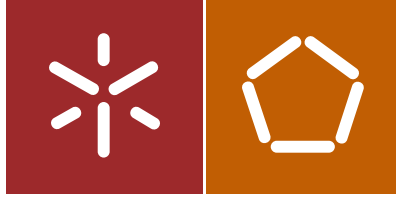




Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Ana Rita Fernandes Poças

Planeamento e controlo de projetos  
de construção com recurso ao BIM



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia

Ana Rita Fernandes Poças

Planeamento e controlo de projetos  
de construção com recurso ao BIM

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

Trabalho efectuado sob a orientação do  
Professor Doutor João Pedro Couto

*“There’s a way to do it better – find it.”*

Thomas A. Edison (1973)



## AGRADECIMENTOS

Ao finalizar esta dissertação de mestrado, quero manifestar os meus mais sinceros agradecimentos a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a sua realização.

Ao meu orientador, Professor Doutor João Pedro Couto, agradeço a constante disponibilidade, dedicação e compromisso de trabalho. Pela capacidade crítica e partilha de conhecimentos durante a elaboração desta dissertação.

Ao Engenheiro António Marinho, meu supervisor da empresa MPM Construção e Engenharia Lda., agradeço toda a disponibilidade e contínua colaboração pautada durante o desenvolvimento do meu trabalho. Pela delicadeza com que me recebeu e apoiou, partilhando o seu tempo e os seus conhecimentos, acreditando no sucesso desta dissertação.

A todos os elementos da empresa MPM Construção e Engenharia Lda., por toda a colaboração prestada e pela oportunidade de desenvolvimento deste projeto.

Aos meus professores de MIEC, pela atenção e amizade concedidos, pelo incentivo e pelos conhecimentos demonstrados durante o período de realização do curso de mestrado.

Ao Nelson, por todo o apoio incondicional nos momentos mais difíceis deste percurso. Pelas palavras de motivação e pela paciência que sempre demonstrou.

Um especial agradecimento aos meus amigos por todos os momentos partilhados, pela amizade, compreensão e disponibilidade ao longo destes anos. A todos eles desejo os sinceros votos de felicidade e de sucesso profissional.

Por fim, um agradecimento sincero aos meus pais e irmãos por todo o apoio incondicional e confiança demonstrada ao longo de todo o meu percurso académico, que agora culmina com a concretização deste objetivo.

A todas as pessoas que contribuíram para a realização de mais esta importante etapa da minha vida reconheço, reverencio e registo o meu profundo e sincero **Muito Obrigada.**



## RESUMO

Atualmente, o *Building Information Modeling* (BIM) é reconhecido como uma metodologia inovadora que pretende modernizar a indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC). O conceito geral do BIM visa proporcionar uma metodologia de elaboração de projetos holística, integrando uma série de tecnologias, políticas e processos colaborativos de apoio à gestão de projetos de construção. Através de um modelo digital é possível construir e gerir virtualmente o projeto durante todo o seu ciclo de vida.

A adoção destas metodologias, por oposição às abordagens tradicionais de gestão de projetos, pode justificar-se pelo facto de os métodos tradicionais apresentarem, ainda hoje, muitas dificuldades e problemas relacionados com a falta de comunicação entre os vários intervenientes, com a baixa produtividade nos seus processos, entre outros.

No entanto, a adoção do BIM não se verifica de forma generalizada. Alguns estudos realizados em diferentes países revelam que são poucos os profissionais do setor que adotaram ferramentas BIM e, desses profissionais, a grande maioria apenas as utiliza como ferramentas de desenho, aproveitando as suas funções de representação em 3 dimensões. Vários autores defendem, ainda, que só é possível usufruir da totalidade dos benefícios inerentes à utilização das ferramentas BIM quando estas são aplicadas a todo o ciclo de vida do projeto

Desta forma, é de grande interesse o estudo das funcionalidades desta tecnologia no setor empresarial e como as suas funcionalidades e potencialidades poderão interagir com outros processos organizacionais tradicionais. Assim, o estudo desta dissertação centra-se na metodologia BIM aplicada ao planeamento e controlo de projetos de construção, através de um caso de estudo. O objetivo principal passa por contribuir para o desenvolvimento de processos mais eficientes no que diz respeito ao planeamento construtivo (BIM 4D) e à estimativa de custos (BIM 5D), utilizando metodologias BIM. Outro objetivo desta dissertação centra-se na análise da interoperabilidade de *softwares* BIM, ou seja, na verificação da viabilidade de exportação de dados dos modelos produzidos entre as ferramentas BIM.

**Palavras-chave:** *Building Information Modeling* (BIM); Planeamento Construtivo; BIM 4D; Estimativa de custos; BIM 5D.





## ABSTRACT

The Building Information Modeling (BIM) is currently known as an innovative solution to modernize the architecture, engineering and construction industry (AEC). This concept provides an elaboration of the holistic design methodology, integrating a set of policies, technologies and collaborative processes that enable support to the management of the construction project and access to its data through a digital model, allowing to build and manage virtually the project through all its life cycle.

The justification for the adoption of these more efficient methods, as opposed to traditional processes, relates to the fact that conventional processes, today, present many difficulties and problems associated with lack of communication between actors, low productivity in their processes, among others.

However, the adoption of BIM does not occur in a general way. Studies in different countries reveals that only a minority of technicians of the sector experienced already BIM tools and, among these, the vast majority use them only as a drawing tool, taking advantage of their representative functions in 3 dimensions. Additionally, several authors argue that it's only possible to take advantage of all the benefits inherent of using BIM tools when they are applied to the entire project life cycle.

Thus, it is of great interest to study the features of this technology in the business sector and how its features and capabilities may interact with other traditional organizational processes. Thus, the study of this thesis focuses on the BIM methodology applied to the planning and control of construction projects, through a case study. The main objective becomes to contribute to the development of more efficient processes as regards the constructive planning (BIM 4D) and the estimated costs (BIM 5D) using BIM methodologies. Another objective of this dissertation focuses on reviewing the interoperability of BIM software, i.e., the verification of the data export viability of models produced between the BIM tools.

**Key words:** *Building Information Modeling* (BIM); Construction Planning; BIM 4D; Average Cost; BIM 5D.



# ÍNDICE GERAL

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Estrutura da dissertação .....	5
<b>2. REVISÃO DO ESTADO DE ARTE .....</b>	<b>7</b>
2.1. BIM - <i>Building Information Modeling</i> .....	7
2.1.1. Origem.....	7
2.1.2. Definição .....	8
2.1.3. Conceitos .....	10
2.1.4. Dimensões .....	22
2.1.5. <i>Softwares</i> Disponíveis .....	23
2.2. Implementação do BIM .....	25
2.2.1. Vantagens .....	25
2.2.2. Desvantagens.....	27
2.2.3. BIM no Mundo.....	30
2.2.4. BIM em Portugal.....	43
<b>3. BIM NA GESTÃO DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO.....</b>	<b>51</b>
3.1. Implementação das ferramentas BIM nas empresas de construção.....	52
3.2. Modelo tridimensional – BIM 3D .....	54
3.2.1. Detecção de erros e omissões de projeto .....	57
3.3. Planeamento construtivo – BIM 4D .....	58
3.3.1. Orientações para a utilização de ferramentas BIM 4D .....	62
3.4. Estimativa de custos – BIM 5D .....	64
3.4.1. Obtenção automática de mapas de quantidades .....	66
<b>4. CASO DE ESTUDO.....</b>	<b>69</b>
4.1. Sobre a Empresa .....	70

4.2. Descrição do Projeto .....	71
4.3. Metodologia Implementada.....	73
4.4. Descrição dos <i>Softwares</i> utilizados e o objetivo da sua utilização.....	75
4.4.1. Autodesk Revit Structure 2016.....	75
4.4.2. Autodesk Navisworks Manage 2016 .....	77
4.4.3. Microsoft Office Excel 2013 .....	78
4.5. Criação Do Modelo Virtual – BIM 3D .....	79
4.5.1. Criação do Modelo Estrutural.....	80
4.5.2. Revit vs AutoCad.....	89
4.5.3. Projeto Revit vs Obra.....	92
4.5.4. Detecção automática de interferências no modelo no <i>software</i> Revit.....	93
4.6. Abordagem à análise BIM 4D – Planeamento Construtivo .....	95
4.6.1. Exportação do Revit .....	95
4.6.2. Detecção automática de interferências no modelo estrutural no <i>software</i> Navisworks .....	97
4.6.3. Faseamento Construtivo .....	101
4.7. Abordagem à análise BIM 5D – Estimativa de custos .....	109
4.7.1. Obtenção do mapa de quantidades .....	110
4.7.2. Estimativa de custos .....	115
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>117</b>
5.1. Conclusões Gerais .....	117
5.2. Desenvolvimentos futuros.....	120
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>121</b>
ANEXO I – Faseamento construtivo.....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Um exemplo histórico de colaboração na construção. Construção de um celeiro em Ohio (Fotografia de Ian Adams) (Kymmell, 2008) .....	7
Figura 2.2 – O BIM associado a todos os intervenientes do ciclo de vida da construção.....	8
Figura 2.3 – Exemplo de modelação orientada por objetos .....	10
Figura 2.4 – Relações paramétricas entre elementos.....	11
Figura 2.5 – Exemplo de produção de vistas automáticas.....	11
Figura 2.6 – Aplicação de ferramentas BIM ao ciclo de vida da construção (retirado de (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011)) .....	12
Figura 2.7 – Troca de informação entre os vários Intervenientes .....	15
Figura 2.8 – Histórico de versões do formato IFC .....	16
Figura 2.9 – Estrutura da base de dados do modelo IFC, versão 2x4 (adaptado de Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011) .....	17
Figura 2.10 – buildingSMART: Triângulo padrão.....	18
Figura 2.11 – Interligação entre MVD e IDM (Pedroto & Martins, 2012).....	20
Figura 2.12 – Dimensões BIM (adaptado de Sá (2014)).....	22
Figura 2.13 – Resultados da sondagem elaborada pela AECbytes relativa à utilização dos diferentes <i>softwares</i> BIM .....	23
Figura 2.14 – Benefícios BIM (em percentagem) mencionados pelas empresas como um dos três mais importantes para a sua organização (adaptado de McGraw Hill Construction, 2014) .....	26
Figura 2.15 – BIM no mundo (adaptado de Brewer, G. et al., 2012).....	30
Figura 2.16 – Percentagem de empreiteiros com níveis alto/muito alto de implementação BIM, (adaptado McGraw, 2014).....	30
Figura 2.17 – Ponte para Palm Jebel Ali .....	33
Figura 2.18 – Modelação dos tanques de armazenamento de água da Ponte para Palm Jebel Ali .....	35
Figura 2.19 – Modelação da Ponte para Palm Jebel Ali.....	36
Figura 2.20 – Modelação da Ponte para Palm Jebel Ali.....	37
Figura 2.21 – Estádio de Cracóvia - Polónia .....	39
Figura 2.22 – Projeto do Estádio de Cracóvia .....	40
Figura 2.23 – Estádio de Cracóvia, Polónia .....	42

Figura 2.24 – Terminal de Cruzeiros de Leixões: a) Visualização da estrutura sem as lâminas envolventes; b) Visualização tridimensional. ....	47
Figura 2.25 – Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões após construção .....	48
Figura 2.26 – ETAR do Ave: interação colaborativa entre o projeto do processo de tratamento e o projeto de fundações e estruturas .....	49
Figura 3.1 – Dimensões BIM aplicadas à gestão da construção .....	51
Figura 3.2 – Implementação BIM nas empresas de construção quando o modelo é desenvolvido a partir dos desenhos 2D (adaptado de Eastman, et al., 2011).....	52
Figura 3.3 – Implementação do BIM nas empresas de construção quando as equipas de projeto contribuem com um modelo BIM (adaptado de Eastman, et al., 2011) .....	53
Figura 3.4 – Potencialidades dos modelos paramétricos BIM 3D .....	54
Figura 3.5 – Diferenças entre o nível de detalhe na modelação de uma parede .....	55
Figura 3.6 – Projeto de arquitetura da empresa CNLL de uma moradia localizada em Braga (2008).....	56
Figura 3.7 – Detecção automática de erros e omissões de projeto .....	57
Figura 3.8 – Diagrama de Gantt.....	59
Figura 3.9 – Diagrama de rede.....	60
Figura 3.10 – Associação do modelo 3D à sequência temporal das atividades da construção	61
Figura 3.11 – Processo da ferramenta BIM 4D (adaptado de Eastman, et al., 2011).....	62
Figura 3.12 – Exemplo da estimativa orçamental por meio de uma ferramenta BIM.....	64
Figura 3.13 – Processo integrado do BIM 5D (Vico Office).....	65
Figura 3.14 – Capacidade do BIM em obter mapas de quantidades automáticos em oposição ao método tradicional de medições.....	66
Figura 4.1 – Logótipo da empresa MPM Construção e Engenharia Lda.....	70
Figura 4.2 – Local de Intervenção da moradia.....	71
Figura 4.3 – Planta do rés-do-chão da moradia .....	71
Figura 4.4 – Render do modelo de arquitetura do projeto .....	72
Figura 4.5 – Esquema relativo à metodologia implementada no caso de estudo.....	73
Figura 4.6 – Interfaces do <i>software</i> Autodesk Revit.....	76
Figura 4.7 – Formatos do <i>software</i> Autodesk Navisworks.....	78
Figura 4.8 – Níveis do projeto, Revit.....	80
Figura 4.9 – Importação das plantas em AutoCad relativas a cada nível para o <i>software</i> Revit .....	81
Figura 4.10 – Criação de grelhas correspondentes ao alinhamento dos pilares, Revit.....	81

Figura 4.11 – Elementos de fundação do projeto de execução, Revit.....	83
Figura 4.12 – Elementos de fundação e vigas do projeto de execução, Revit.....	84
Figura 4.13 – Elementos de fundação, vigas e lajes do projeto de execução, Revit .....	86
Figura 4.14 – Elementos de fundação, vigas, lajes e paredes do projeto de execução, Revit ..	87
Figura 4.15 – Implantação do terreno no <i>software</i> Revit através da importação do ficheiro em <i>AutoCad</i> .....	88
Figura 4.16 – Criação do terreno, Revit .....	88
Figura 4.17 – Vistas 3D obtidas através de <i>renderings</i> , Revit .....	89
Figura 4.18 – Alçado Norte, AutoCad.....	90
Figura 4.19 – Alçado Norte, Revit .....	90
Figura 4.20 – Alçado Sul, AutoCad .....	90
Figura 4.21 – Alçado Sul, Revit .....	90
Figura 4.22 – Alçado Este, AutoCad.....	91
Figura 4.23 – Alçado Este, Revit.....	91
Figura 4.24 – Alçado Oeste, AutoCad.....	91
Figura 4.25 – Alçado Oeste, Revit .....	91
Figura 4.26 – Diferenças entre a obra real e o projeto de execução elaborado no <i>software</i> Revit .....	92
Figura 4.27 – Detecção de conflitos, Revit .....	93
Figura 4.28 – Interferências no modelo, Revit .....	94
Figura 4.29 – Exemplo de uma Interferência encontrada entre o murete e o pilar de fundação, Revit .....	94
Figura 4.30 – BIM 4D .....	95
Figura 4.31 – Exportação do modelo dos <i>softwares</i> Revit para o Navisworks.....	96
Figura 4.32 – Modelo 3D no <i>software</i> Navisworks.....	97
Figura 4.33 – Testes de interferências, Navisworks.....	98
Figura 4.34 – Comando <i>TimeLiner</i> , Navisworks .....	101
Figura 4.35 – Elaboração do diagrama de Gantt: introdução das tarefas e respetivas durações no comando <i>Timeliner</i> .....	102
Figura 4.36 – Ligação dos elementos do modelo a <i>Sets</i> criados de acordo com o programa de trabalhos do projeto .....	103
Figura 4.37 – Ligação entre as tarefas e os elementos do modelo, Navisworks .....	104
Figura 4.38 – Configurações do vídeo do faseamento do projeto, Navisworks.....	105
Figura 4.39 – Simulação 4D, Navisworks .....	106

Figura 4.40 – Evolução das atividades construtivas no dia 03.06.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra .....	107
Figura 4.41 – Evolução das atividades construtivas no dia 12.06.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra .....	107
Figura 4.42 – Evolução das atividades construtivas no dia 01.07.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra .....	107
Figura 4.43 - Evolução das atividades construtivas no dia 10.07.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra .....	108
Figura 4.44 - Evolução das atividades construtivas no dia 22.07.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra .....	108
Figura 4.45 – BIM 5D.....	109
Figura 4.46 – Propriedades do mapa de quantidades por material, criado no <i>software</i> Revit	111
Figura 4.47 – Diferença entre as quantidades de materiais segundo o método tradicional e a abordagem BIM 5D .....	114



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Níveis de Desenvolvimento (LOD) .....	14
Tabela 2.2 – Especificações metodológicas desenvolvidas pela buildingSMART .....	21
Tabela 2.3 – <i>Softwares</i> BIM segundo a sua tipologia .....	24
Tabela 2.4 – Alguns países com normas e diretrizes BIM (AIA, 2012) .....	32
Tabela 4.1 – Famílias e dimensões referentes às sapatas de fundação .....	82
Tabela 4.2 – Famílias e dimensões referentes aos pilares .....	83
Tabela 4.3 – Famílias e dimensões das vigas do modelo .....	84
Tabela 4.4 – Famílias, dimensões e constituição das lajes utilizadas no modelo.....	85
Tabela 4.5 – Famílias e dimensões das paredes utilizadas no modelo .....	86
Tabela 4.6 – Interferências encontradas no Revit e no Navisworks.....	99
Tabela 4.6 – Interferências encontradas no Revit e no Navisworks (continuação).....	100
Tabela 4.7 – Lista da quantidades de materiais e cofragens, calculadas pelo método tradicional .....	110
Tabela 4.8 – Lista de quantidades de materiais, criada no <i>software</i> Revit e exportada para Excel .....	112
Tabela 4.9 – Lista da quantidade de materiais e cofragens, retirada do modelo BIM .....	113
Tabela 4.10 – Comparação entre as quantidades de materiais obtidas pelo método tradicional e através do Revit .....	114
Tabela 4.11 – Estimativa de custos para cada uma das listas de quantidades .....	115

## **SIGLAS**

2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
4D	Integração do planeamento do tempo no modelo tridimensional
5D	Integração do controlo dos custos no modelo tridimensional
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
BCF	<i>BIM Collaboration Format</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CCP	Código dos Contratos Públicos
CPM	<i>Critical Path Method</i>
IDM	<i>Information Delivery Manuals</i>
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IFD	<i>International Framework for Dictionaries</i>
IPD	<i>Integrated Project Delivery</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LOD	<i>Level of Development</i>
MIC	Modelo de Informação para a Construção
MIE	Modelo de Informação do Edifício
MVD	<i>Model View Definition</i>
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

É vulgarmente reconhecida a crescente evolução que a indústria, no âmbito geral, tem experimentado nestas últimas décadas, como forma de aumentar a competitividade, melhorar o seu desempenho através da atualização das suas práticas, aumentar a satisfação do cliente e, ainda, os seus lucros (Ferreira, 2011).

Atualmente, a indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) está perante mudanças e desafios relevantes, podendo-se destacar o crescimento na partilha de informação, a necessidade da implementação apropriada de práticas sustentáveis, as preocupações energéticas globais, a melhoria da produtividade entre outras (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012). No entanto, comparativamente com outras indústrias como a aeroespacial e automóvel, a indústria da construção tem-se demonstrado economicamente ineficiente (Otero, 2014).

Com projetos cada vez mais complexos e exigentes quanto a custos e prazos de execução, torna-se imprescindível a colaboração eficiente entre os vários intervenientes no projeto, tais como: projetistas, proprietários, empreiteiros, subempreiteiros e outros participantes. Desta forma, as tecnologias de comunicação e informação (TIC) têm crescido exponencialmente nos últimos anos, tentando oferecer as ferramentas certas para satisfazer essas novas exigências (Bryde, Broquetas, & Volm, 2013).

O BIM, *Building Information Modeling*, é uma das tendências emergentes que vem introduzir novas metodologias no processo de controlo e gestão de toda a informação criada e desenvolvida, entre as diversas especialidades e intervenientes durante o ciclo de vida das construções, através da construção virtual do edifício num modelo digital.

As ferramentas BIM atualmente disponíveis permitem a automatização do desenvolvimento de peças desenhadas e escritas de projeto e a deteção de erros em projetos existentes, possibilitando a partilha da informação desenvolvida pelos autores de forma mais eficiente, evitando a necessidade de reintroduzir sucessivamente os mesmos dados.

Existe, no entanto, um conjunto de barreiras e limitações que estão a dificultar a implementação do BIM na prática profissional. A maioria das condicionantes são de natureza técnica e têm sido gradualmente ultrapassadas pelos produtores de *software*, pelos investigadores e pelas organizações. No entanto, são as questões centradas nas pessoas e nas organizações, as que colocam os maiores desafios à adoção do BIM, sendo a mudança de procedimentos e fluxos de comunicação, responsabilização e confiança, dificilmente alterável (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012).

Alguns estudos realizados em diferentes países revelam que apenas uma minoria dos técnicos do setor experimentaram já ferramentas BIM e que, entre estes, a larga maioria os utiliza apenas como ferramenta de desenho, tirando partido das suas funções de representação em 3 dimensões (Martins J. P., 2009). Vários autores defendem, ainda, que os verdadeiros benefícios da utilização das ferramentas BIM apenas se verificam quando estas são aplicadas à totalidade do projeto, durante todo o processo construtivo (Monteiro & Martins, Licenciamento automático de projetos: um incentivo à adoção de metodologias BIM, 2011)

Assim, o objetivo desta dissertação passa por conhecer os reais benefícios da utilização das ferramentas BIM aplicadas ao planeamento e controlo de custos em projetos de construção, referentes às dimensões BIM 4D e BIM 5D, respetivamente.

## 1.2. Objetivos

A construção de um edifício é, sem dúvida, uma tarefa complexa. As empresas capazes de gerir os grandes fluxos de informação, provenientes dos diferentes intervenientes, da forma mais eficiente, antecipando os erros e as incompatibilidades da obra, são também as empresas que possuem a maior probabilidade de entregar uma determinada obra dentro dos prazos e do orçamento previamente estabelecidos (Meireles, 2015).

A tecnologia BIM possibilita, desde uma fase muito inicial, a combinação dos modelos provenientes das diversas especialidades numa única base de dados e a verificação de interferências através de processos automatizados. Assim, os erros, omissões ou conflitos entre as diferentes especialidades são detetados virtualmente e, conseqüentemente, resolvidos antes mesmo de iniciar as fases de licenciamento e de construção, reduzindo os riscos de derrapagens orçamentais (Meireles, 2015).

Se, no que diz respeito ao BIM 3D, já foram dados passos importantes com vista à sua aplicação por parte dos diferentes intervenientes da indústria AEC, a utilização do BIM pelas empresas de construção para a preparação, planeamento e estudo do faseamento construtivo e planeamento e controlo financeiro, encontra-se ainda numa fase muito rudimentar. Desta forma, torna-se imprescindível um envolvimento e um esforço coletivos no sentido de impulsionar a adoção do BIM pelos empreiteiros para patamares de maturidade que lhes permita usufruir em pleno das vantagens do BIM.

O desenvolvimento desta dissertação surge, assim, da necessidade do estudo das funcionalidades do BIM no que se refere ao planeamento construtivo e estimativa de custos de projetos de construção, tentando ampliar a utilização desta metodologia para a totalidade do processo construtivo. O objetivo geral desta dissertação é ajudar a demonstrar a viabilidade e eficiência das ferramentas BIM referentes às dimensões BIM 4D (faseamento construtivo) e BIM 5D (estimativa de custos) por oposição aos métodos tradicionais. Através da aplicação a um caso prático, serão analisadas as potencialidades das ferramentas BIM e a interoperabilidade entre os diferentes *softwares*.

Para atingir os objetivos propostos, foram utilizados os *softwares* Revit 2016 e o Navisworks 2016 (ambos da Autodesk) e o Microsoft Excel 2013. O Revit foi utilizado para a criação do modelo BIM 3D bem como para a extração do mapa de quantidades. A análise do planeamento construtivo foi efetuada no Navisworks e, para a estimativa de custos, utilizou-se o Microsoft Excel como *software* de cálculo para onde foram exportadas as quantidades retiradas do Revit.

O trabalho a realizar visou gerar conhecimento que seja aplicável no futuro, já que a informação existente nesta temática é bastante diminuta, nomeadamente dar um contributo fundamentado relativamente à implementação das dimensões BIM 4D e BIM 5D num projeto de construção.

Uma vez que as ferramentas BIM estão em constante desenvolvimento, ambiciona-se também que o presente estudo possa ter aplicações futuras e sirva de suporte a novos desenvolvimentos, procurando aumentar a eficiência destas ferramentas e o interesse por parte dos utilizadores.

### 1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação engloba duas vertentes distintas e está organizada em cinco capítulos. A primeira vertente corresponde ao estudo teórico das potencialidades dos sistemas BIM 3D, BIM 4D e BIM 5D. A segunda vertente corresponde à aplicação prática dos conhecimentos teóricos a um caso de estudo.

Neste **primeiro** capítulo é feita uma pequena introdução ao tema em estudo, são definidas as motivações e os objetivos do trabalho a desenvolver e a sua organização estrutural.

No **segundo** capítulo apresenta-se um enquadramento geral do BIM, através da leitura e pesquisa bibliográficas. Corresponde à análise da informação existente, do conhecimento produzido por outros autores até ao momento, ou seja, corresponde à revisão do estado de arte.

O **terceiro** capítulo refere-se à descrição das diferentes dimensões BIM inerentes à gestão de projetos de construção, bem como as principais funcionalidades. Este capítulo é a base teórica da parte prática desenvolvida no capítulo seguinte.

No **quarto** capítulo apresenta-se o caso de estudo onde se tentou explorar, de modo prático, os principais conceitos e funcionalidades abordados no terceiro capítulo.

Finalmente, no **quinto** capítulo, são estabelecidas as conclusões retiradas da elaboração da presente dissertação, algumas considerações finais e sugestões para trabalhos futuros.





## 2. REVISÃO DO ESTADO DE ARTE

### 2.1. BIM - *Building Information Modeling*

#### 2.1.1. Origem

A origem do acrónimo BIM não é unânime segundo os vários autores. No entanto, a maioria afirma que foi inventado pelo Professor Charles M. Eastman, do Instituto de Tecnologia da Geórgia, uma vez que *Building Information Model* é praticamente o mesmo que *Building Product Model*, termo que o professor tem usado extensivamente nos seus livros e documentos desde finais dos anos 70 do século XX. Ainda assim, há quem diga que Eastman criou o conceito mas não o termo e considere que terá sido o arquiteto da Autodesk, Phil Bernstein, a usar pela primeira vez a sigla BIM para *Building Information Modeling*.

Posteriormente, Jerry Laiserin vulgarizou o termo através da sua utilização como um nome comum para a representação digital dos processos de construção de edifícios, característica de um pequeno conjunto de aplicações então disponíveis no mercado. Até então cada *software house* utilizava uma terminologia diferente, por exemplo, a Graphisoft utilizava a designação *Virtual Building*, a Bentley Systems, a designação *Integrated Project Models* e a Autodesk, a designação *Building Information Modeling*. De acordo com alguns autores a primeira implementação do BIM foi efetuada através do *Virtual Building* da aplicação ArchiCAD da Graphisoft em 1987 (Ferraz & Morais, 2012).



Figura 2.1 – Um exemplo histórico de colaboração na construção. Construção de um celeiro em Ohio (Fotografia de Ian Adams) (Kymmell, 2008)

### 2.1.2. Definição

A sigla BIM, do inglês *Building Information Model* ou *Building Information Modeling*, não tem tradução direta para português. No entanto, alguns autores traduzem o BIM como MIC (Modelo de Informação para a Construção) ou MIE (Modelo de Informação do Edifício) (Monteiro A. G., 2010).

Segundo uma das definições encontradas (Sinergia, 2012).

*“O BIM é um processo integrado que armazena e agiliza a troca de informação de projeto, de construção e exploração entre os vários intervenientes do ciclo de construção, criando modelos de elevado potencial para tomadas de decisão nas diversas fases de preparação, construção e manutenção de um empreendimento. Estes modelos de informação que representam todas as características físicas e funcionais do edifício permitem a visualização, simulação e análise numa fase bastante anterior à existência do edifício, criando uma nova dimensão: a virtual.”* (Figura 2.2).

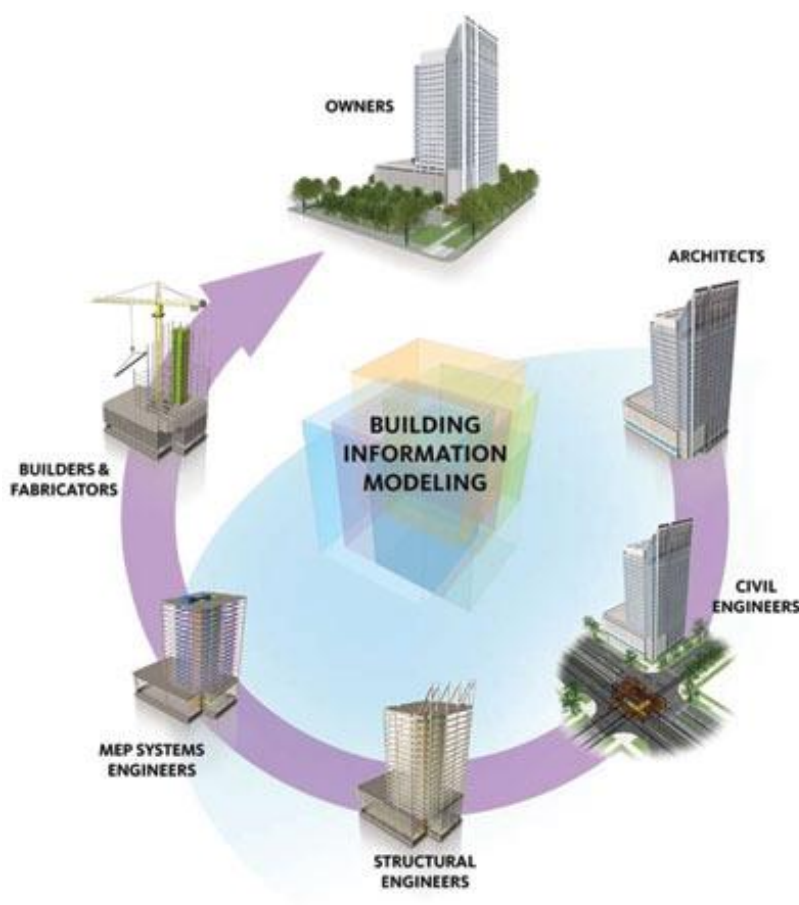


Figura 2.2 – O BIM associado a todos os intervenientes do ciclo de vida da construção

Os autores da segunda edição do livro '*BIM Handbook*', Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, (2011) afirmam que:

*“O BIM representa uma mudança de paradigma que trará bastante impacto e benefícios, não só para a indústria da construção como também para a sociedade em geral, pois melhores edifícios serão construídos que consumirão menos materiais e requererão menos recursos humanos e de capital, operando de forma mais eficiente.”*

Finith Jernigan afirma, ainda, que:

*“BIM is not a single building model or a single database”; “BIM is not a replacement for people”; “BIM is not perfect”; “BIM is not Revit (or ArchiCad, or Bentley)”; “BIM is not just 3D”; “BIM does not have to be 3D”; “BIM is not complete”.*

*“BIM is an information based system that builds long-term value innovation.”*

É frequente, para quem inicia um primeiro contacto com este conceito, confundi-lo com um *software*. O conceito teórico do BIM só é efetivamente aplicável quando é interpretado através de *softwares* que corporizam estas metodologias e as integram com os mais recentes desenvolvimentos na área das tecnologias de informação (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012). No entanto, o BIM não é um *software*, mas sim uma metodologia baseada em sistemas de informação (Silva, 2013).

De forma análoga, a designação BIM é, por vezes, erradamente utilizada para caracterizar modelos tridimensionais que não são mais do que linhas para a representação de um dado objeto. É provável que este equívoco resulte do aspeto gráfico das aplicações que recorrem a este tipo de tecnologia. Por vezes, esta nova geração de aplicações é mesmo incorretamente entendida como uma nova versão dos produtos CAD (Silva, 2013).

Num modelo BIM os edifícios são modelados através de objetos interligados por via de relações paramétricas. Para além da definição da geometria e dos materiais, os modelos BIM envolvem diversas especialidades durante todo o ciclo de vida do edifício. Geralmente, cada uma dessas especialidades utiliza as suas próprias ferramentas e procedimentos, de acordo com a sua forma particular de trabalhar. Desta forma, para que o fluxo de informação entre especialidades seja possível, é necessário existir interoperabilidade (Silva, 2013). Todos estes conceitos serão estudados nos capítulos subsequentes.

## 2.1.3. Conceitos

### 2.1.3.1. Modelação orientada por objetos

A metodologia BIM utiliza uma abordagem de modelação orientada por objetos. Esta abordagem surgiu da necessidade de criar um modelo central representativo dos processos construtivos, abandonando a simples representação de elementos através de linhas, formas e texto. Este método consiste na programação de estruturas de dados, ou seja, na definição de objetos, numa organização idêntica à forma como os objetos reais interagem. (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011)

Na grande maioria das ferramentas BIM, a modelação do edifício é feita através da associação dos elementos construtivos tanto em 2D como em 3D. Para cada elemento construtivo, por exemplo uma parede, é possível definir, não só os parâmetros geométricos como a espessura, a altura e o comprimento, como também os materiais constituintes da parede, as suas propriedades térmicas e acústicas, os custos de cada material, os custos de construção, entre outros. Além disso, a maioria das ferramentas BIM permite ao utilizador a introdução de parâmetros ao seu critério (Sousa, Martins, & Monteiro, 2011). Resumidamente, a modelação de uma parede é feita através das suas propriedades e não apenas com meras linhas que a definem (Figura 2.3).

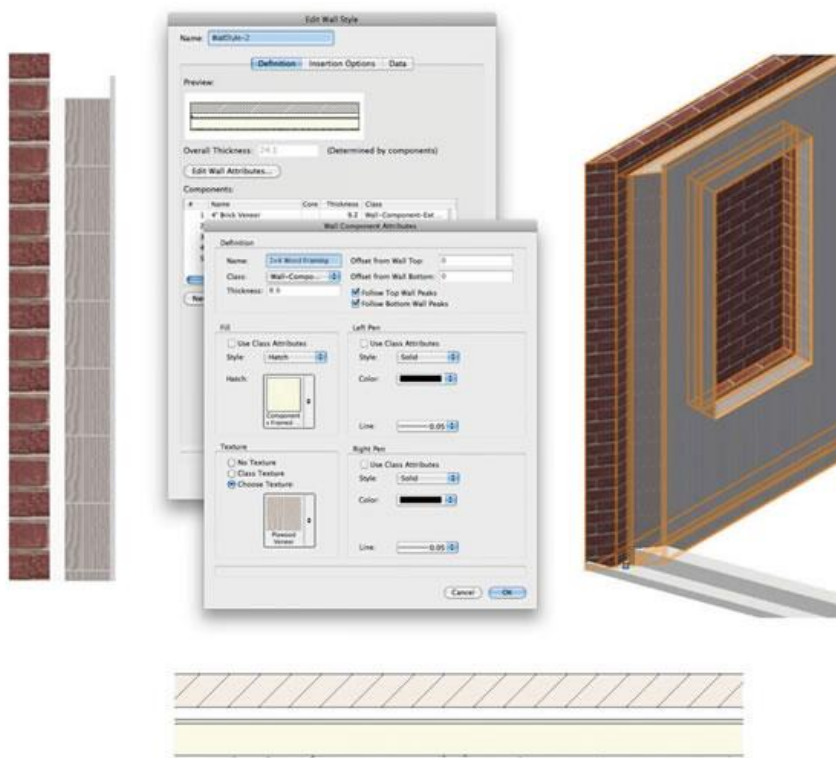


Figura 2.3 – Exemplo de modelação orientada por objetos

### 2.1.3.2. Relações Paramétricas

Na metodologia BIM, a informação encontra-se interligada através de relações paramétricas (Figura 2.4), ou seja, a cada elemento que constitui o modelo são atribuídas relações de vizinhança, através de parâmetros que definem constrangimentos e implicações associados aos objetos, estabelecendo ligações que definem o modo de interação dos elementos entre si e com o modelo global (Sousa, Martins, & Monteiro, 2011).

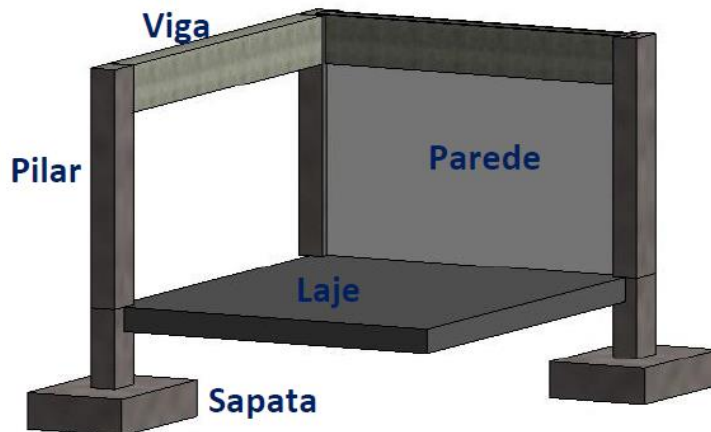


Figura 2.4 – Relações paramétricas entre elementos

O resultado desta metodologia baseada em relações paramétricas é um modelo "inteligente" que adapta automaticamente todos os objetos do modelo quando se dá valores a parâmetros de apenas um dos objetos (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011). Desta forma, as alterações introduzidas em determinado elemento são processadas nos restantes elementos do modelo, evitando a propagação de erros e dinamizando os processos de atualização. Além disso, as relações paramétricas entre os objetos permitem a automatização da produção de peças, na medida em que, quando um elemento é alterado numa das vistas, essa alteração propaga-se nas restantes vistas (Figura 2.5).



Figura 2.5 – Exemplo de produção de vistas automáticas

### 2.1.3.3. Ciclo de vida

O modelo BIM foi desenvolvido com vista a incluir todo o ciclo de vida de um edifício, desde a primeira conceção até à sua demolição. A utilização da metodologia BIM ultrapassa a fase de planeamento e conceção do projeto, estendendo-se ao estudo de gestão de custos e construção e exploração das instalações (Figura 2.6) (Ferraz & Morais, 2012).

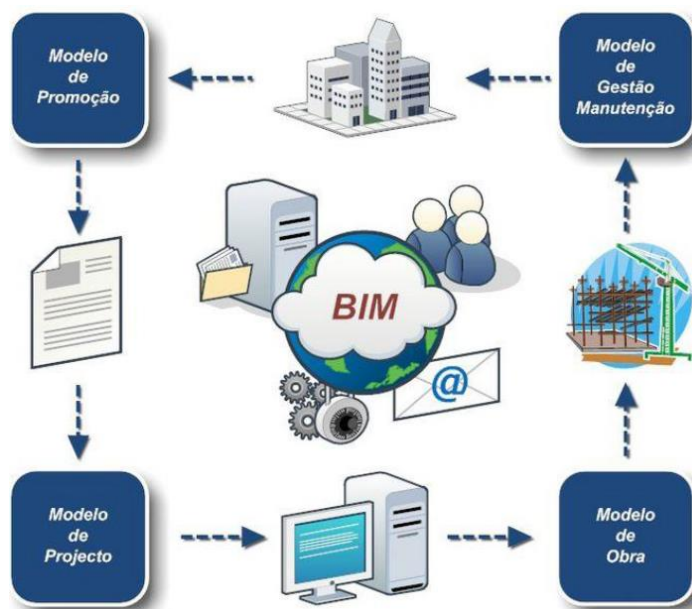


Figura 2.6 – Aplicação de ferramentas BIM ao ciclo de vida da construção (retirado de (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011))

As exigências de modelação para cada fase da obra variam, na medida em que os BIM fornecem diferentes funcionalidades para os modelos consoante as fases. Na fase de promoção do projeto, o modelo BIM permite ao utilizador aferir quanto à viabilidade do projeto e usufruir das capacidades de produção de *renderings* para fins promocionais, sendo apenas necessária uma versão pouco detalhada do modelo. A fase de conceção corresponde à fase de maior utilização dos modelos BIM, onde o modelo é detalhado ao pormenor. Desta forma, as funcionalidades BIM permitem testar novas soluções relativamente ao planeamento de projetos, na produção documental e na criação de *renderings*. O modelo de obra, já bastante pormenorizado, permite a deteção de erros e omissões dos modelos das várias especialidades, a coordenação de projetos, a estimativa de custos, o planeamento e gestão de obra. Por último, na fase de utilização, toda a informação recolhida durante a construção pode ser agrupada num modelo, servindo de apoio à gestão e manutenção do edifício (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011).

