)
        for (int p = 0; p < numero_janelas; p++)
        {
            if (m_maiorque1 == false && verificacao == false)
            {
                string column_canto_path =
                @"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Janela.rfa";
                string column_canto_simbol = "Painel Janela";
                FamilySymbol simbolo_column_canto;
                Family familia_column_canto;
                doc.LoadFamily(column_canto_path, out
                familia_column_canto);
                doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path,
                column_canto_simbol, out simbolo_column_canto);
                XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_janela, coord_y, 0);
                Element prumo =
                doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo, simbolo_column_canto,
                Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
                JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, paineis_xx);
                origem_janela = origem_janela + 500 / 304.8;
            }
        }
    if (numero_janelas >= 5)
    {
        for (int g = 0; g < 5; g++)
        {
            if (m_maiorque1 == false && verificacao == false)
            {

```

```

        string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Janela.rfa";
        string column_canto_simbol = "Painel Janela";
        FamilySymbol simbolo_column_canto;
        Family familia_column_canto;
        doc.LoadFamily(column_canto_path, out
familia_column_canto);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path,
column_canto_simbol, out simbolo_column_canto);
        XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_janela, coord_y, 0);
        Element prumo =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo, simbolo_column_canto,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, paineis_xx);
        origem_janela = origem_janela + 500 / 304.8;
    }
}
}
numero_janelas = numero_janelas - 5;

// INSERIR PAINEIS COBERTURA E RÉS-DO-CHÃO
if (m_maiorque1 == false)
{
    if (input_yy >= 2500 / 304.8 && input_yy < 3000 / 304.8)
    {
        beam_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x2500.
rfa";
        beam_path_floor =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x2500.rfa";
        coord_y = coord_y - 500 / 304.8;

```

```

    }
    if (input_yy > 2500 / 304.8 && input_yy <= 3000 / 304.8)
    {
        beam_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x3000.
rfa";

        beam_path_floor =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x3000.rfa";
        coord_y = coord_y - 250 / 304.8;
    }
    if (input_yy > 3000 / 304.8 && input_yy <= 3500 / 304.8)
    {
        beam_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x3500.
rfa";

        beam_path_floor =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x3500.rfa";
    }
    if (input_yy > 3500 / 304.8)
    {
        beam_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x4000.
rfa";

        beam_path_floor =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x4000.rfa";
        coord_y = coord_y + 250 / 304.8;
    }
    string beam_symbol = "Painel Cobertura";
    FamilySymbol simbolo_beam;
    Family familia_beam;
    doc.LoadFamily(beam_path, out familia_beam);

```

```

doc.LoadFamilySymbol(beam_path, beam_symbol, out simbolo_beam);
XYZ insert_point_1 = new XYZ(coord_x, coord_y + 1850 / 304.8, 0);
XYZ insert_point_2 = new XYZ(destino_parede_X, coord_y + 1850 /
304.8, 0);

Line Line_Beam = Line.CreateBound(insert_point_1, insert_point_2);
Element cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam,
simbolo_beam, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
string beam_symbol_floor = "Painel Floor";
FamilySymbol simbolo_beam_floor;
Family familia_beam_floor;
doc.LoadFamily(beam_path_floor, out familia_beam_floor);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path_floor, beam_symbol_floor, out
simbolo_beam_floor);
//XYZ insert_point_1 = new XYZ(coord_x, coord_y + 1850 / 304.8, 0);
//XYZ insert_point_2 = new XYZ(destino_parede_X, coord_y + 1850 /
304.8, 0);

//Line Line_Beam = Line.CreateBound(insert_point_1, insert_point_2);
Element floor = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam,
simbolo_beam_floor, Res_do_Chão,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
double prumo_viga = coord_x;
coord_y = aux_1;

// INSERIR PRUMOS HORIZONTAIS COBERTURA E RÉIS-DO-CHÃO

for (int p = 0; p < 5; p++)
{
    if (total_length_y == 2500)
    {
        XYZ viga_xx = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y + 100
/ 304.8, 3500 / 304.8);

```

```

        XYZ viga_yy = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y +
input_yy + 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
        XYZ viga_xx_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
        XYZ viga_yy_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + input_yy + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
        Line viga = Line.CreateBound(viga_xx, viga_yy);
        Line viga_inferior = Line.CreateBound(viga_xx_inferior,
viga_yy_inferior);
        string beam_path_viga =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Cobertura_2500.rfa";
        string beam_path_viga_inferior =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Floor 2500.rfa";
        string beam_symbol_viga = "Viga Cobertura 2500";
        string beam_symbol_viga_inferior = "Viga Floor 2500";
        FamilySymbol simbolo_beam_viga;
        FamilySymbol simbolo_beam_viga_inferior;
        Family familia_beam_viga;
        Family familia_beam_viga_inferior;
        doc.LoadFamily(beam_path_viga, out familia_beam_viga);
        doc.LoadFamily(beam_path_viga_inferior, out
familia_beam_viga_inferior);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga, beam_symbol_viga, out
simbolo_beam_viga);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga_inferior,
beam_symbol_viga_inferior, out simbolo_beam_viga_inferior);
        Element prumo_cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(viga,
simbolo_beam_viga, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        Element prumo_inferior =
doc.Create.NewFamilyInstance(viga_inferior, simbolo_beam_viga_inferior, level_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);

```

```

JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_cobertura,
cobertura);

JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_inferior, floor);
prumo_viga = prumo_viga + 500 / 304.8;
};
if (total_length_y > 2500 && total_length_y <= 3000)
{
XYZ viga_xx = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y + 100
/ 304.8, 3500 / 304.8);
XYZ viga_yy = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y +
input_yy + 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
XYZ viga_xx_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
XYZ viga_yy_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + input_yy + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
Line viga = Line.CreateBound(viga_xx, viga_yy);
Line viga_inferior = Line.CreateBound(viga_xx_inferior,
viga_yy_inferior);
string beam_path_viga =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Cobertura_3000.rfa";
string beam_path_viga_inferior =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Floor 3000.rfa";
string beam_symbol_viga = "Viga Cobertura 3000";
string beam_symbol_viga_inferior = "Viga Floor 3000";
FamilySymbol simbolo_beam_viga;
FamilySymbol simbolo_beam_viga_inferior;
Family familia_beam_viga;
Family familia_beam_viga_inferior;
doc.LoadFamily(beam_path_viga, out familia_beam_viga);
doc.LoadFamily(beam_path_viga_inferior, out
familia_beam_viga_inferior);

```