#### **2.1.3.4. LOD – *Level of Development***

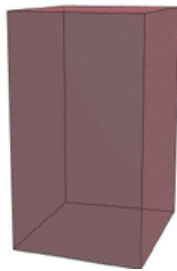
De acordo com Henriques (2012), “O que se pode retirar de um modelo BIM é baseado inteiramente naquilo que nele se introduziu.”. Assim, no caso da informação introduzida no modelo BIM não conter o nível de detalhe necessário, estando incompleta ou mesmo omissa, a análise do modelo não será bem-sucedida.

Daqui surge o conceito de nível de desenvolvimento (*Level of Development – LOD*). O LOD consiste numa referência que permite aos profissionais da indústria da AEC especificarem e articularem, com um alto nível de clareza e fiabilidade, os conteúdos inseridos nos modelos BIM durante as várias fases dos processos de conceção e construção (Reinhardt & Bedrick, 2013). Assim, a incorporação dos níveis de desenvolvimento constitui um elemento chave para classificar os requisitos mínimos de modelação exigidos para desenvolver cada utilização BIM. Além disso, a utilização desta especificação permite a definição das limitações e usabilidade dos modelos dos vários intervenientes do projeto, bem como das exigências para o desenvolvimento de determinadas funcionalidades BIM, utilizando modelos que não são da sua autoria (Caires, Lino, Azenha, & Lacerda, 2014).

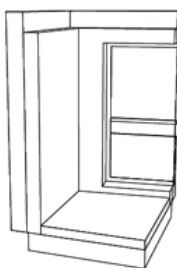
As especificações LOD utilizam as definições básicas dos níveis de desenvolvimento (LOD) desenvolvidas pelo *American Institute of Architects (AIA)* no protocolo *G202-2013 Building Information Modeling Protocol Form* organizadas segundo o *CSI Unifomat 20102*. Neste documento estão definidos 5 LODs (100, 200, 300, 400 e 500) que são frequentemente associados às fases de um projeto de construção. Na Tabela 2.1, descrevem-se os 5 LODs referidos.



Tabela 2.1 – Níveis de Desenvolvimento (LOD)

LOD 100 – Modelo Conceptual (*Conceptual*)

O LOD inicial, LOD 100, refere-se à simples ideia conceptual do modelo, contemplando o tamanho do projeto e a sua forma global. Este nível é basicamente um estudo geral da volumetria espacial do projeto que permite a determinação de parâmetros como a área, altura, volume, localização e orientação, com a finalidade de estudar a viabilidade e estimativa de custos gerais.

LOD 200 – Modelo de geometria aproximada (*Approximate Geometry*)

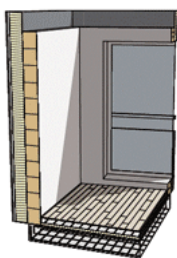
No LOD 200 o modelo é um pouco mais desenvolvido. Este pode incluir elementos que permitam uma análise básica do sistema estrutural, estimativa de custos através dos elementos não geométricos e, ainda, um planeamento construtivo. Assim, um modelo com este nível de desenvolvimento pode servir para analisar várias soluções construtivas possíveis.

Ainda assim, neste nível os elementos podem não especificar exatamente quais os materiais que os constituem e, no caso de elementos como portas e janelas, podem ainda ser meras aberturas.

LOD 300 – Modelo de geometria mais precisa (*Precise Geometry*)

O LOD 300 acrescenta ao LOD 200 informação mais específica acerca das quantidades, tamanho, forma, localização e orientação.

Neste nível, a geometria deve estar perfeitamente definida, permitindo a preparação dos documentos tradicionais da construção ao nível do projeto de execução. Este modelo pode ser usado para criar modelos analíticos para o projeto de estruturas, podendo também ser usado como base para a preparação de desenhos para fornecedores, para a compilação de mapas de trabalhos e quantidades e estimativa de custos para a construção (Silva, 2013).

LOD 400 – Modelo de fabrico (*Fabrication*)

Tal como no nível anterior, os elementos são precisos em termos de quantidades, dimensões, formas, localização e orientação.

No entanto, neste nível a informação contida nos elementos do modelo deve ser mais detalhada, devendo incluir pormenores relacionados com o seu projeto, montagem e fabricação, bem como outras informações que permitam análises precisas e estimativas de custos rigorosas. (Henriques, 2012).

LOD 500 – Telas Finais (*As-built*)

O LOD 500 pode ser considerado como uma representação digital *asbuilt* da construção. Neste nível de desenvolvimento, todos os elementos e sistemas são modelados de acordo com a construção e precisos em todos os detalhes. Este nível é adequado para operações de utilização e manutenção, para além de ser utilizado quando se pretende realizar *renderings* de alta qualidade. Raramente se atinge este LOD, visto que pode reduzir o desempenho do *software* utilizado.



### 2.1.3.5. Interoperabilidade

Contrariamente ao processo de construção tradicional, onde são vários os canais de comunicação entre os diversos intervenientes, a metodologia BIM permite centrar um volume significativo de informação referente ao ciclo de vida do edifício, num único modelo (Figura 2.7). A partilha deste modelo com os diversos intervenientes permite-lhes trabalhar através da mesma plataforma, minimizando, assim, os erros e omissões provenientes de falhas na interpretação e tradução da informação. No entanto, esta partilha de modelos BIM está condicionada pela (falta de) interoperabilidade dos seus sistemas (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011).

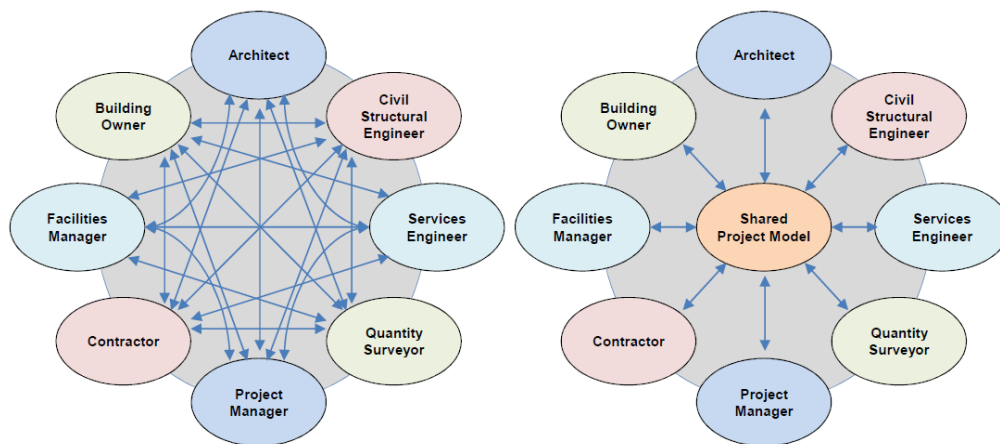


Figura 2.7 – Troca de informação entre os vários Intervenientes

Pode definir-se interoperabilidade como a capacidade de implementar e gerir relações colaborativas entre membros de um projeto (Parreira & Cachadinha, 2012). Em termos de *software*, o termo interoperabilidade é utilizado para descrever a capacidade de diferentes programas trocarem dados entre si adequadamente (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011). Assim, a interoperabilidade possibilita a elaboração de um modelo num *software* e exportar esse modelo para outro, para uso de diferentes funcionalidades sem a ocorrência de erros (Belk), eliminando a necessidade de copiar manualmente informação já gerada.

Segundo o relatório do McGraw Hill SmartMarket 2007, a falta de interoperabilidade entre diferentes ferramentas leva a custos elevados para a indústria. Esse relatório indica que, em média, cerca de 3,1% dos custos da empreitada referem-se à falta de interoperabilidade entre os *softwares* (Silva, 2013). Um outro estudo de 2004, elaborado para o *National Institute of Standards and Technology* calcula que o custo da interoperabilidade inadequada na indústria

ascendeu nesse ano aos 13.000.000.000 €, nos Estados Unidos (Taborda & Cachadinha, 2012). A falta de interoperabilidade pode estar relacionada com a diferença nos formatos, nos protocolos, nas rotinas ou, ainda, com a diferente linguagem de programação. (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011).

Muitos fornecedores de *softwares* temem a interoperabilidade, vendo-a como um risco por esta permitir que os utilizadores migrem facilmente para um sistema concorrente (Belk). Atualmente, ainda não é possível identificar uma preferência clara dos utilizadores a nível de aplicação BIM, logo, os problemas de interoperabilidade subsistem.

Nos últimos tempos, várias iniciativas surgiram para responder aos problemas de interoperabilidade, sobretudo através da criação de formatos universais para classificação e organização dos elementos da construção. Contudo, e no que à interoperabilidade diz respeito, um formato, mais do que todos os outros, tem sobressaído consideravelmente – o modelo IFC (Sousa, Martins, & Monteiro, 2011).

### ***Industry Foundation Classes (IFC)***

O IFC, *Industry Foundation Classes*, é um formato neutro e aberto de armazenamento de dados desenvolvido pela buildingSMART, que permite a troca de informação entre diferentes *softwares* utilizados pelos vários intervenientes de um projeto. O formato IFC é registado pela ISO como ISO/PAS16739 e está em processo de se tornar um formato internacional ISO/IS16739:2013 (Barbosa, 2014).

A primeira normalização do formato IFC foi lançada em 1997 e, desde então, tem sido alvo de sucessivas melhorias com o lançamento de várias versões (Figura 2.8). A versão mais recente do modelo de dados da buildingSMART foi lançada em março de 2013 e é designada por IFC4 (Barbosa, 2014).

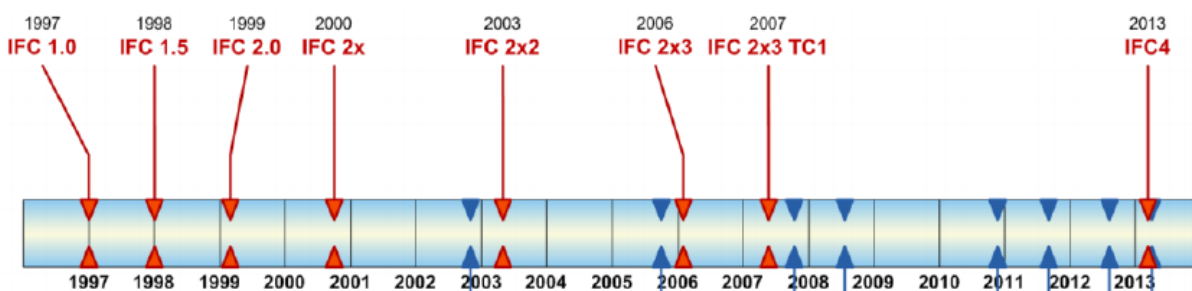
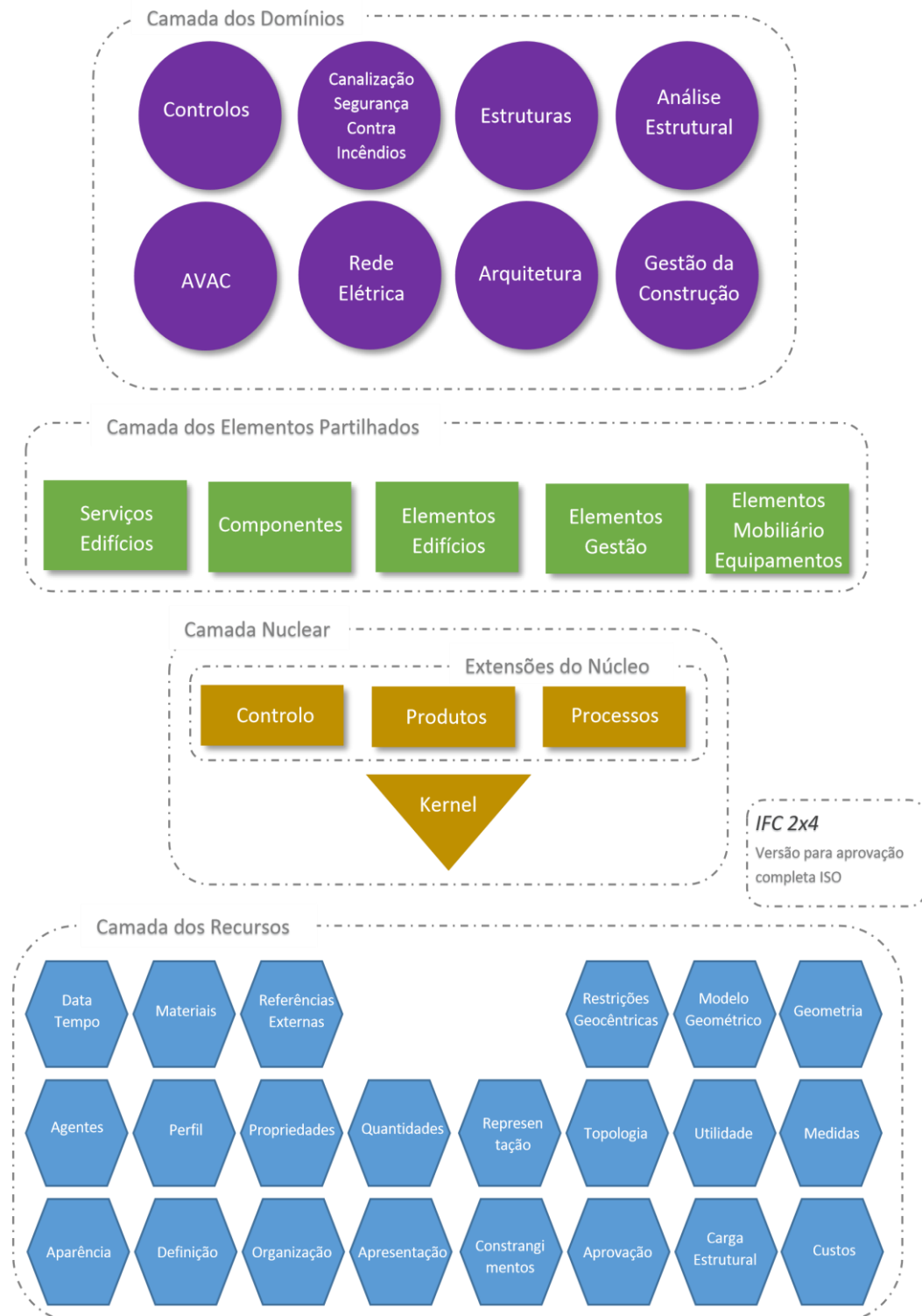


Figura 2.8 – Histórico de versões do formato IFC

O modelo IFC é estruturado hierarquicamente por vários módulos. Cada módulo agrupa diversas entidades onde são definidos conceitos. As entidades dos módulos superiores, de cariz mais específico, referenciam uma ou mais entidades dos módulos inferiores mais genéricos (Figura 2.9). As entidades IFC definem objetos, relações e propriedades (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011).



**Figura 2.9 – Estrutura da base de dados do modelo IFC, versão 2x4 (adaptado de Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011)**

Visto o modelo ser omissivo em relação a elementos de carácter específico, o formato IFC não é suficiente para eliminar todos os problemas de interoperabilidade. Com elementos cada vez mais completos, incluindo várias especialidades da construção, são criadas muitas entidades de nível pouco específico. Entrar ao pormenor em cada uma das frentes, significa aumentar exponencialmente o número de elementos do modelo, sem garantias que continue a ser suficiente. Na verdade, a compatibilidade dos elementos depende mais dos produtores de *software* BIM do que da equipa encarregue do desenvolvimento e manutenção do modelo IFC (Monteiro & Martins, Licenciamento automático de projetos: um incentivo à adopção de metodologias BIM, 2011).

O modelo IFC, em constante atualização, é apoiado por outros produtos disponibilizados pela buildingSMART (Figura 2.10), podendo-se destacar: *Information Delivery Manuals* – IDM; *International Framework for Dictionaries* – IFD; e *Model View Definitions* – MVD, definidos aquando da criação dos IDM (Pedroto & Martins, 2012).

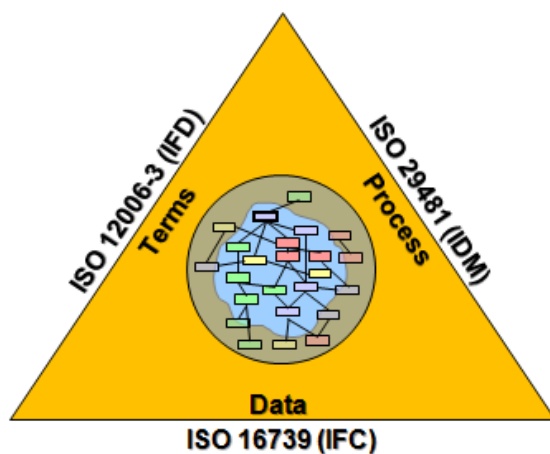


Figura 2.10 – buildingSMART: Triângulo padrão

### ***Information Delivery Manuals – IDM***

O IDM, *Information Delivery Manual*, é uma norma de processos especificados quando certo tipo de informação é necessário durante a construção de um projeto ou na gestão de um ativo construído. Esta norma fornece uma especificação detalhada da informação que o utilizador (arquiteto, engenheiro, etc.) precisa de fornecer, agrupando as informações necessárias em atividades associadas: estimativa de custos, quantidade de materiais e planeamento de tarefas (Barbosa, 2014).

Assim, os IDM permitem melhorar os projetos de construção, através de uma análise objetiva. Dentro dos projetos de construção é possível definir quais os procedimentos de trabalho que são executados pelos diferentes intervenientes, bem como o seu grau de importância. Além disso, os IDM permitem que a equipa responsável pela implementação de um sistema informático consiga obter *know-how* associado a que fluxos de informação são necessários implementar e quais as trocas de dados a desenvolver (Pedroto & Martins, 2012).

### ***International Framework for Dictionaries – IFD***

O IFD, *International Framework for Dictionaries*, é uma definição de terminologias para evitar ambiguidades e incompatibilidades de designação em todo o processo de interoperabilidade (Barbosa, 2014). Simplificadamente, o IFD pode definir-se como uma norma para uma base de dados terminológica. O conceito para a biblioteca IFD surge das normas internacionalmente reconhecidas e abertas que foram desenvolvidas pela ISO, sendo a mais importante a ISO12006-3:2007 (Barbosa, 2014).

Este conceito torna-se crucial na elaboração de projetos internacionais. O IFD disponibiliza o dicionário e a definição de conceitos, permitindo a comunicação necessária entre todos os participantes no projeto, mesmo que estes sejam de nacionalidades distintas. Sendo a especificação IFC responsável por descrever os objetos, a forma como eles estão interligados e como a informação deve ser trocada e armazenada, o IFD descreve unicamente o que são os objetos, quais os seus componentes, propriedades, unidades e valores (Barbosa, 2014).

## Model View Definition – MVD

Os *Model View Definition* (MVD) foram lançados pela buildingSMART como mais um mecanismo para certificar a implementação e o desenvolvimento de *software* compatível com o formato IFC. Esta certificação deve ter em conta o esquema associado a um IDM específico (Figura 2.11).

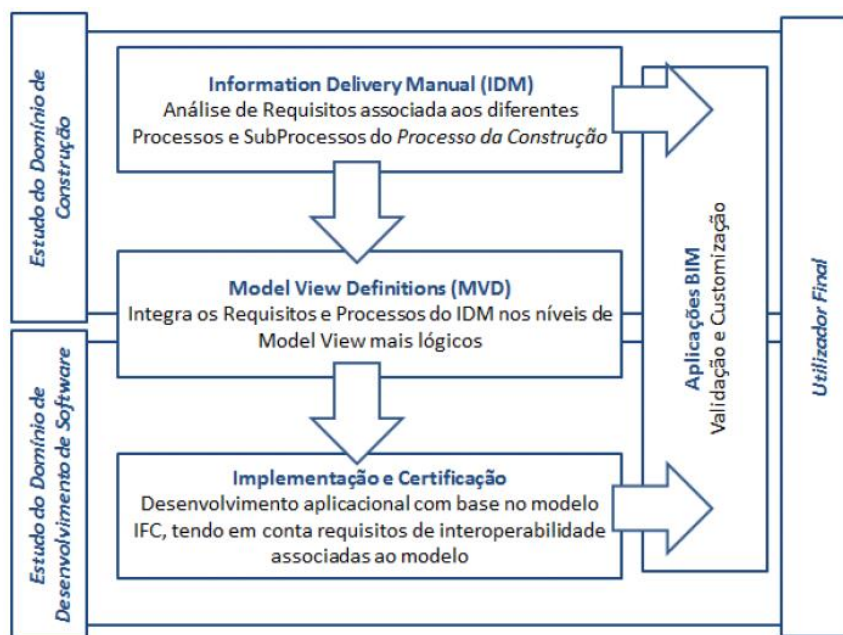


Figura 2.11 – Interligação entre MVD e IDM (Pedroto & Martins, 2012)

Um MVD é constituído pelos seguintes parâmetros:

- **Formato** – refere-se ao tipo de dados que normalmente são capturados pelos sistemas de informação e como esses dados são organizados;
- **Conteúdo** – refere-se ao tipo de informação que deve ser associada a um determinado caso de utilização;
- **Processo** – diz respeito aos perfis e responsabilidades das diferentes partes envolvidas. Nesta secção está compreendida informação sobre como um MVD se torna oficial e sobre como é estruturado o processo de certificação;
- **Ferramentas** – aqui estão incluídas as ferramentas que são utilizadas para criar conteúdo. Um exemplo deste tipo de ferramenta é o Visio que permite a criação de diagramas dos mais diversos tipos e que faz parte do conteúdo oficial do Microsoft Office.

Os MVD focam assim o nível técnico mais baixo e são baseados em conceitos como entidades, atributos, *property* e *quantity sets* para projetar o nível de informação necessário para uma determinada atividade ou processo (Pedroto & Martins, 2012).

### ***BIM Collaboration Format – BCF***

O BCF (*BIM Collaboration Format*) é uma especificação em fase de experimentação, destinada a apoiar os fluxos de comunicação entre os vários intervenientes e as diversas aplicações de *software*.

O BCF funciona como uma base de dados do histórico de problemas identificados de um projeto sem que seja necessário o armazenamento dos seus elementos (Otero, 2014). No procedimento BCF é possível armazenar *screenshots*, comentários e estados relacionados com os problemas identificados num projeto na própria estrutura de dados dos modelos digitais, permitindo às equipas de projeto aceder a todas as comunicações desenvolvidas durante a execução do projeto, evitando falhas de comunicação e/ou perda de informação (Caires, Lino, Azenha, & Lacerda, 2014).

Na Tabela 2.2 são apresentadas, resumidamente, todas as especificações desenvolvidas pela buildingSMART, bem como as suas funções e normas associadas.

**Tabela 2.2 – Especificações metodológicas desenvolvidas pela buildingSMART**

<b>Sigla</b>	<b>Nome</b>	<b>Função</b>	<b>Norma</b>
<b>IDM</b>	<b><i>Information Delivery Manual</i></b>	Analisa os requisitos associados a diferentes processos e subprocessos do processo da construção.	ISO 29481-1 ISO 29481-2
<b>IFC</b>	<b><i>Industry Foundation Class</i></b>	Transfere informação / dados.	ISO 16739
<b>BCF</b>	<b><i>BIM Collaboration Format</i></b>	Apoia a troca de informação entre os vários intervenientes e aplicações de <i>software</i> .	buildingSMART BCF
<b>IFD</b>	<b><i>International Framework for Dictionaries</i></b>	Define terminologias para evitar ambiguidades e incompatibilidades.	ISO 12006-3 buildingSMART Data Dictionary
<b>MVD</b>	<b><i>Model View Definitions</i></b>	Integra os requisitos e processos IDM, todo em conta requisitos de interoperabilidade associados ao modelo.	buildingSMART MVD

#### 2.1.4. Dimensões

A estratégia BIM permite transcender as clássicas 3 dimensões do espaço euclidiano. Após a conceção do modelo tridimensional (3D), a partir do qual se obtêm, automaticamente, todos os desenhos bidimensionais (2D) pretendidos, poderão adicionar-se ao modelo “n” dimensões (Figura 2.12).

De um modo geral é aceite a designação de 4D, quando o modelo BIM aborda também o planeamento construtivo (tempo), de 5D, quando a isso se aliam as estimativas de custos e de 6D quando se acrescentam as informações relativas à gestão da operação dos equipamentos já em funcionamento (Ribeiro, Lino, Azenha, Carvalho, & Barbosa, 2014). Com o desenvolvimento do processo surgirão certamente modelos nD, englobando os mais diversos tipos de informação, como por exemplo, cadernos de encargos, fotografias, registo de operações de manutenção, reabilitação ou reforço (Ferraz & Morais, 2012).

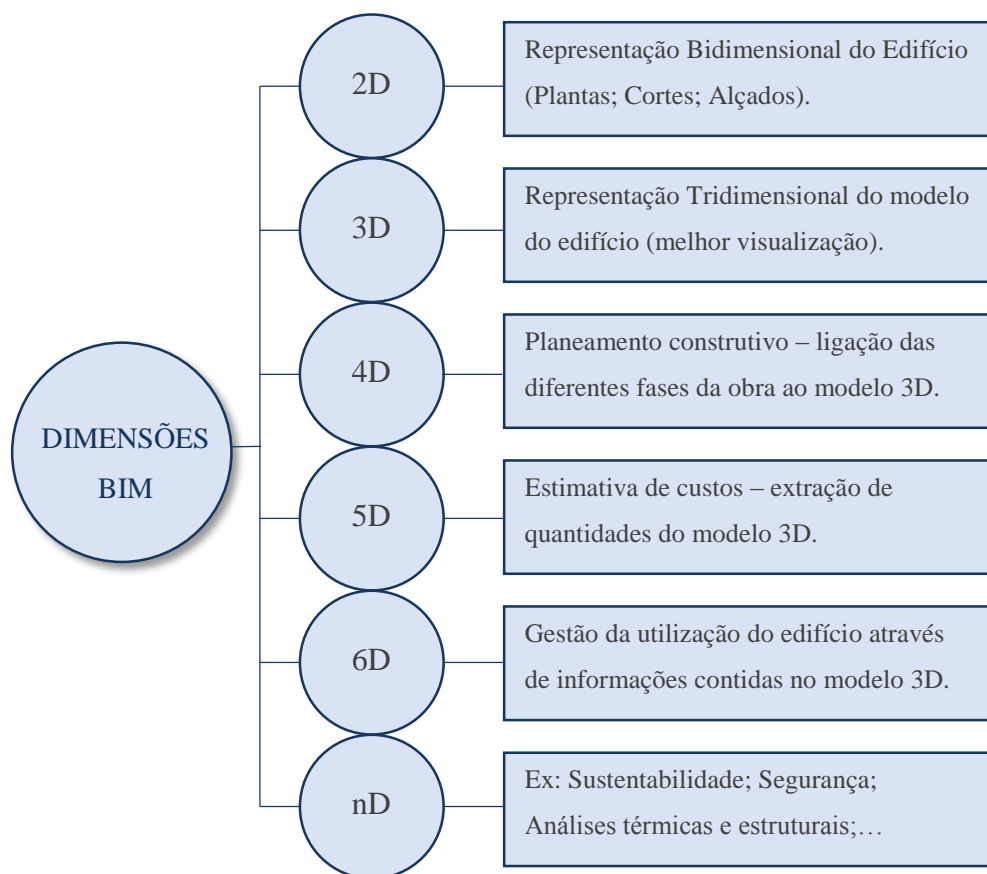


Figura 2.12 – Dimensões BIM (adaptado de Sá (2014))



### 2.1.5. Softwares Disponíveis

Existe, atualmente, uma vasta oferta de *softwares* e aplicações destinados ao desenvolvimento de modelos BIM. Os fornecedores de *softwares* para o setor da construção pretendem aumentar a eficácia e produtividade das ferramentas que apoiam o desenvolvimento de projetos de construção, procurando, assim, desenvolver produtos relacionados com o conceito BIM.

Dos vários *softwares* BIM existentes no mercado, pode-se destacar, pela sua popularidade e implementação no estrangeiro, o Revit, o Archicad, o Bentley, o Allplan e o Teckla. Para além dos *softwares* mencionados que visam o desenvolvimento geral de projetos de construção utilizando modelos BIM, existem outros que entram na mesma linha de interoperabilidade, mas que apenas se dedicam a acompanhar uma determinada fase do ciclo de vida do edifício, especializando-se na execução de medições, planeamento e controlo de custos (VicoSoftware), análise energética (Ecotec, Green Building Studio), visualização/verificação (Solibri), entre outros (Antunes, 2013).

Um estudo de 2007, realizado pela AECbytes – revista responsável pela revisão de *software* com aplicabilidade na indústria da construção – revela a percentagem de utilização dos diferentes *softwares* BIM comerciais (Antunes, 2013). Os resultados estão resumidos na Figura 2.13.

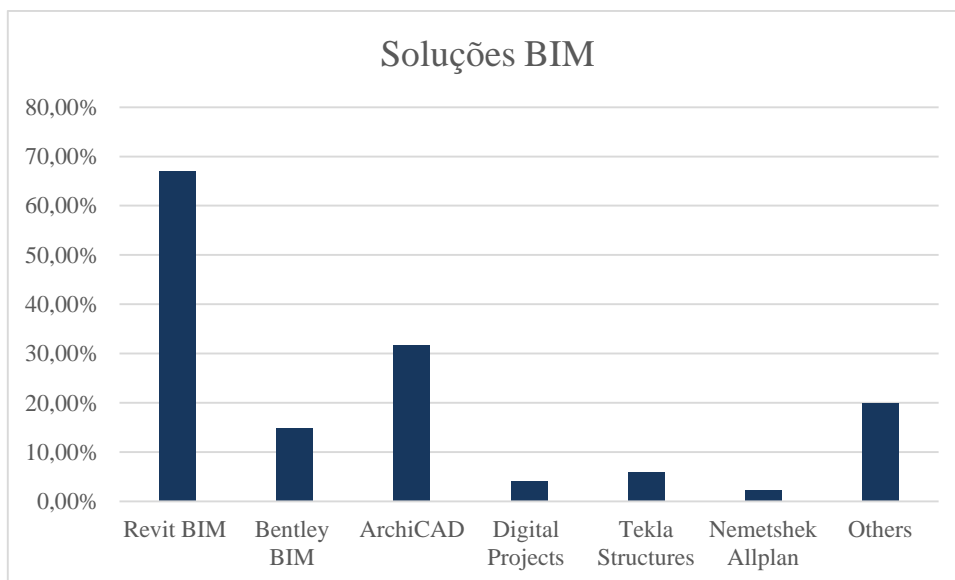


























Figura 2.13 – Resultados da sondagem elaborada pela AECbytes relativa à utilização dos diferentes *softwares* BIM

É importante referir que ainda não existe no mercado um *software* que abarque todas as funcionalidades e todas as especialidades envolvidas no ciclo de vida de um projeto. Deste modo, cabe ao utilizador escolher quais as ferramentas que melhor se adequam às suas necessidades, uma vez que os diversos *softwares* encontrados possuem funcionalidades que se complementam, aplicáveis a cada fase do desenvolvimento de um projeto (Pissarra, 2010).

Realça-se ainda que existe um número significativo de empresas que desenvolvem componentes (*add-ons*), associados aos principais *softwares*, que estendem as potencialidades dos mesmos ou facilitam a troca de informação com outros *softwares* do âmbito da engenharia civil como, por exemplo, com o Microsoft Project, frequentemente utilizado no planeamento (Pissarra, 2010).

Atualmente, existem *softwares* BIM para os mais diversos setores/ áreas da construção. Na Tabela 2.3 estão apresentadas algumas plataformas de *softwares* BIM, de acordo com a sua tipologia:

Tabela 2.3 – *Softwares* BIM segundo a sua tipologia

Arquitetura		Estruturas	
ArchiCad	 GRAPHISOFT Virtual Building Solutions	Tekla Structures	 TEKLA
Revit Architecture	 AUTODESK	Revit Structure	 AUTODESK
Bentley Architecture	 Bentley Sustaining Infrastructure	Bentley Structural	 Bentley Sustaining Infrastructure
DDS-CAD Architecture	 DDS-CAD	CAD/TQS	 TQS
Allplan Architecture	 NEMETSCHKE Allplan	Allplan Engineering	 NEMETSCHKE Allplan
Vectorworks Architect	 NEMETSCHKE Vectorworks	CypeCAD	 cype
Gehry Digital Project	 Gehry Technologies	Tricalc	 Arktec
Planeamento		Gestão de Projetos	
AutoCAD Civil 3D	 AUTODESK	DDS-CAD Building	 DDS-CAD
Bentley PowerCivil	 Bentley Sustaining Infrastructure	Navisworks	 AUTODESK
Gestão e Orçamentação de Projetos		Synchro	 SYNCHRO SOLUÇÃO FISCAL BRASIL
MS Project	 Microsoft Office	Solibri Model Checker	 SOLIBRI
Vico Office	 VICO SOFTWARE	Vico Office	 VICO SOFTWARE
Allplan BCM	 NEMETSCHKE Allplan		

## 2.2. Implementação do BIM

A adoção do BIM no setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem evoluído sucessivamente desde a introdução do termo em 2002. Algumas empresas de maior dimensão já implementaram esta metodologia nos seus projetos e este termo começa a fazer parte do léxico utilizado pela indústria com mais frequência.

O BIM é considerado o tema central das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) no setor da construção, apesar de todos os entraves inerentes à sua implementação. Na maioria dos casos, o BIM é utilizado na deteção automática de erros de projeto; estimativa de custos; conceção de modelos arquitetónicos e construtivos; coordenação das várias fases do projeto; gestão de edifícios com o auxílio de sensores para a deteção de irregularidades; *Procurement* e sistemas de licitação integrada para modeladores paramétricos (Sá, 2014).

### 2.2.1. Vantagens

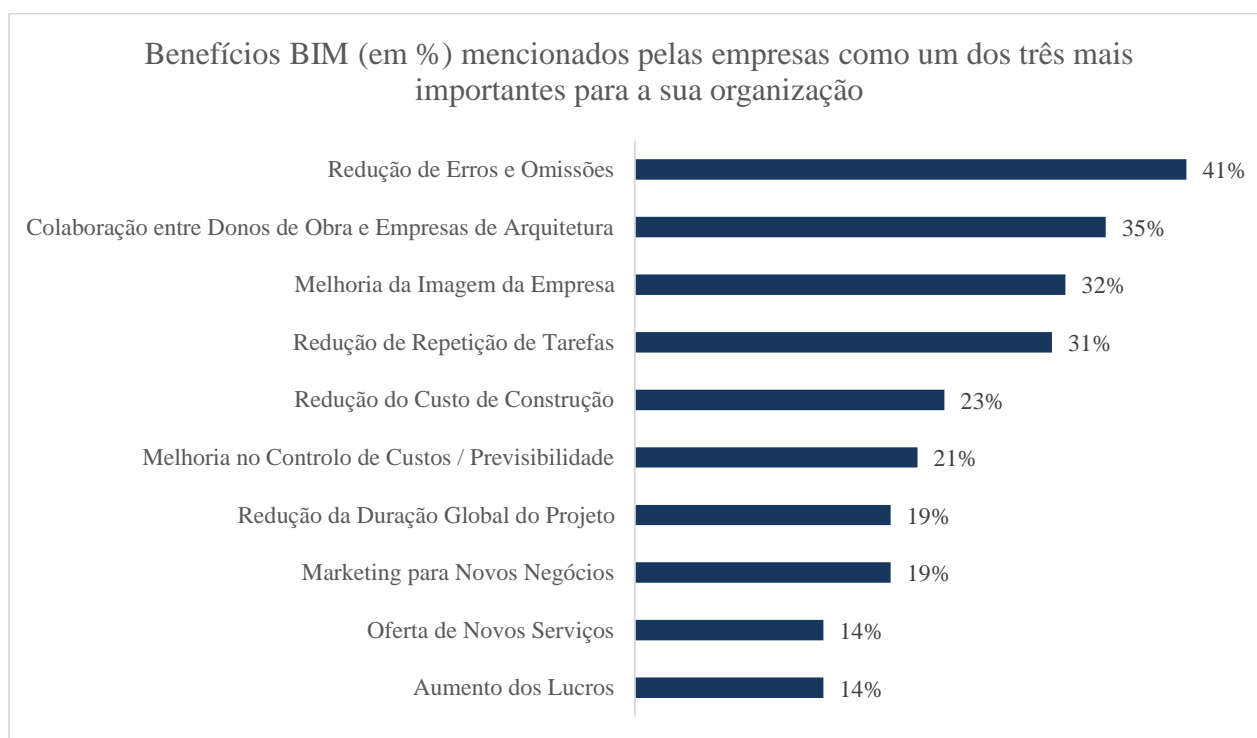
Sendo a tecnologia BIM de tal forma promissora, pode-se afirmar que todos os esforços no sentido de melhorar a gestão da informação devem ser enquadrados num modelo de informação (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011).

A maioria das ferramentas BIM oferece um conjunto de benefícios de utilização imediatos, que resultam em projetos mais detalhados; na redução de erros, omissões e interferências do projeto; na produção de informação mais automatizada e fiável e numa otimização geral dos custos e prazos na execução de tarefas (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011).

As vantagens inerentes à adoção do BIM podem, de um modo simplificado, ser agrupadas de acordo com os principais intervenientes. Relativamente aos projetistas, podem elencar-se a propagação imediata de alterações no projeto, a facilidade do estudo de alternativas, a identificação atempada e resolução de incompatibilidades de planeamento e de construção, a maior precisão das medições e estimativas orçamentais devido à extração automática de mapas de quantidades, a simplificação do processo de entrega de documentos e a redução das ordens de alteração. No que diz respeito aos construtores, pode verificar-se a melhoria da análise da viabilidade construtiva, a deteção atempada de incompatibilidades e o contributo para a resolução de conflitos, a análise da sequência de construção e planeamento, a identificação exaustiva de erros e omissões na revisão e coordenação dos projetos e o apoio à compreensão do projeto através da sua visualização. Em relação aos donos de obra, a utilização de

ferramentas BIM permite-lhes suportar virtualmente diferentes cenários de projeto, reduzir prazos mesmo com maior número de processos simultâneos, manter a representação digital das características físicas e funcionais do edifício, permite manter um histórico de informação para avaliação de tendências e análises de custo para a gestão financeira e garantir um modelo disponível para todas as operações ao longo do ciclo de vida, nomeadamente para a manutenção (Ribeiro, Lino, Azenha, Carvalho, & Barbosa, 2014).

No gráfico representado na Figura 2.14, relativo a uma pesquisa levada a cabo pela McGraw Hill Construction em 2013, é apresentada uma lista de benefícios relativos à implementação do BIM, referidos pelas empresas envolvidas no estudo como fazendo parte de um conjunto dos três mais importantes para a sua organização (Sá, 2014).



**Figura 2.14 – Benefícios BIM (em percentagem) mencionados pelas empresas como um dos três mais importantes para a sua organização (adaptado de McGraw Hill Construction, 2014)**

Analisando o gráfico anterior constata-se que, do conjunto dos benefícios apresentados, os benefícios inerentes à introdução do BIM, mais valorizados pelas empresas, são a redução de erros, a maior colaboração entre os intervenientes, nomeadamente entre os Donos de Obra e os Arquitetos, a melhoria da imagem da empresa e a redução da repetição de tarefas.

De um modo geral, o BIM proporciona uma otimização de todo o processo construtivo, aumentando a sua produtividade. Segundo alguns estudos, os benefícios sentidos em projeto são mais de ordem funcional, o que se traduz numa maior qualidade e rapidez, enquanto na fase

de execução, os benefícios se traduzem em ganhos concretos com a redução de prazos e custos. Dados todos estes benefícios, a metodologia BIM tem sido promovida como uma alternativa eficaz na redução do desperdício e aumento da eficiência nas empresas de construção.

No entanto, e como em qualquer tecnologia, o BIM apenas beneficiará os intervenientes se for corretamente implementado, sendo que a utilização de ferramentas BIM não é suficiente para alcançar o sucesso. Isto resulta de várias condicionantes que influenciam os processos construtivos, como a sua duração, o seu desenvolvimento, a procura de recursos e a estabilidade financeira (Sá, 2014).

### **2.2.2. Desvantagens**

A implementação prática da metodologia BIM começa a ser evidente no setor da AEC. No entanto, o sucesso da sua implementação depende da receptividade dos futuros utilizadores, que será tanto maior quanto mais antecipadamente se perceber que problemas se espera encontrar.