```

doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga, beam_symbol_viga, out
simbolo_beam_viga);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga_inferior,
beam_symbol_viga_inferior, out simbolo_beam_viga_inferior);
Element prumo_cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(viga,
simbolo_beam_viga, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
Element prumo_inferior =
doc.Create.NewFamilyInstance(viga_inferior, simbolo_beam_viga_inferior, level_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_cobertura,
cobertura);
JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_inferior, floor);
prumo_viga = prumo_viga + 500 / 304.8;
};
if (total_length_y > 3000 && total_length_y <= 3500)
{
XYZ viga_xx = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y + 100
/ 304.8, 3500 / 304.8);
XYZ viga_yy = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y +
input_yy + 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
XYZ viga_xx_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
XYZ viga_yy_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + input_yy + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
Line viga = Line.CreateBound(viga_xx, viga_yy);
Line viga_inferior = Line.CreateBound(viga_xx_inferior,
viga_yy_inferior);
string beam_path_viga =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Cobertura_3500.rfa";
string beam_path_viga_inferior =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Floor 3500.rfa";

```

```

        string beam_symbol_viga = "Viga Cobertura 3500";
        string beam_symbol_viga_inferior = "Viga Floor 3500";
        FamilySymbol simbolo_beam_viga;
        FamilySymbol simbolo_beam_viga_inferior;
        Family familia_beam_viga;
        Family familia_beam_viga_inferior;
        doc.LoadFamily(beam_path_viga, out familia_beam_viga);
        doc.LoadFamily(beam_path_viga_inferior, out
familia_beam_viga_inferior);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga, beam_symbol_viga, out
simbolo_beam_viga);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga_inferior,
beam_symbol_viga_inferior, out simbolo_beam_viga_inferior);
        Element prumo_cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(viga,
simbolo_beam_viga, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        Element prumo_inferior =
doc.Create.NewFamilyInstance(viga_inferior, simbolo_beam_viga_inferior, level_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_cobertura,
cobertura);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_inferior, floor);
        prumo_viga = prumo_viga + 500 / 304.8;
    };
    if (total_length_y > 3500)
    {
        XYZ viga_xx = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y + 100
/ 304.8, 3500 / 304.8);
        XYZ viga_yy = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y +
input_yy + 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
        XYZ viga_xx_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + 100 / 304.8, 240 / 304.8);

```

```

XYZ viga_yy_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + input_yy + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
Line viga = Line.CreateBound(viga_xx, viga_yy);
Line viga_inferior = Line.CreateBound(viga_xx_inferior,
viga_yy_inferior);
string beam_path_viga =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Cobertura
080x140.rfa";
string beam_path_viga_inferior =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Floor 080x240.rfa";
string beam_symbol_viga = "Viga Cobertura 080x140";
string beam_symbol_viga_inferior = "Viga Floor 080x240";
FamilySymbol simbolo_beam_viga;
FamilySymbol simbolo_beam_viga_inferior;
Family familia_beam_viga;
Family familia_beam_viga_inferior;
doc.LoadFamily(beam_path_viga, out familia_beam_viga);
doc.LoadFamily(beam_path_viga_inferior, out
familia_beam_viga_inferior);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga, beam_symbol_viga, out
simbolo_beam_viga);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga_inferior,
beam_symbol_viga_inferior, out simbolo_beam_viga_inferior);
Element prumo_cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(viga,
simbolo_beam_viga, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
Element prumo_inferior =
doc.Create.NewFamilyInstance(viga_inferior, simbolo_beam_viga_inferior, level_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_cobertura,
cobertura);
JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_inferior, floor);

```

```

        prumo_viga = prumo_viga + 500 / 304.8;
    }
}
if (i == number_x - 1 && total_length <= number_x * 2500)
{
    prumo_viga = prumo_viga - 500 / 304.8 + 420 / 304.8;
    XYZ viga_xx = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y + 100 /
304.8, 3500 / 304.8);
    XYZ viga_yy = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y +
input_yy + 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
    XYZ viga_xx_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y
+ 100 / 304.8, 240 / 304.8);
    XYZ viga_yy_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y
+ input_yy + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
    Line viga = Line.CreateBound(viga_xx, viga_yy);
    Line viga_inferior = Line.CreateBound(viga_xx_inferior,
viga_yy_inferior);
    string beam_path_viga =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Cobertura
080x140.rfa";
    string beam_path_viga_inferior =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Floor 080x240.rfa";
    string beam_symbol_viga = "Viga Cobertura 080x140";
    string beam_symbol_viga_inferior = "Viga Floor 080x240";
    FamilySymbol simbolo_beam_viga;
    FamilySymbol simbolo_beam_viga_inferior;
    Family familia_beam_viga;
    Family familia_beam_viga_inferior;
    doc.LoadFamily(beam_path_viga, out familia_beam_viga);
    doc.LoadFamily(beam_path_viga_inferior, out
familia_beam_viga_inferior);

```

```

        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga, beam_symbol_viga, out
simbolo_beam_viga);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga_inferior,
beam_symbol_viga_inferior, out simbolo_beam_viga_inferior);
        Element prumo_cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(viga,
simbolo_beam_viga, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        Element prumo_inferior =
doc.Create.NewFamilyInstance(viga_inferior, simbolo_beam_viga_inferior, level_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_cobertura, cobertura);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_inferior, floor);
    }
}
coord_x = coord_x + dist_paredes;
destino_parede_X = destino_parede_X + dist_paredes;
double origem_prumo234 = destino_parede_X - dist_paredes + 40 / 304.8;
double end_pilar = origem_prumo234;