As limitações inerentes à adoção do BIM podem ser divididas em limitações técnicas e contratuais. As limitações de natureza técnica dizem respeito à utilização de ferramentas BIM e têm sido gradualmente abordadas pelos produtores de *software*, pelos investigadores e pelas organizações. No entanto, as questões contratuais são as que colocam os maiores desafios à implementação do BIM, uma vez que a mudança de procedimentos e fluxos de comunicação, responsabilização e confiança, não é facilmente alterável. Entre outras limitações, destacam-se as que se apresentam nos pontos seguintes (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012):

#### **2.2.2.1. Investimento**

As empresas da indústria da AEC justificam, recorrentemente, a não implementação do BIM por motivos exclusivamente financeiros. A necessidade de um investimento inicial com a aquisição de novos *softwares* bem como com a sua amortização, incluindo custos de aprendizagem inicial, constitui uma limitação da adoção do BIM (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012). Para além do custo de aquisição é igualmente importante equacionar o custo de atualização dos *softwares* aquando da adoção desta metodologia.

Além disso, os processos BIM exigem um custo adicional que resulta do tempo despendido na elaboração e revisão do modelo, sendo, no entanto, positivo o saldo entre a redução de tempo e o incremento de custos (Sá, 2014).

### **2.2.2.2. Curva de aprendizagem lenta**

Pelo facto de não haver ainda muitos utilizadores BIM, existe uma grande dificuldade em encontrar formação de qualidade para a utilização destas ferramentas. Além disso, uma vez que os formadores existentes não têm eles próprios muita experiência na área, é fácil prever que os próprios utilizadores ultrapassem o conhecimento dos seus formadores pelo método tentativa erro (Querido, 2013).

Além da natural complexidade do *software* e das várias opções que este apresenta, é provável que seja na mudança de conceitos e no novo modo de olhar para o modelo que é exigido mais investimento pessoal (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012).

### **2.2.2.3. Envolvimento da equipa**

Atualmente em Portugal, esta metodologia ainda é pouco utilizada simultaneamente pelas várias equipas multidisciplinares. Assim, ao restringir, logo à partida, o âmbito possível de uma das maiores potencialidades do BIM – a interação colaborativa – que permite lidar com alterações e com incompatibilidades entre especialidades de modo imediato, está-se, naturalmente, a contribuir para a redução da sua relevância e do retorno do investimento (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012).

### **2.2.2.4. Interoperabilidade**

Caso seja necessária a comunicação entre os vários intervenientes que utilizam diferentes plataformas tecnológicas, a importação e exportação entre as várias ferramentas não é, ainda, isenta de falhas (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012).

Além disso, o facto de não existir ainda uma padronização no *software* a utilizar, nem uma nota sobre qual o interveniente da obra a decidir esse aspeto, constitui um problema grave, pois leva a que se utilizem *softwares* que produzem modelos incompatíveis. A compatibilização de elementos ou a identificação de erros e omissões são exemplos de informações que se perdem pela utilização de *softwares* com modelos BIM não compatíveis (Querido, 2013).

### **2.2.2.5. Direitos de propriedade e de responsabilização pelo modelo**

Uma questão pertinente consiste em como controlar a origem da informação introduzida no modelo, uma vez que, caso esta não esteja correta, poderá ser necessária a apuração de responsabilidades. Assim, as questões relativas aos direitos de propriedade da informação representam também uma desvantagem, uma vez que podem gerar conflitos entre o dono de obra e a equipa projetista. Além disso, podem gerar-se problemas de licenciamento nas informações incorporadas no modelo por alguém que não arquitetos, engenheiros e donos de obra (Sá, 2014).

Desta forma, surge a necessidade de definir explicitamente novos modos de comunicar e partilhar o modelo entre os diversos projetistas e entre estes e o construtor, através de uma contratualização que, baseada na confiança e delegação, permita a partilha, sem comprometer os direitos de autor e a responsabilização de cada interveniente (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012).

Embora estes aspetos possam ser algo desmoralizadores, podem ser ultrapassados pelas grandes vantagens inerentes à utilização da tecnologia BIM, quando esta estiver em plena utilização (Querido, 2013).

### 2.2.3. BIM no Mundo

A adoção do BIM está a expandir-se um pouco por todo o mundo, sendo a procura de maior qualidade pelo menor custo possível, o principal fator para este fenómeno (Sá, 2014).



Figura 2.15 – BIM no mundo (adaptado de Brewer, G. et al., 2012)

Segundo um relatório da Universidade de Newcastle na Austrália, a maioria dos países industrializados estão bem informados sobre as tecnologias e processos BIM e têm vindo a promover a sua implementação. Contudo, são os países com uma indústria da construção mais pequena que lideram a adoção de BIM como apresentado na Figura 2.15 (Silva, 2013).

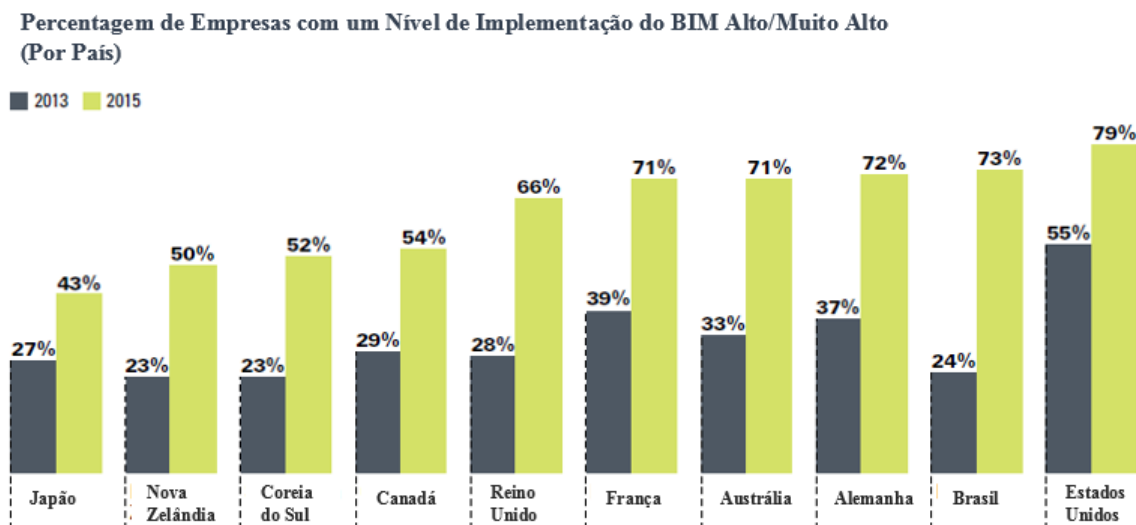


Figura 2.16 – Percentagem de empreiteiros com níveis alto/muito alto de implementação BIM, (adaptado McGraw, 2014)



Observando a Figura 2.16 relativa à percentagem de empreiteiros com níveis alto ou muito alto de implementação do BIM nas empresas seguidas pela McGraw Hill SmartMarket, os Estados Unidos estão na linha da frente no que se refere à implementação de tecnologias e processos BIM, pretendendo manter essa posição no futuro (Otero, 2014). Além dos Estados Unidos, é de destacar a evolução da adoção da metodologia BIM no Brasil que, em dois anos, passou de 24% para 73%. Porém, o tamanho da sua indústria tem sido um obstáculo à aceitação global da mudança. Em contraste, a Finlândia, com uma indústria construtiva de tamanho inferior, é, atualmente, o país mais avançado relativamente à implementação do BIM, utilizando-o em projetos de pequena e grande escala. Existe, no entanto, uma tendência do BIM ser utilizado preferencialmente em projetos de grande escala (Sá, 2014).

Para promover a adoção generalizada do BIM nas empresas de AEC, o papel desempenhado pelo governo de cada país é fundamental. Uns optam por alterações da lei (Singapura, EUA), outros decidem criar orientações e diretivas (Finlândia, Noruega), muitos utilizam o *Industry Foundation Classes* (IFC) (China, Dinamarca), outros tantos aplicam limites máximos relativamente ao custo do empreendimento a partir dos quais o projeto terá que ser executado sobre plataforma BIM (Holanda, Finlândia). Existem mesmo governos a implementar o BIM com o objetivo de reduzir emissões de carbono (Reino Unido). Todos estes países têm como objetivo comum a forte aposta na Investigação e Desenvolvimento (I&D) do BIM como base para as suas estratégias de crescimento (Taborda & Cachadinha, 2012).

A *American Institute of Architects* (AIA) reuniu numa tabela a maioria das iniciativas implementadas em todo o mundo com o objetivo de apresentar normas ou diretrizes para o uso de BIM. A Tabela 2.4 é uma adaptação dessa tabela, onde se encontram listados os países e as organizações que têm feito um esforço para regulamentar os processos de modelação (Silva, 2013).

Tabela 2.4 – Alguns países com normas e diretrizes BIM (AIA, 2012)

País	Organização	Nome da Norma/Diretriz/Requisito	Data de Publicação
Austrália	NATSPEC	<i>NATSPEC National BIM Guide</i> <i>NATSPEC BIM Object/Element Matrix</i>	19-Set-2011
Dinamarca	<i>Erhvervsstyrelsen (National Agency for Enterprise and Construction)</i>	<i>Det Digitale Byggeri (Digital Construction)</i>	01-Jan-2007
Finlândia	<i>buildingSMART Finland</i>	<i>Common BIM Requirement 2012 (COBIM)</i>	27-Mar-2012
Reino Unido	<i>AEC (UK)</i>	<i>AEC (UK) BIM Protocols</i>	07-Set-2012
Noruega	<i>Statsbygg</i>	<i>Statsbygg Building Information Modeling Manual</i>	24-Nov-2011
Singapura	<i>Building and Construction Authority</i>	<i>Singapore BIM Guide</i>	15-Mai-2012
	<i>CORENET e-submission System (ESS)</i>	<i>CORENET BIM e-submission Guidelines</i>	25-Jan-2010
Estados Unidos da América	<i>National Institute of Building Science (NIBS) - buildingSMART alliance (bSa)</i>	<i>National BIM Standard (NBIMS)</i>	04-Mai-2012
	<i>American Institute of Architects (AIA) Contract Documents</i>	<i>E202-2008 BIM Protocol Exhibit</i>	2008
	<i>New York City Department of Design + Construction</i>	<i>BIM Guidelines</i>	01-Jul-2012
	<i>United States Department of Veterans Affairs (VA)</i>	<i>The VA BIM Guide</i>	02-Abr-2010
	<i>Indiana University Architect's Office and Engineering Services</i>	<i>IU BIM Guidelines &amp; Standards for Architects, Engineers, and Contractors</i>	02-Jul-2012
	<i>buildLACCD (Los Angeles Community College District)</i>	<i>BIM Design-Bid-Build Standards</i> <i>BIM Design-Build Standards</i>	29-Jun-2011
	<i>LACCD BIM Standard</i>		02-Jun-2010
<i>United States General Services Administration (GSA)</i>	<i>National 3D-4D Building Information Modeling Program</i>	15-Mai-2007	

O conjunto de países referidos na Tabela 2.4 demonstra que a tecnologia BIM está a ser implementada um pouco por todo o mundo. Embora esta lista não seja exaustiva, serve para demonstrar que estão a ser desenvolvidos esforços importantes para a sua proliferação. Mais uma vez os Estados Unidos apresentam-se como uma grande potência económica, onde várias organizações e universidades têm desenvolvido e publicado normas ou diretrizes, sendo que algumas delas não se encontram aqui listadas. Na Europa, a região escandinava, nomeadamente a Finlândia e a Noruega, têm mostrado grande interesse em tornar padrão a utilização de processos BIM, assim como o Reino Unido. Na Ásia, a iniciativa mais relevante vem de Singapura, que já tem regras para a utilização de BIM no setor público (Silva, 2013).

### 2.2.3.1. Casos de Estudo

#### Ponte para Palm Jebel Ali

A empresa internacional GHD, que oferece serviços globais na área da arquitetura e construção, iniciou a implementação do BIM em 2007, começando pela utilização do *software* Revit Structure da Autodesk. Atualmente, a empresa utiliza outras ferramentas BIM como o *software* Revit Architecture, Revit Structure e Revit MEP da Autodesk.

“Ficou claro para nós que o BIM foi preparado para ser uma grande inovação na nossa indústria”, explica Paul Hellowell, modelador sénior da GHD. “Nós vimos o seu potencial para ajudar a elevar o nível dos nossos resultados e para ajudar a reduzir a nossa documentação. Ao passar para o BIM, poderíamos ganhar uma vantagem competitiva.”

Um dos projetos em Revit Structure recentemente concluído pela GHD é a estrutura da ponte grande para Palm Jebel Ali ao lado da costa do Dubai, nos Emirados Árabes Unidos (Figura 2.17). A empresa GHD trabalhou em estreita colaboração com o seu cliente Nakheel, uma das maiores incorporadoras de imóveis no Dubai, para completar o projeto. Palm Jebel Ali compreende várias ilhas em forma de uma palmeira, todas elas ligadas por pontes.



Figura 2.17 – Ponte para Palm Jebel Ali

Palm Jebel Ali é a segunda ilha em forma de palmeira construída por Nakheel e destaca-se como um dos maiores projetos de recuperação de terras do mundo. A primeira, Palm Jumeirah, é o lar de mais de 10.000 habitantes.

A Southern Utility Plot Support Structure (SUPSS) é uma estrutura de ponte que também irá abrigar uma grande quantidade de serviços públicos, estações de bombeamento e tanques de água fabricados com plástico reforçado com vidro (GRP), necessários para abastecer o tronco e as folhas de Palm Jebel Ali, com água potável, água de irrigação e instalações de bombeamento de esgoto. Quando concluída, a estrutura da ponte terá aproximadamente 50 metros de largura e 150 metros de comprimento e será composta por seis faixas de tráfego, duas faixas para autocarros e dois caminhos pedestres.

### **i. Desafio do Projeto**

A GHD optou pela utilização do Revit Structure neste projeto devido à grande complexidade dos requisitos de coordenação. A área de trabalho foi pré-definida com a ligação das estradas de cada lado da ponte e uma estrada de 10 pistas por cima. O projeto necessitava de uma certa quantidade de armazenamento de água na parte inferior da ponte, bem como proporcionar o espaço necessário para as estações de bombeamento e a estrutura de suporte para a estrada na parte superior. Depois de construída, a SUPSS vai incluir um dos maiores grupos de tanques de GRP no mundo.

### **ii. Projeto Baseado em Modelo**

Estas restrições de espaço exigiram um fluxo de trabalho de projeto baseado em modelo que permitisse a coordenação cuidadosa entre os projetos da ponte e as estruturas rodoviárias de ligação, bem como a estrutura de apoio da ponte, as tubagens da estação de bombeamento e os tanques de armazenamento.

“Começámos por obter os dados da pesquisa da superfície de terreno existente e importámos essas triangulações para criar uma superfície topológica no Revit Structure”, explica Hellowell. “De seguida, importámos as linhas centrais e eixos do projeto da estrada, uma vez que estas foram as nossas restrições de projeto.”. Toda esta informação foi importada usando arquivos DWG 3D fornecidos pelos engenheiros civis do projeto.”

### **iii. Retorno do projeto**

A empresa GHD criou, então, elementos de massa no Revit Structure para representar a água armazenada. Como a quantidade de água armazenada era grande, teve que ser dividida em vários tanques. O projeto foi todo ele um ato de equilíbrio entre folgas da estrutura e o volume de armazenamento. Com as ferramentas de massa do Revit Structure, a equipa pode modelar

os tanques com diferentes formas e tamanhos, bem como quantidades diferentes para ver se eles estavam atingindo os volumes de água necessários. A equipa também criou um cronograma dos volumes de água.

A equipa começou por projetar as estruturas em torno dessas massas (Figura 2.18). Devido à natureza paramétrica do ambiente de modelação do Revit Structure, conforme a estrutura era alterada ou movida, o mesmo acontecia com a forma e tamanho das massas de armazenamento e a programação de volume. “Esse retorno de projeto em tempo real foi inestimável”, diz Hellowell. “À medida que mudámos as estruturas ao redor para otimizar o projeto, sabíamos exatamente a quantidade de água que havia em cada tanque e as margens ao seu redor.”

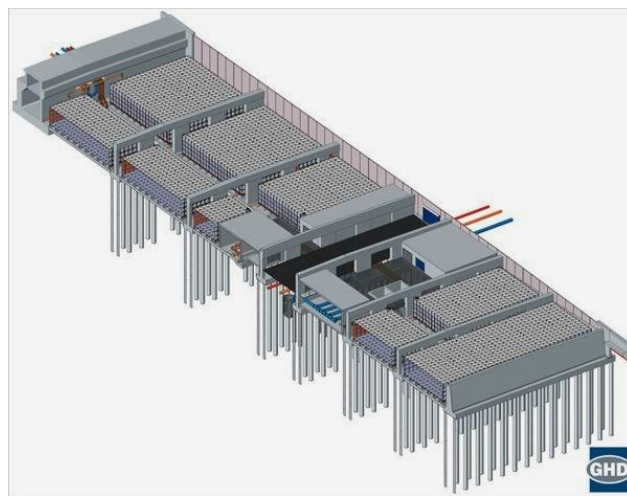


Figura 2.18 – Modelação dos tanques de armazenamento de água da Ponte para Palm Jebel Ali

#### iv. Detecção de Conflitos

Uma vez que a estrutura foi projetada e as massas que representam a água foram fixadas, a GHD coordenou o seu projeto com o fornecedor do tanque, que forneceu arquivos DWG 3D dos reservatórios de água para a empresa. A equipa de projeto simplesmente importou os tanques para o seu modelo e usou o Revit Structure para verificar novamente todas as folgas em torno dos tanques, com base nos projetos reais do mesmo.

“Usando o *software* Revit Structure fomos capazes de identificar os conflitos e áreas de congestionamento que poderíamos resolver no início do processo”, diz Hellowell. A equipa de modelação da GHD recriou os layouts de tubagens em 3D usando o Revit MEP a partir de desenhos 2D existentes. “Como o sistema de tubagens era complexo, decidimos modelar o projeto no Revit MEP para que pudéssemos realizar deteções de conflitos”, explica Hellowell.

## v. Melhor coordenação

Durante a fase de projeto, a estrutura precisou de ser alterada. Inicialmente o SUPSS tinha 7 suportes de betão maciço, incluindo um numa extremidade da ponte que era adjacente ao suporte da ponte principal. Ligar a extremidade da SUPSS diretamente ao pilar da ponte principal iria eliminar a necessidade do sétimo apoio e dos custos associados.

Com estas alterações no projeto, a equipa precisava de alterar as vigas dos apoios restantes, os tanques, o tabuleiro da ponte e todos os desenhos relacionados. A ligação entre o modelo paramétrico e os desenhos do Revit Structure permitiu que os projetistas da GHD incorporassem rapidamente as alterações do modelo do projeto e toda a documentação afetada era atualizada automaticamente. “Utilizar o Autodesk Revit Structure foi significativamente mais eficiente do que a nossa abordagem tradicional”, diz Hellowell. “Ao incorporar uma abordagem BIM, sabemos que haverá uma maior eficiência obtida no processo de construção, o que será um benefício direto para o cliente.”

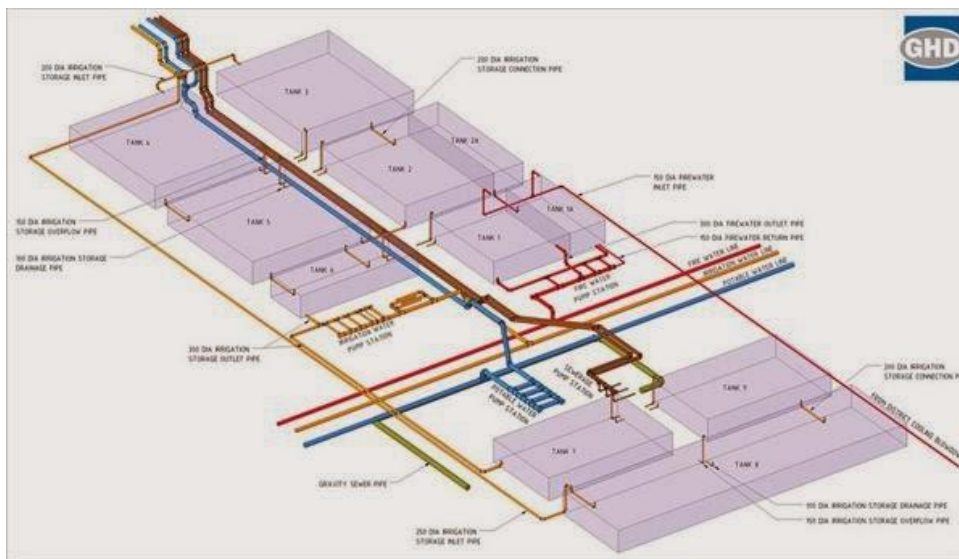


Figura 2.19 – Modelação da Ponte para Palm Jebel Ali

## vi. Estimativa das quantidades e custos

“Outra grande característica do Revit Structure utilizada neste projeto foi a capacidade de retirar mapas de quantidades do modelo”, diz Hellowell. O Revit Structure oferece um conjunto completo de componentes de projeto estrutural paramétricos, tais como vigas de betão, elementos de betão pré-moldado, entre outros. As definições paramétricas permitem revisões rápidas para os tipos de objetos existentes e, além disso, podem ser criados e armazenados novos objetos como famílias para serem reutilizados em outros projetos.



A GHD aproveitou esse recurso através da criação de várias famílias próprias para os elementos da ponte: famílias de vigas, pavimentos, barreiras e muitos mais. Quando foi preciso, os elementos tiveram um reforço extra, habilitado para calcular automaticamente as quantidades de varões de aço, bem como os volumes de betão. “Com um simples clic, nós poderíamos calcular as quantidades precisas de material”, observa Hellawell.

### **vii. A Solução**

Após o sucesso do projeto Palm Jebel Ali, a GHD pretende expandir a utilização do Revit Structure para projetos de pontes. “Por um bom tempo quisemos projetar pontes em 3D, mas coordenar o projeto com a topografia era sempre um problema “, diz Hellawell.

Agora é possível importar modelos digitais da superfície do terreno existente e o projeto de estradas do engenheiro civil, bem como a linha central da estrada passando por cima da ponte diretamente para o ambiente de projeto do Revit Structure. O projeto da ponte é melhor coordenado com o projeto de estradas e o conjunto de documentação da ponte é mais consistente e coordenado com o projeto.

A GHD utiliza também o Revit Structure para verificar as aberturas sob a ponte modelando a massa que representa o volume de tráfego que viaja sob a ponte e executa a deteção de conflitos entre a ponte e o fluxo de tráfego. Quando o projeto da ponte estiver concluído, a equipa GHD pode exportar o seu modelo Revit Structure para arquivos 2D e 3D DWG e enviar esse projeto de volta para o engenheiro civil, melhorando a colaboração e coordenação com toda a equipa.



**Figura 2.20 – Modelação da Ponte para Palm Jebel Ali**

### **viii. Visualização Instantânea**

A GHD também tem utilizado as capacidades de visualização instantâneas do projeto no Revit Structure. Sempre que uma alteração é feita no modelo, o *software* atualiza automaticamente cada vista relacionada: plantas, cortes e alçados, bem como vistas 3D. Estas vistas 3D dão aos projetistas da GHD uma melhor perceção do seu projeto, levando a experimentar diferentes conceitos e orientar as suas decisões. Para imagens foto realistas, a GHD utiliza a opção de produção de *renderings* incluído no Revit Structure. “As visualizações de projeto das pontes têm sido um grande sucesso com os urbanistas e autoridades locais”, diz Hellowell. “É uma maneira muito eficaz de comunicar o projeto geral.”

### **ix. Vantagem Competitiva**

As visualizações também ajudam a GHD a ganhar uma vantagem competitiva. “Nós temos sido abordados por pessoas que viram as imagens e estão interessadas nos projetos das nossas pontes 3D”, relata Hellowell. O mesmo afirma, ainda, que: “O Revit Structure tem ajudado a melhorar a nossa coordenação de projeto, a nossa eficiência e a qualidade da nossa documentação. Isso dá-nos mais liberdade para experimentar diferentes opções no início do processo de projeto e ajuda a melhorar a nossa flexibilidade relativamente a possíveis alterações no projeto.”



## Reconstrução do Estádio de Cracóvia - Polónia

Segundo Ramón González, gerente de arquitetura da SENER Engineering Group, “Usando um *software* 2D tradicional, não teríamos sido capazes de terminar a nossa proposta com o mesmo nível de qualidade dentro do prazo apertado necessário para o concurso em Cracóvia (Figura 2.21). A combinação da plataforma Revit com o Inventor e o Civil 3D ajudou-nos a garantir o sucesso na conclusão do projeto.”

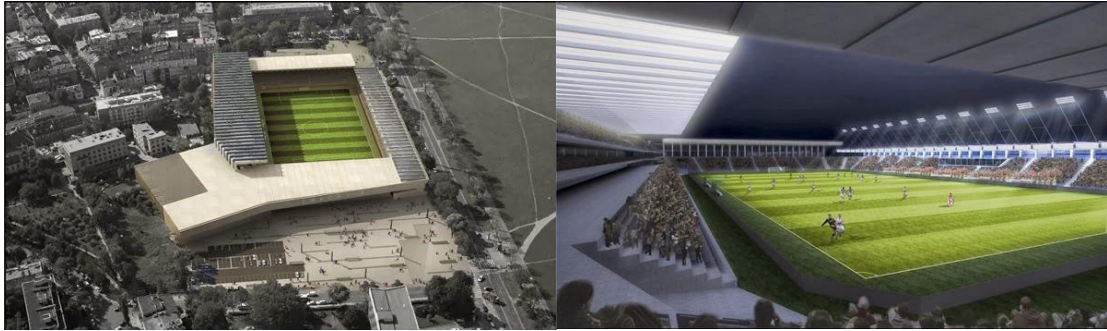


Figura 2.21 – Estádio de Cracóvia - Polónia

### i. A empresa

Presente nos cinco continentes, o SENER Engineering Group (SENER) é uma das maiores e bem-sucedidas empresas de tecnologia e engenharia no mundo. Em resposta ao crescimento nos setores da arquitetura e engenharia civil, a SENER começou a implementar as soluções BIM da *Autodesk* em 2006. “Como uma empresa, estamos empenhados em oferecer os mais altos níveis de qualidade e inovação e também usar tecnologia avançada”, afirma Ramón González, gerente de arquitetura na SENER. “O BIM permite que as nossas equipas de projeto colaborem em todas as fases multidisciplinares de projetos complexos, e por isso foi a escolha ideal.”

Atualmente, A SENER integra muitas soluções de *software* BIM da Autodesk, incluindo o Revit e o 3ds Max para projetos de construção, o Revit Structure e o Robot Structural Analysis para engenharia estrutural, o *software* AutoCAD Civil 3D para engenharia civil e o para fluxos de trabalho de projeto de fabricação digital.

## ii. O Desafio

Desde a adoção desta nova abordagem, o SENER tem oito grandes projetos BIM, iniciados ou terminados, incluindo o “Cracovia Soccer Stadium” de 29.000 metros quadrados, na Polónia. Juntamente com o Estúdio Lamela Architects, a SENER ganhou o concurso de projeto patrocinado pela cidade para projetar e reconstruir o novo estádio, a tempo para a Liga dos Campeões da Europa em 2012.

O novo estádio iria aumentar a capacidade de 6.500 para 15.000 espetadores e adicionar várias melhorias, incluindo uma bancada retrátil, uma área VIP, uma varanda aberta para 250 fãs, nova sede para o clube e um anexo para desportos, coberto com capacidade para 2.500 espetadores.

Para cumprir o cronograma curto do projeto, a SENER teve que entregar a documentação da construção no final de janeiro de 2009 para que a construção pudesse começar na primavera. Durante a construção, o estádio continuaria aberto e fornecendo capacidade para 2.500 espetadores.

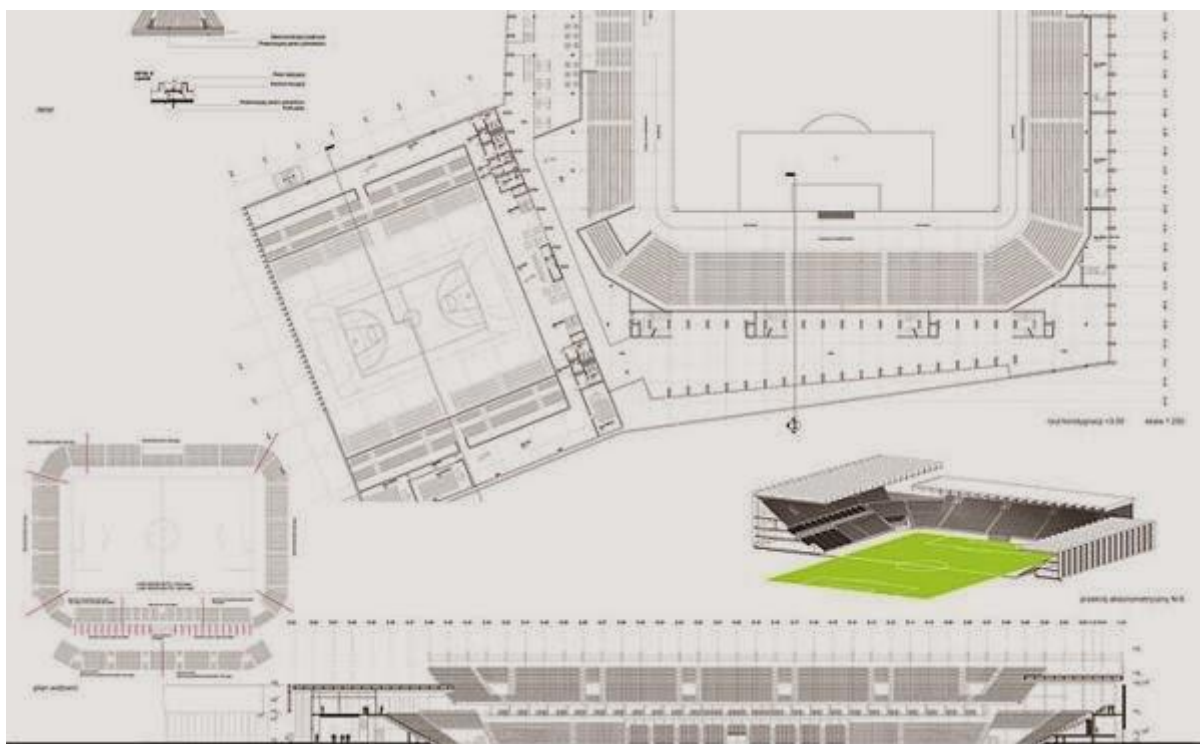


Figura 2.22 – Projeto do Estádio de Cracóvia

### iii. A Solução

O Revit Architecture permitiu à empresa entregar um projeto conceptual abrangente que cumpriria as exigências do concurso para o estádio de futebol da Cracóvia em duas semanas. Usando as famílias paramétricas criadas especificamente para o projeto, os projetistas tiveram várias opções de projeto, selecionando aqueles que maximizaram a capacidade do estádio, sem ferir as normas locais. “Criámos diversas alternativas de projeto muito rapidamente”, diz González.

A empresa usou o Inventor para explorar diferentes opções para o sistema de iluminação. “As luzes deveriam ficar a nove metros acima do estádio para iluminar os jogos noturnos”, diz González. ” No entanto, a essa altura, estas iriam obstruir a vista da cidade velha e do Palácio Real. “Usando o Inventor, a SENER analisou uma opção de iluminação retrátil e um sistema fixo, para que o cliente escolhesse a mais apropriada.

O uso em conjunto do Revit Architecture com o Inventor permitiu à empresa fabricar protótipos 3D da instalação, diretamente do arquivo digital. A equipa de projeto usou esses protótipos, bem como *renderings* criados com 3ds Max para comunicar a intenção do projeto para o júri do concurso e preparar as apresentações finais. “O processo BIM ajudou-nos a criar um conceito de projeto inicial mais preciso e preservar essa visão ao longo de todo o projeto”, diz González. O *software* também ajudou a fornecer um *feedback* vital para a tomada de decisões de design estético, compreender as possíveis interferências e realizar uma análise de projeto sustentável.

Para otimizar a utilização do espaço limitado disponível, a SENER empregou o Civil 3D. “O Civil 3D ajudou-nos na tomada de decisão com mais informações sobre a utilização do terreno e dos recursos do projeto para a envolvente, tais como vias de acesso e estacionamento”, diz González. Durante a demolição do estádio, a empresa usou o Civil 3D para ajudar a calcular qual o excesso de terra que a equipa de construção precisaria retirar.

#### **iv. O Resultado**

Atualmente, a equipa está a trabalhar na documentação da construção utilizando o Revit Structure com o *software* Robot Structural Analysis para testar vários parâmetros de projeto estrutural. Usando o BIM, as pequenas equipas de projetos multidisciplinares da empresa têm sido capazes de entregar projetos de trabalho de alta qualidade que são mais confiáveis e coordenados e com menos problemas durante a construção. “O BIM dá-nos maior agilidade durante todas as fases do processo de projeto, bem como modelos e documentação mais coerentes e precisas”, diz González.

#### **v. Vantagem Competitiva**

Devido ao uso avançado da plataforma Revit em conjunto com outras soluções Autodesk BIM, a empresa SENER ganhou recentemente o prémio “Revit BIM Experience” da Autodesk. “O BIM oferece vantagens inegáveis para todas as partes interessadas no projeto”, refere González. “Nós reconhecemos no BIM a vantagem competitiva que ele nos traz e acredito que estamos bem posicionados para o futuro.”

De acordo com Ramón González, gerente de arquitetura, SENER Engineering Group: “Compartilhando o modelo Revit tornou o processo mais fácil, permitindo partilhar informações atualizadas, consistentes e mais completas do projeto, o BIM acelerou o processo de construção e minimizou as interferências e outros erros de projeto”.



**Figura 2.23 – Estádio de Cracóvia, Polónia**

#### **2.2.4. BIM em Portugal**

Atualmente em Portugal, o BIM encontra-se ainda numa fase embrionária, comparativamente com os restantes países desenvolvidos. Em qualquer país, o papel do governo na implementação do BIM é essencial, podendo mesmo ser o fator diferenciador entre o sucesso e o insucesso. Assim, o Governo Português pode influenciar de forma decisiva o sucesso da implementação do BIM através, por exemplo, da obrigatoriedade de utilização de ferramentas BIM em concursos públicos.

Além disso, para a implementação do BIM em larga escala em Portugal, é necessário que sejam tomadas diversas iniciativas e haja um envolvimento por parte de todas as entidades interessadas desde empresas, organismos do estado, universidades, entre outros (Taborda & Cachadinha, 2012).

Enquanto entidade de referência na investigação e desenvolvimento do BIM, a academia deverá desempenhar um papel fundamental na sua implementação (Taborda & Cachadinha, 2012). Em Portugal existem já várias iniciativas a nível académico que procuram demonstrar, através de *workshops* e conferências, as vantagens que a adoção do BIM pode trazer ao setor da AEC (Otero, 2014).

Relativamente às empresas, existem já algumas empresas de projeto em Portugal que implementaram *software* BIM, como o Archicad da Graphisoft ou o Revit da Autodesk. Empresas como a EFACEC, a Mota-Engil e a Newton, têm já alguns projetos piloto desenvolvidos em BIM e calcula-se que a metodologia BIM possam vir a fazer parte de futuros projetos destas empresas (Otero, 2014).

Embora não exista nenhuma legislação nem orientação sobre o BIM, existem várias iniciativas que procuram estudar boas práticas que possam vir a servir de orientação inicial para a implementação do BIM no setor da construção, tais como, o Projeto SIGABIM, o BIM Fórum Portugal, o grupo de trabalho Plataforma Tecnológica Portuguesa de Construção (PTPC) e o Grupo de Trabalho BIM (GTBIM).

#### **2.2.4.1. Projeto SIGABIM**

O projeto SIGABIM é uma iniciativa conjunta da Mota-Engil Engenharia e Construção, ARQUIFAM e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto na área da gestão da construção. Este projeto tem como objetivo abordar o ciclo de gestão numa perspetiva desmaterializada e adequada de corresponder às necessidades de desenvolvimento, modernização, internacionalização e de maior competitividade por parte das empresas nacionais. Este projeto pretende, também, impulsionar e suportar as necessidades reais de investigação, desenvolvimento e tecnologia dentro das empresas envolvidas, favorecendo a aproximação entre a comunidade científica e o mercado.

Este projeto aproveita a atual conjuntura de mercado, assumindo-se como um potenciador de uma otimização de recursos e de uma mitigação de riscos em obras de construção civil. Com a entrada em vigor do novo CCP, os vários intervenientes no negócio da construção viram-se obrigados a realizar um estudo mais atento e cuidado dos vários projetos e a desenvolver novas ferramentas e metodologias que auxiliem esse mesmo estudo. Estes desenvolvimentos podem ser considerados como uma alavanca no mercado da construção cada vez mais competitivo.

#### 2.2.4.2. BIMFórum Portugal

O objetivo principal da BIMFórum Portugal é promover e acelerar a adoção do *Building Information Modeling* na indústria da Construção. Esta iniciativa pretende liderar a promoção do BIM em Portugal, através da partilha de experiências, publicações e conhecimento adquirido em congressos nacionais ou internacionais, no sentido de desenvolver um conjunto de melhores práticas para o projeto e construção virtuais. Esta partilha entre todos os intervenientes do ciclo de vida da construção visa assegurar uma maior diferenciação e vantagem competitiva comparativamente com os seus pares internacionais.

Esta iniciativa pretende focar-se nas seguintes áreas de impacto:

- **Dono de Obra** – visa ser um repositório de normas, orientações e especialistas que prestem apoio ao dono de obra após a sua decisão de adotar o BIM para as suas obras;
- **Entidades Licenciadoras** – pretende facilitar e acelerar a implementação do BIM na AEC, através do desenvolvimento dos meios de colaboração com outras áreas de impacto;
- **Projetistas** – pretende desenvolver e promover a introdução de novas práticas relacionadas com o *Integrated Project Delivery* e BIM no atual processo de projetar, promovendo a colaboração entre todos os projetistas e restantes *stakeholders*;
- **Universidades** – visa incentivar o desenvolvimento de um programa curricular BIM, apoiar a investigação académica e a sua ligação com o meio industrial;
- **Empreiteiros e Subempreiteiros** – pretende incentivar a colaboração na definição de processos BIM que garantam uma melhoria substancial no processo de planeamento e controlo de obras;
- **Fabricantes e fornecedores** – tem como objetivo promover o desenvolvimento de materiais e produtos em BIM de forma a garantir uma gestão otimizada de recursos e uma correta articulação com as restantes áreas de impacto;
- **Software Houses** – visa apoiar o desenvolvimento de novas tecnologias BIM e a elaboração de orientações que sirvam como ponto de partida às *software/hardware houses*;
- **Seguradoras** – Reportar a identificação de riscos no sentido de suportar melhorias e aperfeiçoamentos a políticas de seguro existentes ou o desenvolvimento de novas políticas relacionadas especificamente com projetos que utilizem a tecnologia e a metodologia BIM (Silva, 2013).

### 2.2.4.3. Plataforma Tecnológica Portuguesa de Construção (PTPC)

A Plataforma Tecnológica Portuguesa de Construção (PTPC) tem como objetivo promover a reflexão sobre o setor e a implementação de iniciativas e projetos de investigação, desenvolvimento e inovação, no sentido de contribuir para o incremento da respetiva competitividade promovendo a cooperação entre empresas, entidades do Sistema Científico e Tecnológico Nacional (SCTN), associações, federações, confederações, entidades públicas ou privadas, do setor da construção e obras públicas. (PTPC, s.d.)

De forma a garantir a melhoria da competitividade global do setor da construção nacional no contexto da internacionalização, a PTPC define como principais os seguintes objetivos:

- **Competitividade** – Pretende intensificar a prática da inovação nas empresas, fomentando o trabalho em rede entre parceiros com ligações ao setor e assegurando a difusão de resultados e a transferência de tecnologia;
- **Vigilância tecnológica** – Criação de um polo de vigilância tecnológica sobre a produção científica, relacionada com a atividade da construção e promoção da produção e disseminação do conhecimento;
- **Inovação relacionada com as tecnologias, sistemas, processos e produtos** – Promoção do investimento em atividades de IDI (Investigação, Desenvolvimento e Inovação), com vista tanto ao desenvolvimento tecnológico aplicado, como à reformulação de processos, respondendo adequadamente às atuais e futuras exigências da sociedade;
- **Inovação relacionada com métodos de gestão** – Desenvolvimento de novos conceitos e metodologias de gestão relevantes para o setor;
- **Inovação relacionada com as tecnologias de informação** – Promoção do desenvolvimento de tecnologias de informação ao serviço das empresas (PTPC, s.d.).

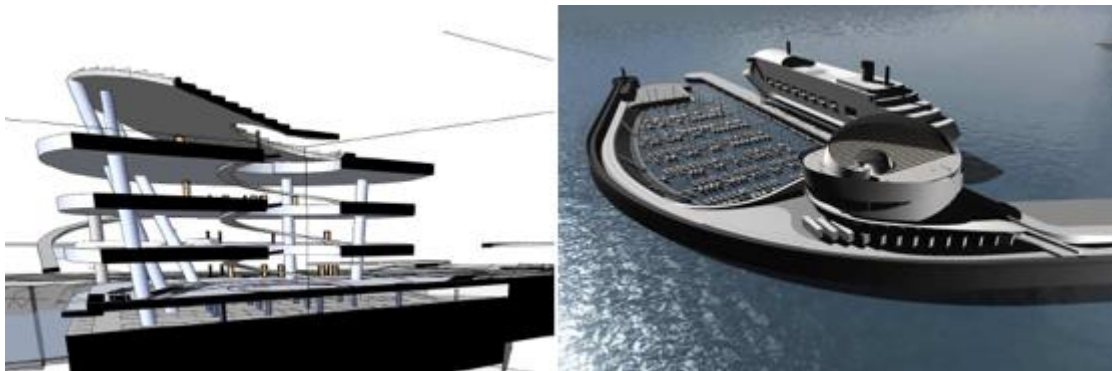


#### 2.2.4.4. Casos de Estudo em Portugal

Neste capítulo são apresentados alguns exemplos práticos da implementação do BIM referentes a dois projetos de estruturas modelados em BIM e realizados no gabinete NEWTON - Consultores de Engenharia, Lda.

##### Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões

Desde as primeiras fases conceptuais, este projeto de arquitetura estrutural (Figura 2.24b) incluiu o BIM como metodologia preferencial de partilha de informação, tanto entre projetista de estruturas e projetista de arquitetura, quer com o dono de obra, para comunicação visual de soluções (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012).



**Figura 2.24 – Terminal de Cruzeiros de Leixões:**  
a) Visualização da estrutura sem as lâminas envolventes;  
b) Visualização tridimensional.

A grande complexidade das formas da envolvente do projeto de arquitetura veio dificultar bastante a sua importação direta pelo *software* BIM de modelação estrutural (Revit Structure). Embora este tipo de famílias e objetos associados a estas formas menos regulares tenha sofrido uma evolução significativa ao longo dos últimos anos, na altura em que foi iniciada a primeira fase do projeto, essa limitação de comunicação entre *softwares* revelou-se talvez a principal debilidade neste processo. Consequentemente, a comunicação com o *software* de análise estrutural adotado (ROBOT), exigiu uma redefinição dessa envolvente, modelando-a em elementos identificáveis para a análise estrutural.

No entanto, a estrutura em si, altamente hiperestática, com uma redistribuição complexa de esforços entre os diversos elementos estruturais, só foi possível de calcular e analisar com todas as suas particularidades realizando uma modelação completa. A outra grande vantagem apresentada por esta metodologia, relacionou-se com a medição exata das lâminas, elementos de grande dimensão e com dupla curvatura, cuja quantificação também teria sido mais difícil através de outra tecnologia.



Figura 2.25 – Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões após construção

### **ETAR do Ave**

No projeto da empreitada da ETAR do Ave (Figura 2.26), a implementação da metodologia BIM para a colaboração entre o projeto de processo de tratamento e o projeto de fundações e estruturas foi bem sucedida. Foi possível a partilha do modelo, otimizando dinamicamente as soluções preconizadas, para que estas fossem ao encontro das necessidades dos projetistas. A facilidade na deteção de problemas e interferências entre os dois projetos, como as implicações da alteração das espessuras das paredes e lajes dos reservatórios nos cálculos do processo ou na exata localização e dimensionamento dos atravessamentos de tubagens, permitiu a sua verificação e retificação antecipadas. O detalhe e os critérios definidos pelos projetistas para a elaboração do modelo permitiram o fácil entendimento e a integração do projeto global. Foi especialmente importante a análise eficaz das implicações provocadas pela atualização de espessuras e soluções estruturais no projeto base, desenvolvido pela equipa de projeto de processo, a qual permitiu otimizar as soluções de fixação de equipamentos e definir a sua implantação.



**Figura 2.26 – ETAR do Ave: interação colaborativa entre o projeto do processo de tratamento e o projeto de fundações e estruturas**

Para além de facilitar a análise e validação das soluções através da visualização tridimensional e de permitir a rápida extração de detalhes construtivos, a utilização deste modelo em BIM também possibilitou a inclusão, no modelo, do faseamento construtivo. Assim, foi possível, ao longo do tempo, a visualização 3D de cada uma das fases, facilitando o entendimento pelo empreiteiro e um apurado controlo das quantidades de betão a encomendar. A dinâmica da partilha do modelo permitiu uma otimização do tempo utilizado na elaboração das peças desenhadas do projeto mas também rentabilizar o tempo despendido no projeto, beneficiando não só o projetista, mas também o construtor e o cliente final (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012).



### 3. BIM NA GESTÃO DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO

A possibilidade de poupar tempo e dinheiro é, incontestavelmente, a grande vantagem da implementação da metodologia BIM. A elaboração de um rigoroso modelo BIM durante as fases iniciais do projeto, pode beneficiar os intervenientes no ciclo de vida do projeto permitindo uma melhor gestão dos processos construtivos através da deteção antecipada de potenciais erros e omissões de projeto, uma otimização da duração da obra e, possivelmente, uma redução dos custos (Figura 3.1).

Este capítulo pretende explicar, de um modo teórico, de que forma é que se pode retirar o máximo partido da tecnologia BIM aplicada à gestão da construção. Pretende-se analisar toda a informação necessária para a gestão aproveitando os modelos 3D, bem como descrever todos os requisitos de informação a introduzir para que seja possível um planeamento eficaz e a consequente simulação da construção de forma a antecipar e acompanhar as ocorrências em obra. Pretende-se também analisar de que forma são obtidas as listas de quantidades através de modelos BIM, de forma a efetuar uma estimativa de custos o mais fidedigna possível.

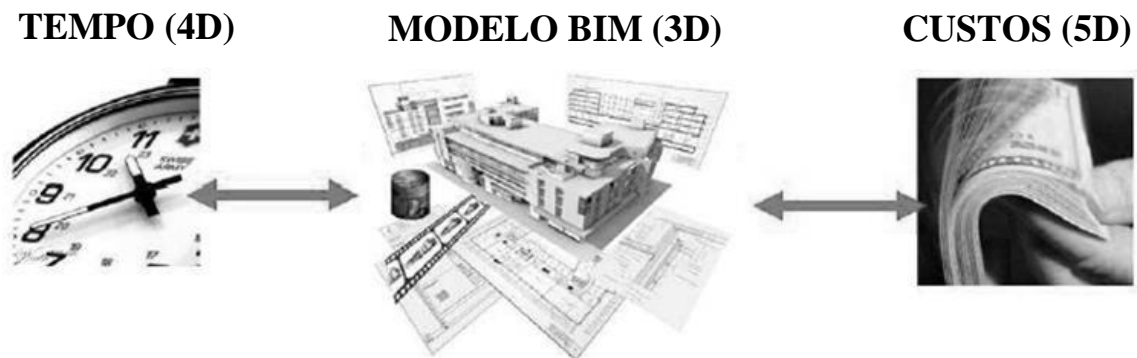


Figura 3.1 – Dimensões BIM aplicadas à gestão da construção

### 3.1. Implementação das ferramentas BIM nas empresas de construção

As ferramentas BIM estão em constante crescimento e atualização. A implementação desta metodologia por parte das empresas de construção de forma a tirar o máximo partido das suas funcionalidades segue diferentes abordagens que estão descritas nos parágrafos seguintes.

Na Figura 3.2 é apresentada a abordagem de aplicação das ferramentas BIM atualmente mais utilizada nas empresas. Quando as equipas de arquitetura e de engenharia não utilizam o BIM na elaboração dos seus projetos, são os empreiteiros que procedem à modelação completa do projeto a partir dos desenhos 2D fornecidos. Ainda que a utilização do BIM nos projetos de arquitetura se torne vulgar, os empreiteiros necessitarão sempre de acrescentar ou alterar informações dos elementos e/ou modelar componentes adicionais de modo a obterem um modelo o mais completo possível, permitindo o uso das suas potencialidades.

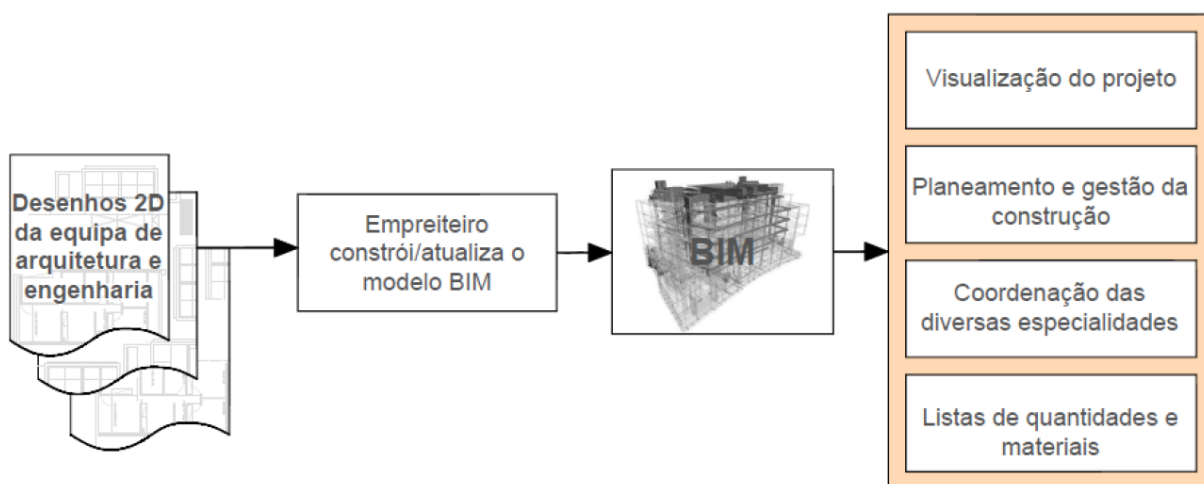
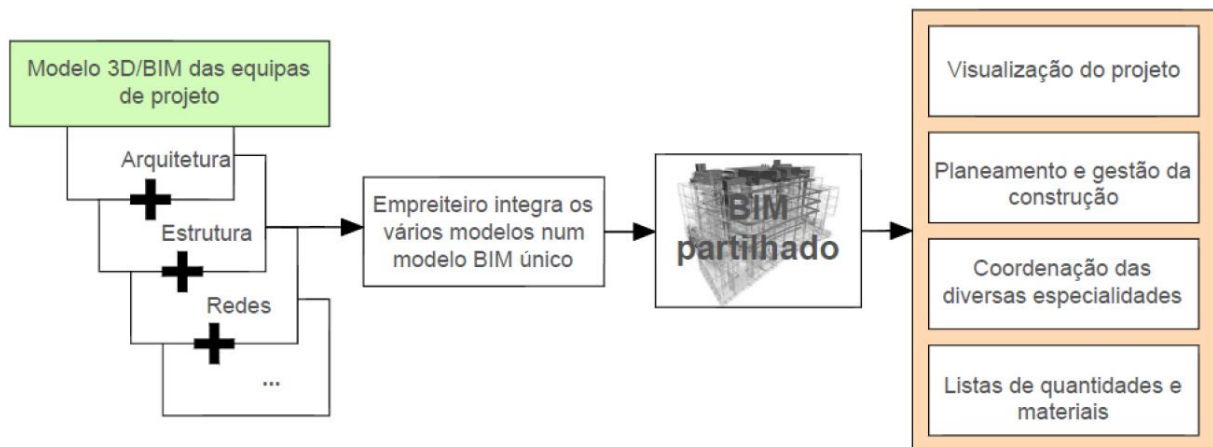


Figura 3.2 – Implementação BIM nas empresas de construção quando o modelo é desenvolvido a partir dos desenhos 2D (adaptado de Eastman, et al., 2011)

Outro método bastante utilizado na implementação do BIM está representado na Figura 3.3. Nesta abordagem, cada uma das equipas das várias especialidades fornece o modelo BIM 3D do respetivo projeto ao empreiteiro que, normalmente, fica encarregue de agrupar e gerir os vários modelos num modelo colaborativo comum. Caso alguma equipa de projeto não tenha adotado o BIM, utilizando apenas projetos em 2D, o empreiteiro pode converter os desenhos 2D para o BIM permitindo, assim, a integração do trabalho dessa equipa no modelo integrado.



**Figura 3.3 – Implementação do BIM nas empresas de construção quando as equipas de projeto contribuem com um modelo BIM (adaptado de Eastman, et al., 2011)**

Após o modelo global estar completo, pretende-se, em ambas as abordagens, utilizá-lo para múltiplas finalidades de apoio às empresas de construção, tais como visualização, deteção de interferências, planeamento e calendarização, coordenação, listas de quantidades e materiais, entre outros (Antunes, 2013).

Estas potencialidades são descritas ao longo deste capítulo.

### 3.2. Modelo tridimensional – BIM 3D

A introdução pelo BIM de modelos 3D paramétricos oferece várias vantagens comparativamente com as abordagens 2D tradicionais, permitindo a produção e atualização de cortes, alçados, plantas e pormenores de forma consistente, possibilitando a extração automática de listas de quantidades de materiais e permitindo uma larga gama de atividades analíticas, tais como: verificação de normas e regulamentos, análises estruturais ou análises de eficiência energética (Figura 3.4). Além disso, dadas as suas características, são facilmente detetáveis as incompatibilidades e conflitos entre os vários elementos que compõem cada uma das especialidades tornando clara a interdependência que existe entre as estruturas, a arquitetura e as várias instalações, integrando tecnologicamente todos os projetistas (Lino, Azenha, & Lourenço, 2012).

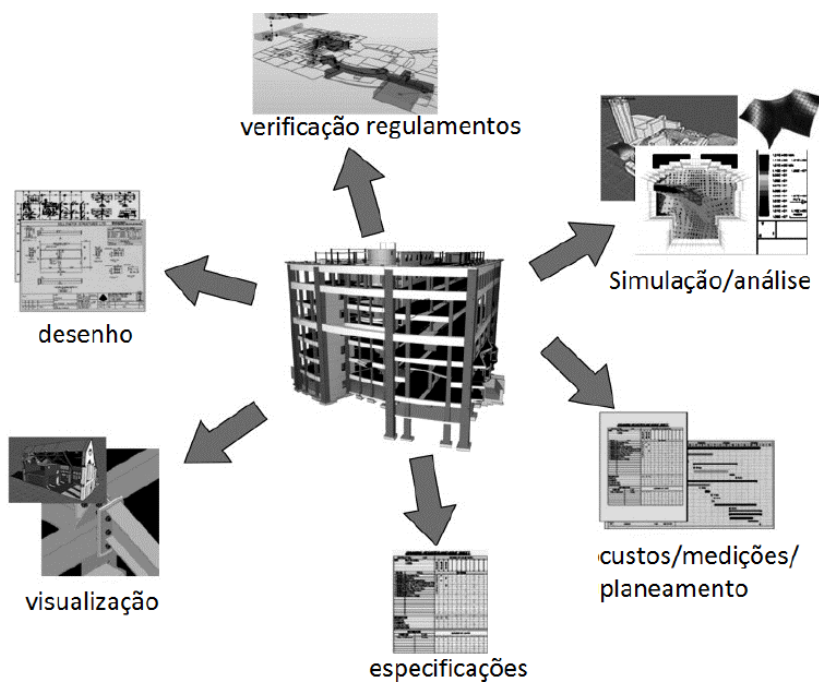


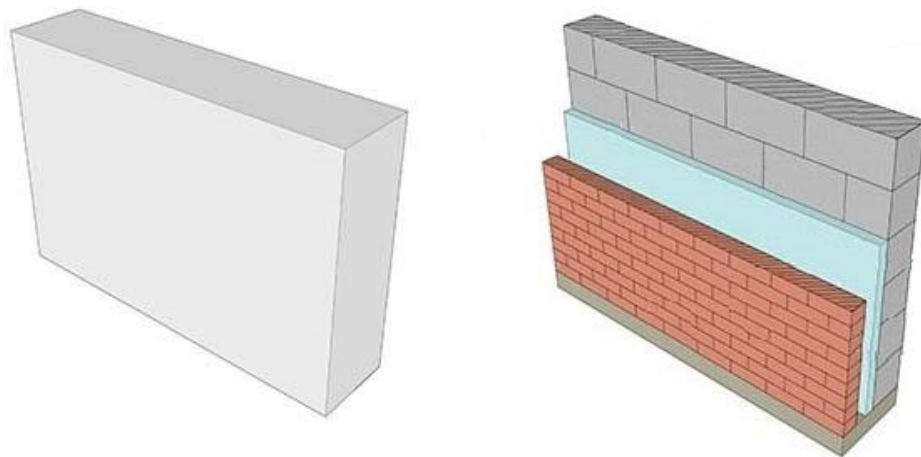
Figura 3.4 – Potencialidades dos modelos paramétricos BIM 3D

A modelação desenvolve-se recorrendo a bibliotecas ou famílias de elementos, editáveis por cada utilizador. A criação de bibliotecas pré-definidas para cada projeto garante a compatibilidade do modelo com os materiais e processos de construção pretendidos para cada obra, o que aumenta significativamente a semelhança do modelo com o produto final e reduz as incompatibilidades e ajustes necessários entre o projeto de conceção e o projeto de execução (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011).



Durante a elaboração de modelos BIM 3D, os responsáveis pela modelação do projeto devem ter em conta que o trabalho que estão a desenvolver irá ser utilizado posteriormente pelas equipas de planeamento, orçamentação, e outras. Desta forma, a modelação deve seguir regras que permitam uma melhor cooperação entre todos (Baptista, 2015). Um dos aspetos mais importantes na modelação de um projeto BIM é o nível de detalhe que o modelo deve ter, estando este diretamente relacionado com as funcionalidades que se pretendem. Por exemplo, para o estudo da viabilidade e estimativa de custos gerais é suficiente um modelo com pouco detalhe, sendo o mais importante a volumetria espacial dos elementos que o compõem, permitindo a determinação de parâmetros como o volume, localização e orientação. No entanto, quando crescem as exigências em relação ao projeto, isso obriga a uma modelação com um LOD elevado. Assim, se o modelo for utilizado, por exemplo, para o orçamento rigoroso do projeto (BIM 5D), é necessário que o modelo seja suficientemente detalhado, incluindo preferencialmente todos os materiais, custos e dimensões que o compõem de forma a fornecer listas de quantidades e materiais rigorosas.

Este problema pode ser demonstrado através da modelação de uma parede de duas formas distintas, tal como se pode observar na Figura 3.5. Na primeira abordagem, a modelação pode ser feita através da simples representação da sua forma e volume, em que visualmente a parede é um todo. Na segunda, a parede pode ser modelada através da definição de cada camada, sendo cada um dos seus componentes objeto de modelação. Tendo em conta a arquitetura, as diferenças entre as duas abordagens praticamente não existem. No entanto, relativamente à gestão do projeto, apenas a segunda abordagem permite o controlo de custos e o seu planeamento rigoroso uma vez que as diferentes camadas da parede implicam custos por material e diferentes tempos de execução (Baptista, 2015).



**Figura 3.5 – Diferenças entre o nível de detalhe na modelação de uma parede**

A elaboração de um modelo tridimensional permite uma maior aproximação à realidade facilitando, assim, a obtenção de um produto coerente com os requisitos inicialmente solicitados e a comunicação entre os diversos intervenientes no processo construtivo, reduzindo a ocorrência de erros e os custos do projeto (Sá, 2014). Na Figura 3.6 é demonstrada esta potencialidade das ferramentas BIM, ilustrando à esquerda, uma visualização tridimensional (3D) de um modelo e, à direita, o resultado final alcançado.



**Figura 3.6 – Projeto de arquitetura da empresa CNLL de uma moradia localizada em Braga (2008)**

Outra capacidade do modelo digital virtual é a possibilidade de conter uma série de informações relacionadas com outros parâmetros como os catálogos de fabricantes (Monteiro & Martins, *Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação*, 2011). Devido a essa potencialidade do modelo para armazenar informação, não estando limitado apenas à representação 3D da arquitetura, os modelos BIM revelam-se uma ferramenta excelente em operações de manutenção e conservação. O facto de toda a informação relativa à edificação estar acessível através de uma só plataforma garante a fiabilidade, rapidez e precisão na consulta da informação. Deste modo, têm-se operações de manutenção e conservação também elas mais fiáveis, rápidas e precisas (Martins & Cachadinha, 2012).

Um outro aspeto inovador do BIM consiste na deteção automática de erros no projeto, identificando os conflitos existentes antes do início dos trabalhos. Esta funcionalidade é explanada no subcapítulo seguinte.

### 3.2.1. Detecção de erros e omissões de projeto

A deteção de erros e interferências nos projetos de construção é, tradicionalmente, feita através da sobreposição e análise dos desenhos 2D correspondentes aos projetos das várias especialidades. Este método manual está sujeito a erros e revela-se um processo moroso e dispendioso (Antunes, 2013).

Existem vários *softwares* BIM que permitem detetar erros e omissões nos projetos de construção (Figura 3.7), oferecendo diversas vantagens comparativamente com o método tradicional. Estas ferramentas possibilitam a deteção automática de erros e conflitos na geometria segundo regras previamente definidas pelo utilizador. É possível selecionar os elementos que se pretende inspecionar e, no caso do modelo colaborativo onde estão agrupados os vários modelos de cada especialidade, é possível uma deteção seletiva das incompatibilidades entre modelos específicos como, por exemplo, entre os elementos que compõem o modelo estrutural e os que constituem o modelo correspondente às redes prediais.

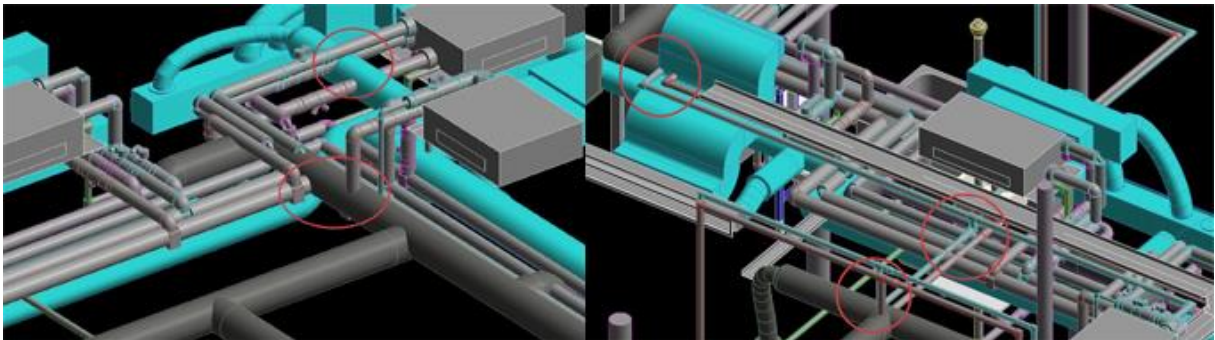


Figura 3.7 – Deteção automática de erros e omissões de projeto

Independentemente da complexidade do modelo BIM, o nível de detalhe do modelo é determinante para a deteção eficaz de conflitos no modelo. Logo, é necessário assegurar que o modelo contempla detalhe suficiente, de modo a que as interferências possam ser eficientemente detetadas (Antunes, 2013).

É importante referir que existem erros de projeto que podem ser irrelevantes, se detetados antecipadamente, uma vez que podem ser facilmente resolvidos. No entanto, no caso de esses erros apenas serem identificados durante o desenvolvimento da obra, podem resultar em elevados custos na sua resolução e atrasar todo o processo construtivo (Antunes, 2013).

### 3.3. Planeamento construtivo – BIM 4D

O planeamento construtivo é uma atividade que ao longo dos anos tem adquirido uma importância crescente, uma vez que o não cumprimento dos prazos previamente estabelecidos pode resultar em multas elevadas. Desta forma, o planeamento adquire um caráter fundamental, pois é necessário que os objetivos estipulados sejam cumpridos, através de uma boa estratégia prévia e cuidadosamente planificada (Sá, 2014).

O planeamento e calendarização da construção englobam a sequência de atividades no espaço e no tempo, tendo em conta a alocação e aquisição de recursos, quantidades, restrições espaciais, entre outros (Antunes, 2013). No fundo, planear é decompor a obra em “tarefas” ou “atividades” elementares e definir para cada uma, datas de início e fim e folgas de realização (Barbosa, 2014).

Os *softwares* mais utilizados para comunicar com os intervenientes e gerar relatórios referentes ao plano de trabalhos traçado são o Microsoft Office Project, Primavera Sure Trak ou P3 (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

A simulação gráfica da construção de uma obra é normalmente obtida através da descrição das várias atividades segundo uma ordem cronológica recorrendo a um cronograma/ diagrama de Gantt. No entanto, a relação entre as tarefas identificadas resulta apenas de uma sugestão. Atualmente, é utilizado o diagrama CPM (*Critical Path Method* ou Caminho Crítico em português) que permite identificar quais as atividades críticas que podem condicionar o prazo final da obra (Antunes, 2013). Estes dois métodos de planeamento constituem objeto de uma descrição sucinta.

- **Diagrama de Gantt ou diagrama de barras**

O diagrama de Gantt consiste num gráfico, conforme a Figura 3.8, onde o eixo das abcissas representa o tempo e o eixo das ordenadas representa os recursos, sendo cada atividade representada graficamente consoante a sua duração.

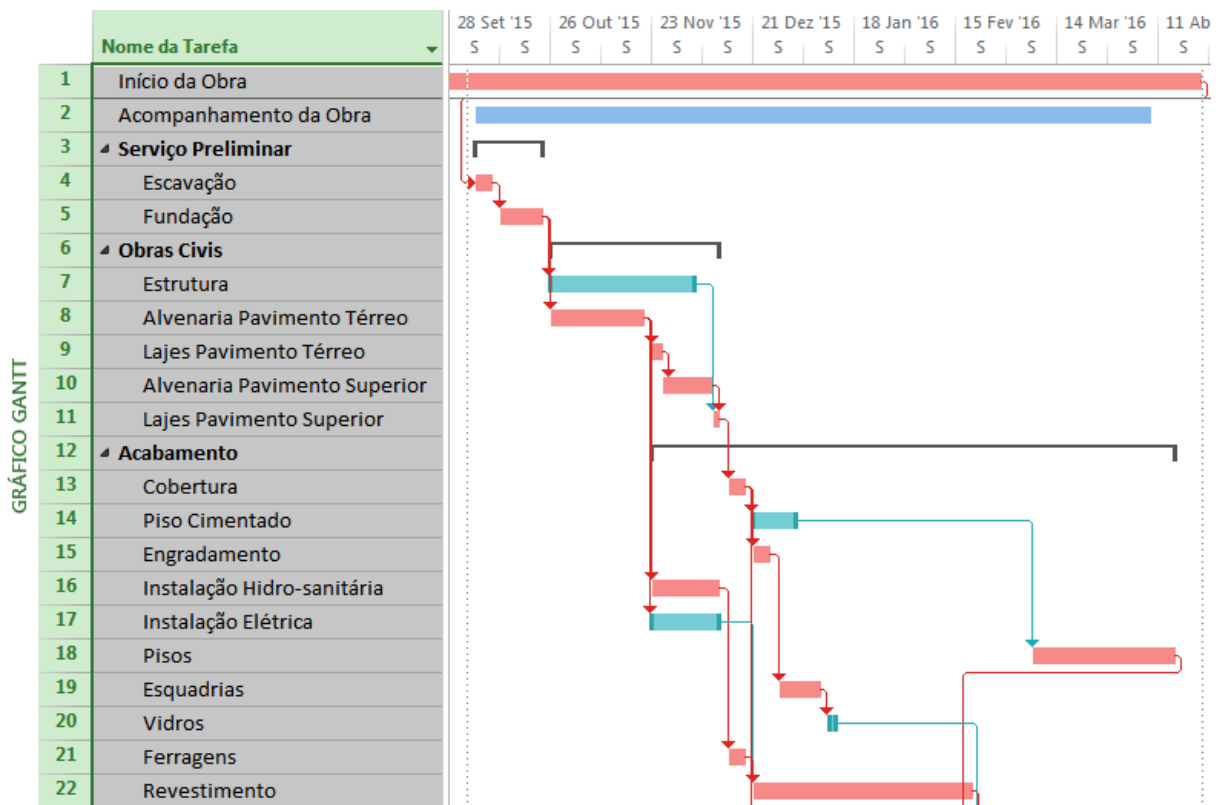


Figura 3.8 – Diagrama de Gantt

A maior vantagem resultante da utilização deste método de planeamento é a facilidade de leitura e utilização em obra, uma vez que o início e o fim de cada tarefa é facilmente identificado. Como principal debilidade, pode destacar-se o facto de não demonstrar as inter-relações entre as atividades. No diagrama de Gantt não é possível observar o impacto que um atraso terá na duração total da obra ou nas tarefas subsequentes. Tais impactos apenas são visíveis em diagramas de rede, logo a sua utilização em obras complexas ou de grandes dimensões é imprescindível (Barbosa, 2014).

- **Diagramas de rede (PERT e CPM)**

O método do caminho crítico (CPM) é a técnica mais comum no planeamento das atividades construtivas. Trata-se de um simples processo de encadeamento de atividades, onde é estabelecida a sucessão lógica e especificadas as relações de dependência entre as mesmas (Sousa & Monteiro, 2011). Este tipo de diagramas permite observar essas mesmas dependências (Figura 3.9) e, através da combinação das diferentes relações entre elas e respetivas durações, torna-se possível determinar qual o melhor caminho a seguir (Barbosa, 2014).

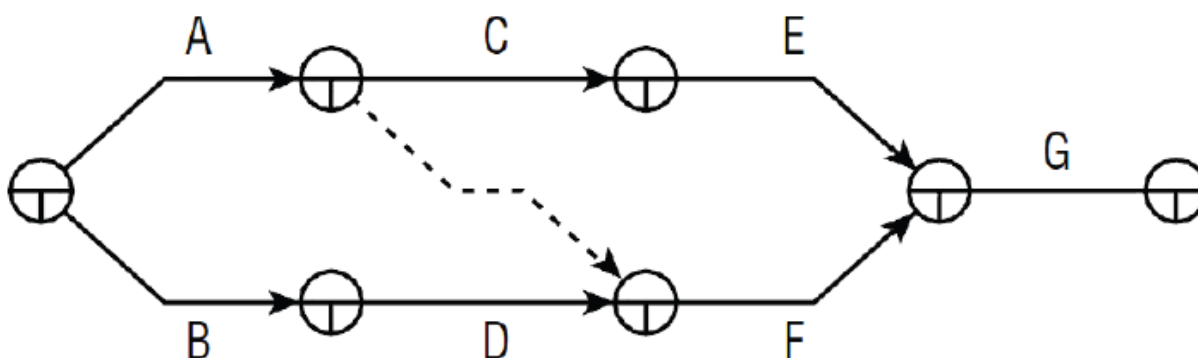


Figura 3.9 – Diagrama de rede

No entanto, estes métodos não permitem relacionar a configuração espacial com o programa de trabalhos. O planeamento, segundo estas abordagens, torna-se num tarefa morosa e, muitas vezes, as atividades não são coincidentes com o projeto de conceção. Por outro lado, suscita dificuldades aos intervenientes da obra no que se refere ao entendimento da calendarização e ao encadeamento das atividades definidos e qual o seu impacto na logística no local da obra. Assim, apenas algumas pessoas totalmente familiarizadas com o projeto e com o modo de como será construído podem avaliar se o planeamento é exequível e plausível (Antunes, 2013).

Para colmatar estas lacunas dos métodos tradicionais, a tecnologia evoluiu para um processo de BIM 4D, trazendo uma nova abordagem ao planeamento construtivo.

A quarta dimensão de um modelo BIM permite retratar o ciclo de vida da construção, estratificando o modelo por fases de execução da construção, proporcionando uma visão única da evolução do edifício ao longo do tempo (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011).

A simulação gráfica da construção da obra no tempo é alcançada através da ligação das diferentes fases de execução da obra aos diversos elementos construtivos do modelo, tornando



assim, possível a visualização do processo de construção em qualquer ponto no tempo. A modelação 4D permite a simulação e avaliação do projeto de construção, em que o resultado são filmes ou simulações virtuais do cronograma da construção (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Associação do modelo 3D à sequência temporal das atividades da construção

O BIM 4D tem sido bastante utilizado por projetistas, engenheiros e equipas de direção técnica de obra na análise e visualização de projetos como forma de apoio à decisão, na análise de viabilidade de projetos e nas operações de construção, para desenvolver estimativas e gerir recursos e para comunicar e colaborar com clientes e outros *stakeholders* (Sousa & Monteiro, 2011).

A simulação 4D serve principalmente como instrumento de comunicação, melhorando a cooperação entre os vários intervenientes. Esta forma de planear permite, a qualquer altura, rever as simulações, garantindo a viabilidade e eficiência do planeamento (Barbosa, 2014).

Devido à necessidade de evoluir tecnologicamente, os vários fornecedores de *software* começaram a desenvolver ferramentas destinadas à produção de modelos BIM 4D. Atualmente,

estas ferramentas encontram-se em constante desenvolvimento com o objetivo de permitir a produção de relatórios de forma automatizada.

### 3.3.1. Orientações para a utilização de ferramentas BIM 4D

Para a implementação do BIM 4D a partir de um modelo BIM 3D é normalmente utilizado o processo ilustrado na Figura 3.11. Nesta abordagem, o modelo 3D elaborado pelas equipas de projeto é introduzido na ferramenta BIM 4D onde os elementos são agrupados e organizados. O programa de trabalhos é inserido manualmente na própria ferramenta ou através da importação do ficheiro que contém as várias atividades e respetivas durações do programa de trabalhos. Posto isto, são associados manual ou automaticamente todos os elementos às tarefas do grupo de trabalhos criando, assim, o modelo BIM 4D.

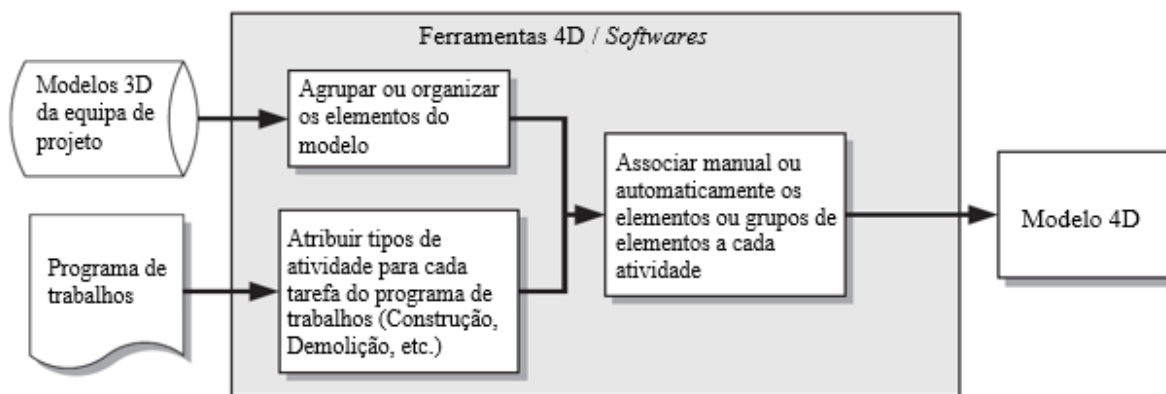


Figura 3.11 – Processo da ferramenta BIM 4D (adaptado de Eastman, et al., 2011)

Embora este seja o processo atualmente mais utilizado no planeamento das atividades construtivas, o sistema e mecanismo do processo de planeamento varia consoante os *softwares* utilizados.

Segundo Eastman, et al., 2011, há várias questões e orientações que devem ser tidas em conta no desenvolvimento de modelos 4D:

- **Âmbito do modelo**

Se o modelo for desenvolvido apenas para a entrega de proposta na fase de concurso, este terá uma duração relativamente curta. Assim, o nível de detalhe apropriado para o modelo depende do que o cliente tenha solicitado. No caso de se pretender utilizar o modelo durante toda a execução do projeto, este deve ser devidamente detalhado. Normalmente as equipas



de projeto começam pela modelação da envolvente dos edifícios sendo progressivamente adicionados mais detalhes ao modelo (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

- **Nível de detalhe**

O nível de detalhe do modelo é dependente do tamanho do modelo, do tempo previsto para a sua elaboração e dos detalhes críticos que precisam de ser comunicados. O Gestor de Projeto pode utilizar um único objeto para representar várias atividades de construção. Por exemplo, a secção de uma parede simples pode ser utilizada para mostrar a colocação de armadura, cofragem, betonagem e acabamentos das paredes (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

- **Reorganização**

A ferramenta 4D permite que os profissionais da AEC possam reorganizar ou criar grupos personalizados dos objetos geométricos do modelo. Esta capacidade de reorganizar é uma característica importante para o desenvolvimento de um modelo 4D flexível (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

- **Componentes temporários**

No modelo de construção, também deve constar as estruturas e atividades temporárias no processo de construção, por exemplo: detalhes de escavação, andaimes, gruas e outros recursos que fazem parte da construção. A integração destas estruturas temporárias ajuda aos gestores do projeto avaliar a segurança e questões de construtibilidade em relação ao espaço para os recursos (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

- **Decomposição e agregação**

Durante o desenvolvimento do modelo 4D, pode ser necessário dividir os objetos em pequenas secções para mostrar como serão construídos. Por exemplo, uma laje de grandes dimensões deve ser dividida em secções menores para que seja representado a betonagem por fases. Este é um problema comum que os profissionais encontram no desenvolvimento do 4D. A maioria dos *softwares* especializados para o 4D não fornecem esta funcionalidade, sendo necessário recorrer à ferramenta 3D onde o modelo foi elaborado (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

- **Propriedades de agendamento (*Schedule Properties*)**

O modelo 4D utiliza muitas vezes o início e o fim para simular o processo de construção. No entanto, podem ser exploradas outras datas para ver o efeito na simulação (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

### 3.4. Estimativa de custos – BIM 5D

Os fatores de maior importância do ciclo de vida de uma empreitada são, incontestavelmente, os custos e os prazos, tornando-se essencial ter um controlo sobre os mesmos (Barbosa, 2014).

Segundo Babo (2008), o orçamento para obras de construção civil são estimativas de custos com que determinada entidade se compromete a executar a empreitada. O controlo de custos deve ser idealmente realizado desde o início de uma obra até à sua fase final, tendo como objetivo principal a previsão dos resultados finais da obra. Essa previsão deve ser progressivamente melhorada à medida que a obra decorre e se obtém informação mais credível.

Tradicionalmente, a extração das quantidades envolve a seleção individual de cada elemento nos desenhos CAD e a determinação das suas dimensões. Posteriormente, são introduzidas essas quantidades de forma manual na lista dos itens e materiais envolvidos no projeto. Neste processo, além de ser exigido um desperdício substancial de tempo aos profissionais, os resultados obtidos estão sujeitos a erros e omissões por se tratarem de operações manuais (Barbosa, 2014).

Daqui surge a quinta dimensão de um modelo BIM que consiste em integrar o custo do Projeto no modelo 3D da empreitada (Figura 3.12). A capacidade de atribuir valores aos elementos do edifício permite apoiar e agilizar os processos de orçamentação. Esta funcionalidade tira partido da extração automática de quantidades, diminuindo os erros de medição e a propagação de inconformidades e assegurando estimativas de custos mais coerentes com o estado atual do projeto comparativamente com os métodos convencionais (Monteiro & Martins, Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação, 2011).