// INSERIR PAINÉIS EM XX DE 2,3 E 4 UNIDADES

    if (i == number_x - 1 && lenght_diference < 2500 && lenght_diference >= 1000)
    {
        verificação234 = true;
        XYZ origem_ultimo = new XYZ(destino_parede_X - dist_paredes,
coord_y, 0);
        XYZ destino_2000 = new XYZ(total_length / 304.8, destino_parede_y,
0);
        Line Line_Beam_2 = Line.CreateBound(origem_ultimo, destino_2000);
        Element paineis_345 = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_2,
simbolo_Parede2, level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        paineis_345_aux = paineis_345;
    }
}

```

```

origem345 = total_length / 304.8;
    for (int p = 0; p < numero_prumos; p++)
    {
        XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_prumo234, coord_y, 0);
        string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
        string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";
        FamilySymbol simbolo_column_canto;
        Family familia_column_canto;
        doc.LoadFamily(column_canto_path, out familia_column_canto);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path, column_canto_simbol,
out simbolo_column_canto);
        Element prumo = doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo,
simbolo_column_canto, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, paineis_345);
        origem_prumo234 = origem_prumo234 + 500 / 304.8;
    }
    if (lenght_diference < 2500 && lenght_diference >= 1000)
    {
        origem_prumo234 = origem_prumo234 - 500 / 304.8 + 420 / 304.8;
        XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_prumo234, coord_y, 0);
        string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
        string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";
        FamilySymbol simbolo_column_canto;
        Family familia_column_canto;
        doc.LoadFamily(column_canto_path, out familia_column_canto);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path, column_canto_simbol,
out simbolo_column_canto);
        Element prumo = doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo,
simbolo_column_canto, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);

```

```

        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, paineis_345);
    }

// INSERIR PORTA

    if (verificação_porta == false && lenght_diference < 2500 &&
lenght_diference >= 1000)
    {
        verificação_porta = true;
        //double origem_porta = total_length - 80 / 304.8;
        XYZ origem_prumo_porta = new XYZ(origem_prumo234 - 460 /
304.8, coord_y, 0);
        string column_canto_path_porta =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Porta.rfa";
        string column_canto_simbol_porta = "Painel Porta";
        FamilySymbol simbolo_column_canto_porta;
        Family familia_column_canto_porta;
        doc.LoadFamily(column_canto_path_porta, out
familia_column_canto_porta);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_porta,
column_canto_simbol_porta, out simbolo_column_canto_porta);
        Element prumo_porta =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_porta, simbolo_column_canto_porta,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_porta, paineis_345);
    }

    aux_1 = coord_y;
    aux_234 = destino_parede_X - dist_paredes;
    aux_234_destino = total_length / 304.8;
    if (m_maiorque1 == false)

```

```

    {
        if (input_yy >= 2500 / 304.8 && input_yy < 3000 / 304.8)
        {
            beam_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x2500.
rfa";

            beam_path_floor =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x2500.rfa";
            coord_y = coord_y - 500 / 304.8;
        }
        if (input_yy > 2500 / 304.8 && input_yy <= 3000 / 304.8)
        {
            beam_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x3000.
rfa";

            beam_path_floor =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x3000.rfa";
            coord_y = coord_y - 250 / 304.8;
        }
        if (input_yy > 3000 / 304.8 && input_yy <= 3500 / 304.8)
        {
            beam_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x3500.
rfa";

            beam_path_floor =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x3500.rfa";
        }

        if (input_yy > 3500 / 304.8)
        {

```

```

        beam_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Cobertura_5x4000.
rfa";

        beam_path_floor =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Floor_5x4000.rfa";
        coord_y = coord_y + 250 / 304.8;
    }
    string beam_symbol = "Painel Cobertura";
    FamilySymbol simbolo_beam;
    Family familia_beam;
    doc.LoadFamily(beam_path, out familia_beam);
    doc.LoadFamilySymbol(beam_path, beam_symbol, out
simbolo_beam);
    XYZ insert_point_1 = new XYZ(aux_234, coord_y + 1850 / 304.8,
0);
    XYZ insert_point_2 = new XYZ(aux_234_destino, coord_y + 1850 /
304.8, 0);
    Line Line_Beam = Line.CreateBound(insert_point_1, insert_point_2);
    Element cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam,
simbolo_beam, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
    double prumo_viga = coord_x;
    string beam_symbol_floor = "Painel Floor";
    FamilySymbol simbolo_beam_floor;
    Family familia_beam_floor;
    doc.LoadFamily(beam_path_floor, out familia_beam_floor);
    doc.LoadFamilySymbol(beam_path_floor, beam_symbol_floor, out
simbolo_beam_floor);
    Element floor = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam,
simbolo_beam_floor, Res_do_Chão,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
    coord_y = aux_1;

```

```

for (int p = 0; p < numero_prumos; p++)
{
    XYZ viga_xx = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y + 100
/ 304.8, 3500 / 304.8);
    XYZ viga_yy = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y +
input_yy + 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
    XYZ viga_xx_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
    XYZ viga_yy_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + input_yy + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
    Line viga = Line.CreateBound(viga_xx, viga_yy);
    Line viga_inferior = Line.CreateBound(viga_xx_inferior,
viga_yy_inferior);
    string beam_path_viga =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Cobertura
080x140.rfa";
    string beam_path_viga_inferior =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Floor 080x240.rfa";
    string beam_symbol_viga = "Viga Cobertura 080x140";
    string beam_symbol_viga_inferior = "Viga Floor 080x240";
    FamilySymbol simbolo_beam_viga;
    FamilySymbol simbolo_beam_viga_inferior;
    Family familia_beam_viga;
    Family familia_beam_viga_inferior;
    doc.LoadFamily(beam_path_viga, out familia_beam_viga);
    doc.LoadFamily(beam_path_viga_inferior, out
familia_beam_viga_inferior);
    doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga, beam_symbol_viga, out
simbolo_beam_viga);
    doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga_inferior,
beam_symbol_viga_inferior, out simbolo_beam_viga_inferior);

```

```

        Element prumo_cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(viga,
simbolo_beam_viga, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        Element prumo_inferior =
doc.Create.NewFamilyInstance(viga_inferior, simbolo_beam_viga_inferior, level_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_cobertura,
cobertura);

        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_inferior, floor);
        prumo_viga = prumo_viga + 500 / 304.8;
    }
    if (lenght_diference < 2500 && lenght_diference >= 1000)
    {
        origem_prumo234 = origem_prumo234 - 500 / 304.8 + 500 / 304.8;

        XYZ viga_xx = new XYZ(origem_prumo234, coord_y + 100 /
304.8, 3500 / 304.8);
        XYZ viga_yy = new XYZ(origem_prumo234, coord_y + input_yy
+ 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
        XYZ viga_xx_inferior = new XYZ(origem_prumo234, coord_y +
100 / 304.8, 240 / 304.8);
        XYZ viga_yy_inferior = new XYZ(origem_prumo234, coord_y +
input_yy + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
        Line viga = Line.CreateBound(viga_xx, viga_yy);
        Line viga_inferior = Line.CreateBound(viga_xx_inferior,
viga_yy_inferior);
        string beam_path_viga =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Cobertura
080x140.rfa";
        string beam_path_viga_inferior =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Floor 080x240.rfa";
        string beam_symbol_viga = "Viga Cobertura 080x140";

```

```

        string beam_symbol_viga_inferior = "Viga Floor 080x240";
        FamilySymbol simbolo_beam_viga;
        FamilySymbol simbolo_beam_viga_inferior;
        Family familia_beam_viga;
        Family familia_beam_viga_inferior;
        doc.LoadFamily(beam_path_viga, out familia_beam_viga);
        doc.LoadFamily(beam_path_viga_inferior, out
familia_beam_viga_inferior);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga, beam_symbol_viga, out
simbolo_beam_viga);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga_inferior,
beam_symbol_viga_inferior, out simbolo_beam_viga_inferior);
        Element prumo_cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(viga,
simbolo_beam_viga, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        Element prumo_inferior =
doc.Create.NewFamilyInstance(viga_inferior, simbolo_beam_viga_inferior, level_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_cobertura,
cobertura);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_inferior, floor);
    }
}
}
double origem_prumo1 = destino_parede_X - 2500 / 304.8 + 40 / 304.8;

// INSERIR PAINEL DE 500mm
if (i == number_x - 1 && lenght_diference < 1000 && lenght_diference
>= 500)
{
    verificação500 = true;

```

```

XYZ origem500 = new XYZ(destino_parede_X - dist_paredes, coord_y,
0);

XYZ destino500 = new XYZ(destino_parede_X - dist_paredes + 500 /
304.8, destino_parede_y, 0);

string beam_path500 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel Singular.rfa";
string beam_symbol500 = "2 Paineis";
FamilySymbol simbolo_beam500;
Family familia_beam500;
doc.LoadFamily(beam_path500, out familia_beam500);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path500, beam_symbol500, out
simbolo_beam500);

Line Line_Beam500 = Line.CreateBound(origem500, destino500);
Element paineis_500 = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam500,
simbolo_beam500, level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_prumo1, coord_y, 0);
string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";
FamilySymbol simbolo_column_canto;
Family familia_column_canto;
doc.LoadFamily(column_canto_path, out familia_column_canto);
doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path, column_canto_simbol, out
simbolo_column_canto);

Element prumo = doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo,
simbolo_column_canto, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, paineis_500);
origem_prumo1 = origem_prumo1 + 420 / 304.8;
XYZ origem_prumo_1 = new XYZ(origem_prumo1, coord_y, 0);
string column_canto_path_1 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";

```

```

string column_canto_simbol_1 = "Pilar_080x120";
FamilySymbol simbolo_column_canto_1;
Family familia_column_canto_1;
doc.LoadFamily(column_canto_path_1, out familia_column_canto_1);
doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_1,
column_canto_simbol_1, out simbolo_column_canto_1);
Element prumo1 = doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_1,
simbolo_column_canto_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo1, paineis_500);

// INSERIR PORTA

if (verificação_porta == false)
{
verificação_porta = true;
XYZ origem_prumo_porta = new XYZ(origem_prumo1 - 460 / 304.8,
coord_y, 0);

string column_canto_path_porta =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel_Porta.rfa";
string column_canto_simbol_porta = "Painel Porta";
FamilySymbol simbolo_column_canto_porta;
Family familia_column_canto_porta;
doc.LoadFamily(column_canto_path_porta, out
familia_column_canto_porta);
doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_porta,
column_canto_simbol_porta, out simbolo_column_canto_porta);
Element prumo_porta =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_porta, simbolo_column_canto_porta,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_porta, paineis_500);

```

```

        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_porta,
paineis_345_aux);
    }

    aux_1 = coord_y;
    aux_234 = destino_parede_X - dist_paredes;
    aux_234_destino = total_length / 304.8;

    if (m_maiorque1 == false)
    {
        XYZ insert_point_1 = new XYZ(aux_234 + 360 / 304.8, coord_y +
100 / 304.8, 3500 / 304.8);
        XYZ insert_point_2 = new XYZ(aux_234 + 360 / 304.8, input_yy +
100 / 304.8, 3500 / 304.8);
        XYZ insert_point_1_floor = new XYZ(aux_234 + 360 / 304.8,
coord_y + 100 / 304.8, 250/304.8);
        XYZ insert_point_2_floor = new XYZ(aux_234 + 360 / 304.8,
input_yy + 100 / 304.8, 250 / 304.8);
        beam_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel
Cobertura_correto.rfa";
        beam_path_floor =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel Floor.rfa";
        string beam_symbol = "Painel Cobertura";
        string beam_symbol_floor = "Painel Floor";
        FamilySymbol simbolo_beam;
        Family familia_beam;
        FamilySymbol simbolo_beam_floor;
        Family familia_beam_floor;
        doc.LoadFamily(beam_path, out familia_beam);

```