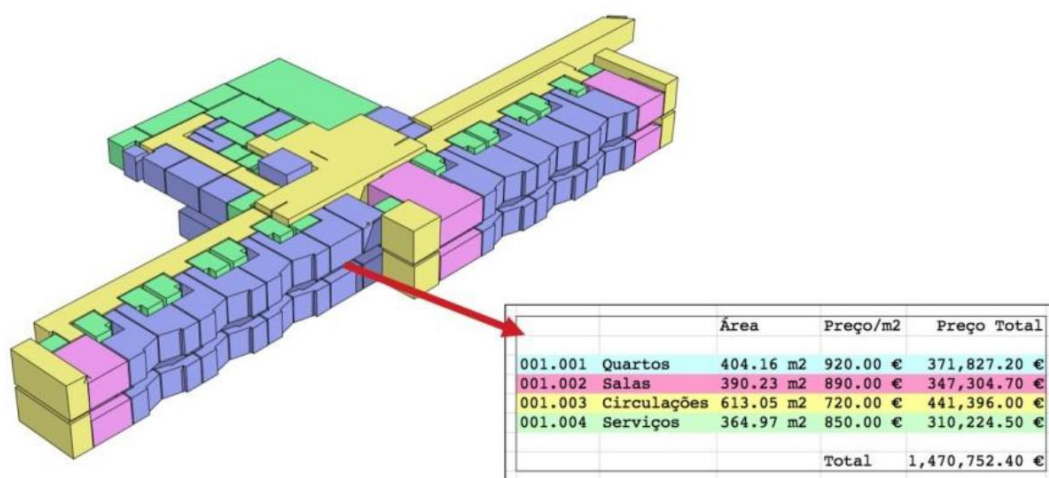


Figura 3.12 – Exemplo da estimativa orçamental por meio de uma ferramenta BIM

Na Figura 3.13, é ilustrada a forma como o processo BIM 5D se realiza. Por exemplo, para realizar o orçamento de um pilar é necessário conhecer as quantidades dos vários componentes, nomeadamente, da armadura, da cofragem, do betão e dos revestimentos. Para além da quantificação dos vários componentes, para o cálculo do custo final da construção do pilar é necessário conhecer os recursos, os equipamentos, a mão-de-obra e os materiais envolvidos.

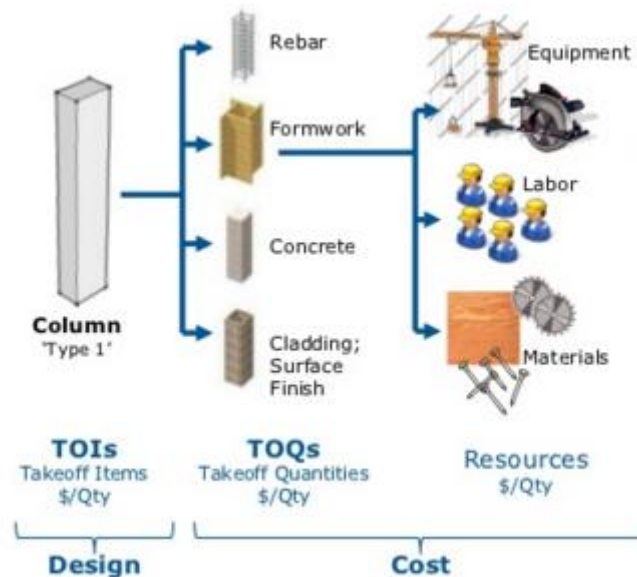


Figura 3.13 – Processo integrado do BIM 5D (Vico Office)

A metodologia BIM simplifica muito o desenvolvimento de estimativas de custos provisórios. Estando estas estimativas de custos dependentes das dimensões geométricas como as áreas, volumes e perímetro, é importante iniciar o modelo do projeto em *software* BIM, pois este permite a extração de quantidades de forma mais rápida e mais correta, permitindo uma estimativa de custos mais aproximada. No subcapítulo seguinte são descritas as diferentes formas de efetuar uma estimativa de custos utilizando as listas de quantidades retiradas de modelos BIM.

### 3.4.1. Obtenção automática de mapas de quantidades

O BIM permite a extração expedita de listas de quantidades e materiais detalhadas automaticamente, à medida que o projeto é elaborado. Grande parte das ferramentas BIM possui a funcionalidade de extração de quantidades de elementos, de áreas e de volume de espaços e de materiais, sendo estas quantidades mais do que suficientes para produzir estimativas de custo aproximadas.

Para que a estimativa de custos do projeto seja o mais rigorosa possível, é necessário modelar o projeto com o nível de detalhe adequado. Por exemplo, o *software* BIM pode fornecer a quantidade exata de betão nos pilares, mas se o modelo não incluir a modelação das armaduras nos pilares, as listas de quantidades destes elementos não serão obtidas.

A elaboração de estimativas de custo através do BIM carece da introdução do custo de cada elemento no modelo 3D. Comparativamente com a estimativa de custos manual através dos desenhos 2D, a adoção do BIM nesta tarefa permite uma maior rapidez em todo o processo bem como a redução de possíveis erros e omissões (Figura 3.14).



Figura 3.14 – Capacidade do BIM em obter mapas de quantidades automáticos em oposição ao método tradicional de medições.

No entanto, nenhuma ferramenta BIM oferece as capacidades totais de uma folha de cálculo. Logo, os orçamentistas devem adotar o método que melhor se adequa ao seu processo de estimar o custo da obra.

De acordo com Eastman, et al., 2011, existem três métodos possíveis para a implementação do BIM 5D, extração de quantidades e apoio no proceso de estimativa de custos:

### **1. Exportar a lista de quantidades do modelo para um *software* externo**

A maioria das ferramentas BIM disponíveis no mercado permitem a exportação dos mapas de quantidades dos objetos para *softwares* externos (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011). O Microsoft Excel é a ferramenta de estimativa de custos mais utilizada na realização de orçamentos. Assim, os orçamentistas podem extrair quantidades do BIM para uma folha de Excel, e facilmente fazer estimativas mais precisas para o projeto. No entanto, esta abordagem requer configuração e a adoção de um processo padrão para a modelação (Barbosa, 2014).

### **2. Ligar uma ferramenta BIM diretamente ao *software* estimativa de custos**

A segunda alternativa permite ligar o BIM a uma ferramenta de estimativa de custos através de um *plug-in* ou de um *software* adicional. Muitos dos *softwares* de orçamentação possuem um *plug-in* para várias ferramentas BIM. Os profissionais serão capazes de usar as regras de medição e calcular as quantidades de cada elemento, sendo estes *softwares* capazes de associar os objetos do modelo de construção diretamente com uma base de dados externa de custos unitários. Como resultado, todas as informações necessárias para desenvolver uma estimativa de custos ficam disponíveis (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011). A grande lacuna encontrada neste tipo de processo refere-se à grande variedade de *softwares* disponíveis, o que dificulta o trabalho do projetista este utiliza um *software* diferente do empreiteiro (Barbosa, 2014).

### **3. Utilizar uma ferramenta de Quantity Takeoff**

A terceira alternativa está relacionada com a utilização de uma ferramenta especializada em extração de quantidades que importa dados de várias ferramentas BIM. Este método permite aos profissionais utilizar especificamente esta ferramenta sem ter que aprender todas as funcionalidades das ferramentas BIM. Estas ferramentas possuem diferentes níveis de extração de quantidades, automaticamente e manualmente. Por vezes, é necessário a utilização da combinação de ambos, ferramentas manuais e automáticas, para apoiar a vasta gama de extração. Algumas ferramentas fornecem um modelo visual de todos os objetos do modelo, destacando a cores os elementos que foram esquecidos de inserir na quantificação (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).



## 4. CASO DE ESTUDO

Este capítulo refere-se à aplicação prática dos conhecimentos adquiridos relativamente à utilização de ferramentas BIM na gestão de projetos de construção.

Inicialmente é feita uma pequena introdução ao projeto utilizado como caso de estudo, bem como uma pequena referência à empresa MPM Construção e Engenharia Lda. que disponibilizou toda a informação relativa ao projeto.

Em seguida, é descrita a metodologia de trabalho implementada na aplicação prática das dimensões BIM a um caso de estudo, bem como, os *softwares* utilizados.

Relativamente ao BIM 3D, estão incluídos no subcapítulo 4.5 os processos que permitiram a conceção do modelo do projeto de execução no *software* Revit, uma comparação entre os alçados obtidos automaticamente no modelo com os alçados realizados em AutoCad, os resultados das vistas 3D do modelo e, finalmente, é analisada a deteção automática de interferências no Revit.

Quanto à abordagem ao planeamento construtivo, utilizando o Navisworks, no subcapítulo 4.6 descrevem-se a exportação do Revit para o Navisworks, a deteção automática de interferências e o faseamento construtivo propriamente dito.

Por último, no subcapítulo 4.7 é feita uma abordagem às estimativas de Custo do projeto utilizando o Microsoft Excel e recorrendo à extração automática de quantidades a partir do Revit.

## 4.1. Sobre a Empresa

A MPM Construção e Engenharia Lda. é uma empresa jovem e dinâmica cuja atividade principal se desenvolve no setor da construção civil e obras públicas. Tem uma equipa composta por técnicos especializados e com experiência nas áreas da arquitetura, engenharia e gestão e conta com parceiros nas diversas áreas associadas ao processo construtivo. O *core business* (negócio principal) da empresa é a execução de empreitadas privadas e públicas em todos os setores de atividade, seja construção nova ou reabilitação. A MPM presta serviços especializados de arquitetura, engenharia, acompanhamento e fiscalização de obras, avaliação imobiliária, formação profissional e consultoria técnica. A empresa está sediada em Celorico de Basto, desenvolve a sua atividade em todo o país, com maior incidência na região norte.



**Figura 4.1 – Logótipo da empresa MPM Construção e Engenharia Lda.**



## 4.2. Descrição do Projeto

O projeto que servirá como caso de estudo diz respeito a uma moradia unifamiliar, localizada em Arnoia, lugar da Taipa, concelho de Celorico de Basto. Na Figura 4.2 está representado o local de implementação da mesma.



Figura 4.2 – Local de Intervenção da moradia

O local de implantação da moradia apresenta um certo declive, com uma cota superior ao arruamento. A área da parcela (rústico) é de 2200 m<sup>2</sup>, sendo a área de implantação da habitação de 241 m<sup>2</sup>.

A moradia será composta por apenas um piso (rés-do-chão), com uma tipologia T3 (dois quartos e suite), hall de entrada, sala comum, cozinha, lavandaria, instalação sanitária completa, arrumos e garagem (Figura 4.3).

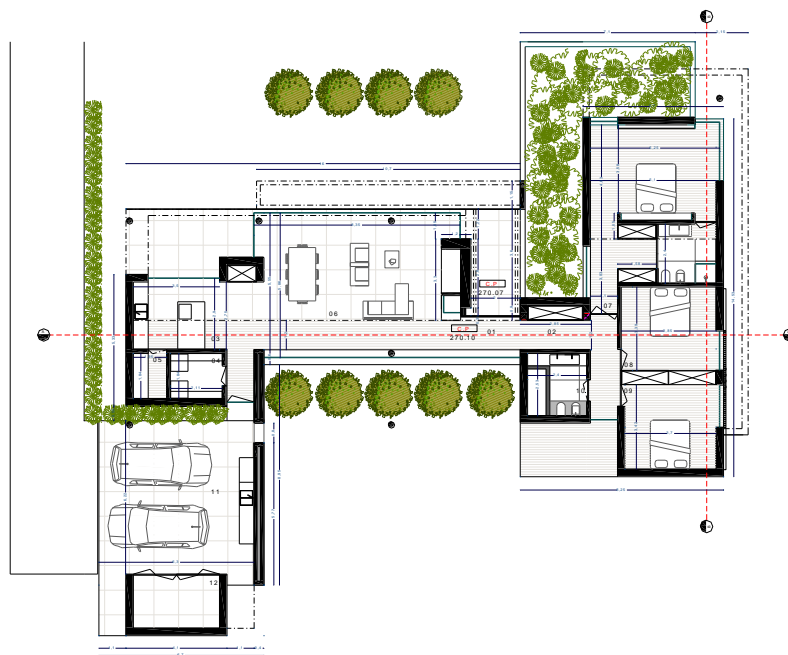


Figura 4.3 – Planta do rés-do-chão da moradia



**Figura 4.4 – Render do modelo de arquitetura do projeto**

### **Conceção estrutural**

A solução estrutural adotada no projeto preconiza uma estrutura de betão armado com alvenarias confinadas, constituídas por porções de alvenaria simples delimitadas em todo o perímetro por lintéis de travamento ou por montantes de betão armado. A estrutura portante será constituída por pórticos de betão armado, onde apoiarão lajes pré esforçadas aligeiradas, lajes maciças e piso térreo.

Em todas as lajes aligeiradas de vigotas pré esforçadas são adotadas as disposições construtivas habituais, relativas às armaduras de distribuição, tarugos, faixas maciças e respetivas armaduras nos apoios.

As fundações são diretas, efetuadas por sapatas de betão armado, sendo ajustadas as dimensões e armaduras das sapatas consoante a natureza do terreno.

### **Materiais**

Os materiais a utilizar serão o betão C20/25 EC2 para todos os elementos estruturais interiores ou exteriores quando protegidos; o aço em armaduras será A400NR (varões) e A500EL (redes electrosoldadas). Nas zonas enterradas deverá ser utilizado produto com propriedades hidrofogantes para se obter uma proteção eficaz contra a corrosão das armaduras, devendo ainda executar-se uma pintura asfáltica das suas superfícies.

### 4.3. Metodologia Implementada

A Metodologia utilizada no presente caso prático está ilustrada na Figura 4.5.

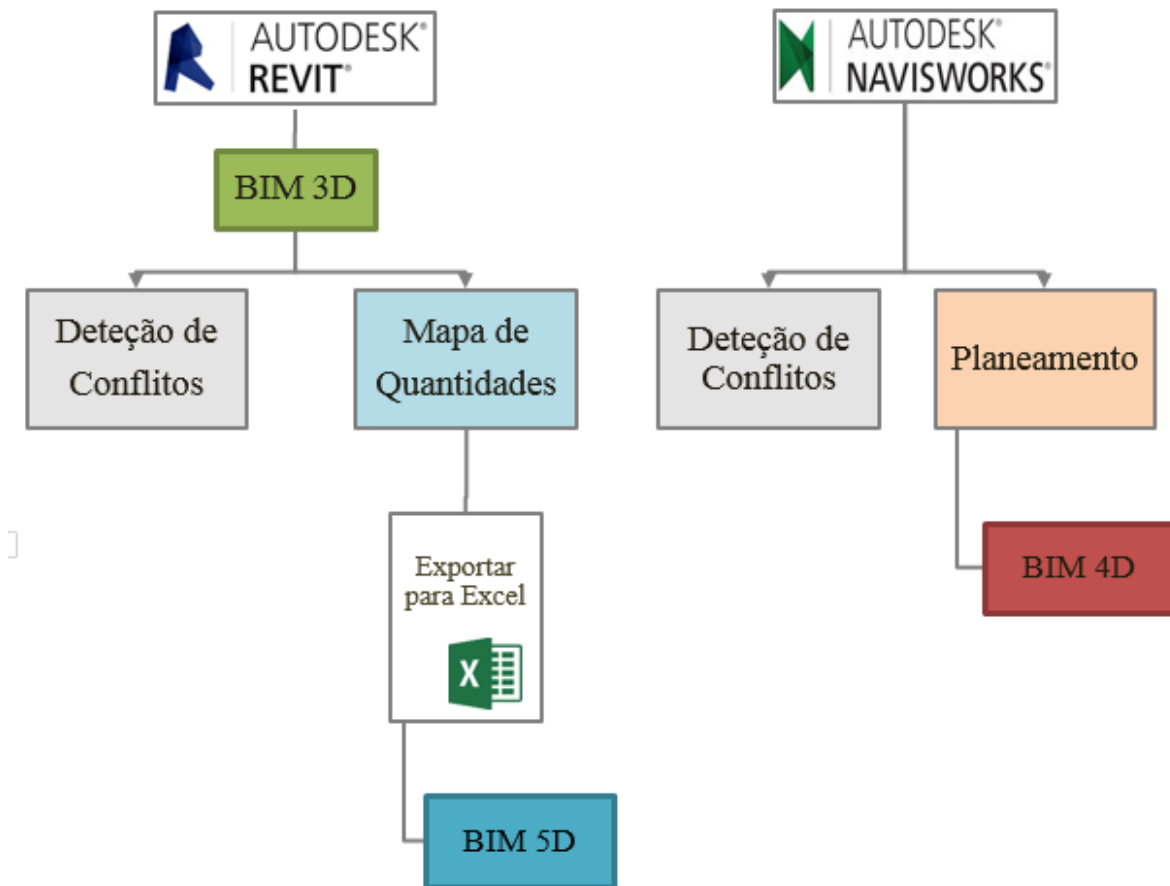


Figura 4.5 – Esquema relativo à metodologia implementada no caso de estudo

A metodologia utilizada para analisar as funcionalidades BIM para o faseamento construtivo e orçamentação, recorrendo a um caso de estudo, pode ser dividida em três fases:

A primeira fase, descrita no capítulo 4.5, contempla a execução do projeto estrutural da moradia – BIM 3D. O modelo, elaborado no *software* Autodesk Revit, tem como *inputs* as plantas em AutoCad fornecidas pela empresa MPM Construção e Engenharia Lda. Os *outputs* desta fase são a deteção de interferências e a obtenção de mapas de quantidades. Este modelo serve também como base para as fases posteriores.

A segunda fase está relacionada com o planeamento construtivo do projeto (BIM 4D) realizado no programa Navisworks da Autodesk. Após a exportação do modelo 3D do Revit para o Navisworks, são detetados os conflitos no Navisworks e comparados os resultados obtidos com as interferências encontradas no Revit, na primeira fase. Passando ao planeamento construtivo

propriamente dito, serão introduzidas todas as tarefas relativas à conceção estrutural do projeto, bem como as suas durações formando, assim, o diagrama de Gantt referente ao planeamento do projeto. As durações das tarefas inseridas inicialmente serão as planeadas pela empresa e, posteriormente, serão introduzidas as durações reais da obra para comparação. Para a criação do modelo 4D serão conectados os elementos do modelo com cada uma das tarefas. Esta fase encontra-se descrita no capítulo 4.6.

Na terceira e última fase, será abordada a metodologia BIM 5D, efetuando o orçamento da empreitada através dos mapas de quantidades fornecidos pelo *software* Revit. Os mapas de quantidades serão exportados do Revit para o Excel e serão comparados com as quantidades calculadas através de métodos tradicionais, pelo Engenheiro da empresa MPM Construção e Engenharia Lda. A descrição desta última fase está inserida no capítulo 4.7.

#### 4.4. Descrição dos *Softwares* utilizados e o objetivo da sua utilização

Tal como foi referido no subcapítulo anterior, para o desenvolvimento do caso de estudo foram utilizados os seguintes *softwares*: Autodesk Revit Structure 2016 para a conceção do modelo estrutural do projeto (BIM 3D); Navisworks Manage 2016 da Autodesk para o faseamento construtivo do projeto (BIM 4D) e o Excel da Microsoft, utilizando os mapas de quantidades retirados do Autodesk Revit Structure 2016 para o controlo de custos da empreitada (BIM 5D).

A opção por estes *softwares* esteve diretamente relacionada com os seguintes fatores:

- i. Facilidade de obtenção de licenças académicas;
- ii. Facilidade de aprendizagem dos *softwares* com base em informação disponível na internet (tutoriais no site do próprio *software*, nomeadamente no site da Autodesk, outros vídeos de apoio e documentos de suporte);
- iii. Conhecimento prévio das potencialidades das aplicações;
- iv. Disponibilidade de tempo para analisar as múltiplas aplicações existentes;
- v. Interoperabilidade entre *softwares*. Por este facto, optou-se por escolher a mesma *software house* para o *software* de modelação e planeamento da construção, sendo ambos da *Autodesk*.

Nos subcapítulos que se seguem são descritas cada uma das aplicações utilizadas.

##### 4.4.1. Autodesk Revit Structure 2016

O *software* Revit, utilizado em projetos de construção, foi concebido especificamente para Modelos de Informação da Construção (BIM). Foi introduzido pela Autodesk em 2002 depois de a empresa ter adquirido o programa numa *start-up*. O Revit Architecture é o mais conhecido e, atualmente, líder de mercado nos projetos de arquitetura utilizando modelos BIM.

O Revit disponibiliza funcionalidades para projetos de arquitetura, MEP e engenharia de estruturas e construção. Inclui interfaces de gbXML para simulações energéticas e análises de carga; interfaces diretas com *softwares* de análise estrutural como o ROBOT e RISA e a capacidade de importar modelos do Sketchup (ferramenta de projeto conceptual) e de outros sistemas que exportam ficheiros em formato DXF. As interfaces de visualização incluem: DGN, DWG, DXF™, IFC, SAT, SKP, AVI, ODBC, gbXML, BMP, JPG, TGA, e TIF (Figura 4.6).

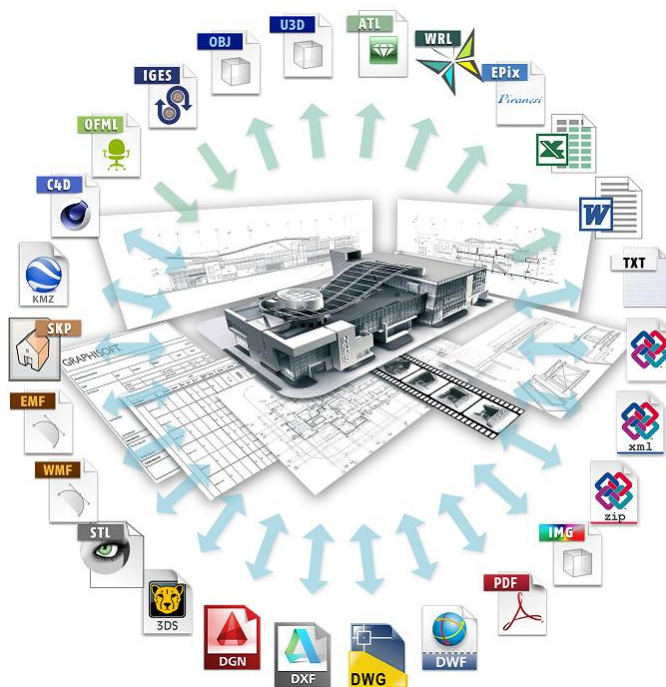


Figura 4.6 – Interfaces do *software* Autodesk Revit

**Mais-valias do Revit:** é relativamente fácil de aprender e as suas funcionalidades estão organizadas numa interface intuitiva e agradável para o utilizador. Tem um amplo conjunto de bibliotecas de objetos desenvolvidos por terceiros. É a interface preferida para interfaces de ligação direta devido à sua posição no mercado. O facto de suportar desenhos bi-direcionais permite a geração e gestão da informação com base em atualizações das vistas dos desenhos e do modelo de informação, suporta operações simultâneas no mesmo modelo e inclui uma excelente biblioteca de famílias de objetos.

**Fragilidades do Revit:** por ser um Sistema “in-memory”, em projetos maiores do que cerca de 220 megabytes, fica significativamente lento. Tem certas limitações no que diz respeito a regras paramétricas relacionadas com ângulos. O Revit também não suporta superfícies curvas complexas, o que limita a sua capacidade de apoiar um projeto com esse tipo de superfícies.

#### 4.4.2. Autodesk Navisworks Manage 2016

O *software* Navisworks Manage 2016 da Autodesk é uma ferramenta de análise, simulação e coordenação da informação de um projeto BIM. O Navisworks Manage permite que os dados multidisciplinares de um projeto possam ser combinados num único modelo, permitindo aos profissionais da AEC detetar, de forma expedita, as interferências existentes e gerir os conflitos. O Navisworks Manage ajuda, assim, os projetistas e os construtores a antecipar e a evitar potenciais problemas antes da construção. A possibilidade de simular o faseamento construtivo é também uma mais-valia do *software* pois fará com que a equipa de profissionais envolvidos no Projeto possa simular antecipadamente as soluções de planeamento, para que assim possa avaliar a viabilidade do mesmo.

No *software* Navisworks, existem três formatos diferentes (Figura 4.7):

##### **NWC (Navisworks Cache File)**

O formato NWC não é geralmente utilizado e o Navisworks não permite salvar um ficheiro neste formato. Por defeito, quando é aberto ou acrescentado um ficheiro CAD ou similar no Navisworks, é criado automaticamente um ficheiro neste formato, com o mesmo nome do ficheiro original e na mesma localização mas com uma extensão “.nwc”.

Os arquivos NWC são mais pequenos do que os originais e aceleram o acesso aos arquivos mais utilizados. Quando é aberto ou acrescentado um ficheiro ao Navisworks, a leitura dos dados é feita a partir do ficheiro em formato cache correspondente, caso esses dados sejam mais recentes do que os dados do arquivo original. Caso contrário, ou seja, se os dados do ficheiro cache forem mais antigos do que os do ficheiro original, o que significa que o arquivo original foi alterado, o Navisworks converte novamente o arquivo original atualizado, criando um novo arquivo cache.

##### **NWF (Navisworks Set File)**

O formato de arquivo NWF contém links para os arquivos do modelo. Assim, nenhum modelo geométrico é guardado neste formato, fazendo com que o tamanho do ficheiro NWF seja consideravelmente inferior ao de um ficheiro NWD.

É altamente recomendável a utilização deste tipo de formato ao trabalhar com projetos 3D que estejam a ser elaborados porque quaisquer atualizações efetuadas no projeto serão refletidas da próxima vez que o ficheiro NWF for aberto.



### **NWD (Navisworks Document File)**

Um ficheiro guardado no formato NWD contém toda a geometria do modelo, assim como todos os dados específicos do *software* Autodesk Navisworks, tais como anotações, vistas, sequências cronológicas e outros. Os arquivos NWD são geralmente mais compactos que os ficheiros CAD originais e podem ser carregados rapidamente no Navisworks.

Quando o projeto está concluído deve ser entregue ao cliente/proprietário, neste ficheiro, uma vez que pode ser lido gratuitamente através do visualizador Navisworks Freedom, não necessitando assim de ter uma licença do Navisworks Manage. Além disso, não é necessário partilhar todos os desenhos, apenas um único arquivo NWD seguro.



**Figura 4.7 – Formatos do *software* Autodesk Navisworks**

### **4.4.3. Microsoft Office Excel 2013**

O Microsoft Office Excel é um poderoso programa de cálculo que permite criar tabelas, calcular e analisar dados. O Excel permite criar tabelas que calculam automaticamente os totais de valores numéricos introduzidos através de funções, imprimir tabelas em esquemas atrativos e criar gráficos simples. Todas as potencialidades que esta ferramenta oferece, fizeram com que se tornasse na ferramenta mais popular e utilizada pelos utilizadores do “mundo digital”.

No caso de estudo desta dissertação, o Excel não era um *software* que se previa utilizar, contudo, numa fase mais avançada teve um papel importante para a criação de estatísticas, para a manipulação dos mapas de quantidades extraídos do Revit e para a elaboração do orçamento.



## 4.5. Criação Do Modelo Virtual – BIM 3D

Este subcapítulo corresponde ao início da componente prática da dissertação. São aqui descritos os processos que permitiram a conceção do modelo do projeto de execução (BIM 3D). Este capítulo descreve, de forma detalhada, a elaboração dos elementos estruturais através do *software* Revit, tendo como *inputs* as plantas em AutoCad 2D fornecidas pela empresa MPM Construção e Engenharia Lda. Posteriormente, são comparadas algumas vistas produzidas no *software* AutoCad fornecidas, com as vistas obtidas automaticamente no *software* Revit. São também comparadas visualmente algumas vistas 3D do modelo Revit com fotografias obtidas na obra.

Relativamente aos *outputs* obtidos nesta fase, estão expostos neste capítulo os que dizem respeito à deteção automática de conflitos. Os mapas de quantidades exportados do Revit apenas serão abordados no subcapítulo 4.7, relativo à estimativa de custos do projeto.

O modelo 3D elaborado apenas inclui a parte estrutural. Para além de se pretender um modelo leve de forma a exportar para os restantes *softwares* de forma eficiente, a moradia em questão apenas teve a parte estrutural concluída a tempo de se poderem comparar os resultados obtidos em obra com os resultados dados pelos *softwares* em análise. Além disso, no modelo não estão incluídas as armaduras, as abobadilhas e outros elementos de pequena dimensão, pois a sua modelação no *software* Revit é bastante morosa, o que iria atrasar o trabalho realizado.

O modelo virtual do projeto teve como premissa as etapas da sua execução, ou seja, foi tido o cuidado de dividir os elementos estruturais no Revit de acordo com as fases de realização, antecipando assim o futuro planeamento do projeto. Por exemplo, os pilares foram divididos no modelo horizontalmente para mais tarde serem associados aos diferentes tempos de betonagem.

### 4.5.1. Criação do Modelo Estrutural

O modelo estrutural inclui os elementos de fundação (sapatas, muretes e pilares), lajes, pilares, vigas e paredes. Para a criação destes elementos foi utilizada apenas a parte do Revit referente às estruturas – Revit Structure.

A criação do modelo teve início com a divisão do projeto em quatro níveis: fundações (cota - 0,70m); rés-do-chão (cota 0,00m); cobertura 1 (cota 2,60m) e cobertura 2 (cota 3,60m). A esses quatro níveis foram adicionados dois níveis de referência: Ref. 1 (cota 3,50m) e Ref. 2 (cota 4,5m) para a criação das platibandas. De notar que nas cotas referentes aos níveis de cobertura foram adicionadas as espessuras da laje e dos revestimentos futuros.

Sendo a cota do projeto de 270,10 m, as cotas finais utilizadas são as representadas na Figura 4.8:

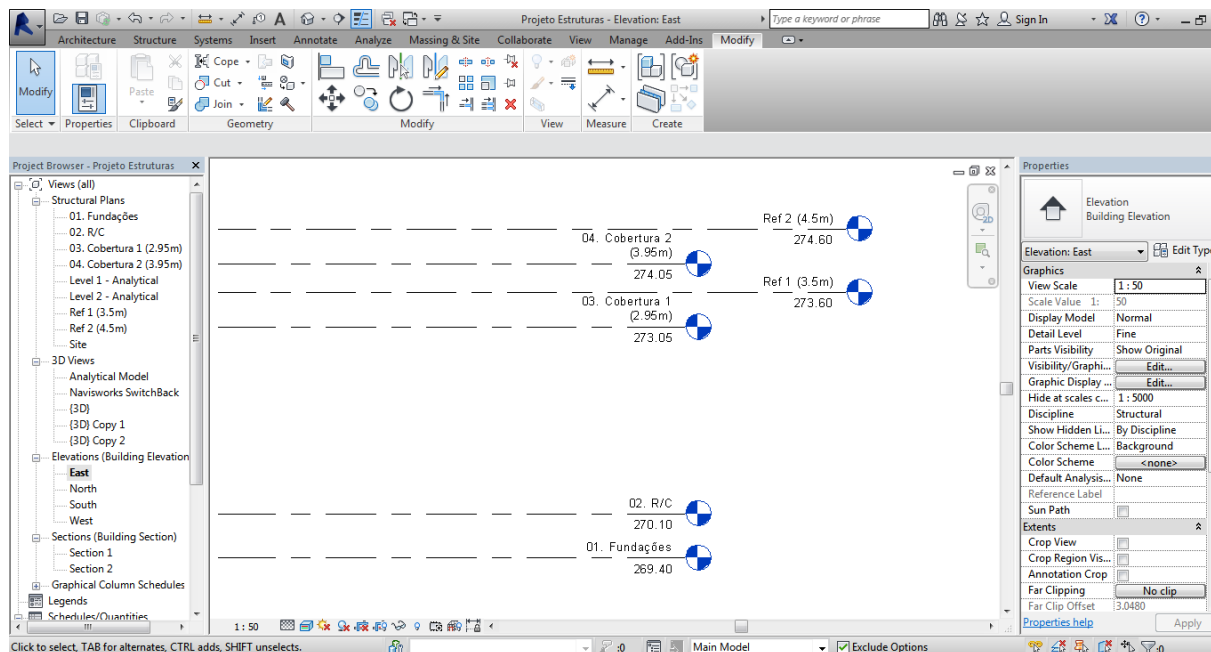


Figura 4.8 – Níveis do projeto, Revit

Para cada nível, exceto para os níveis de referência, foi feita a importação do ficheiro do projeto de estabilidade correspondente, produzido no programa AutoCad pelo Engenheiro da empresa M.P.M. Construção e Engenharia Lda.. Esta importação foi feita através do comando *Manage links* do separador *Insert*, tal como está demonstrado na Figura 4.9:

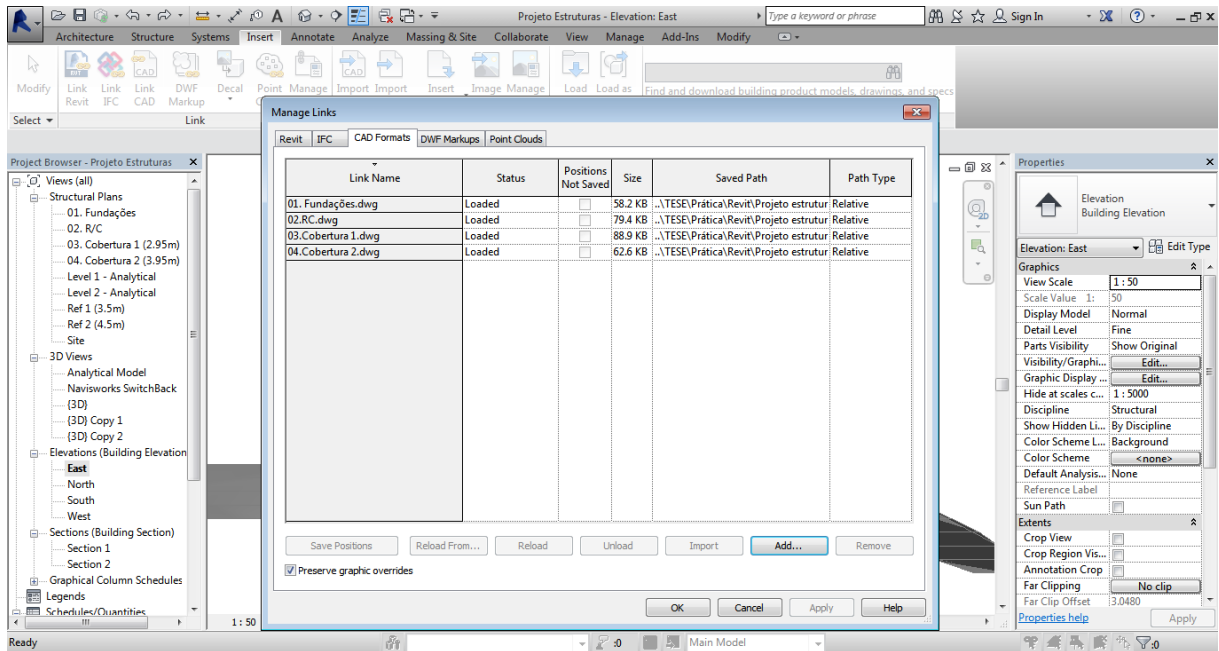


Figura 4.9 – Importação das plantas em AutoCad relativas a cada nível para o software Revit

Após a importação dos ficheiros em AutoCad, foram criadas grelhas correspondentes aos alinhamentos dos pilares. As grelhas verticais estão representadas com números e as horizontais com letras, tal como representa a Figura 4.10:

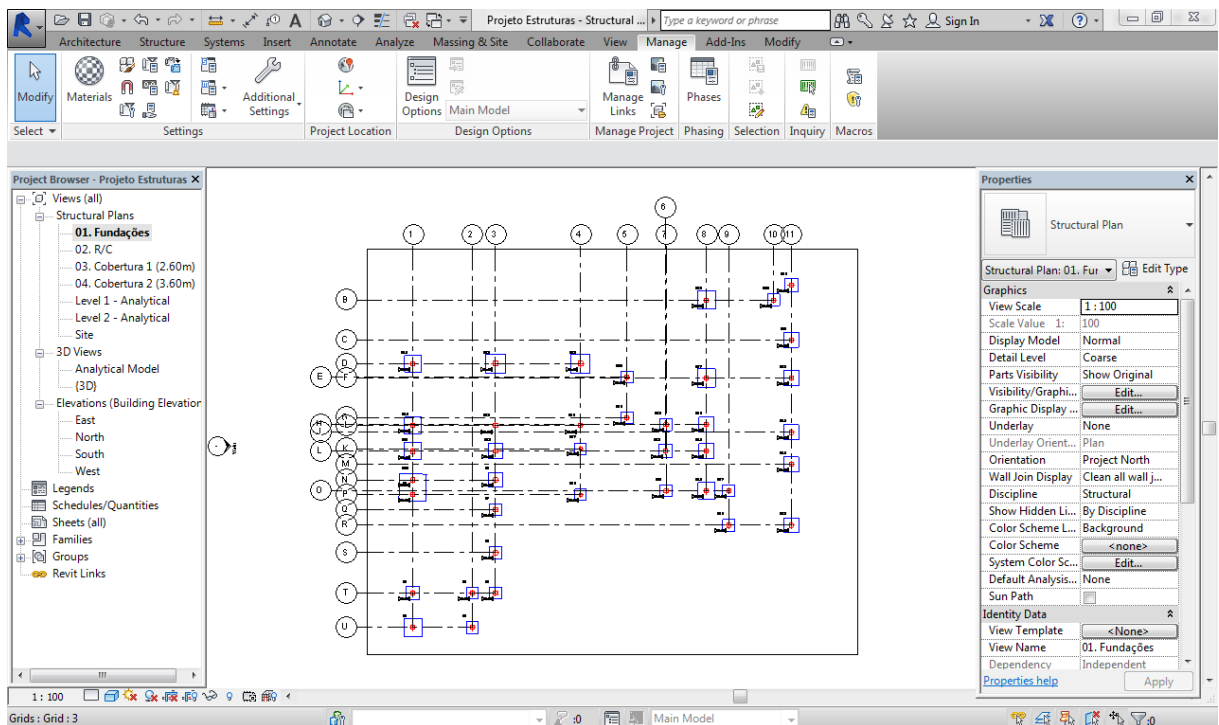


Figura 4.10 – Criação de grelhas correspondentes ao alinhamento dos pilares, Revit

## Fundações

As fundações da moradia em estudo foram divididas no modelo de execução por sapatas, muretes e pilares (Figura 4.11). Apesar dos muretes e pilares das fundações serem betonados em conjunto, formando apenas um elemento visual, as armaduras são distintas, optando-se por diferenciar os mesmos.

Para a criação das sapatas de fundação foi utilizado o comando *Structural Foundation: isolated*, do grupo de comandos *Foundation*. As famílias de sapatas existentes foram adaptadas tendo em conta as dimensões das sapatas a utilizar, embora pudesse ter sido criada apenas uma família e editar as suas dimensões. As dimensões das sapatas criadas, bem como, os nomes das respetivas famílias estão representados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Famílias e dimensões referentes às sapatas de fundação

Família	Pilares	Dimensões da base (cm)	Altura (cm)
<b>01. Fundação 115x115x40 (cm)</b>	P1, P27 e P28	115 x 115	40
<b>02. Fundação 75x75x40 (cm)</b>	P2, P3, P5, P6, P7, P19, P20, P21, P25, P30, P36 e P37	75 x 75	40
<b>03. Fundação 85x85x40 (cm)</b>	P4, P22 e P29	85 x 85	40
<b>04. Fundação 95x95x40 (cm)</b>	P8, P12, P24, P26, P31, P32, P33, P34 e P35	95 x 95	40
<b>05. Fundação 110x110x40 (cm)</b>	P11	110 x 110	40
<b>06. Fundação 105x105x40 (cm)</b>	P13, P14 e P23	105 x 105	40
<b>07. Fundação 125x125x40 (cm)</b>	P15	125 x 125	40
<b>08. Fundação 70x70x40 (cm)</b>	P16 e P17	70 x 70	40
<b>09. Fundação 120x120x40 (cm)</b>	P18	120 x 120	40
<b>10. Fundação 170x170x40 (cm)</b>	(P9 - P10) (fundação conjunta)	170 x 170	40

Os muretes de fundação foram criados como sendo pequenas paredes, utilizando para isso o comando *Wall: Structural* do grupo de comandos *Structure*, criando uma família específica denominada “04. Betão de fundação”.

Os pilares de fundação foram modelados através do comando *Structural Column* do grupo de comandos *Structure*, tal como os restantes pilares da estrutura.