```

doc.LoadFamilySymbol(beam_path, beam_symbol, out
simbolo_beam);
doc.LoadFamily(beam_path_floor, out familia_beam_floor);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path_floor, beam_symbol_floor, out
simbolo_beam_floor);
Line Line_Beam = Line.CreateBound(insert_point_1, insert_point_2);
Line Line_Beam_floor = Line.CreateBound(insert_point_1_floor,
insert_point_2_floor);
Element cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam,
simbolo_beam, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
Element floor = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_floor,
simbolo_beam_floor, Res_do_Chão, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
AnalyticalModel analiModel = cobertura.GetAnalyticalModel();
AnalyticalModel analiModel_floor = floor.GetAnalyticalModel();
analiModel.Enable(false);
analiModel_floor.Enable(false);
double prumo_viga = coord_x;
coord_y = aux_1;
for (int p = 0; p < numero_prumos; p++)
{
XYZ viga_xx = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y + 100
/ 304.8, 3500 / 304.8);
XYZ viga_yy = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8, coord_y +
input_yy + 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
XYZ viga_xx_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
XYZ viga_yy_inferior = new XYZ(prumo_viga + 40 / 304.8,
coord_y + input_yy + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
Line viga = Line.CreateBound(viga_xx, viga_yy);
Line viga_inferior = Line.CreateBound(viga_xx_inferior,
viga_yy_inferior);

```

```

        string beam_path_viga =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Cobertura
080x140.rfa";

        string beam_path_viga_inferior =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Floor 080x240.rfa";

        string beam_symbol_viga = "Viga Cobertura 080x140";
        string beam_symbol_viga_inferior = "Viga Floor 080x240";
        FamilySymbol simbolo_beam_viga;
        FamilySymbol simbolo_beam_viga_inferior;
        Family familia_beam_viga;
        Family familia_beam_viga_inferior;
        doc.LoadFamily(beam_path_viga, out familia_beam_viga);
        doc.LoadFamily(beam_path_viga_inferior, out
familia_beam_viga_inferior);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga, beam_symbol_viga, out
simbolo_beam_viga);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga_inferior,
beam_symbol_viga_inferior, out simbolo_beam_viga_inferior);
        Element prumo_cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(viga,
simbolo_beam_viga, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        Element prumo_inferior =
doc.Create.NewFamilyInstance(viga_inferior, simbolo_beam_viga_inferior, level_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_cobertura,
cobertura);

        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_inferior, floor);
        prumo_viga = prumo_viga + 500 / 304.8;
    }
    if (lenght_diference < 1000 && lenght_diference >= 500)
    {

```

```

XYZ viga_xx = new XYZ(origem_prumo234 + 420/304.8, coord_y
+ 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
XYZ viga_yy = new XYZ(origem_prumo234 + 420/304.8, coord_y
+ input_yy + 100 / 304.8, 3500 / 304.8);
XYZ viga_xx_inferior = new XYZ(origem_prumo234 + 420/304.8,
coord_y + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
XYZ viga_yy_inferior = new XYZ(origem_prumo234 + 420/304.8,
coord_y + input_yy + 100 / 304.8, 240 / 304.8);
Line viga = Line.CreateBound(viga_xx, viga_yy);
Line viga_inferior = Line.CreateBound(viga_xx_inferior,
viga_yy_inferior);
string beam_path_viga =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Cobertura
080x140.rfa";
string beam_path_viga_inferior =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Viga Floor 080x240.rfa";
string beam_symbol_viga = "Viga Cobertura 080x140";
string beam_symbol_viga_inferior = "Viga Floor 080x240";
FamilySymbol simbolo_beam_viga;
FamilySymbol simbolo_beam_viga_inferior;
Family familia_beam_viga;
Family familia_beam_viga_inferior;
doc.LoadFamily(beam_path_viga, out familia_beam_viga);
doc.LoadFamily(beam_path_viga_inferior, out
familia_beam_viga_inferior);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga, beam_symbol_viga, out
simbolo_beam_viga);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path_viga_inferior,
beam_symbol_viga_inferior, out simbolo_beam_viga_inferior);
Element prumo_cobertura = doc.Create.NewFamilyInstance(viga,
simbolo_beam_viga, level_2, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);

```

```

        Element prumo_inferior =
doc.Create.NewFamilyInstance(viga_inferior, simbolo_beam_viga_inferior, level_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.Beam);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_cobertura,
cobertura);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_inferior, floor);
    }
}
}
}
coord_x = 0;
destino_parede_X = dist_paredes;
destino_parede_y = coord_y + input_yy + 200 / 304.8;
coord_y = coord_y + input_yy + 200 / 304.8;
origem_prumo_xx = 40 / 304.8;
}

// PAINEIS YY
coord_y = 0;
double destino = destino_parede_X;
double destino_y = coord_y + dist_paredes;
double origem_painel_yy = -100 / 304.8;
double aux_origem_painel_yy = origem_painel_yy;
double diferenca = total_length_y - numero_paineis * 2500;
double guardar_coord_y = coord_y;
double guardar_destino_y = destino_y;
double coord_yy_painel = 140 / 304.8;
double origem_esquerda = coord_x - 100 / 304.8;
double origem_direita = total_length / 304.8 + 100 / 304.8;

for (int m = 0; m < 2; m++)

```

```

    {
    for (int i = 0; i < numero_paineis; i++)
        {
            if (numero_paineis == 1)
                {
                    if (verificação234 == true)
                        {
                            XYZ origem_painel = new XYZ(origem_esquerda, coord_y + 100 /
304.8, 0);
                            XYZ destino_painel = new XYZ(origem_esquerda, destino_y + 100
/ 304.8, 0);
                            Line Line_Beam_1 = Line.CreateBound(origem_painel,
destino_painel);
                            Element painel = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_1,
simbolo_Parede2, level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
                            coord_y = destino_y;
                            destino_y = destino_y + dist_paredes;