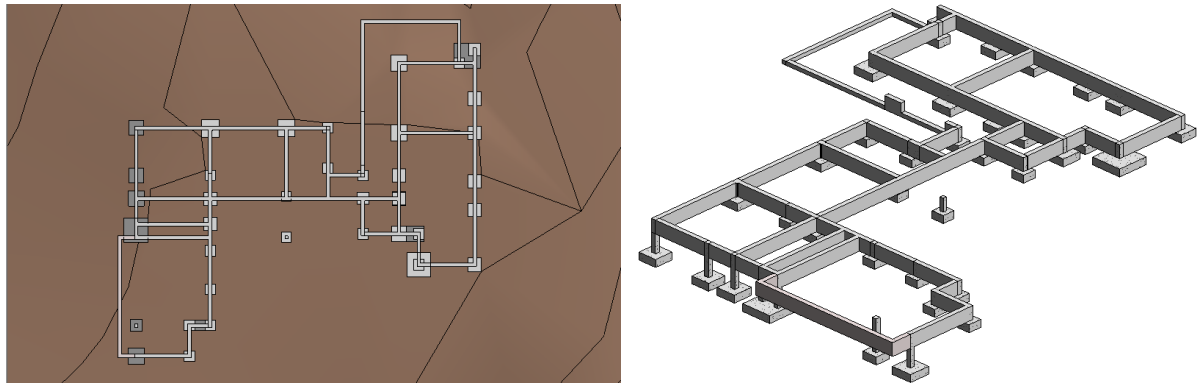


Figura 4.11 – Elementos de fundação do projeto de execução, Revit

## Pilares

Os pilares foram modelados através do comando *Structural Column* do grupo de comandos *Structure*. As famílias dos pilares de betão foram divididas, segundo a sua secção, em pilares circulares e quadrados e segundo as dimensões dos mesmos. As dimensões dos pilares criados, bem como, o nome das respetivas famílias estão representados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Famílias e dimensões referentes aos pilares

Tipo	Família	Dimensões da base (cm)
Quadrados	1. Pilar 20x20 (cm)	20x20
	2. Pilar 25x25 (cm)	25x25
	3. Pilar 25x30 (cm)	25x30
	4. Pilar 30x30 (cm)	30x30
	5. Pilar 35x30 (cm)	35x30
	6. Pilar 25x75 (cm)	25x75
	7. Pilar 25x60 (cm)	25x60
Circ.	1. Diam 20 (cm)	20 cm Diam
	2. Diam 25 (cm)	25 cm Diam

Para além dos pilares em betão, foi também introduzido um pilar metálico HEA140.

## Vigas

Para a colocação das vigas utilizou-se o comando *Structural Beam* do grupo de comandos *Structure*. As famílias de vigas existentes foram adaptadas às dimensões das vigas a utilizar. As dimensões das vigas e o nome das respetivas famílias estão representados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Famílias e dimensões das vigas do modelo

Vigas	
Família	Dimensões da base (cm)
01. Vigas 20x20 (cm)	20x20
02. Vigas 25x20 (cm)	25x20
03. Vigas 25x30 (cm)	25x30
04. Vigas 25x45 (cm)	25x45
05. Vigas 25x50 (cm)	25x50
06. Vigas 30x30 (cm)	30x30
07. Vigas 30x40 (cm)	30x40
08. Vigas 25x40 (cm)	25x40
09. Vigas 25x100 (cm)	25x100
10. Vigas 15x30 (cm)	15x30

Na Figura 4.12 está representada a criação das vigas no *software* Revit, bem como os elementos de fundação.

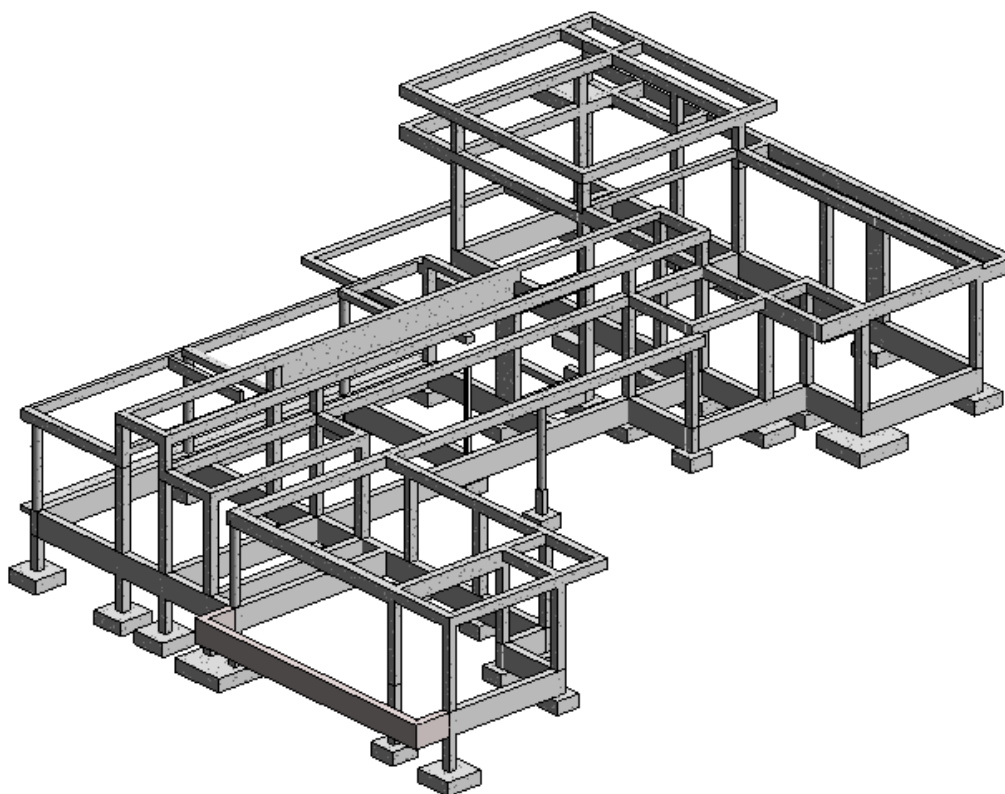


Figura 4.12 – Elementos de fundação e vigas do projeto de execução, Revit

## Lajes

Para se adicionar as lajes ao modelo utilizou-se, inicialmente, o comando *Floor: Structural* do grupo de comandos *Structure*. Após alguma pesquisa, nomeadamente na plataforma BIM, verificou-se que as lajes executadas desta forma não são reconhecidas como elemento estrutural quando são exportadas para outros *softwares*.

Desta forma, optou-se por modelar as lajes através do comando *Structural Foundation: Slab* do grupo de comandos *Foundation* por ser relevante o reconhecimento como laje estrutural tanto no Revit como em outros *softwares* que serão posteriormente utilizados. Além disso, neste tipo de lajes, é-nos fornecido o volume de betão a utilizar e não apenas a área, ao contrário do comando anteriormente utilizado.

As famílias de lajes de betão existentes foram adaptadas às dimensões a utilizar. As dimensões, o nome das respetivas famílias, bem como, as constituições de cada uma das lajes, estão representadas na Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 – Famílias, dimensões e constituição das lajes utilizadas no modelo**

<b>Lajes</b>	
<b>Família</b>	<b>Espessura (cm)</b>
<b>01. Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas 20 + 5 (cm)</b>	25
Betão C20/25	10
Vigotas e abobadilhas	15
<b>02. Laje aligeirada de vigotas pré-esforçadas 15 + 5 (cm)</b>	20
Betão C20/25	10
Vigotas e abobadilhas	10
<b>03. Laje maciça 15 (cm)</b>	15
Betão C20/25	15
<b>04. Laje maciça 20 (cm)</b>	20
Betão C20/25	20
<b>05. Laje maciça 30 (cm)</b>	30
Betão C20/25	30
<b>06. Laje Piso Térreo</b>	35
Betão C20/25	10
Brita	10
Rachão	15

As lajes utilizadas foram lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas, lajes maciças e piso térreo (Figura 4.13). Como as lajes aligeiradas são constituídas por vários elementos e de dimensões muito reduzidas (abobadilhas cerâmicas, vigotas, etc.) e devido ao facto de o *software* CYPE,

onde o projeto de estruturas foi realizado, fornecer as quantidades destes elementos, optou-se por simplificar o trabalho atribuindo apenas duas camadas de materiais a este tipo de lajes: betão da classe C20/25 e uma camada composta por diversos materiais denominada “abobadilhas e vigotas”.

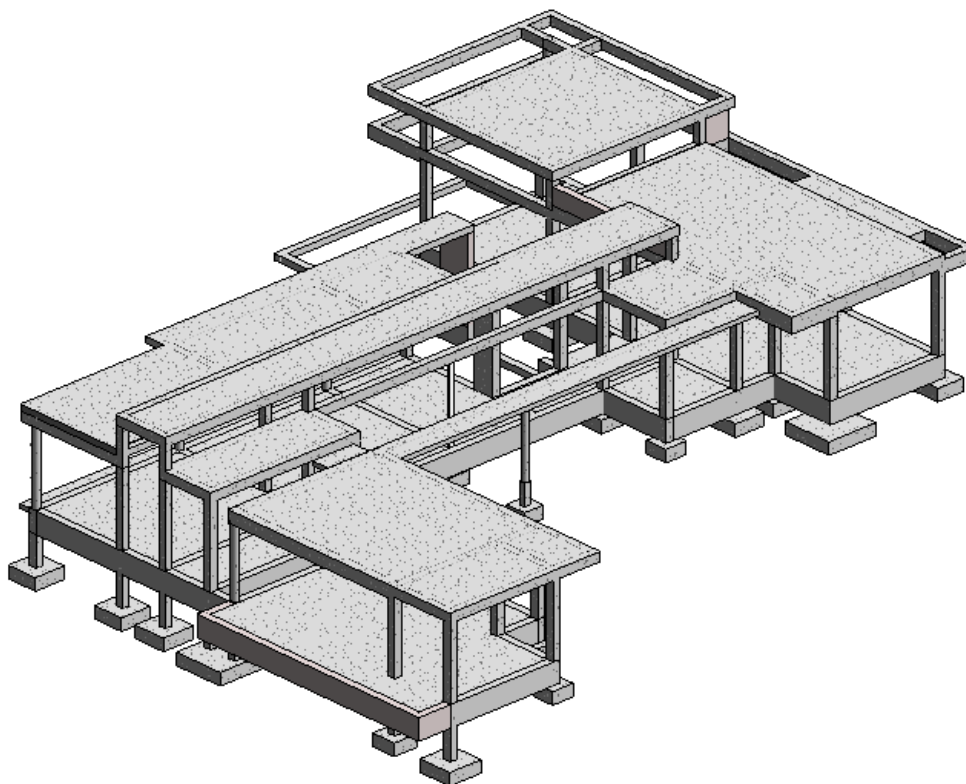


Figura 4.13 – Elementos de fundação, vigas e lajes do projeto de execução, Revit

## Paredes

Para a conceção das paredes utilizou-se o comando *Wall: Structural* do grupo de comandos *Structure*. As famílias de paredes existentes foram adaptadas às dimensões a utilizar. As espessuras das paredes criadas e o nome das respetivas famílias estão representados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Famílias e dimensões das paredes utilizadas no modelo

Paredes	
Família	Espessura (cm)
01. Bloco 25	25
02. Bloco 11	11
03. Xisto	40
04. Betão de fundação	25
05. Bloco 11 + caixa-de-ar + Bloco 11	25
06. Parede de betão exterior	25



Tal como foi referido anteriormente, a família de paredes designada “Betão de fundação” foi utilizada na criação dos muretes de fundação. A família denominada “Parede de betão exterior” foi aplicada nas paredes de betão dos arranjos exteriores. Na Figura 4.14 está representado o modelo completo com todos os elementos estruturais.

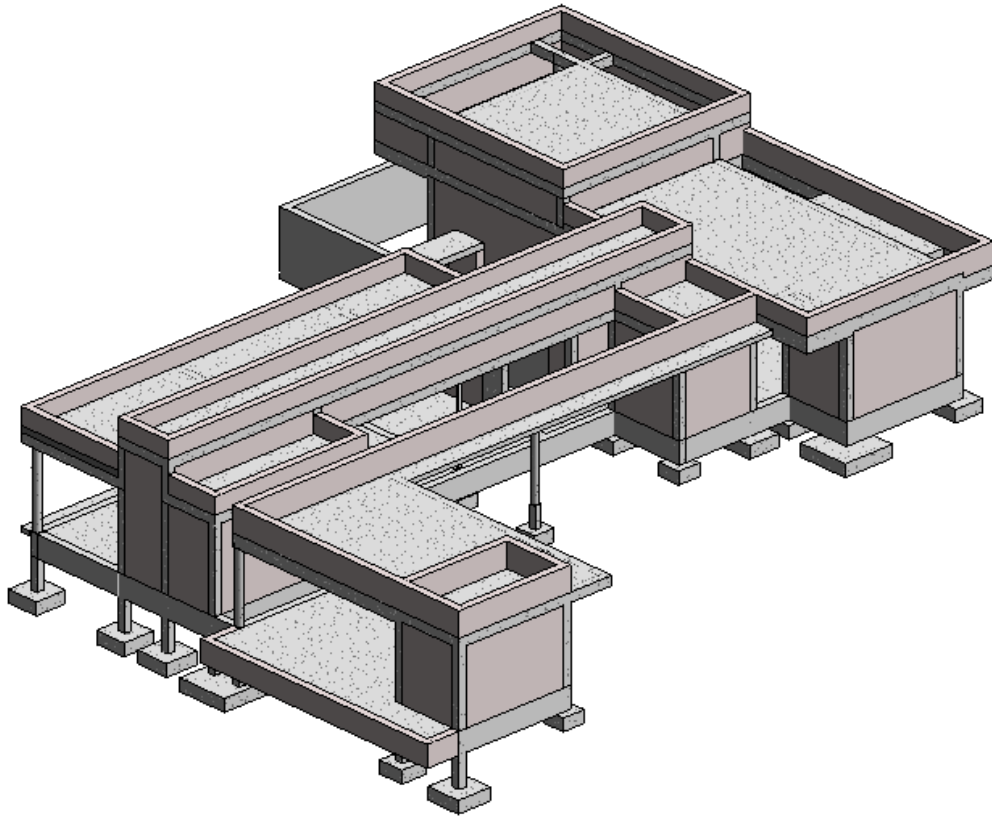


Figura 4.14 – Elementos de fundação, vigas, lajes e paredes do projeto de execução, Revit

### Implantação do Terreno

A implantação do terreno no Revit é um processo bastante prático quando o terreno está no formato *dwg* e já possui os pontos com suas cotas definidas, como foi o caso (Figura 4.15).

Para inserir o terreno no modelo Revit através do ficheiro em *AutoCad* são seguidos os seguintes passos:

- 1) Tornar corrente a vista *Site*;
- 2) No separador *Insert*, utilizar a opção *Link CAD* para importar o ficheiro *DWG*;
- 3) Alterar as definições seguintes:
  - a. *Import units: meter*;
  - b. *Positioning: Center to Center*

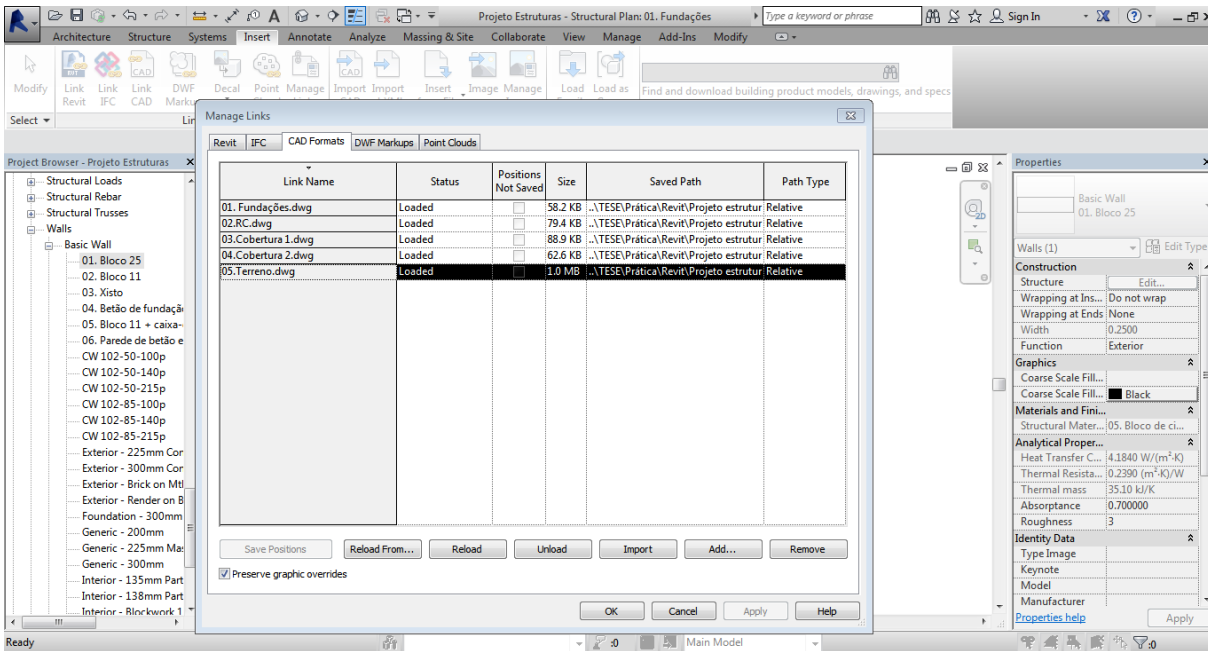


Figura 4.15 – Implantação do terreno no software Revit através da importação do ficheiro em AutoCad

Após inserido o ficheiro referente ao terreno, procedeu-se à criação do mesmo no próprio software Revit (Figura 4.16) através dos seguintes passos:

- 1) Ainda na vista *Site*, no separador *Massing & Site* → *Toposurface* → *Create from Import* → *Select Import Instance* para criar o elemento *toposurface* (superfície topográfica);
- 2) Selecionar os *layers* que vão ser usados na definição do terreno;
- 3) Na *ribbon*, podemos fazer *Finish Surface*.

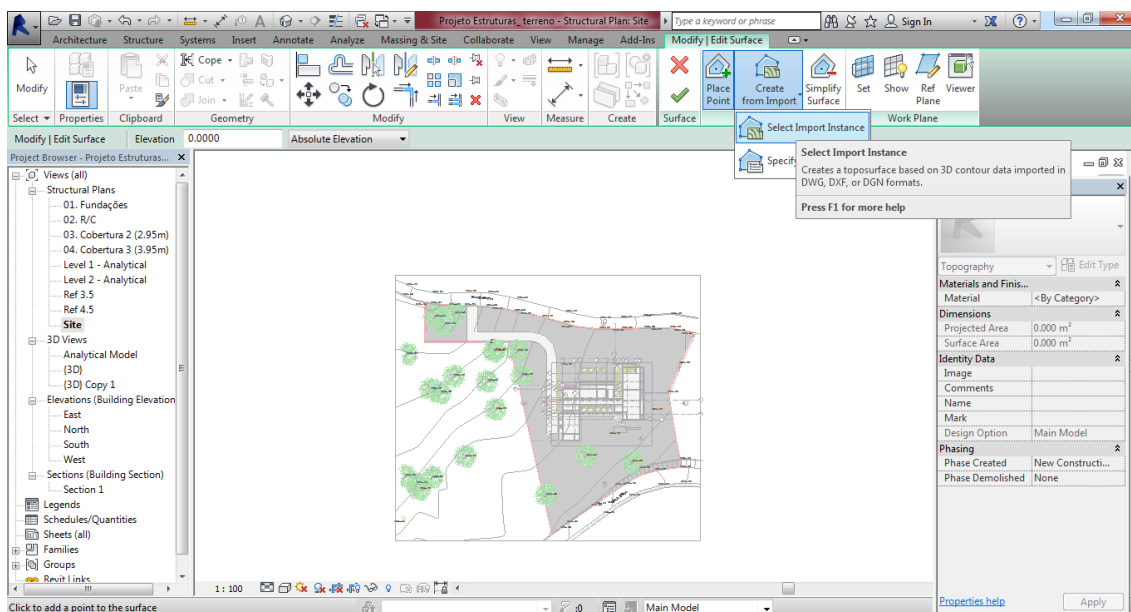


Figura 4.16 – Criação do terreno, Revit

#### 4.5.2. Revit vs AutoCad

Tal como foi referido anteriormente, na criação de modelos 3D utilizando o Revit, qualquer alteração efetuada no projeto provoca atualizações automáticas no projeto global, isto é, o utilizador define o tipo de vista pretendido e o modelo gera-a. Isto inclui plantas, alçados, cortes, pormenores e elementos 3D. Visto que a modelação obedece a regras paramétricas, todas as vistas são atualizadas em tempo real, possibilitando processos mais coordenados e documentação mais fiável. Isto inclui plantas, alçados, cortes, pormenores e elementos 3D. Na Figura 4.17 podem ser observados os *renderings* das vistas 3D do modelo criado.

Assim, após a criação do modelo estrutural para execução, são comparadas neste subcapítulo algumas das vistas geradas automaticamente pelo *software* Revit (Figuras 4.19, 4.21, 4.23 e 4.25) com as vistas criadas inicialmente pelo Engenheiro da empresa MPM Construção e Engenharia Lda., no *software* AutoCad 2D (Figuras 4.18, 4.20, 4.22 e 4.24).

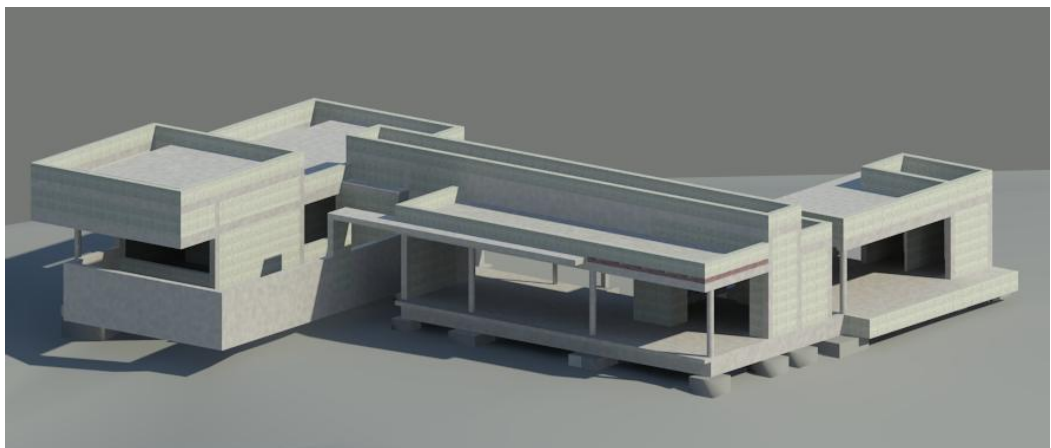
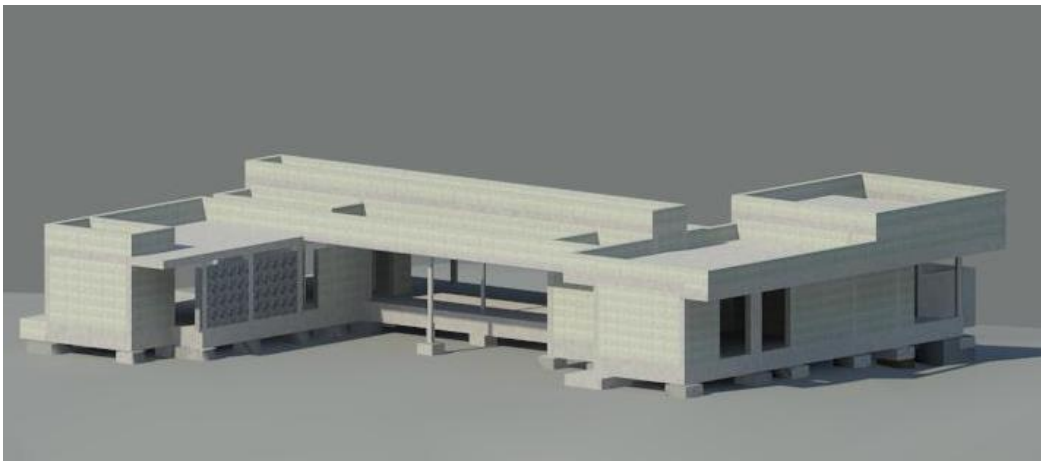


Figura 4.17 – Vistas 3D obtidas através de *renderings*, Revit

## Alçado Norte

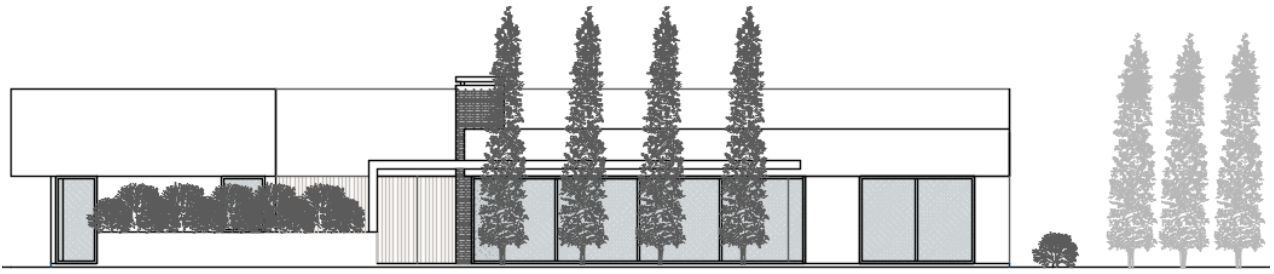


Figura 4.18 – Alçado Norte, AutoCad

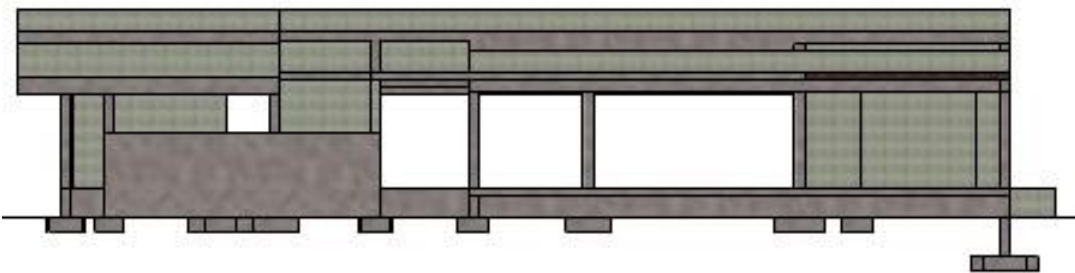


Figura 4.19 – Alçado Norte, Revit

## Alçado Sul

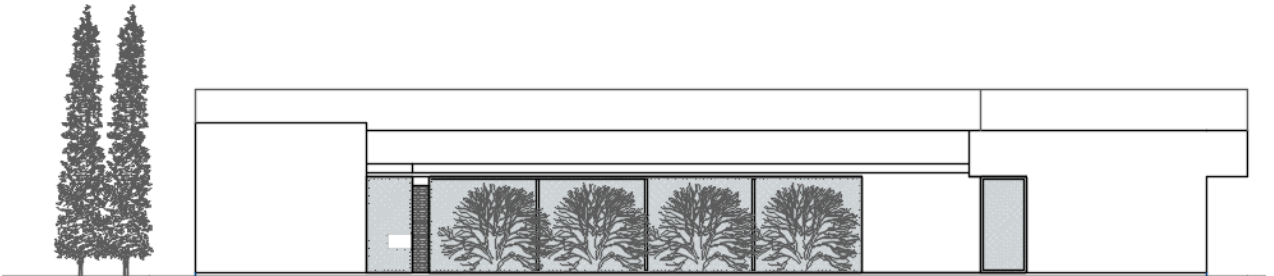


Figura 4.20 – Alçado Sul, AutoCad

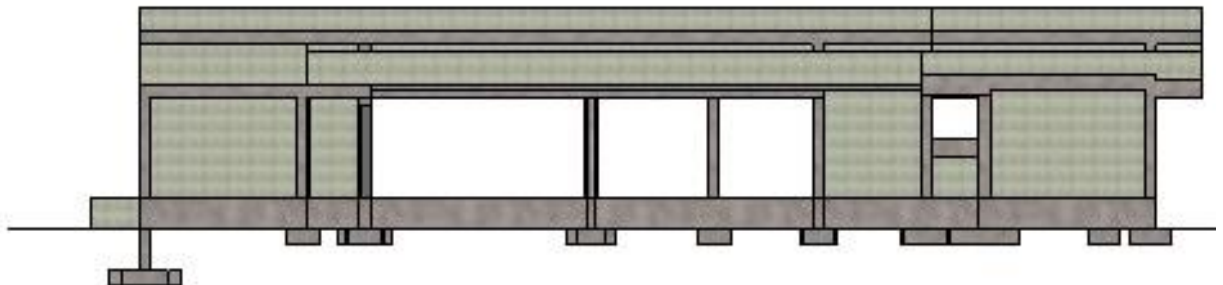


Figura 4.21 – Alçado Sul, Revit

## Alçado Este

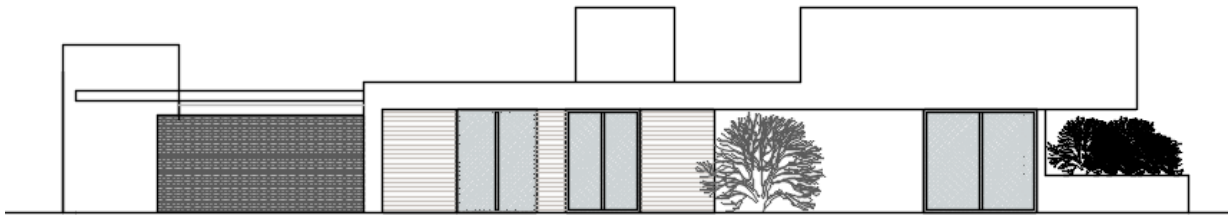


Figura 4.22 – Alçado Este, AutoCad

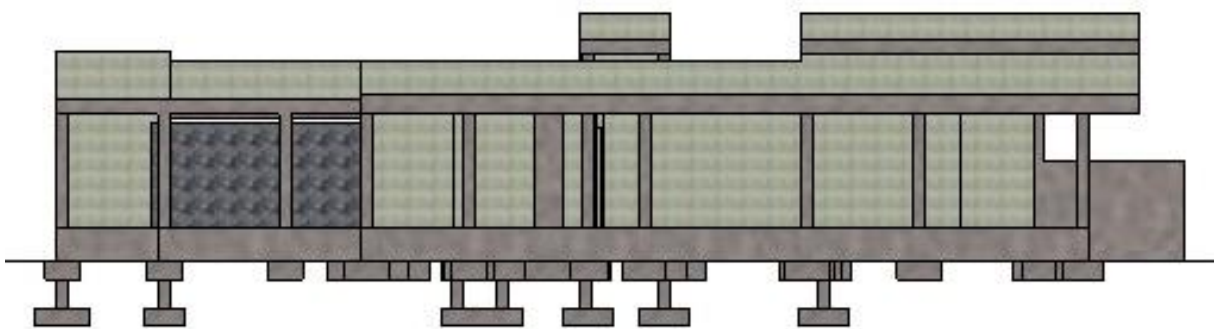


Figura 4.23 – Alçado Este, Revit

## Alçado Oeste

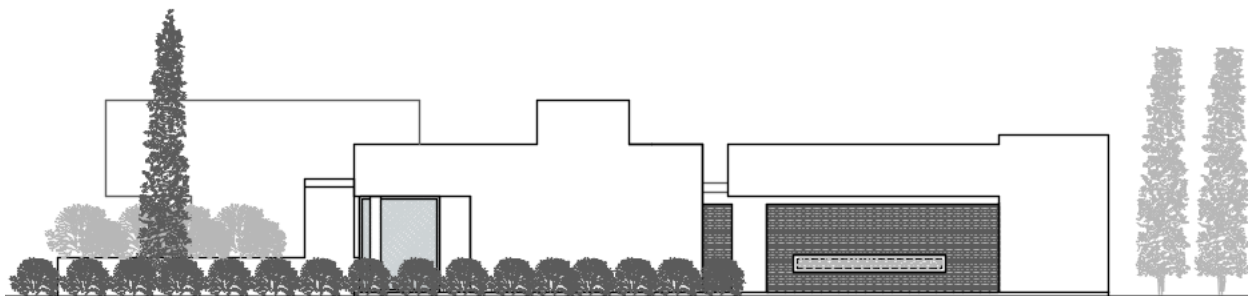


Figura 4.24 – Alçado Oeste, AutoCad

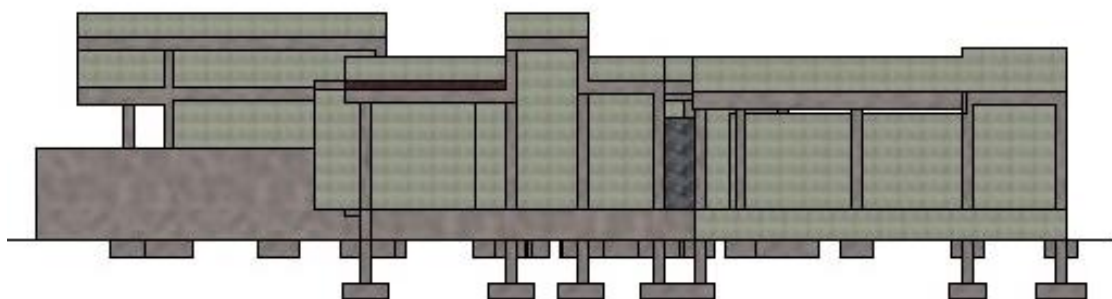


Figura 4.25 – Alçado Oeste, Revit



Comparando os alçados obtidos automaticamente do Revit com os alçados criados em AutoCad, podemos observar algumas diferenças entre ambos. Estas diferenças estão relacionadas com dois fatores:

- No modelo criado em Revit apenas foram inseridos os componentes estruturais em betão e alvenarias, sem revestimentos, alterando significativamente os alçados visualmente.
- O modelo Revit inclui todas as alterações efetuadas ao longo do desenvolvimento do projeto, ao contrário dos alçados criados em AutoCad;

#### 4.5.3. Projeto Revit vs Obra

As capacidades de visualização dos BIM permitem uma melhor perceção global do modelo durante todo o ciclo de vida do edifício, o que significa que é possível retratar várias fases da construção. Por outro lado, uma funcionalidade deste tipo permite obter um modelo muito aproximado ao produto final em fases mais adiantadas do projeto, reduzindo substancialmente a imprevisibilidade associada a vários aspetos dos processos de construção (Monteiro & Martins, *Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação*, 2011).

Apesar desta capacidade do modelo, de permitir uma melhor perceção das etapas construtivas, estar bem explícita no capítulo 4.6 relativo ao planeamento construtivo, é demonstrado um exemplo do realismo proporcionado pelo Revit na Figura 4.26.



Figura 4.26 – Diferenças entre a obra real e o projeto de execução elaborado no *software* Revit

#### 4.5.4. Detecção automática de interferências no modelo no *software* Revit

Uma das funcionalidades que decorre das características paramétricas dos elementos é a capacidade de identificar automaticamente as interferências entre os objetos, permitindo verificar erros em ligações, sobreposição e omissão de elementos. Neste subcapítulo é exposta a forma como foram verificados os conflitos existentes no modelo, através do *software* Revit.

A verificação de todas as interferências existentes no modelo foi feita através do comando *Interference Check* do grupo de comandos *Collaborate*. Este comando permite optar entre quais elementos é que queremos verificar os conflitos, por exemplo, pilares vs vigas. No entanto, por uma questão prática, optou-se por escolher uma verificação entre todos os elementos, Figura 4.27.

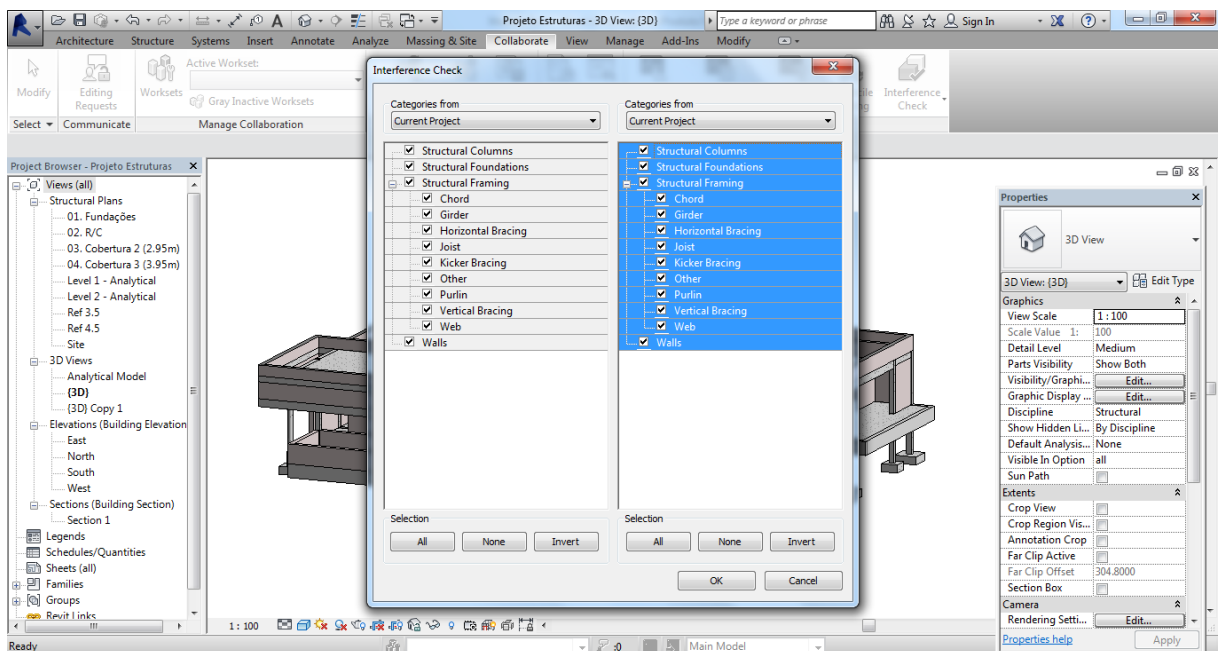


Figura 4.27 – Detecção de conflitos, Revit

As interferências detetadas pelo *software* Revit estão representadas na Figura 4.28.

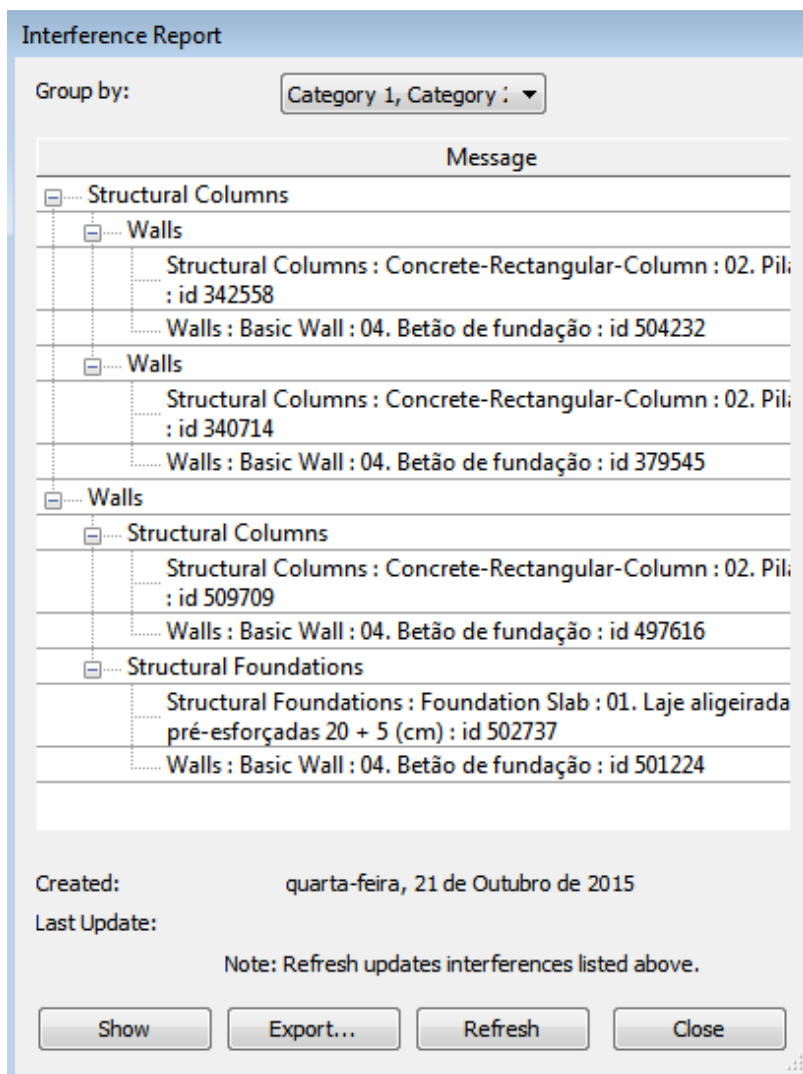


Figura 4.28 – Interferências no modelo, Revit

Das interferências detetadas pelo *software* Revit, as três primeiras dizem respeito à sobreposição de elementos, nomeadamente elementos de fundação. O último conflito está relacionado com a ligação entre a laje do rés-do-chão e o murete de fundação. Na Figura 4.29 é exemplificada uma interferência entre o murete e o pilar de fundação.



Figura 4.29 – Exemplo de uma Interferência encontrada entre o murete e o pilar de fundação, Revit



## 4.6. Abordagem à análise BIM 4D – Planeamento Construtivo

Neste capítulo estão descritos os procedimentos correspondentes à elaboração do modelo BIM 4D (Figura 4.30), ou seja, o faseamento construtivo do projeto.



Figura 4.30 – BIM 4D

O *software* escolhido para o planeamento foi o Navisworks, tal como foi referido anteriormente. Previamente à descrição do planeamento propriamente dito, este capítulo descreve a forma como foi feita a exportação do modelo do *software* Revit para o Navisworks e a deteção de conflitos do modelo. Quanto ao planeamento, foi iniciado pela introdução das tarefas e as suas durações formando, assim, o diagrama de Gantt correspondente. Posteriormente, foi feita a ligação das tarefas aos elementos do modelo 3D que permitiu a simulação construtiva do projeto 4D.

Este planeamento constitui um elemento fundamental para o diretor de obra que pode ter que tomar decisões de alteração das frentes de trabalho e pretender a rápida atualização desta informação, avaliando rapidamente as consequências sobre prazos/custos e reafectando recursos de forma dinâmica (Ribeiro, Lino, Azenha, Carvalho, & Barbosa, 2014).

### 4.6.1. Exportação do Revit

Para dar início ao processo BIM 4D é necessário um modelo tridimensional. Deste modo, o faseamento construtivo do projeto iniciou-se com a exportação do modelo do *software* onde este foi elaborado (Revit 2016) para o *software* de gestão e planeamento escolhido (Navisworks 2016).

Existem várias possibilidades de exportação do Revit para o Navisworks. Através do Revit, pode ser utilizado o comando *Export* do menu da aplicação exportando o modelo para um ficheiro NWC ou IFC. O Revit permite também a exportação do modelo de uma forma mais direta através do comando *External Tools* do grupo de comandos *Add-ins*. Existe, ainda, a opção de importar o ficheiro Revit através do Navisworks seleccionando o comando *Append* do grupo de comandos *Home*.

Para além destas formas de exportação existe, ainda, a possibilidade de guardar o ficheiro Revit em formatos CAD como DWG, DXF, DGN e ACIS (SAT) ou no formato DWF/DWFX e abri-los posteriormente no Navisworks. No entanto, estas hipóteses não foram estudadas por não ser uma exportação tão “direta” como as expostas anteriormente.

Os fatores tidos em conta relativamente à exportação do modelo foram o tamanho do ficheiro criado e a manutenção das características do modelo após a exportação.

### Tamanho do ficheiro:

Este é um fator preponderante, pois influencia a facilidade de manuseamento do modelo. Um modelo muito pesado torna todo o processo de trabalho mais moroso. De todos os ficheiros, guardados em formato NWF, o ficheiro mais pesado foi o ficheiro criado através do comando *Append* do Navisworks. Os tamanhos dos ficheiros das exportações feitas a partir do Revit são muito próximos, sendo o ficheiro mais leve o que se refere ao formato IFC. No entanto, é necessário verificar se todas as características do modelo foram mantidas pois o tamanho reduzido do ficheiro pode estar relacionado com a alteração de algumas características do modelo.

### Manutenção das características do modelo:

Segundo algumas fontes, ao abrir no Navisworks o formato IFC, as paredes com as respetivas camadas são transformadas em blocos. Por este motivo, este modo de transferência é pouco aconselhado.

Assim, optou-se pela utilização de um *plug-in* para exportar o modelo geométrico da forma mais direta. Com a instalação do Navisworks no sistema, o Revit automaticamente cria a opção *External Tools* no grupo de comandos *Add-ins* (Figura 4.31). Inicialmente é criado um arquivo *cache*, de extensão *nwc*, que após ser aberto e salvo no Navisworks se transforma num arquivo *nwf* definitivo.

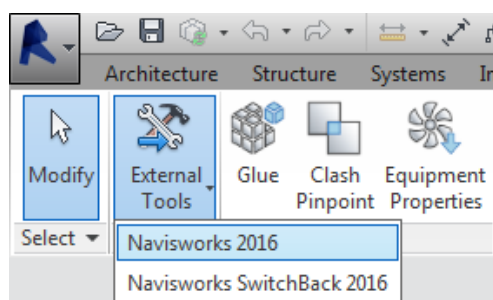
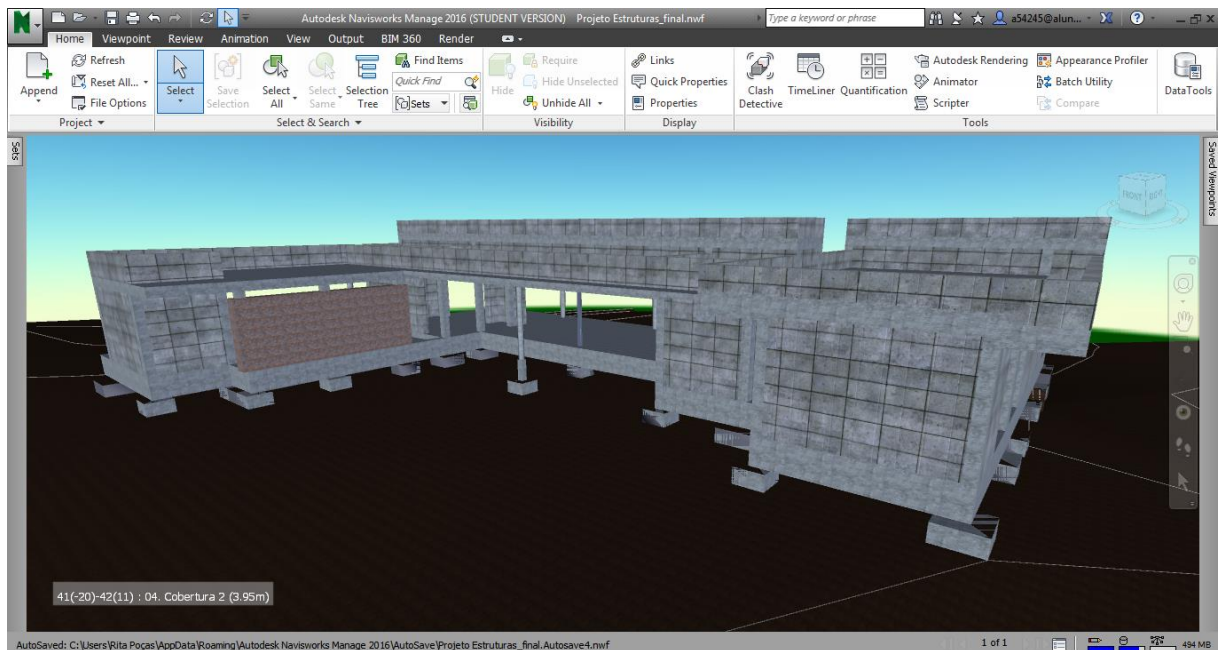


Figura 4.31 – Exportação do modelo dos softwares Revit para o Navisworks

O facto de os *softwares* em questão serem da mesma *software house* (Autodesk) aumentou consideravelmente a interoperabilidade entre os sistemas, diminuindo a ocorrência de erros durante a exportação mantendo, assim, as características do modelo. Na Figura 4.32 está representado o modelo BIM 3D do projeto, no programa Navisworks Manage 2016.



**Figura 4.32 – Modelo 3D no *software* Navisworks**

Ao importar o modelo no Naviswork todos os seus elementos tridimensionais são organizados de forma automática por níveis. Para isso foi necessária modelação prévia correta.

O Navisworks possibilita uma boa visualização do modelo, que pode ser girado, e possui a opção de vê-lo em perspetiva, não apenas na forma isométrica. Porém o Navisworks não permite a alteração do modelo geométrico. Qualquer alteração na sua geometria precisa ser feita no programa de modelação. Isto constituiu um problema pois, de cada vez que foi preciso alterar o modelo no *software* Revit, foi necessário exportar novamente para o Navisworks. No entanto, este problema foi contornado através da utilização do comando *Merge* que permite agrupar o ficheiro do Navisworks onde foram criados inicialmente os *sets* que permitem a simulação 4D do projeto, com o novo ficheiro onde estão incluídas as alterações efetuadas no modelo.

#### **4.6.2. Deteção automática de interferências no modelo estrutural no *software* Navisworks**

O *software* Navisworks permite, tal como o Revit, detetar as interferências existentes nos elementos do modelo 3D BIM. O Navisworks encontra automaticamente a sobreposição e omissão de elementos do projeto, os erros existentes na ligação dos elementos, etc.

Para verificar quais as interferências existentes no modelo estrutural foi utilizado o comando *Clash Detective* inserido no separador *Home* do Navisworks. Comparativamente com o Revit, este *software* tem muitas mais funcionalidades inerentes à deteção de conflitos, ultrapassando a simples escolha dos elementos que queremos verificar. O Navisworks permite escolher qual o tipo de teste a efetuar, quais as regras a seguir para cada um desses testes, qual a tolerância em termos de espaçamento entre elementos a utilizar para cada teste, entre outros.

No presente caso de estudo foram efetuados os 4 testes existentes no Navisworks desde o mais conservativo à simples pesquisa de duplicação de objetos. Todos os testes foram feitos utilizando uma tolerância de 0,01m de forma a possibilitar a comparação de resultados. Os resultados dos testes de interferências encontradas estão representados na Figura 4.33.

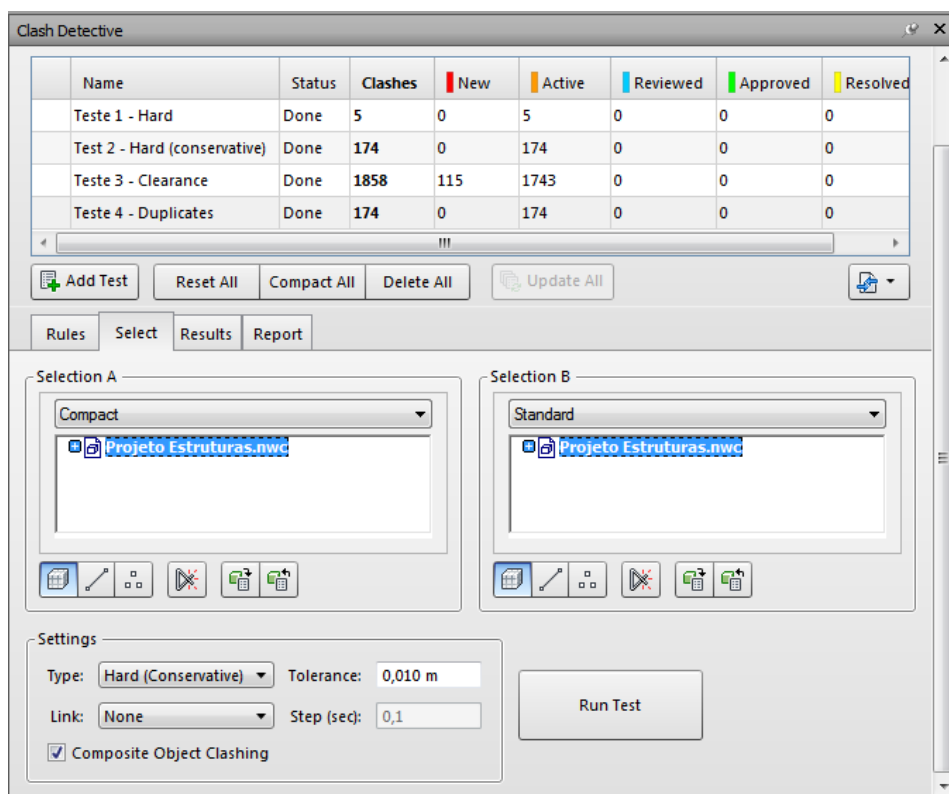


Figura 4.33 – Testes de interferências, Navisworks

Observando a Figura 4.33, constata-se que o número de interferências encontradas no *software* Navisworks é bastante superior ao número de conflitos detetados através do *software* Revit. O teste *Hard* obteve apenas 5 interferências, sendo a maioria relacionada com a modelação da escavação do terreno. Pelo contrário, o teste *Clearance* resultou em demasiados conflitos, sendo um teste demasiado minucioso e conservativo. Os testes *Hard Conservative* e *Duplicates* encontraram exatamente as mesmas interferências e foi-lhes dada maior importância que aos testes anteriores.

Dos 174 conflitos encontrados no teste *Duplicates*, 104 estão relacionados com a sobreposição das sapatas com outros elementos como, por exemplo, o terreno de escavação. As 70 interferências restantes são relativas à sobreposição e erros de ligação de outros elementos estruturais como pilares, lajes e muretes de fundação. Dentro das sobreposições e erros de ligação de elementos encontrados, estão inseridos os mesmos erros encontrados pelo *software* Revit, descritos no subcapítulo anterior 4.5.4. Na Tabela 4.6 estão apresentados os 4 conflitos conflitos simultaneamente detetados pelo Revit e Navisworks.

Tabela 4.6 – Interferências encontradas no Revit e no Navisworks


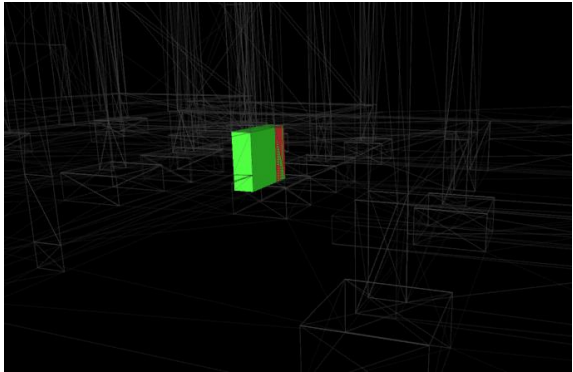
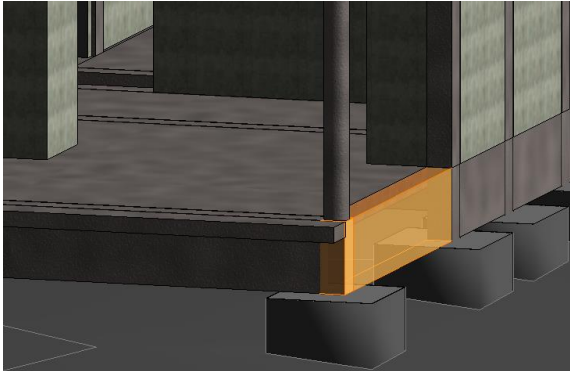
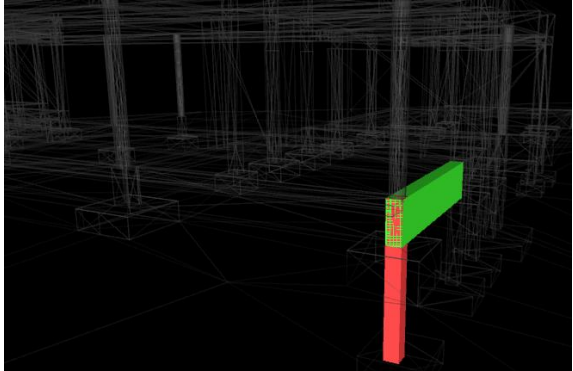

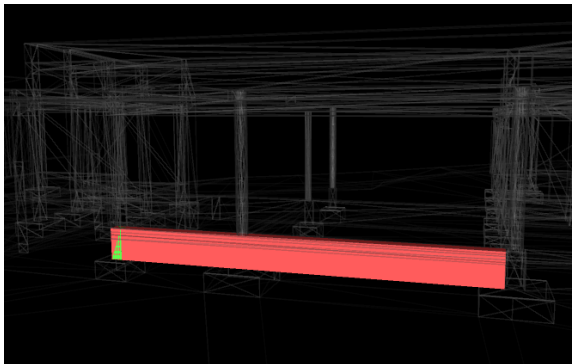
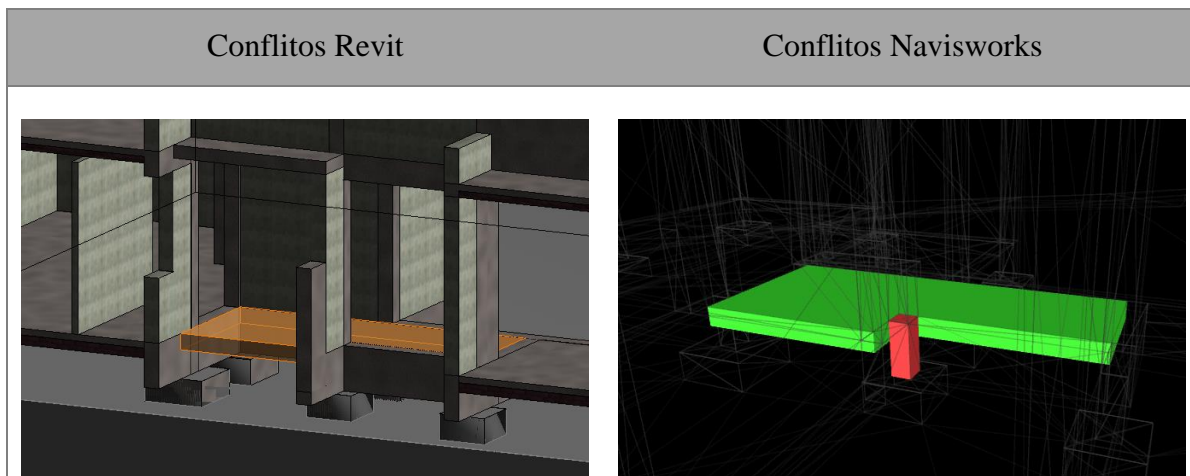
Conflitos Revit	Conflitos Navisworks
	
	
	

Tabela 4.7 – Interferências encontradas no Revit e no Navisworks (continuação)



Tal como o *software* Revit, o Navisworks permite a exportação de um relatório de interferências em diversos formatos, tais como, XML, HTML, *Text* e *Viewpoints*. Após a exportação do teste *Duplicates* para o formato XML, obteve-se uma pasta com as imagens de todos os conflitos encontrados.



### 4.6.3. Faseamento Construtivo

Após a exportação do modelo e a verificação de interferências, iniciou-se o faseamento construtivo propriamente dito. Para tal, foram seguidos os passos seguintes:

#### 1. Elaboração do diagrama de Gantt: introdução das tarefas e respetivas durações no comando *TimeLiner*

O Navisworks permite introduzir as diversas atividades e as respetivas durações, de duas formas: manualmente, ou através da importação do planeamento através de um *software* externo. Embora seja comum a importação do ficheiro do planeamento produzido noutros *softwares*, optou-se por realizar todo o planeamento no próprio *software*. Assim, todas as tarefas relativas às etapas construtivas do projeto, bem como as suas durações foram manualmente introduzidas no comando *TimeLiner*, inserido no separador *Home*.

O comando *TimeLiner* (Figura 4.34) é a ferramenta do Navisworks que permite atribuir os elementos do modelo 3D a um cronograma do planeamento da construção para criar uma simulação. É possível fazer a comparação entre as datas planeadas e datas atuais da construção (balizamento), visualizar o gráfico de Gantt e visualizar a sequência da construção.

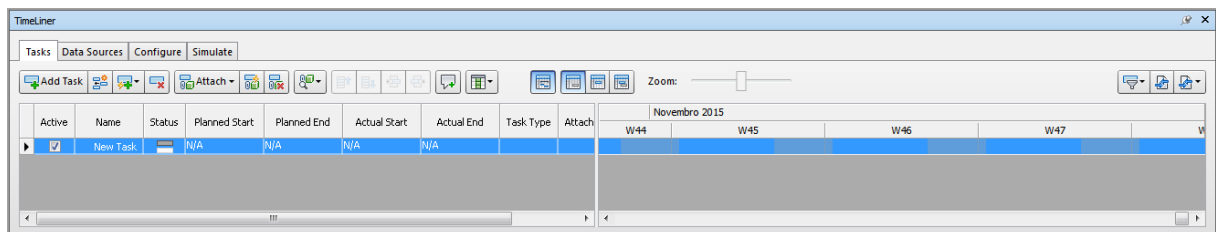


Figura 4.34 – Comando *TimeLiner*, Navisworks

As tarefas introduzidas no *TimeLiner* correspondem ao programa de trabalhos seguido durante a realização dos elementos estruturais do projeto. A essas tarefas foram associadas as durações planeadas pela empresa que elaborou o projeto, MPM Construção e Engenharia Lda., bem como o tempo real que cada tarefa demorou a ser concretizada (Figura 4.35).

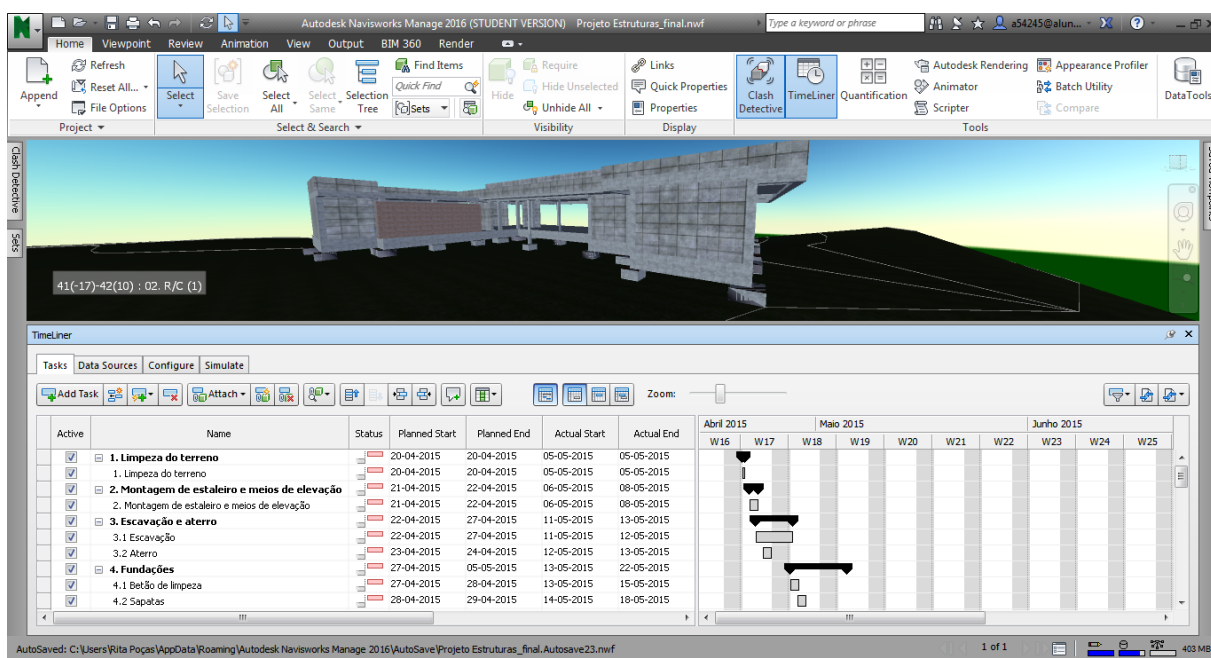


Figura 4.35 – Elaboração do diagrama de Gantt: introdução das tarefas e respetivas durações no comando *TimeLiner*

Como se pode observar na Figura 4.35, após a introdução das tarefas, durações planeadas e durações reais, o Navisworks criou automaticamente o gráfico de Gantt correspondente. No entanto, ao contrário de outros *softwares* de planeamento como o MS Project, o Navisworks não permite a introdução de precedências das tarefas sendo, por isso, estritamente necessária a introdução correta das durações.

O comando *TimeLiner* permite, também, atribuir os elementos do modelo 3D ao cronograma do planeamento da construção para criar uma simulação. Para isso foram associados os elementos do modelo a *Sets* criados no Navisworks, que por sua vez são associados a cada tarefa.



## 2. Ligação dos elementos do modelo a *Sets* criados de acordo com o programa de trabalhos do projeto

Após definidas as tarefas e com o modelo já importado, a próxima etapa é adicionar os *Sets*, que são muito importantes pois, sem eles, não há como gerar a animação, simulando a construção dos elementos.

Ao exportar o modelo do Revit para o Navisworks, todas as famílias de objetos introduzidos no Revit estão discriminadas automaticamente no Navisworks, distribuídas pelos vários pisos criados no Revit. Estas famílias estão inseridas no comando *Selection Tree* do grupo de comandos *Home*.

Assim, para a criação de *Sets* recorre-se ao comando *Selection Tree*, onde estão inseridos os elementos estruturais distribuídos por piso e por família de elementos e, através da opção *Save Selection*, grava-se a seleção criando-se conjuntos de elementos denominados *Sets*. Na Figura 4.36 estão representados os elementos correspondentes às famílias do Revit no separador *Selection Tree* (lado esquerdo) e os *Sets* criados no Navisworks (lado direito). Na Figura referida deu-se ênfase às sapatas de fundação, de modo a transmitir melhor a informação.

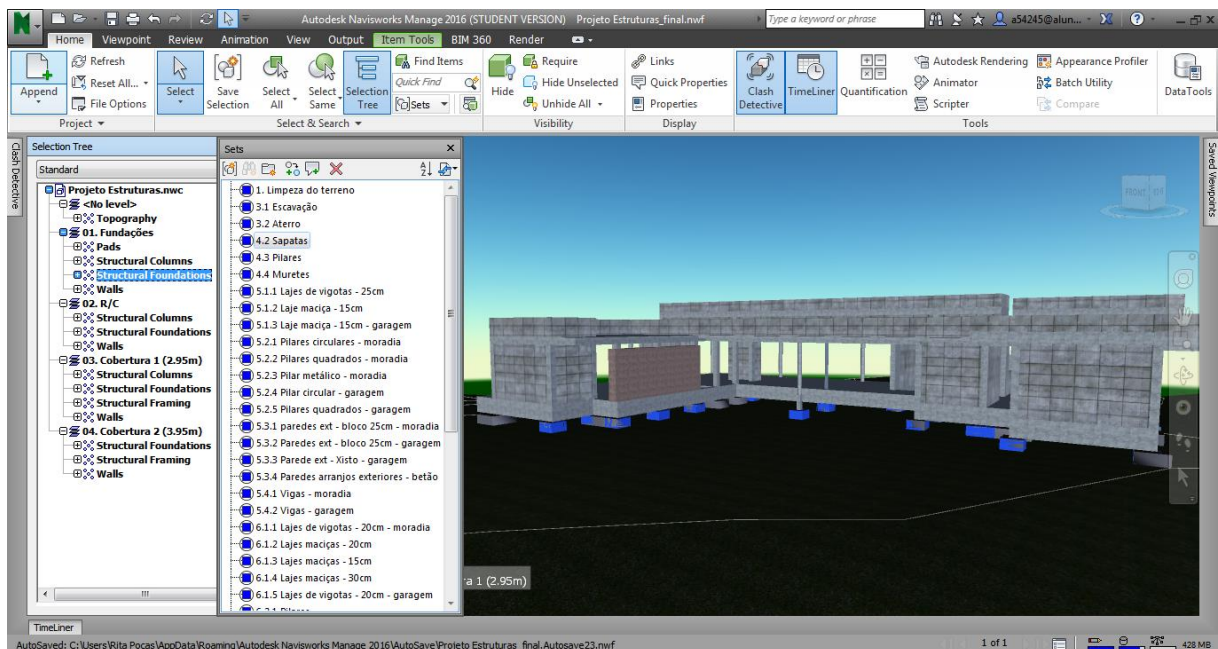


Figura 4.36 – Ligação dos elementos do modelo a *Sets* criados de acordo com o programa de trabalhos do projeto

### 3. Ligação entre as tarefas do programa de trabalhos e os objetos do modelo 3D

Para que a simulação do faseamento construtivo possa ser exibida, é necessário associar os elementos do modelo 3D a cada tarefa do programa de trabalhos. Após a criação dos *Sets* relativos a todos os elementos estruturais do projeto, de acordo o plano de trabalhos realizado no comando *TimeLiner*, foi feita a ligação de todas as tarefas aos *sets* respetivos, de forma automática. Esta associação foi efetuada através da opção *Auto-add Tasks* → *For every set*, do separador *Tasks* do *TimeLiner*. Na Figura 4.37 está representada esta ligação do plano de trabalhos com os elementos do modelo focando, mais uma vez, os elementos “sapatas”.

É importante referir que esta associação automática apenas foi possível porque aos *Sets* criados foi-lhes atribuído o mesmo nome das atividades construtivas.

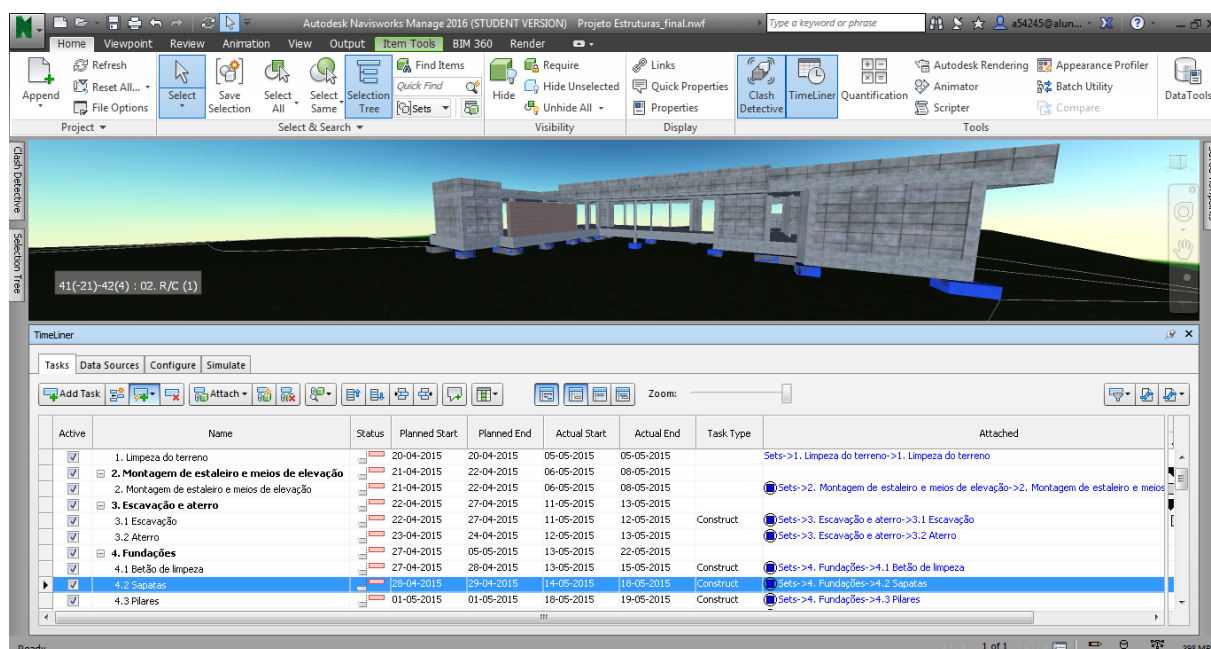


Figura 4.37 – Ligação entre as tarefas e os elementos do modelo, Navisworks

## 4. Simulação 4D

Uma vez vinculados todos os elementos do modelo às respetivas tarefas do plano de trabalhos, estão reunidas todas as condições para a simulação 4D do projeto.

A simulação 4D não é mais do que um vídeo do faseamento construtivo do projeto. O vídeo consiste em simular e analisar as diversas fases de execução da construção. Esta simulação é obtida através do separador *Simulate* da janela *TimeLiner*. O vídeo pode ser configurado através do comando *Settings*, consoante o que se pretende visualizar. É possível extrair a simulação do faseamento relativamente às datas planeadas, reais e as diferenças entre o planeado e o real (Figura 4.38).

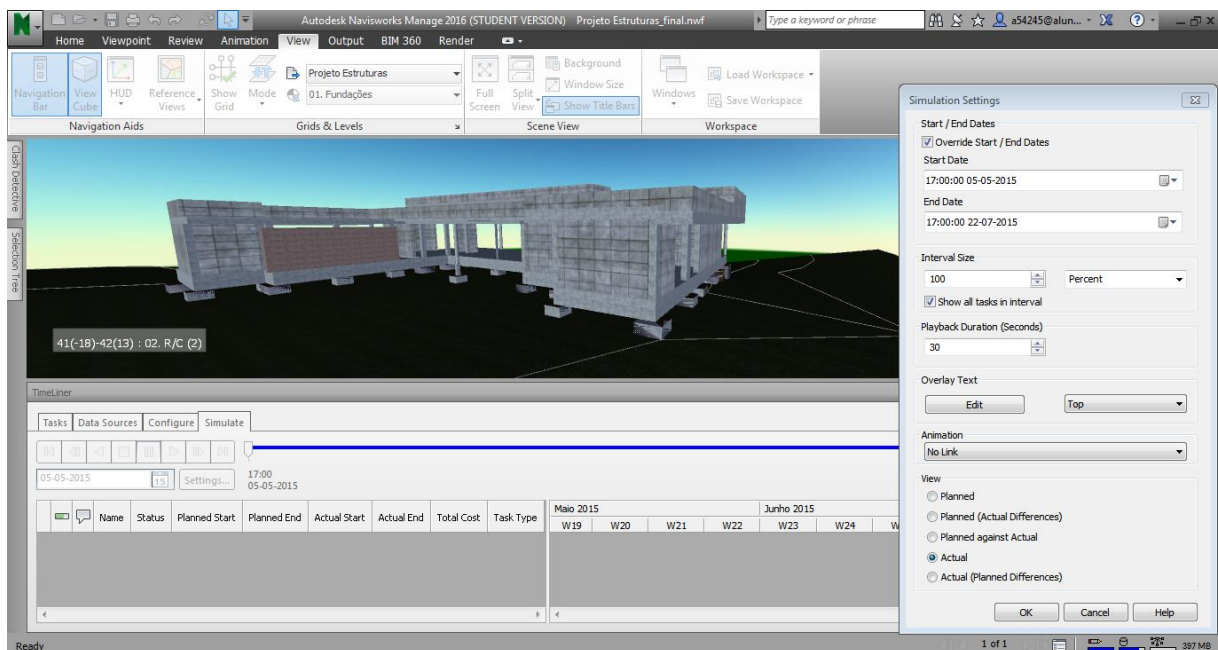
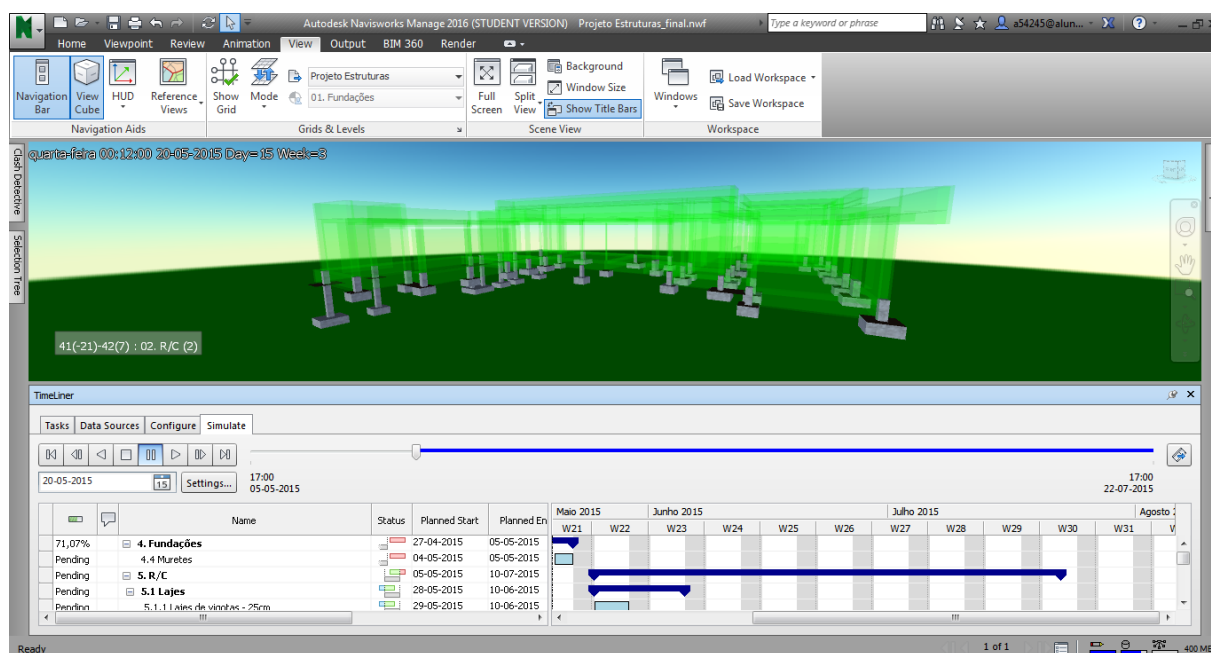


Figura 4.38 – Configurações do vídeo do faseamento do projeto, Navisworks

A simulação pode ser navegada para a frente e para trás e pode ser pausada ou até ajustada para uma data específica do calendário, Figura 4.39. Além disso, a simulação pode ser vista de diferentes ângulos e pontos de vista, sendo possível navegar e fazer *zoom* enquanto a simulação está a decorrer.



**Figura 4.39 – Simulação 4D, Navisworks**

Quanto ao LOD do modelo, está abaixo do ideal, pois as armaduras que compõem os elementos de betão armado e as abobadilhas e vigotas das lajes não foram modeladas, o que impediu que entrassem na simulação 4D da construção mas, como referido em cima, o modelo 4D foi gerado, mesmo que de forma incompleta.

Todas estas opções suportam a decisão do planeamento, podendo ser corrigidas, melhoradas, de acordo com o Gestor do Projeto. A simulação da construção torna-se uma mais-valia para o planeamento da construção.

Das várias vantagens destacam-se:

- Possibilidade de estudar várias opções de cenários futuros;
- Identificação de todos os elementos a construir;
- Visão global de todos os trabalhos envolvidos;
- Verificação da viabilidade do planeamento em estudo;
- Tomada de decisão mais confiante;
- A qualquer momento poder analisar o estado da obra.

No presente caso de estudo, foi possível comparar as durações do programa de trabalhos reais com as durações inicialmente previstas. Isto possibilita, também, uma análise sobre o que poderia ter sido otimizado relativamente aos prazos programados.

Nas figuras seguintes (Figuras 4.40, 4.41, 4.42, 4.43 e 4.44) são apresentadas algumas imagens da simulação 4D realizada no Navisworks, tendo em conta as durações planeadas e reais do mesmo. Paralelamente a essas figuras estão expostas fotografias tiradas durante a execução do projeto.

- Dia 03.06.2015



Figura 4.40 – Evolução das atividades construtivas no dia 03.06.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra

- Dia 12.06.2015



Figura 4.41 – Evolução das atividades construtivas no dia 12.06.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra

- Dia 01.07.2015



Figura 4.42 – Evolução das atividades construtivas no dia 01.07.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra



- Dia 10.07.2015



Figura 4.43 - Evolução das atividades construtivas no dia 10.07.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra

- Dia 22.07.2015



Figura 4.44 - Evolução das atividades construtivas no dia 22.07.2015: a) Planeado; b) Real; c) fotografia da obra

Observando a evolução dos trabalhos construtivos, podemos constatar que inicialmente houve algumas discrepâncias, não tanto em termos de durações mas mais em termos da ordem de trabalhos. Podemos também constatar que, embora as durações inicialmente planeadas não tenham sido cumpridas ao longo da obra, no dia 22.07.2015 conseguiu-se fazer equivaler as durações planeadas com as reais.

## 4.7. Abordagem à análise BIM 5D – Estimativa de custos

O BIM 5D (planeamento de custos) consiste na associação do tempo e dos custos ao modelo tridimensional, tal como representado na Figura 4.45.



Figura 4.45 – BIM 5D

Uma análise 5D pode ser feita de diferentes formas, tal como foi explicado no capítulo 3.4. Para a análise 5D do presente caso de estudo, optou-se por exportar a lista de quantidades do Revit para um *software* externo, nomeadamente o Excel. A opção por esta abordagem esteve diretamente relacionada com o facto de o orçamento realizado pelo método tradicional ter sido criado nesta ferramenta de cálculo, facilitando assim a estimativa de custos e a comparação das quantidades entre as abordagens tradicional e BIM 5D.