                            for (int p = 0; p < 5; p++)
                                {
                                    XYZ axis_1 = new XYZ(origem_esquerda, coord_yy_painel, 0);
                                    XYZ axis_2 = new XYZ(origem_esquerda, coord_yy_painel, 60);
                                    Line axis = Line.CreateBound(axis_1, axis_2);
                                    double rotate = Math.PI / 2;
                                    XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_esquerda,
coord_yy_painel, 0);
                                    string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
                                    string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";
                                    FamilySymbol simbolo_column_canto;
                                    Family familia_column_canto;
                                }
                            }
                }
        }
    }

```

```

doc.LoadFamily(column_canto_path, out familia_column_canto);
doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path,
column_canto_simbol, out simbolo_column_canto);
Element prumo = doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo,
simbolo_column_canto, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo.Id, axis,
rotate);

JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, painel);
coord_yy_painel = coord_yy_painel + 500 / 304.8;
}
if (input_yy <= 2500/304.8)
{
double coord_yy_painel_corrigido = coord_yy_painel + 420 /
304.8 -500/304.8;
XYZ origem_prumo_extra = new XYZ(origem_esquerda,
coord_yy_painel_corrigido, 0);
XYZ origem_prumo_extra_60 = new XYZ(origem_esquerda,
coord_yy_painel_corrigido, 60);
Line axis_acerto = Line.CreateBound(origem_prumo_extra,
origem_prumo_extra_60);
double rotate_1 = Math.PI / 2;
string column_canto_path_1 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
string column_canto_simbol_1 = "Pilar_080x120";
FamilySymbol simbolo_column_canto_1;
Family familia_column_canto_1;
doc.LoadFamily(column_canto_path_1, out
familia_column_canto_1);
doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_1,
column_canto_simbol_1, out simbolo_column_canto_1);

```

```

        Element prumo_final =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_extra, simbolo_column_canto_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo_final.Id,
axis_acerto, rotate_1);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_final, painel);
    }
}
else
{
XYZ origem_painel = new XYZ(origem_painel_yy, coord_y + 100 /
304.8, 0);
XYZ destino_painel = new XYZ(origem_painel_yy, destino_y +
100 / 304.8, 0);
string beam_path_1 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel Parede_2.rfa";
string beam_symbol_1 = "2 Paineis";
FamilySymbol simbolo_beam_1;
Family familia_beam_1;
doc.LoadFamily(beam_path_1, out familia_beam_1);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path_1, beam_symbol_1, out
simbolo_beam_1);
Line Line_Beam_1 = Line.CreateBound(origem_painel,
destino_painel);
Element painel = doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_1,
simbolo_beam_1, level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
coord_y = destino_y;
destino_y = destino_y + dist_paredes;
for (int p = 0; p < 5; p++)
{
XYZ axis_1 = new XYZ(origem_painel_yy, coord_yy_painel, 0);

```

```

        XYZ axis_2 = new XYZ(origem_painel_yy, coord_yy_painel,
60);

        Line axis = Line.CreateBound(axis_1, axis_2);
        double rotate = Math.PI / 2;
        XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_painel_yy,
coord_yy_painel, 0);
        string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
        string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";
        FamilySymbol simbolo_column_canto;
        Family familia_column_canto;
        doc.LoadFamily(column_canto_path, out familia_column_canto);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path,
column_canto_simbol, out simbolo_column_canto);
        Element prumo = doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo,
simbolo_column_canto, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo.Id, axis,
rotate);

        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo, painel);
        coord_yy_painel = coord_yy_painel + 500 / 304.8;
    }
    if (input_yy <= 2500 / 304.8)
    {
        double coord_yy_painel_corrigido = coord_yy_painel + 420 /
304.8 - 500 / 304.8;
        XYZ origem_prumo_extra = new XYZ(origem_painel_yy,
coord_yy_painel_corrigido, 0);
        XYZ origem_prumo_extra_60 = new XYZ(origem_painel_yy,
coord_yy_painel_corrigido, 60);
        Line axis_acerto = Line.CreateBound(origem_prumo_extra,
origem_prumo_extra_60);

```

```

        double rotate_1 = Math.PI / 2;
        string column_canto_path_1 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
        string column_canto_simbol_1 = "Pilar_080x120";
        FamilySymbol simbolo_column_canto_1;
        Family familia_column_canto_1;
        doc.LoadFamily(column_canto_path_1, out
familia_column_canto_1);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_1,
column_canto_simbol_1, out simbolo_column_canto_1);
        Element prumo_final =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_extra, simbolo_column_canto_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo_final.Id,
axis_acerto, rotate_1);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_final, painel);
    }
}
}
if (diferença >=1000)
{
    if(verificação234 == true)
    {
        double destino_diferença = (total_length_y-2500)/304.8;
        XYZ origem_painel_diferença = new XYZ(origem_esquerda,
coord_y + 100 / 304.8, 0);
        XYZ destino_painel_diferença = new XYZ(origem_esquerda,
total_length_y / 304.8 + 100 / 304.8, 0);
        string beam_path_1_diferença =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel Parede_2.rfa";
        string beam_symbol_1_diferença = "2 Paineis";

```

```

        FamilySymbol simbolo_beam_1_diferença;
        Family familia_beam_1_diferença;
        doc.LoadFamily(beam_path_1_diferença, out
familia_beam_1_diferença);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_1_diferença,
beam_symbol_1_diferença, out simbolo_beam_1_diferença);
        Line Line_Beam_1_diferença =
Line.CreateBound(origem_painel_diferença, destino_painel_diferença);
        Element painel_diferença =
doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_1_diferença, simbolo_beam_1_diferença,
level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        double origem_prumo234 = coord_y;
        for (int p = 0; p < numero_paineis_extra; p++)
        {
            XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_esquerda,
origem_prumo234 + 140 / 304.8, 0);
            XYZ axis_2 = new XYZ(origem_esquerda, origem_prumo234
+ 140 / 304.8, 60);
            Line axis = Line.CreateBound(origem_prumo, axis_2);
            double rotate = Math.PI / 2;
            string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
            string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";
            FamilySymbol simbolo_column_canto;
            Family familia_column_canto;
            doc.LoadFamily(column_canto_path, out
familia_column_canto);
            doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path,
column_canto_simbol, out simbolo_column_canto);

```

```

        Element prumo =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo, simbolo_column_canto,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo.Id, axis,
rotate);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo,
painel_diferença);
        origem_prumo234 = origem_prumo234 + 500 / 304.8;
    }
    XYZ origem_prumo_extra = new XYZ(origem_esquerda,
origem_prumo234 + 60 / 304.8, 0);
    XYZ origem_prumo_extra_60 = new XYZ(origem_esquerda,
origem_prumo234 + 60 / 304.8, 60);
    Line axis_acerto = Line.CreateBound(origem_prumo_extra,
origem_prumo_extra_60);
    double rotate_1 = Math.PI / 2;
    string column_canto_path_1 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
    string column_canto_simbol_1 = "Pilar_080x120";
    FamilySymbol simbolo_column_canto_1;
    Family familia_column_canto_1;
    doc.LoadFamily(column_canto_path_1, out
familia_column_canto_1);
    doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_1,
column_canto_simbol_1, out simbolo_column_canto_1);
    Element prumo_final =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_extra, simbolo_column_canto_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
    ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo_final.Id,
axis_acerto, rotate_1);

```

```

JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_final,
painel_diferença);
    }
else {
double destino_diferença = (total_length_y-2500)/304.8;
XYZ origem_painel_diferença = new XYZ(origem_painel_yy,
coord_y + 100 / 304.8, 0);
XYZ destino_painel_diferença = new XYZ(origem_painel_yy,
input_yy +100/304.8, 0);
string beam_path_1_diferença =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel Parede_2.rfa";
string beam_symbol_1_diferença = "2 Paineis";
FamilySymbol simbolo_beam_1_diferença;
Family familia_beam_1_diferença;
doc.LoadFamily(beam_path_1_diferença, out
familia_beam_1_diferença);
doc.LoadFamilySymbol(beam_path_1_diferença,
beam_symbol_1_diferença, out simbolo_beam_1_diferença);
Line Line_Beam_1_diferença =
Line.CreateBound(origem_painel_diferença, destino_painel_diferença);
Element painel_diferença =
doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_1_diferença, simbolo_beam_1_diferença,
level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
double inicio_prumoyy = coord_y;
for (int p = 0; p < numero_paineis_extra; p++)
{
XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_painel_yy,
inicio_prumoyy + 140/304.8, 0);
XYZ axis_2 = new XYZ(origem_painel_yy, inicio_prumoyy +
140 / 304.8, 60);
Line axis = Line.CreateBound(origem_prumo, axis_2);

```

```

        double rotate = Math.PI / 2;
        string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
        string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";
        FamilySymbol simbolo_column_canto;
        Family familia_column_canto;
        doc.LoadFamily(column_canto_path, out
familia_column_canto);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path,
column_canto_simbol, out simbolo_column_canto);
        Element prumo =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo, simbolo_column_canto,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo.Id, axis,
rotate);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo,
painel_diferença);
        inicio_prumoyy = inicio_prumoyy + 500 / 304.8;
    }
    double inicio_prumo = inicio_prumoyy + 60 / 304.8;
    XYZ origem_prumo_extra = new XYZ(origem_painel_yy,
inicio_prumo, 0);
    XYZ origem_prumo_extra_60 = new XYZ(origem_painel_yy,
inicio_prumo , 60);
    Line axis_acerto = Line.CreateBound(origem_prumo_extra,
origem_prumo_extra_60);
    double rotate_1 = Math.PI / 2;
    string column_canto_path_1 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
    string column_canto_simbol_1 = "Pilar_080x120";
    FamilySymbol simbolo_column_canto_1;

```

```

        Family familia_column_canto_1;
        doc.LoadFamily(column_canto_path_1, out
familia_column_canto_1);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_1,
column_canto_simbol_1, out simbolo_column_canto_1);
        Element prumo_final =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_extra, simbolo_column_canto_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo_final.Id,
axis_acerto, rotate_1);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_final,
painel_diferença);
    }
}
if (diferença >= 500 && diferença < 1000)
{
    if (verificação500 == true )
    {
        XYZ origem_ultimo_500 = new XYZ(origem_painel_yy,
coord_y + 100 / 304.8, 0);
        XYZ destino_ultimo_500 = new XYZ(origem_painel_yy,
coord_y + 650 / 304.8, 0);
        string beam_path_1_diferença =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel Singular.rfa";
        string beam_symbol_1_diferença = "2 Paineis";
        FamilySymbol simbolo_beam_1_diferença;
        Family familia_beam_1_diferença;
        doc.LoadFamily(beam_path_1_diferença, out
familia_beam_1_diferença);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_1_diferença,
beam_symbol_1_diferença, out simbolo_beam_1_diferença);

```

```

        Line Line_Beam_1_diferença =
Line.CreateBound(origem_ultimo_500, destino_ultimo_500);
        Element painel_diferença =
doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_1_diferença, simbolo_beam_1_diferença,
level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);

        XYZ axis_1 = new XYZ(origem_painel_yy, coord_y + 140 /
304.8, 0);

        XYZ axis_2 = new XYZ(origem_painel_yy, coord_y + 140 /
304.8, 60);

        Line axis = Line.CreateBound(axis_1, axis_2);
        double rotate = Math.PI / 2;
        XYZ origem_prumo = new XYZ(origem_painel_yy,
coord_yy_painel, 0);

        string column_canto_path =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
        string column_canto_simbol = "Pilar_080x120";
        FamilySymbol simbolo_column_canto;
        Family familia_column_canto;
        doc.LoadFamily(column_canto_path, out
familia_column_canto);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path,
column_canto_simbol, out simbolo_column_canto);