A maioria das ferramentas BIM permite a extração de listas de quantidades do modelo. Desta forma, poderia ter sido utilizado tanto o *software* Revit como o Navisworks. Neste caso, a opção recaiu sobre o *software* Revit, uma vez que foi neste *software* que se criou o modelo BIM 3D, modelo a partir do qual são extraídas as quantidades.

Neste capítulo é explorada a forma como foram extraídas as quantidades do *software* Revit e como foram calculadas, pelo Engenheiro António Marinho, as mesmas quantidades através do método tradicionalmente utilizado nas empresas de construção. Posteriormente, são comparadas as listas de quantidades obtidas pelos diferentes métodos.

Finalmente, é descrita de que forma foi realizada a estimativa de custos através dos preços unitários fornecidos e utilizando as listas de quantidades. Finalmente foram analisados os resultados obtidos.

#### 4.7.1. Obtenção do mapa de quantidades

##### Quantidades calculadas pelo método tradicional

Para a elaboração do orçamento da empreitada, o Engenheiro da empresa MPM Construção e Engenharia Lda., responsável pelo projeto, recorreu aos métodos tradicionais para a extração de quantidades.

Neste processo tradicional, o cálculo das quantidades de materiais e de cofragem é feita manualmente, através da seleção individual de cada elemento nos desenhos de arquitetura e estruturas 2D e determinação das suas dimensões (áreas, volumes, perímetros,...). Posteriormente, essas quantidades são introduzidas na lista dos itens e materiais envolvidos no projeto, tal como representa a Tabela 4.7.

**Tabela 4.8 – Lista da quantidades de materiais e cofragens, calculadas pelo método tradicional**

Item	Designação	Unidade	Quantidade obtida pelo método tradicional
<b>ESTRUTURA</b>			
1.1.	Sapatas isoladas		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	15,09
	Cofragem	m <sup>2</sup>	68,59
1.2.	Pilares.		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	9,30
	Cofragem	m <sup>2</sup>	133,90
1.3.	Vigas.		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	27,80
	Cofragem	m <sup>2</sup>	190,52
1.4.	Lajes maciças		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	3,59
	Cofragem	m <sup>2</sup>	21,69
1.5.	Lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	28,93
	Cofragem	m <sup>2</sup>	347,52
1.6.	Piso térreo	m <sup>2</sup>	54,00
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	5,40
	Brita	m <sup>3</sup>	5,40
	Rachão	m <sup>3</sup>	8,10
<b>ALVENARIAS</b>			
2.1.	Bloco cerâmico 11cm	m <sup>2</sup>	86,62
2.2.	Tijolo de cimento 25cm	m <sup>2</sup>	295,92
2.3.	Parede de Xisto	m <sup>2</sup>	20,00



Na lista de quantidades representada na Tabela 4.7 não estão representadas as quantidades de elementos estruturais que não foram objeto de estudo na abordagem BIM, como é o caso das armaduras. Neste mapa quantitativo também não estão preconizadas as quantidades de betão utilizadas nos muretes de fundação e nas paredes dos arranjos exteriores, pois estas não estavam previstos no projeto inicial.

### Quantidades obtidas a partir do modelo BIM

O *software* Revit permite obter diferentes listas de quantidades. O utilizador pode optar por criar uma lista de quantidades segundo os elementos do modelo, segundo os tipos de famílias criadas, segundo os materiais utilizados, etc. Para estas listas podem ser dados, entre outros, os valores relativos às áreas, volumes, perímetros ou número de componentes de construção.

Inicialmente, optou-se por criar uma lista de quantidades de materiais utilizados. Para isso, utilizou-se a ferramenta *Material Takeoff* do separador *View*. O primeiro passo para a obtenção da lista de quantidades através do comando *Material Takeoff* é escolher a disciplina ou elementos da disciplina e a fase sobre as quais a lista vai incidir. Neste caso, como o modelo criado foi o modelo estrutural do projeto, escolheu-se a disciplina de estruturas (*structure*) e a fase de construção nova (*new construction*). Posto isto, segue-se a escolha das propriedades da lista de quantidades de materiais (*Material Takeoff Properties*), tal como pode ser observado na Figura 4.46.

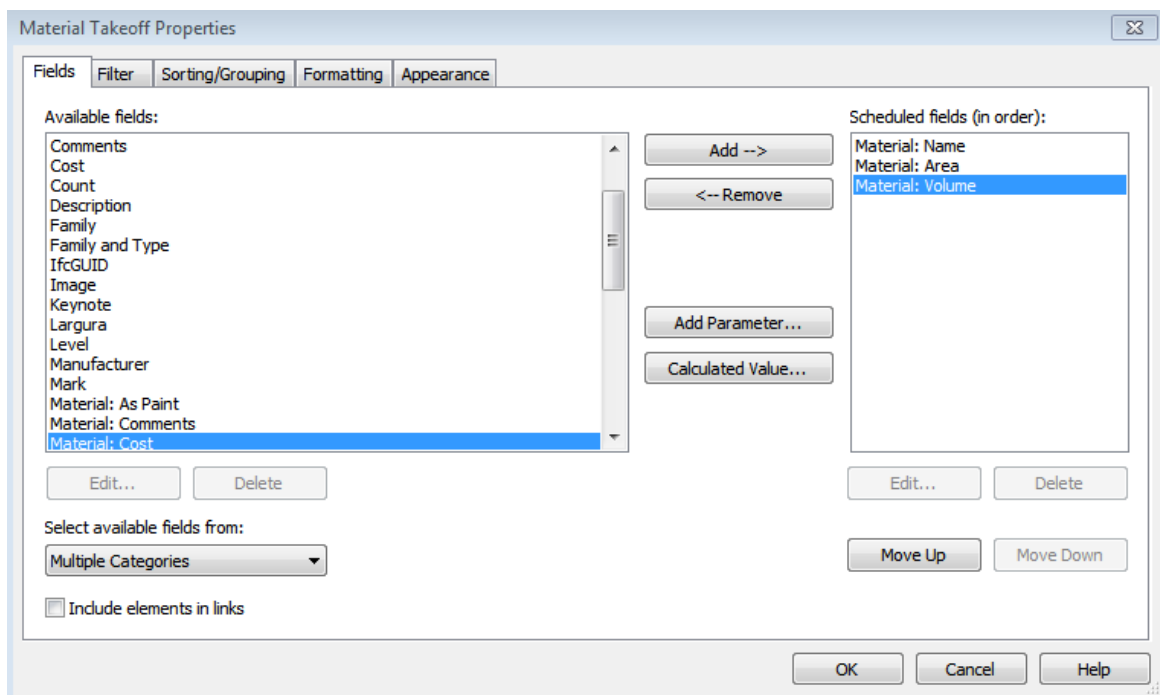


Figura 4.46 – Propriedades do mapa de quantidades por material, criado no *software* Revit

Para a criação da lista de quantidades por material foram selecionados o nome, área e volume de cada material utilizado na criação das famílias de elementos do modelo BIM 3D (Figura 4.46). Posto isto, o *software* Revit criou, automaticamente, a lista de quantidades dos materiais utilizados, segundo cada campo selecionado.

Após a criação da lista de quantidades no *software* Revit, exportou-se para o Microsoft Office Excel 2013, através do comando *Export* → *Reports* → *Schedule*, inserido no menu da aplicação.

Na Tabela 4.8 está representada a lista de quantidades por material, criada no Revit e exportada para o Excel. A lista de materiais da Figura 4.8 representa fielmente a lista de materiais obtida no Revit, incluindo a caixa-de-ar das paredes interiores e o pilar metálico.

**Tabela 4.9 – Lista de quantidades de materiais, criada no *software* Revit e exportada para Excel**

Quantidades Revit por material		
Material	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
01. Betão C20/25	1161,95	123,6
02. Xisto	16,29	1,63
03. Rachão	46,51	6,98
04. Brita	46,51	4,65
05. Bloco de cimento 25cm	286,09	71,47
06. Bloco cerâmico 11cm	77,44	8,52
07. Caixa-de-ar	5,96	0,18
08. Abobadilhas + Vigotas	341,99	40,45
Pilar metálico (Steel, 45-345)	1,85	0,01

Tal como foi referido no subcapítulo 4.5 relativo à criação do modelo virtual BIM 3D, alguns elementos estruturais, como as armaduras, não foram modelados. Relativamente às lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas que são constituídas por diversos elementos como vigotas e abobadilhas, foram modeladas utilizando um bloco constituído por duas camadas de materiais, uma camada de betão da classe C20/25 e uma camada composta por abobadilhas e vigotas. Assim, estando a obtenção da lista de materiais diretamente ligada à forma como o modelo é elaborado, a quantidade de armaduras não foi extraída e os elementos das lajes de vigotas não foram obtidos por quantidade de elementos mas sim por unidade de área e volume.

Para além da lista dos materiais utilizados, foi criada no Revit uma lista por família de elementos e por materiais, com as medidas de cada um dos elementos, como área, volume, largura, altura e comprimento, de forma a poderem ser calculadas as áreas de cofragem de cada elemento.

Na Tabela 4.9 estão discriminadas as quantidades de materiais por elementos estruturais, bem como as cofragens dos mesmos elementos, retiradas do modelo BIM.

**Tabela 4.10 – Lista da quantidade de materiais e cofragens, retirada do modelo BIM**

Item	Designação	Unidade	Quantidade obtida no modelo BIM
<b>ESTRUTURA</b>			
1.1.	Sapatas isoladas		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	14,1
	Cofragem	m <sup>2</sup>	56
1.2.	Pilares.		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	9,11
	Cofragem	m <sup>2</sup>	151,62
1.3.	Vigas.		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	22,82
	Cofragem	m <sup>2</sup>	277,67
1.4.	Lajes maciças		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	6,17
	Cofragem	m <sup>2</sup>	31,9
1.5.	Lajes aligeiradas de vigotas pré-esforçadas		
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	34,2
	Cofragem	m <sup>2</sup>	341,98
1.6.	Piso térreo	m <sup>2</sup>	46,51
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	4,65
	Brita	m <sup>3</sup>	4,65
	Rachão	m <sup>3</sup>	6,98
<b>ALVENARIAS</b>			
2.1.	Bloco cerâmico 11cm	m <sup>2</sup>	77,44
2.2.	Tijolo de cimento 25cm	m <sup>2</sup>	286,09
2.3.	Parede de Xisto	m <sup>2</sup>	16,29

## Comparação entre os mapas de quantidades obtidos pelo método tradicional e pela abordagem BIM 5D

As quantidades de materiais obtidas pelos métodos estudados são apresentadas na Tabela 4.10.

Tabela 4.11 – Comparação entre as quantidades de materiais obtidas pelo método tradicional e através do Revit

Quantidades por material				
Material	Unidade	Método Tradicional	Abordagem BIM	Diferença (%)
Betão C20/25	(m <sup>3</sup> )	90,11	91,05	-1,03
Rachão	(m <sup>3</sup> )	8,10	6,98	13,83
Brita	(m <sup>3</sup> )	5,40	4,65	13,89
Bloco de cimento 25cm	(m <sup>2</sup> )	295,92	286,09	3,32
Bloco cerâmico 11cm	(m <sup>2</sup> )	86,62	77,44	10,60
Xisto	(m <sup>2</sup> )	20,00	16,29	18,55

As quantidades de materiais representadas na Tabela 4.10 foram obtidas através da soma dos materiais das Tabelas 4.7 e 4.9 relativas às listas de quantidades do método tradicional e retiradas do Revit, respetivamente.

Como se pode observar na Tabela 4.10, há uma grande diferença entre a quantidade de betão extraída diretamente do Revit (123,6 m<sup>3</sup>) e a quantidade de betão resultante da soma dos elementos (91,05 m<sup>3</sup>). Esta diferença deve-se ao facto de, na Tabela 4.8, não estarem inseridas as quantidades de betão utilizadas nos muretes de fundação e nas paredes dos arranjos exteriores. Outra conclusão que se pode retirar da análise da Tabela 4.10 é o facto de a maior parte dos materiais apresentar quantidades superiores através do método tradicional comparativamente com a abordagem BIM.

A Figura 4.47 demonstra graficamente as diferenças entre as quantidades de materiais obtidas pelos dois métodos.

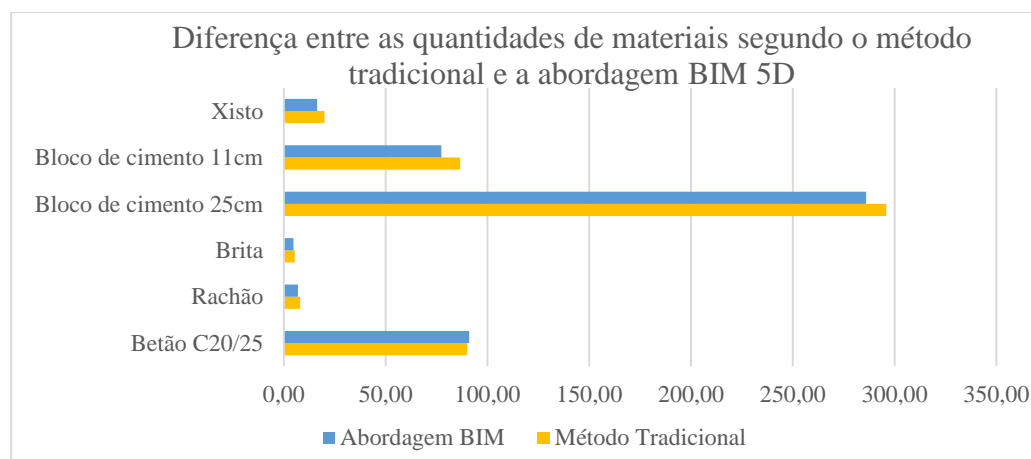


Figura 4.47 – Diferença entre as quantidades de materiais segundo o método tradicional e a abordagem BIM 5D

#### 4.7.2. Estimativa de custos

A estimativa de custos propriamente dita foi efetuada no Excel (Tabela 4.11), utilizando a base de dados de preços unitários fornecida pela empresa MPM Construção e Engenharia Lda. Por simplificação, estão incluídos nos preços unitários o preço de mão-de-obra, material, equipamento e transporte.

Para a estimativa de custos foi utilizada a lista de quantidades dividida por elementos estruturais e por materiais para as quantidades obtidas pelos dois métodos. Os materiais utilizados nesta estimativa são os materiais estruturais inseridos no modelo BIM, ou seja, foram excluídas as armaduras e, dos constituintes das lajes de vigotas, apenas está incluída a quantidade de betão.

Tabela 4.12 – Estimativa de custos para cada uma das listas de quantidades

Item	Designação	Un	Quantidade de materiais - método tradicional	Quantidade de materiais - modelo BIM	Preço Unitário	Valor obtido pelo método tradicional	Valor obtido no modelo BIM
<b>ESTRUTURA</b>							
1.1.	Sapatas isoladas						
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	15,09	14,10	58,50 €	<b>882,77 €</b>	824,85 €
	Cofragem	m <sup>2</sup>	68,59	56,00	8,00 €	<b>548,72 €</b>	448,00 €
1.2.	Pilares						
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	9,30	9,11	58,50 €	<b>544,05 €</b>	532,94 €
	Cofragem	m <sup>2</sup>	133,90	151,62	10,00 €	1.339,00 €	<b>1.516,20 €</b>
1.3.	Vigas						
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	27,80	22,82	61,50 €	<b>1.709,70 €</b>	1.403,43 €
	Cofragem	m <sup>2</sup>	190,52	277,67	11,00 €	2.095,72 €	<b>3.054,37 €</b>
1.4.	Lajes maciças						
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	3,59	6,17	61,50 €	220,79 €	<b>379,46 €</b>
	Cofragem	m <sup>2</sup>	21,69	31,90	11,00 €	238,59 €	<b>350,90 €</b>
1.5.	Lajes de vigotas						
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	28,93	34,20	61,50 €	1.779,20 €	<b>2.103,30 €</b>
	Cofragem	m <sup>2</sup>	347,52	341,98	8,00 €	<b>2.780,16 €</b>	2.735,84 €
1.6.	Piso térreo	m <sup>2</sup>	54,00	46,51	20,00 €	<b>1.080,00 €</b>	930,20 €
	Betão C20/25	m <sup>3</sup>	5,40	4,65			
	Brita	m <sup>3</sup>	5,40	4,65			
	Rachão	m <sup>3</sup>	8,10	6,98			
<b>ALVENARIAS</b>							
2.1.	Bloco cerâmico 11cm	m <sup>2</sup>	86,62	77,44	7,79 €	<b>674,77 €</b>	603,26 €
2.2.	Tijolo de cimento 25cm	m <sup>2</sup>	295,92	286,09	16,43 €	<b>4.861,97 €</b>	4.700,46 €
2.3.	Parede de Xisto	m <sup>2</sup>	20,00	16,29	40,00 €	<b>800,00 €</b>	651,60 €
<b>TOTAL</b>						<b>19.555,42 €</b>	<b>20.234,80 €</b>

Analisando a estimativa de custos calculada através do preço unitário de cada elemento e das listas de quantidades obtidas pelos dois métodos, Tabela 4.11, podemos constatar que a maior parte dos valores obtidos através do método tradicional de extração de quantidades é superior aos valores obtidos pela abordagem BIM. Além disso, as maiores discrepâncias no orçamento estão relacionadas com as quantidades de betão e cofragens das vigas e com as quantidades de betão das lajes aligeiras de vigotas pré-esforçadas. Relativamente às quantidades de betão das lajes de vigotas, as diferenças devem-se ao facto de estas terem sido modeladas no Revit por blocos de camadas e não por elementos, o que leva a diferentes quantidades de betão. Quanto às desigualdades relativas às vigas, se por um lado as quantidades de betão retiradas do Revit são relativamente inferiores às quantidades obtidas pelo método tradicional, o valor obtido para as cofragens é muito superior. Esta discrepância nos valores das quantidades de cofragens pode dever-se ao facto de, na abordagem BIM, as cofragens das vigas terem sido calculadas de forma semelhante para todas as vigas, independentemente da sua localização.

Ainda assim, os custos finais dos elementos estruturais estudados difere 679,38€, ou seja, cerca de 3,36%. Estas diferenças não foram muito significativas, no entanto, relativamente ao processo de estimativa de custos segundo a abordagem BIM pode-se concluir que, após a elaboração do modelo BIM 3D, a extração de quantidades e a estimativa de custos é um processo mais expedito e mais rápido comparativamente com o método tradicional.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1. Conclusões Gerais

O objetivo primordial de estudar a viabilidade e eficiência da utilização de ferramentas BIM no planeamento e controlo de projetos de construção por oposição aos métodos tradicionais foi, de um modo geral, alcançado. O estudo das principais funcionalidades das ferramentas BIM, aplicadas a um caso prático, permitiu concluir que a adoção desta metodologia de trabalho pode levar a uma otimização nos processos de gestão de projetos de construção. A automatização do desenvolvimento de peças desenhadas, a identificação de erros e omissões do modelo, o faseamento construtivo e a obtenção de mapas de quantidades de forma automática, são algumas das potencialidades que foram aferidas ao longo desta dissertação.

Relativamente à conceção do modelo 3D no *software* Revit referente ao projeto de execução da parte estrutural, embora apenas tenham sido modelados os elementos de betão e alvenarias, permitiu uma perceção imediata de como seria a moradia referente ao caso de estudo, através da visualização 3D.

A criação do modelo virtual do projeto teve como premissa as etapas da sua execução, ou seja, houve o cuidado de dividir os elementos estruturais no Revit de acordo com as fases de realização do projeto, antecipando o seu planeamento. Ao longo deste processo foram encontradas algumas dificuldades. O facto de o autor não conhecer muito bem os processos de execução seguidos em obra gerou algumas dúvidas relativamente às ligações dos elementos e da conceção do modelo em geral. A grande quantidade de pormenores muito específicos deste projeto tornou a elaboração do modelo bastante morosa.

Além disso, o facto de haver contantes alterações do projeto em obra levou a que o modelo fosse constantemente alterado, atrasando todo o trabalho. Apesar de as sucessivas alterações no modelo serem importantes para possíveis modificações no futuro, neste caso prático foi despendido muito tempo com essas alterações. Assim, o facto de o BIM possibilitar a modelação com elevados níveis de detalhe, podendo atingir níveis *as built* da construção real, também exige muito tempo de trabalho, pelo que se deve inicialmente programar qual o nível de detalhe pretendido, ou seja, até que ponto é produtiva a modelação com todas as alterações efetuadas em obra.

Para a análise BIM 4D (planeamento), exportou-se o modelo do *software* Revit para o *software* Navisworks. O facto de os *softwares* em questão serem da mesma *software house* (Autodesk) permitiu uma troca de informação direta, fácil e eficaz. Os resultados consideram-se aceitáveis permitindo uma completa compatibilização e integração com a metodologia BIM.

Relativamente à simulação 4D, este é um processo bastante simples e que pode trazer várias vantagens ao Gestor de Projeto. Embora o planeamento neste caso de estudo tenha sido elaborado simultaneamente com o decorrer da obra, pode-se concluir que a possibilidade de estudar várias opções quanto ao programa de trabalhos, a identificação de todos os elementos a construir, a visão global de todos os trabalhos envolvidos e a verificação da viabilidade do planeamento em estudo, são algumas das vantagens que trazem uma maior rapidez de análise do planeamento do que o processo tradicional.

A deteção automática de interferências foi efetuada tanto no *software* de modelação 3D como no de planeamento 4D. Esta análise do modelo permitiu verificar alguns erros de sobreposição de elementos e erros na modelação. No entanto, relativamente ao projeto propriamente dito, não foram encontrados quaisquer conflitos. Relativamente a esta funcionalidade BIM, conclui-se que a deteção de conflitos a partir do *software* Navisworks é bastante mais completa.

Relativamente à extração de quantidades do *software* Revit para a análise BIM 5D do caso de estudo realizado, foram obtidos resultados bastante satisfatórios. Embora não seja um processo completamente automatizado, a elaboração deste caso de estudo resultou em listas de quantidades bastante semelhantes às obtidas através de métodos tradicionais. No entanto, comparativamente com as abordagens tradicionalmente usadas pelas empresas de AEC, a extração de quantidades através de ferramentas BIM é um processo bastante mais simples e célere.

É importante referir ainda que, relativamente aos *softwares* BIM utilizados, Revit 2016 e Navisworks 2016 da Autodesk são ferramentas bastante intuitivas. Comparativamente com o tradicional sistema CAD, as ferramentas BIM detêm um número muito superior de funcionalidades e potencialidades.

Por tudo isto, resulta evidente que o futuro passa pela inclusão da metodologia BIM no planeamento e controlo de projetos nas empresas de construção. A utilização de ferramentas BIM permite obter uma maior precisão na construção e melhor otimização de processos, comparativamente com os processos tradicionais, diminuindo os erros ou omissões de projeto



e melhorando a qualidade da construção. No entanto, a implementação da metodologia BIM nas empresas do setor da construção deve ser gradual e ponderada, ou seja, devem ser estabelecidos patamares e objetivos realistas a alcançar. Além disso, as questões de interoperabilidade entre *softwares* têm que ser antecipadas, escolhendo criteriosamente as ferramentas BIM a utilizar.

## 5.2. Desenvolvimentos futuros

Dado que o BIM abrange as diversas especialidades e acompanha todas as fases do ciclo de vida de um edifício, permitindo explorar e estudar diferentes alternativas desde a fase concetual de um edifício até à sua demolição, é expetável que sejam desenvolvidas algumas das propostas abaixo descritas, para que desta forma procurem aperfeiçoar e tirar benefícios do conceito e das aplicações BIM:

- Estudar as plataformas de planeamento BIM 4D onde os modelos importados sejam ficheiros IFC (formato universal de interoperabilidade), uma vez que estes modelos dependem de modelos BIM 3D que podem não possuir *plugins* específicos de comunicação;
- Avaliar, através de metodologias BIM, de que forma se pode incorporar o BIM em todo o ciclo de vida de um edifício, desde a sua conceção à sua demolição, abrangendo todas as dimensões inerentes ao BIM;
- Desenvolver um Guia prático para a implementação do BIM nas empresas de construção, nomeadamente no que toca a normas a seguir para que as responsabilidades sejam atribuídas a cada interveniente;
- Analisar quais as particularidades da indústria da construção que estão a protelar a difusão dos BIM nas empresas, investigando a influência do Estado na possível adoção generalizada deste tipo de sistemas. Perceber como o Estado pode, através da legislação, privilegiar a sua adoção, em especial nas obras públicas;
- Comparar os resultados obtidos no BIM 5D (Mapas de Quantidades) com base na exportação de dados do modelo, de acordo com as diferentes extensões de importação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Antunes, J. M. (2013). *Interoperabilidade em sistemas de informação*. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho .

Autodesk. (s.d.). Obtido em Julho de 2015, de <http://www.autodesk.pt/>

Azevedo, O. J. (2009). *Metodologia BIM - Building Information Modeling na direção técnica de obras*. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Babo, M. E. (2008). *A Lean Construction e a Gestão Económica de Empreitadas*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

Baptista, A. R. (2015). *Utilização de ferramentas BIM no planeamento de trabalhos de construção - Estudo de caso*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Faculdade do Porto

Barbosa, A. C. (2014). *A Metodologia BIM 4D e BIM 5D aplicada a um caso prático - Construção de uma ETAR na Argélia*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Belk, A. (s.d.). BIM - Um Novo Paradigma. ABECE, Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural.

BIMForum. (s.d.). Obtido em Julho de 2015, de <http://bimforum.org/>

Bryde, D., Broquetas , M., & Volm, J. M. (2013). *The Project benefits of Building Information Modelling (BIM)*. International Journal of Project Management 31 (2013) 971–980.

BuldingSMART. (s.d.). Obtido em Julho de 2015, de <http://www.buildingsmart.org/>

Caires, B., Lino, J. C., Azenha, M., & Lacerda, N. (2014). Um plano de execução BIM de apoio ao projeto colaborativo entre o Engenheiro de Estruturas e o Arquiteto. 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas - JPEE 2014.

Cerqueiro, D. (2014). *BIM Quantity Takeoff: Assessment of the quantity takeoff accuracy as an automatic process. The special case of Revit and Vico Office*. Universidade de Cantabria: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

Concepsysbim. (s.d.). Obtido em Julho de 2015, de <http://www.concepsysbim.com/7-coisas/4587185598>

Construction, M. H. (2014). The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets. *SmartMarket Report*, pp. 10, 19.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (2ª ed.). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.

Ferraz, M., & Morais, R. (2012). O conceito BIM e a especificação IFC na indústria da construção e em particular na indústria de pré-fabricação em betão. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil - Porto, Portugal: Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2012.

Ferreira, B. (2011). *Aplicação de Conceitos BIM à Instrumentação de Estruturas*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

Henriques, A. F. (2012). *Integração do ProNIC em ambiente BIM*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Kymmell, W. (2008). *Building Information Modeling - Planning and managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. United States of America: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Lino, J. C., Azenha, M., & Lourenço, P. (24-26 de Outubro de 2012). Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas. *Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2012*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil - Porto, Portugal: Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2012.

Martins, F. M., & Cachadinha, N. (2012). *Novas utilizações das potencialidades BIM - apoio à medição de trabalhos realizados e produção de modelos as-built fiáveis e ricos em informação para a fase de manutenção*. Coimbra, Portugal: Congresso Construção 2012.

Martins, J. P. (2009). Licenciamento automático de projectos - uma solução para um problema de cooperação? Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Porto, Portugal: 1º Fórum Internacional de Tecnologia da Construção - TECCON 2009.

Meireles, A. R. (20 de Fevereiro de 2015). *BIM na base de um verdadeiro Projeto Integrado*. Obtido de ndBIM - Virtual Building:

<http://www.ndbim.pt/index.php/pt/component/k2/item/23-projeto-suportado-pela-metodologia-bim>

Monteiro, A. G. (2010). *Avaliação da aplicabilidade do modelo IFC ao licenciamento automático de projetos de distribuição predial de água*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

Monteiro, A., & Martins, J. P. (2011). *Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Porto, Portugal: Secção de Construções Civas.

Monteiro, A., & Martins, J. P. (2011). *Licenciamento automático de projetos: um incentivo à adopção de metodologias BIM*. Universidade da Beira Interior - Covilhã, Portugal: International Conference of Engineering - ICEUBI2011.

MPM Construção e Engenharia, L. (s.d.). Obtido em Agosto de 2015, de <http://grupo-mpm.pt/pt/go/empresa>

Otero, R. D. (2014). *Otimização do planeamento dos trabalhos MEP com recurso a modelos BIM*. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Parreira, J., & Cachadinha, N. (2012). *Implementação BIM e integração nos processos intraorganizacionais em Empresas de Construção. Estudo de caso*. . Coimbra, Portugal: Congresso Construção 2012.

Pedroto, M., & Martins, J. P. (2012). *Pesquisa Estruturada e Manipulação de Informação no Modelo IFC. Requisitos e Soluções*. Coimbra, Portugal: Congresso Construção 2012.

Pissarra, N. M. (2010). *Utilização de Plataformas Colaborativas para o Desenvolvimento de Empreendimentos de Engenharia Civil*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

PlataformaBIM. (s.d.). Obtido em Abril de 2015, de <http://www.plataformabim.com.br/>

Prediais, P. -S. (s.d.). Obtido em Julho de 2015, de <http://www.projetabim.com.br/oqueebim.php>

Projeto, S. (s.d.). *WiQi - SIGABIM*. Obtido em Julho de 2015, de <http://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/index.php?title=SIGABIM>

PTPC. (s.d.). *Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção*. Obtido em Julho de 2015, de <http://www.ptpc.pt/index.php/pt/>

Querido, J. P. (2013). *Proposta de melhoria da produtividade numa PME de construção*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

Reinhardt, J., & Bedrick, J. (2013). *Level of Development Specification For Building Information Models*. BIMForum.

Ribeiro, B., Lino, J. C., Azenha, M., Carvalho, J., & Barbosa, B. (2014). Aplicação de Metodologias BIM no Contexto da Construção da Nova Ponte Sobre a Foz do Rio Dão. 5as Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas - JPEE 2014.

Sá, J. P. (2014). *Modelação de estruturas em BIM - aplicação à extração automática de quantidades*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

Silva, J. M. (2013). *Princípios para o desenvolvimento de projetos com recurso a ferramentas BIM*. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

Sinergia. (2012). *Uma visão de futuro internacional e diversificada*. Mota-Engil.

Sousa, H. D. (2013). *Modelação em BIM de armaduras de betão armado de um edifício: análise da sua contribuição para processos de medição e orçamentação mais eficientes*. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Sousa, H. d., & Monteiro, A. (2011). Linha de balanço - Uma nova abordagem ao planeamento e controlo na construção. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto : 2º Fórum Internacional de Gestão da Construção - GESCON 2011.

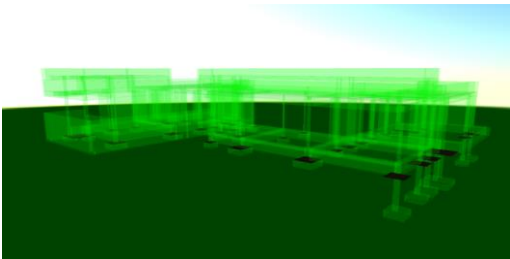
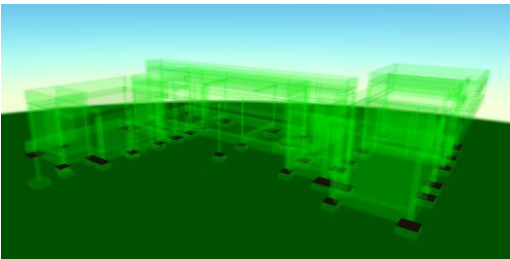
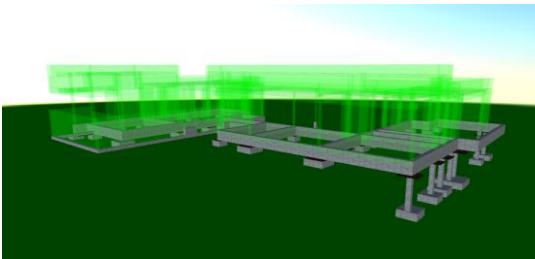
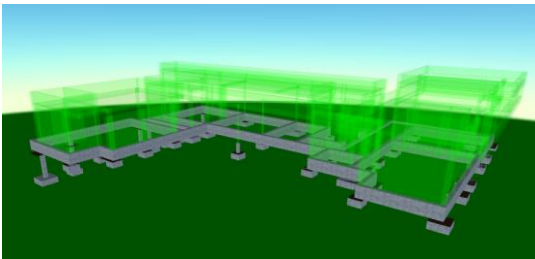
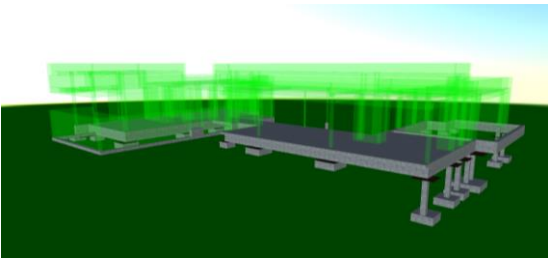
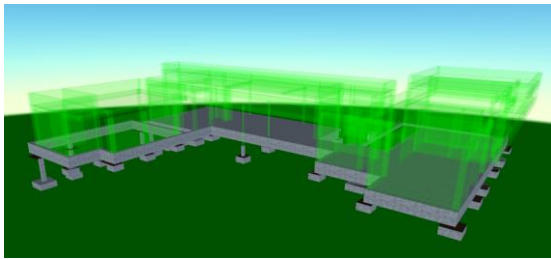
Sousa, H., Martins, J. P., & Monteiro, A. (2011). *Projeto SIGABIM*. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - Porto, Portugal: Secção de Construções Cíveis.

Taborda, P., & Cachadinha, N. (2012). BIM nas Obras Públicas em Portugal: Condicionantes para uma Implementação com Sucesso. Coimbra, Portugal: Congresso Construção 2012.

# **ANEXOS**

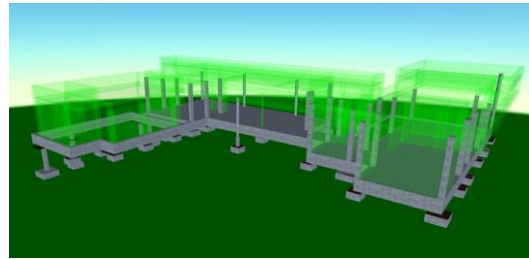
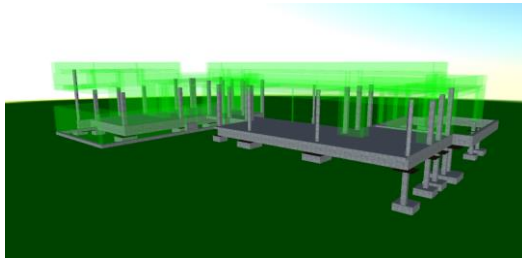
## ANEXO I – Faseamento construtivo

Etapas do faseamento construtivo elaborado no Navisworks com as figuras da simulação 4D correspondentes. Esta simulação teve em conta apenas as durações reais da execução do projeto. A limpeza do terreno e a montagem de estaleiro e meios de escavação, correspondentes às etapas 1 e 2, não foram preconizadas no faseamento por não estarem associadas a qualquer elemento do modelo.

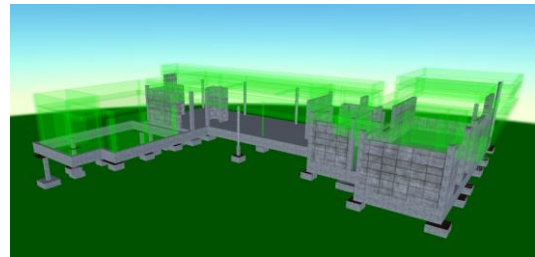
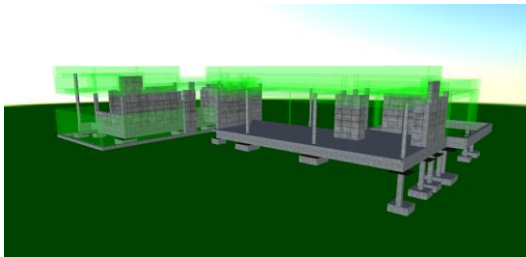
1. Limpeza do terreno	
2. Montagem de estaleiro e meios de escavação	
3. Escavação e aterro	
	
4. Fundações	
	
5. R/C	
5.1. Lajes	
	



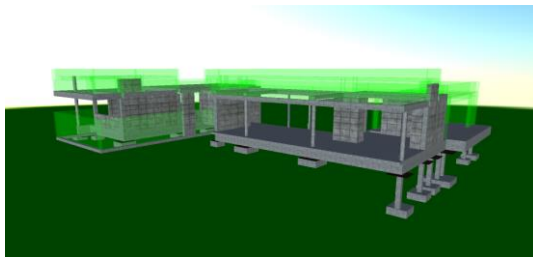
### 5.2. Pilares



### 5.3. Paredes

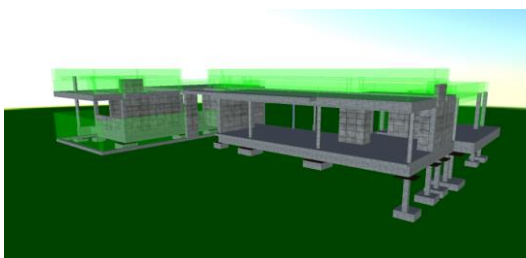


### 5.4. Vigas

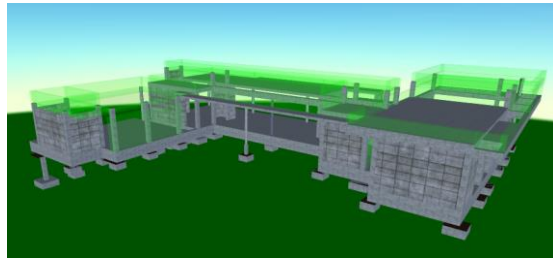
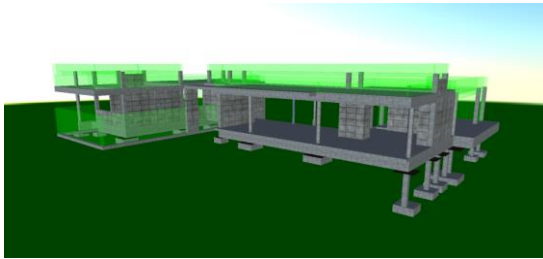


## 6. Cobertura 1

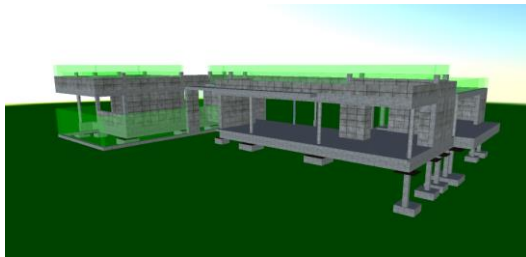
### 6.1. Lajes



## 6.2. Pilares



## 6.3. Platibandas

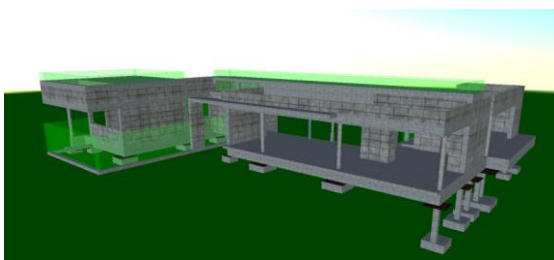


## 6.4. Vigas

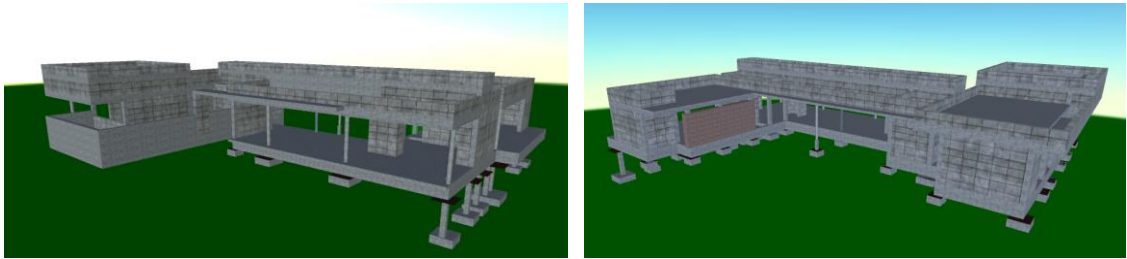


## 7. Cobertura 2

### 7.1. Lajes



## 7.2. Platibandas



## 8. Paredes interiores