        Element prumo =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo, simbolo_column_canto,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);

        ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo.Id, axis,
rotate);

        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo,
painel_diferença);

```

```

        XYZ origem_prumo_extra = new XYZ(origem_painel_yy,
coord_y + 140 / 304.8 + 420 / 304.8, 0);
        XYZ origem_prumo_extra_60 = new XYZ(origem_painel_yy,
coord_y + 140 / 304.8 + 420 / 304.8, 60);
        Line axis_acerto = Line.CreateBound(origem_prumo_extra,
origem_prumo_extra_60);
        double rotate_1 = Math.PI / 2;
        string column_canto_path_1 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
        string column_canto_simbol_1 = "Pilar_080x120";
        FamilySymbol simbolo_column_canto_1;
        Family familia_column_canto_1;
        doc.LoadFamily(column_canto_path_1, out
familia_column_canto_1);
        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_1,
column_canto_simbol_1, out simbolo_column_canto_1);
        Element prumo_final =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_extra, simbolo_column_canto_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo_final.Id,
axis_acerto, rotate_1);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_final,
painel_diferença);
    }
else
{
    double inicio_prumo = coord_y + 100 / 304.8;
    XYZ origem_ultimo_500 = new XYZ(aux_origem_painel_yy,
inicio_prumo, 0);
    XYZ destino_ultimo_500 = new XYZ(aux_origem_painel_yy,
inicio_prumo + 500 / 304.8, 0);

```

```

        string beam_path_1_diferença =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Painel Singular.rfa";
        string beam_symbol_1_diferença = "2 Paineis";
        FamilySymbol simbolo_beam_1_diferença;
        Family familia_beam_1_diferença;
        doc.LoadFamily(beam_path_1_diferença, out
familia_beam_1_diferença);
        doc.LoadFamilySymbol(beam_path_1_diferença,
beam_symbol_1_diferença, out simbolo_beam_1_diferença);
        Line Line_Beam_1_diferença =
Line.CreateBound(origem_ultimo_500, destino_ultimo_500);
        Element painel_diferença =
doc.Create.NewFamilyInstance(Line_Beam_1_diferença, simbolo_beam_1_diferença,
level_1, Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        for (int x=0; x<2; x++)
        {
            XYZ origem_prumo_extra = new
XYZ(aux_origem_painel_yy, inicio_prumo + 40 / 304.8, 0);
            XYZ origem_prumo_extra_60 = new
XYZ(aux_origem_painel_yy, inicio_prumo + 40 / 304.8, 60);
            Line axis_acerto = Line.CreateBound(origem_prumo_extra,
origem_prumo_extra_60);
            double rotate_1 = Math.PI / 2;
            string column_canto_path_1 =
@"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2015\ModyHouse\Pilar_080x120.rfa";
            string column_canto_simbol_1 = "Pilar_080x120";
            FamilySymbol simbolo_column_canto_1;
            Family familia_column_canto_1;
            doc.LoadFamily(column_canto_path_1, out
familia_column_canto_1);

```

```

        doc.LoadFamilySymbol(column_canto_path_1,
column_canto_simbol_1, out simbolo_column_canto_1);
        Element prumo_final =
doc.Create.NewFamilyInstance(origem_prumo_extra, simbolo_column_canto_1,
Autodesk.Revit.DB.Structure.StructuralType.NonStructural);
        ElementTransformUtils.RotateElement(doc, prumo_final.Id,
axis_acerto, rotate_1);
        JoinGeometryUtils.JoinGeometry(doc, prumo_final,
painel_diferença);
        inicio_prumo = inicio_prumo + 420 / 304.8;
    }
    aux_origem_painel_yy = origem_direita;
}
}
}
if ( lenght_diference < 2500 && lenght_diference >= 1000)
{
    coord_y = 0;
    origem_painel_yy = origem345 + 100 / 304.8;
    destino_y = dist_paredes;
}
if (verificação500== true)
{
    coord_y = 0;
    origem_painel_yy = inicio + 600 / 304.8;
    destino_y = dist_paredes;
}
else
{
    coord_y = 0;
    destino_y = dist_paredes;
}

```

```

        origem_painel_yy = inicio + 100 / 304.8;
    }
    coord_yy_painel = 140 / 304.8;
    origem_esquerda = origem_direita;
}

```

// RETANGULO PARA DEFINIR A AREA DO FLOOR E TETO

```

double origem = 250 / 304.8;
double coord_0 = -350 / 304.8;
double comprm_x = input_xx + 200 / 304.8 + 150 / 304.8;
double comprm_y = total_length_y / 304.8 + 300 / 304.8 + 150 / 304.8;
XYZ point_1 = new XYZ(coord_0, -origem, 0);
XYZ point_2 = new XYZ(comprm_x, -origem, 0);
XYZ point_3 = new XYZ(comprm_x, comprm_y, 0);
XYZ point_4 = new XYZ(coord_0, comprm_y, 0);
Line line_1 = Line.CreateBound(point_1, point_2);
Line line_2 = Line.CreateBound(point_2, point_3);
Line line_3 = Line.CreateBound(point_3, point_4);
Line line_4 = Line.CreateBound(point_4, point_1);
CurveArray new_curve = new CurveArray();
new_curve.Append(line_1);
new_curve.Append(line_2);
new_curve.Append(line_3);
new_curve.Append(line_4);
doc.Create.NewFloor(new_curve, false);

```

// ALTERAR ALTURA DOS PILARES

```

    MessageBox.Show("Concluido");
    return Result.Succeeded;
}

```

```
public static ViewPlan NewViewPlan(string viewName, Level level, ViewType
viewType)
{
    ElementId viewTypeId = FindViewTypes(level.Document, viewType).First().Id;
    ViewPlan view = ViewPlan.Create(level.Document, viewTypeId, level.Id);
    view.ViewName = viewName;
    return view;
}
}
}
```